

**Ana Carolina Cardoso Pereira**

**Estudo dos Ventos no Rio Grande do Sul e Simulação para um  
Ciclone Extratropical usando o Modelo MM5.**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Meteorologia da  
Universidade Federal de Pelotas, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Ciências ( M.S.).**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Roseli Gueths Gomes**

**Pelotas, 2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Banca Examinadora**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roseli Gueths Gomes (orientadora)**

**Prof. Dr. Yoshihiro Yamasaki**

**Prof. Dr. Prakki Satyamurty (Externo)**

Ao meu filho Lucas, minha alegria de viver.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Paulo e Zélia, pelo amor, educação, bons exemplos, paciência e principalmente pela constante presença em minha vida.

À minha irmã gêmea, Ana Cecília, pelo seu tempo, seu carinho dados nos cuidados do “nosso” Lucas. Meus irmãos Ana Paula e Rodrigo pelos incentivos.

Aos “*Lucas*” - o pai Fábio Lucas pelo apoio e o filho, Lucas pela alegria e pelo sorriso capazes de me animar nos momentos de cansaço.

À minha orientadora Roseli Gueths Gomes, pela sugestão do tema, pela confiança, pelos constantes ensinamentos, capazes de me fazer crescer como profissional e como ser humano – ela é “jóia”!

A todos os meus colegas de turma, em especial a Cátia, Cláudia, Márcia e Mari pela amizade, pelos conhecimentos e bons momentos proporcionados nestes anos. As amigas Aline e Mirlen pela amizade e acolhida em suas casas. Aos também futuros mestres Clóvis, João e Paulo pelo constante apoio na reta final deste trabalho.

Ao sempre disposto Douglas S. Lindemann, parceiro constante em atuais e futuras publicações. Obrigada, querido!

Ao Prof. Dr. João Baptista da Silva pela disponibilidade e pelos conhecimentos estatísticos.

Aos professores e funcionários do PPGMet, em especial, ao Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz, ao Prof. Dr. Júlio Renato Quevedo Marques pelas valiosas dicas na elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões.

À todos aqueles que em algum momento, nestes anos passaram por minha vida deixando um pedaço de si em mim.

“Antes de fazer, pensa.”

*Ilya Kim*

## RESUMO

PEREIRA, Ana Carolina Cardoso. **Estudo dos Ventos no Rio Grande do Sul e Simulação para um Ciclone Extratropical usando o Modelo MM5**. 2008. 161f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Neste trabalho é mostrado o estudo sobre os ventos no Rio Grande do Sul, durante o período 2000-2007, para identificar onde e quando os ventos foram mais intensos no Estado. Foram utilizados dados de velocidades obtidos a 10m de altura, nos três horários de observação (00, 12 e 18UTC) de 15 estações meteorológicas, bem distribuídas no Estado. A identificação das estações onde os ventos foram mais fortes e com menor espectro de variação foi feita aplicando a distribuição Weibull aos valores médios mensais de velocidades, calculadas sobre o período total de dados de cada estação (entre 4 e 8 anos) e por horário. A similaridade de comportamento das velocidades entre as estações com 8 anos de dados, foi obtida pela aplicação do método *K-means*, definindo-se 4 grupos para regiões homogêneas de velocidades médias pentadais no Estado, por horário de observação. Testes de sensibilidade com duas parametrizações (Blackadar e MRF) de Camada Limite Planetária (CLP) do modelo MM5 foram realizados usando duas grades aninhadas com 35 níveis sigma na vertical, centradas no Rio Grande do Sul e com dados iniciais e de contorno do NCEP (resolução de 1° em latitude e longitude). A validação das velocidades simuladas *versus* observadas, a 10m de altura, foi realizada com o cálculo do erro de viés, da raiz do erro quadrático médio e do desvio padrão dos erros. As cidades de São Luiz Gonzaga e de Santa Vitória do Palmar se destacaram das demais por apresentarem mais frequentemente, os valores mais elevados dos parâmetros *k* e *c*, respectivamente. O grupo homogêneo, caracterizado por apresentar os maiores valores de velocidades médias pentadais foi constituído predominantemente pelas estações de Santa Vitória do Palmar (no extremo sul do Estado) e Passo Fundo (localizado na região norte). As velocidades mais elevadas foram observadas no mês de novembro, em Santa Vitória do Palmar. O caso de estudo selecionado foi o ciclone extratropical que atingiu o sul do Rio Grande do Sul no período de 9 a 13 de novembro de 2002. Os erros encontrados entre as velocidades observadas e simuladas nos dois experimentos foram relativamente grandes. A comparação entre os resultados e os dados observados em algumas estações mostrou que a parametrização de camada limite planetária Blackadar foi melhor que a parametrização MRF.

Palavras-Chave: ventos – Rio Grande do Sul – parâmetros de Weibull - regiões homogêneas – parametrizações de CLP

## Abstract

PEREIRA, Ana Carolina Cardoso. **Study of the Winds in Rio Grande do Sul and Simulation for an Extratropical Cyclone using MM5 Model.** 2008, 161f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

In this work a study of the winds in Rio Grande do Sul, during the period 2000-2007 is presented to identify where and when the wind were stronger in the State. The wind data obtained at 10m height, at three time observation (00, 12 and 18UTC) of 15 meteorological stations, well distributed in the State are utilized. The identification of the stations where the winds were stronger and with less spectrum of variation was made using a Weibull distribution to the monthly average values of velocity, calculated on the total period of data from each station (between 4 and 8 years) and for time. The similarity of velocities behavior between the stations with 8 years of data was obtained by applying the method K-means, non-hierarchical clustering technique, setting up 4 groups for homogeneous regions of pentad average velocities in the state, by hour of observation. Sensibility tests with two Planetary Boundary Layer (PBL) parameterizations (Blackadar and MRF) of MM5 model were realized by using two nested grids with 35 sigma levels in vertical, centered in Rio Grande do Sul and with initial and contour data from NCEP (1° resolution in latitude and longitude). The validation of simulated versus observed velocities at 10m height was realized with the calculation of bias error, the mean square root of error and standard deviation of errors. The cities of São Luiz Gonzaga and Santa Vitória do Palmar stood out from the others because they had more often high values of  $k$  and  $c$  parameters. The homogeneous group, characterized by having the highest values of pentadal averaged velocities was constituted predominantly by the stations of Santa Vitória do Palmar (in the extreme south of the state) and Passo Fundo (located in the northern region). The highest velocities were observed in the month of November, in Santa Vitória do Palmar. The selected case study was the extratropical cyclone that struck the southern Rio Grande do Sul in the period from 9 to November 13, 2002. The errors between observed and simulated velocities in both experiments were relatively large. The comparison between results and observed data in some stations showed that Blackadar PBL parameterization was better than MRF parameterization.

Key-words: winds - Rio Grande do Sul – Weibull parameters - homogeneous regions – PBL parameterizations

## LISTA DE FIGURAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Danos causados por eventos meteorológicos que provocaram ventos fortes em (a) Molhes da Barra em Rio Grande, (b) queda de árvores em Novo Hamburgo, (c) queda de árvores em Porto Alegre.....  | 2  |
| Figura 2 | Danos ocorridos na rede elétrica devido à atuação dos ventos fortes no dia 01/11/2007 em Três de Maio.   | 3  |
| Figura 3 | (a) Rede de telecomunicação do Rio Grande do Sul, (b) Rede de geração e transmissão de energia do Rio Grande do Sul.....   | 3  |
| Figura 4 | Setores que necessitam do conhecimento dos ventos (a) o industrial e (b) energético.....   | 4  |
| Figura 5 | Caracterização de alguns sistemas meteorológicos quanto às suas escalas espaciais horizontais e temporais. A= turbilhão, B= tornados e trombas d'água, C= nuvens <i>Cumulus</i> , D= microexplosão, E= frentes de rajada, F=mesociclones, G=tempestades, H= brisas marítima/terrestre, vale/montanha e mesoaltas/mesobaixas, I= bandas de precipitação, J= frentes costeiras, K=sistemas convectivos de mesoescala, L= jato de baixos níveis, M=linha seca, N= ciclones explosivos e ciclones tropicais, O= jato de altos níveis, P= sistemas frontais, Q= ciclones e anticiclones extratropicais, R= cavados e cristas em ondas baroclínicas..... | 8  |
| Figura 6 | Estágios de desenvolvimento de um ciclone extratropical. As figuras do topo mostram os campos de geopotencial (linha cheia), vorticidade (linha tracejada) e vento máximo (seta hachurada) em 500hPa. As figuras de baixo correspondem ao desenvolvimento do ciclone em superfície (linhas tracejadas= espessura da camada 1000-500hPa, linhas cheias = isóbaras). As setas pretas indicam o sentido do movimento vertical. A letra "B" denota o centro de baixa em superfície e a região pontilhada indica onde existe precipitação em superfície.....  | 11 |
| Figura 7 | Curvas da distribuição Weibull com valores de $k$ diferentes, para a cidade de Iraí, nos meses de abril (em azul) e julho (em vermelho) às 00UTC.  | 13 |
| Figura 8 | Regiões para as quais foram realizadas simulações com o sistema MesoMap em domínios com resoluções horizontais de 15km e 3,6km.....  | 20 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 9  | Instalação de uma das torres anemométricas no Rio Grande do Sul para a elaboração do primeiro Atlas Eólico do Estado.....   | 22 |
| Figura 10 | Localização das torres anemométricas no Rio Grande do Sul cujos dados foram utilizados na composição do Atlas Eólico deste Estado.....  | 23 |
| Figura 11 | Indicação das melhores áreas do Rio Grande do Sul com potencial para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica.....   | 23 |
| Figura 12 | Comparação entre as variações das velocidades em superfície médias sobre a área $9^{\circ}\text{lat}\times 9^{\circ}\text{lon}$ observadas (linha cheia) e as simuladas com o modelo MM5 usando os esquemas BLK, BT, TKE, MRF e MYJ de CLP no período de 3 dias.....  | 29 |
| Figura 13 | Localização da área de estudo, o Rio Grande do Sul.....   | 32 |
| Figura 14 | Relevo do Rio Grande do Sul.....  | 33 |
| Figura 15 | Localização geográfica das estações meteorológicas de superfície no Rio Grande do Sul utilizadas neste trabalho.....  | 34 |
| Figura 16 | Curvas da distribuição Weibull para a estação de Iraí, com dois valores do parâmetro $c$ ( $c= 0,8\text{m/s}$ , $c= 2\text{m/s}$ ) e parâmetro $k=3$ . A curva em azul corresponde aos valores de velocidades médias obtidos no mês de abril as 00UTC e a curva em vermelho para o mês de outubro, as 12UTC.....  | 38 |
| Figura 17 | Curvas da distribuição Weibull para a estação de Iraí, com dois valores do parâmetro $k$ ( $k= 0,8\text{m/s}$ , $k= 1,9\text{m/s}$ ) e parâmetro $c=0,8$ . A curva em azul corresponde aos valores de velocidades médias obtidos no mês de abril as 00UTC e a curva em vermelho para o mês de julho, as 00UTC.....  | 39 |
| Figura 18 | Ilustração da etapa 1 do algoritmo <i>K-means</i> : escolha arbitrária dos $K$ centróides. Os círculos coloridos (em vermelho, azul e verde) representam os 3 centróides e os quadrados (em cinza) representam os $n$ elementos a serem agrupados.....  | 41 |
| Figura 19 | Ilustração da etapa 2 do algoritmo <i>K-means</i> : associação dos $n$ elementos aos $K$ grupos. Os elementos de cada grupo estão nas mesmas cores dos respectivos centróides.....  | 42 |
| Figura 20 | Ilustração da etapa 3 do algoritmo <i>K-means</i> : escolha dos novos centróides, a partir das distâncias euclidianas calculadas na etapa 2. Os centróides escolhidos na etapa 1 estão indicados pelos círculos em cores mais suaves. Os centróides escolhidos na etapa 3, resultantes do cálculo da distância euclidiana, estão indicados pelos círculos em cores mais fortes..... | 42 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 21 | Ilustração da etapa 4 do algoritmo <i>K-means</i> : redistribuição dos $n$ elementos nos respectivos grupos.....   | 43 |
| Figura 22 | Domínio utilizado para a avaliação das condições de grande escala associadas ao caso de estudo (ciclone extratropical), com resolução horizontal de 90km.....  | 46 |
| Figura 23 | Domínio maior (D1) com resolução horizontal de 27km e domínio menor (D2) com resolução horizontal de 9km, utilizados nos testes de sensibilidade das parametrizações de CLP com o modelo MM5.....  | 47 |
| Figura 24 | Média das velocidades do vento das estações meteorológicas: a) Bagé; b) Bom Jesus; c) Cruz Alta; d) Encruzilhada do Sul; e) Iraí; f) Lagoa Vermelha; g) Passo Fundo; h) Porto Alegre; i) Rio Grande; j) Santa Maria; l) Santa Vitória do Palmar; m) Santana do Livramento; n) São Luiz Gonzaga; o) Torres; p) Uruguaiana.... | 52 |
| Figura 25 | (a) Localização das estações meteorológicas com elevados valores tanto dos parâmetros $k$ e $c$ da distribuição Weibull quanto das velocidades médias mensais a 10m de altura e (b) regiões com potencial eólico, indicadas pelos círculos em vermelho, de acordo com o Atlas do Potencial Eólico do Rio Grande do Sul.....  | 56 |
| Figura 26 | Parâmetros de Weibull para a estação de Bom Jesus às 00UTC (curvas em azul), 12UTC (curvas na cor laranja), 18UTC (curvas na cor rosa) nos meses de (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) novembro e (d) dezembro.....   | 57 |
| Figura 27 | Parâmetros de Weibull para estação de Passo Fundo às 00UTC (curvas na cor azul), 12UTC (curvas na cor laranja)e 18 UTC (curvas na cor rosa) nos meses de (a) janeiro, (b)fevereiro, (c) setembro e (d) outubro.....  | 58 |
| Figura 28 | Parâmetros $k$ e $c$ da distribuição Weibull para estação de Santa Maria às 00UTC (em azul), 12UTC (na cor laranja) e 18UTC (na cor rosa) nos meses de (a) fevereiro, (b) março, (c) abril, (d) maio, (e) setembro e (f) dezembro.....   | 59 |
| Figura 29 | Parâmetros de Weibull para estação de Santana do Livramento às 00UTC (azul), 12UTC (laranja) e 18UTC (rosa) no mês de setembro.....  | 60 |
| Figura 30 | Parâmetros de Weibull para estação de Santa Vitória do Palmar às 00UTC (curvas em azul), 12UTC (curvas na cor laranja) e 18UTC (curvas na cor rosa) nos meses de janeiro a dezembro....  | 62 |
| Figura 31 | Parâmetros de Weibull para a estação de São Luis Gonzaga as 00UTC (em azul), 12UTC (curvas na cor laranja) e 18UTC (curvas na cor rosa) nos meses de: (a) março, (b) abril, (c) maio,  | 63 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
|           | (d) junho, (e) julho, (f) agosto, (g) outubro, (h) novembro e (i) dezembro.....  | 63 |
| Figura 32 | Regiões homogêneas de vento no mês de novembro às 00UTC (G1-verde; G2-rosa; G3-azul; G4-vermelho), onde: BJ=Bom Jesus,CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga,TOR=Torres, URU=Uruguaiana..... | 66 |
| Figura 33 | Regiões homogêneas de vento no mês de novembro às 12UTC (G1-verde; G2-rosa; G3-azul; G4-vermelho), onde: BJ=Bom Jesus,CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga,TOR=Torres, URU=Uruguaiana..... | 67 |
| Figura 34 | Regiões homogêneas de vento no mês de novembro às 18UTC (G1-verde; G2-rosa; G3-azul; G4-vermelho), onde: BJ=Bom Jesus,CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga,TOR=Torres, URU=Uruguaiana..... | 68 |
| Figura 35 | Distribuição da velocidade do vento de 11 a 15 de novembro no período de 2000 a 2007 para as 4 regiões homogêneas deste estudo às (a) 00UTC; (b) 12UTC e (c) 18UTC.....  | 75 |
| Figura 36 | Frequência dos ventos por ano nas estações meteorológicas de Passo Fundo (linha na cor vermelha) e Santa Vitória do Palmar (linha na cor azul), nas classes de 0 a 4,9m/s; de 5 a 9,9m/s e de 10m/s ou mais, às 00UTC.....   | 76 |
| Figura 37 | Frequência dos ventos por ano nas estações meteorológicas de Passo Fundo (linha na cor vermelha) e Santa Vitória do Palmar (linha na cor azul), nas classes de 0 a 4,9m/s; de 5 a 9,9m/s e de 10m/s ou mais, às 12UTC.....   | 77 |
| Figura 38 | Frequência dos ventos por ano nas estações meteorológicas de Passo Fundo (linha na cor vermelha) e Santa Vitória do Palmar (linha na cor azul), nas classes de 0 a 4,9m/s; de 5 a 9,9m/s e de 10m/s ou mais, às 18UTC.....   | 77 |
| Figura 39 | Sequência de imagens de satélite que mostram a formação e desenvolvimento do ciclone extratropical que provocou ventos fortes no sul do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 09/11/2002 a 13/11/2002.....  | 79 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 40 | Linhas de fluxo e velocidades do vento, em 1000hPa às 12UTC, no período de (a) 10/11/2002 a (d) 13/11/2002. A letra “B” indica a localização do centro do sistema de baixa pressão em superfície em estudo.....  | 80 |
| Figura 41 | Linhas de altura geopotencial, vorticidade relativa e vento horizontal, no nível 500hPa às 12UTC. O círculo indica a região de interesse, onde está localizado o sistema de baixa pressão em superfície, no período (a) 09/11/2002 a (e) 13/11/2002.....   | 81 |
| Figura 42 | Evolução temporal dos (a) erros de viés, (b) raiz do erro quadrático médio e (c) desvio padrão dos erros, obtidos no Experimento 1 (linha azul) e no Experimento 2 (linha vermelha), para as 15 estações, durante o período de 10 a 12 de novembro de 2002, nos três horários de observação..... | 83 |
| Figura 43 | Velocidades do vento observadas, simuladas com os experimentos 1 e 2, para as cidades de (a) Bom Jesus, (b) Encruzilhada do Sul, (c) Rio Grande, (d) Santa Maria, (e) Santa Vitória do Palmar, (f) São Luiz Gonzaga e (g) Uruguaiana.....  | 85 |

## LISTA DE TABELAS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.....   | 35 |
| Tabela 2 | Média e variância das velocidades do vento observadas em Iraí nos meses de abril (às 00UTC) e de outubro (às 12UTC), calculadas sobre 8 anos de dados.....  | 39 |
| Tabela 3 | Média e variância das velocidades do vento observadas em Iraí nos meses de abril e julho, às 00UTC, calculadas sobre 8 anos de dados.....   | 40 |
| Tabela 4 | Opções fixas das parametrizações de convecção, de microfísica, de radiação e de solo utilizadas no caso de estudo, para os domínios de 27km e 9km. As parametrizações de CLP passarão por testes de sensibilidade.....  | 48 |
| Tabela 5 | Testes de sensibilidade com duas opções de parametrizações de CLP no domínio de 9km, para o caso de estudo selecionado.....   | 48 |
| Tabela 6 | Maiores valores de $k$ obtidos nos meses de janeiro a dezembro, nos horários das 00,12 e 18UTC, de estações do Rio Grande do Sul que apresentaram oito anos de dados. (BJ=Bom Jesus, PF=Passo Fundo, STM=Santa Maria, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga)..... | 54 |
| Tabela 7 | Maiores valores de $c$ obtidos nos meses de janeiro a dezembro, nos horários das 00,12 e 18UTC, de estações do Rio Grande do Sul que apresentaram oito anos de dados. (PF=Passo Fundo, STV=Santa Vitória do Palmar).....  | 55 |
| Tabela 8 | Valores dos parâmetros de Weibull, média da velocidade do vento e variância para a localidade de Bom Jesus, no período de oito anos deste estudo, nos meses de janeiro, fevereiro, setembro e outubro as 00, 12 e 18UTC.....  | 57 |
| Tabela 9 | Valores dos parâmetros de Weibull, média da velocidade do vento e variância para a localidade de Passo Fundo no período de oito anos deste estudo, nos meses de janeiro, fevereiro, setembro e outubro as 00, 12 e 18UTC.....   | 58 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 10 | Valores dos parâmetros de Weibull, média da velocidade do vento e variância para a localidade de Santana do Livramento, no mês de setembro às 00, 12 e 18UTC.....  | 60 |
| Tabela 11 | Médias de velocidade do vento para o período de mar/2000 a dez/2007, médias pentadais e resultado da análise de agrupamento para o mês de novembro as 00UTC nas estações, meteorológicas deste estudo. (BJ=Bom Jesus, CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, Irai, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga, TOR=Torres, URU=Uruguaiana)..... | 72 |
| Tabela 12 | Idem tab.11, para às 12UTC.....  | 73 |
| Tabela 13 | Idem tab.11, para às 18UTC.....  | 74 |

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

|       |  |
|-------|--|
| BE    | Erro de Viés                                     |
| BG    | Bagé   |
| BJ    | Bom Jesus  |
| c     | Parâmetro de escala da Distribuição Weibull      |
| CA    | Cruz Alta  |
| CLP   | Camada limite Planetária                         |
| CPTEC | Centro de Previsão do tempo e Estudos Climáticos |
| D1    | Domínio 1  |
| D2    | Domínio 2  |
| DPE   | Desvio padrão dos erros                          |
| ENC   | Encruzilhada do Sul                              |
| G1    | Grupo 1  |
| G2    | Grupo 2  |
| G3    | Grupo 3  |
| G4    | Grupo 4  |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia               |
| INPE  | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais        |
| $k$   | Parâmetro de forma da Distribuição Weibull       |
| K     | Número grupos na Técnica de Agrupamento K-means  |
| Km    | Quilômetro                                       |
| KW    | Quilowatt  |
| LIV   | Santana do Livramento                            |
| LV    | Lagoa Vermelha                                   |
| m/s   | Metros por segundo                               |
| MM5   | <i>Mesoecale Model</i>                           |
| NCAR  | <i>National Center for Atmospheric Research</i>  |
| PF    | Passo Fundo                                      |
| POA   | Porto Alegre                                     |
| RG    | Rio Grande                                       |
| RSME  | Raiz do erro quadrático                          |
| S     | Sul  |
| SLG   | São Luiz Gonzaga                                 |
| STM   | Santa Maria                                      |
| STV   | Santa Vitória do Palmar                          |
| URU   | Uruguaina  |
| UTC   | <i>Coordinate Universal Time</i>                 |
| W     | Oeste  |

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| LISTA DE FIGURAS.....                                   |        |
| LISTA DE TABELAS.....                                   |        |
| LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....                         |        |
| RESUMO.....   |        |
| ABSTRACT.....   |        |
| 1 Introdução.....                                       | 1      |
| 2 Revisão de Literatura.....                            | 7      |
| 2.1 Generalidades do Movimento do Ar.....               | 7      |
| 2.2 Os Ventos no Rio Grande do Sul.....                 | 12     |
| 2.2.1 Estudos Estatísticos.....                         | 13     |
| 2.2.2 Modelagem dos ventos.....                         | 18     |
| 2.3 O problema de fechamento das equações.....          | 29     |
| 3 Material e Métodos.....                               | 32     |
| 3.1 Area de estudo.....                                 | 33     |
| 3.2 Dados observados.....                               | 34     |
| 3.3 Avaliação Estatística.....                          | 36     |
| 3.3.1 A distribuição Weibull.....                       | 36     |
| 3.3.2 Análise de Agrupamento.....                       | 40     |
| 3.3.2.1 Algoritmo <i>K-means</i> .....                  | 41     |
| 3.4 Teste das parametrizações de clp do modelo MM5..... | 44     |
| 3.5 O Modelo de Mesoescala MM5.....                     | 45     |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.5.1 Configuração das simulações para obter as condições de grande escala associadas ao caso de estudo.....</b> | <b>45</b> |
| <b>3.5.2 Configurações dos experimentos de sensibilidade quanto à escolha das parametrizações de CLP.....</b>       | <b>46</b> |
| <b>3.6 Validação dos resultados.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>4 Resultados e Discussão.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>4.1 Variação das velocidades médias mensais por horário de observação.....</b>                                   | <b>51</b> |
| <b>4.2 A distribuição Weibull</b>   | <b>54</b> |
| <b>4.3 Análise de Agrupamento - regiões homogêneas para as velocidades do vento no Rio Grande do Sul.....</b>       | <b>64</b> |
| <b>4.4 Escolha do caso de estudo.....</b>   | <b>75</b> |
| <b>4.5 Avaliação dos resultados simulados.....</b>  | <b>82</b> |
| <b>5 Conclusão.....</b>   | <b>86</b> |
| <b>Referências.....</b>   | <b>88</b> |
| <b>Apêndices.....</b>   | <b>96</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O vento, tanto próximo à superfície terrestre quanto em níveis mais elevados, tem influência direta no tempo e no clima. Algumas denominações específicas aos ventos foram estabelecidas de acordo com a localização e situação em que ocorrem. Assim, por exemplo, existem os ventos alísios (FERREIRA, 2008), que são ventos resultantes da convergência na região equatorial e envolvem todo o cinturão terrestre. Existem ainda os ventos resultantes de circulações de mesoescala, do tipo vale/montanha ou mar/terra, conhecidos como brisas (SILVA DIAS, 1989). Quando a direção característica dos ventos em uma região é invertida, durante um período do ano, estes são chamados de ventos de monções (JONES; CARVALHO, 2002).

O vento resulta das diferenças de temperatura e dos gradientes de pressão, entre distintas regiões do planeta (LINACRE; GEERTS, 1997). Os gradientes horizontais, uma vez estabelecidos, induzem os movimentos do ar para re-estabelecer o equilíbrio térmico. Entretanto estes movimentos, que podem ter dimensões desde a grande escala (da ordem do milhar de km) até a microescala (da ordem de metros); interagem entre si, com os movimentos de outros fenômenos meteorológicos; com o relevo e são influenciados pelo tipo de superfície. Todos estes aspectos sobrepostos resultam em padrões de ventos muito difíceis de serem previstos.

No Estado do Rio Grande do Sul, localizado no extremo sul do Brasil, a importância da previsão dos ventos, especialmente os fortes, se dá devido à atuação de uma grande variedade de fenômenos atmosféricos de escalas espaço-temporais diferentes, como ciclones extratropicais, sistemas frontais, sistemas convectivos de mesoescala, vórtices ciclônicos de altos níveis, tornados e até mesmo de furacão. Estes diferentes eventos meteorológicos severos associados ao relevo acidentado, ao uso e cobertura do solo variado (mata de araucárias, mata atlântica, vegetação litorânea, campos e diferentes culturas) podem intensificar ainda mais os ventos e gerar inúmeros prejuízos aos setores agrícola, pesqueiro, portuário e turístico, além da população em geral, que sofre com a falta de energia elétrica, com o

destelhamento de casas e queda de árvores. Como exemplo, em 15 de junho de 2006 um ciclone extratropical sobre o Oceano Atlântico Sul deixou o mar revolto. Foram suspensas as atividades de entrada e saída de navios nos Molhes da Barra pela Praticagem da Barra, em Rio Grande (Fig. 1a). Em Pelotas e no Chuí os ventos chegaram a valores próximos dos 100km/h. Em localidades como São José dos Ausentes as velocidades foram as mais intensas, chegando aos 117,4km/h. Tanta intensidade dos ventos ocasionou quedas de árvores, desligamento de semáforos e dezenas de residências nas regiões Leste e Sul do Estado ficaram sem energia elétrica (Fig.1b). No dia 2 de setembro de 2006 também ocorreram estragos devido a um ciclone extratropical sobre o Atlântico deixando quase meio milhão de gaúchos sem energia elétrica. A Fig.1c mostra a queda de uma árvore sobre três carros no Bairro Menino Deus, em Porto Alegre, quando as rajadas do vento chegaram a 101km/h.



Figura 1 – Danos causados por eventos meteorológicos que provocaram ventos fortes em (a) Molhes da Barra em Rio Grande, (b) queda de árvores em Novo Hamburgo, (c) queda de árvores em Porto Alegre.

Fonte: [www.metsul.com.br](http://www.metsul.com.br)

Estragos nas torres de transmissão e distribuição de energia elétrica ou de telecomunicações são comuns quando há ocorrência de ventos mais intensos, como mostra a Fig.2. De tal modo que para estes setores é importante o conhecimento e a previsão das condições de ventos fortes para a realização das operações de

manutenção/instalação das torres de transmissão e distribuição de energia elétrica ou de telecomunicações cujas alturas variam de 20 a 50m.



Figura 2 – Danos ocorridos na rede elétrica devido à atuação dos ventos fortes no dia 01/11/2007 em Três de Maio.

Fonte: [www.metsul.com.br](http://www.metsul.com.br)

No Rio Grande do Sul, o setor de telecomunicações tem 334 emissoras de rádio e 24 emissoras de TV (Fig.3a), segundo o Atlas Sócio-Econômico do Rio Grande do Sul (2008) e a rede de telefonia, móvel e fixa, é interligada em todo Estado. A rede de transmissão e geração de energia também é interligada no Estado. São quilômetros de linhas com voltagens que variam de 13,8kV a 525kV como mostra a Fig.3b.

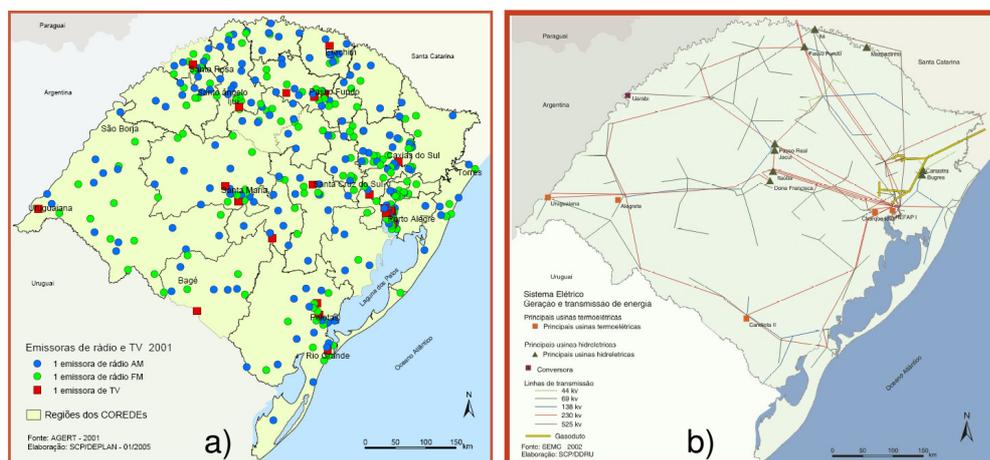


Figura 3 – (a) Rede de telecomunicação do Rio Grande do Sul, (b) Rede de geração e transmissão de energia do Rio Grande do Sul.

Fonte: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/>

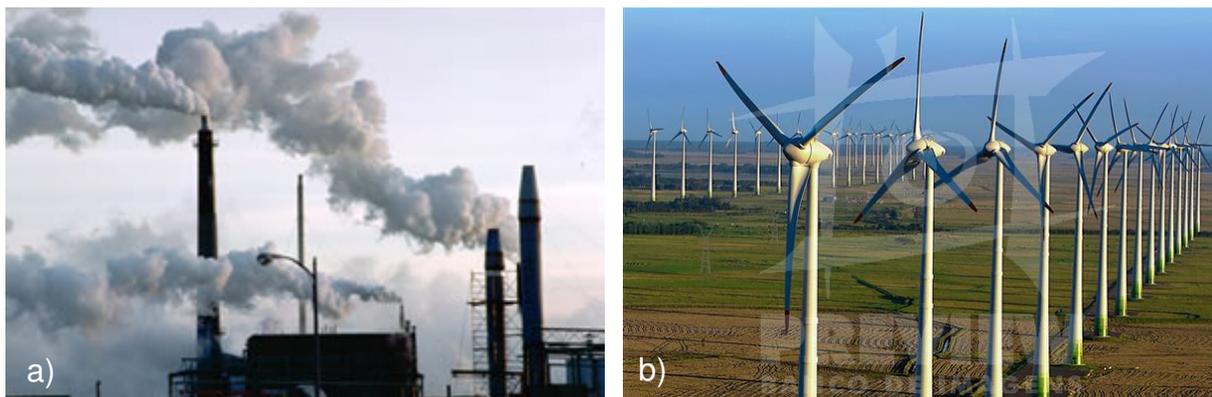


Figura 4 – Setores que necessitam do conhecimento dos ventos (a) o industrial e (b) energético.

Outros setores que necessitam do conhecimento dos ventos são o industrial (Fig.4a) e o energético (Fig.4b), respectivamente, para estudos de qualidade do ar e avaliação do potencial eólico de uma localidade. Fato relevante no Estado é a diversidade de fontes de energia, para suprir a demanda energética. Segundo publicado no Atlas Sócio-econômico do Rio Grande do Sul (2008), a capacidade instalada de geração de energia era de 1.893,8MW em 1999, e passou para 3.818MW em 2002. Destes 3.818MW, 66,2% foram gerados por usinas hidrelétricas, 15,7% por usinas a gás natural, 14,1% por usinas a carvão mineral e apenas 1,6% por fontes alternativas de energia. Apesar da diversidade de fontes de energia, ainda é pequena a geração de energia por fontes alternativas como a eólica, a solar e a de biomassa.

No Rio Grande do Sul existem investimentos em projetos de energia limpa e renovável, como a eólica, para assegurar melhorias na disponibilidade de energia elétrica. No ano de 2002 foi apresentado, em Porto Alegre, o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (SEMC, 2006), elaborado numa parceria entre Empresas do setor público e privado. Em 2005, teve início a construção do maior parque eólico da América Latina no Rio Grande do Sul (no município de Osório, litoral do Estado) e segundo maior parque eólico de geração de energia do planeta (BNDES, 2007). As torres de concreto têm 98m de altura e pesam 810 toneladas. Somam-se a elas as hélices dos aerogeradores com 35m de raio. As turbinas eólicas, responsáveis pela geração de energia, pesam aproximadamente 100 toneladas. As fundações que dão suporte ao aparelho têm de 20 a 30m de profundidade, consumindo 600 toneladas de metros cúbicos de concreto e 60 toneladas de ferro. Com capacidade total de

geração de 150MW de energia elétrica, o projeto é subdividido em três parques: Osório, Sangradouros e Índios.

A velocidade mínima para fazer girar as hélices dos aerogeradores depende do tamanho destas e da altura da torre em que estão fixadas. Para um aerogerador pequeno (diâmetro  $\leq 10\text{m}$ , gera mais de 10KW) funcionar é preciso que a velocidade do vento atinja, no mínimo, 3,5m/s (CRESESB, 2008). Um aerogerador grande (diâmetro  $\leq 40\text{m}$ , torres de mais de 50m de altura, gera mais de 250KW) precisa de velocidades de 6,6m/s. Se as velocidades do vento atingirem valores de 20m/s ou mais, os aerogeradores são desligados. Considerando o perfil vertical de variação das velocidades do vento com a altura, na Camada Limite Planetária, ventos com velocidades de 7 m/s a 75m de altura teriam 5,2m/s a 10m de altura, aproximadamente (MUNHOZ; GARCIA, 2008).

Estudos das variações dos ventos necessitam de informações de velocidade e direção obtidas a partir de uma rede de instrumentos bem distribuídos espacialmente e com observações contínuas. Recentemente houve expressivas melhoras tanto na densidade da rede de observações de superfície em todo o Brasil quanto no acesso aos dados observados (INMET, 2008). Atualmente, dados de vários parâmetros meteorológicos são disponibilizados *on-line*, em vários horários, obtidos em estações de superfície automáticas e convencionais do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Comando da Aeronáutica/Ministério da Defesa) e de estações meteorológicas de altitude. Para fins de estudos climatológicos, seguidamente os dados disponíveis não têm as resoluções espaço-temporais desejáveis. Entretanto, estas limitações não inviabilizam estudos desta natureza, porque a obtenção do comportamento típico para a região escolhida não fica comprometida.

Fundamentalmente o presente estudo está dividido em duas partes. A primeira parte tem como objetivo um estudo observacional dos ventos no Rio Grande do Sul. Para o período de 2000 a 2007, identificar-se-ão onde e quando os ventos são mais intensos no Estado. Serão utilizados dados de velocidades obtidos a 10m de altura, nos horários sinóticos de observação (00, 12 e 18UTC), em 15 estações meteorológicas de superfície, bem distribuídas no Estado. A utilização de 8 anos para o estudo dos ventos permitirá a obtenção dos comportamentos típicos dos ventos nas estações utilizadas, em cada um dos três horários sinóticos. Ao mesmo

tempo, neste período de 8 anos, procurar-se-á identificar as situações meteorológicas mais frequentes, responsáveis pelos elevados valores da velocidade dos ventos observados. A segunda parte do trabalho está dedicada à simulação dos ventos no Estado. Nesta parte, o objetivo é a realização e avaliação de testes de sensibilidade das parametrizações de CLP do modelo de mesoescala MM5 para um ciclone extratropical, identificado na primeira parte e que causou ventos fortes no Estado. A validação dos resultados das simulações será realizada com a utilização dos dados observados.

No seguimento, será apresentada a revisão bibliográfica relativa aos diferentes aspectos abordados neste estudo. Na seção 3, material e métodos, serão descritos todos os dados utilizados e a metodologia adotada para a obtenção dos resultados, que serão discutidos na seção 4. A seção 5 destina-se às conclusões do trabalho, seguida das referências bibliográficas e dos apêndices.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 GENERALIDADES DO MOVIMENTOS DO AR**

Os movimentos da atmosfera são governados pelos gradientes de temperatura e de pressão. A energia potencial conseguida e disponível é convertida em energia cinética e em energia interna do sistema. Do ponto de vista dinâmico, os gradientes de pressão são os responsáveis pelo escoamento horizontal, perpendicularmente às isóbaras, no sentido das altas para as baixas pressões. Acrescentando a rotação da Terra, estes movimentos tendem a se tornar paralelos às isóbaras, até que o balanço geostrófico seja estabelecido. Este escoamento horizontal, juntamente com os movimentos verticais que ocorrem devido à componente isalobárica do vento, são os responsáveis pela conversão da energia potencial em energia cinética. Em latitudes médias e altas, grande parte desta energia cinética está associada com perturbações ondulatórias, que se desenvolvem espontaneamente nas regiões de intensos gradientes horizontais de temperaturas, chamadas ondas baroclínicas. A passagem destas ondas induz grande parte das mudanças nas condições de tempo observadas nestas regiões. Em baixas latitudes, a maior parte da energia cinética está associada com circulações termicamente induzidas, relacionadas com a distribuição geográfica das fontes/sumidouro de calor.

O mecanismo da cascata de energia é um processo de dissipação de energia cinética dos movimentos de maiores escalas para os de escalas menores e, destes, para os movimentos à escala molecular. É este mecanismo que explica as interações existentes entre os movimentos atmosféricos de escalas espaço-temporais diferentes. Quando a energia é transferida dos movimentos de escalas menores para os de escalas maiores, o mecanismo chama-se cascata de energia contra-gradiente. Ambos os mecanismos são encontrados na atmosfera e tornam contínuo o espectro de energia cinética, originalmente discreto para cada comprimento de onda (ou escala do movimento).

A Fig.5 mostra um diagrama com as escalas espaciais (horizontais) e temporais de alguns sistemas meteorológicos. A profundidade destes sistemas corresponde, no máximo, à escala vertical da troposfera. Observa-se que a variedade dos fenômenos meteorológicos é muito grande, desde a escala horizontal da ordem do metro até escalas superiores a milhares de quilômetros e escalas temporais que variam de minutos a 1 semana. Devido aos mecanismos de cascata e contra-cascata de energia, estes fenômenos interagem continuamente. Sistemas meteorológicos de microescala são aqueles que têm dimensões espaciais horizontais da ordem da dezena de km, fenômenos de mesoescala têm dimensões horizontais da ordem da centena de km e fenômenos de grande escala têm dimensões horizontais da ordem do milhar de km.

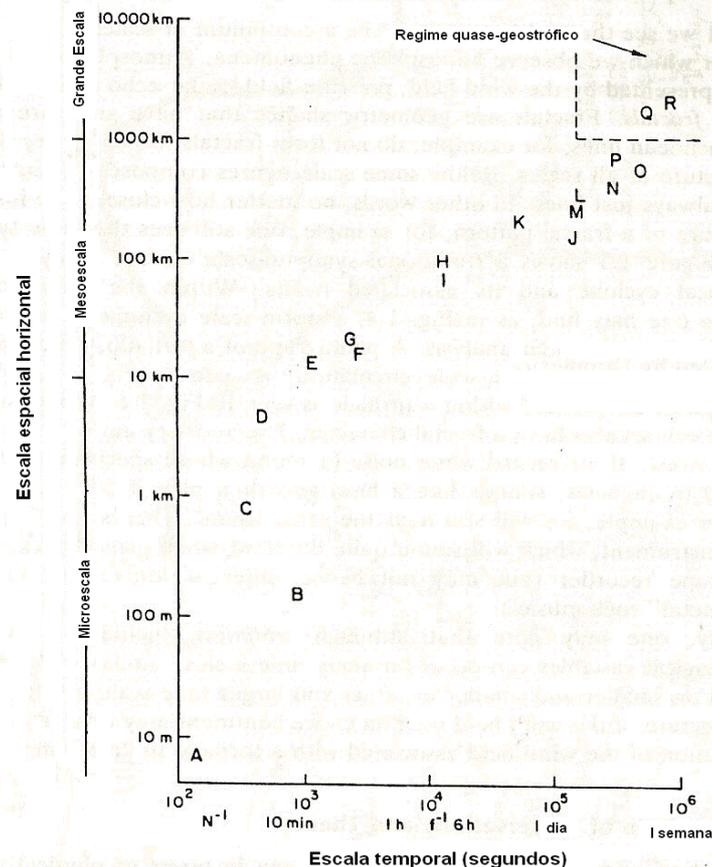


Figura 5 – Caracterização de alguns sistemas meteorológicos quanto às suas escalas espaciais horizontais e temporais. A= turbilhão, B= tornados e trombas d'água, C= nuvens *Cumulus*, D= microexplosão, E= frentes de rajada, F=mesociclones, G=tempestades, H= brisas marítima/terrestre, vale/montanha e mesoaltas/mesobaixas, I= bandas de precipitação, J= frentes costeiras, K=sistemas convectivos de mesoescala, L= jato de baixos níveis, M=linha seca, N= ciclones explosivos e ciclones tropicais, O= jato de altos níveis, P= sistemas frontais, Q= ciclones e anticiclones extratropicais, R= cavados e cristas em ondas baroclínicas.

Fonte: BLUESTEIN, 1992 (adaptado).

Exemplos de fenômenos de grande escala, responsáveis por ventos fortes perto da superfície são os ciclones extratropicais e os anticiclones. O primeiro modelo conceitual sobre a evolução de ciclones extratropicais se deve à escola norueguesa (BJERKES, 1919; BJERKNES, SOLBERG, 1921). A teoria quase-geostrófica juntamente com as medidas do ar superior e de satélite possibilitaram uma melhor compreensão da estrutura dos ciclones extratropicais e dos processos responsáveis pelo seu desenvolvimento e evolução. A seguir será apresentada a teoria de evolução dos ciclones extratropicais, porque um sistema meteorológico deste tipo constituirá o caso de estudo, mostrado posteriormente.

Atualmente sabe-se que ciclones não representam perturbações ao longo de uma região frontal pré-existente, como preconizado no modelo norueguês, mas que ocorrem em consequência de forçantes de grande escala, associadas com gradientes horizontais de temperatura (CARLSON, 1991). A Fig.6 mostra quatro estágios de desenvolvimento de um ciclone extratropical, desde a formação até o estágio de máximo desenvolvimento. A partir do estágio de maturação, o ciclone entra em processo de dissipação. Na fase inicial do desenvolvimento de um ciclone extratropical (Fig.6a) é observado um fraco centro de baixa pressão em superfície e um cavado em níveis médios a oeste da baixa. Perto do ciclone em superfície deve haver convergência de umidade, movimento ascendente e queda de pressão. Em 500hPa, o máximo de vento está localizado corrente acima do cavado. No estágio seguinte (Fig.6b) o ciclone se intensifica como resultado das forçantes de níveis superiores (advecções de temperatura e de vorticidade) dando início a uma circulação ciclônica ao longo da superfície frontal. As advecções quente/fria começam a ocorrer a leste/oeste do ciclone, induzindo movimentos ascendentes/descendentes a leste/oeste da baixa. Neste estágio, a advecção de temperatura assume maior importância à medida que a circulação da baixa se intensifica nas regiões de fortes gradientes de temperatura em baixos níveis. A distribuição da nebulosidade muda, passando do formato “folha” para o formato “nuvem vírgula invertida” (no hemisfério sul). No terceiro estágio (Fig.6c), o aumento do gradiente de altura geopotencial em níveis médios (entre a região de forte queda e o setor quente do ciclone) gera uma intensificação do vento geostrófico a noroeste do ciclone em superfície, bem como da vorticidade geostrófica. No quarto estágio (Fig.6d) de desenvolvimento, o ciclone atinge sua intensidade máxima e começa a ocluir devido à diminuição das forçantes de grande escala. Existe uma expansão da

cobertura de nuvens ao sul da frente quente e oeste do centro do ciclone em superfície. O máximo de vorticidade ciclônica em 500hPa se desloca em direção ao centro do ciclone e o comprimento de onda diminui. Posteriormente, as advecções diminuem e o ciclone decai devido à dissipação de energia e transferência de energia cinética para outras escalas.

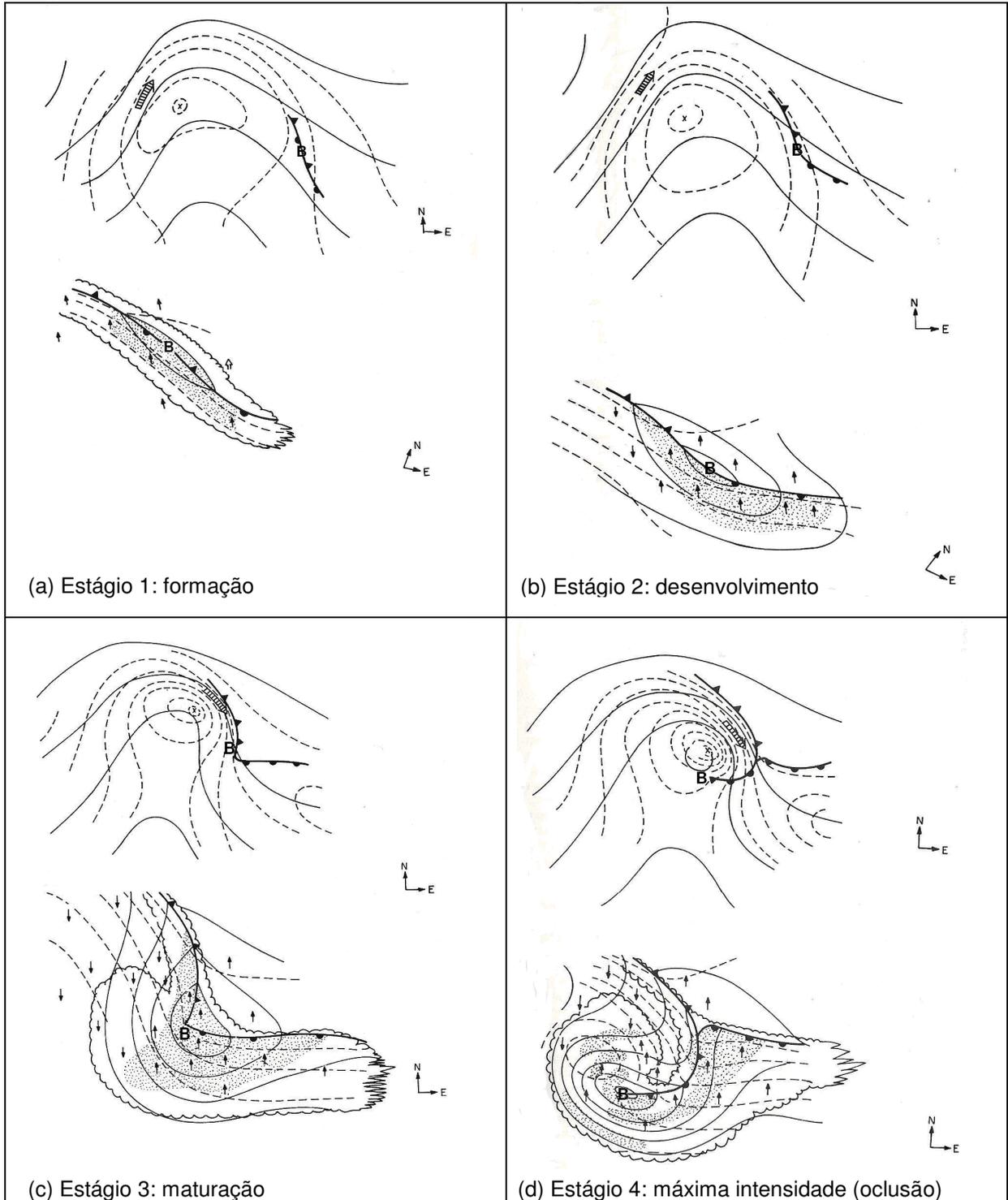


Figura 6 – Estágios de desenvolvimento de um ciclone extratropical. As figuras do topo mostram os campos de geopotencial (linha cheia), vorticidade (linha tracejada) e vento máximo (seta hachurada) em 500hPa. As figuras de baixo correspondem ao desenvolvimento do ciclone em superfície (linhas tracejadas= espessura da camada 1000-500hPa, linhas cheias = isóbaras). As setas pretas indicam o sentido do movimento vertical. A letra “B” denota o centro de baixa em superfície e a região pontilhada indica onde existe precipitação em superfície.

Fonte: CARLSON, 1991 (adaptação para o hemisfério sul).

## 2.2 OS VENTOS NO RIO GRANDE DO SUL

Os trabalhos encontrados na literatura especializada sobre ventos no Rio Grande do Sul são pontuais, na medida em que foram realizados com dados de ventos obtidos em uma determinada cidade. Assim, podem ser citados os trabalhos de Braga (1997), Baptista da Silva et al. (1997), Baptista da Silva e Larroza (1999), Braga e Krusche (1988, 2000a, 2000b), Lopes e Almeida (2001), Burgueño e Baptista da Silva (2003), Heldwein et al. (2003), Baptista da Silva et al. (2004a, 2004b), Pereira et al. (2008), Pes et al., (2008), dentre outros.

Baptista da Silva et al. (1997) utilizaram dados de velocidade média mensal e máxima mensal para um período de 42 e 20 anos, respectivamente, com dados de Pelotas obtidos a 7m de altura. As informações de direção dos ventos também foram analisadas. Para os dados de velocidades médias mensais, os autores construíram distribuições de frequências divididas em 8 classes, com velocidades variando de 2m/s a 16m/s (com incremento de 2m/s). Como resultado, os autores encontraram que mais de 50% das velocidades médias mensais foram de 4m/s a 8m/s. Considerando variações das velocidades médias mensais entre 4 e 10m/s, os meses de novembro e dezembro se destacam, com mais de 80%.

Para a região de Santa Maria, 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, sem levar em consideração o sistema meteorológico atuante na região. Os autores estabeleceram 4 categorias de velocidades para as *rajadas* de vento ( $\geq 15$ ,  $\geq 20$ ,  $\geq 25$ ,  $\geq 30$ m/s). 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). Concluíram que as maiores rajadas ocorreram com maior frequência na primavera e que, ao longo do dia, as rajadas ocorrem com maior frequência entre 04:00 e 11:00LT (*Local time*).

Estudos envolvendo avaliações de velocidade/direção dos ventos são extremamente importantes. Entretanto, não menos importantes são as avaliações quanto às causas das ocorrências dos elevados valores de velocidade dos ventos. Novamente, foram encontrados vários trabalhos para eventos específicos. Lima e Torres (2000), Corrêa et al. (2002), Souza et al. (2005), Baumbach e Krusche

(2005), Souza et al. (2005) são trabalhos, dentre outros, em que foram realizados estudos de casos em situações de ventos fortes em superfície.

### 2.2.1 ESTUDOS ESTATÍSTICOS

Para fins de estudos estatísticos, diversas funções de probabilidade podem ser utilizadas. A escolha depende do objetivo do trabalho e dos dados utilizados. Em estudos sobre a variabilidade dos ventos, a distribuição de probabilidade Weibull é muito utilizada.

As muitas aplicações da distribuição Weibull em estudos sobre ventos são decorrentes do fato dos parâmetros  $k$  (de forma, adimensional) e  $c$  (de escala, em m/s) desta distribuição estarem relacionados com características específicas das velocidades dos ventos. O parâmetro  $k$ , que determina a forma da curva da distribuição Weibull, fornece informações a respeito da regularidade dos ventos. Quanto maior for o valor de  $k$ , mais estreita será a curva da distribuição o que significa que mais regulares são as velocidades dos ventos naquela localidade. A Fig.7 mostra um exemplo, para a cidade de Iraí, de duas curvas da distribuição Weibull com parâmetro  $k$  de valores diferentes. Observa-se que a curva com  $k=3$  (em azul) é mais estreita do que a curva com  $k=1,90$  (em vermelho). Como o parâmetro  $k$  é inversamente proporcional à variância (WILKS, 2005), significa que no mês de abril às 00UTC as velocidades do vento são mais regulares (variam menos).

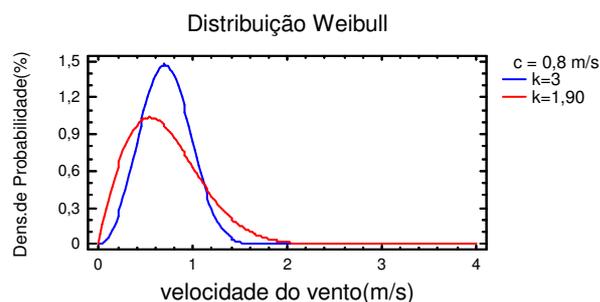


Figura 7 – Curvas da distribuição Weibull com valores de  $k$  diferentes, para a cidade de Iraí, nos meses de abril (em azul) e julho (em vermelho) às 00UTC.

O parâmetro de escala  $c$  representa o valor de velocidade do vento abaixo do qual são encontrados 63,2% dos dados de velocidades (WILKS, 2005). Estes dois parâmetros podem ser obtidos por diferentes métodos, de acordo com a série de dados observados disponíveis e com o rigor requerido na análise dos dados. A

distribuição Weibull se ajusta bem aos dados de velocidade do vento, particularmente no caso de velocidades superiores a 5m/s (HENNESSEY, 1977; JUSTUS et al., 1978). O equacionamento desta distribuição se encontra na seção “Material e Métodos”.

Para avaliar o potencial eólico das localidades de Campo Grande e Dourados (MS), Souza e Granja (1997) utilizaram a distribuição Weibull. Estimaram os parâmetros de escala  $c$  e de forma  $k$  desta distribuição utilizando três métodos propostos por Justus et al. (1978), cuja escolha depende da série de dados utilizada. Foram os métodos de mínimos quadrados, da velocidade média e máxima e da relação  $k$  versus  $V$ , para dados de ventos foram obtidos a 10m de altura. Para Campo Grande, foram utilizados dados médios diários do período 1986-1991 e, para Dourados, foram utilizados dados obtidos nos três horários sinóticos de observação do período 1981-1991. Os autores calcularam valores médios semanais e anuais de velocidade do vento, com os respectivos desvios-padrão para as duas localidades. Os valores máximos médios semanais e anuais, não atingiram 5m/s. Para os valores médios mensais de velocidades, os valores dos parâmetros  $c$  e  $k$  para as duas localidades foram diferentes. Os autores concluíram que o método de mínimos quadrados forneceu valores mais adequados dos parâmetros  $c$  e  $k$ , pois os erros foram menores, apesar de elevados (em média de 15% para Campo Grande e 19% para Dourados). Para Campo Grande, o parâmetro  $k$  variou entre 1,6 e 4,3 e o parâmetro  $c$  apresentou valores entre 2,4 e 4,1. Para Dourados, os valores de  $k$  oscilaram entre 1,0 e 2,1 e os de  $c$  variaram entre 2,0 e 3,3. Os baixos valores de velocidade, decorrentes da formatação da série de dados utilizada foi apontada, pelos autores, como sendo um dos motivos pelos quais os resultados não foram satisfatórios com a utilização da distribuição Weibull. Sugerem a utilização de uma distribuição com mais parâmetros.

Com a finalidade de avaliar o potencial eólico mensal e anual em Panorama (SP) Sansigolo (2005) testou as distribuições de probabilidade Weibull, Log-Normal e Beta aos valores de velocidade e velocidade cúbica do vento. Os dados de velocidade utilizados foram obtidos a 10m de altura em estação automática, no período de 2000-2002. Os testes de Qui-quadrado, de Kolmogorov-Smirnov e de probabilidades empíricas acumuladas versus teóricas acumuladas foram utilizados para verificar os ajustes das distribuições aos dados de velocidades utilizados. Os dados de velocidades foram divididos em 4 categorias, desde velocidades inferiores

a 1 m/s até superiores a 3 m/s, sendo que a velocidade média anual encontrada foi de 2,16 m/s. Os resultados deste artigo mostraram que a distribuição Beta foi a que melhor se ajustou aos dados de velocidade. A distribuição Weibull forneceu melhores resultados para as velocidades cúbicas do vento (potência eólica), ou seja, os valores obtidos com a distribuição Weibull foram mais próximos dos valores calculados a partir dos dados observados. Mais uma vez, se os valores de velocidade do vento forem baixos na localidade de estudo, a distribuição Weibull não é a que fornece os melhores resultados.

Leite e Virgens Filho (2006) testaram as distribuições Weibull, Rayleigh e Beta para ajustar aos dados de velocidades médias mensais do vento para a cidade de Ponta Grossa (PR). Foram utilizados 26 anos de dados diários de velocidade obtidos a 10 m de altura. A distribuição Rayleigh é um caso particular da distribuição Weibull, porque o parâmetro  $k$  é fixado, com valor igual a 2. Os autores ajustaram estas distribuições a valores de velocidades médias mensais entre 3 e 4 m/s (em todos os meses do ano), com desvio padrão de no máximo 1,48 m/s. Nestas condições os autores encontraram que a distribuição Beta foi a que melhor se ajustou aos dados.

Silva et al. (2003), para avaliar o potencial eólico da região de Campina Grande (PB), utilizaram a distribuição Weibull para dados de velocidade dos ventos horários, obtidos com um anemógrafo cujo sensor está instalado a 10 m de altura. Utilizaram três métodos para estimar os parâmetros  $c$  e  $k$  da distribuição: método dos momentos, da máxima verossimilhança e dos mínimos quadrados. Os autores encontraram que, quando empregado o método da máxima verossimilhança, o ajuste da distribuição aos dados observados foi melhor, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. Entretanto, quando comparados os valores dos parâmetros obtidos com cada um dos métodos, não foram observadas diferenças significativas.

Ainda para fins de avaliação do potencial eólico, Silva et al. (2004) utilizaram 5 anos de dados de anemógrafo, obtidos a 10 m de altura em 77 estações distribuídas nos 9 Estados da região nordeste. Foram considerados valores médios horários de velocidade do vento. Os parâmetros  $k$  e  $c$  foram calculados utilizando os métodos de mínimos quadrados e dos momentos. Os autores encontraram melhores resultados com o uso do método dos momentos para a estimativa dos parâmetros  $k$  e  $c$ , que apresentaram valores entre 2 e 4 e entre 3 m/s e 6 m/s, respectivamente. Apesar dos autores terem concluído que a utilização da distribuição Weibull foi

adequada para os objetivos do estudo, o fato de terem considerado valores médios horários de velocidade a partir de registros anemométricos, pode ter interferido nos resultados tendo em vista os erros embutidos nesta estimativa, além da possibilidade de outros obstáculos terem interferido nos registros dos dados.

A distribuição Weibull foi utilizada para avaliar o potencial eólico em São Martinho da Serra (RS) por Pes et al. (2008), para o período de um ano. Os dados de velocidades dos ventos foram obtidos a 25m e 50m de altura, com resolução temporal de 10 minutos. Com estes dados, os autores calcularam os parâmetros de forma  $k$  e de escala  $c$  da distribuição. Os valores de  $k$  foram semelhantes nas duas alturas (aproximadamente 3) mas os valores de  $c$  foram bem diferentes: 5,9m/s para 25m de altura e 7,28m/s para a altura de 50m. Para o período de um ano, os autores encontraram que existe uma probabilidade maior das velocidades a 25m e 50m de altura serem de aproximadamente 5m/s e 6m/s, respectivamente.

Os trabalhos comentados acima constituem uma pequena amostra da vasta quantidade de estudos realizados sobre os ventos em diferentes cidades do Brasil. Quando tais estudos são realizados com a utilização da distribuição Weibull, localidades com ventos fortes são caracterizadas por apresentarem baixos valores do parâmetro  $k$  e elevados valores do parâmetro  $c$ . Entretanto, no caso de estudos dos ventos em uma região mais ampla, nem todas as localidades nela inseridas possuem uma série histórica de dados que permita a caracterização dos ventos, na região em questão. Por isto, em havendo dados de velocidades dos ventos em algumas localidades de uma mesma região, é preciso identificar sub-regiões com comportamentos similares para interpretar corretamente os padrões de ventos nesta região como um todo, utilizando técnicas de agrupamento.

A análise de agrupamento é dividida em duas grandes técnicas: hierárquica e não-hierárquica. Ambas têm como objetivo reunir os elementos com maior grau de similaridade no mesmo grupo, chamado grupo homogêneo. Tais técnicas são diferenciadas pela metodologia (ou algoritmos) aplicada para a obtenção destes grupos homogêneos. Na técnica hierárquica o número de grupos homogêneos é definido a partir dos dendrogramas, representação gráfica dos resultados de um agrupamento. Na técnica não-hierárquica o número de grupos é estabelecido previamente (AZAMBUJA, 2005).

Martin et al.(2008) utilizaram a técnica de agrupamento para identificar regiões homogêneas no Estado de São Paulo para a insolação, radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa. Os autores utilizaram dados de insolação obtidos em 18 localidades com séries históricas de duração diferentes. Os limites foram para Jundiaí, com 7 anos de dados e Piracicaba, com 80 anos de dados. A radiação solar global e a radiação fotossinteticamente ativa foram calculadas com os dados de insolação. Utilizaram o método hierárquico de Ward para a identificação das regiões homogêneas, tendo optado pela definição de três grupos em função dos meses do ano e das localidades. Vernich e Zuanni (1996) estimaram o número mínimo de anos necessário para calcular dados de radiação solar global, utilizando equações de regressão linear, a partir de dados de insolação diária. Devido ao caráter estatístico das relações de regressão, os autores queriam investigar a dependência do desvio padrão dos dados de radiação, assim calculados, com o tamanho da série de dados. Concluíram que a série de dados de insolação deveria ser composta de, no mínimo, 14 anos para que as estimativas dos dados de radiação solar fossem confiáveis. No trabalho de Martin et al. (2008), as séries históricas compreenderam tanto períodos diferentes quanto números de anos diferentes. Isto dificulta a interpretação dos resultados. Não foi encontrado nenhum trabalho com restrições a respeito do número mínimo de anos para a realização de agrupamento para as velocidades dos ventos. Porém, se aplicássemos as conclusões de Vernich e Zuanni (1996) às velocidades dos ventos, a limitação de número mínimo de anos de amostragem não parece ser aplicável, porque estes dados são obtidos diretamente do instrumento.

Para o Rio Grande do Sul a técnica de agrupamento foi aplicada para dados de precipitação e de temperatura. Diniz et al. (2003) aplicaram a técnica de agrupamento hierárquico pelo método de Ward nas séries de temperaturas máximas e mínimas de 40 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, para um período de 86 anos de dados. Previamente, as séries históricas das temperaturas foram preenchidas com o uso de técnicas de correlações. Os autores obtiveram quatro regiões homogêneas para temperaturas máximas e quatro regiões homogêneas para as temperaturas mínimas no Rio Grande do Sul.

Costa (2008) utilizou o método não-hierárquico, com o uso do algoritmo *K-means*, para obter grupos homogêneos considerando os valores do teste t, nas quatro estações do ano, calculados sobre as variações de temperaturas observadas

nas 13 estações utilizadas do Rio Grande do Sul nos 45 anos de dados. A autora estipulou quatro regiões homogêneas. Os resultados mostraram que Pelotas (sul do Estado) e Iraí (ao norte) tiveram as maiores variações positivas e significativas do teste t em um mesmo grupo para o inverno, primavera e verão. Em outro grupo, o mesmo aconteceu com as estações de Encruzilhada do Sul (centro-sul do Estado) e de Torres (litoral norte), nas quatro estações. Bom Jesus foi a única estação que constituiu um outro grupo, nas quatro estações, o que indica que as características nas mudanças de temperatura desta localidade são distintas das demais.

Gruppelli et al. (2008) também utilizaram a técnica não-hierárquica aplicando o algoritmo *K-means* no Rio Grande do Sul, desta vez para dados de precipitação pluviométrica. Utilizaram dados de um período de 23 anos para agrupar 25 estações meteorológicas em cinco grupos homogêneos.

Não foram encontrados trabalhos na literatura sobre a aplicação de técnicas de agrupamento para as velocidades dos ventos no Estado do Rio Grande do Sul.

### **2.2.2 MODELAGEM DOS VENTOS**

Atualmente difundido e incorporado nas atividades de centros de pesquisas e de previsões, modelos atmosféricos constituem uma ferramenta indispensável para a previsão do tempo e do clima. Possuem um conjunto complexo de equações parciais que descrevem os princípios de conservação de massa, quantidade de movimento, energia termodinâmica, constituintes da atmosfera (material particulado e gases) e do vapor d'água.

Inúmeros estudos mostram que a previsão numérica do tempo é um recurso que pode ser utilizado para diversos fins, principalmente por não existir uma rede ampla de dados observados. Morgan et al. (2007) citam que os produtos gerados por estes modelos atendem a diversos setores, tais como, o agropecuário, pesqueiro, industrial, turístico e energético.

Atualmente, um setor que tem utilizado muito a modelagem numérica é o energético. Em busca de alternativas para suprir as demandas energéticas tradicionais (hídrica, termoelétrica, nuclear, etc.), muitos países têm investido em fontes alternativas de energia, como a geração de energia eólica. Dalmaz (2007) faz uma excelente revisão da exploração da energia eólica para fins de geração de energia elétrica, explicando com detalhes as atividades em países como a

Alemanha, Dinamarca, Holanda, França, Itália, Reino Unido, Espanha, Portugal, Estados Unidos da América. No Brasil, estudos sobre o aproveitamento do potencial eólico para fins de geração de eletricidade começaram na década de 1990.

Em 2001 foi concluído o Atlas Eólico do Potencial Brasileiro, desenvolvido por Amarante et al. (2001) para identificar regiões propícias ao aproveitamento eólico na geração de energia elétrica em todo o território nacional. Foram utilizados 15 anos de dados, obtidos em 45 cidades localizadas em oito Estados do Brasil: Pará, Roraima, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina. Este Atlas foi desenvolvido com a utilização do sistema de simulação MesoMap (MESOMAP, 2007) resultante do acoplamento de modelos de mesoescala e de microescala. As simulações de mesoescala foram realizadas com o MASS (*Mesoscale Atmospheric Simulation System*, desenvolvido pela empresa MESO Inc., integrante da *joint-venture TrueWind Solutions*), que foi acoplado ao modelo de microescala *WindMap* (modelo tridimensional de camada limite planetária, desenvolvido pela Brower&Co, também integrante da *joint-venture TrueWind Solutions*). Os dados de entrada do MesoMap foram os dados de reanálise do NCEP (2,5° de resolução horizontal), de radiossondagens e de temperatura continental e oceânica. Inicialmente, o processamento ocorreu sobre três domínios com 15km de resolução horizontal, abrangendo todo o território brasileiro. Nas regiões com maior potencial eólico, onde as velocidades médias anuais são iguais ou superiores a 6m/s a 50m de altura, houve um segundo processamento com resolução horizontal de 3,6km. A Fig. 8 mostra as regiões para as quais o sistema MesoMap foi processado com resoluções de 15km e 3,6km de espaçamento horizontal entre os pontos de grade. Dentre as variáveis de saída, calculadas para a resolução final de 1kmx1km em todo o território, destacam-se as velocidades e direções do vento horários em vários níveis acima do solo, fluxo de energia eólica e parâmetros da distribuição Weibull. Os potenciais eólicos das regiões brasileiras foram avaliados na altura de 50m, motivo pelo qual a validação dos resultados foi feita extrapolando os dados anemométricos de 45 estações (obtidos em diferentes alturas) para a altura de 50m e comparados aos dados das simulações. Os erros foram estimados entre 7,5% e 10%.

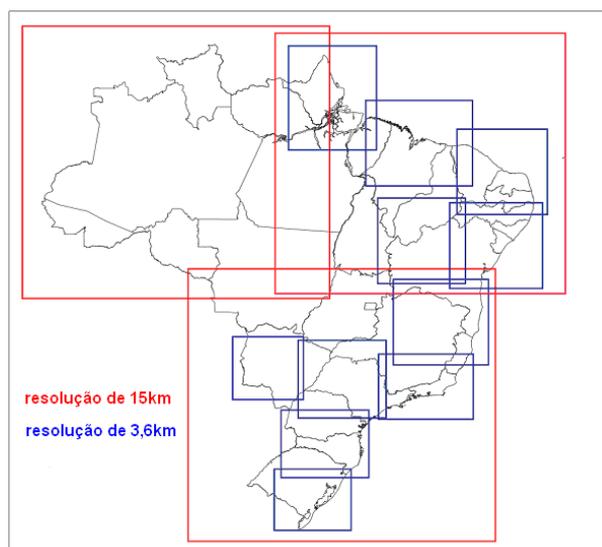


Figura 8 – Regiões para as quais foram realizadas simulações com o sistema MesoMap em domínios com resoluções horizontais de 15km e 3,6km.

Fonte: AMARANTE et al. (2001)

Santos G.R. et al. (2004) com o objetivo de classificar áreas de maior potencial eólico e estimar a quantidade de energia que poderia ser gerada no Estado do Rio de Janeiro, utilizaram o modelo de mesoescala RAMS, com dados iniciais de reanálise do NCEP (resolução de 2,5° de latitude e longitude) e grades aninhadas de 27km e 9km de espaçamento horizontal entre os pontos. Encontraram que o norte do Estado apresenta os maiores potenciais, enquanto que as encostas da Serra do Mar não possuem potencial eólico comercialmente aproveitável. Oliveira Jr. et al. (2004) utilizaram o modelo de mesoescala MM5 para obter os campos de ventos na região de Angra dos Reis (RJ) associadas a duas situações meteorológicas distintas: uma de alta pressão e outra de sistema frontal, utilizando 3 e 4 grades aninhadas, com 27, 9, 3km e 27, 9, 3 e 1km, respectivamente. Foram utilizados 50 níveis verticais e dados de entrada com 1° de resolução horizontal, atualizados a cada 6 horas. A região de Angra dos Reis foi escolhida por apresentar uma topografia complexa e por estar localizada próxima ao Oceano Atlântico. O principal objetivo dos autores foi o de verificar se o modelo MM5 era capaz de capturar os efeitos topográficos e do contraste oceano-continente. Concluíram que o modelo representou bem os campos de ventos e as variações na altura da CLP tendo, como referências, resultados de trabalhos anteriores e de fundamentação teórica das circulações em análise.

Em estudo realizado para o Estado de Santa Catarina, Dalmaz (2007) comparou as velocidades médias anuais obtidas a 10m de altura com o modelo Eta 40km de resolução horizontal, campos obtidos junto ao CPTEC/INPE, com dados obtidos a 48m de altura em Água Doce e Imbituba e obtidos a 30m de altura em Campo Erê. O período de dados utilizado foi de três anos para Água doce e de dois anos para Imbituba e Campo Erê. O autor realizou vários testes no procedimento de comparação entre os valores de velocidades observadas e simuladas: 1) comparou os dados do modelo Eta a 10m de altura com os dados observados nas torres anemométricas de 30 e 48m de altura, exatamente no horário dos campos de saída do modelo, 2) comparou os dados do modelo Eta a 10m de altura com dados horários médios observados nas torres, calculados sobre um período de 30 minutos antes e depois do horário central, correspondente ao horário do campo de saída do modelo, 3) extrapolou os dados do modelo Eta para as alturas de 48m e 30m, dependendo do sítio em análise, utilizando a equação de variação logarítmica do vento com a altura na CLP, e comparou com os dados observados, utilizando valores de comprimento de rugosidade diferentes, 4) usou a técnica de redes neurais artificiais, com três arquiteturas distintas, para prever as velocidades dos ventos utilizando como dados de entrada os dados fornecidos pelo modelo Eta e os dados observados. Em nenhum dos experimentos o autor encontrou resultados satisfatórios, visto que a raiz do erro quadrático médio foi sempre da ordem de 2m/s (o que correspondeu a um erro superior a 20% em relação aos dados observados). As principais causas apontadas pelo autor pelos resultados encontrados estão relacionadas com resolução do modelo, muito baixa para os propósitos do trabalho, e com a pequena quantidade de dados observados utilizada.

Uma importante iniciativa para a avaliação das velocidades do vento no Estado do Rio Grande do Sul resultou no primeiro Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (SEMC, 2006). A metodologia utilizada para a elaboração deste Atlas foi semelhante àquela utilizada na elaboração do Atlas Eólico do Potencial Brasileiro, comentada anteriormente. Os ventos são estimados a alturas de 10, 50, 75 e 100m de altura. A Fig.9 mostra uma destas torres, que têm entre 40 e 50m de altura, onde foram afixados anemômetros em diferentes níveis.



Figura 9 – Instalação de uma das torres anemométricas no Rio Grande do Sul para a elaboração do primeiro Atlas Eólico do Estado.

Fonte: SEMC, 2006.

A geração de energia elétrica começa com valores de 2 a 3m/s, dependendo do tamanho do aerogerador. Os estudos sobre o potencial eólico no Rio Grande do Sul ainda estão em andamento, pois depois da divulgação dos primeiros resultados, mais 5 torres foram instaladas e outras 10 estão em processo de instalação (SEMC, 2008). A Fig.10 mostra a localização das 26 torres já instaladas e das 10 torres ainda a serem instaladas. Percebe-se que as torres anemométricas estão localizadas preferencialmente no litoral do Estado.

A partir dos trabalhos realizados pelas equipes envolvidas no projeto de elaboração do primeiro Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, foram identificadas regiões com potencial eólico diferenciado no Estado. A Fig.11 mostra as principais regiões que, de acordo com a metodologia utilizada, apresentaram um maior potencial eólico. Destaca-se o litoral do Estado (regiões 1 e 2), com aproximadamente 600km de extensão de áreas adequadas para aproveitamento eólico-elétrico. Além da região litorânea, outras 4 regiões, mais interiores ao Estado, também podem ser aproveitadas para a geração de energia elétrica através da instalação de aerogeradores. As melhores áreas para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica têm velocidades iguais ou superiores a 7m/s a 75m de altura.

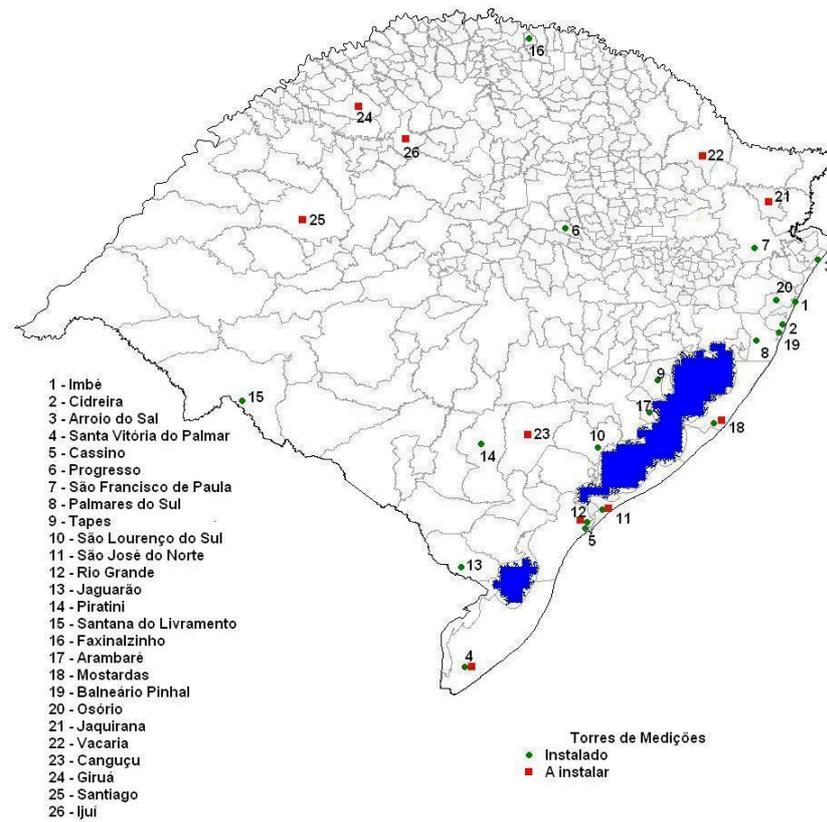


Figura 10 – Localização das torres anemométricas no Rio Grande do Sul cujos dados foram utilizados na composição do Atlas Eólico deste Estado.

Fonte: SEMC, 2008 (adaptado).

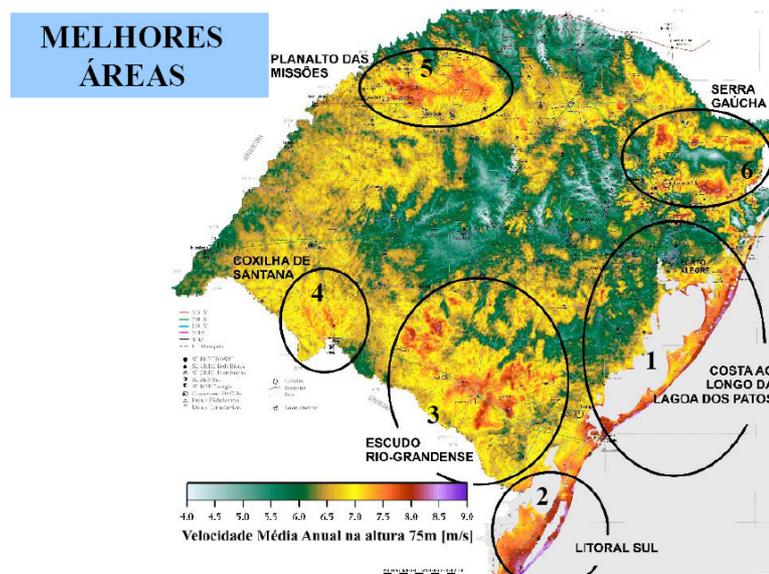


Figura 11 - Indicação das melhores áreas do Rio Grande do Sul com potencial para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica.

Fonte: SEMC, 2006.

Embora os avanços científicos permitam melhorias na representação dos processos físicos que ocorrem na atmosfera, é preciso que os aspectos observacionais não sejam negligenciados. É necessário considerar os efeitos da turbulência, barreiras topográficas, mecanismos de aquecimento dentre outros processos para melhorar a qualidade das previsões dos modelos, mas é necessário também melhorar a densidade da rede de estações (CORRÊA et al., 2004). Algumas das deficiências apresentadas nas previsões dos campos de ventos estão relacionadas à má representação da CLP e da superfície nos modelos de mesoescala, justamente por carências observacionais.

Os modelos atmosféricos possuem um conjunto de parâmetros e variáveis que podem assumir diferentes valores em função das opções que o usuário faz. Por exemplo, existem várias escolhas possíveis de parametrização de convecção, de radiação, de camada limite planetária, dos processos de microfísica das nuvens, de solo, de características da superfície (albedo, umidade do solo, rugosidade, etc.), de topografia, do número de níveis verticais, de dados de entrada (iniciais e de contorno), de definição dos domínios, de aninhamento de grades, dentre outros. (CORTINAS; STENSRUD, 1995).

Lyra (2008) realizou estudos comparativos entre velocidades dos ventos medidas em torres anemométricas, instaladas em 5 localidades, uma no Maranhão, uma em Sergipe e três no Rio Grande do Norte, e velocidades dos ventos simulados pelo modelo Eta. A altura das torres variou entre 43 e 50m, de acordo com o sítio. Somente em Macau (RN) havia dados de ventos na altura de 10m, provenientes da torre micrometeorológica lá instalada. O período de análise foi de 15 dias durante o mês de setembro de 2005. No “experimento controle”, o modelo Eta foi processado com espaçamento horizontal de 5km entre os pontos de grade e 38 níveis verticais. Os dados iniciais foram do modelo Eta com 40km de resolução horizontal e 20 níveis verticais, atualizados a cada 6 horas. O autor realizou 9 experimentos com o modelo Eta, testando os seguintes elementos: resolução horizontal (5 e 10km) , resolução vertical (38 e 50 níveis), três parâmetros associados às características da CLP (comprimento de rugosidade, função de estabilidade de Paulson e altura da camada limite) e cobertura do solo nas proximidades da torre instalada em Macau (única localidade com dados a 10m e 50m de altura). Posteriormente, foram feitas comparações entre as velocidades dos ventos obtidas pelo modelo, no “experimento

controle” e nos outros 9 experimentos, e as velocidades medidas nas 5 torres. Os comentários abaixo são relativos aos resultados encontrados na altura de 10m:

- 1) não foram percebidas diferenças significativas quando da comparação entre as velocidades obtidas nas simulações com 38 e 50 níveis verticais e as observadas;
- 2) velocidades simuladas em todos os experimentos (5 e 10km, 38 e 50 níveis verticais), subestimaram as velocidades observadas;
- 3) as subestimações foram mais importantes nos experimentos com 10km de resolução horizontal;
- 4) mudanças nos parâmetros da camada limite superficial tiveram mais impacto nos resultados obtidos a 50m;
- 5) a alteração da cobertura de solo perto da torre em Macau também não influenciou significativamente os resultados (tanto a 10m quanto a 50m de altura).

De maneira geral, os resultados encontrados por Lyra (2008) não foram satisfatórios, tendo em vista os valores dos erros de viés e raiz do erro quadrático médio encontrados (entre 2 e 3,5m/s). O autor sugere que o número de níveis verticais dos dados de entrada pode ter influenciado nos resultados bem como o número reduzido tanto de sítios observacionais quanto de período observacional utilizados para o seu estudo.

Deng et al. (2004) utilizaram o modelo MM5 para estudar um sistema frontal que ocorreu nos dias 18-19 de setembro de 1983, durante a campanha *Cross-Appalachian Tracer Experiment* (CAPTEX-83), realizada nos Estados Unidos da América. Realizaram 6 experimentos com o modelo MM5, nos quais testaram duas parametrizações de CLP (BLK, Blackadar e TKE, Gayno-Seaman) e dados de entrada com e sem assimilação de dados (de ar superior e de superfície). Os autores calcularam o erro médio, erro absoluto médio e a raiz do erro quadrático médio. Os melhores resultados foram encontrados para a grade de 12km com 32 níveis na vertical, utilizando a parametrização Gayno-Seaman (TKE) para a CLP e com assimilação de dados de superfície e de ar superior. Naquele trabalho, o aumento da resolução espacial horizontal das simulações (de 12 para 4km) não gerou melhores resultados. Os autores esperavam obter valores de velocidade dos ventos mais próximos dos valores simulados. Para investigar as causas do ocorrido, Deng e Stauffer (2006) realizaram 14 experimentos com o modelo MM5, na grade de

4km, testando algumas parametrizações físicas do modelo e dados de entrada com e sem assimilação. Para a CLP, os autores testaram os esquemas TKE e MRF. Os autores indicaram que a não utilização de esquemas de convecção na grade a 4km foi a causa principal dos resultados não terem sido satisfatórios no trabalho anterior. Os melhores resultados foram encontrados com a parametrização de Kain-Fritsch para a convecção. Dentre os resultados encontrados para os campos de ventos, a escolha da parametrização TKE para a CLP foi a melhor opção, como indicaram as avaliações estatísticas realizadas.

Berg e Zhong (2005) realizaram testes de sensibilidade quanto à escolha das parametrizações de CLP, usando o modelo MM5. As comparações foram realizadas entre os dados obtidos em 2 campanhas experimentais ocorridas nos Estados Unidos da América. Uma das campanhas ocorreu em uma região de terreno relativamente plano (BLX96, de 15 de julho a 13 de agosto de 1996) e outra ocorreu em uma região de terreno complexo (VTMX 2000, durante o mês de outubro de 2000). Testaram três esquemas de parametrização de CLP (BLK, MRF e TKE), mantendo fixas as demais. A configuração das simulações foi diferente para cada um dos locais de campanha: para a realizada em 1996, os autores utilizaram 3 grades aninhadas (36, 12 e 4km) e para a campanha realizada em 2000 os autores utilizaram 5 grades aninhadas (45, 15, 5, 1.67 e 0.56km). As simulações foram realizadas utilizando 33 níveis verticais, dos quais 16 estavam localizados abaixo dos 2km de altura. Os dados de entrada foram os de renálise do NCEP/NCAR. Os testes foram realizados para 2 dias de céu claro durante o experimento BLX96 e para 3 dias consecutivos do experimento VTMX 2000 com fraca forçante de grande escala, porque os autores queriam estudar as circulações induzidas pelo terreno complexo. Para os ventos, as comparações foram realizadas entre os campos simulados e os dados observados de avião e de radiossondagem, obtidos nos experimentos BLX96 e VTMX 2000, respectivamente. Por este motivo, no caso do experimento BLX96, o primeiro nível comparado estava a 100m do solo (os dados das simulações seguiram a trajetória do avião). Os autores mostraram que, nas comparações com dados das 2 campanhas, as 3 opções de parametrização da CLP geraram resultados semelhantes para as velocidades dos ventos perto da superfície, com valores próximos dos observados.

Fragkou et al. (2004) testaram diferentes opções de parametrização da CLP para um período de 3 dias, com a utilização do modelo MM5, utilizando 23 níveis verticais. Os dados de entrada tinham resolução de 1º e 23 níveis verticais. As comparações foram realizadas com ventos observados em uma estação meteorológica localizada em Londres. Os autores estabeleceram um experimento que chamaram de “experimento de referência” e mais 9 experimentos. Os testes envolveram variações na resolução vertical das primeiras camadas acima da superfície dos 23 níveis utilizados e na quantidade de água disponível no solo. Em 8 experimentos os autores utilizaram 4 grades aninhadas (81, 27, 9 e 3km) e em um experimento utilizaram 3 grades aninhadas (27, 9 e 3km). Foram testadas 3 opções de parametrização de CLP (PX, BLK e MRF), sendo que as demais permaneceram fixas. As comparações entre as velocidades observadas e simuladas ocorreram sobre um período de 60 horas de previsão. Os resultados foram ruins para os três esquemas. A parametrização BLK foi a que forneceu os piores resultados, pois sequer retratou as variações diárias das velocidades (os valores foram praticamente constantes). A utilização das outras duas opções (PX e MRF) forneceu velocidades com subestimação durante o período diurno, de 4m/s a 6m/s, além de um atraso de aproximadamente 10 horas nos máximos de vento. A exclusão do domínio de 81km não causou impacto sobre os resultados.

Shafran et al. (2000), também fizeram testes com as opções de parametrização da CLP utilizando o modelo MM5. Os autores compararam os dados simulados com dados observados obtidos na campanha LMOS, ocorrida em um terreno com topografia irregular e em um período em que as condições de forçantes de grande escala não intensas para colocar em evidência as circulações locais da CLP. O período selecionado para análise compreendeu os dias 15 a 20 de julho de 1991. Quatro grades aninhadas foram utilizadas neste estudo: 108, 36, 12 e 4km, com 32 níveis verticais dos quais 14 estavam situados abaixo de 1,5km. Os dados de entrada foram do NCEP com 2,5º de resolução. Quatro experimentos foram idealizados: o “experimento controle” e outros três. Foram testados os esquemas Blackadar (BLK) e Gaymo-Seaman (TKE) para a CLP e dois conjuntos de assimilação de dados. As demais parametrizações foram fixadas e definidas em função do tamanho das grades. As simulações iniciaram às 12UTC do dia 15 e terminaram às 12UTC do dia 20 de julho. Os resultados deste trabalho foram avaliados para as grades de 12 e 4km, na camada localizada entre a superfície e

2,5km. Para as velocidades dos ventos, os autores encontraram que os melhores resultados foram obtidos no experimento no qual o esquema TKE foi utilizado juntamente com assimilação de dados observados e de análise.

Zhang e Zheng (2004) testaram 5 esquemas de parametrização da CLP do modelo MM5: Blackadar (BLK), Gaymon-Seaman (TKE), Medium Range Forecasts (MRF), Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) e Burke-Thompson (BT), mantendo fixas as demais. As simulações foram realizadas sobre um período de 3 dias (início às 12UTC do dia 12 de julho e término às 12 UTC do dia 15 de julho de 1997) na região central dos Estados Unidos e em condições de sistema de alta pressão à grande escala. Os autores pretendiam caracterizar o ciclo diurno dos ventos e da temperatura. Para fins de comparação, os autores calcularam valores médios espaciais dos dados observados (das 105 estações de superfície e das 5 estações de ar superior) e dos dados simulados, sobre uma área de  $9^{\circ}\text{lat} \times 9^{\circ}\text{lon}$ , na região central dos Estados Unidos da América. A configuração comum dos experimentos foi a seguinte: dados de entrada do modelo Eta com 40km de resolução, domínio com 36km de resolução horizontal e 26 níveis verticais, com assimilação dos dados de superfície e de ar superior. A Fig.12, correspondente à Fig.3 deste artigo, mostra os resultados encontrados para as velocidades do vento a 10m de altura e para o período integral das simulações. Observa-se que todos os esquemas subestimaram os máximos diurnos e três superestimaram os mínimos noturnos observados de velocidades dos ventos. Analisando as variações das velocidades observadas com as velocidades obtidas com o esquema BLK, observa-se que estas simulações forneceram valores de velocidade que tanto reproduziram as variações observadas quanto forneceram valores mais próximos dos mínimos noturnos observados. Quanto aos máximos, foi também a opção de parametrização de CLP que gerou as velocidades mais próximas das observadas, apesar de subestimadas, como dito anteriormente. A pior estimativa das velocidades dos ventos foi a obtida com o esquema TKE (ou GS), que inclusive forneceu tendências de variações inversas às observadas, ou seja, houve uma defasagem de 12 horas nos valores máximos/mínimos. Os valores de velocidade diurnos obtidos com o esquema BT foram bem próximos àqueles obtidos com o esquema BLK, mas as variações noturnas foram superestimadas. O esquema MYJ forneceu variações de velocidades similares às observadas, mas subestimando todos os valores, inclusive os noturnos. Os autores concluem que os resultados encontrados não devem ser generalizados,

sugerindo que estes estudos sejam aplicados em outras regiões, em situações de forçantes de grande escala significativas, etc.

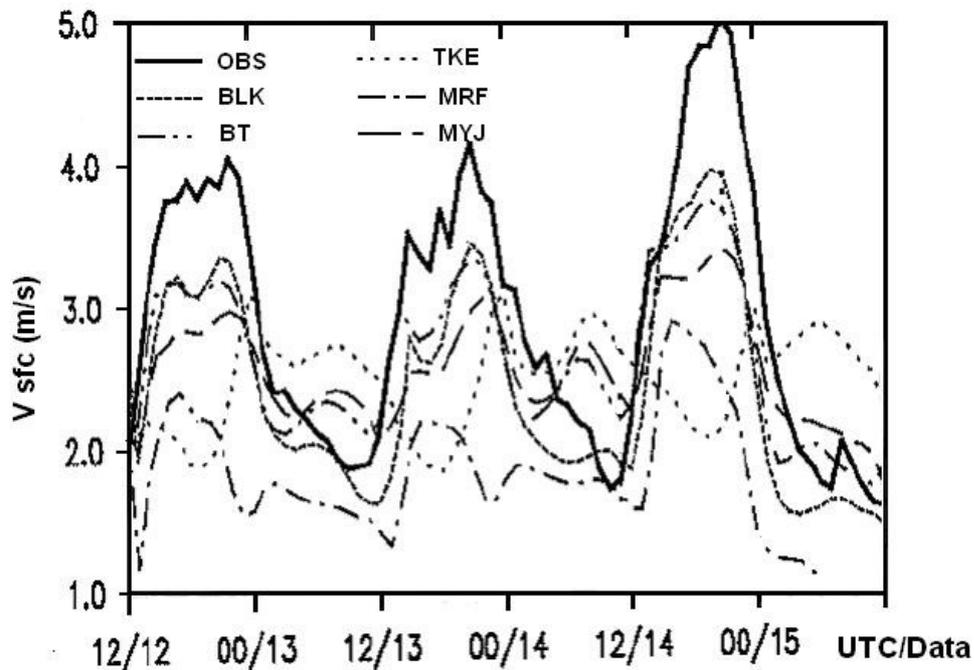


Figura 12 - Comparação entre as variações das velocidades em superfície médias sobre a área  $9^{\circ}\text{lat}\times 9^{\circ}\text{lon}$  observadas (linha cheia) e as simuladas com o modelo MM5 usando os esquemas BLK, BT, TKE, MRF e MYJ de CLP no período de 3 dias.

Fonte: ZHANG; ZHENG, 2004.

Os trabalhos comentados acima dão apenas uma idéia da grande complexidade envolvida em estudos dos campos de ventos utilizando modelos atmosféricos e dados observados. As causas das discrepâncias encontradas entre os dados observados e simulados, algumas das quais comentadas pelos autores, foram as mais variadas. Isto porque é extremamente difícil isolar as causas dos erros encontrados, uma vez que podem influenciar nos resultados individualmente ou combinados com erros de origens diferentes.

### 2.3 O PROBLEMA DE FECHAMENTO DAS EQUAÇÕES

Os modelos de mesoescala são constituídos por um conjunto de equações primitivas, que descrevem os princípios de conservação de:

- Quantidade de movimento ou *momentum*
- Calor

- Massa
- Vapor d'água, nos três estados físicos
- Material particulado e outros gases constituintes.

Nas equações de conservação do calor, do vapor d'água, do material particulado e de outros gases constituintes da atmosfera existem termos que representam fonte/sumidouro das respectivas variáveis. No processo de simplificação destas equações, o número de incógnitas, ou quantidades desconhecidas, que aparecem supera o número de equações - daí problema de fechamento (PIELKE, 2002).

A simplificação das equações de conservação faz uso da técnica de análise de escala, em que os diferentes termos são comparados relativamente aos demais. É indispensável a sua aplicação para que as equações possam ser aplicadas em situações práticas, uma vez especificada a escala do movimento, que define o tamanho da grade. Procedese então o cálculo de média das variáveis sobre um volume de grade que faz aparecer termos de correlação à escala sub-grade e termos fonte/sumidouro médios. Não é possível a resolução destas equações, porque o número de incógnitas é superior ao número de equações, a menos que as incógnitas sejam parametrizadas, isto é, que sejam elaboradas equações que as definam. No momento em que estas equações são conhecidas, estas incógnitas passam a ser resolvidas, mas percebe-se que novas incógnitas aparecem. Assim, para um conjunto finito de equações, as descrições dos efeitos sub-grade não são fechados e, por isto, é preciso estipular o refinamento pretendido para fechar o sistema.

Em um sistema de equações fechado, o número de equações é igual ao número de incógnitas. Em fechamentos de ordem zero, permanecem somente as variáveis do escoamento médio. Em fechamentos de primeira ordem, os momentos estatísticos de segunda ordem são aproximados. Analogamente, fechamentos de segunda ordem aproximam os termos que envolvem momentos estatísticos de terceira ordem. Ainda, os fechamentos não precisam ser de mesma ordem em todas as equações, como é o caso dos fechamentos de uma ordem e meia.

O problema de fechamento ainda pode ser resolvido considerando fechamentos locais e não locais. Em fechamentos locais, uma quantidade desconhecida em qualquer ponto do espaço é parametrizada por valores e/ou gradientes de quantidades conhecidas no mesmo ponto. Em fechamentos não locais

a quantidade desconhecida em um ponto do espaço é parametrizada por valores de quantidades conhecidas em muitos pontos.

### **Fechamento local – primeira ordem**

Fechamentos de primeira ordem retêm somente equações prognósticas de variáveis de ordem zero, como vento médio, temperatura e umidade. As variáveis desconhecidas são os momentos estatísticos de segunda ordem. Para fechar este sistema, é muito utilizada a chamada teoria-K, onde os termos de fluxos verticais (de *momentum*, calor, umidade) à escala sub-grade são relacionados aos gradientes verticais da variável média associada. A grande dificuldade desta teoria consiste na determinação dos coeficientes de difusão turbulenta (de *momentum*, calor e umidade) que o, por sua vez, também parametrizados. As relações fornecidas pela teoria-K assumem que os fluxos a escala sub-grade ocorrem no sentido do gradiente, apesar de existirem fluxos turbulentos a contra-gradiente na atmosfera.

### **Fechamento local - ordem 1.5**

Fechamentos de ordem 1.5 retêm equações prognósticas tanto para as variáveis de ordem zero quanto para as variâncias destas variáveis. Normalmente a equação da energia cinética turbulenta (TKE) é utilizada no lugar das equações de variância das velocidades.

### **Fechamento local – segunda ordem**

O conjunto de equações é análogo ao utilizado em fechamento local de ordem 1.5, com o acréscimo dos termos de momentos de segunda ordem nestas equações. A quantidade de termos desconhecidos aumenta e, portanto, o número de parametrizações necessárias para fechar o sistema.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 AREA DE ESTUDO

O Rio Grande do Sul está localizado no extremo meridional do Brasil e ocupa uma área de 281.748,5km<sup>2</sup>, limitada geograficamente entre as longitudes 57°36'14"W - 49°42'00"W e as latitudes 33°45'37"S - 27°05'20"S (Fig.13).

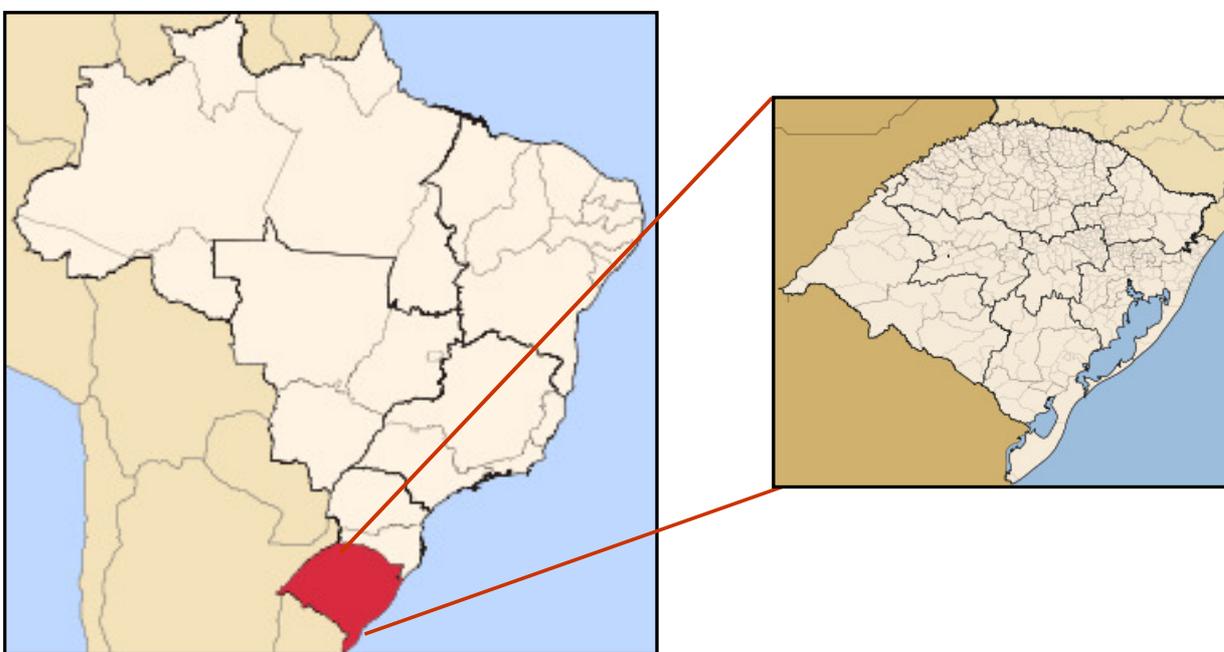


Figura 13 – Localização da área de estudo, o estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio\\_Grande\\_do\\_Sul#Aglomera.C3.A7.C3.B5es\\_urbanas](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Grande_do_Sul#Aglomera.C3.A7.C3.B5es_urbanas) (adaptado).

Uma grande diversidade de paisagens constitui o Rio Grande do Sul. O relevo apresenta altitudes que superam os 1.300m e campos que se encontram praticamente ao nível médio do mar. A vegetação também é bastante diversificada com importantes áreas remanescentes de Mata Atlântica.

No nordeste do Estado situam-se as terras mais altas do Planalto Meridional. O Pico do Monte Negro, com 1.410m de altitude, é o ponto mais alto do Estado, localizado próximo à cidade de São José dos Ausentes. No centro do Rio Grande do

Sul encontra-se a Depressão Central, onde o relevo não ultrapassa 400m de altitude. Ao sul localiza-se o Escudo Sul-Rio Grandense, com terras que não ultrapassam os 600m de altitude. A Planície Costeira corresponde a uma faixa arenosa com mais de 600km de extensão, com lagunas e lagos. As mais conhecidas são a Laguna Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e a Lagoa da Mangueira. Todas estas características podem ser observadas na Fig.14 e podem influenciar na velocidade e direção dos ventos.

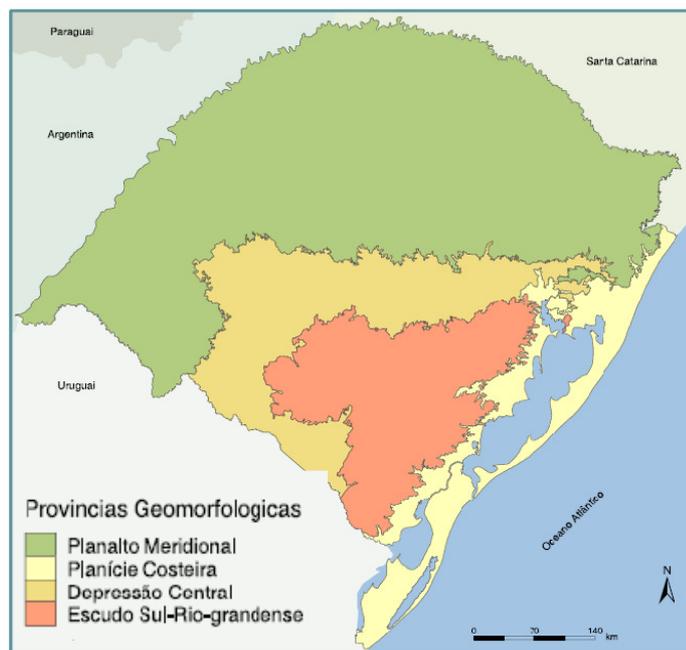


Figura 14 – Relevo do Rio Grande do Sul.

Fonte: ATLAS SÓCIO-ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2008.

Devido a sua localização na faixa subtropical, o Rio Grande do sul apresenta um clima de transição entre o tropical e o temperado, do tipo mesotérmico, sem uma distinção bem definida entre períodos chuvosos e secos (BRITO, 2004). A precipitação pluviométrica no Estado não é igualmente distribuída nas regiões e pode ser originada por diversos fatores. Estes mesmos fatores que causam precipitação geram também os ventos que, dependendo da região podem ser bastante intensos.

### 3.2 DADOS OBSERVADOS

Neste trabalho, foram utilizados os dados de velocidade do vento no Rio Grande do Sul, obtidos nos sites [www.meteo.infospace.ru](http://www.meteo.infospace.ru) e [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br), nos três horários de observação (00, 12 e 18 UTC). Para a obtenção de resultados significativos, optou-se por um trabalho envolvendo o maior número de anos possível. Levando em consideração o período de tempo com dados disponíveis nos endereços indicados e a qualidade dos mesmos, principalmente no que diz respeito à sua continuidade, o período escolhido envolveu os meses de março/2000 a dezembro/2007, para um total de 15 estações. As localizações geográficas das estações meteorológicas, cujos dados de ventos foram utilizados neste trabalho, são mostradas na Fig.15. Nota-se que estas estações estão bem distribuídas sobre o Estado, aspecto muito importante tendo em vista os objetivos deste estudo.

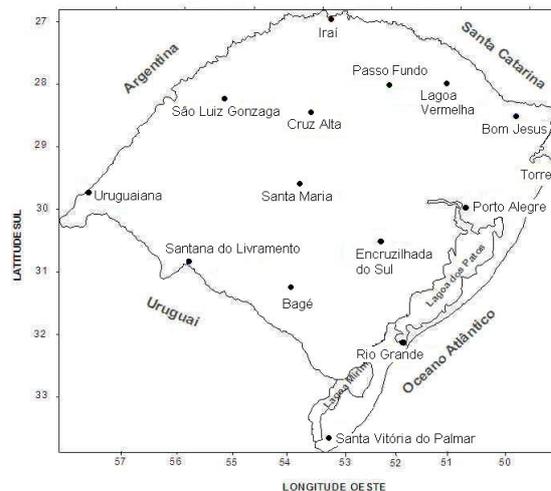


Figura 15 – Localização geográfica das estações meteorológicas de superfície no Rio Grande do Sul utilizadas neste trabalho.

As coordenadas geográficas (latitude/longitude) e a altitude de cada estação meteorológica utilizada estão indicadas na tab.1.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.

| <b>Estação Meteorológica</b>      | <b>Latitude(°S)</b> | <b>Longitude(°W)</b> | <b>Altitude(metros)</b> |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| 1) Bagé (BG)                      | 31,20               | 54,06                | 215                     |
| 2) Bom Jesus (BJ)                 | 28,38               | 50,26                | 1047                    |
| 3) Cruz Alta (CA)                 | 28,38               | 53,37                | 432                     |
| 4) Encruzilhada do Sul (ENC)      | 30,32               | 52,31                | 427                     |
| 5) Iraí (IRAI)                    | 27,11               | 53,14                | 222                     |
| 6) Lagoa Vermelha (LV)            | 28,13               | 51,32                | 842                     |
| 7) Passo Fundo (PF)               | 28,15               | 52,24                | 676                     |
| 8) Porto Alegre (POA)             | 30,01               | 51,13                | 46                      |
| 9) Rio Grande (RG)                | 32,01               | 52,05                | 2                       |
| 10) Santa Maria (STM)             | 29,42               | 53,42                | 95                      |
| 11) Santa Vitória do Palmar (STV) | 33,31               | 53,21                | 6                       |
| 12) Santana do Livramento (LIV)   | 30,83               | 55,60                | 328                     |
| 13) São Luiz Gonzaga (SLG)        | 28,24               | 55,01                | 254                     |
| 14) Torres (TOR)                  | 29,20               | 49,43                | 43                      |
| 15) Uruguaiana (URU)              | 29,45               | 57,05                | 74                      |

De posse dos dados de ventos no Estado durante o período disponível de cada estação, entre os anos 2002 a 2007, estes foram organizados em três arquivos distintos, segundo o horário de observação, indispensável para o reconhecimento de diferenças/semelhanças no campo de vento no decorrer do dia. Cada um destes arquivos foi analisado a fim de serem detectadas eventuais falhas nas seqüências de dados. Diniz (2002) comenta que, ao se trabalhar com séries de dados, é comum a existência de falhas sequenciais, causadas por deficiência no instrumento, desativação temporária ou permanente da estação, falta de observador, dentre outros. Nestas condições, é importante que seja feita uma verificação nos dados originais, para que a confiabilidade dos resultados esteja assegurada.

No caso deste trabalho foram constatadas falhas, por um período superior a 1/3 do tempo total (8 anos) disponível de dados, na estação de Bagé, nos três horários, e em Lagoa Vermelha, para o horário das 18UTC. Portanto, quando da utilização da técnica de Análise de Agrupamento para a identificação de regiões homogêneas de vento no Estado, estas estações não serão incluídas nos horários citados. Por outro lado, outros cálculos estatísticos e avaliações quanto à

variabilidade horária e mensal do vento incluirão estas estações, com a ressalva que estes serão obtidos sobre 4 anos e não sobre 8 anos de dados para estas duas estações.

Quanto à precisão das medidas de vento, aparelhos do tipo utilizados nas estações convencionais (anemômetros e anemógrafos de conchas), apresentam erros de aproximadamente  $\pm 0,5\text{m/s}$  e de 2º a 5º nos valores de velocidade e de direção do vento, respectivamente (OMM, 1990).

### **3.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA**

Todos os procedimentos estatísticos descritos nesta subseção foram aplicados aos dados obtidos nos horários de observação (00, 12 e 18 UTC), de forma independente, e abrangendo o período total de dados disponível em cada estação.

O comportamento espaço-temporal da velocidade do vento nas 15 localidades em estudo consistiu em uma análise horária e mensal, separadamente. Foram obtidas as medidas estatísticas de tendência central (média, mediana e moda) e as de variabilidade (variância, desvio padrão). Em seguida, foi utilizada uma distribuição de probabilidade estatística para descrever o comportamento dos ventos em cada um dos horários. Por fim, foi aplicada uma técnica de agrupamento não-hierárquica, utilizando o método *K-means*, para identificar regiões homogêneas no Estado para as velocidades dos ventos. Todos estes procedimentos são descritos a seguir.

#### **3.3.1 A DISTRIBUIÇÃO WEIBULL**

A distribuição Weibull é muito utilizada para descrever o comportamento da distribuição de frequência de valores extremos (WILKS, 2005), tal como valores elevados de velocidade do vento ou de precipitação.

Justus et al. (1978) sugeriram algumas metodologias para a estimativa dos parâmetros de forma  $k$  e de escala  $c$  em função dos dados de vento disponíveis. Os autores utilizam as seguintes equações para definir a função densidade de

probabilidade (equação 2) e a função de distribuição acumulada de Weibull (equação 3):

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

onde:

$c$  é o parâmetro de escala, em unidade de velocidade de vento [m/s],

$k$  é o parâmetro de forma, adimensional e

$v$  é a velocidade do vento, em m/s.

O parâmetro  $k$  está relacionado com a dispersão dos valores de velocidade e o parâmetro  $c$  representa um valor de velocidade média do vento abaixo do qual se encontram 63,2% dos dados. Segundo Justus et al. (1978), o parâmetro  $k$  é inversamente proporcional à variância, ou seja, para um mesmo valor do parâmetro  $c$ , o aumento de  $k$  faz diminuir a variância das velocidades do vento.

Diferentes métodos podem ser utilizados para a obtenção destes dois parâmetros da distribuição Weibull. No âmbito do presente trabalho, os parâmetros de forma  $k$  e de escala  $c$  da distribuição de Weibull foram estimados pelo Método da Máxima Verossimilhança. Segundo Catalunha et al. (2002) e Silva et al. (2003) o Método da Máxima Verossimilhança consiste em determinar os parâmetros  $c$  e  $k$  pelas equações 4 e 5, mostradas abaixo:

$$c = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i^k)}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (4)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} - \frac{1}{k} = 0 \quad (5)$$

onde:

$c$  é o parâmetro de escala, em unidade de velocidade do vento,

$k$  é o parâmetro de forma, adimensional e

$v_i$  é a média das velocidades nos horários 00, 12 e 18UTC no período total de anos de cada estação,

$n$  é o número de dados não-nulos da amostra.

Um modo simples de compreender o significado dos parâmetros da distribuição Weibull é mostrado nas Fig.16 e Fig.17. Nestas figuras são mostradas as curvas da distribuição Weibull construídas para as velocidades médias diárias, calculadas nos horários de observação sobre o número total de 8 anos, da estação localizada em Iraí. A Fig.16 mostra duas curvas da distribuição Weibull que apresentaram mesmo valor do parâmetro  $k$  ( $k=3$ ) para o mês de abril (às 00UTC com  $c=0,8\text{m/s}$ ) e de outubro (às 12UTC com  $c=2\text{m/s}$ ). Este valor de  $k$ , considerado elevado, indica que, nestes meses, as velocidades em Iraí apresentaram pouca variabilidade em torno dos valores de velocidade indicados pelo valor do parâmetro  $c$ , pois este está relacionado com o valor da velocidade média da localidade, para aquele mês e horário.

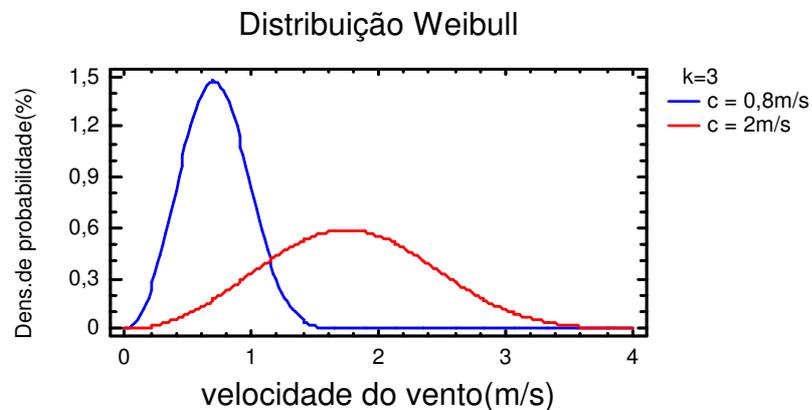


Figura 16 – Curvas da distribuição Weibull para a estação de Iraí, com dois valores do parâmetro  $c$  ( $c= 0,8\text{m/s}$ ,  $c= 2\text{m/s}$ ) e parâmetro  $k=3$ . A curva em azul corresponde aos valores de velocidades médias obtidos no mês de abril as 00UTC e a curva em vermelho para o mês de outubro, as 12UTC.

A tab.2 mostra os valores da média e da variância das velocidades de Iraí, observadas nos meses de abril (às 00UTC) e de outubro (às 12UTC), calculadas sobre 8 anos de dados. De fato, observam-se que os valores de velocidade média são muito próximos dos valores do parâmetro  $c$  para ambos os meses.

Tabela 2 - Média e variância das velocidades do vento observadas em Iraí nos meses de abril (às 00UTC) e de outubro (às 12UTC), calculadas sobre 8 anos de dados.

| $k=3$     | Abril<br>(00UTC)  | Outubro<br>(12UTC) |
|-----------|-------------------|--------------------|
|           | $c=0,8\text{m/s}$ | $c=2\text{m/s}$    |
| Média     | 0,7               | 1,8                |
| Variância | 0,82              | 2,4                |

A Fig.17 mostra duas curvas da distribuição Weibull, também para a estação de Iraí, mas desta vez para dois valores do parâmetro  $k$  ( $k= 0,8$ ;  $k= 1,9$ ) e com um valor constante do parâmetro  $c$  ( $c=0,8\text{m/s}$ ). A curva em azul corresponde aos valores de velocidades médias obtidos no mês de abril às 00UTC e a curva em vermelho para o mês de julho, também às 00UTC. A curva com parâmetro  $k=1,9$  (em vermelho) apresenta largura maior que aquela com valor de  $k=3$  (em azul), indicando que a variabilidade das velocidades do vento em Iraí, no mês de julho às 00UTC é maior que em abril às 00UTC.

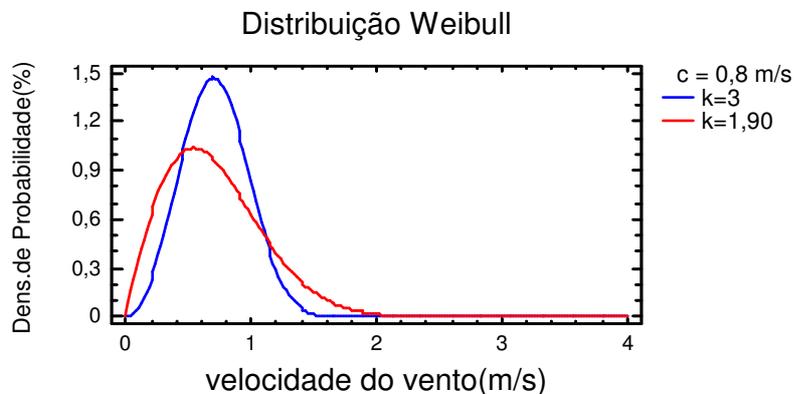


Figura 17- Curvas da distribuição Weibull para a estação de Iraí, com dois valores do parâmetro  $k$  ( $k= 0,8$ ,  $k= 1,9$ ) e parâmetro  $c=0,8\text{m/s}$ . A curva em azul corresponde aos valores de velocidades médias obtidos no mês de abril às 00UTC e a curva em vermelho para o mês de julho, as 00UTC.

A maior variabilidade das velocidades médias dos ventos em Iraí às 00UTC é refletida nos valores de variância para estes dois meses, como mostra a tab.3. É interessante também notar que, tendo em vista o valor igual do parâmetro  $c$ , o valor médio das velocidades nos meses de abril e de julho, às 00UTC em Iraí foram iguais.

Tabela 3 - Média e variância das velocidades do vento observadas em Iraí nos meses de abril e julho, às 00UTC, calculadas sobre 8 anos de dados.

| $c=0,8\text{m/s}$ | Abril<br>(00UTC) | Julho<br>(00UTC) |
|-------------------|------------------|------------------|
|                   | $k=3,0$          | $k=1,9$          |
| Média             | 0,7              | 0,7              |
| Variância         | 0,82             | 1,3              |

Para cada uma das 15 estações meteorológicas utilizadas, para cada um dos 3 horários de observação diários e para todos os meses das séries de dados com velocidade do vento a 10m de altura disponíveis, foi aplicada a distribuição Weibull. A finalidade deste procedimento foi o de obter os valores dos parâmetros  $k$  e  $c$  em cada estação para, desta forma, identificar as localidades com ventos fortes no Rio Grande do Sul com espectro pequeno de variação.

### 3.3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A análise de agrupamento consiste em um conjunto de técnicas que tem por objetivo identificar padrões em um conjunto de elementos. Assim, os elementos que apresentam uma maior semelhança entre si ficam em um mesmo grupo. A análise de agrupamento pode ser dividida em duas técnicas principais: hierárquicas e não-hierárquicas que se distinguem pela metodologia utilizada na construção dos grupos, como dito anteriormente.

Neste trabalho foi aplicada a técnica não-hierárquica, caracterizada pela produção de agrupamentos com número de grupos escolhido previamente. Dentre as metodologias (ou algoritmos) utilizadas nas técnicas não-hierárquicas para gerar um agrupamento, podem ser citados: o algoritmo *K-means*, no qual o grupo é representado por uma média de todos os seus elementos e o algoritmo *K-medoids*, no qual o grupo é representado por um elemento próximo ao centro deste (GUIDINI; RIBEIRO, 2008). O resultado final de um bom agrupamento depende fundamentalmente do algoritmo escolhido para medir a similaridade intragrupos e intergrupos. Esta similaridade, que pode ser alta ou baixa, é normalmente medida a partir da análise das distâncias euclidianas entre os pares em cada padrão.

Para reunir padrões semelhantes de velocidade do vento nas diferentes localidades do Rio Grande do Sul, foi aplicado o algoritmo *K-means*.

### 3.3.2.1 ALGORITMO *K-MEANS*

O método *K-means* consiste em agrupar os  $n$  elementos em um dos  $K$  grupos definidos previamente, de modo que as estações que ficam em um determinado grupo sejam semelhantes entre si, relativamente à variável agrupada. No âmbito deste trabalho, as estações foram reunidas em 4 grupos. Este valor foi estabelecido tendo em vista os trabalhos feitos por Gruppelli et al. (2008) e Costa (2008) que, com dados de precipitação e de valores do teste t, agruparam o Rio Grande do Sul em 4 grupos, utilizando 25 e 13 estações meteorológicas, respectivamente.

A execução do algoritmo *K-means* pode ser descrita como uma sequência de etapas (WILKS, 2005; CASTRO; PRADO, 2002). O exemplo comentado abaixo serve para explicar, em detalhes, as diferentes etapas com os quais as estações ficaram agrupadas nos  $K$  grupos estabelecidos. Consideremos um conjunto de  $n$  elementos, representados por  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) elementos a serem divididos em  $K$  grupos.

Etapa 1 – nesta etapa, ilustrada na Fig.18, são escolhidos arbitrariamente os  $K$  centros iniciais. Estes centros iniciais são os chamados centróides  $Z_K$ , onde  $K=1, 2$  e 3 (neste exemplo). Os centróides estão representados pelos círculos nas cores vermelha, verde e azul. Os quadrados, na cor cinza, representam os  $n$  elementos da amostra.

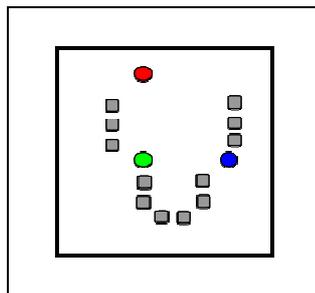


Figura 18 – Ilustração da etapa 1 do algoritmo *K-means*: escolha arbitrária dos  $K$  centróides. Os círculos coloridos (em vermelho, azul e verde) representam os 3 centróides e os quadrados (em cinza) representam os  $n$  elementos a serem agrupados.

Etapa 2 – nesta etapa cada um dos  $n$  elementos ( $x_i$ ) é associado a um centróide. Esta associação, ilustrada na Fig.19, normalmente é feita tendo como base o cálculo da distância Euclidiana entre cada elemento e o centróide, dada pela equação (6):

$$d = \|x_i - Z_K\| = \sqrt{\sum_{i=1}^K (x_i - Z_K)^2} \quad (6)$$

onde:

$d$  = distância Euclidiana

$x_i$  = cada elemento,  $i=1,2,\dots,n$

$Z_K$  = centróide de cada grupo  $K$

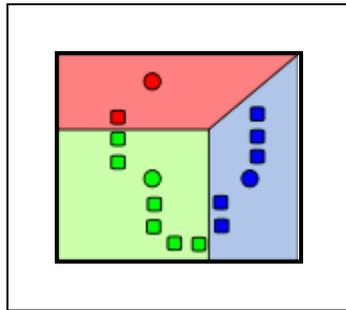


Figura 19 – Ilustração da etapa 2 do algoritmo *K-means*: associação dos  $n$  elementos aos  $K$  grupos. Os elementos de cada grupo estão nas mesmas cores dos respectivos centróides.

Etapa 3 – nesta etapa os centróides são atualizados. Esta atualização é feita a partir dos resultados da etapa 2, para minimizar as distâncias euclidianas de cada elemento do grupo ao novo centróide. A Fig.20 ilustra esta etapa.

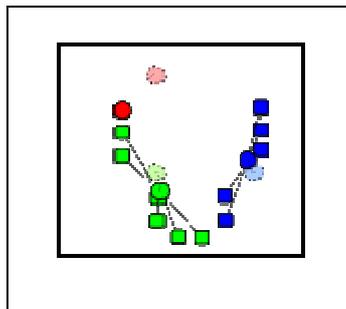


Figura 20 - Ilustração da etapa 3 do algoritmo *K-means*: escolha dos novos centróides, a partir das distâncias euclidianas calculadas na etapa 2. Os centróides escolhidos na etapa 1 estão indicados pelos círculos em cores mais suaves. Os centróides escolhidos na etapa 3, resultantes do cálculo da distância euclidiana, estão indicados pelos círculos em cores mais fortes.

Etapa 4 – nesta etapa é realizada a comparação entre os centróides escolhidos na etapa 1 ( $Z_K$ , Fig.18) e os novos centróides escolhidos na etapa 3 ( $Z_{K+1}$ , Fig.20). Se estes forem diferentes, então os centróides  $Z_K$  são substituídos pelos centróides  $Z_{K+1}$ , os  $n$  elementos são re-distribuídos em cada grupo e repete-se a etapa 2. Esta redistribuição de elementos nos grupos é ilustrada na Fig.21. Quando os centróides

$Z_{K+1}$  e  $Z_K$  forem iguais, significa que o algoritmo convergiu e o processo está terminado, com cada elemento em seu respectivo grupo.

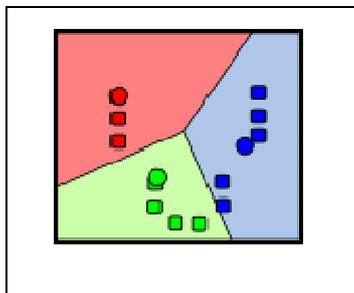


Figura 21 - Ilustração da etapa 4 do algoritmo *K-means*: redistribuição dos  $n$  elementos nos respectivos grupos.

Na análise de agrupamento, a falta de dados não é permitida. Portanto, no âmbito deste estudo, a técnica de agrupamento foi aplicada aos valores médios em períodos pentadais, calculados sobre 8 anos de dados de vento. No procedimento de identificação das regiões homogêneas de ventos não foram consideradas as estações de Bagé e Lagoa Vermelha, devido às falhas de dados que, para este procedimento, são proibitivas.

A decisão de se identificar regiões homogêneas pentadais ocorreu para evitar a perda das informações das velocidades de vento de pequena escala temporal, uma vez que o vento é um dos elementos meteorológicos com maior variação espaço-temporal. A partir da série de dados das velocidades do vento foram calculadas as médias por dia de cada um dos três horários, separadamente, no período de 8 anos. Estas médias de velocidade do vento foram organizadas na forma de uma matriz, por mês. Em seguida cada mês foi dividido em seis períodos, ou seja, foram obtidas seis matrizes de cinco dias cada, com exceção dos meses com 31 dias, quando a última matriz teve seis dias e do mês de fevereiro. Como este mês tem 28 ou 29 dias, a última matriz teve apenas 3 ou 4 dias, respectivamente. Posteriormente, as matrizes foram utilizadas para a composição do agrupamento pelo método *K-means* com o uso do pacote estatístico SPSS.

### 3.4 TESTE DAS PARAMETRIZAÇÕES DE CLP DO MODELO MM5

Nesta parte do trabalho foi feita a escolha de um caso de estudo, em que foram observadas velocidades do vento superiores a 5m/s, visando testar duas opções de parametrização de CLP disponíveis no modelo MM5. Estes testes foram realizados com o intuito de se verificar quais, dentre os dois esquemas de parametrização de CLP, forneceriam melhores resultados para as velocidades do vento observadas.

Para a escolha do estudo de caso, inicialmente, foi feita uma classificação das velocidades observadas a 10m de altura em 3 categorias: 0 a 4.9m/s, 5 a 9.9m/s e  $\geq 10$ m/s, por horário de observação e para cada uma das 15 estações meteorológicas. Em seguida, foi feita uma análise de frequência da ocorrência de dias com velocidades de vento, de acordo com as classes citadas. Os critérios de seleção para o caso de estudo foram:

1. velocidades observadas de 5m/s, no mínimo;
2. dias consecutivos com velocidades iguais ou superiores a 5m/s em uma estação;
3. estações no Estado que satisfazem os critérios 1 e 2.

Seguindo estes critérios, foram identificados alguns casos, dos quais a maioria esteve relacionada com ocorrência de ciclones extratropicais, como mostraram as imagens de satélite. Por este motivo, optou-se por escolher o ciclone extratropical que ocorreu entre os dias 9 e 13 de novembro de 2002.

Para este sistema foram obtidos campos meteorológicos com o modelo MM5. De posse destes campos, o desenvolvimento do ciclone selecionado foi analisado seguindo a teoria quase-geostrófica, descrito em Carlson (1991, cap.10).

Concluída a etapa de análise das condições de grande escala associadas a este ciclone extratropical, passou-se aos experimentos com o modelo MM5 relativos às escolhas das parametrizações de CLP para 3 dias: dia anterior à maturação, dia de maturação, dia posterior à maturação do sistema. Todas as explicações pertinentes ao modelo MM5 são dadas a seguir.

### 3.5 O MODELO DE MESOESCALA MM5

O sistema de modelagem física MM5 (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>) é um sistema de simulação, desenvolvido no final da década de 70 pela Universidade Estadual da Pensilvânia (*Penn State University*) em conjunto com o Centro Nacional para Pesquisas Atmosféricas (NCAR, EUA). Este modelo, de domínio público, foi construído para simulação e previsão da circulação atmosférica de escala regional ou mesoescala. É um modelo de área limitada, não-hidrostático, utiliza a coordenada vertical sigma para o contorno do terreno e seu código numérico é dividido em módulos para facilitar o desenvolvimento computacional. Permite múltiplos aninhamentos de grade e assimilação quadridimensional de dados (*nudging*). O MM5 é um modelo de equações primitivas em coordenadas  $(x, y, \sigma)$  finitamente diferenciadas usando a grade tipo B de Arakawa (COX et al., 1998; DUDHIA, 1993). Alguns de seus termos são integrados no tempo por um esquema *leapfrog* de segunda ordem, enquanto que os restantes, por um esquema *time-splitting* (DUDHIA et al., 2005). Inúmeras opções de parametrizações físicas são oferecidas aos usuários, sendo que a maioria destas foi desenvolvida a partir de medidas realizadas, principalmente, nos Estados Unidos.

#### 3.5.1 CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES PARA OBTER AS CONDIÇÕES DE GRANDE ESCALA ASSOCIADAS AO CASO DE ESTUDO

O domínio selecionado envolveu toda a América do Sul e Oceanos adjacentes, como mostra a Fig. 22. O espaçamento horizontal entre os pontos foi de 90km, com 23 níveis verticais (padrão do MM5) e dados de entrada de reanálise do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) com 2,5° de resolução em latitude e longitude, disponíveis no site <http://www.cdc.noaa.gov/>. As parametrizações utilizadas foram as constantes no trabalho de Santos A.F. et al. (2004). O período simulado envolveu os dias 9 a 13 de novembro de 2002.

Os campos meteorológicos de grande escala obtidos desta forma permitiram caracterizar a evolução do ciclone extratropical, segundo a teoria quase-geostrófica.

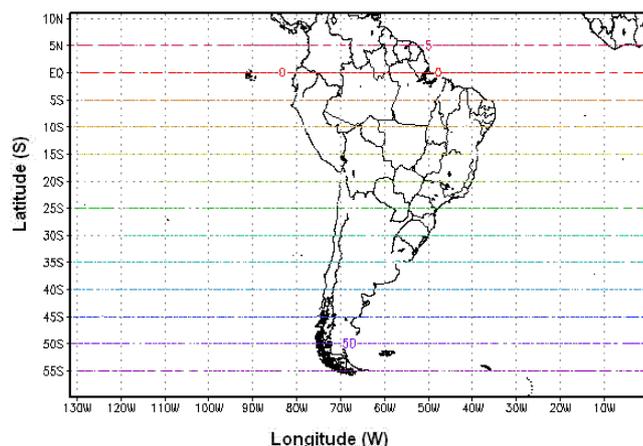


Figura 22 – Domínio utilizado para a avaliação das condições de grande escala associadas ao caso de estudo (ciclone extratropical), com resolução horizontal de 90km.

### 3.5.2 CONFIGURAÇÕES DOS EXPERIMENTOS DE SENSIBILIDADE QUANTO À ESCOLHA DAS PARAMETRIZAÇÕES DE CLP

A CLP é representada em modelos de mesoescala, principalmente, pelos termos de correlação de escala sub-grade. Os efeitos sub-grade aparecem porque o tamanho da grade do modelo é grande demais para resolver explicitamente a pequena escala dos fluxos encontrados na CLP.

Alguns pesquisadores, nas décadas de 1970 e 1980, trataram a CLP como sendo uma única camada. Mais recentemente, as parametrizações da CLP a tratam como constituída de algumas camadas sobrepostas: subcamada laminar, camada superficial e camada de transição. Em cada uma destas camadas existe um elenco de equações para definir as quantidades desconhecidas.

Nesta parte do trabalho, as simulações foram realizadas com duas grades aninhadas. O espaçamento horizontal entre os pontos no domínio maior (D1) foi de 27km e no domínio menor (D2) foi de 9km, ambos centrados no ponto 30,5°S de latitude e 54°W de longitude, como mostra a Fig. 23. A resolução topográfica foi de 19km para o domínio maior e de 0,9km para o domínio menor.

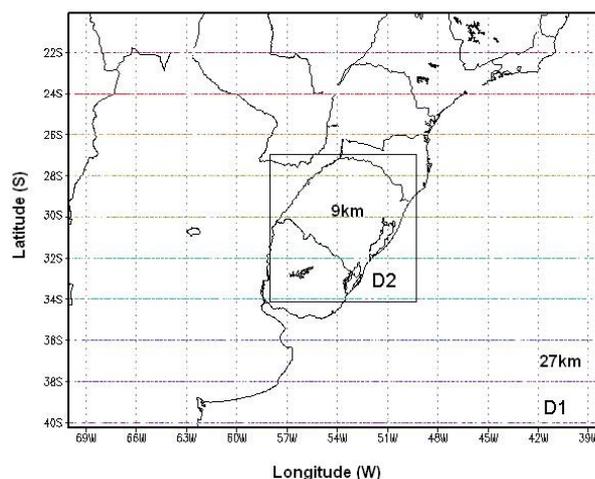


Figura 23 – Domínio maior (D1) com resolução horizontal de 27km e domínio menor (D2) com resolução horizontal de 9km, utilizados nos testes de sensibilidade das parametrizações de CLP com o modelo MM5.

Para privilegiar a restituição das variáveis meteorológicas na CLP, foram utilizados 35 níveis sigma na vertical, assim distribuídos: 1.0 (na superfície), 0.99, 0.98, 0.97, 0.96, 0.95, 0.94, 0.93, 0.92, 0.91, 0.90, 0.89, 0.72, 0.52, 0.47, 0.42, 0.39, 0.38, 0.37, 0.36, 0.33, 0.34, 0.31, 0.27, 0.24, 0.23, 0.22, 0.18, 0.14, 0.13, 0.12, 0.11, 0.10, 0.07, 0.02 (topo).

Nos experimentos foram simulados três dias: o dia de máximo desenvolvimento do ciclone, um dia antes e um dia depois. As simulações tiveram duração total de 24 horas com início às 00UTC de cada dia. A resolução temporal dos campos de saída foi horária. Os dados de entrada utilizados nos experimentos foram do NCEP, com resolução espacial de 1º de latitude e de 1º longitude, disponíveis no site <http://dss.ucar.edu/datasets/ds083.2>.

O modelo MM5 tem um elenco variado de esquemas das parametrizações dos processos físicos que ocorrem à escala sub-grade. As parametrizações deste modelo são: de microfísica, de convecção, de camada limite planetária, de radiação e de temperatura de solo.

No presente trabalho, tendo em vista o objetivo de simular e validar velocidades dos ventos a 10m de altura no Rio Grande do Sul para um caso de estudo, os testes de sensibilidade ficaram restritos às parametrizações de camada limite planetária. Evidentemente as comparações entre os resultados obtidos em cada um dos experimentos com os dados observados, não fornecerão conclusões definitivas a respeito da melhor ou pior qualidade de uma determinada

parametrização. O que se pretende é detectar qual das parametrizações é mais adequada para a situação meteorológica escolhida na região do Rio Grande do Sul.

As parametrizações de microfísica, de convecção, de radiação e de temperatura de solo foram fixadas e encontram-se na tab.4 para os dois domínios (D1 e D2). As opções de parametrizações de CLP a serem testadas são mostradas na tab.5.

Tabela 4 – Opções fixas das parametrizações de convecção, de microfísica, de radiação e de solo utilizadas no caso de estudo, para os domínios de 27km e 9km. As parametrizações de CLP passarão por testes de sensibilidade.

|                                 | <b>Opções das parametrizações físicas</b>        |  |
|---------------------------------|--|--|
|                                 | <b>Domínio 1 – 27km</b>                          | <b>Domínio 2 – 9km</b>                           |
| <b>Microfísica</b>              | Mixed phase (REISNER et al., 1998)               | Mixed phase (REISNER et al., 1998)               |
| <b>Convecção</b>                | Grell (GRELL, 1993; GRELL et al., 1995)          | Kain-Fritsch 2 (KAIN; FRITSCH, 1993; KAIN, 2004) |
| <b>Radiação</b>                 | CCM2 (HACK, 1994)                                | CCM2 (HACK, 1994)                                |
| <b>Solo</b>                     | Five-Layer Soil Model (DUDHIA, 1996)             | Five-Layer Soil Model (DUDHIA, 1996)             |
| <b>Camada Limite Planetária</b> | Blackadar (BLACKADAR, 1979, ZHANG; ANTHES, 1982) | a serem testadas (ver tab.5)                     |

Tabela 5 – Testes de sensibilidade com duas opções de parametrizações de CLP no domínio de 9km, para o caso de estudo selecionado.

|                      | <b>Parametrizações de Camada Limite Planetária</b> |
|----------------------|--|
|                      | <b>Domínio 2 – 9km</b>                             |
| <b>Experimento 1</b> | Blackadar (BLACKADAR, 1979, ZHANG; ANTHES, 1982)   |
| <b>Experimento 2</b> | MRF (HONG; PAN, 1996)                              |

É importante reiterar que os experimentos com as parametrizações de CLP Blackadar e MRF do MM5 requerem escolhas específicas quanto as opções de parametrização de solo e de difusão de mistura vertical, devido a restrições inerentes ao próprio modelo, descritas no Manual do usuário (DUDHIA et al., 2005, cap.8).

### 3.6 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma vez concluídos os experimentos, os valores simulados de velocidades dos ventos a 10m de altura, obtidos no domínio menor (D2), foram confrontados com os valores observados nas estações meteorológicas.

Para a validação dos resultados, Wilks (2005) e Joliffe e Stephenson (2003) discutem vários métodos de verificação das previsões, aplicados a conjuntos de pares valores observados/valores previstos. A importância dos procedimentos de validação dos resultados reside no fato de que, após esta verificação, é possível avaliar qual das parametrizações de CLP foi mais adequada para uma determinada localidade. No âmbito deste trabalho, foram calculados os índices citados abaixo.

#### ERRO DE VIÉS

O erro de viés BE (*Bias Error*) mede a tendência do modelo para superestimar ou subestimar uma variável (JOLIFFE; STEPHENSON, 2003). É definido matematicamente para uma variável  $x$  como:

$$BE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^p - x_i^o) \quad (7)$$

onde:

$N$  é o número de observações/previsões

$x_i^p$  é o valor previsto

$x_i^o$  é o valor observado

Para valores positivos de viés há uma indicação de predisposição do modelo em superestimar uma variável em particular. Caso contrário, o indicativo é de que o modelo subestima a variável.

#### RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO

A raiz do erro médio quadrático RMSE (*Root Mean Square Error*) é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre os valores previstos e os observados ((JOLIFFE; STEPHENSON, 2003). É uma medida do erro típico da

previsão do modelo. Quanto maior o RMSE, maior o erro da previsão. Valores próximos de zero indicam uma previsão quase perfeita. O RMSE é calculado matematicamente pela equação:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^p - x_i^o)^2} \quad (8)$$

onde:

$N$  é o número de observações/previsões

$x_i^p$  é o valor previsto

$x_i^o$  é o valor observado

#### **DESVIO PADRÃO DOS ERROS**

O desvio padrão dos erros DPE indica os erros não sistemáticos. Este índice representa os erros associados às incertezas nas condições iniciais e de contorno ou nos erros dos valores observados (ZHONG; FAST, 2003). É dado pela seguinte equação:

$$\text{DPE} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [(x_i^p - x_i^o) - BE]^2} \quad (9)$$

onde:

$N$  é o número de observações/previsões

$x_i^p$  é o valor previsto

$x_i^o$  é o valor observado

$BE$  = erro de viés, dado pela equação (7).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção está dividida em duas partes: na primeira, são mostrados todos os resultados obtidos com os dados observados e, na segunda parte, são mostrados os resultados obtidos com o uso do modelo MM5.

### 4.1 VARIAÇÃO DAS VELOCIDADES MÉDIAS MENSIS POR HORÁRIO DE OBSERVAÇÃO

A Fig.24 mostra os valores médios mensais das velocidades do vento, calculadas para o período total de anos de cada uma das 15 estações meteorológicas, e nos três horários sinóticos (separadamente), de janeiro a dezembro. Inicialmente, observa-se que as velocidades do vento às 12 e 18UTC são superiores àquelas observadas às 00UTC. A seguir estão indicados alguns comportamentos diferenciados entre as estações:

- a) as maiores velocidades médias foram observadas na cidade de Santa Vitória do Palmar (Fig.24l). Em seguida, apareceram as cidades de Passo Fundo (Fig.24g), Santana do Livramento (Fig.24m) e Bagé (Fig.24a);
- b) as cidades de Encruzilhada do Sul (Fig.24d) e Porto Alegre (Fig.24h) apresentaram velocidades médias inferiores a 2m/s em qualquer horário e em qualquer mês;
- c) nas cidades de Iraí (Fig.24e) e de Torres (Fig.24o) as velocidades médias às 18UTC foram marcadamente superiores aos demais horários, de janeiro a dezembro;
- d) em Santa Maria (Fig.24j) as velocidades médias aumentaram com o horário, em todos os meses;
- e) em Rio Grande (Fig.24i) as velocidades médias do vento, nos três horários, apresentaram valores maiores nos meses de primavera e verão, e menores nos meses de outono e inverno. Em Uruguaiana (Fig.24p) os maiores valores foram observados na primavera.

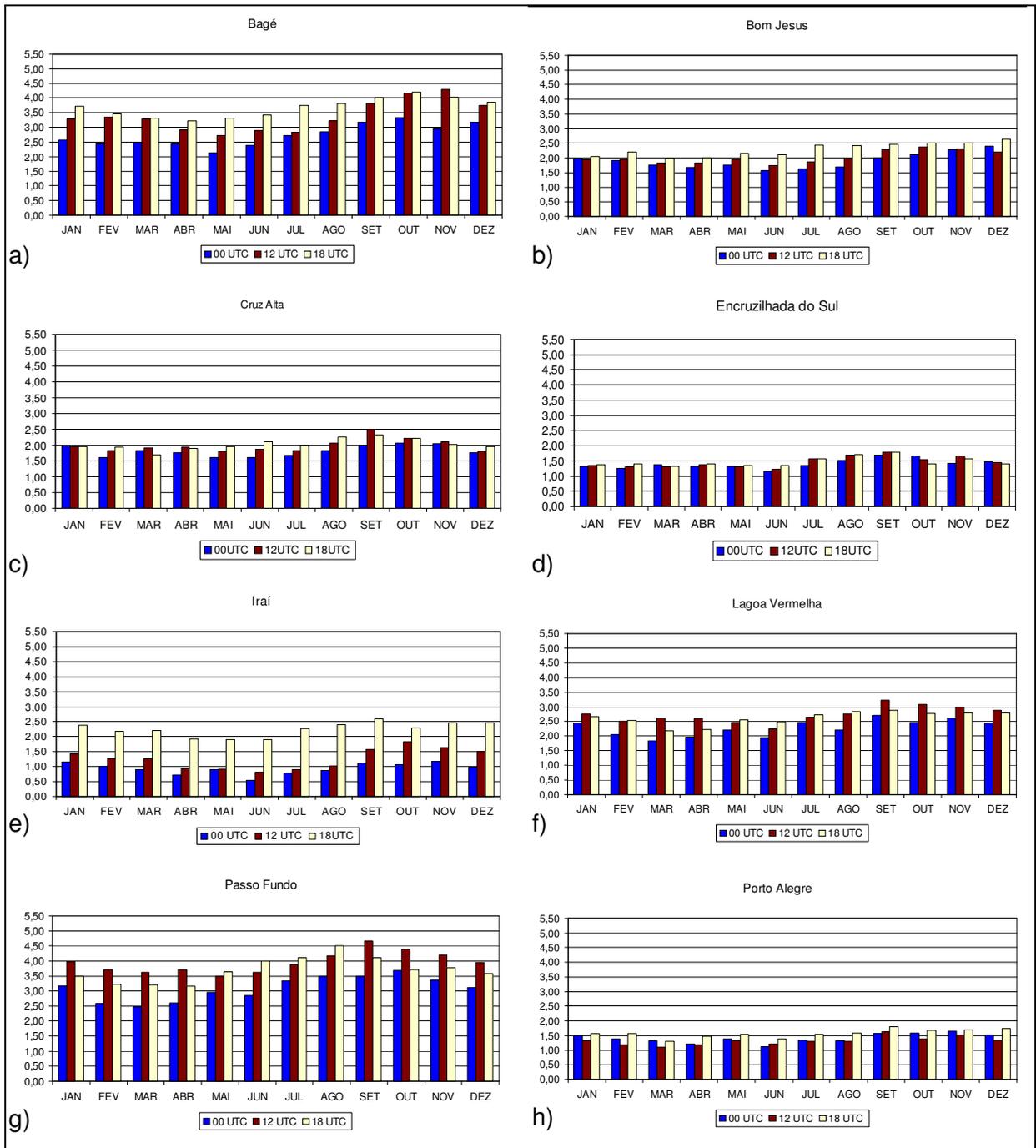


Figura 24 – Média das velocidades do vento das estações meteorológicas: a) Bagé; b) Bom Jesus; c) Cruz Alta; d) Encruzilhada do Sul; e) Iraí; f) Lagoa Vermelha; g) Passo Fundo; h) Porto Alegre; i) Rio Grande; j) Santa Maria; l) Santa Vitória do Palmar; m) Santana do Livramento; n) São Luiz Gonzaga; o) Torres; p) Uruguaiana.

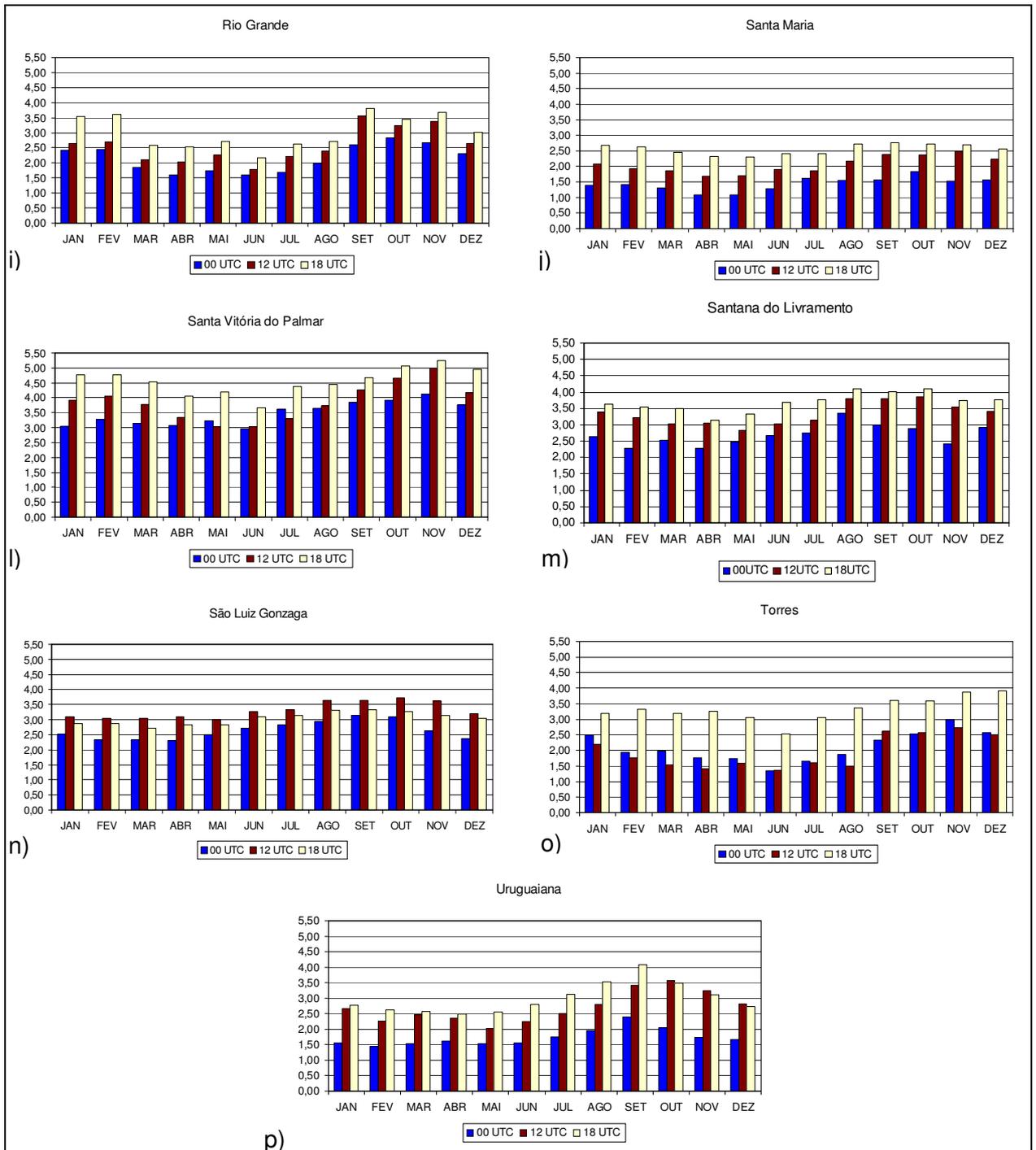


Figura 24 – Continuação.

A Fig.24 mostrou variações típicas das velocidades do vento nas estações avaliadas. Entretanto, a partir dos valores médios mostrados não é possível saber/sugerir as causas destas variações. Para uma análise desta natureza, é necessário realizar um estudo evidenciando o grau de interferência dos fatores geográficos, topográficos e meteorológicos (de todas as escalas do movimento e suas interações), responsáveis pelas velocidades dos ventos observados. Ainda, o

fato de estações meteorológicas apresentarem comportamentos semelhantes de ventos (ou de qualquer outra variável meteorológica) não significa que elas estejam localizadas próximas uma das outras. Também, o fato de uma estação apresentar valores elevados de velocidade não significa que eles sejam os predominantes. Neste sentido, a aplicação de uma distribuição estatística aos dados de velocidades consiste numa ferramenta muito útil.

#### 4.2 A DISTRIBUIÇÃO WEIBULL

Para as estações com período total de oito anos de dados, as tab.6 e tab.7 mostram os valores mais elevados dos parâmetros de forma  $k$  e de escala  $c$  da distribuição Weibull, respectivamente, obtidos nos meses de janeiro a dezembro, separadamente nos horários das 00, 12 e 18UTC. No Apêndice B encontram-se as tabelas para todas as estações, com os respectivos valores de  $k$  e  $c$ , nos três horários de observação.

Tabela 6 – Maiores valores de  $k$  obtidos nos meses de janeiro a dezembro, nos horários das 00,12 e 18UTC, de estações do Rio Grande do Sul que apresentaram oito anos de dados. (BJ=Bom Jesus, PF=Passo Fundo, STM=Santa Maria, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga).

|     | 00UTC | $k$ | 12UTC | $k$ | 18UTC | $k$  |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|------|
| Jan | SLG   | 6,4 | BJ    | 8,0 | PF    | 7,1  |
| Fev | BJ    | 7,8 | PF    | 7,2 | STM   | 8,8  |
| Mar | SLG   | 6,4 | SLG   | 7,9 | STM   | 9,9  |
| Abr | SLG   | 6,9 | SLG   | 7,8 | STM   | 8,4  |
| Mai | SLG   | 8,0 | SLG   | 8,2 | STM   | 7,3  |
| Jun | SLG   | 8,6 | SLG   | 7,6 | SLG   | 6,1  |
| Jul | SLG   | 8,7 | SLG   | 8,3 | STM   | 7,9  |
| Ago | SLG   | 8,2 | SLG   | 9,1 | PF    | 8,5  |
| Set | LIV   | 6,5 | PF    | 9,0 | STM   | 8,0  |
| Out | PF    | 7,1 | SLG   | 8,1 | SLG   | 7,7  |
| Nov | BJ    | 6,5 | SLG   | 8,0 | SLG   | 10,4 |
| Dez | SLG   | 7,8 | BJ    | 7,0 | STM   | 9,3  |

Tabela 7 – Maiores valores de  $c$  obtidos nos meses de janeiro a dezembro, nos horários das 00,12 e 18UTC, de estações do Rio Grande do Sul que apresentaram oito anos de dados. (PF=Passo Fundo, STV=Santa Vitória do Palmar)

|     | 00UTC | $c$ | 12UTC | $c$ | 18UTC | $c$ |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| Jan | PF    | 3,4 | STV   | 4,2 | STV   | 5,1 |
| Fev | STV   | 3,4 | STV   | 4,3 | STV   | 4,9 |
| Mar | STV   | 3,4 | STV   | 4,1 | STV   | 4,8 |
| Abr | STV   | 3,3 | PF    | 4,0 | STV   | 4,4 |
| Mai | STV   | 3,5 | PF    | 3,7 | STV   | 4,5 |
| Jun | STV   | 3,2 | PF    | 3,8 | PF    | 4,2 |
| Jul | STV   | 4,0 | PF    | 4,2 | STV   | 4,7 |
| Ago | STV   | 4,0 | PF    | 4,5 | STV   | 4,9 |
| Set | STV   | 4,2 | PF    | 4,9 | STV   | 5,1 |
| Out | STV   | 4,3 | STV   | 5,0 | STV   | 5,5 |
| Nov | STV   | 4,5 | STV   | 5,4 | STV   | 5,7 |
| Dez | STV   | 4,0 | STV   | 4,4 | STV   | 5,3 |

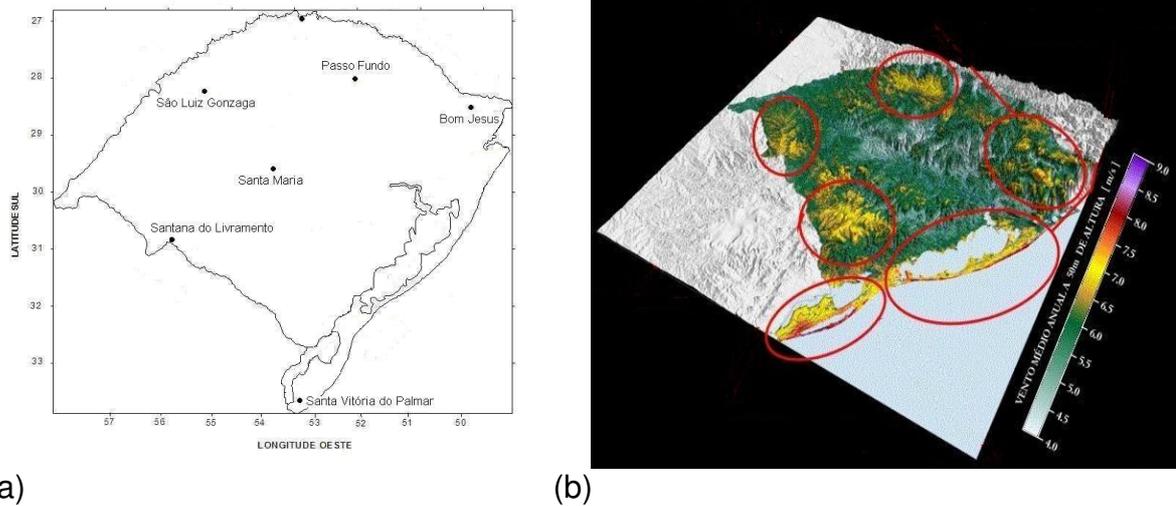
As tab.6 e tab.7 mostram os maiores valores dos parâmetros  $k$  e  $c$  da distribuição Weibull, respectivamente. Em ambas as tabelas e em cada um dos três horários algumas estações ficam evidenciadas durante o ano. Na tab.6, destaca-se as estações de São Luiz Gonzaga e, na tab.7, a estação de Santa Vitória do Palmar. Significa que em São Luiz Gonzaga os valores das velocidades apresentam pequena variação, enquanto que em Santa Vitória do Palmar, os valores são mais elevados. Sabendo que o parâmetro  $c$  está relacionado às médias de velocidade do vento, o fato dos maiores valores de  $c$  ocorrerem nesta localidade era o esperado.

Para uma melhor análise e compreensão do comportamento dos ventos no Rio Grande do Sul a partir dos parâmetros da distribuição Weibull, foram confeccionadas figuras (dispostas no apêndice C) que mostram as curvas destes parâmetros, obtidas a partir dos resultados mostrados nas tabelas do Apêndice B.

Na sequência, serão discutidas as figuras para algumas localidades, nos meses em que estas apresentaram os maiores valores dos parâmetros de forma  $k$  e escala  $c$  da distribuição Weibull, em pelo menos um dos três horários (00, 12, 18UTC).

A Fig.25a apresenta a localização das estações meteorológicas que se destacaram pelos valores mais elevados dos parâmetros  $k$  e  $c$  da distribuição Weibull, independentemente do mês e do horário. Percebe-se que estas estações estão localizadas próximas das regiões com elevado potencial eólico, mostradas na Fig.25b (SEMC, 2006). Estas regiões, identificadas como adequadas para a geração

de energia eólica com dados estimados a 50m de altura, tornam-se ainda mais relevantes por apresentarem ventos intensos medidos a 10m de altura.



(a) (b)  
 Figura 25 – (a) Localização das estações meteorológicas com elevados valores tanto dos parâmetros  $k$  e  $c$  da distribuição Weibull quanto das velocidades médias mensais a 10m de altura e (b) regiões com potencial eólico, indicadas pelos círculos em vermelho, de acordo com o Atlas do Potencial Eólico do Rio Grande do Sul (SEMC,2006).

#### 1) estação de Bom Jesus (BJ)

Analisando inicialmente a localidade de Bom Jesus, observa-se que ao longo do ano os maiores valores de  $k$  ocorreram nos meses mais quentes, particularmente em fevereiro e novembro às 00UTC e em dezembro e janeiro às 12UTC. A estação de Bom Jesus não aparece dentre as estações com maior intensidade do vento, suas médias mensais às 00, 12 e 18UTC não ultrapassaram 2,6m/s durante o período de oito anos, valor bem próximo ao parâmetro de escala.

A Fig.26 mostra as curvas dos parâmetros de forma  $k$  e escala  $c$  para o horário das 00UTC (na cor azul), 12UTC (em laranja) e 18UTC (em rosa). Nos meses de janeiro (Fig.26a) e fevereiro (Fig.26b) os valores do parâmetro de escala  $c$  foram iguais nos horários das 00 e 12UTC. Entretanto, o formato das curvas foi diferente tendo em vista os valores do parâmetro de forma  $k$ . Observa-se na Fig.26a às 12UTC (na cor laranja) e na Fig.26b às 00UTC (na cor azul) que as velocidades do vento foram mais regulares devido ao formato (mais estreito) das curvas da distribuição e pelos baixos valores de variância (tab.8). Com exceção das Fig.26c e Fig.26d é possível notar, pela forma mais dispersa da curva, que os ventos foram mais irregulares no horário das 18UTC (curva na cor rosa), fato que também ocorre de junho a outubro (ver apêndice B).

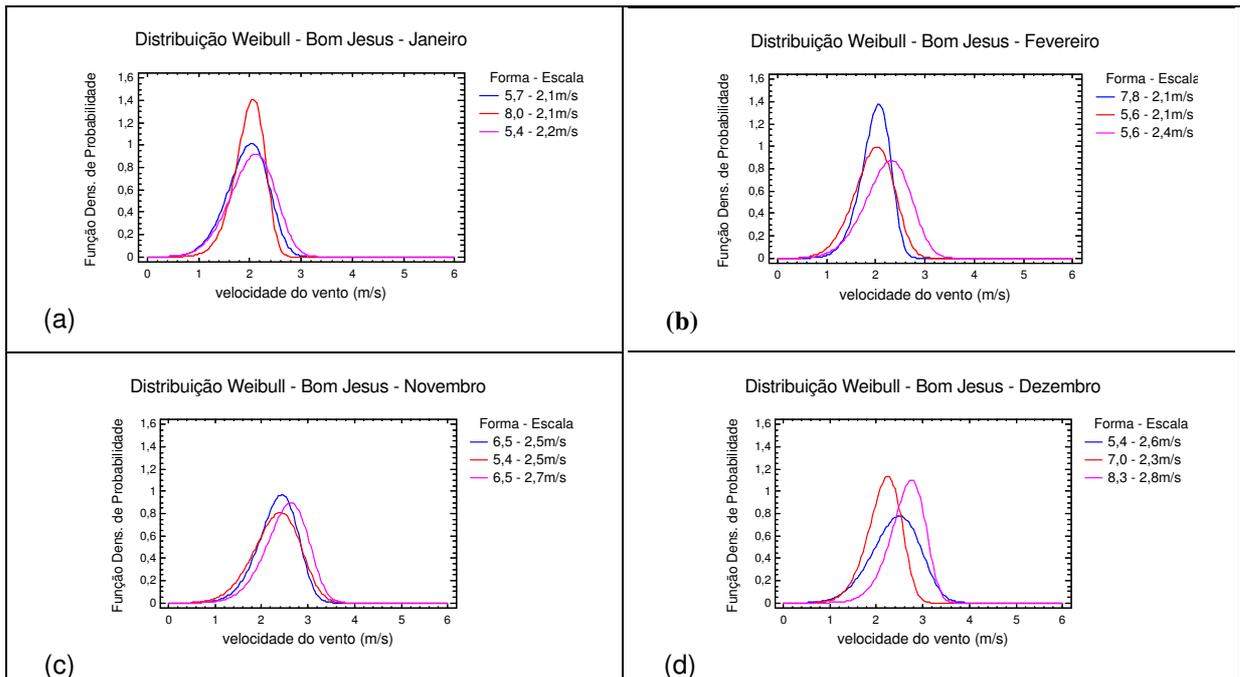


Figura 26 – Parâmetros de Weibull para a estação de Bom Jesus às 00UTC (curvas em azul), 12UTC (curvas na cor laranja), 18UTC (curvas na cor rosa) nos meses de (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) novembro e (d) dezembro.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros de Weibull, média da velocidade do vento e variância para a localidade de Bom Jesus, no período de oito anos deste estudo, nos meses de janeiro, fevereiro, setembro e outubro as 00, 12 e 18UTC.

| UTC       | c (m/s) |     |     | k   |     |     | Média (m/s) |      |      | Variância |      |      |
|-----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|------|------|-----------|------|------|
|           | 00      | 12  | 18  | 00  | 12  | 18  | 00          | 12   | 18   | 00        | 12   | 18   |
| Janeiro   | 3,4     | 4,2 | 3,7 | 5,3 | 7,6 | 7,1 | 1,97        | 1,94 | 2,05 | 0,14      | 0,07 | 0,13 |
| Fevereiro | 2,8     | 3,9 | 3,6 | 3,1 | 7,3 | 5,6 | 1,92        | 1,95 | 2,2  | 0,13      | 0,16 | 0,17 |
| Setembro  | 3,8     | 4,9 | 4,4 | 7,8 | 9,0 | 4,9 | 1,99        | 2,29 | 2,45 | 0,33      | 0,22 | 0,45 |
| Outubro   | 3,9     | 4,8 | 4,0 | 7,1 | 5,1 | 6,7 | 2,12        | 2,39 | 2,52 | 0,22      | 0,18 | 0,36 |

## 2) estação de Passo Fundo (PF)

A localidade de Passo Fundo apresentou valores elevados de velocidades de vento. Apenas a estação de Santa Vitória do Palmar apresentou valores superiores aos observados em Passo Fundo. Os maiores valores de  $k$  foram obtidos nos meses de janeiro, fevereiro, setembro às 12UTC e em outubro às 00UTC, como mostra a Fig.27. Relacionando os valores de variância (tab.9) ao comportamento das curvas, percebe-se que nos meses de janeiro (Fig.27a), fevereiro (Fig.27b) e setembro (Fig.27c) os ventos mostraram-se mais irregulares no horário das 00UTC, pois neste horário os valores de variância foram os maiores, se comparados aos horários das 12 e 18UTC (tab.9). Na Fig.27d, a curva com menor amplitude ocorreu

às 12UTC. Portanto, para este horário as velocidades do vento possuem uma maior oscilação. Este mesmo resultado também foi observado no mês de abril (apêndice C).

Tabela 9 – Valores dos parâmetros de Weibull, média da velocidade do vento e variância para a localidade de Passo Fundo no período de oito anos deste estudo, nos meses de janeiro, fevereiro, setembro e outubro as 00, 12 e 18UTC.

| Meses     | 00 12 18<br>(UTC) |     |     | 00 12 18<br>(UTC) |     |     | 00 12 18<br>(UTC)  |     |     | 00 12 18<br>(UTC) |      |      |
|-----------|-------------------|-----|-----|-------------------|-----|-----|--------------------|-----|-----|-------------------|------|------|
|           | <i>c</i> (m/s)    |     |     | <i>k</i>          |     |     | <i>Média</i> (m/s) |     |     | <i>Variância</i>  |      |      |
| Janeiro   | 3,4               | 4,2 | 3,7 | 5,3               | 7,6 | 7,1 | 3,2                | 3,9 | 3,4 | 0,44              | 0,37 | 0,36 |
| Fevereiro | 2,8               | 3,9 | 3,6 | 3,1               | 7,3 | 5,6 | 2,5                | 3,7 | 3,2 | 0,93              | 0,33 | 0,60 |
| Setembro  | 3,8               | 4,9 | 4,4 | 4,8               | 9,0 | 7,4 | 3,5                | 4,6 | 4,1 | 0,75              | 0,39 | 0,38 |
| Outubro   | 3,9               | 4,8 | 4,0 | 7,1               | 5,1 | 6,7 | 3,6                | 4,4 | 3,7 | 0,43              | 0,99 | 0,39 |

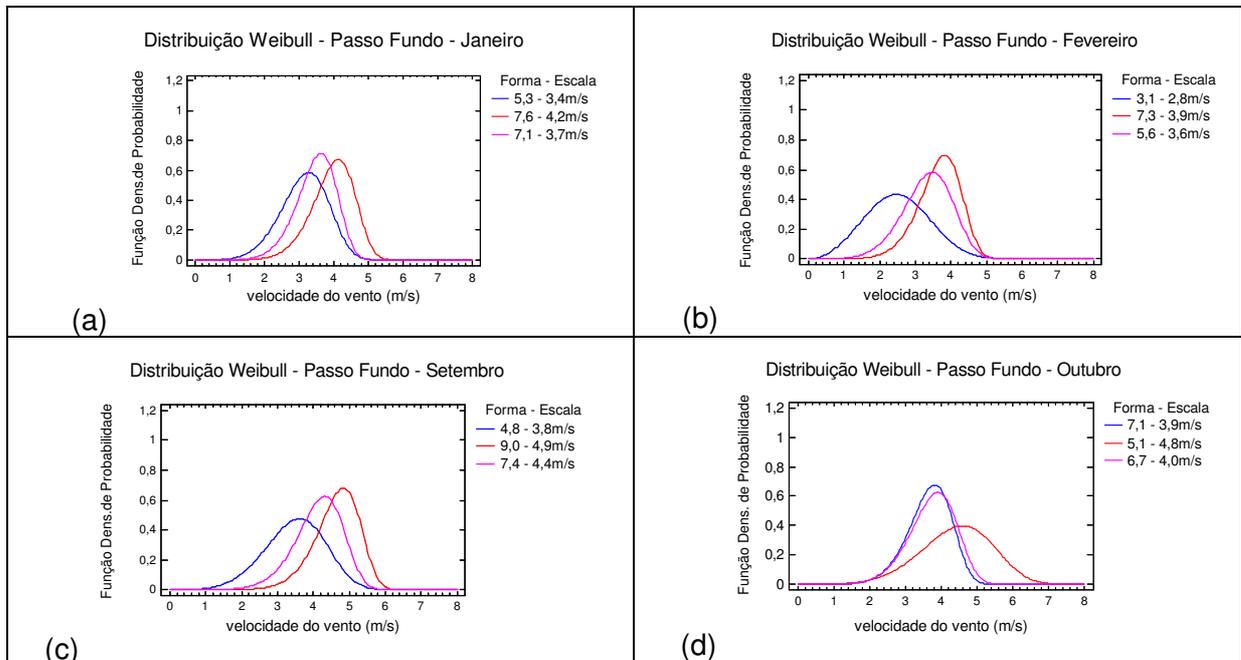


Figura 27 – Parâmetros de Weibull para estação de Passo Fundo às 00UTC (curvas na cor azul), 12UTC (curvas na cor laranja) e 18 UTC (curvas na cor rosa) nos meses de (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) setembro e (d) outubro.

### 3) estação de Santa Maria (STM)

Diferentemente das localidades comentadas acima, Santa Maria apresentou os maiores valores de  $k$  somente no horário das 18UTC. Os meses para os quais o parâmetro de forma  $k$  foi mais elevado, podem ser observados na Fig.28. O parâmetro de forma  $k$  fornece uma idéia da regularidade dos ventos de uma localidade, pois quanto maior for este parâmetro mais regular é o vento nesta região

(DALMAZ, 2006). Em Santa Maria os ventos no horário das 18UTC foram mais regulares nos meses apresentados na Fig.28 e também nos demais meses do ano (ver apêndice C).

Quanto aos valores do parâmetro de escala  $c$ , nos meses de fevereiro (Fig.28a), março (Fig.28b), abril (Fig.28c), maio (Fig.28d), setembro (Fig.28e) e dezembro (Fig.28f), estes variaram de 1,2 a 2,9m/s, considerando os três horários. Estes valores ficaram bem próximos do valor médio de velocidade para o período de anos desta estação, com valores entre 1m/s e 2,8m/s (ver tab.A-10 no apêndice A).

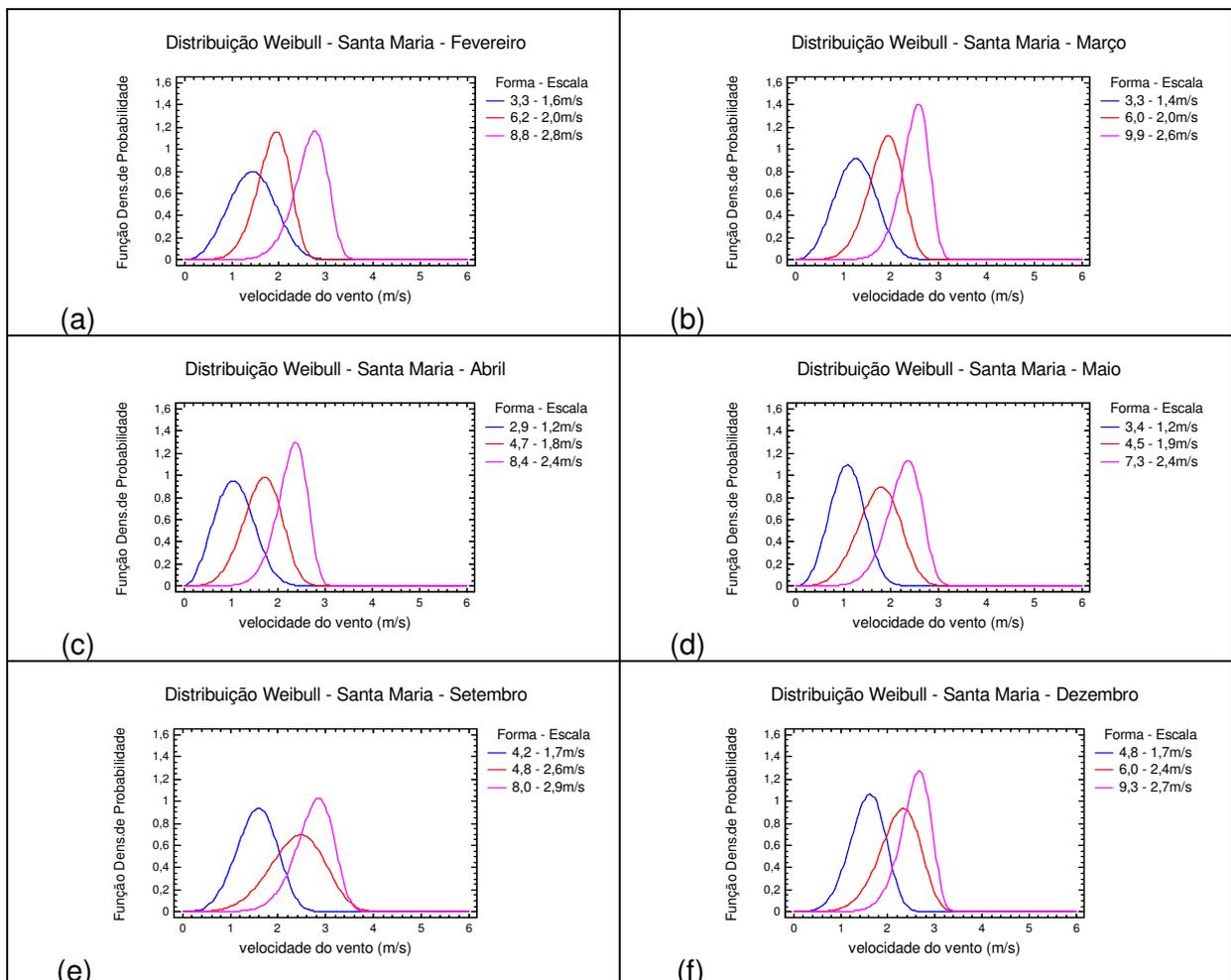


Figura 28 – Parâmetros  $k$  e  $c$  da distribuição Weibull para estação de Santa Maria às 00UTC (em azul), 12UTC (na cor laranja) e 18UTC (na cor rosa) nos meses de (a) fevereiro, (b) março, (c) abril, (d) maio, (e) setembro e (f) dezembro.

#### 4) estação de Santana do Livramento (LIV)

Analisando o gráfico da Fig.29, correspondente aos resultados obtidos na estação de Santana do Livramento, no mês de setembro percebe-se que os valores do parâmetro  $k$  do horário das 00 (curva em azul) e 18UTC (curva em rosa) foram muito próximos. Entretanto, às 00UTC a curva foi mais estreita, fornecendo uma

idéia de maior regularidade dos ventos neste horário. O que diferencia as curvas é o valor do parâmetro de escala  $c$ , cujo valor está relacionado a média e normalmente é aceito como uma medida de vento disponível em uma localidade. Contudo, observa-se na tab.10 que o aumento do parâmetro  $c$  fez com que a variância também aumentasse, porque quanto maior o valor do parâmetro de escala  $c$ , maior é a variação das velocidades do vento.

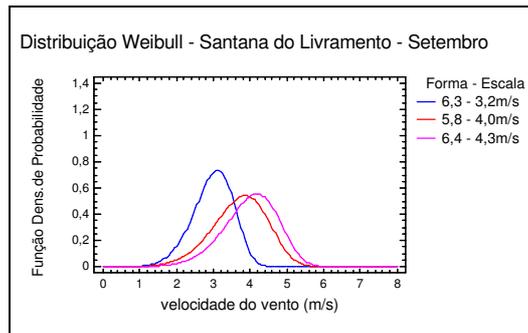


Figura 29 – Parâmetros de Weibull para estação de Santana do Livramento às 00UTC (azul), 12UTC (laranja) e 18UTC (rosa) no mês de setembro.

Tabela 10 – Valores dos parâmetros de Weibull, média da velocidade do vento e variância para a localidade de Santana do Livramento, no mês de setembro às 00, 12 e 18UTC.

|       | $c$ (m/s) | $k$ | Média (m/s) | Variância |
|-------|-----------|-----|-------------|-----------|
| 00UTC | 3,2       | 6,3 | 3,03        | 2,76      |
| 12UTC | 4,0       | 5,8 | 3,78        | 3,55      |
| 18UTC | 4,3       | 6,4 | 4,01        | 3,37      |

##### 5) estação de Santa Vitória do Palmar (SVP)

Santa Vitória do Palmar apresentou os maiores valores do parâmetro de escala  $c$ , com exceção dos meses de janeiro e agosto respectivamente às 00 e 18UTC e do período de abril a setembro às 12UTC, quando a localidade de Passo Fundo apresentou os maiores valores deste parâmetro.

Observando os gráficos de Santa Vitória do Palmar (Fig.30) nota-se que nos meses de fevereiro (Fig.30b), abril (Fig.30d), junho (Fig.30f) às 00UTC (em azul) e julho (Fig.30g) às 18UTC (em rosa) as curvas foram mais estreitas mostrando uma menor variação do vento. Nos demais meses do ano as curvas nos três horários foram muito semelhantes, resultando em variações de velocidade do vento muito próximas.

O mês de novembro (Fig.30l) cujas velocidades médias para o período de oito anos foram mais elevadas nos horários das 00, 12 e 18UTC apresentou também as maiores oscilações de velocidade do vento (tab.no apêndice A).

#### 6) estação de São Luiz Gonzaga (SLG)

A estação de São Luiz Gonzaga apresentou valores médios mensais de vento, para o período de oito anos, semelhantes aos valores do parâmetro de escala  $c$  obtidos, nos três horários. O parâmetro de forma  $k$  nos meses de março a agosto (Fig.31a a Fig.31f) e nos horários das 00 e 12UTC foram os mais elevados dentre as 15 estações meteorológicas, bem como nos meses de outubro e novembro às 12 e 18UTC (Fig.31g e Fig.31h). Na Fig.31 os altos valores de  $k$  fornecem a idéia de mais regularidade do vento, principalmente no horário das 00UTC (Fig.31 b, c, d, e, f, i) devido à forma mais estreita das curvas. Nos meses de março (Fig.31a), outubro (Fig.31g) e novembro (Fig.31h) a regularidade do vento ocorreu no horário das 12UTC.

Nesta localidade, durante o período de oito anos de dados, os valores de  $k$  variaram de 6,4 a 8,7 às 00UTC, de 7,0 a 9,1 às 12 UTC e de 6,1 a 10,4 às 18UTC ao longo do ano. O mês de novembro destacou-se por registrar o maior valor ( $k=10,4$ ) dentre as 15 estações meteorológicas.

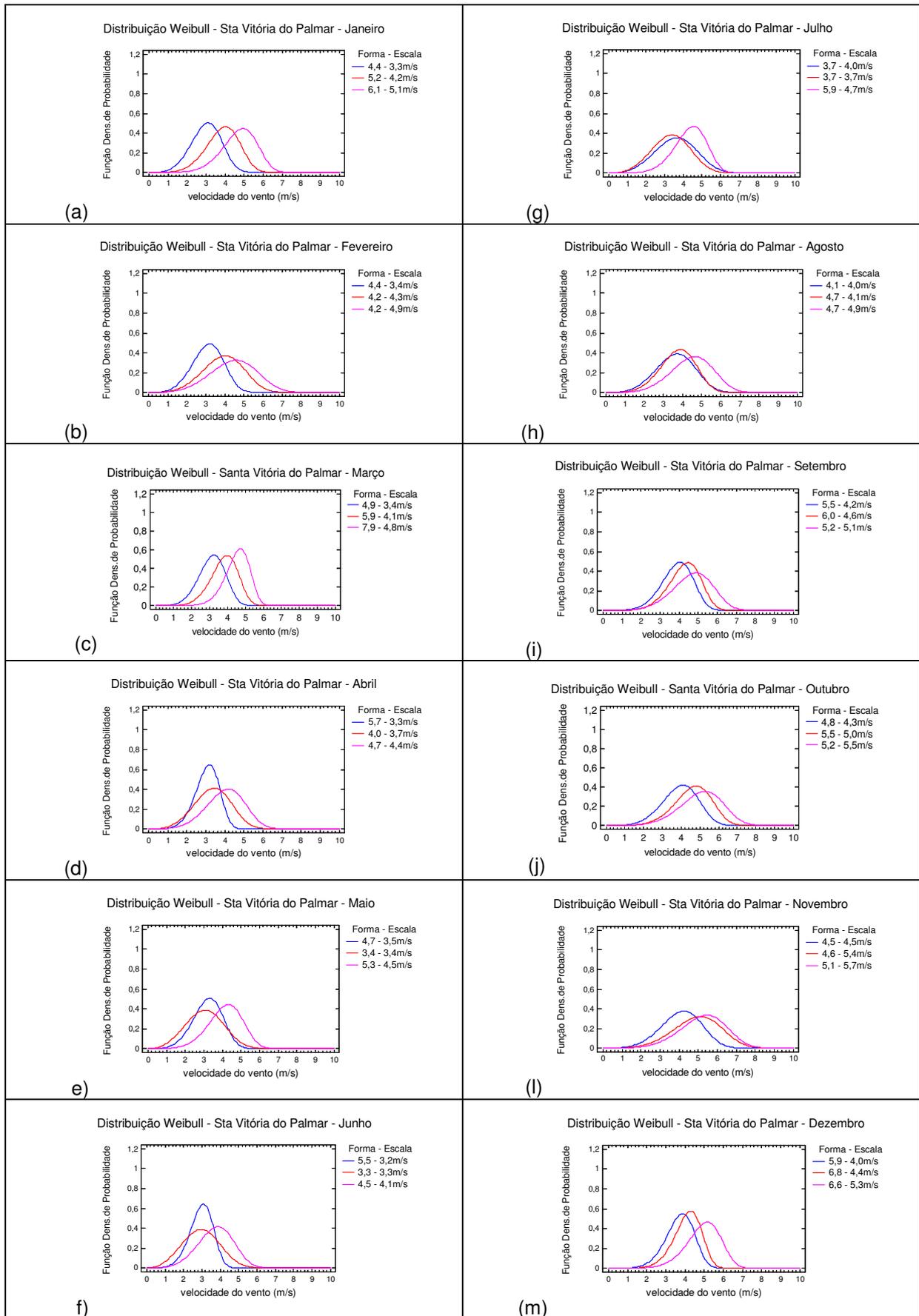


Figura 30 – Parâmetros de Weibull para estação de Santa Vitória do Palmar às 00UTC (curvas em azul), 12UTC (curvas na cor laranja) e 18UTC (curvas na cor rosa) nos meses de janeiro a dezembro.

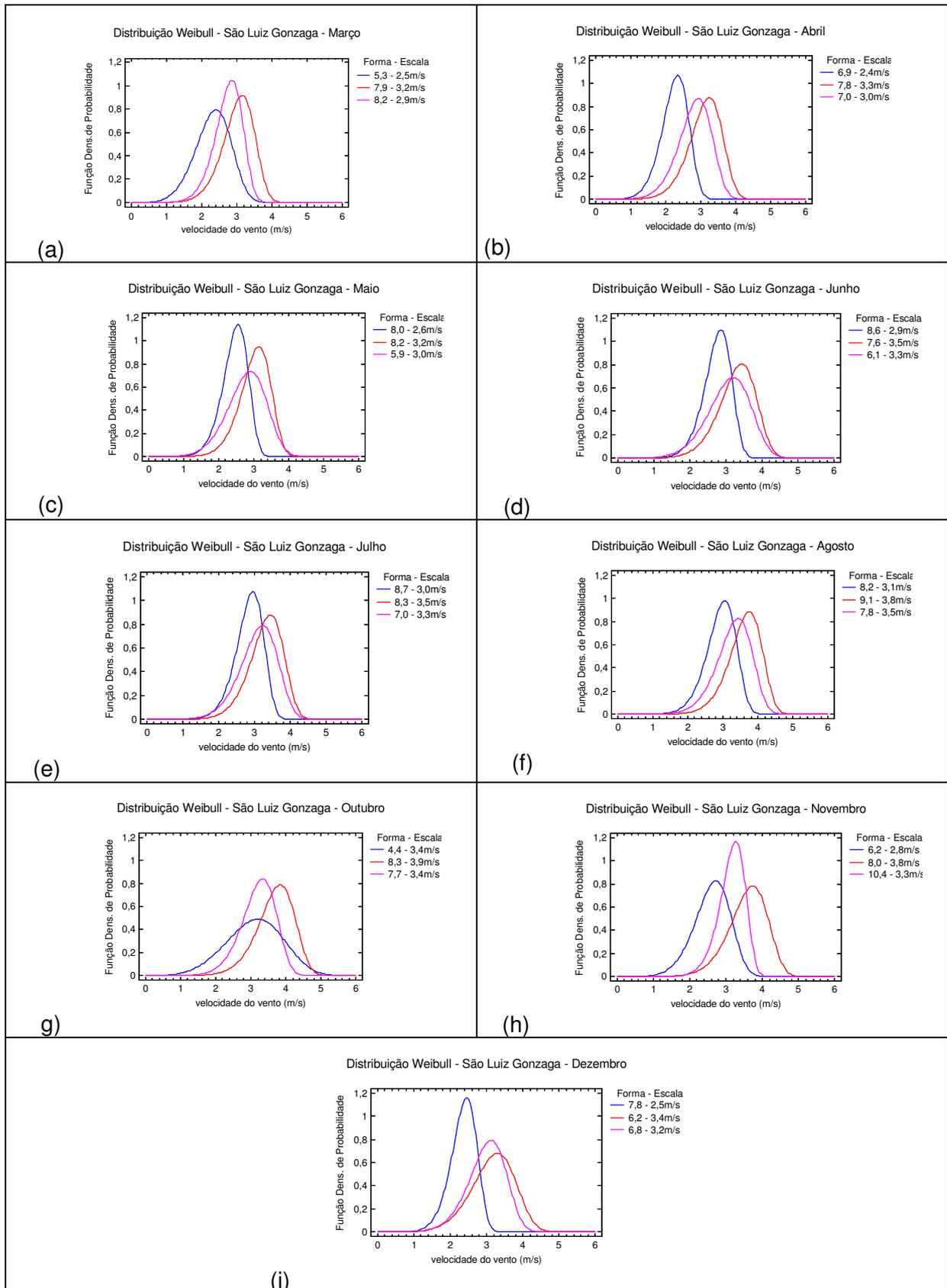


Figura 31 – Parâmetros de Weibull para estação de São Luiz Gonzaga às 00UTC (em azul), 12UTC (curvas na cor laranja) e 18UTC (curvas na cor rosa) nos meses de: (a) março, (b) abril, (c) maio, (d) junho, (e) julho, (f) agosto, (g) outubro, (h) novembro e (i) dezembro.

A avaliação das velocidades feita até agora mostrou que o mês de novembro, no horário das 18UTC, se destacou com as maiores médias de vento de março/2000 a dezembro/2007. As estações de Santa Vitória do Palmar e São Luiz Gonzaga destacaram-se pelos ventos mais fortes e pelos maiores valores de  $k$ .

Entretanto, conhecer os valores dos parâmetros  $k$  e  $c$  nas estações não permite caracterizar os ventos no Estado como um todo. Foi então aplicada uma técnica de agrupamento para evidenciar similaridades ou dissimilaridades entre os resultados obtidos nas estações analisadas.

#### **4.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO - REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VELOCIDADES DO VENTO NO RIO GRANDE DO SUL**

A análise de agrupamento feita a partir das médias das velocidades diárias dos oito anos, é discutida a seguir. O agrupamento foi realizado considerando períodos de 5 dias consecutivos (pêntadas) para cada um dos horários sinóticos, de maneira que a variabilidade dos ventos não fosse filtrada nos procedimentos de média sobre períodos mais longos de tempo, como dito na seção “Material e Métodos”.

Utilizando o método *K-means* da técnica não-hierárquica de agrupamento, foram estabelecidos 4 grupos (ou regiões homogêneas), dentro dos quais ficaram estações meteorológicas com padrões de velocidade do vento muito semelhantes. A técnica do agrupamento foi aplicada a todas as pêntadas do período analisado (março/2000 a dezembro/2007), considerando 14 estações no horário das 00 e 12UTC e 13 no horário das 18UTC, por motivo de falhas nos dados de 2 estações.

Nesta seção são mostrados os resultados obtidos para o mês de novembro, nos horários das 00,12 e 18UTC. O mês de novembro foi escolhido para uma avaliação mais detalhada devido ao fato de ter apresentado os valores mais elevados de velocidades médias do período estudado. Ainda, como visto na seção anterior, o maior valor do parâmetro de forma  $k$  da distribuição Weibull foi obtido para este mês.

Considerando separadamente cada um dos horários sinóticos de observação, em cada uma das seis pêntadas do mês de novembro, a análise de agrupamento permitiu definir 4 grupos com valores médios de velocidade diferenciados. Para fins de simplificação de nomenclatura, os quatro grupos serão

referidos como:

- grupo 1 (G1), agrupa estações com velocidades mais intensas, cujos valores máximos dependem da pântada. Em geral, estações com velocidades médias pentadais iguais ou superiores a 3,4m/s, 3,6m/s e 2,9m/s, respectivamente as 00,12 e 18UTC, foram enquadradas neste grupo.
- grupo 2 (G2) e grupo 3 (G3), agrupam estações com velocidades médias pentadais entre 2m/s e 4,6m/s. Por isto, estes grupos serão referidos como grupos que têm estações com velocidades médias pentadais intermediárias.
- grupo 4 (G4), agrupa as estações que apresentaram os valores mais baixos de velocidades médias, em geral inferiores a 1,8m/s as 00UTC, 2,5m/s as 12UTC e 2,8m/s as 18UTC. Este grupo será referido como aquele que têm as estações com velocidades médias pentadais mínimas.

As Fig.32 e Fig.33 mostram as 14 estações meteorológicas distribuídas nos quatro grupos de vento definidos para o mês de novembro no horário das 00 e 12UTC, respectivamente. O agrupamento do horário das 18UTC está representado pela Fig.34 e distribui um total de 13 estações meteorológicas nos quatro grupos de vento. Nestas figuras, cada grupo está indicado com uma cor específica. Observa-se que um mesmo grupo pode ser constituído por estações diferentes, localizadas em diferentes regiões do Estado. As tab.11, tab.12 e tab.13 mostram este aspecto de forma mais concisa. Esta variação de composição dos grupos também foi encontrada por Diniz et al. (2003) quando da obtenção de regiões homogêneas de temperatura máxima e mínima para o Rio Grande do Sul. Segundo os autores, a não constância de formação do grupo pode ser atribuída ao fato de que a proximidade entre estações meteorológicas não garante que elas tenham afinidade climatológica entre si.

Considerando as regiões homogêneas de vento, em todas as pântadas e em todos os horários, a estação de Santa Vitória do Palmar sempre se encontrou no G1. Isto significa que, considerando as 14 estações meteorológicas analisadas no horário das 00 e 12UTC para os oito anos de dados, os ventos mais fortes foram observados no extremo sul do Estado. Para este grupo, os resultados mostraram que também pode fazer parte a estação de Passo Fundo. A única pântada do mês de novembro em que quatro estações fizeram parte do G1 foi a compreendida entre os dias 21 e 25 de novembro, às 18UTC (Fig.34e).

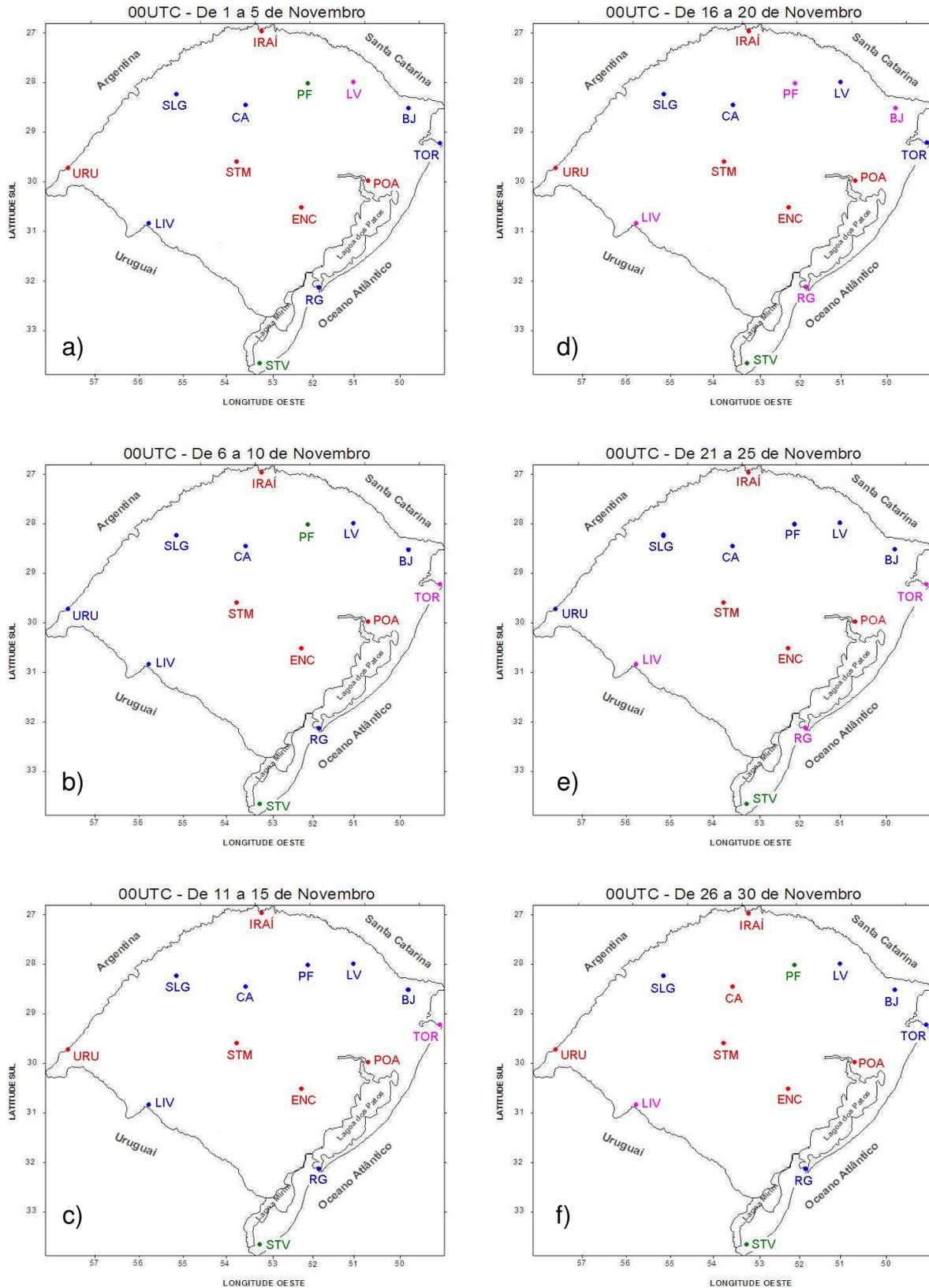


Figura 32 – Regiões homogêneas de vento no mês de novembro às 00UTC (G1-verde; G2-rosa; G3-azul; G4-vermelho), onde: BJ=Bom Jesus, CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga, TOR=Torres, URU=Uruguiana.

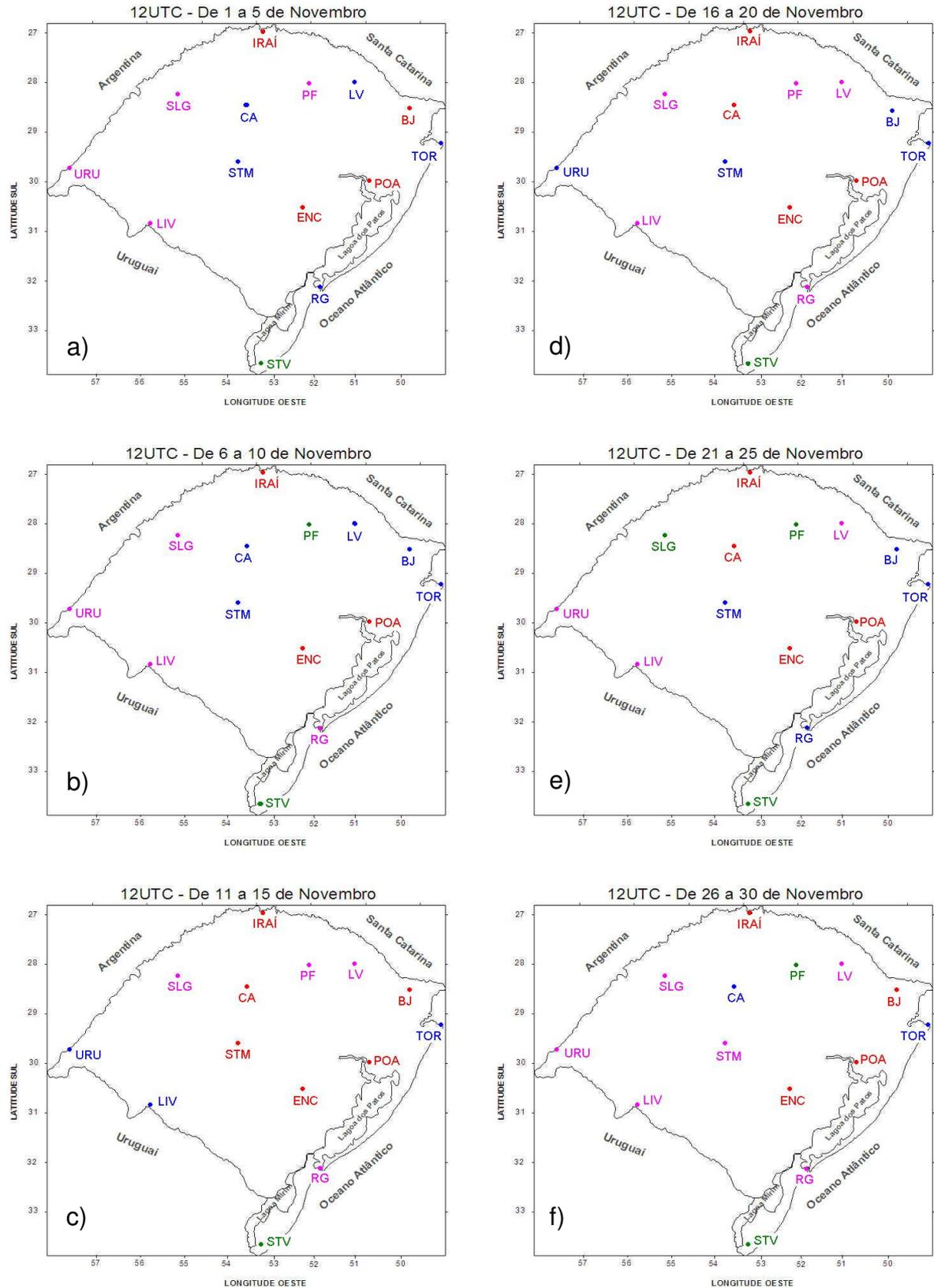


Figura 33 – Regiões homogêneas de vento no mês de novembro às 12UTC (G1-verde; G2-rosa; G3-azul; G4-vermelho), onde: BJ=Bom Jesus, CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga, TOR=Torres, URU=Uruguaiana.

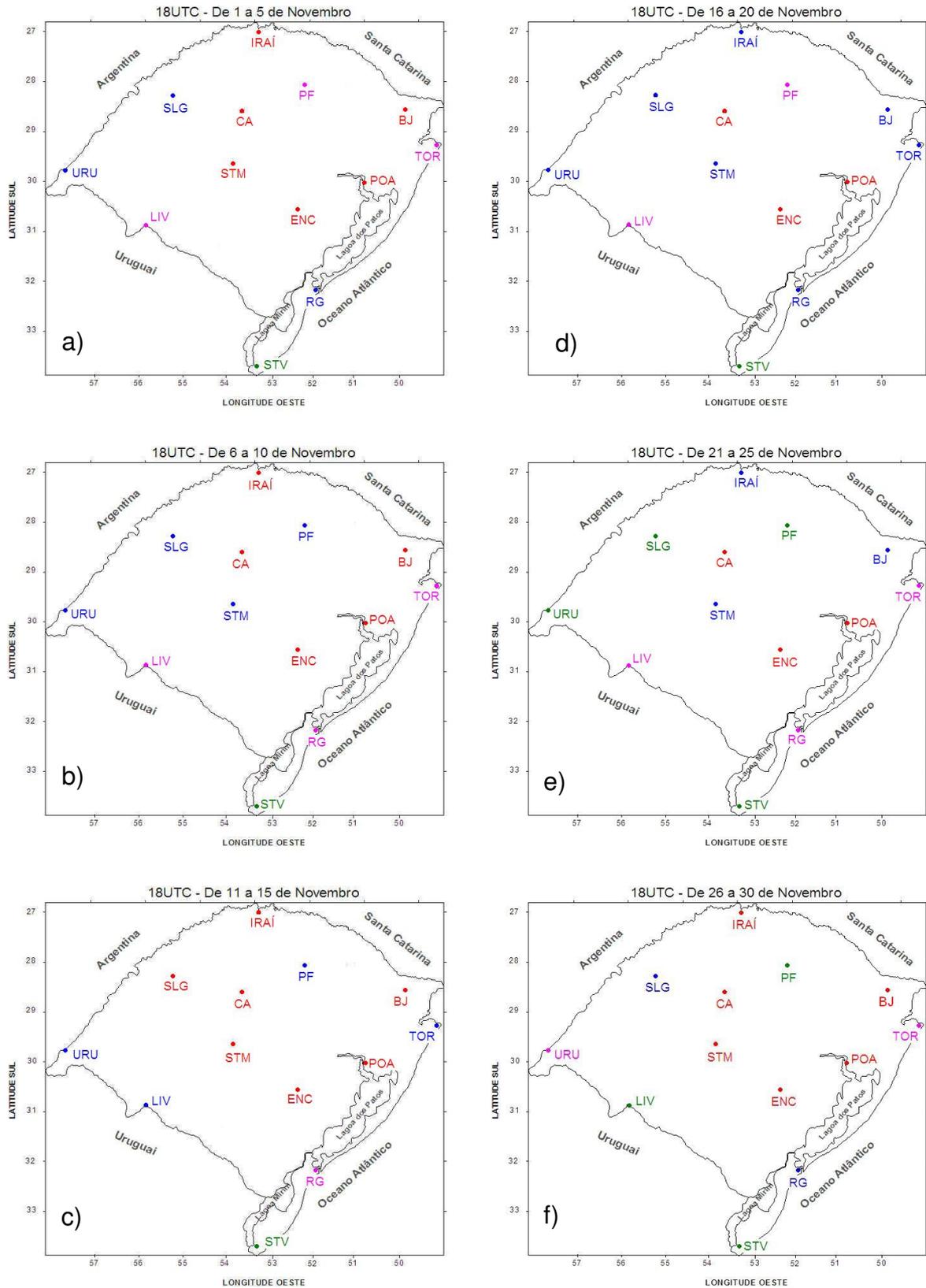


Figura 34 – Regiões homogêneas de vento no mês de novembro às 18UTC (G1-verde; G2-rosa; G3-azul; G4-vermelho), onde: BJ=Bom Jesus, CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga, TOR=Torres, URU=Uruguiana.

Quanto ao número de estações meteorológicas presentes em cada grupo, este variou muito, dependendo da pênstada e do horário. O G1, em algumas pênstadas, nos horários das 00, 12 e 18UTC apresentou uma única estação, a de Santa Vitória do Palmar (Fig.32c, Fig.32d, Fig.32e; Fig.33a, Fig.33c, Fig.33d). Também para às 00UTC e no decorrer do mês de novembro, o G2 foi composto unicamente pela estação de Lagoa Vermelha (Fig.32a), Torres (Fig.32b e Fig.32c) e Santana do Livramento (Fig.32f) sem associação a nenhuma outra estação. Isto ocorreu porque os valores médios das velocidades do vento, que podem ser observados nas tab.11, tab.12 e tab.13 foram distintos dos demais devido as grandes variações de velocidade que ocorreram de um dia para outro. Em Lagoa Vermelha as médias de velocidade do vento variaram de 2,3m/s a 5,7m/s, em Torres e na pênstada de 6 a 10 de novembro de 2,1m/s a 4,3m/s e de 2,6m/s a 4,7m/s de 11 a 15 de novembro. Na estação de Santana do Livramento a variação foi de 2,3m/s a 4,2m/s, inferior a 2m/s. Estas estações meteorológicas possuem valores médios de vento, ao longo dos oito anos de dados, têm médias de velocidade pentadais que não se agrupam a nenhuma outra localidade, com valores de 3,4m/s (Lagoa Vermelha), 3,3m/s e 3,5m/s (Torres) e 3m/s (Santana do Livramento).

Da mesma forma, para o horário das 18UTC, a Fig.34c mostra que além do G1, o G3 aparece com uma única estação meteorológica, a de Rio Grande. Analisando em conjunto a Fig.34 e a tab.13, esta não associação a outras estações mostra as peculiaridades do extremo sul do Estado, que possui valores de velocidades do vento intensos, principalmente pela atuação de sistemas transientes que atuam com maior frequência durante a primavera nesta região. Santa Vitória do Palmar (G1) apareceu sozinha, pois tem a maior média pentadal (6,6m/s) e suas médias de velocidade são muito altas, se comparadas às demais regiões, variando de 5,1m/s a 8,2m/s. A estação de Rio Grande, que formou o G3 com médias pentadais de vento de 4,5m/s, caracterizou-se pela maior variação da velocidade do vento (3,9m/s) não se agrupando a nenhuma outra estação. Durante os dias 11 e 15 de novembro as médias de velocidade para o período de oito anos ficou entre 2,7m/s e 6,6m/s no G3.

Apesar das exceções acima, nas demais pênstadas e horários deste estudo os grupos apresentaram sempre mais de uma estação meteorológica. A estação de Santa Vitória do Palmar não foi agrupada com outra em 10 das 18 pênstadas. Quando não estava sozinha no grupo, encontrou-se junto à estação de Passo

Fundo, independentemente do horário, para formar o G1, como pode ser visto nas Fig.32a, Fig.32b, Fig.32f; Fig.33b, Fig.33e, Fig.33f; Fig.34e e Fig.34f. Vale lembrar que estas estações localizam-se em regiões muito distintas no Estado: Santa Vitória do Palmar no extremo Sul e Passo Fundo na Serra do Nordeste. Porém, os valores médios de velocidade do vento e os valores médios pentadais de vento se assemelharam. No horário das 00UTC, a diferença nos valores médios pentadais de vento, entre Santa Vitória do Palmar e Passo Fundo, não ultrapassou 0,5m/s (tab.11). Podem ser observadas variações de 3,4m/s a 4,5m/s nas pênadas de 26 a 30 de novembro e de 6 a 10 de novembro, respectivamente (tab.11). Às 12UTC é possível observar que a diferença não chega a 1m/s (tab.12), bem como no horário das 18UTC (tab.13).

Ao longo do mês de novembro percebe-se que o G1 foi constituído pelas estações de Santa Vitória do Palmar e Passo Fundo, juntas ou separadas. Entretanto, nos últimos 10 dias do mês de novembro as velocidades médias foram menos intensas, não ultrapassando os 4,6m/s. Isto propiciou a inclusão de algumas estações no G1 nos horários das 12 e 18UTC. A Fig.33e mostra que às 12UTC a estação de São Luiz Gonzaga passou a ser parte deste grupo e às 18UTC (Fig.34d e Fig.34e) também fizeram parte do G1 as estações de São Luiz Gonzaga, Uruguaiana e Santana do Livramento, todas no oeste do Estado.

Observando o G4, nos três horários, é notável que as estações meteorológicas localizaram-se ao norte do Estado, com altitudes que variam de 46m (Porto Alegre) a 427m (Encruzilhada do Sul) e valores médios de velocidade diária para o período de oito anos que não ultrapassaram os 2,5m/s, 3m/s e 3,3m/s, respectivamente às 00,12 e 18UTC. O G4 foi o grupo de velocidades mais baixas, suas médias pentadais variaram de 1,4m/s a 1,9m/s no horário das 00UTC; de 1,9m/s a 2,1m/s às 12UTC e de 1,7m/s a 2,8m/s às 18UTC. Assim como no G1, em cada um dos horários e pênadas, as estações que constituíram o G4 quase sempre se repetiram. As estações de Santa Maria, Iraí, Porto Alegre e Encruzilhada do Sul mostraram-se regulares neste grupo no horário das 00UTC, que ainda incluiu as localidades de Uruguaiana (Fig.32a, Fig.32c, Fig.32d) e Cruz Alta (Fig.32f). Nos outros horários (12 e 18UTC) permaneceram fixas no G4 apenas Iraí, Porto Alegre e Encruzilhada do Sul, as demais apareceram também nos grupos G2 e G3. Esta falta de regularidade às 12 e 18UTC pode ser devido a fatores já citados anteriormente como, o relevo ou a radiação solar, mas é difícil uma afirmação neste momento.

Vários fatores podem justificar a oscilação desta localidade dentro dos grupos, passando do G4 para o G3.

A composição do G4 às 18UTC também é variável. Neste horário, o agrupamento foi realizado com duas estações a menos, com um total de 13 estações (foram excluídas Bagé e Lagoa Vermelha). Na Fig.34d e Fig.34e, horário das 18UTC, estão agrupadas apenas as estações de Porto Alegre, Encruzilhada do Sul e Cruz Alta diferentemente das demais pântadas de novembro que agrupam de 5 a 7 estações meteorológicas no G4. A tab.13 registra entre os dias 16 e 25 de novembro médias de velocidade do vento, para o período de oito anos, que variaram de 0,7 a 5,7m/s, sendo as mais baixas durante o mês de novembro para este horário. As médias pentadais das estações meteorológicas que constituíram o G4 entre os dias 16 a 20 de novembro variam de 1,4m/s a 5,5m/s e de 21 a 25 de novembro de 1,3m/s a 4m/s. A menor variação dos valores médios pentadais ocorreu de 21 a 25 de novembro e permitiu uma melhor distribuição das estações meteorológicas dentro dos quatro grupos (Fig.34e), o que não ocorreu nos cinco dias anteriores, pois a diferença entre as velocidades médias dos grupos chegou a 4,1m/s.

Quanto aos grupos de velocidades intermediárias (G2 e G3), às 00UTC o G3 reuniu um grande número de estações em cada pântada, de 4 a 6 localidades que normalmente foram: Torres, Bom Jesus, São Luiz Gonzaga, Santana do Livramento, Rio Grande e Cruz Alta (Fig.32). Os grupos G2 e G3 se diferenciaram dos demais por não terem mantido uma continuidade ao longo do mês de novembro em relação ao número de estações presentes em cada pântada. Muitas vezes estes dois grupos se confundiram, pois as estações variaram entre o G2 e o G3 a cada pântada e a cada horário. Este fato reitera a importância da análise de agrupamento ser feita para períodos de cinco dias em cada um dos horários, pois o vento variou muito no tempo e no espaço.

Tabela 11 – Médias de velocidade do vento para o período de mar/2000 a dez/2007, médias pentadais e resultado da análise de agrupamento para o mês de novembro as 00UTC nas estações, meteorológicas deste estudo. (BJ=Bom Jesus, CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada do Sul, Irai, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga, TOR=Torres, URU=Uruguaiana)

|                | BJ  | CA  | ENC | IRAÍ | LV  | PF  | POA | RG  | STM | STV | LIV | SLG | TOR | URU |
|----------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dia 1          | 1,8 | 2,3 | 2,3 | 0,8  | 4,0 | 4,5 | 1,5 | 2,6 | 2,0 | 4,0 | 3,2 | 2,7 | 2,0 | 1,4 |
| Dia 2          | 2,0 | 2,8 | 1,1 | 0,8  | 2,3 | 4,4 | 2,3 | 1,9 | 1,1 | 4,4 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 1,0 |
| Dia 3          | 2,8 | 1,8 | 1,1 | 1,2  | 5,8 | 3,5 | 1,5 | 2,6 | 1,6 | 2,1 | 2,6 | 3,2 | 4,1 | 1,4 |
| Dia 4          | 2,6 | 2,5 | 1,7 | 1,9  | 2,3 | 3,7 | 2,3 | 2,6 | 1,9 | 3,6 | 3,4 | 2,8 | 3,1 | 2,1 |
| Dia 5          | 1,9 | 2,3 | 1,4 | 1,6  | 2,5 | 2,6 | 1,8 | 2,6 | 1,5 | 5,0 | 2,7 | 3,2 | 3,1 | 1,5 |
| Média Pentadal | 2,2 | 2,3 | 1,5 | 1,3  | 3,4 | 3,8 | 1,9 | 2,5 | 1,6 | 3,8 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 1,5 |
| Grupos         | G3  | G3  | G4  | G4   | G2  | G1  | G4  | G3  | G4  | G1  | G3  | G3  | G3  | G4  |
| Dia 6          | 2,0 | 2,3 | 1,4 | 1,0  | 2,5 | 3,9 | 1,5 | 3,1 | 1,8 | 3,6 | 3,1 | 3,1 | 2,4 | 2,5 |
| Dia 7          | 2,5 | 2,3 | 0,9 | 1,3  | 2,5 | 3,4 | 1,8 | 4,7 | 1,3 | 5,0 | 3,2 | 2,5 | 4,3 | 1,5 |
| Dia 8          | 2,0 | 2,0 | 1,4 | 1,5  | 3,0 | 3,8 | 1,5 | 2,0 | 1,8 | 4,9 | 2,4 | 2,3 | 3,8 | 2,1 |
| Dia 9          | 2,6 | 2,0 | 1,9 | 1,7  | 3,5 | 4,0 | 1,5 | 2,8 | 1,8 | 4,8 | 2,1 | 3,7 | 4,3 | 1,3 |
| Dia 10         | 2,8 | 1,5 | 3,0 | 0,5  | 3,5 | 5,2 | 2,0 | 2,4 | 2,5 | 4,3 | 2,2 | 2,8 | 2,1 | 2,3 |
| Média Pentadal | 2,4 | 2,0 | 1,7 | 1,2  | 3,0 | 4,1 | 1,7 | 3,0 | 1,8 | 4,5 | 2,6 | 2,9 | 3,4 | 1,9 |
| Grupos         | G3  | G3  | G4  | G4   | G3  | G1  | G4  | G3  | G4  | G1  | G3  | G3  | G2  | G3  |
| Dia 11         | 2,0 | 2,5 | 1,5 | 0,5  | 2,3 | 2,4 | 1,3 | 2,6 | 1,5 | 4,4 | 2,8 | 2,2 | 2,6 | 1,6 |
| Dia 12         | 2,8 | 2,3 | 1,6 | 1,5  | 2,8 | 2,5 | 1,8 | 3,6 | 1,4 | 4,5 | 2,3 | 2,9 | 3,0 | 1,8 |
| Dia 13         | 2,5 | 1,8 | 1,1 | 1,2  | 2,5 | 2,9 | 1,0 | 2,5 | 1,1 | 6,3 | 2,1 | 1,8 | 3,4 | 1,8 |
| Dia 14         | 2,9 | 2,0 | 1,3 | 1,3  | 2,3 | 3,4 | 1,8 | 3,1 | 1,4 | 4,1 | 2,3 | 2,6 | 4,0 | 1,6 |
| Dia 15         | 2,0 | 2,0 | 1,3 | 2,0  | 2,3 | 2,1 | 1,3 | 2,6 | 1,0 | 4,1 | 2,8 | 1,9 | 4,7 | 1,9 |
| Média Pentadal | 2,4 | 2,1 | 1,4 | 1,3  | 2,4 | 2,7 | 1,4 | 2,9 | 1,3 | 4,7 | 2,4 | 2,3 | 3,5 | 1,7 |
| Grupos         | G3  | G3  | G4  | G4   | G3  | G3  | G4  | G3  | G4  | G1  | G3  | G3  | G2  | G4  |
| Dia 16         | 2,6 | 1,0 | 1,1 | 0,8  | 1,8 | 3,1 | 2,3 | 4,4 | 1,7 | 5,3 | 2,7 | 3,1 | 2,3 | 2,0 |
| Dia 17         | 2,4 | 4,0 | 1,1 | 1,4  | 2,5 | 3,3 | 1,5 | 1,9 | 1,4 | 4,6 | 2,3 | 3,1 | 3,3 | 1,6 |
| Dia 18         | 2,6 | 2,5 | 1,6 | 1,4  | 2,0 | 4,5 | 1,5 | 3,6 | 1,3 | 4,0 | 3,1 | 2,6 | 2,4 | 2,3 |
| Dia 19         | 2,5 | 2,3 | 1,1 | 1,4  | 1,5 | 2,7 | 1,3 | 2,5 | 1,7 | 5,1 | 3,2 | 2,2 | 2,0 | 2,3 |
| Dia 20         | 1,4 | 2,3 | 1,4 | 0,9  | 3,3 | 3,6 | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 3,4 | 2,4 | 2,6 | 2,4 | 1,0 |
| Média Pentadal | 2,3 | 2,4 | 1,3 | 1,2  | 2,2 | 3,4 | 1,6 | 2,8 | 1,4 | 4,5 | 2,7 | 2,7 | 2,5 | 1,8 |
| Grupos         | G2  | G3  | G4  | G4   | G3  | G2  | G4  | G2  | G4  | G1  | G2  | G3  | G3  | G4  |
| Dia 21         | 2,8 | 2,8 | 1,3 | 0,8  | 3,5 | 3,6 | 2,0 | 2,6 | 1,4 | 3,5 | 1,8 | 2,7 | 2,9 | 2,0 |
| Dia 22         | 2,5 | 2,5 | 1,3 | 0,5  | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 2,4 | 0,9 | 2,7 | 3,5 | 2,1 | 3,5 | 1,3 |
| Dia 23         | 1,6 | 1,5 | 0,9 | 0,0  | 1,7 | 3,0 | 1,7 | 2,4 | 0,9 | 3,4 | 2,5 | 1,5 | 2,7 | 1,4 |
| Dia 24         | 1,8 | 0,3 | 1,4 | 1,1  | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 3,3 | 1,6 | 2,9 | 1,9 | 2,0 | 3,4 | 2,0 |
| Dia 25         | 1,8 | 2,0 | 1,3 | 1,1  | 3,0 | 2,3 | 1,5 | 2,3 | 2,3 | 6,3 | 1,6 | 3,3 | 2,5 | 2,1 |
| Média Pentadal | 2,1 | 1,8 | 1,2 | 0,7  | 2,2 | 2,4 | 1,7 | 2,6 | 1,4 | 3,7 | 2,3 | 2,3 | 3,0 | 1,8 |
| Grupos         | G3  | G3  | G4  | G4   | G3  | G3  | G3  | G2  | G4  | G1  | G2  | G3  | G2  | G3  |
| Dia 26         | 2,0 | 1,0 | 0,2 | 1,1  | 2,7 | 3,7 | 2,0 | 1,8 | 1,3 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 2,8 | 2,2 |
| Dia 27         | 1,9 | 1,7 | 0,7 | 1,9  | 3,0 | 4,4 | 1,3 | 3,0 | 1,5 | 3,6 | 2,3 | 2,9 | 2,3 | 1,6 |
| Dia 28         | 2,4 | 1,3 | 1,9 | 1,5  | 3,0 | 3,5 | 1,7 | 2,7 | 1,6 | 2,6 | 3,2 | 2,5 | 1,8 | 1,3 |
| Dia 29         | 2,3 | 1,5 | 1,9 | 1,1  | 2,3 | 4,3 | 1,5 | 2,3 | 1,9 | 4,8 | 4,2 | 2,2 | 2,9 | 2,3 |
| Dia 30         | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 1,4  | 2,0 | 3,5 | 2,0 | 2,9 | 1,8 | 3,1 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 1,3 |
| Média Pentadal | 2,3 | 1,5 | 1,3 | 1,4  | 2,6 | 3,9 | 1,7 | 2,5 | 1,6 | 3,4 | 3,1 | 2,7 | 2,6 | 1,7 |
| Grupos         | G3  | G4  | G4  | G4   | G3  | G1  | G4  | G3  | G4  | G1  | G2  | G3  | G3  | G4  |

Tabela 12 – Idem tab.11, para às 12UTC.

|                | <b>BJ</b> | <b>CA</b> | <b>ENC</b> | <b>IRAÍ</b> | <b>LV</b> | <b>PF</b> | <b>POA</b> | <b>RG</b> | <b>STM</b> | <b>STV</b> | <b>LIV</b> | <b>SLG</b> | <b>TOR</b> | <b>URU</b> |
|----------------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Dia 1          | 1,4       | 3,0       | 1,9        | 1,5         | 3,5       | 3,8       | 2,0        | 3,6       | 2,5        | 7,5        | 2,6        | 4,1        | 2,6        | 3,1        |
| Dia 2          | 1,8       | 2,3       | 1,5        | 1,5         | 4,0       | 4,1       | 2,0        | 2,4       | 2,5        | 3,9        | 3,7        | 3,4        | 3,0        | 2,8        |
| Dia 3          | 2,6       | 2,3       | 1,0        | 1,0         | 2,5       | 3,7       | 1,8        | 1,6       | 2,6        | 4,3        | 5,1        | 4,0        | 2,7        | 3,8        |
| Dia 4          | 3,1       | 2,8       | 2,0        | 1,3         | 2,8       | 4,5       | 1,3        | 4,6       | 2,8        | 5,5        | 3,9        | 4,6        | 3,5        | 3,4        |
| Dia 5          | 1,6       | 1,8       | 1,5        | 1,4         | 3,0       | 3,8       | 1,3        | 4,0       | 2,2        | 4,8        | 3,2        | 4,0        | 2,0        | 3,8        |
| Média Pentadal | 2,1       | 2,4       | 1,6        | 1,4         | 3,2       | 4,0       | 1,7        | 3,2       | 2,5        | 5,2        | 3,7        | 4,0        | 2,8        | 3,4        |
| Grupos         | G4        | G3        | G4         | G4          | G3        | G2        | G4         | G3        | G3         | G1         | G2         | G2         | G3         | G2         |
| Dia 6          | 2,0       | 2,3       | 1,6        | 2,1         | 2,7       | 3,9       | 2,0        | 3,0       | 2,2        | 4,6        | 4,1        | 4,0        | 2,9        | 3,9        |
| Dia 7          | 3,0       | 2,0       | 2,3        | 1,6         | 4,3       | 5,1       | 1,3        | 4,5       | 2,6        | 5,9        | 3,5        | 4,7        | 2,8        | 4,6        |
| Dia 8          | 2,3       | 1,8       | 1,8        | 1,9         | 3,3       | 4,4       | 2,0        | 3,4       | 2,9        | 5,1        | 4,3        | 4,0        | 2,8        | 4,4        |
| Dia 9          | 2,3       | 2,3       | 1,4        | 1,5         | 3,3       | 5,7       | 1,0        | 4,1       | 2,9        | 4,5        | 3,8        | 4,1        | 2,5        | 3,6        |
| Dia 10         | 3,3       | 2,5       | 1,3        | 1,7         | 4,0       | 5,0       | 1,8        | 4,4       | 3,0        | 6,0        | 3,8        | 2,4        | 3,1        | 2,5        |
| Média Pentadal | 2,6       | 2,2       | 1,6        | 1,8         | 3,5       | 4,8       | 1,6        | 3,9       | 2,7        | 5,2        | 3,9        | 3,8        | 2,8        | 3,8        |
| Grupos         | G3        | G3        | G4         | G4          | G3        | G1        | G4         | G2        | G3         | G1         | G2         | G2         | G3         | G2         |
| Dia 11         | 2,6       | 2,5       | 2,5        | 1,3         | 4,5       | 4,7       | 2,0        | 5,4       | 2,6        | 8,3        | 2,3        | 3,8        | 2,4        | 3,3        |
| Dia 12         | 2,3       | 1,5       | 1,9        | 2,1         | 2,3       | 4,6       | 2,0        | 2,9       | 2,1        | 6,0        | 2,3        | 3,3        | 4,3        | 3,0        |
| Dia 13         | 2,8       | 2,3       | 2,4        | 2,0         | 3,0       | 5,4       | 2,0        | 3,8       | 2,3        | 5,1        | 3,9        | 3,6        | 3,1        | 3,5        |
| Dia 14         | 2,1       | 2,5       | 1,5        | 1,4         | 2,8       | 3,9       | 1,3        | 4,8       | 2,7        | 5,9        | 4,6        | 3,4        | 3,3        | 3,6        |
| Dia 15         | 2,8       | 2,3       | 1,6        | 1,9         | 2,7       | 4,7       | 1,7        | 3,1       | 2,4        | 5,4        | 3,1        | 3,6        | 3,0        | 2,7        |
| Média Pentadal | 2,5       | 2,2       | 2,0        | 1,7         | 3,0       | 4,7       | 1,8        | 4,0       | 2,4        | 6,1        | 3,3        | 3,5        | 3,2        | 3,2        |
| Grupos         | G4        | G4        | G4         | G4          | G2        | G2        | G4         | G2        | G4         | G1         | G3         | G2         | G3         | G3         |
| Dia 16         | 2,3       | 1,5       | 1,3        | 1,9         | 2,3       | 3,3       | 0,8        | 2,9       | 1,7        | 4,1        | 2,9        | 3,9        | 1,9        | 3,3        |
| Dia 17         | 2,0       | 1,5       | 1,8        | 1,8         | 2,0       | 3,5       | 0,8        | 3,3       | 2,7        | 5,1        | 3,2        | 3,6        | 2,6        | 2,8        |
| Dia 18         | 2,3       | 1,5       | 1,5        | 1,8         | 3,3       | 3,6       | 1,0        | 3,0       | 2,3        | 5,0        | 4,0        | 2,7        | 3,1        | 2,0        |
| Dia 19         | 2,4       | 2,5       | 2,4        | 1,5         | 3,5       | 3,8       | 1,5        | 3,0       | 2,1        | 5,0        | 3,3        | 3,2        | 2,3        | 1,8        |
| Dia 20         | 2,9       | 2,8       | 2,5        | 1,4         | 3,5       | 3,9       | 2,8        | 2,8       | 3,3        | 3,8        | 3,7        | 3,8        | 3,6        | 3,5        |
| Média Pentadal | 2,4       | 2,0       | 1,9        | 1,7         | 2,9       | 3,6       | 1,4        | 3,0       | 2,4        | 4,6        | 3,4        | 3,4        | 2,7        | 2,7        |
| Grupos         | G3        | G4        | G4         | G4          | G2        | G2        | G4         | G2        | G3         | G1         | G2         | G2         | G3         | G3         |
| Dia 21         | 2,3       | 1,8       | 1,0        | 2,2         | 2,8       | 4,5       | 1,0        | 2,9       | 2,3        | 3,3        | 2,6        | 3,3        | 2,1        | 4,1        |
| Dia 22         | 2,1       | 2,0       | 1,3        | 2,3         | 3,3       | 4,6       | 1,3        | 2,4       | 1,8        | 4,8        | 3,5        | 3,7        | 2,5        | 3,0        |
| Dia 23         | 2,3       | 2,0       | 1,0        | 1,6         | 3,0       | 4,3       | 1,0        | 3,4       | 2,4        | 4,6        | 3,4        | 3,9        | 3,0        | 3,7        |
| Dia 24         | 3,0       | 1,7       | 1,0        | 2,5         | 1,7       | 3,3       | 2,0        | 3,9       | 2,6        | 4,7        | 3,0        | 3,5        | 3,3        | 1,9        |
| Dia 25         | 1,6       | 2,0       | 1,1        | 1,3         | 3,0       | 3,8       | 0,7        | 1,9       | 1,8        | 3,7        | 3,6        | 3,4        | 1,7        | 2,9        |
| Média Pentadal | 2,2       | 1,9       | 1,1        | 2,0         | 2,7       | 4,1       | 1,2        | 2,9       | 2,2        | 4,2        | 3,2        | 3,6        | 2,5        | 3,1        |
| Grupos         | G3        | G4        | G4         | G4          | G2        | G1        | G4         | G3        | G3         | G1         | G2         | G1         | G3         | G2         |
| Dia 26         | 2,7       | 2,7       | 1,7        | 1,5         | 3,7       | 3,7       | 2,3        | 3,9       | 2,4        | 5,7        | 4,5        | 2,7        | 2,1        | 2,3        |
| Dia 27         | 2,0       | 1,0       | 1,6        | 1,1         | 2,7       | 3,7       | 1,0        | 3,9       | 3,2        | 4,3        | 4,0        | 3,3        | 1,3        | 3,1        |
| Dia 28         | 2,1       | 1,8       | 2,0        | 2,1         | 2,3       | 4,7       | 1,3        | 2,9       | 2,0        | 4,4        | 3,3        | 3,4        | 2,3        | 3,5        |
| Dia 29         | 1,5       | 2,0       | 2,1        | 1,0         | 2,0       | 3,7       | 1,3        | 3,4       | 2,5        | 4,7        | 3,2        | 3,1        | 2,6        | 3,7        |
| Dia 30         | 2,1       | 2,5       | 1,5        | 1,3         | 2,8       | 4,2       | 1,8        | 2,6       | 2,7        | 4,0        | 4,2        | 3,6        | 3,6        | 4,0        |
| Média Pentadal | 2,1       | 2,0       | 1,8        | 1,4         | 2,7       | 4,0       | 1,5        | 3,3       | 2,6        | 4,6        | 3,8        | 3,2        | 2,4        | 3,3        |
| Grupos         | G4        | G3        | G4         | G4          | G2        | G1        | G4         | G2        | G2         | G1         | G2         | G2         | G3         | G2         |

Tabela 13 – Idem tab.11, para às 18UTC.

|                | <b>BJ</b> | <b>CA</b> | <b>ENC</b> | <b>IRAÍ</b> | <b>PF</b> | <b>POA</b> | <b>RG</b> | <b>STM</b> | <b>STV</b> | <b>LIV</b> | <b>SLG</b> | <b>TOR</b> | <b>URU</b> |
|----------------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Dia 1          | 2,1       | 1,3       | 2,6        | 2,4         | 3,9       | 2,5        | 3,0       | 2,9        | 4,6        | 3,7        | 3,5        | 4,5        | 2,8        |
| Dia 2          | 2,0       | 2,3       | 1,4        | 2,3         | 4,3       | 2,3        | 3,9       | 2,5        | 5,5        | 3,5        | 2,8        | 4,0        | 3,8        |
| Dia 3          | 2,1       | 1,3       | 1,9        | 1,8         | 4,0       | 1,8        | 2,9       | 3,3        | 4,6        | 4,1        | 3,3        | 4,3        | 3,3        |
| Dia 4          | 3,1       | 1,7       | 2,4        | 2,5         | 4,0       | 2,8        | 4,1       | 3,1        | 5,1        | 4,1        | 3,3        | 4,3        | 3,1        |
| Dia 5          | 2,0       | 2,3       | 1,3        | 3,3         | 2,8       | 1,5        | 4,6       | 2,1        | 6,0        | 3,6        | 3,5        | 3,0        | 3,6        |
| Média Pentadal | 2,3       | 1,8       | 1,9        | 2,5         | 3,8       | 2,2        | 3,7       | 2,8        | 5,2        | 3,8        | 3,3        | 4,0        | 3,3        |
| Grupos         | G4        | G4        | G4         | G4          | G2        | G4         | G3        | G4         | G1         | G2         | G3         | G2         | G3         |
| Dia 6          | 2,5       | 2,0       | 1,8        | 2,2         | 4,3       | 2,3        | 4,6       | 3,2        | 5,0        | 4,8        | 3,4        | 3,8        | 3,5        |
| Dia 7          | 2,4       | 2,3       | 1,5        | 2,8         | 4,3       | 1,7        | 3,8       | 3,0        | 5,5        | 3,2        | 3,5        | 5,0        | 4,0        |
| Dia 8          | 1,9       | 2,3       | 1,3        | 2,1         | 3,1       | 1,8        | 5,3       | 2,9        | 6,5        | 5,7        | 3,1        | 5,5        | 3,1        |
| Dia 9          | 2,3       | 1,7       | 1,5        | 2,0         | 3,8       | 1,3        | 4,0       | 2,5        | 4,6        | 3,7        | 3,5        | 2,6        | 2,4        |
| Dia 10         | 3,3       | 2,3       | 2,1        | 2,3         | 3,3       | 1,8        | 4,8       | 3,2        | 5,9        | 3,5        | 3,0        | 4,6        | 3,0        |
| Média Pentadal | 2,5       | 2,1       | 1,6        | 2,3         | 3,7       | 1,7        | 4,5       | 3,0        | 5,5        | 4,2        | 3,3        | 4,3        | 3,2        |
| Grupos         | G4        | G4        | G4         | G4          | G3        | G4         | G2        | G3         | G1         | G2         | G3         | G2         | G3         |
| Dia 11         | 3,0       | 2,7       | 2,5        | 3,2         | 3,9       | 2,0        | 4,3       | 3,1        | 7,0        | 2,6        | 3,8        | 4,3        | 3,8        |
| Dia 12         | 2,8       | 2,3       | 1,8        | 2,9         | 2,8       | 1,5        | 6,6       | 2,7        | 8,3        | 3,5        | 3,2        | 3,6        | 3,3        |
| Dia 13         | 2,6       | 1,7       | 1,0        | 3,2         | 3,9       | 2,0        | 2,8       | 2,6        | 5,1        | 3,7        | 2,8        | 5,6        | 3,5        |
| Dia 14         | 2,6       | 2,0       | 1,3        | 1,7         | 3,7       | 1,3        | 4,6       | 2,5        | 6,0        | 3,6        | 3,5        | 5,3        | 4,5        |
| Dia 15         | 2,3       | 1,7       | 1,3        | 2,9         | 4,3       | 1,7        | 4,1       | 2,7        | 6,8        | 4,4        | 2,5        | 4,1        | 2,3        |
| Média Pentadal | 2,6       | 2,1       | 1,6        | 2,8         | 3,7       | 1,7        | 4,5       | 2,7        | 6,6        | 3,6        | 3,1        | 4,6        | 3,5        |
| Grupos         | G4        | G4        | G4         | G4          | G2        | G4         | G3        | G4         | G1         | G2         | G4         | G2         | G2         |
| Dia 16         | 2,9       | 1,5       | 0,9        | 2,8         | 4,4       | 1,3        | 3,3       | 3,5        | 5,6        | 4,2        | 3,5        | 3,6        | 3,8        |
| Dia 17         | 2,9       | 2,0       | 0,9        | 2,1         | 2,8       | 1,0        | 3,9       | 1,9        | 5,1        | 3,7        | 3,1        | 4,1        | 2,3        |
| Dia 18         | 3,3       | 1,0       | 1,8        | 2,9         | 4,0       | 1,3        | 2,3       | 2,9        | 5,6        | 3,6        | 3,3        | 1,6        | 2,1        |
| Dia 19         | 3,0       | 2,0       | 2,1        | 2,8         | 4,2       | 1,8        | 3,0       | 2,7        | 5,4        | 2,8        | 3,7        | 3,5        | 3,5        |
| Dia 20         | 2,8       | 2,3       | 1,5        | 3,0         | 3,6       | 2,0        | 3,8       | 3,1        | 5,8        | 4,0        | 2,6        | 3,6        | 2,5        |
| Média Pentadal | 2,9       | 1,8       | 1,4        | 2,7         | 3,8       | 1,5        | 3,2       | 2,8        | 5,5        | 3,6        | 3,3        | 3,3        | 2,8        |
| Grupos         | G3        | G4        | G4         | G3          | G2        | G4         | G3        | G3         | G1         | G2         | G3         | G3         | G3         |
| Dia 21         | 1,8       | 2,7       | 1,8        | 2,3         | 3,4       | 1,8        | 3,6       | 2,5        | 3,8        | 2,4        | 3,0        | 4,0        | 2,8        |
| Dia 22         | 2,0       | 2,7       | 0,9        | 2,0         | 2,8       | 1,3        | 3,8       | 2,4        | 3,5        | 4,4        | 2,6        | 4,1        | 2,5        |
| Dia 23         | 2,3       | 1,7       | 1,0        | 1,9         | 3,6       | 0,7        | 2,6       | 2,3        | 5,1        | 3,4        | 3,0        | 4,1        | 4,0        |
| Dia 24         | 2,5       | 1,5       | 1,7        | 4,1         | 3,7       | 1,5        | 2,9       | 1,9        | 3,7        | 3,8        | 2,7        | 4,2        | 3,3        |
| Dia 25         | 2,6       | 2,0       | 1,3        | 2,0         | 4,7       | 1,7        | 3,0       | 2,6        | 4,2        | 3,7        | 3,2        | 2,6        | 2,9        |
| Média Pentadal | 2,2       | 2,1       | 1,3        | 2,5         | 3,6       | 1,4        | 3,2       | 2,3        | 4,1        | 3,5        | 2,9        | 3,8        | 3,1        |
| Grupos         | G3        | G4        | G4         | G3          | G1        | G4         | G2        | G3         | G1         | G2         | G1         | G2         | G1         |
| Dia 26         | 3,1       | 2,0       | 1,9        | 2,2         | 4,5       | 2,0        | 2,6       | 2,5        | 3,7        | 3,0        | 3,0        | 2,6        | 2,6        |
| Dia 27         | 1,9       | 1,5       | 1,3        | 2,0         | 3,8       | 1,8        | 4,0       | 2,1        | 4,4        | 4,7        | 3,0        | 2,3        | 2,0        |
| Dia 28         | 2,4       | 1,7       | 1,5        | 2,5         | 3,9       | 1,0        | 3,0       | 2,4        | 4,4        | 3,9        | 2,6        | 3,0        | 2,5        |
| Dia 29         | 2,3       | 2,0       | 2,1        | 2,3         | 3,7       | 2,0        | 2,8       | 3,0        | 5,0        | 3,7        | 2,8        | 4,3        | 3,4        |
| Dia 30         | 2,9       | 2,0       | 1,3        | 1,8         | 4,0       | 2,0        | 3,3       | 3,0        | 5,6        | 4,6        | 3,2        | 4,5        | 3,6        |
| Média Pentadal | 2,5       | 1,8       | 1,6        | 2,2         | 4,0       | 1,8        | 3,1       | 2,6        | 4,6        | 4,0        | 2,9        | 3,3        | 2,8        |
| Grupos         | G4        | G4        | G4         | G4          | G1        | G4         | G3        | G4         | G1         | G1         | G3         | G2         | G2         |

Sabe-se que para uma coerente análise de agrupamento é necessário que haja similaridade entre as localidades de um mesmo grupo e dissimilaridade entre os grupos. Tal situação pode também ser observada a partir dos valores médios de velocidade do vento durante o período de anos deste estudo (tabelas do Apêndice A). Contudo, para melhor caracterizar os resultados obtidos na construção das regiões homogêneas de vento no Estado foram gerados, a partir das séries originais de vento, gráficos *box-plot* para cada um dos três horários sinóticos de observação, mostrados na Fig.35. Para a construção destes gráficos, foi escolhida a pênitida de 11 a 15 de novembro, pois esta apresentou os ventos mais intensos no período de 2000 a 2007. Percebe-se nos gráficos que os valores da mediana diferem entre si, caracterizando uma distinção entre os grupos, mesmo quando utilizados os dados originais das séries de vento. Além disto, valores acima do maior valor da amostra podem ser observados em cada um dos horários e em cada uma das 4 regiões homogêneas de vento. A ocorrência destes valores de vento pode estar relacionada a erros de observação meteorológica, erros na calibragem dos instrumentos e a ocorrência de sistemas meteorológicos causadores de tempo mais severo.

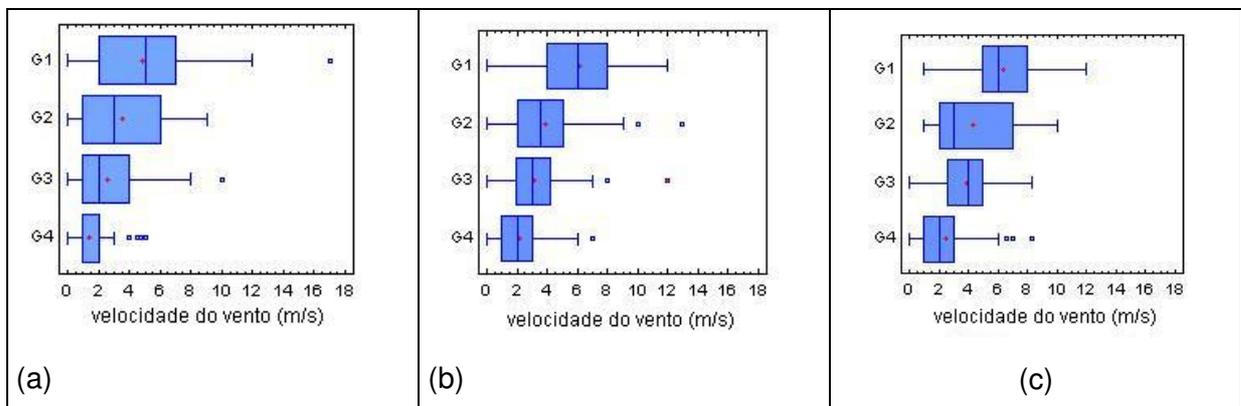


Figura 35 – Distribuição da velocidade do vento de 11 a 15 de novembro no período de 2000 a 2007 para as 4 regiões homogêneas deste estudo às (a) 00UTC; (b) 12UTC e (c) 18UTC.

#### 4.4 ESCOLHA DO CASO DE ESTUDO

Tendo em vista que uma das fases desta pesquisa faz uso da modelagem atmosférica, os resultados da análise de agrupamento foram fundamentais para a escolha do período a ser simulado no modelo MM5. Sabendo que o mês de novembro possui ventos mais intensos, foi feita para este mês a análise de frequência por ano dos ventos nos anos de 2000 a 2007 em cada uma das estações meteorológicas que constituíram o G1 (grupo de maior velocidade do vento), nos

horários das 00, 12 e 18UTC, separadamente.

As Fig.36, Fig.37 e Fig.38 mostram a frequência anual das velocidades dos ventos no mês de novembro em Passo Fundo e Santa Vitória do Palmar, divididos nas três classes de intensidade, em cada um dos três horários de observação. Nota-se em Passo Fundo uma predominância das velocidades entre 0 e 4,9m/s às 00UTC (Fig.36), 12UTC (Fig.37) e 18UTC (Fig.38). Para às 12UTC, Fig.37, o número de ocorrências de velocidades entre 0 e 9,9m/s nas estações meteorológicas do G1 são muito próximas entre os anos de 2001 a 2005. A máxima diferença no número de ocorrências entre Passo Fundo e Santa Vitória do Palmar, para este horário, foi de 5 ocorrências no ano de 2005 na classe de 0 a 4,9m/s e de 4 ocorrências nos anos de 2003 e 2005 na classe de 5 a 9,9m/s em ambas as estações meteorológicas. As similaridades nos valores de intensidade dos ventos nestas estações meteorológicas podem ser causadas por diferentes fatores, como por exemplo, o aquecimento da superfície, a passagem de sistemas meteorológicos, entre outros.

Os valores iguais ou superiores a 10m/s não foram muito frequentes. Em Passo Fundo há apenas uma ocorrência destes valores às 12UTC, nos anos de 2005 e 2007, Fig.37 e duas ocorrências no ano de 2007 às 18UTC (Fig.38). Na localidade de Santa Vitória do Palmar, a ocorrência de valores iguais ou superiores a 10m/s também não foi muito freqüente, com um com um máximo de 3 ocorrências em novembro/2002 às 18UTC.

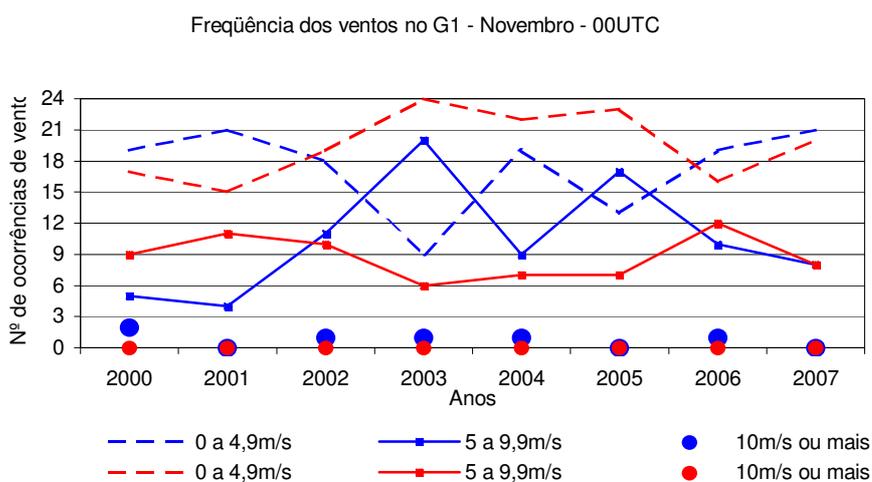


Figura 36 – Frequência dos ventos por ano nas estações meteorológicas de Passo Fundo (linha na cor vermelha) e Santa Vitória do Palmar (linha na cor azul), nas classes de 0 a 4,9m/s; de 5 a 9,9m/s e de 10m/s ou mais, às 00UTC.

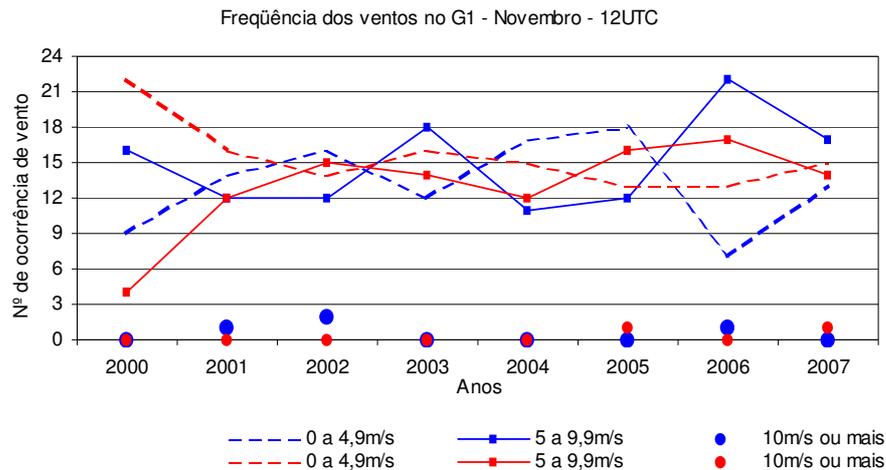


Figura 37 – Frequência dos ventos por ano nas estações meteorológicas de Passo Fundo (linha na cor vermelha) e Santa Vitória do Palmar (linha na cor azul), nas classes de 0 a 4,9m/s; de 5 a 9,9m/s e de 10m/s ou mais, às 00UTC.

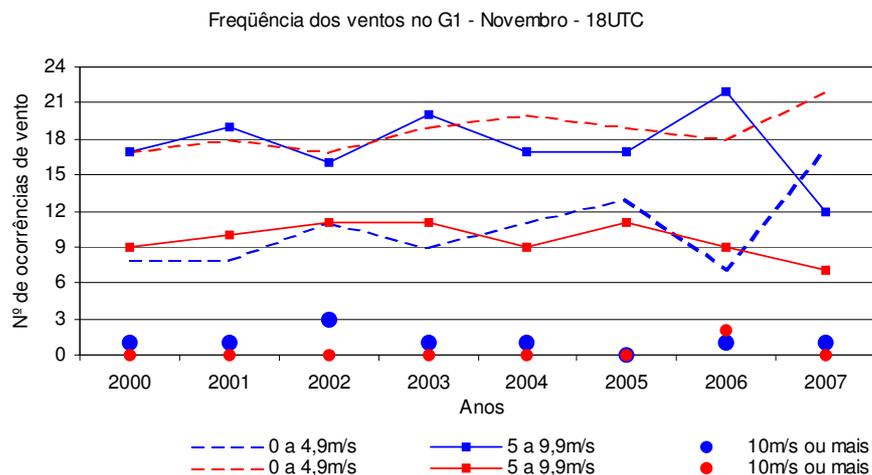


Figura 38 – Frequência dos ventos por ano nas estações meteorológicas de Passo Fundo (linha na cor vermelha) e Santa Vitória do Palmar (linha na cor azul), nas classes de 0 a 4,9m/s; de 5 a 9,9m/s e de 10m/s ou mais, às 00UTC.

Devido ao comportamento do vento no mês de novembro de 2002 ser peculiar, com 3 ocorrências de ventos mais fortes, buscou-se nas séries originais de velocidade do vento deste mês, os dias em que ocorreram valores  $\geq 10$  m/s, em cada um dos horários deste estudo. Como dito anteriormente, a ocorrência de valores mais intensos de vento pode ser devido a inúmeros fatores. Analisando as séries de ventos de novembro/2002 das 15 estações meteorológicas do Estado juntamente com imagens de satélite geoestacionário, foram identificadas as seguintes condições meteorológicas:

- dia 7/11/2002: escoamento de oeste, com nebulosidade ao sul.
- dias 10 e 11: evolução de um ciclone extratropical no sul da América do Sul.

Nestes dias, as velocidades registradas na estação meteorológica de Santa Vitória do Palmar atingiram 12m/s às 18UTC do dia 10, e nos três horários do dia 11.

Para fins de testes das opções de parametrização de CLP no modelo MM5, foi escolhido o evento de ciclone extratropical. Analisando as imagens de satélite e campos meteorológicos, foi possível estimar que o máximo desenvolvimento deste sistema ocorreu entre os dias dia 10 e 11 de novembro de 2002. Nos experimentos, foram considerados três dias de ocorrência deste ciclone: dias 10, 11 e 12.

A Fig.39 mostra a sequência de imagens de satélite do ciclo de desenvolvimento deste ciclone, desde a sua formação, no dia 9, até o seu decaimento, no dia 13 de novembro de 2002. Na fase inicial, a nebulosidade deste sistema apresentou um formato de “folha”, região indicada pelos círculos nas Fig. 39a a Fig.39c. Posteriormente, devido à ação das forçantes quase-geostróficas, este sistema se intensificou e a nebulosidade adquiriu um aspecto na forma de “gancho” ou “vírgula”, como mostram as Fig.39d a Fig.39f, ao mesmo tempo em que o sistema se expandiu, caracterizando a fase de maturação do sistema. Nota-se também uma zona de céu claro, região mais escura nas imagens entre a cauda e as nuvens a oeste – é uma região de intrusão de ar seco, típica em ciclones em desenvolvimento. A partir do dia 12/11/2002 o sistema entrou em processo de decaimento (Fig.39g a Fig.39i). A evolução da nebulosidade descrita acima confere com o preconizado no modelo conceitual de evolução de ciclones extratropicais (CARLSON, 1991).

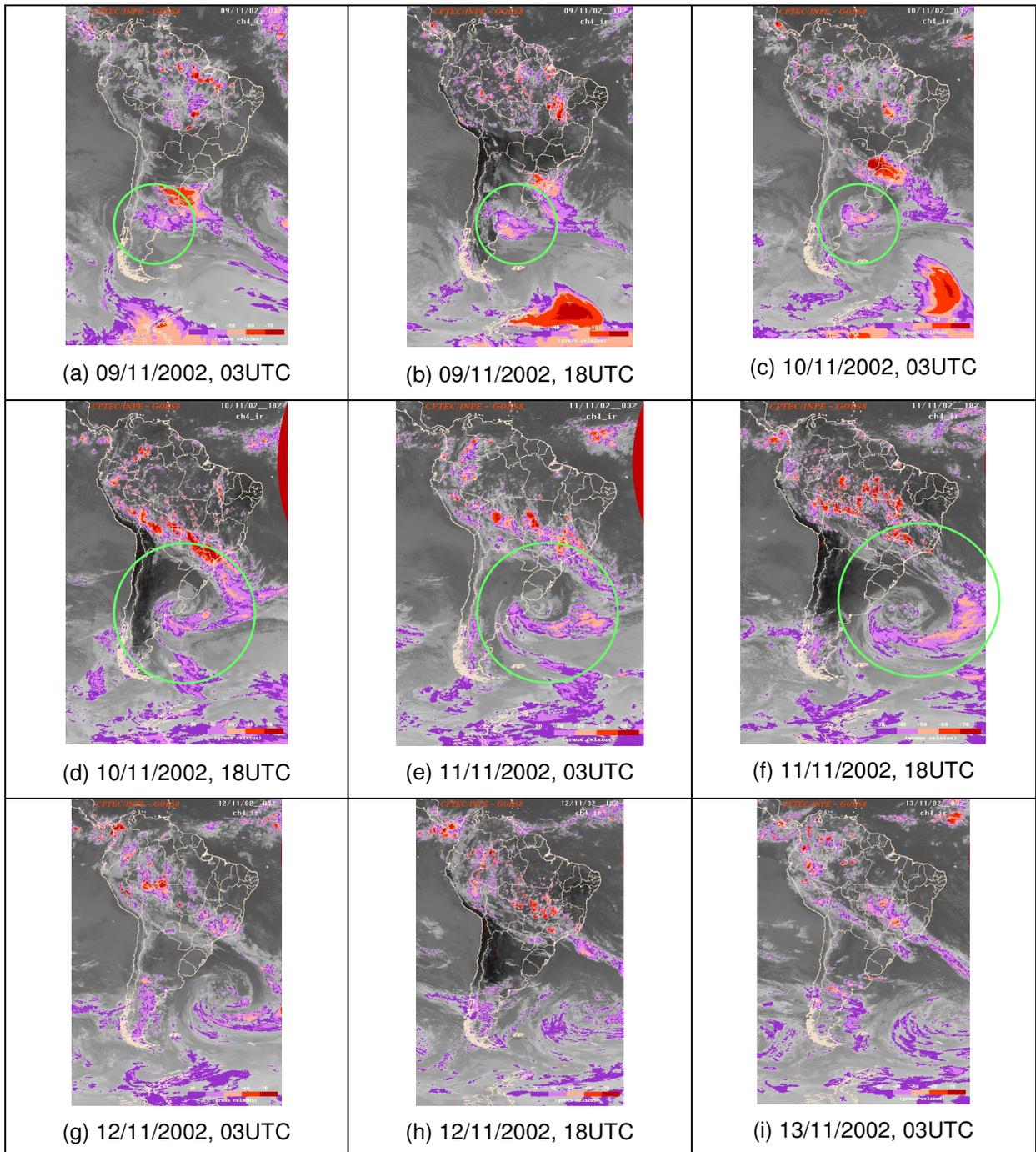


Figura 39 – Sequência de imagens de satélite que mostram a formação e desenvolvimento do ciclone extratropical que provocou ventos fortes no sul do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 09/11/2002 a 13/11/2002.

A Fig.40 mostra, para os dias 10/11/2002 a 13/11/2002 às 12UTC, a localização do centro de baixa pressão em superfície em estudo (indicado pela letra “B”). Sistemas de baixa pressão têm rotação ciclônica. Desta forma, a análise da disposição das linhas de fluxo constitui uma maneira fácil e eficiente de identificar onde está o centro do sistema. Inicialmente, este estava localizado no noroeste da Argentina (Fig.40a) e se deslocou continuamente para sudeste, em direção ao

Oceano Atlântico Sul, como mostram as Fig.40a a Fig.40d. Percebe-se a intensificação do sistema de baixa pressão e velocidades mais elevadas nas bordas externas da circulação ciclônica associada.

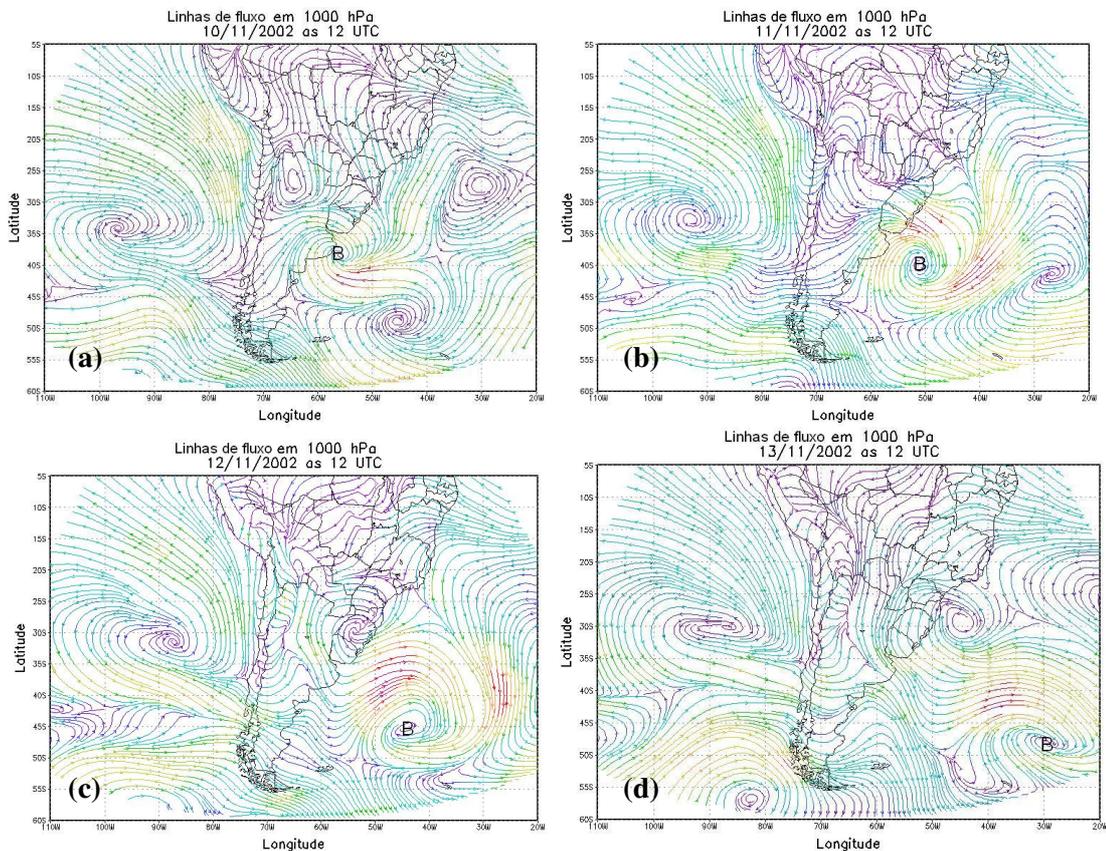


Figura 40 – Linhas de fluxo e velocidades do vento, em 1000hPa às 12UTC, no período de (a) 10/11/2002 a (d) 13/11/2002. A letra “B” indica a localização do centro do sistema de baixa pressão em superfície em estudo.

A evolução dos campos de altura geopotencial, vorticidade relativa e vento horizontal (direção e módulo) é apresentada na Fig.41, no nível de 500hPa às 12 UTC, para o período de 09 a 13/11/2002. A região marcada com um círculo indica a área de interesse para esta análise. Dois aspectos são relevantes nesta figura: a posição do eixo do cavado em relação à baixa em superfície e a configuração da onda. Inicialmente, o eixo do cavado encontra-se a oeste da baixa em superfície (Fig.41a,b,c). Também característico da fase de intensificação de ciclones é o aprofundamento do cavado, observado nos dias 09, 10 e 11/11/2002 (Fig.41a,b,c), que é acompanhado por queda na altura geopotencial e movimento vertical ascendente. Posteriormente observa-se uma rápida desintensificação do cavado, as advecções de vorticidade e de temperatura diminuem - o sistema está em fase de decaimento (Fig.41d,e).

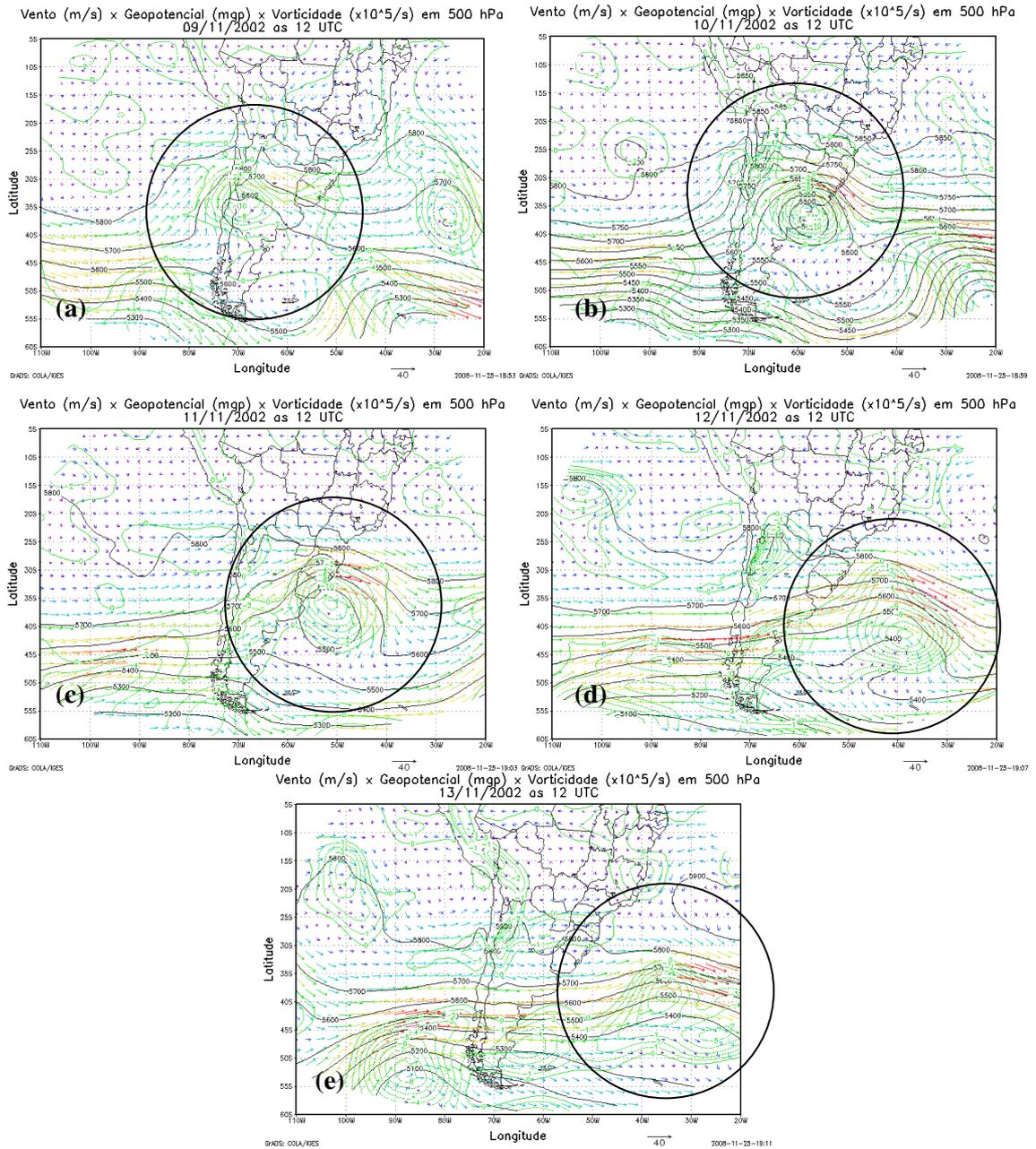


Figura 41 – Linhas de altura geopotencial, vorticidade relativa e vento horizontal, no nível 500hPa às 12UTC. O círculo indica a região de interesse, onde está localizado o sistema de baixa pressão em superfície, no período (a) 09/11/2002 a (e) 13/11/2002.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS SIMULADOS

Nesta subseção são avaliados os erros de viés (BE), raiz do erro quadrático médio (RSME) e desvio padrão dos erros (DPE) calculados em cada um dos dois experimentos realizados, com as velocidades (a 10m de altura) observadas e simuladas, nos dois experimentos e nos três horários de observação. Lembrando, no Experimento 1 foi testada a parametrização Blackadar de CLP e no Experimento 2 foi testada a parametrização MRF de CLP, utilizando o modelo MM5. Outras informações das configurações são encontradas na seção “Material e Métodos”.

No procedimento de cálculo dos erros, os valores simulados de velocidades foram utilizados de duas maneiras: na primeira, foi realizado um cálculo para obter um valor médio para a posição geográfica da estação meteorológica, utilizando dados contidos em uma área de 11kmx11km, centrada na estação. Na segunda, os valores simulados foram obtidos diretamente dos arquivos de saída do modelo. A diferença encontrada entre as velocidades simuladas, calculadas segundo estes dois procedimentos, ocorreu no segundo dígito da mantissa. Tendo em vista que os valores de velocidades observados foram fornecidos na unidade de m/s, com algumas estações onde as velocidades apresentaram um dígito na mantissa, esta diferença foi considerada desprezível e, portanto, os valores simulados utilizados nesta parte do trabalho foram os obtidos diretamente dos campos de saída do modelo.

Nos dias 10, 11 e 12 de novembro de 2002, as velocidades do vento observadas nas 15 estações meteorológicas e nos três horários de observação variaram entre 1 e 12m/s.

A Fig.42 mostra a variação temporal dos erros de viés (BE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e desvio padrão dos erros (DPE) obtidos com as velocidades observadas e as simuladas nos Experimentos 1 e 2, considerando as 15 estações meteorológicas. De maneira geral, a magnitude encontrada dos erros mostrou que os resultados não foram satisfatórios com nenhum dos dois experimentos, especialmente no Experimento 2. Os valores do BE indicam que os erros sistemáticos, causados por representação inadequada da topografia, dos processos radiativos, convectivos ou ainda fatores numéricos, foram importantes. Erros não sistemáticos, indicados nos valores do DPE, representam erros causados por incertezas nas condições iniciais e de contorno ou erros nas observações. A

magnitude semelhante dos erros BE (Fig.42a) e DPE (Fig.42b) indicou que ambos contribuíram de maneira quase igual ao erro total. Os valores do RMSE indicam a qualidade dos valores simulados nos dois Experimentos. Os dois experimentos forneceram valores acima/abaixo dos observados em 2 a 4 m/s, com uma diferença máxima de 10m/s às 12UTC do dia 11 (Fig.42c).

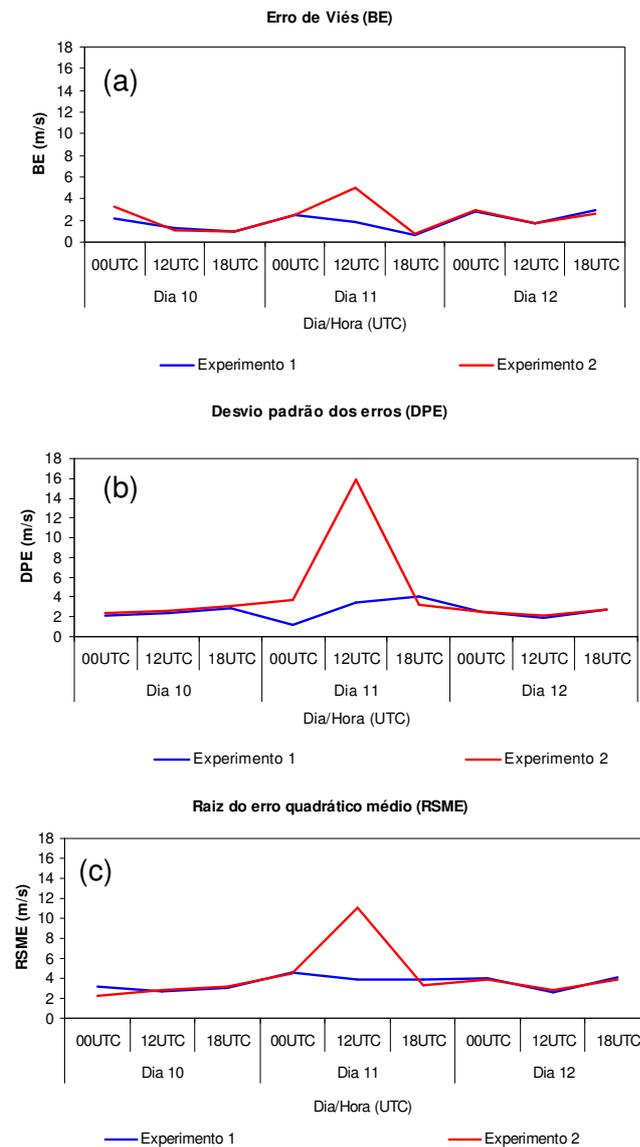


Figura 42 – Evolução temporal dos (a) erros de viés, (b) raiz do erro quadrático médio e (c) desvio padrão dos erros, obtidos no Experimento 1 (linha azul) e no Experimento 2 (linha vermelha), para as 15 estações, durante o período de 10 a 12 de novembro de 2002, nos três horários de observação.

A Fig.43 mostra os valores observados e os simulados, com os Experimentos 1 e 2, de 7 estações meteorológicas para o período de 10 a 12 de novembro de 2002. Os resultados obtidos com os experimentos 1 e 2 nestas estações foram bem diferentes. Para algumas estações as velocidades foram subestimadas durante quase todo o período (Fig.43c, e), em outras as velocidades foram quase sempre superestimadas (Fig.43a, f, g) e em outras ainda, o comportamento foi diferente do observado nas demais estações (Fig.43b, d). De maneira geral, os resultados encontrados com o Experimento 1 foram melhores daqueles encontrados com o Experimento 2, com exceção de Santa Maria (Fig. 43d). Nesta estação, a única, os resultados encontrados com o experimento 2 foram muito superiores aos encontrados com o experimento 1. Em Bom Jesus, o experimento 1 forneceu valores que acompanharam a tendência no comportamento das velocidades em três ocasiões: no dia 10 e entre 12UTC do dia 11 e 00UTC do dia 12. Em Rio Grande (Fig.43c) o mesmo ocorreu entre às 12UTC do dia 11 até 00UTC do dia 12, em Santa Vitória do Palmar (Fig.43e) entre às 18UTC do dia 11 e 12UTC do dia 12 e em São Luiz Gonzaga (Fig.43f) entre às 18UTC do dia 11 e 18UTC do dia 12. Os valores nos períodos citados, entretanto, foram todos defasados. As maiores diferenças, tanto para mais quanto para menos, entre os valores observados e simulados ocorreu no dia 11 (Fig. 43e,f, g). Nas estações de Encruzilhada do Sul (Fig.43b) e de Uruguaiana (Fig.43g) os resultados obtidos com os dois experimentos foram ruins. As oscilações freqüentes de velocidades em Encruzilhada do Sul não foram capturadas por nenhum dos experimentos.

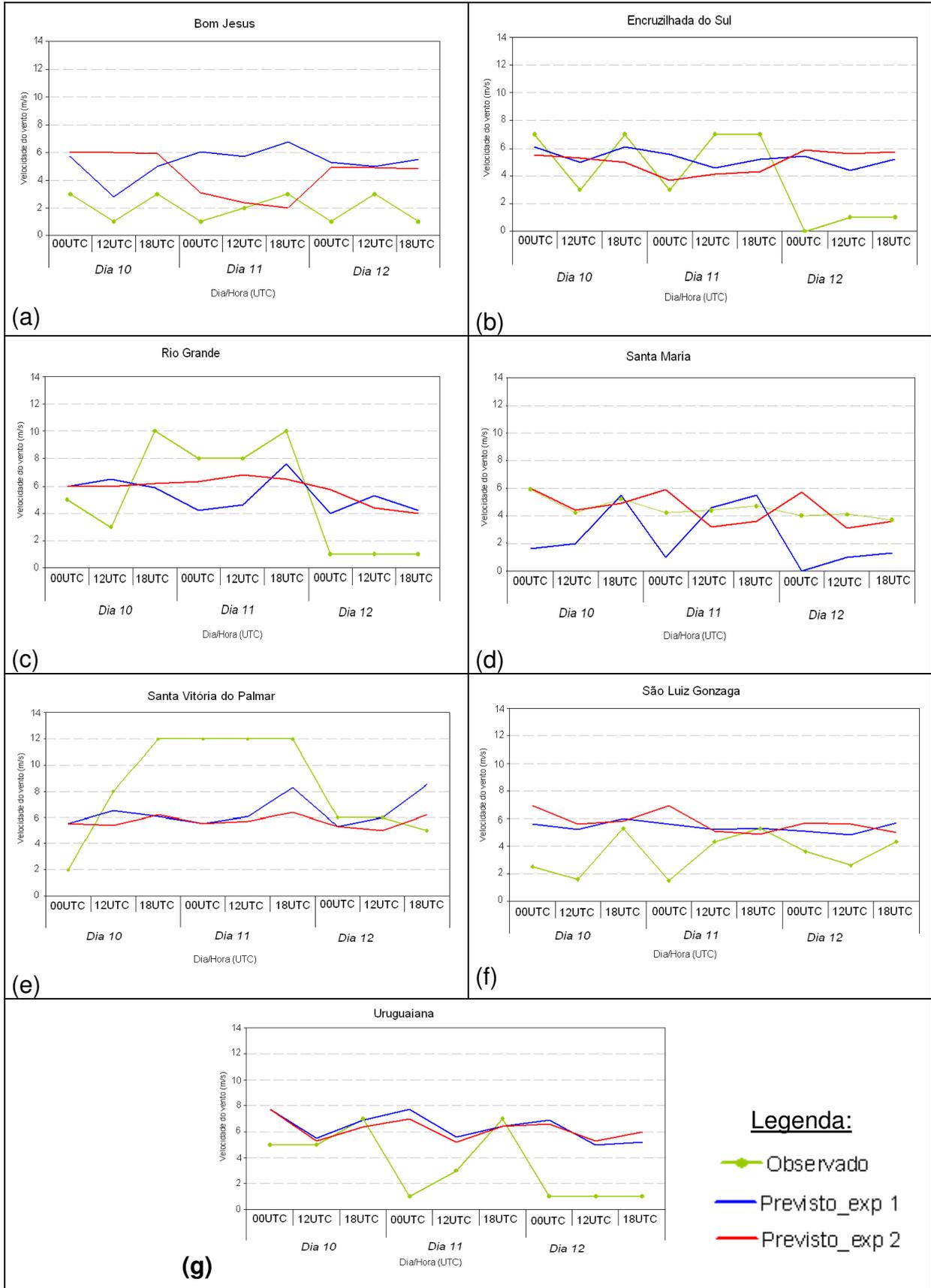


Figura 43 – Velocidades do vento observadas, simuladas com os experimentos 1 e 2, para as cidades de (a) Bom Jesus, (b) Encruzilhada do Sul, (c) Rio Grande, (d) Santa Maria, (e) Santa Vitória do Palmar, (f) São Luiz Gonzaga e (g) Uruguaiiana.

## 5 CONCLUSÕES

O Estado do Rio Grande do Sul constituiu a região para a qual o presente trabalho foi dirigido. Os resultados apresentados foram muito interessantes, como será discutido mais abaixo. Entretanto, é preciso ter em mente que em todo e qualquer estudo que envolva dados observados e/ou simulados, sempre existirão limitações de natureza experimental e/ou teórica. Quanto maiores forem as limitações, maiores serão os erros. Um grande desafio para os pesquisadores é, sem dúvida, conseguir primeiro identificar todas as fontes de possíveis erros e, depois, quantificar a contribuição de cada uma delas.

A aplicação da distribuição Weibull nas 15 estações meteorológicas foi muito importante para evidenciar as cidades onde os ventos apresentaram velocidades médias mensais mais/menos elevadas e com maior/menor espectro de variação, ao longo do ano e por horário de observação. Os significados dos parâmetros  $c$  e  $k$  desta distribuição permitem esta avaliação. A estação de São Luiz Gonzaga, no noroeste do Estado, apresentou nos horários 00UTC (em 8 meses do ano) e 12UTC (8 meses), os valores mais elevados do parâmetro de forma  $k$ , em relação às outras estações. Isto significa que as velocidades nesta estação têm pouca variação, mas que não são necessariamente as mais elevadas. Santa Vitória do Palmar, localizada no extremo sul do Estado, foi a estação na qual as velocidades a 10m de altura foram as mais elevadas em 11, dos 12 meses do ano, e nos horários 00 e 18UTC.

A abordagem feita neste estudo, no que diz respeito à análise das velocidades por horário de observação e com valores médios agrupados em períodos pentadais foi original, na medida em que não foram encontrados trabalhos similares. Esta avaliação foi importante por dois motivos, principalmente. Em primeiro lugar, as flutuações semanais das velocidades não foram filtradas, como no caso de médias calculadas sobre um período maior de tempo (exemplo: mês, ano). Em segundo lugar, porque ficam retidas as variações das velocidades por ciclo diurno (manhã, tarde e noite). Quando as velocidades aumentaram em uma dada estação devido ao ciclo radiativo, os valores médios pentadais refletiram esta situação, pois ocorreu um aumento nos valores observados no horário das 18UTC,

somente. Entretanto, quando sistemas meteorológicos de grande escala atingiram o Rio Grande do Sul, os valores de velocidades aumentaram e permaneceram elevados durante alguns dias, em todos os horários. A identificação de todos os sistemas que causaram ventos fortes no Rio Grande do Sul, por estação, é um dos aspectos que deverá ter continuidade em trabalhos futuros.

Um caso de estudo, um ciclone extratropical, foi selecionado para a realização de experimentos com o modelo MM5, nos quais foram testadas as parametrizações Blackadar e MRF de camada limite planetária. Como os erros encontrados foram relativamente grandes, trabalhos futuros deverão ser realizados envolvendo outros experimentos e outras situações meteorológicas.

## Referências

- AMARANTE, O.A.C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A.L. Atlas Eólico do Potencial Brasileiro. Disponível em:  
<[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=http%3A//www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas\\_eolico\\_brasil/atlas-web.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=http%3A//www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm)> 2001.
- ATLAS SÓCIO-ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em:  
<<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=349>> Acesso em: fev. 2008.
- AZAMBUJA, Sandro de. **Estudo e implementação da análise de agrupamento em ambientes virtuais de aprendizado**. 2005. 197f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Núcleo de Computação Eletrônica. 2005.
- BAPTISTA DA SILVA, J.; ZANUSSO, J.T.; SILVEIRA, D.L.M.; SCHONS, R.L., LARROZA, E.G. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 227-235, 1997.
- BAPTISTA DA SILVA, J.; LARROZA, E.G. Probabilidades de ocorrência de rajadas máximas de vento em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 237-240, 1999.
- BAPTISTA DA SILVA, J.; SOUZA, D.O.; ZEPKA, G.S. Análise do potencial eólico de algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n. 1, p.159-165, 2004a.
- BAPTISTA DA SILVA, J.; SOUZA, D.O.; BASGALUPP, M.P.; BOIASKI, N.; LLOPART, M.P. Estimativa do potencial eólico do Estado do Rio Grande do Sul-Parte I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004b, Fortaleza. **Anais do...** Fortaleza: SBMET, 2004b. 1CDROM.
- BAUMBACH, M.; KRUSCHE, N. Condições atmosféricas favoráveis a concentração de poluentes em Rio Grande, RS, Brasil, durante o ano de 1994. In: CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 9., 2005, Buenos Aires. **Anais do ...**, Buenos Aires: Centro Argentino de Meteorólogos, 2005. 1CDROM.
- BERG, L.K.; ZHONG, S. Sensitivity of MM5-Simulated Boundary Layer Characteristics to Turbulence Parameterizations. **Journal of Applied Meteorology**, v.44, n.9, p.1467-1483, 2005.
- BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Geofys. Publikasjoner**. Norske Videnskaps-Akad. Oslo, v.1, n.2, 1919.
- BJERKES, J.; SOLBERG, H. Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. **Geofys. Publikasjoner**, Norske Videnskaps-Akad. Oslo, v.3, n.1., 1921.

BLACKADAR, A.K. High resolution models of the planetary boundary layer. **Advances in Environmental Science and engineering**, J.Pfafflin e E.Ziegler, Eds., v.1, Gordon and Breach, p. 50-85, 1979.

BLUESTEIN, H.B. **Synoptic-Dynamic Meteorology at Midlatitudes**, Volume I, Oxford University Press, 431 pp., 1992.

BNDES. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/noticias/2005/not241\\_05.asp](http://www.bndes.gov.br/noticias/2005/not241_05.asp) . Acesso em: 10 jun. 2007.

BRAGA, M.F.S. **Análise da variabilidade do vento em Rio Grande – RS, no período de 1992 a 1995**. Rio Grande, 1997, 71 f. Monografia (Graduação em oceanologia), Fundação Universidade do Rio Grande.

BRAGA, M.F.S.; KRUSCHE, N. Análise da frequência das velocidades do vento em Rio Grande, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, **Anais do...**, Brasília: SBMET, 1998.

BRAGA, M. F. S.; KRUSCHE, N. Padrão de ventos em Rio Grande, RS, no período de 1992 a 1995. **Atlântica**, v. 22, p. 27-40, 2000.

BRAGA, M.F.S.; KRUSCHE, N. Estudo comparative entre dois métodos de medição de direção e velocidade do vento na região de Rio Grande-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais do...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 2400-2408.

BRITO, Fabiane Pereira. **Distribuição espaço-temporal da precipitação**. 2004. 65f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

BURGUENO, L.E.T.; BAPTISTA DA SILVA, J. O uso da energia eólica no bombeamento d'água, em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.167-172, 2003.

CARLSON, T.N. **Mid-Latitude Weather Systems**. Routledge, Nova Iorque, 507 pp., 1991.

**CASTRO, A.M.; PRADO, P.P.L. Algoritmos para reconhecimento de padrões**. Revista de Ciências Exatas, **Taubaté**, v. 5-8, p. 129-145, 1999-2002.

CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.153-162, 2002.

COELHO, D.G.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SANTOS, I. A., Modelagem de Mesoescala: Uma Alternativa de Baixo Custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais do...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p.3575 – 3578.

CORRÊA, E.B.; MACHADO C.O.; PIMENTEL, L.C.G.; CATALDI, M. Análise da sensibilidade do modelo MM5 às parametrizações de camada limite atmosférica – um estudo de caso sobre a bacia do Rio Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais do...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002, p.2562-2575, 2002.

CORRÊA, E.B.; MORAES, N.O.; SILVA, R.M; SOUZA, L.S.; CATALDI, M.; PIMENTEL, L.C.G. Análise da sensibilidade do modelo MM5 aos refinamentos e aninhamentos de grades – Um estudo de caso sobre a cidade do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais do...** Fortaleza: SBMET, 2004, p.1260–1267.

CORTINAS Jr, J.V.; STENSRUD, D.J. The importance of understanding mesoscale model parameterization schemes for weather forecasting. **Weather and Forecasting**, v.10, n. 4, p.716-740, 1995.

COSTA, Cláudia Priscila Wanzeler. **Análise espacial e temporal de índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para o Rio Grande do Sul**. 2008. 167f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.

COX, R.; BAUER, B.; SMITH, T. A mesoscale Model Intercomparison. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, n.2, p.265-283, 1998.  
CPPMET/UFPEL - Centro de Pesquisas e Previsões Meteorológicas. Disponível em: <<http://cppmet.ufpel.edu.br/>>. Acesso em: 8 mar.2008

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/200406\\_maceio.PDF](http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/200406_maceio.PDF)>. Acesso em: jun.2008.

DALMAZ, Alessandro. **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade em Santa Catarina**. 2007, 193f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. Centro de Operações. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>> Acesso em: 27 set 2007.

DENG, A.; SEAMAN, N.L.; HUNTER, G.K.; STAUFFER, D.R. Evaluation of interregional transport using the MM5-SCIPUFF system. **Journal of Applied Meteorology**, v.43, n.12, p.1864-1886, 2004.

DENG, A.; STAUFFER, D.R. On improving 4-km mesoscale model simulations. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 45, n.3, p.361-381, 2006.  
DINIZ, Gilberto Barbosa. **Preditores visando a obtenção de um Modelo de Previsão Climática de Temperaturas Máxima e Mínima para Regiões Homogêneas do Rio Grande do Sul**. 2002. 188f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DINIZ, G.B.; BERLATO, M.A.; CLARKE, R.T.; FONTANA, D.C. Identificação de regiões homogêneas de temperatura máxima e mínima do Rio Grande do sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.303-312, 2003.

DUDHIA, J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. **Monthly Weather Review**, v.121, n.5, p.1493-1513, 1993.

DUDHIA, J. A multi-layer soil temperature model for MM5. In: PSU/NCAR MESOSCALE MODEL USERS WORKSHOP, 6., 1996, Boulder, Colorado, **Anais do...** Boulder, 1996. p.49-50.

DUDHIA, J.; GILL, D.; MANNING, K.; WANG, W.; BRUYERE, C. **PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide (MM5 Modeling System Version 3.7)**. Mesoscale and Microscale Meteorology Division. National Center for Atmospheric Research. 2005.

FERREIRA, Nivaldo Silveira. Zona de Convergência Intertropical. Climanálise Especial 10 anos. Cap. 15. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/zcit\\_1.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/zcit_1.html)>. Acesso em: 23 mar. 2008.

FRAGKOU, E.; SOKHI, R.S.; BATCHVAROVA, R.; KITWIROON, N. Sensitivity analysis of MM5 to meteorological parameters during an episode period for London. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONISATION WITHIN ATMOSPHERIC DISPERSION MODELLING FOR REGULATORY PURPOSES, 9, 2004, Garmisch-Partenkirchen. **Anais do...** Garmisch-Partenkirchen, 2004, p.224-228.

GARCÍA, Felipe Hernández. **Análise experimental e simulação de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos**. 2004. 208 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GAYNO, G.A.; SEAMAN, N.L.; LARIO, A.M.; STAUFFER, D.R. Forecasting visibility using a 1.5-order closure boundary layer scheme in a 12-km non-hydrostatic model. In: CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 10., 1994, Portland, **Anais do...** Portland, American Meteorological Society, 1994, p.18-20.

GRELL, G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Monthly Weather Review**, v.121, n.3, p.764-787, 1993.

GRELL, G.A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D.R. **A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)**. NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR.1995. 117p.

GRUPELLI, J.L.; MARQUES, J.R.; DINIZ, G.B. Relação entre as anomalias de TSM e qualidade potencial da uva na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.171-175, 2008.

GUIDINI, M.P.; RIBEIRO, C.H.C. Utilização da biblioteca TerraLib para algoritmos de agrupamento em sistemas de informações geográficas. Disponível em: <<http://mtc->

[m18.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/geoinfo%4080/2006/11.28.12.11/doc/303-313.pdf](http://m18.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/geoinfo%4080/2006/11.28.12.11/doc/303-313.pdf) >  
Acesso em: 26 abr.2008.

HACK, J.J. Parameterization of moist convection in the National Center for Atmospheric Research community Climate Model (CCM2). **Journal of Geophysical Research**, v.99, p.5551-5568, 1993.

HELDWEIN, A.B.; STRECK, N.A.; BURIOL, G.A.; SANDRI, M.A.; TRENTIN, G.; SPOHR, R.B.; SILVA, J.C.; ALBERTO, C.M.; FARIAS, N.S. Frequência de ocorrência de ventos fortes em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.285-291, 2003.

HENNESSEY Jr, J.P. Some aspects of wind power statistics. **Journal of Applied Meteorology**, v.16, n.2, p.119-128, 1977.

HONG, S.Y.; PAN, H.L. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. **Monthly Weather Review**, v.124, n.10, p.2322-2339, 1996.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Rede de Estações. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/html/rede\\_obs.php](http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs.php)>. Acesso em: 31 mar. 2008.

JACOBSON, M.Z. **Fundamental of Atmospheric Modeling**. Cambridge University Press, 2005. 828p.

JOLLIFFE, I.T.; STEPHENSON, D.B. **Forecast Verification – a practitioner`s guide in atmospheric science**. Wiley, 2003, 240p.

JONES, C.; CARVALHO, L.M.V. Active and Break Phases in the South American Monsoon System. **Journal of Climate**, v.15, n.8, p.905-914, 2002.

JUSTUS, C.G.; HARGRAVES, W.R.; MIKHAIL, A.; GRABER, D. Methods for estimating wind speed frequency distributions. **Journal of Applied Meteorology**, v.17, n.3, p.350-353, 1978.

KAIN, J.S.; FRITSCH, J.M. Convective parameterization for mesoscale models: the Kain-Fritsch scheme. In: Emanuel, K.A.; Raymond, D.J. (Ed.). **The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models**. Boston, Massachusetts: American Meteorological Society, 1993, cap. 16, p.165-170.

KAIN, J.S. The Kain-Fritsch convective parameterization: an update. **Journal of Applied Meteorology**, v.43, n. p.170-181, 2004.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J.S. Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa - PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.14, n.2, p.157-167, 2006.

LIMA, D.R.O.; TORRES Jr, A.R. Estudo de caso da atuação de um ciclone extratropical no Atlântico Sul e ocorrência de uma ressaca na costa do Rio de Janeiro em abril de 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais do...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p. 2746-2751.

LINACRE, E.; GEERTS, B. **Climates & Weather Explained**. Routledge, 1997, 432p.

LOPES, T.M.F.; ALMEIDA, J. Fatores de correção para a velocidade do vento e potencial eólico na cidade do Rio Grande. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 9, CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 8., 2001, Buenos Aires. **Anais do...**Buenos Aires, 2001. 1CDROM.

LYRA, André de Arruda. **Testes de sensibilidade e avaliação das previsões de vento do modelo Eta para a Região Nordeste**. São José dos Campos, 2008, 106f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MARTIN, T.N.; DOURADO NETO, D.; STORCK, L.; BURAUUEL, P.; SANTOS, E.A. Regiões homogêneas e tamanho de amostra para atributos do clima no Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p. 690-697, 2008.

MASS, C.F.; OVENS, D.; WESTRICK, K. ; COLLE, B.A. Does increasing horizontal resolution produce more skillful forecast? **Bulletin of the American Meteorological Society** , v. 83, n.3, p.407-430, 2002.

MESOMAP. Disponível em:

<<http://www.meteosimtruewind.com/en/windenergy/MesoMap.php>>. Acesso em: 1 jul. 2007.

METSUL- METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.metsul.com> . Acesso em: 15 jun. 2008.

MORGAN, M.C.; HOUGHTON, D.D.; KELLER, L.M. The future of medium-extended-range weather prediction- challenges and a vision. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v., n., p. 631-634, 2007.

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, p.30-34, 2008.

OLIVEIRA Jr, J.F.;BARBOSA,E.C.;MORAES, N.O.; GADELHA, A.A.L.; PIMENTEL, L.C.G.; LANDAU, L. Um teste de sensibilidade do modelo do de mesoescala(MM5) através de dois tipos de aninhamento de grade: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2004, Fortaleza. **Anais do...**Fortaleza: SBMET, 2002. p.2016 – 2024.

OMM. **Guia de Instrumentos y Métodos de Observacion Meteorológicos**. nº8, 5ª edição, 1990.

PEREIRA, A.C.C; GOMES, R.G.; BAPTISTA DA SILVA, J.; LINDEMANN, D.S. Análise dos parâmetros c e k de Weibull para algumas localidades do Rio Grande do Sul nos meses de janeiro a março. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

METEOROLOGIA, 15, 2008, São Paulo. **Anais do...** São Paulo: SBMET, 2008. 1CDROM.

PES, M.P.; GUEDES, M.; ROSETTO, J.B.; BIAZI, L.A.; GUARNIERI, R.A.; MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B.; SCHUCH, N.J. Distribuição estatística parcial dos ventos na região de São Martinho da Serra por meio da Função de Weibull: dados de agosto de 2004 a julho de 2005. Disponível em: <http://mtcm15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2003/04.25.17.12/doc/index11.html>, Acesso: 07 jul. 2008.

PETTERSEN, S. **Weather analysis and forecasting**. vol.I, 2 edição. McGraw Hill, 1956, 428p.

PIELKE, R.A. **Mesoscale Meteorological Modelling**, Academic Press, 2ª edição, 672 p., 2002.

QUADRO<M.F.L.; MACHADO, L.H.R; CALBETE, BATISTA, N.N.M;SAMPAIO, G. Climatologia de Precipitação e Temperatura. Climanálise, Edição comemorativa 10anos (INPE-10717-pre/6178), 1996. Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/clesp10a/chuesp.html>

REISNER, J.; RASMUSSEN, R.M.; BRUINTJES, R.T. Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.124, p.1071-1107, 1998.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E.J. Mesoscale Convective Systems over southeastern South América and Their Relationship with the South American Low-Level Jet. **Monthly Weather Review**, v.135, n.4, p.1290-1309, 2007.

SANSIGOLO, C.A. Distribuições de probabilidade de velocidade e potência do vento. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.207-214, 2005.

SANTOS, A.F.; CORREA, E.B.; CATALDI, M. Análise e simulação numérica de um caso de Jato de Baixos Níveis com a utilização do modelo MM5. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004. Fortaleza. **Anais do...**Fortaleza: SBMET, 2004. 1CDROM.

SANTOS, G.R.; SANTOS, I.A.; SILVA, M.G.A.J. Levantamento do potencial eólico para o Estado do Rio de Janeiro usando o modelo RAMS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais do...**Fortaleza: SBMET, 2004. p. 2000 – 2015.

SEINFRA – Secretária de Infra-Estrutura e Logística do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: < <http://www.seinfra.rs.gov.br/> > Acesso em: set.2008.

SEMC - Secretaria de Energia, Minas e Comunicação. Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.semc.rs.gov.br/atlas>. Acesso em: 14 out. 2006.

SEMC - Secretaria de Energia, Minas e Comunicação. Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.semc.rs.gov.br/atlas>. Acesso em: 05 set. 2008 (atualizado).

- SHAFRAN, P.C.; SEAMAN, N.L.; GAYNO, G.A. Evaluation of numerical predictions of boundary layer structure during the Lake-Michigan Ozone Study. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, n.3, p.412-426, 2000.
- SILVA, B.B.; CAVALCANTI, E. P.; MELO, T. C. C. Caracterização do potencial eólico de Campina Grande, PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais do...**Santa Maria: UNIFRA, SBA, UFSM, 2003. p.145-146.
- 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, p.189-202, 2004.
- SILVA DIAS, M.A.F. **Mesoscale Weather Systems – South American Phenomena**. Mesoscale Forecasting and its Applications. WMO – No 712, 1989.
- SOUZA, A. D.; GRANJA, S. C. Estimativa dos parâmetros "c" e "k" do modelo de Weibull e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados/MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.157-167, 1997.
- SOUZA, D.O.; RIBEIRO, G.G.; SARAIVA, J.M.B. Estudo de caso de um vórtice ciclônico de altos níveis na região sul do Brasil entre os dias 13 e 15 de setembro de 2004. In: CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 9., 2005, Buenos Aires. **Anais do ...**, Buenos Aires: Centro Argentino de Meteorólogos, 2005. 1CDROM.
- STULL, R.B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers, 1988, 666p.
- VERNICH, L.; ZUANNI, F. About the minimum number of years required to stabilize the solar irradiation statistical estimates. **Solar Energy**, v.57, n.6, p.445-447, 1996.
- WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic Press. 2005, 627p.
- ZHANG, D.; ANTHES, R.A. A high resolution model of the planetary boundary layer – Sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 Data. **Journal of Applied Meteorology**, v.21, n.11, p.1594-1609, 1982.
- ZHANG, D.; ZHENG, W. Diurnal Cycles of Surface Winds and Temperatures as Simulated by Five Boundary Layer Parameterizations. **Journal of Applied Meteorology**. v. 43, n.1, p.157-169, 2004.
- ZHONG, S.; FAST, J. An evaluation of the MM5, RAMS, and Meso-Eta Models at Subkilometer Resolution using VTMX Field Campaign Data in the Salt Lake Valley. **Monthly Weather Review**, v.131, n.7, p.1301-1322, 2003.

## Apêndice A – Medidas de tendência central e variância dos dados observados

Tabela A-1– Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Bagé, por horário de observação e no período de 2000 a 2003.

| <b>Estação de Bagé - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                          | 2,57 | 2,43 | 2,48 | 2,43 | 2,13 | 2,38 | 2,72 | 2,84 | 3,17 | 3,34 | 2,93 | 3,17 |
| Mediana                        | 2,67 | 2,33 | 2,33 | 2,50 | 1,67 | 2,13 | 2,75 | 2,75 | 3,13 | 3,00 | 2,88 | 3,00 |
| Modo                           | 3,00 | 2,33 | 2,33 | 3,00 | 1,67 | 1,75 | 2,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 3,00 |
| Desvio padrão                  | 1,03 | 0,90 | 1,04 | 1,01 | 1,16 | 0,85 | 1,01 | 1,09 | 1,07 | 1,09 | 1,02 | 0,93 |
| Variância da amostra           | 1,07 | 0,81 | 1,08 | 1,02 | 1,34 | 0,71 | 1,02 | 1,19 | 1,15 | 1,18 | 1,05 | 0,86 |
| Nível de confiança(95,0%)      | 0,38 | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,42 | 0,32 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,38 | 0,34 |

| <b>Estação de Bagé - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                          | 3,28 | 3,36 | 3,29 | 2,93 | 2,72 | 2,89 | 2,83 | 3,22 | 3,80 | 4,16 | 4,31 | 3,74 |
| Mediana                        | 3,67 | 3,00 | 3,67 | 2,88 | 2,33 | 3,00 | 3,00 | 3,25 | 3,71 | 4,25 | 4,50 | 3,50 |
| Modo                           | 3,67 | 3,00 | 3,67 | 2,25 | 2,33 | 3,00 | 3,50 | 4,50 | 4,00 | 4,50 | 4,50 | 3,00 |
| Desvio padrão                  | 1,05 | 0,90 | 1,05 | 1,16 | 1,15 | 0,99 | 1,22 | 1,27 | 1,10 | 0,87 | 1,11 | 1,04 |
| Variância da amostra           | 1,11 | 0,82 | 1,09 | 1,34 | 1,32 | 0,98 | 1,49 | 1,61 | 1,21 | 0,75 | 1,24 | 1,09 |
| Nível de confiança(95,0%)      | 0,39 | 0,34 | 0,38 | 0,43 | 0,42 | 0,37 | 0,45 | 0,47 | 0,41 | 0,32 | 0,42 | 0,38 |

| <b>Estação de Bagé - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                          | 3,73 | 3,45 | 3,31 | 3,21 | 3,30 | 3,42 | 3,74 | 3,81 | 4,01 | 4,22 | 4,03 | 3,86 |
| Mediana                        | 3,67 | 3,67 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,17 | 3,67 | 3,67 | 4,00 | 4,33 | 3,67 | 4,00 |
| Modo                           | 3,67 | 3,67 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 4,33 | 4,33 | 3,67 | 4,33 | 3,67 | 4,33 |
| Desvio padrão                  | 1,16 | 1,09 | 1,04 | 1,15 | 1,14 | 1,42 | 1,19 | 1,10 | 0,81 | 1,49 | 1,16 | 1,06 |
| Variância da amostra           | 1,34 | 1,19 | 1,09 | 1,31 | 1,30 | 2,03 | 1,41 | 1,21 | 0,66 | 2,23 | 1,34 | 1,12 |
| Nível de confiança(95,0%)      | 0,43 | 0,42 | 0,38 | 0,43 | 0,42 | 0,53 | 0,43 | 0,40 | 0,30 | 0,55 | 0,43 | 0,39 |

Tabela A-2 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Bom Jesus, por horário de observação e no período de 2000 a 2007.

| <b>Estação de Bom Jesus - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                        | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                               | 1,97 | 1,92 | 1,76 | 1,66 | 1,75 | 1,55 | 1,63 | 1,70 | 1,99 | 2,12 | 2,28 | 2,39 |  |
| Mediana                             | 2,00 | 2,00 | 1,71 | 1,69 | 1,71 | 1,50 | 1,63 | 1,63 | 1,87 | 2,00 | 2,40 | 2,33 |  |
| Modo                                | 2,14 | 2,14 | 1,50 | 1,75 | 1,38 | 1,38 | 1,50 | 1,38 | 1,75 | 2,00 | 2,00 | 2,13 |  |
| Desvio padrão                       | 0,38 | 0,36 | 0,37 | 0,34 | 0,56 | 0,33 | 0,37 | 0,45 | 0,57 | 0,47 | 0,42 | 0,48 |  |
| Variância da amostra                | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,31 | 0,11 | 0,14 | 0,20 | 0,33 | 0,22 | 0,18 | 0,23 |  |
| Nível de confiança(95,0%)           | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,21 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,21 | 0,17 | 0,16 | 0,18 |  |

| <b>Estação de Bom Jesus - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                        | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                               | 1,94 | 1,95 | 1,83 | 1,83 | 1,95 | 1,75 | 1,86 | 1,97 | 2,29 | 2,39 | 2,31 | 2,20 |  |
| Mediana                             | 1,86 | 1,86 | 1,86 | 1,75 | 1,88 | 1,73 | 1,86 | 1,88 | 2,25 | 2,38 | 2,25 | 2,14 |  |
| Modo                                | 1,71 | 1,86 | 2,00 | 1,75 | 1,88 | 1,63 | 1,63 | 1,75 | 2,75 | 2,25 | 2,25 | 2,13 |  |
| Desvio padrão                       | 0,27 | 0,41 | 0,29 | 0,31 | 0,32 | 0,28 | 0,37 | 0,46 | 0,46 | 0,43 | 0,49 | 0,36 |  |
| Variância da amostra                | 0,07 | 0,16 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,13 | 0,21 | 0,22 | 0,18 | 0,24 | 0,13 |  |
| Nível de confiança(95,0%)           | 0,10 | 0,15 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,13 |  |

| <b>Estação de Bom Jesus - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                        | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                               | 2,05 | 2,20 | 1,97 | 2,01 | 2,16 | 2,12 | 2,43 | 2,41 | 2,45 | 2,52 | 2,51 | 2,65 |  |
| Mediana                             | 2,00 | 2,14 | 2,00 | 2,00 | 2,25 | 2,00 | 2,50 | 2,25 | 2,38 | 2,38 | 2,50 | 2,71 |  |
| Modo                                | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,38 | 2,00 | 2,25 | 2,25 | 2,38 | 2,25 | 2,00 | 2,88 |  |
| Desvio padrão                       | 0,36 | 0,42 | 0,32 | 0,34 | 0,38 | 0,46 | 0,38 | 0,59 | 0,67 | 0,60 | 0,44 | 0,39 |  |
| Variância da amostra                | 0,13 | 0,17 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,22 | 0,14 | 0,34 | 0,45 | 0,36 | 0,20 | 0,16 |  |
| Nível de confiança(95,0%)           | 0,13 | 0,16 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,14 | 0,22 | 0,25 | 0,22 | 0,17 | 0,14 |  |

Tabela A-3 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Cruz Alta, por horário de observação e no período 2000 a 2004.

| <b>Estação de Cruz Alta - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                        | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                               | 1,98 | 1,60 | 1,82 | 1,76 | 1,60 | 1,61 | 1,67 | 1,83 | 2,00 | 2,07 | 2,05 | 1,75 |  |
| Mediana                             | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |
| Modo                                | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 |  |
| Desvio padrão                       | 0,84 | 0,93 | 0,86 | 0,97 | 0,98 | 1,09 | 1,10 | 1,14 | 1,17 | 1,05 | 1,13 | 1,01 |  |
| Variância da amostra                | 0,71 | 0,87 | 0,74 | 0,93 | 0,96 | 1,18 | 1,21 | 1,29 | 1,37 | 1,09 | 1,28 | 1,02 |  |
| Nível de confiança(95,0%)           | 0,15 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,16 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,22 | 0,19 | 0,21 | 0,18 |  |

| <b>Estação de Cruz Alta - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                        | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                               | 1,97 | 1,81 | 1,92 | 1,94 | 1,81 | 1,86 | 1,83 | 1,97 | 2,50 | 2,21 | 2,11 | 1,81 |  |
| Mediana                             | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |
| Modo                                | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |
| Desvio padrão                       | 0,84 | 0,96 | 0,90 | 1,02 | 0,89 | 1,05 | 1,07 | 1,09 | 1,05 | 1,40 | 0,97 | 0,82 |  |
| Variância da amostra                | 0,70 | 0,93 | 0,81 | 1,03 | 0,80 | 1,10 | 1,14 | 1,19 | 1,11 | 1,97 | 0,94 | 0,68 |  |
| Nível de confiança(95,0%)           | 0,15 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,14 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,25 | 0,18 | 0,15 |  |

| <b>Estação de Cruz Alta - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                        | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                               | 1,93 | 1,97 | 1,75 | 1,88 | 1,95 | 2,05 | 2,07 | 2,30 | 2,33 | 2,21 | 2,01 | 1,92 |  |
| Mediana                             | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |
| Modo                                | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |
| Desvio padrão                       | 0,79 | 0,85 | 0,77 | 0,90 | 0,89 | 1,37 | 0,94 | 1,01 | 1,05 | 0,95 | 0,81 | 1,15 |  |
| Variância da amostra                | 0,62 | 0,73 | 0,59 | 0,81 | 0,79 | 1,88 | 0,88 | 1,02 | 1,09 | 0,90 | 0,66 | 1,31 |  |
| Nível de confiança(95,0%)           | 0,14 | 0,16 | 0,13 | 0,15 | 0,14 | 0,23 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,21 |  |

Tabela A-4 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Encruzilhada do Sul, por horário de observação e no período de 2000 a 2007.

| <b>Estação de Encruzilhada do Sul - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 1,32 | 1,24 | 1,37 | 1,32 | 1,33 | 1,15 | 1,34 | 1,52 | 1,68 | 1,67 | 1,43 | 1,48 |
| Mediana                                       | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Modo  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Desvio padrão                                 | 1,16 | 0,87 | 1,23 | 1,03 | 1,03 | 0,85 | 1,21 | 1,29 | 1,38 | 1,24 | 1,24 | 1,13 |
| Variância da amostra                          | 1,35 | 0,76 | 1,50 | 1,07 | 1,06 | 0,71 | 1,47 | 1,66 | 1,90 | 1,53 | 1,54 | 1,28 |
| Nível de confiança(95,0%)                     | 0,16 | 0,12 | 0,16 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |

| <b>Estação de Encruzilhada do Sul - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 1,34 | 1,29 | 1,29 | 1,38 | 1,30 | 1,23 | 1,56 | 1,70 | 1,79 | 1,55 | 1,71 | 1,46 |
| Mediana                                       | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Modo  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Desvio padrão                                 | 0,99 | 0,86 | 0,91 | 1,00 | 0,96 | 0,97 | 1,14 | 1,29 | 1,40 | 1,06 | 1,34 | 1,11 |
| Variância da amostra                          | 0,97 | 0,75 | 0,84 | 0,99 | 0,91 | 0,95 | 1,29 | 1,67 | 1,97 | 1,12 | 1,79 | 1,23 |
| Nível de confiança(95,0%)                     | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,13 | 0,19 | 0,14 |

| <b>Estação de Encruzilhada do Sul - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 1,37 | 1,40 | 1,33 | 1,39 | 1,36 | 1,36 | 1,58 | 1,72 | 1,78 | 1,41 | 1,58 | 1,39 |
| Mediana                                       | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Modo  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Desvio padrão                                 | 0,93 | 0,96 | 0,95 | 0,98 | 0,89 | 0,96 | 1,28 | 1,36 | 1,28 | 1,04 | 1,22 | 1,04 |
| Variância da amostra                          | 0,87 | 0,93 | 0,90 | 0,96 | 0,80 | 0,92 | 1,64 | 1,84 | 1,64 | 1,07 | 1,50 | 1,08 |
| Nível de confiança(95,0%)                     | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,13 | 0,16 | 0,13 |

Tabela A-5 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Iraí, por horário de observação e no período de 2000 a 2007.

| <b>Estação de Iraí - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                          | 1,15 | 1,01 | 0,90 | 0,72 | 0,90 | 0,55 | 0,79 | 0,88 | 1,12 | 1,07 | 1,17 | 0,99 |
| Mediana                        | 1,11 | 1,00 | 0,93 | 0,76 | 0,83 | 0,48 | 0,76 | 0,80 | 0,96 | 1,04 | 1,16 | 0,95 |
| Modo                           | 0,80 | 1,00 | 0,50 | 0,63 | 0,66 | 0,13 | 0,43 | 0,66 | 0,75 | 1,50 | 0,75 | 0,25 |
| Desvio padrão                  | 0,47 | 0,41 | 0,41 | 0,31 | 0,50 | 0,38 | 0,44 | 0,52 | 0,58 | 0,46 | 0,46 | 0,45 |
| Variância da amostra           | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,09 | 0,25 | 0,14 | 0,20 | 0,27 | 0,34 | 0,21 | 0,21 | 0,20 |
| Nível de confiança(95,0%)      | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,11 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,16 |

| <b>Estação de Iraí - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                          | 1,42 | 1,27 | 1,26 | 0,94 | 0,91 | 0,80 | 0,89 | 1,02 | 1,56 | 1,82 | 1,64 | 1,51 |
| Mediana                        | 1,41 | 1,21 | 1,20 | 0,98 | 0,83 | 0,78 | 0,83 | 0,99 | 1,48 | 1,76 | 1,55 | 1,48 |
| Modo                           | 1,30 | 1,66 | 1,71 | 0,98 | 1,16 | 0,88 | 1,47 | 0,93 | 1,20 | 1,66 | 1,54 | 1,63 |
| Desvio padrão                  | 0,35 | 0,47 | 0,30 | 0,34 | 0,39 | 0,36 | 0,41 | 0,44 | 0,58 | 0,59 | 0,38 | 0,39 |
| Variância da amostra           | 0,12 | 0,22 | 0,09 | 0,12 | 0,16 | 0,13 | 0,17 | 0,20 | 0,34 | 0,35 | 0,14 | 0,15 |
| Nível de confiança(95,0%)      | 0,13 | 0,18 | 0,11 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,22 | 0,22 | 0,14 | 0,14 |

| <b>Estação de Iraí - 18TC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                         | 2,39 | 2,18 | 2,21 | 1,93 | 1,89 | 1,89 | 2,27 | 2,40 | 2,61 | 2,30 | 2,47 | 2,47 |
| Mediana                       | 2,20 | 2,21 | 2,11 | 1,83 | 1,99 | 1,85 | 2,33 | 2,36 | 2,67 | 2,30 | 2,31 | 2,20 |
| Modo                          | 2,09 | 1,84 | 1,66 | 1,41 | 1,20 | 1,41 | 2,59 | 2,60 | 2,84 | 2,58 | 2,89 | 2,45 |
| Desvio padrão                 | 0,66 | 0,42 | 0,58 | 0,42 | 0,59 | 0,62 | 0,63 | 0,68 | 0,65 | 0,52 | 0,54 | 0,79 |
| Variância da amostra          | 0,43 | 0,18 | 0,34 | 0,18 | 0,35 | 0,38 | 0,40 | 0,47 | 0,42 | 0,27 | 0,30 | 0,62 |
| Nível de confiança(95,0%)     | 0,24 | 0,16 | 0,21 | 0,16 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,24 | 0,19 | 0,20 | 0,29 |

Tabela A-6 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Lagoa Vermelha, por horário de observação e no período de 2000 a 2004.

| <b>Estação de Lagoa Vermelha - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                             | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                    | 2,45 | 2,04 | 1,83 | 1,97 | 2,20 | 1,93 | 2,46 | 2,20 | 2,70 | 2,46 | 2,63 | 2,44 |  |
| Mediana                                  | 2,50 | 2,00 | 1,80 | 2,00 | 2,20 | 1,78 | 2,50 | 2,25 | 2,75 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |  |
| Modo                                     | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,20 | 1,25 | 2,50 | 2,50 | 3,00 | 2,75 | 2,50 | 2,50 |  |
| Desvio padrão                            | 0,52 | 0,55 | 0,59 | 0,51 | 0,58 | 0,69 | 0,71 | 0,70 | 0,88 | 0,67 | 0,88 | 0,61 |  |
| Variância da amostra                     | 0,27 | 0,31 | 0,35 | 0,26 | 0,33 | 0,47 | 0,51 | 0,49 | 0,77 | 0,45 | 0,77 | 0,37 |  |
| Nível de confiança(95,0%)                | 0,19 | 0,21 | 0,22 | 0,19 | 0,21 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,33 | 0,25 | 0,33 | 0,22 |  |

| <b>Estação de Lagoa Vermelha - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                             | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                    | 2,76 | 2,52 | 2,61 | 2,61 | 2,47 | 2,25 | 2,64 | 2,75 | 3,24 | 3,08 | 2,99 | 2,89 |  |
| Mediana                                  | 2,75 | 2,50 | 2,60 | 2,45 | 2,40 | 2,25 | 2,75 | 2,75 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 2,75 |  |
| Modo                                     | 2,75 | 2,50 | 2,00 | 2,20 | 2,00 | 2,20 | 2,75 | 3,25 | 2,75 | 3,00 | 2,75 | 2,50 |  |
| Desvio padrão                            | 0,57 | 0,57 | 0,51 | 0,55 | 0,61 | 0,54 | 0,65 | 0,71 | 0,85 | 0,91 | 0,68 | 0,79 |  |
| Variância da amostra                     | 0,32 | 0,33 | 0,26 | 0,30 | 0,37 | 0,29 | 0,42 | 0,50 | 0,72 | 0,82 | 0,47 | 0,62 |  |
| Nível de confiança(95,0%)                | 0,21 | 0,22 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,24 | 0,26 | 0,32 | 0,33 | 0,26 | 0,29 |  |

| <b>Estação de Lagoa Vermelha - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                             | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                    | 2,65 | 2,53 | 2,19 | 2,22 | 2,54 | 2,48 | 2,72 | 2,84 | 2,88 | 2,76 | 2,80 | 2,80 |  |
| Mediana                                  | 2,50 | 2,63 | 2,20 | 2,20 | 2,80 | 2,33 | 2,75 | 2,75 | 3,00 | 2,75 | 2,58 | 2,75 |  |
| Modo                                     | 2,50 | 2,75 | 2,00 | 2,60 | 2,80 | 2,00 | 3,00 | 2,50 | 3,00 | 2,75 | 2,50 | 2,75 |  |
| Desvio padrão                            | 0,46 | 0,52 | 0,42 | 0,56 | 0,80 | 0,60 | 0,68 | 0,59 | 0,45 | 0,59 | 1,00 | 0,81 |  |
| Variância da amostra                     | 0,21 | 0,27 | 0,17 | 0,31 | 0,64 | 0,36 | 0,46 | 0,35 | 0,20 | 0,35 | 1,00 | 0,66 |  |
| Nível de confiança(95,0%)                | 0,17 | 0,20 | 0,15 | 0,21 | 0,29 | 0,22 | 0,25 | 0,22 | 0,17 | 0,22 | 0,37 | 0,30 |  |

Tabela A-7 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Passo Fundo, por horário de observação e no período de 2000 a 2007.

| <b>Estação de Passo Fundo - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                 | 3,16 | 2,58 | 2,47 | 2,60 | 2,96 | 2,86 | 3,33 | 3,49 | 3,50 | 3,68 | 3,37 | 3,12 |  |
| Mediana                               | 3,05 | 2,37 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 2,84 | 3,29 | 3,25 | 3,60 | 3,88 | 3,52 | 3,08 |  |
| Modo                                  | 2,94 | 2,29 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 2,00 | 2,75 | 3,25 | 4,13 | 4,00 | 4,50 | 3,79 |  |
| Desvio padrão                         | 0,66 | 0,96 | 0,82 | 0,70 | 0,74 | 0,67 | 0,75 | 1,56 | 0,87 | 0,65 | 0,88 | 0,84 |  |
| Variância da amostra                  | 0,44 | 0,93 | 0,67 | 0,49 | 0,55 | 0,45 | 0,56 | 2,44 | 0,75 | 0,43 | 0,78 | 0,71 |  |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,24 | 0,37 | 0,30 | 0,26 | 0,27 | 0,25 | 0,27 | 0,57 | 0,32 | 0,24 | 0,33 | 0,31 |  |

| <b>Estação de Passo Fundo - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                 | 3,97 | 3,70 | 3,62 | 3,71 | 3,50 | 3,61 | 3,88 | 4,17 | 4,67 | 4,40 | 4,19 | 3,95 |  |
| Mediana                               | 4,00 | 3,67 | 3,61 | 3,64 | 3,50 | 3,55 | 3,83 | 4,25 | 4,73 | 4,48 | 4,02 | 4,09 |  |
| Modo                                  | 3,66 | 3,57 | 3,61 | 4,00 | 3,50 | 4,50 | 4,88 | 3,45 | 5,58 | 3,38 | 3,73 | 4,50 |  |
| Desvio padrão                         | 0,61 | 0,57 | 0,64 | 0,74 | 0,52 | 0,57 | 0,70 | 0,72 | 0,62 | 0,99 | 0,62 | 0,74 |  |
| Variância da amostra                  | 0,37 | 0,33 | 0,41 | 0,54 | 0,27 | 0,33 | 0,48 | 0,52 | 0,39 | 0,99 | 0,39 | 0,54 |  |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,27 | 0,19 | 0,21 | 0,26 | 0,27 | 0,23 | 0,36 | 0,23 | 0,27 |  |

| <b>Estação de Passo Fundo - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                 | 3,49 | 3,23 | 3,20 | 3,16 | 3,64 | 4,00 | 4,11 | 4,52 | 4,10 | 3,71 | 3,77 | 3,59 |  |
| Mediana                               | 3,50 | 3,36 | 3,43 | 3,02 | 3,64 | 3,90 | 4,10 | 4,61 | 4,01 | 3,75 | 3,88 | 3,47 |  |
| Modo                                  | 3,61 | 2,86 | 3,13 | 2,63 | 2,75 | 4,88 | 4,38 | 5,00 | 3,88 | 3,88 | 3,95 | 3,10 |  |
| Desvio padrão                         | 0,60 | 0,77 | 0,75 | 0,64 | 0,61 | 0,88 | 0,67 | 0,65 | 0,61 | 0,62 | 0,53 | 0,82 |  |
| Variância da amostra                  | 0,36 | 0,60 | 0,56 | 0,41 | 0,38 | 0,78 | 0,45 | 0,43 | 0,38 | 0,39 | 0,28 | 0,67 |  |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,22 | 0,30 | 0,27 | 0,24 | 0,23 | 0,33 | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,20 | 0,30 |  |

Tabela A-8 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Porto Alegre, por horário de observação e no período de 2000 a 2004.

| <b>Estação de Porto Alegre - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                           | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                  | 1,49 | 1,38 | 1,32 | 1,22 | 1,38 | 1,13 | 1,33 | 1,31 | 1,57 | 1,59 | 1,65 | 1,52 |  |
| Mediana                                | 1,33 | 1,25 | 1,33 | 1,20 | 1,25 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |  |
| Modo                                   | 1,33 | 1,25 | 1,40 | 1,00 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |  |
| Desvio padrão                          | 0,42 | 0,39 | 0,44 | 0,30 | 0,58 | 0,35 | 0,37 | 0,34 | 0,47 | 0,34 | 0,33 | 0,42 |  |
| Variância da amostra                   | 0,18 | 0,15 | 0,19 | 0,09 | 0,33 | 0,12 | 0,14 | 0,11 | 0,22 | 0,11 | 0,11 | 0,17 |  |
| Nível de confiança(95,0%)              | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,11 | 0,21 | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,17 | 0,12 | 0,12 | 0,15 |  |

| <b>Estação de Porto Alegre - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                           | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                  | 1,31 | 1,18 | 1,10 | 1,20 | 1,32 | 1,20 | 1,29 | 1,29 | 1,63 | 1,39 | 1,51 | 1,35 |  |
| Mediana                                | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,20 | 1,20 | 1,23 | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,25 | 1,38 | 1,33 |  |
| Modo                                   | 1,25 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,25 | 2,00 | 1,00 |  |
| Desvio padrão                          | 0,54 | 0,31 | 0,37 | 0,34 | 0,43 | 0,34 | 0,49 | 0,37 | 0,47 | 0,36 | 0,52 | 0,41 |  |
| Variância da amostra                   | 0,30 | 0,10 | 0,14 | 0,12 | 0,19 | 0,12 | 0,24 | 0,14 | 0,22 | 0,13 | 0,27 | 0,17 |  |
| Nível de confiança(95,0%)              | 0,20 | 0,12 | 0,14 | 0,13 | 0,16 | 0,13 | 0,18 | 0,14 | 0,17 | 0,13 | 0,20 | 0,15 |  |

| <b>Estação de Porto Alegre - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                           | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                  | 1,55 | 1,55 | 1,30 | 1,47 | 1,55 | 1,40 | 1,53 | 1,58 | 1,79 | 1,67 | 1,69 | 1,74 |  |
| Mediana                                | 1,50 | 1,50 | 1,33 | 1,50 | 1,60 | 1,45 | 1,33 | 1,50 | 2,00 | 1,50 | 1,75 | 1,75 |  |
| Modo                                   | 1,50 | 1,50 | 1,00 | 1,40 | 1,60 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 2,00 | 1,50 | 1,75 | 2,00 |  |
| Desvio padrão                          | 0,38 | 0,34 | 0,41 | 0,33 | 0,37 | 0,43 | 0,47 | 0,43 | 0,40 | 0,41 | 0,46 | 0,55 |  |
| Variância da amostra                   | 0,14 | 0,11 | 0,17 | 0,11 | 0,14 | 0,19 | 0,22 | 0,18 | 0,16 | 0,17 | 0,21 | 0,31 |  |
| Nível de confiança(95,0%)              | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 0,20 |  |

Tabela A-9 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Rio Grande, por horário de observação e no período de 2000 a 2007.

| <b>Estação de Rio Grande - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                         | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                | 2,42 | 2,45 | 1,84 | 1,59 | 1,73 | 1,59 | 1,69 | 2,00 | 2,61 | 2,82 | 2,67 | 2,31 |  |
| Mediana                              | 2,29 | 2,57 | 1,75 | 1,56 | 1,57 | 1,38 | 1,50 | 1,75 | 2,63 | 2,63 | 2,60 | 2,29 |  |
| Modo                                 | 2,00 | 2,57 | 2,00 | 1,63 | 1,63 | 1,25 | 1,13 | 1,50 | 2,50 | 2,50 | 2,63 | 2,00 |  |
| Desvio padrão                        | 0,75 | 0,66 | 0,75 | 0,54 | 0,72 | 0,73 | 0,78 | 0,78 | 0,90 | 0,93 | 0,74 | 0,61 |  |
| Variância da amostra                 | 0,56 | 0,44 | 0,56 | 0,29 | 0,53 | 0,54 | 0,61 | 0,61 | 0,80 | 0,87 | 0,55 | 0,37 |  |
| Nível de confiança(95,0%)            | 0,27 | 0,25 | 0,28 | 0,20 | 0,27 | 0,27 | 0,29 | 0,29 | 0,33 | 0,34 | 0,28 | 0,22 |  |

| <b>Estação de Rio Grande - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                         | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                | 2,64 | 2,70 | 2,11 | 2,04 | 2,27 | 1,77 | 2,21 | 2,39 | 3,56 | 3,25 | 3,38 | 2,66 |  |
| Mediana                              | 2,67 | 2,57 | 2,00 | 1,88 | 2,25 | 1,63 | 2,00 | 2,38 | 3,38 | 3,25 | 3,31 | 2,63 |  |
| Modo                                 | 3,29 | 2,57 | 1,75 | 1,75 | 2,57 | 1,38 | 2,63 | 2,38 | 3,00 | 3,00 | 2,88 | 3,00 |  |
| Desvio padrão                        | 0,57 | 0,71 | 0,59 | 0,66 | 0,58 | 0,74 | 0,80 | 0,66 | 0,96 | 0,91 | 0,86 | 0,72 |  |
| Variância da amostra                 | 0,33 | 0,50 | 0,34 | 0,44 | 0,33 | 0,55 | 0,64 | 0,44 | 0,93 | 0,82 | 0,75 | 0,51 |  |
| Nível de confiança(95,0%)            | 0,21 | 0,27 | 0,21 | 0,25 | 0,21 | 0,28 | 0,29 | 0,24 | 0,36 | 0,33 | 0,32 | 0,26 |  |

| <b>Estação de Rio Grande - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                         | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                                | 3,54 | 3,61 | 2,57 | 2,52 | 2,71 | 2,17 | 2,63 | 2,72 | 3,82 | 3,44 | 3,68 | 3,02 |  |
| Mediana                              | 3,43 | 3,70 | 2,43 | 2,50 | 2,75 | 2,00 | 2,50 | 2,50 | 3,87 | 3,25 | 3,75 | 3,00 |  |
| Modo                                 | 3,29 | 4,00 | 1,88 | 3,00 | 2,25 | 1,88 | 3,38 | 2,25 | 4,50 | 3,25 | 4,63 | 3,13 |  |
| Desvio padrão                        | 0,85 | 0,83 | 0,79 | 0,69 | 0,69 | 0,58 | 0,83 | 0,75 | 1,17 | 0,93 | 0,94 | 0,74 |  |
| Variância da amostra                 | 0,73 | 0,69 | 0,62 | 0,47 | 0,48 | 0,33 | 0,70 | 0,57 | 1,37 | 0,87 | 0,89 | 0,55 |  |
| Nível de confiança(95,0%)            | 0,31 | 0,32 | 0,29 | 0,26 | 0,25 | 0,21 | 0,31 | 0,28 | 0,44 | 0,34 | 0,35 | 0,27 |  |

Tabela A-10 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Santa Maria, por horário de observação e no período de 2000 a 2007.

| <b>Estação de Santa Maria - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                 | 1,40 | 1,42 | 1,30 | 1,08 | 1,09 | 1,28 | 1,62 | 1,54 | 1,56 | 1,84 | 1,53 | 1,58 |
| Mediana                               | 1,30 | 1,46 | 1,34 | 1,03 | 1,00 | 1,19 | 1,47 | 1,49 | 1,55 | 1,95 | 1,50 | 1,61 |
| Modo                                  | 1,30 | 1,23 | 1,16 | 1,00 | 1,41 | 1,13 | 1,91 | 1,49 | 1,45 | 1,13 | 1,50 | 1,09 |
| Desvio padrão                         | 0,38 | 0,48 | 0,44 | 0,40 | 0,36 | 0,38 | 0,94 | 0,48 | 0,43 | 0,54 | 0,38 | 0,36 |
| Variância da amostra                  | 0,14 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,13 | 0,14 | 0,89 | 0,23 | 0,18 | 0,29 | 0,15 | 0,13 |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,14 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,14 | 0,35 | 0,18 | 0,16 | 0,20 | 0,14 | 0,13 |

| <b>Estação de Santa Maria - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                 | 2,07 | 1,93 | 1,86 | 1,69 | 1,71 | 1,90 | 1,86 | 2,16 | 2,39 | 2,36 | 2,46 | 2,23 |
| Mediana                               | 1,93 | 1,87 | 1,83 | 1,59 | 1,70 | 1,90 | 1,79 | 2,08 | 2,33 | 2,29 | 2,52 | 2,24 |
| Modo                                  | 1,84 | 1,87 | 1,94 | 2,08 | 1,88 | 1,33 | 1,70 | 1,25 | 2,14 | 2,29 | 2,43 | 2,29 |
| Desvio padrão                         | 0,48 | 0,31 | 0,32 | 0,38 | 0,39 | 0,67 | 0,45 | 0,68 | 0,52 | 0,45 | 0,40 | 0,39 |
| Variância da amostra                  | 0,23 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,15 | 0,45 | 0,21 | 0,47 | 0,27 | 0,21 | 0,16 | 0,15 |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | 0,25 | 0,17 | 0,25 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 0,14 |

| <b>Estação de Santa Maria - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                 | 2,68 | 2,63 | 2,46 | 2,32 | 2,29 | 2,40 | 2,40 | 2,71 | 2,76 | 2,72 | 2,70 | 2,56 |
| Mediana                               | 2,71 | 2,57 | 2,59 | 2,29 | 2,29 | 2,24 | 2,44 | 2,70 | 2,80 | 2,66 | 2,68 | 2,56 |
| Modo                                  | 2,50 | 2,41 | 2,59 | 2,29 | 2,45 | 2,08 | 2,51 | 2,70 | 3,16 | 2,49 | 2,50 | 2,66 |
| Desvio padrão                         | 0,39 | 0,34 | 0,31 | 0,29 | 0,31 | 0,51 | 0,35 | 0,46 | 0,39 | 0,41 | 0,40 | 0,32 |
| Variância da amostra                  | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,26 | 0,12 | 0,21 | 0,15 | 0,17 | 0,16 | 0,10 |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,14 | 0,13 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,19 | 0,13 | 0,17 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,12 |

Tabela A-11 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Santa Vitória do Palmar por horário de observação e no período de 2001 a 2007.

| <b>Estação de Santa Vitória do Palmar - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                      | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 3,04 | 3,28 | 3,14 | 3,06 | 3,22 | 2,96 | 3,61 | 3,64 | 3,86 | 3,93 | 4,11 | 3,75 |
| Mediana   | 3,00 | 3,14 | 3,17 | 3,25 | 3,25 | 2,88 | 3,57 | 3,71 | 3,80 | 3,75 | 4,13 | 3,75 |
| Modo  | 3,14 | 3,14 | 3,29 | 3,38 | 2,63 | 2,38 | 3,57 | 3,71 | 2,86 | 4,00 | 4,38 | 3,88 |
| Desvio padrão                                     | 0,70 | 0,63 | 0,73 | 0,67 | 0,76 | 0,62 | 0,99 | 1,01 | 0,83 | 0,89 | 1,00 | 0,69 |
| Variância da amostra                              | 0,50 | 0,40 | 0,54 | 0,45 | 0,57 | 0,39 | 0,98 | 1,01 | 0,69 | 0,79 | 1,01 | 0,48 |
| Nível de confiança(95,0%)                         | 0,26 | 0,24 | 0,27 | 0,25 | 0,28 | 0,23 | 0,36 | 0,37 | 0,31 | 0,33 | 0,38 | 0,25 |

| <b>Estação de Santa Vitória do Palmar - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                      | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 3,93 | 4,05 | 3,79 | 3,33 | 3,02 | 3,02 | 3,31 | 3,74 | 4,27 | 4,65 | 4,99 | 4,18 |
| Mediana   | 3,86 | 4,00 | 3,86 | 3,43 | 2,88 | 2,88 | 3,29 | 3,71 | 4,20 | 4,63 | 4,75 | 4,13 |
| Modo  | 4,00 | 4,43 | 4,00 | 3,43 | 2,88 | 2,88 | 4,43 | 3,71 | 3,86 | 3,75 | 5,13 | 4,00 |
| Desvio padrão                                     | 0,77 | 0,97 | 0,74 | 0,89 | 0,91 | 0,94 | 0,98 | 0,89 | 0,81 | 0,98 | 1,07 | 0,61 |
| Variância da amostra                              | 0,59 | 0,93 | 0,55 | 0,79 | 0,83 | 0,88 | 0,96 | 0,80 | 0,65 | 0,95 | 1,14 | 0,37 |
| Nível de confiança(95,0%)                         | 0,28 | 0,37 | 0,27 | 0,33 | 0,33 | 0,35 | 0,36 | 0,33 | 0,30 | 0,36 | 0,40 | 0,22 |

| <b>Estação de Santa Vitória do Palmar - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                      | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 4,76 | 4,76 | 4,55 | 4,06 | 4,18 | 3,67 | 4,38 | 4,44 | 4,67 | 5,06 | 5,26 | 4,94 |
| Mediana   | 4,86 | 4,86 | 4,75 | 4,00 | 4,00 | 3,64 | 4,43 | 4,57 | 4,56 | 4,88 | 5,13 | 4,88 |
| Modo  | 5,00 | 4,14 | 5,13 | 4,00 | 4,75 | 3,00 | 4,00 | 5,14 | 5,00 | 4,88 | 5,13 | 4,38 |
| Desvio padrão                                     | 0,82 | 1,05 | 0,75 | 0,93 | 0,83 | 0,90 | 0,86 | 1,07 | 0,92 | 1,04 | 1,05 | 0,76 |
| Variância da amostra                              | 0,67 | 1,09 | 0,56 | 0,86 | 0,68 | 0,80 | 0,73 | 1,15 | 0,85 | 1,08 | 1,10 | 0,57 |
| Nível de confiança(95,0%)                         | 0,30 | 0,41 | 0,28 | 0,35 | 0,30 | 0,33 | 0,31 | 0,39 | 0,35 | 0,38 | 0,39 | 0,28 |

Tabela A-12 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Santana do Livramento, por horário de observação e no período de 2001 a 2007.

| <b>Estação de Santana do Livramento- 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média  | 2,72 | 2,46 | 2,72 | 2,38 | 2,51 | 2,76 | 2,87 | 3,20 | 3,03 | 2,94 | 2,66 | 2,79 |
| Mediana  | 2,50 | 2,25 | 2,50 | 2,10 | 2,35 | 2,65 | 2,50 | 3,00 | 2,80 | 2,70 | 2,40 | 2,55 |
| Modo   | 2,60 | 1,70 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,70 | 1,40 | 1,20 | 1,90 | 3,00 | 2,10 | 1,70 |
| Desvio padrão                                  | 1,57 | 1,24 | 1,54 | 1,36 | 1,29 | 1,42 | 1,75 | 2,01 | 1,66 | 1,65 | 1,55 | 1,65 |
| Variância da amostra                           | 2,46 | 1,54 | 2,37 | 1,86 | 1,65 | 2,02 | 3,06 | 4,04 | 2,76 | 2,73 | 2,41 | 2,73 |
| Nível de confiança(95,0%)                      | 0,26 | 0,22 | 0,26 | 0,24 | 0,20 | 0,23 | 0,29 | 0,33 | 0,26 | 0,30 | 0,25 | 0,25 |

| <b>Estação de Santana do Livramento- 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média  | 3,38 | 3,22 | 3,03 | 3,05 | 2,84 | 3,02 | 3,15 | 3,81 | 3,78 | 3,84 | 3,55 | 3,42 |
| Mediana  | 3,05 | 3,10 | 2,80 | 2,80 | 2,60 | 2,80 | 2,55 | 3,55 | 3,50 | 3,50 | 3,10 | 3,00 |
| Modo   | 2,20 | 2,60 | 2,10 | 2,80 | 2,60 | 2,10 | 2,10 | 3,70 | 1,70 | 3,10 | 1,90 | 2,10 |
| Desvio padrão                                  | 1,76 | 1,34 | 1,47 | 1,59 | 1,57 | 1,72 | 1,94 | 1,90 | 1,88 | 1,84 | 1,67 | 1,62 |
| Variância da amostra                           | 3,10 | 1,80 | 2,17 | 2,52 | 2,47 | 2,94 | 3,76 | 3,60 | 3,55 | 3,38 | 2,80 | 2,63 |
| Nível de confiança(95,0%)                      | 0,29 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,25 | 0,30 | 0,32 | 0,31 | 0,29 | 0,33 | 0,27 | 0,25 |

| <b>Estação de Santana do Livramento - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                                    | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média   | 3,63 | 3,56 | 3,47 | 3,14 | 3,34 | 3,69 | 3,78 | 4,10 | 4,01 | 4,10 | 3,75 | 3,77 |
| Mediana   | 3,50 | 3,50 | 3,25 | 2,80 | 3,00 | 3,40 | 3,30 | 3,85 | 3,80 | 3,90 | 3,50 | 3,40 |
| Modo  | 2,30 | 1,90 | 1,90 | 3,00 | 2,90 | 1,90 | 2,20 | 4,20 | 3,80 | 3,90 | 4,00 | 2,70 |
| Desvio padrão                                   | 1,61 | 1,50 | 1,62 | 1,62 | 1,68 | 1,77 | 2,11 | 2,09 | 1,84 | 1,91 | 1,75 | 1,62 |
| Variância da amostra                            | 2,60 | 2,24 | 2,62 | 2,61 | 2,82 | 3,14 | 4,45 | 4,37 | 3,37 | 3,67 | 3,05 | 2,63 |
| Nível de confiança(95,0%)                       | 0,26 | 0,27 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,34 | 0,29 | 0,34 | 0,29 | 0,28 |

Tabela A-13 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de São Luiz Gonzaga, por horário de observação e no período de março de 2000 a dezembro de 2007.

| <b>Estação de São Luiz Gonzaga - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                               | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                      | 2,51 | 2,32 | 2,33 | 2,30 | 2,50 | 2,71 | 2,82 | 2,94 | 3,13 | 3,08 | 2,63 | 2,37 |
| Mediana                                    | 2,52 | 2,21 | 2,30 | 2,33 | 2,45 | 2,71 | 2,81 | 2,95 | 3,11 | 2,95 | 2,66 | 2,31 |
| Modo                                       | 2,73 | 2,90 | 2,37 | 2,36 | 2,39 | 3,20 | 2,81 | 3,16 | 3,14 | 3,21 | 2,46 | 2,14 |
| Desvio padrão                              | 0,43 | 0,41 | 0,46 | 0,35 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,41 | 0,63 | 0,71 | 0,50 | 0,31 |
| Variância da amostra                       | 0,19 | 0,17 | 0,21 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,17 | 0,39 | 0,51 | 0,25 | 0,10 |
| Nível de confiança(95,0%)                  | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,23 | 0,26 | 0,19 | 0,11 |

| <b>Estação de São Luiz Gonzaga - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                               | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                      | 3,08 | 3,05 | 3,04 | 3,09 | 3,00 | 3,27 | 3,32 | 3,63 | 3,64 | 3,72 | 3,61 | 3,19 |
| Mediana                                    | 2,99 | 3,09 | 2,98 | 3,09 | 2,96 | 3,33 | 3,31 | 3,64 | 3,68 | 3,73 | 3,61 | 3,14 |
| Modo                                       | 2,87 | 2,53 | 2,95 | 3,51 | 2,76 | 3,33 | 3,20 | 3,20 | 3,91 | 4,01 | 3,39 | 2,99 |
| Desvio padrão                              | 0,47 | 0,57 | 0,42 | 0,42 | 0,39 | 0,47 | 0,40 | 0,43 | 0,53 | 0,49 | 0,50 | 0,59 |
| Variância da amostra                       | 0,22 | 0,32 | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,22 | 0,16 | 0,19 | 0,28 | 0,24 | 0,25 | 0,34 |
| Nível de confiança(95,0%)                  | 0,17 | 0,22 | 0,15 | 0,16 | 0,14 | 0,17 | 0,15 | 0,16 | 0,20 | 0,18 | 0,19 | 0,21 |

| <b>Estação de São Luiz Gonzaga - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                               | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                      | 2,86 | 2,87 | 2,72 | 2,82 | 2,83 | 3,10 | 3,14 | 3,30 | 3,34 | 3,26 | 3,13 | 3,05 |
| Mediana                                    | 2,86 | 2,91 | 2,73 | 2,78 | 2,78 | 3,10 | 3,08 | 3,26 | 3,31 | 3,14 | 3,14 | 2,91 |
| Modo                                       | 3,04 | 3,19 | 2,66 | 2,83 | 2,71 | 2,93 | 2,80 | 2,90 | 2,91 | 3,08 | 3,49 | 2,91 |
| Desvio padrão                              | 0,51 | 0,35 | 0,38 | 0,41 | 0,48 | 0,53 | 0,48 | 0,46 | 0,56 | 0,43 | 0,34 | 0,43 |
| Variância da amostra                       | 0,27 | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 0,23 | 0,28 | 0,23 | 0,22 | 0,31 | 0,19 | 0,12 | 0,18 |
| Nível de confiança(95,0%)                  | 0,19 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,20 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,16 | 0,13 | 0,16 |

Tabela A-14 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Torres, por horário de observação e no período de março de 2000 a dezembro de 2007.

| <b>Estação de Torres - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |             |      |      |      |      |      |  |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                     | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul         | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                            | 2,49 | 1,94 | 1,97 | 1,76 | 1,75 | 1,34 | 1,65        | 1,88 | 2,34 | 2,54 | 3,00 | 2,57 |  |
| Mediana                          | 2,57 | 1,72 | 1,88 | 1,87 | 1,50 | 1,13 | <b>1,63</b> | 1,71 | 2,25 | 2,50 | 2,88 | 2,75 |  |
| Modo                             | 2,59 | 1,57 | 1,75 | 2,13 | 1,38 | 1,13 | 0,75        | 1,71 | 1,88 | 2,75 | 2,88 | 3,00 |  |
| Desvio padrão                    | 0,77 | 0,84 | 0,68 | 0,77 | 1,32 | 0,79 | 0,80        | 0,84 | 0,80 | 0,95 | 0,76 | 0,92 |  |
| Variância da amostra             | 0,60 | 0,71 | 0,46 | 0,60 | 1,73 | 0,63 | 0,65        | 0,70 | 0,63 | 0,90 | 0,58 | 0,84 |  |
| Nível de confiança(95,0%)        | 0,28 | 0,33 | 0,25 | 0,29 | 0,48 | 0,30 | 0,30        | 0,31 | 0,30 | 0,35 | 0,28 | 0,34 |  |

| <b>Estação de Torres - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                     | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                            | 2,20 | 1,77 | 1,53 | 1,41 | 1,59 | 1,36 | 1,62 | 1,50 | 2,62 | 2,58 | 2,73 | 2,51 |  |
| Mediana                          | 2,00 | 1,79 | 1,26 | 1,31 | 1,50 | 1,31 | 1,43 | 1,43 | 2,56 | 2,57 | 2,73 | 2,50 |  |
| Modo                             | 2,00 | 2,87 | 1,00 | 1,00 | 1,75 | 0,63 | 0,75 | 1,57 | 2,38 | 2,50 | 3,00 | 2,00 |  |
| Desvio padrão                    | 0,69 | 0,74 | 0,72 | 0,68 | 0,83 | 0,59 | 0,65 | 0,68 | 0,86 | 0,62 | 0,63 | 0,71 |  |
| Variância da amostra             | 0,47 | 0,55 | 0,52 | 0,46 | 0,68 | 0,35 | 0,43 | 0,46 | 0,74 | 0,39 | 0,40 | 0,51 |  |
| Nível de confiança(95,0%)        | 0,25 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,30 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,32 | 0,23 | 0,24 | 0,26 |  |

| <b>Estação de Torres - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Estatísticas                     | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |  |
| Média                            | 3,18 | 3,33 | 3,19 | 3,25 | 3,05 | 2,53 | 3,05 | 3,36 | 3,62 | 3,58 | 3,88 | 3,92 |  |
| Mediana                          | 3,16 | 3,48 | 3,26 | 3,32 | 3,00 | 2,69 | 2,88 | 3,43 | 3,65 | 3,67 | 4,13 | 3,88 |  |
| Modo                             | 3,16 | 4,01 | 2,87 | 3,38 | 3,50 | 2,88 | 2,38 | 3,14 | 3,25 | 3,00 | 4,25 | 4,00 |  |
| Desvio padrão                    | 0,69 | 0,72 | 0,62 | 0,75 | 0,66 | 0,82 | 0,76 | 0,64 | 0,73 | 0,71 | 0,94 | 0,69 |  |
| Variância da amostra             | 0,48 | 0,51 | 0,38 | 0,56 | 0,44 | 0,67 | 0,57 | 0,41 | 0,53 | 0,51 | 0,88 | 0,47 |  |
| Nível de confiança(95,0%)        | 0,25 | 0,28 | 0,23 | 0,28 | 0,24 | 0,31 | 0,28 | 0,24 | 0,27 | 0,26 | 0,35 | 0,25 |  |

Tabela A-15 – Estatística descritiva dos dados de velocidade do vento (m/s) para a estação meteorológica de Uruguaiiana, por horário de observação e no período de março de 2000 a dezembro de 2007.

| <b>Estação de Uruguaiiana - 00UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                 | 1,56 | 1,45 | 1,53 | 1,61 | 1,52 | 1,56 | 1,75 | 1,95 | 2,39 | 2,03 | 1,73 | 1,67 |
| Mediana                               | 1,40 | 1,29 | 1,38 | 1,50 | 1,38 | 1,38 | 1,75 | 1,88 | 2,34 | 2,00 | 1,69 | 1,63 |
| Modo                                  | 1,33 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,75 | 1,50 | 2,50 | 1,75 | 1,25 | 1,00 |
| Desvio padrão                         | 0,41 | 0,47 | 0,49 | 0,39 | 0,47 | 0,48 | 0,50 | 0,65 | 0,85 | 0,59 | 0,42 | 0,57 |
| Variância da amostra                  | 0,16 | 0,22 | 0,24 | 0,15 | 0,22 | 0,23 | 0,25 | 0,42 | 0,73 | 0,35 | 0,18 | 0,33 |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,14 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,24 | 0,32 | 0,22 | 0,16 | 0,21 |

| <b>Estação de Uruguaiiana - 12UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                 | 2,66 | 2,27 | 2,45 | 2,34 | 2,01 | 2,25 | 2,51 | 2,80 | 3,43 | 3,57 | 3,24 | 2,82 |
| Mediana                               | 2,71 | 2,14 | 2,43 | 2,19 | 2,00 | 2,25 | 2,25 | 2,75 | 3,50 | 3,50 | 3,31 | 2,71 |
| Modo                                  | 2,71 | 2,14 | 1,75 | 2,00 | 2,00 | 2,25 | 2,25 | 2,50 | 3,50 | 3,00 | 3,50 | 2,38 |
| Desvio padrão                         | 0,67 | 0,52 | 0,57 | 0,57 | 0,46 | 0,59 | 0,78 | 0,88 | 0,84 | 0,82 | 0,71 | 0,67 |
| Variância da amostra                  | 0,45 | 0,27 | 0,33 | 0,33 | 0,21 | 0,35 | 0,62 | 0,77 | 0,70 | 0,68 | 0,51 | 0,45 |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,25 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,17 | 0,22 | 0,29 | 0,32 | 0,31 | 0,30 | 0,27 | 0,25 |

| <b>Estação de Uruguaiiana - 18UTC</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estatísticas                          | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Média                                 | 2,78 | 2,62 | 2,58 | 2,49 | 2,55 | 2,79 | 3,13 | 3,52 | 4,09 | 3,47 | 3,12 | 2,72 |
| Mediana                               | 2,57 | 2,71 | 2,67 | 2,44 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,50 | 3,60 | 3,50 | 3,19 | 2,83 |
| Modo                                  | 2,57 | 2,71 | 2,88 | 2,00 | 2,75 | 2,50 | 2,88 | 3,25 | 3,38 | 3,50 | 3,75 | 3,00 |
| Desvio padrão                         | 0,95 | 0,58 | 0,67 | 0,65 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,68 | 2,04 | 0,76 | 0,63 | 0,66 |
| Variância da amostra                  | 0,90 | 0,34 | 0,45 | 0,42 | 0,54 | 0,55 | 0,56 | 0,47 | 4,15 | 0,58 | 0,40 | 0,44 |
| Nível de confiança(95,0%)             | 0,35 | 0,22 | 0,25 | 0,24 | 0,27 | 0,28 | 0,27 | 0,25 | 0,76 | 0,28 | 0,24 | 0,24 |

## Apêndice B – Parâmetros $k$ e $c$ da distribuição Weibull

Tabela B-1 – Valores médios mensais de velocidade do vento e dos parâmetros de forma  $k$  e de escala  $c$  da distribuição Weibull, para o período de anos disponível em cada estação meteorológica, às 00UTC. (BG=Bagé, BJ=Bom Jesus, CA=Cruz Alta, ENC=Encruzilhada, Iraí, LV=Lagoa Vermelha, PF=Passo Fundo, POA=Porto Alegre, RG=Rio Grande, STM=Santa Maria, STV=Santa Vitória do Palmar, LIV=Santana do Livramento, SLG=São Luiz Gonzaga, TOR=Torres, URU=Uruguaiana)

| Estação | 00UTC | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | Dez |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| BG      | Média | 2,6 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 3,2 | 3,3 | 2,9 | 3,2 |
|         | c     | 2,9 | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 3,3 | 3,5 |
|         | k     | 2,7 | 2,9 | 2,6 | 2,7 | 2,0 | 3,1 | 2,8 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,2 | 3,7 |
| BJ      | Média | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,4 |
|         | c     | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,6 |
|         | k     | 5,7 | 7,8 | 5,3 | 5,4 | 2,9 | 5,1 | 4,5 | 4,0 | 3,7 | 4,6 | 6,5 | 5,4 |
| CA      | Média | 2,0 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 1,8 |
|         | c     | 2,2 | 1,7 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 1,9 |
|         | k     | 5,1 | 4,8 | 4,1 | 5,3 | 3,4 | 3,9 | 2,6 | 3,8 | 4,9 | 4,9 | 3,3 | 3,8 |
| ENC     | Média | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,4 | 1,5 |
|         | c     | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,6 |
|         | k     | 3,6 | 2,7 | 2,5 | 4,1 | 3,8 | 5,1 | 3,5 | 4,5 | 3,3 | 4,4 | 2,9 | 4,4 |
| IRAI    | Média | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,0 |
|         | c     | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 0,6 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,2 | 1,4 | 1,1 |
|         | k     | 2,7 | 2,7 | 2,4 | 3,0 | 1,9 | 1,6 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,5 | 3,3 | 2,4 |
| LV      | Média | 2,5 | 2,0 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 1,9 | 2,5 | 2,2 | 2,7 | 2,5 | 2,6 | 2,4 |
|         | c     | 2,7 | 2,3 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,2 | 2,7 | 2,4 | 3,0 | 2,7 | 2,9 | 2,7 |
|         | k     | 5,7 | 3,8 | 3,4 | 4,3 | 4,3 | 3,1 | 3,9 | 3,6 | 3,5 | 4,2 | 3,0 | 4,2 |
| PF      | Média | 3,2 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 3,0 | 2,9 | 3,3 | 3,5 | 3,5 | 3,7 | 3,4 | 3,1 |
|         | c     | 3,4 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 3,2 | 3,1 | 3,6 | 3,9 | 3,8 | 3,9 | 3,7 | 3,4 |
|         | k     | 5,3 | 3,1 | 3,4 | 4,4 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 2,3 | 4,8 | 7,1 | 4,5 | 4,2 |
| POA     | Média | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,4 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,5 |
|         | c     | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,3 | 1,6 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,7 |
|         | k     | 3,5 | 3,9 | 3,2 | 4,8 | 2,4 | 3,4 | 3,9 | 4,6 | 3,7 | 5,3 | 5,4 | 4,0 |
| RG      | Média | 2,4 | 2,5 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 2,0 | 2,6 | 2,8 | 2,7 | 2,3 |
|         | c     | 2,7 | 2,7 | 2,1 | 1,8 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,9 | 3,1 | 2,9 | 2,5 |
|         | k     | 3,4 | 4,3 | 2,6 | 3,2 | 2,6 | 2,3 | 2,3 | 2,7 | 3,2 | 3,1 | 3,7 | 4,5 |
| STM     | Média | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,5 | 1,6 |
|         | c     | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 2,0 | 1,7 | 1,7 |
|         | k     | 3,8 | 3,3 | 3,3 | 2,9 | 3,4 | 3,9 | 1,9 | 3,6 | 4,2 | 3,9 | 4,3 | 4,8 |
| STV     | Média | 3,0 | 3,3 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,0 | 3,6 | 3,6 | 3,9 | 3,9 | 4,1 | 3,8 |
|         | c     | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,5 | 3,2 | 4,0 | 4,0 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 4,0 |
|         | k     | 4,4 | 4,4 | 4,9 | 5,7 | 4,7 | 5,5 | 3,7 | 4,1 | 5,5 | 4,8 | 4,5 | 5,9 |
| LIV     | Média | 2,6 | 2,3 | 2,5 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 3,4 | 3,0 | 2,9 | 2,4 | 2,9 |
|         | c     | 3,0 | 2,7 | 3,1 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 3,0 |
|         | K     | 4,1 | 4,5 | 4,3 | 4,5 | 5,2 | 5,2 | 4,4 | 4,1 | 6,5 | 4,4 | 5,0 | 4,5 |
| SLG     | Média | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,1 | 2,6 | 2,4 |
|         | c     | 2,7 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,6 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,4 | 3,4 | 2,8 | 2,5 |
|         | k     | 6,4 | 6,4 | 5,3 | 6,9 | 8,0 | 8,6 | 8,7 | 8,2 | 4,6 | 4,4 | 6,2 | 7,8 |
| TOR     | Média | 2,5 | 1,9 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 2,3 | 2,5 | 3,0 | 2,6 |
|         | c     | 2,8 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,6 | 2,8 | 3,3 | 2,9 |
|         | k     | 3,5 | 2,5 | 3,3 | 2,4 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,4 | 3,3 | 2,9 | 4,3 | 3,3 |
| URU     | Média | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,4 | 2,0 | 1,7 | 1,7 |
|         | c     | 1,7 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,7 | 2,3 | 1,9 | 1,9 |
|         | k     | 4,1 | 3,9 | 3,1 | 4,4 | 3,3 | 3,3 | 3,9 | 3,4 | 3   | 6,4 | 7,9 | 2,7 |

Tabela B-2 – Idem tab.B-1, para às 12UTC.

| Estação | 12UTC | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| BG      | Média | 3,3 | 3,4 | 3,3 | 2,9 | 2,7 | 2,9 | 2,8 | 3,2 | 3,8 | 4,2 | 4,3 | 3,7 |
|         | c     | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,3 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,6 | 4,2 | 4,5 | 4,7 | 4,1 |
|         | k     | 3,6 | 3,9 | 3,6 | 2,7 | 2,6 | 3,2 | 2,5 | 2,9 | 3,7 | 5,5 | 4,6 | 3,8 |
| BJ      | Média | 1,9 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 2,0 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,2 |
|         | c     | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,3 |
|         | k     | 8,0 | 4,7 | 7,5 | 5,7 | 6,2 | 6,0 | 5,6 | 4,3 | 5,7 | 6,1 | 5,4 | 7,0 |
| CA      | Média | 2,0 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 2,1 | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 1,8 |
|         | c     | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,3 | 2,7 | 2,5 | 2,3 | 2,0 |
|         | k     | 4,3 | 5,2 | 5,3 | 6,1 | 4,4 | 4,0 | 3,4 | 5,2 | 5,5 | 2,8 | 5,2 | 4,7 |
| ENC     | Média | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 1,5 |
|         | c     | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 1,7 | 1,8 | 1,6 |
|         | k     | 3,8 | 2,3 | 5,0 | 4,7 | 4,4 | 3,9 | 4,1 | 3,9 | 3,8 | 5,5 | 4,0 | 3,1 |
| IRAI    | Média | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
|         | c     | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 1,7 |
|         | k     | 4,9 | 2,8 | 4,7 | 3,2 | 2,8 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,9 | 3,0 | 4,7 | 4,2 |
| LV      | Média | 2,8 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 3,2 | 3,1 | 3,0 | 2,9 |
|         | c     | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,4 | 2,9 | 3,0 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,2 |
|         | k     | 5,6 | 3,8 | 5,8 | 4,9 | 4,5 | 4,8 | 4,6 | 4,5 | 3,9 | 3,5 | 4,8 | 3,9 |
| PF      | Média | 4,0 | 3,7 | 3,6 | 3,7 | 3,5 | 3,6 | 3,9 | 4,2 | 4,7 | 4,4 | 4,2 | 3,9 |
|         | c     | 4,2 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 3,7 | 3,8 | 4,2 | 4,5 | 4,9 | 4,8 | 4,5 | 4,2 |
|         | k     | 7,6 | 7,2 | 6,5 | 5,3 | 7,7 | 6,9 | 6,1 | 6,4 | 9,0 | 5,1 | 7,0 | 6,5 |
| POA     | Média | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,4 |
|         | c     | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 1,5 |
|         | k     | 2,5 | 4,0 | 3,3 | 4,0 | 3,2 | 4,1 | 2,8 | 3,7 | 3,8 | 4,4 | 3,2 | 3,5 |
| RG      | Média | 2,6 | 2,7 | 2,1 | 2,0 | 2,3 | 1,8 | 2,2 | 2,4 | 3,6 | 3,2 | 3,4 | 2,7 |
|         | c     | 2,9 | 3,1 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,1 | 2,5 | 2,6 | 3,9 | 3,6 | 3,7 | 2,9 |
|         | k     | 5,5 | 4,0 | 3,8 | 3,4 | 4,0 | 2,7 | 2,9 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | 4,3 | 4,0 |
| STM     | Média | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,2 |
|         | c     | 2,3 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,9 | 2,1 | 2,0 | 2,4 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,4 |
|         | k     | 4,2 | 6,2 | 6,0 | 4,7 | 4,5 | 3,0 | 4,7 | 3,3 | 4,8 | 5,4 | 6,8 | 6,0 |
| STV     | Média | 3,9 | 4,1 | 3,8 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 4,3 | 4,7 | 5,0 | 4,2 |
|         | c     | 4,2 | 4,3 | 4,1 | 3,7 | 3,4 | 3,3 | 3,7 | 4,1 | 4,6 | 5,0 | 5,4 | 4,4 |
|         | k     | 5,2 | 4,2 | 5,9 | 4,0 | 3,4 | 3,3 | 3,7 | 4,7 | 6,0 | 5,5 | 4,6 | 6,8 |
| LIV     | Média | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 3,1 | 2,8 | 3,0 | 3,1 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,6 | 3,4 |
|         | c     | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,1 | 3,2 | 3,5 | 4,1 | 4,0 | 4,2 | 3,8 | 3,6 |
|         | k     | 5,8 | 5,6 | 4,4 | 5,0 | 4,4 | 4,1 | 4,2 | 4,5 | 5,8 | 4,8 | 6,0 | 6,8 |
| SLG     | Média | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,1 | 3,0 | 3,3 | 3,3 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,6 | 3,2 |
|         | c     | 3,3 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,5 | 3,8 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,4 |
|         | k     | 7,1 | 5,8 | 7,9 | 7,8 | 8,2 | 7,6 | 8,3 | 9,1 | 8,1 | 8,1 | 8,0 | 6,2 |
| TOR     | Média | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,5 |
|         | c     | 2,4 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,5 | 1,8 | 1,7 | 2,9 | 2,8 | 3,0 | 2,8 |
|         | k     | 3,6 | 2,7 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 2,5 | 2,8 | 2,4 | 3,4 | 4,6 | 4,8 | 3,8 |
| URU     | Média | 2,7 | 2,3 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,4 | 3,6 | 3,2 | 2,8 |
|         | c     | 2,9 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,1 | 3,7 | 3,9 | 3,5 | 3,1 |
|         | k     | 4,5 | 4,2 | 4,5 | 4,3 | 4,9 | 3,5 | 3,3 | 3,1 | 4,6 | 4,8 | 5,4 | 4,5 |

Tabela B-3 - Idem tab.B-1, para às 18UTC.

| Estação | 18UTC | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago  | set | out | nov  | dez |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|
| BG      | Média | 3,7 | 3,5 | 3,3 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,7 | 3,8  | 4,0 | 4,2 | 4,0  | 3,9 |
|         | c     | 4,1 | 3,7 | 3,7 | 3,6 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 4,2  | 4,3 | 4,7 | 4,5  | 4,2 |
|         | k     | 3,4 | 3,5 | 3,7 | 3,2 | 3,1 | 2,6 | 3,6 | 3,8  | 5,4 | 3,1 | 3,7  | 4,1 |
| BJ      | Média | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,1 | 2,4 | 2,4  | 2,5 | 2,5 | 2,5  | 2,6 |
|         | c     | 2,2 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 2,3 | 2,3 | 2,6 | 2,6  | 2,7 | 2,8 | 2,7  | 2,8 |
|         | k     | 5,4 | 5,0 | 6,8 | 6,4 | 5,3 | 4,3 | 7,6 | 4,1  | 3,8 | 4,4 | 6,5  | 8,3 |
| CA      | Média | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,3  | 2,3 | 2,2 | 2,0  | 2,0 |
|         | c     | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,5  | 2,6 | 2,4 | 2,2  | 2,2 |
|         | k     | 5,0 | 6,8 | 6,2 | 4,8 | 4,4 | 3,1 | 4,0 | 4,4  | 4,7 | 4,5 | 5,2  | 2,5 |
| ENC     | Média | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,7  | 1,8 | 1,4 | 1,6  | 1,4 |
|         | c     | 1,5 | 1,9 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,8 | 1,87 | 1,9 | 1,5 | 1,7  | 1,5 |
|         | k     | 4,2 | 1,7 | 3,9 | 3,7 | 6,1 | 3,7 | 3,1 | 3,90 | 4,1 | 4,7 | 3,6  | 4,6 |
| IRAI    | Média | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,3 | 2,4  | 2,6 | 2,3 | 2,5  | 2,5 |
|         | c     | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,5 | 2,6  | 2,9 | 2,5 | 2,7  | 2,7 |
|         | k     | 3,7 | 4,2 | 3,9 | 4,7 | 3,6 | 3,4 | 3,8 | 3,8  | 4,7 | 4,7 | 4,6  | 3,0 |
| LV      | Média | 2,7 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 2,8  | 2,9 | 2,8 | 2,8  | 2,8 |
|         | c     | 2,8 | 2,9 | 2,4 | 2,4 | 2,8 | 2,7 | 3,0 | 3,1  | 3,1 | 3,0 | 3,1  | 3,1 |
|         | k     | 6,3 | 4,2 | 6,0 | 4,5 | 3,5 | 4,1 | 5,0 | 5,1  | 7,8 | 5,2 | 3,2  | 3,8 |
| PF      | Média | 3,5 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,6 | 4,0 | 4,1 | 4,5  | 4,1 | 3,7 | 3,8  | 3,6 |
|         | c     | 3,7 | 3,6 | 3,5 | 3,4 | 3,9 | 4,2 | 4,4 | 4,8  | 4,4 | 4,0 | 4,0  | 3,9 |
|         | k     | 7,1 | 5,6 | 5,7 | 5,3 | 6,9 | 4,8 | 6,3 | 8,5  | 7,4 | 6,7 | 8,9  | 4,8 |
| POA     | Média | 1,6 | 1,6 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,6  | 1,8 | 1,7 | 1,7  | 1,7 |
|         | c     | 1,7 | 1,7 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,7 | 1,7  | 2,0 | 1,8 | 1,9  | 1,9 |
|         | k     | 4,8 | 4,7 | 3,6 | 5,2 | 4,6 | 3,7 | 3,4 | 3,9  | 5,1 | 4,2 | 4,1  | 3,2 |
| RG      | Média | 3,5 | 3,6 | 2,6 | 2,5 | 2,7 | 2,2 | 2,6 | 2,7  | 3,8 | 3,4 | 3,7  | 3,0 |
|         | c     | 3,9 | 4,1 | 2,9 | 2,8 | 3,0 | 2,4 | 2,9 | 3,0  | 4,2 | 3,8 | 4,0  | 3,3 |
|         | k     | 4,5 | 4,7 | 3,3 | 4,2 | 4,3 | 3,5 | 3,5 | 4,1  | 3,8 | 3,9 | 4,0  | 4,0 |
| STM     | Média | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,7  | 2,8 | 2,7 | 2,7  | 2,6 |
|         | c     | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 2,6 | 2,5 | 2,9  | 2,9 | 2,9 | 2,9  | 2,7 |
|         | k     | 7,1 | 8,8 | 9,9 | 8,4 | 7,3 | 5,0 | 7,9 | 6,3  | 8,0 | 6,4 | 7,9  | 9,3 |
| STV     | Média | 4,8 | 4,8 | 4,5 | 4,1 | 4,2 | 3,7 | 4,4 | 4,4  | 4,7 | 5,1 | 5,3  | 4,9 |
|         | c     | 5,1 | 4,9 | 4,8 | 4,4 | 4,5 | 4,1 | 4,7 | 4,9  | 5,1 | 5,5 | 5,7  | 5,3 |
|         | k     | 6,1 | 4,2 | 7,9 | 4,7 | 5,3 | 4,5 | 5,9 | 4,7  | 5,2 | 5,2 | 5,1  | 6,6 |
| LIV     | Média | 3,6 | 3,6 | 3,5 | 3,1 | 3,3 | 3,7 | 3,8 | 4,1  | 4,0 | 4,1 | 3,7  | 3,8 |
|         | c     | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,4 | 3,6 | 4,0 | 4,1 | 4,5  | 4,3 | 4,5 | 4,1  | 4,0 |
|         | k     | 5,7 | 6,5 | 4,9 | 5,8 | 5,2 | 4,1 | 4,4 | 4,9  | 6,4 | 4,8 | 5,7  | 5,7 |
| SLG     | Média | 2,9 | 2,9 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 3,1 | 3,1 | 3,3  | 3,3 | 3,3 | 3,1  | 3,0 |
|         | c     | 3,1 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 3,3 | 3,5  | 3,6 | 3,4 | 3,3  | 3,2 |
|         | k     | 5,6 | 5,9 | 8,2 | 7,0 | 5,9 | 6,1 | 7,0 | 7,8  | 6,4 | 7,7 | 10,4 | 6,8 |
| TOR     | Média | 3,2 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 2,5 | 3,0 | 3,4  | 3,6 | 3,6 | 3,9  | 3,9 |
|         | c     | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,5 | 3,3 | 2,8 | 3,3 | 3,6  | 3,9 | 3,9 | 4,2  | 4,2 |
|         | k     | 4,9 | 4,5 | 5,9 | 5,2 | 5,2 | 3,5 | 4,5 | 5,8  | 5,5 | 6,0 | 4,9  | 6,5 |
| URU     | Média | 2,8 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,5  | 4,1 | 3,5 | 3,1  | 2,7 |
|         | c     | 3,1 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,8  | 4,0 | 3,8 | 3,4  | 3,0 |
|         | k     | 3,3 | 4,9 | 4,2 | 4,2 | 3,9 | 3,8 | 4,6 | 5,8  | 5,9 | 5,5 | 5,6  | 4,6 |

### Apêndice C – Gráficos da distribuição Weibull

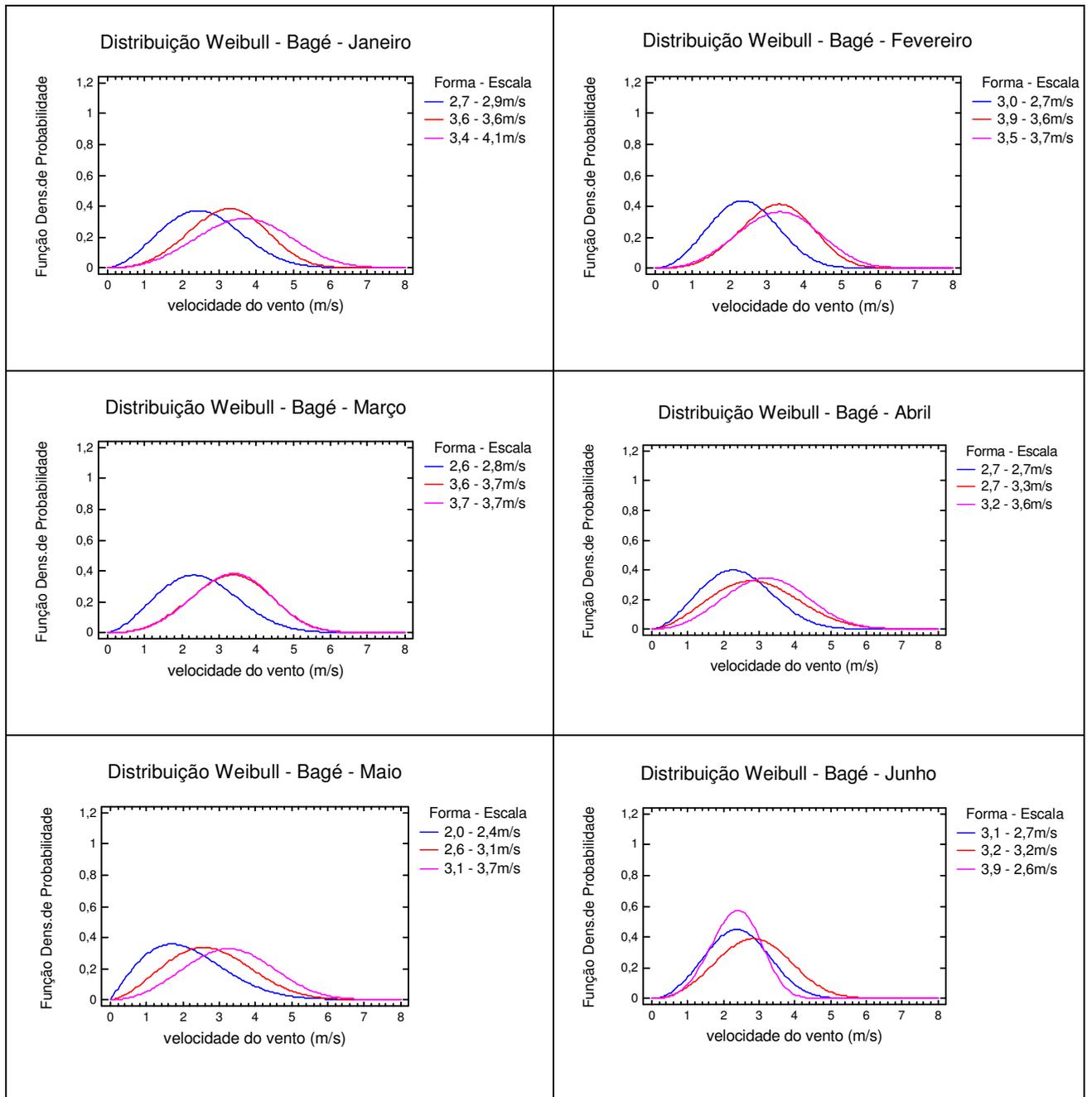


Figura C-1 - Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Bagé, no período de 2000 a 2003.

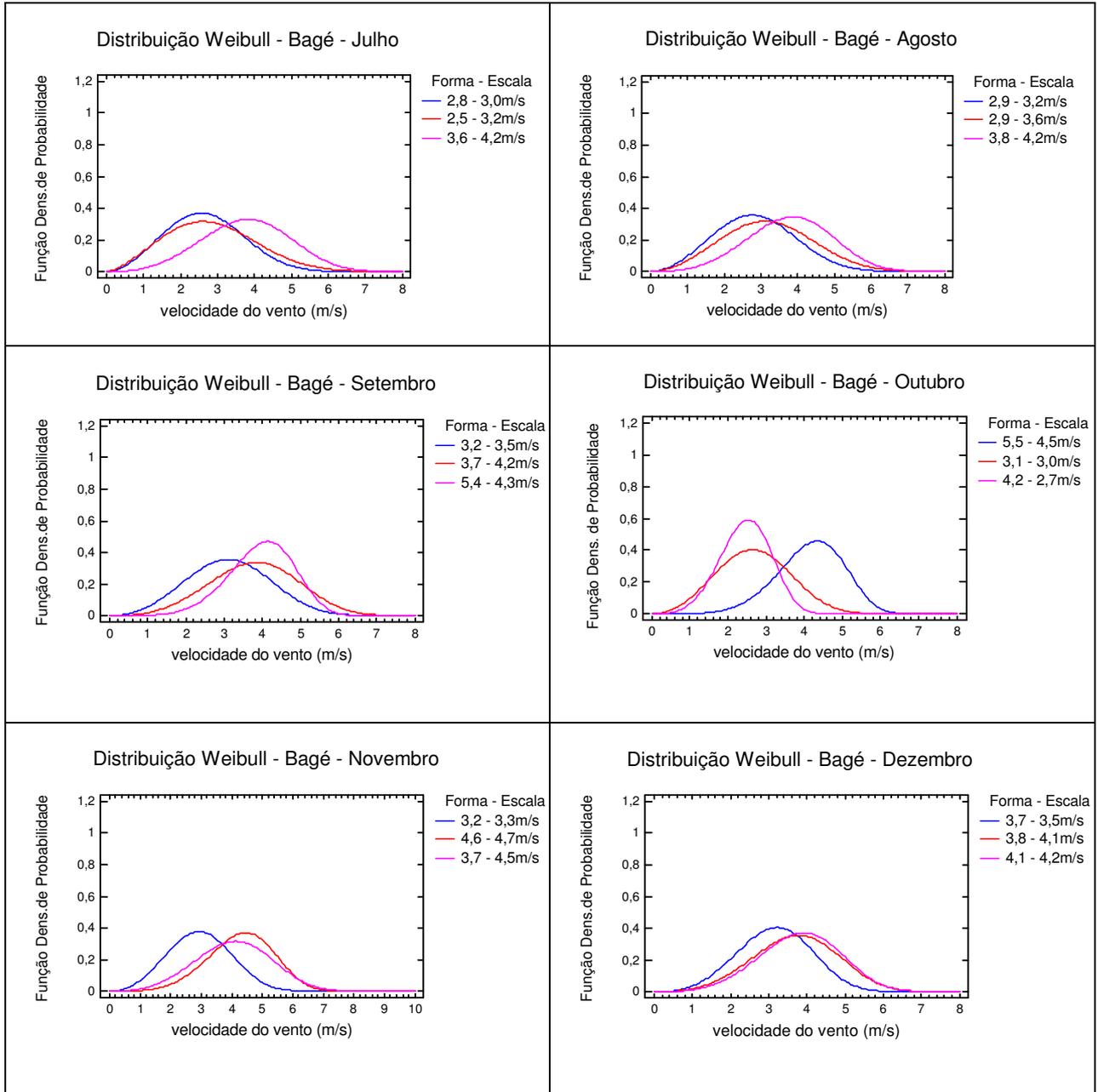


Figura C-2 - Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Bagé, no período de 2000 a 2003.

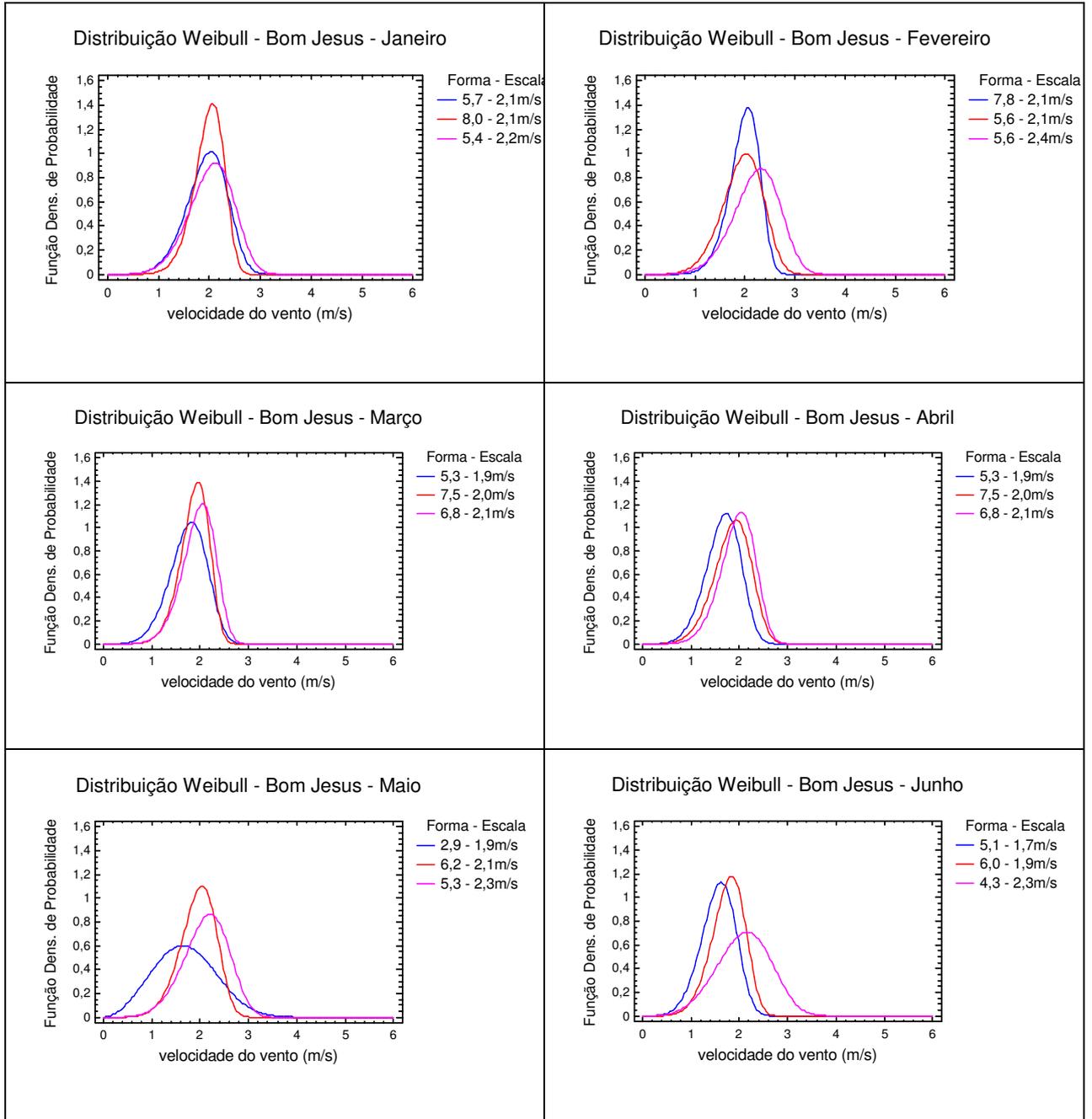


Figura C-3 - Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Bom Jesus, no período de 2000 a 2007.

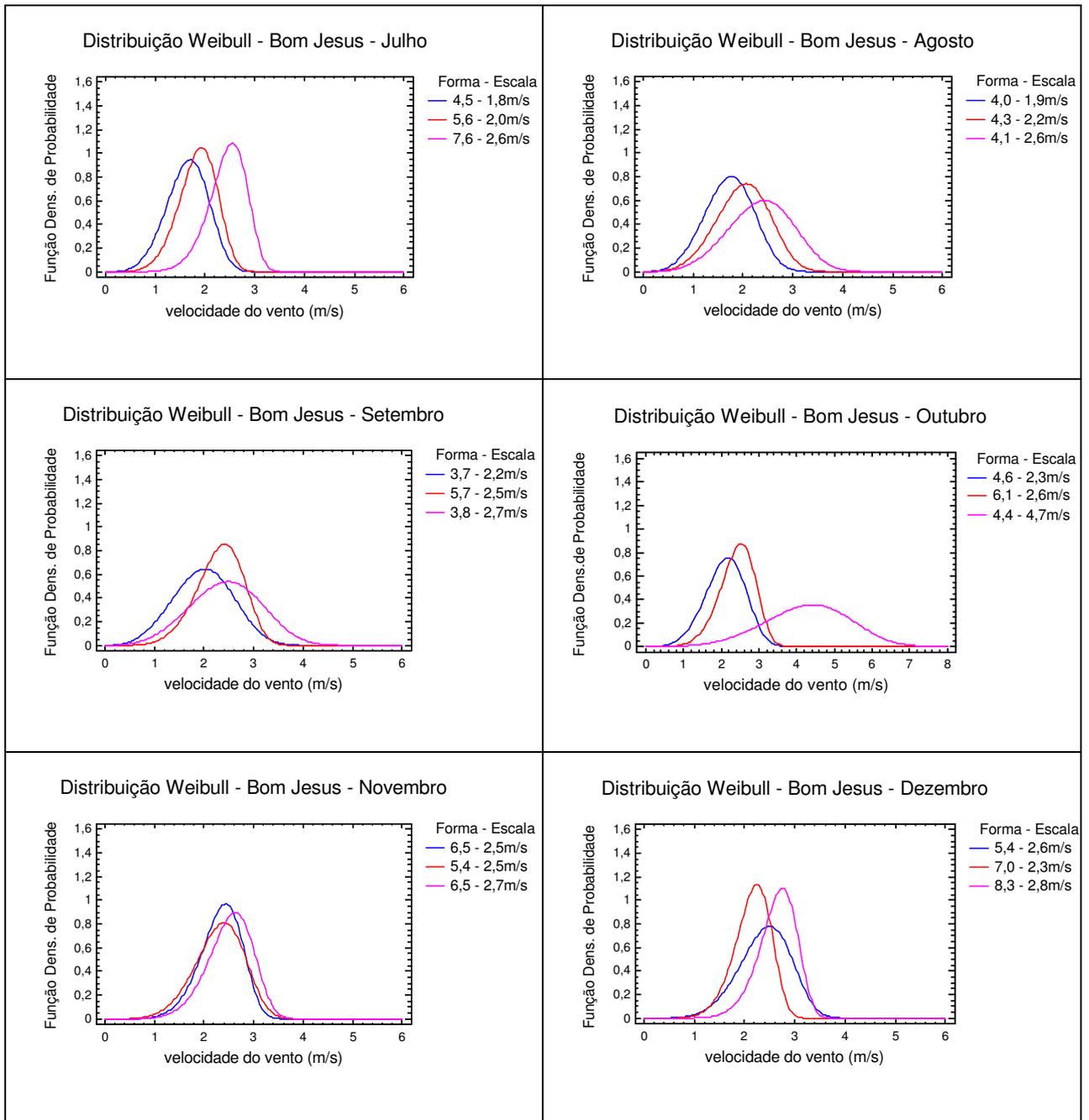


Figura C-4 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Bom Jesus, no período de 2000 a 2007.

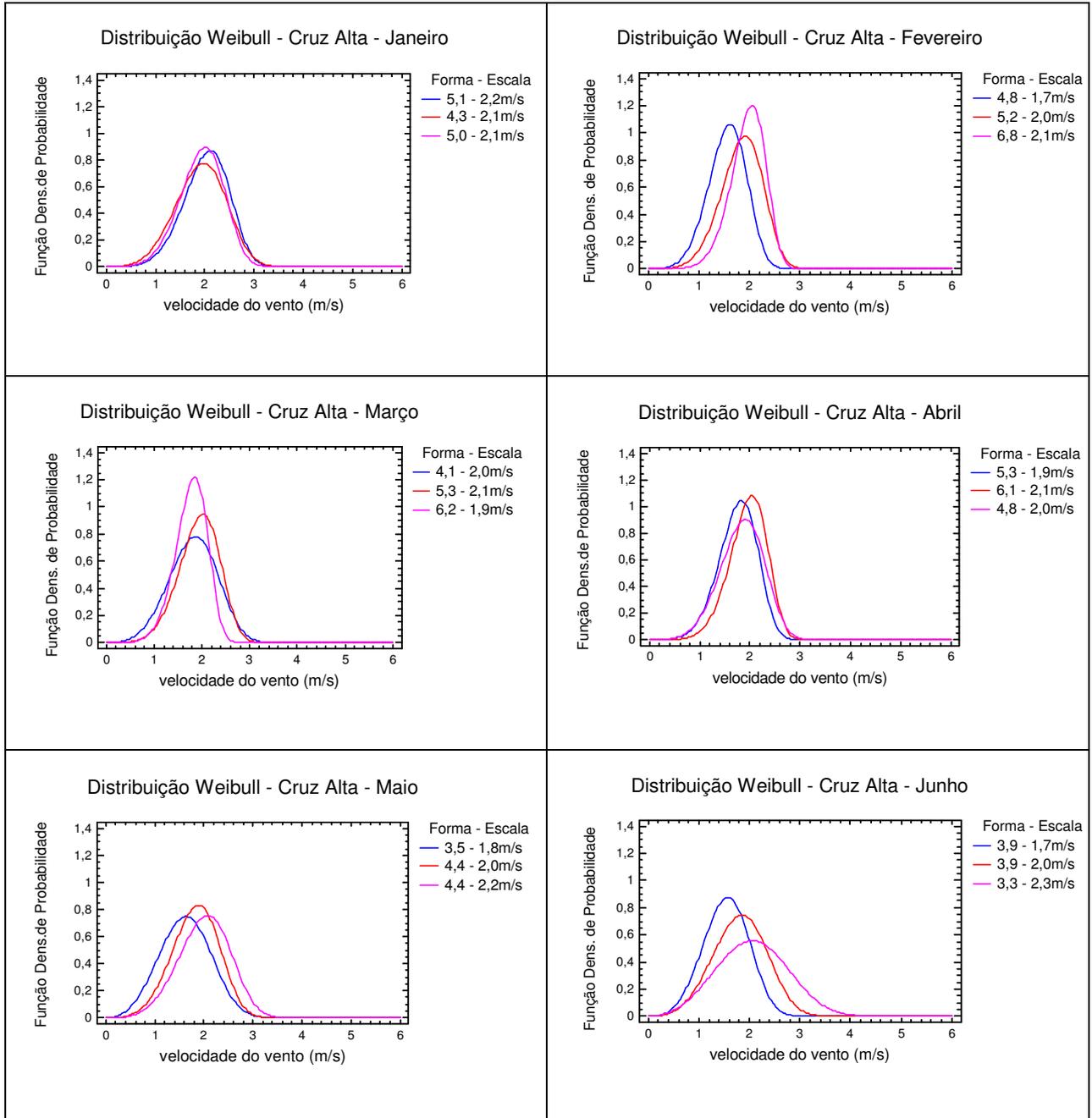


Figura C-5 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Cruz Alta, no período de 2000 a 2004.

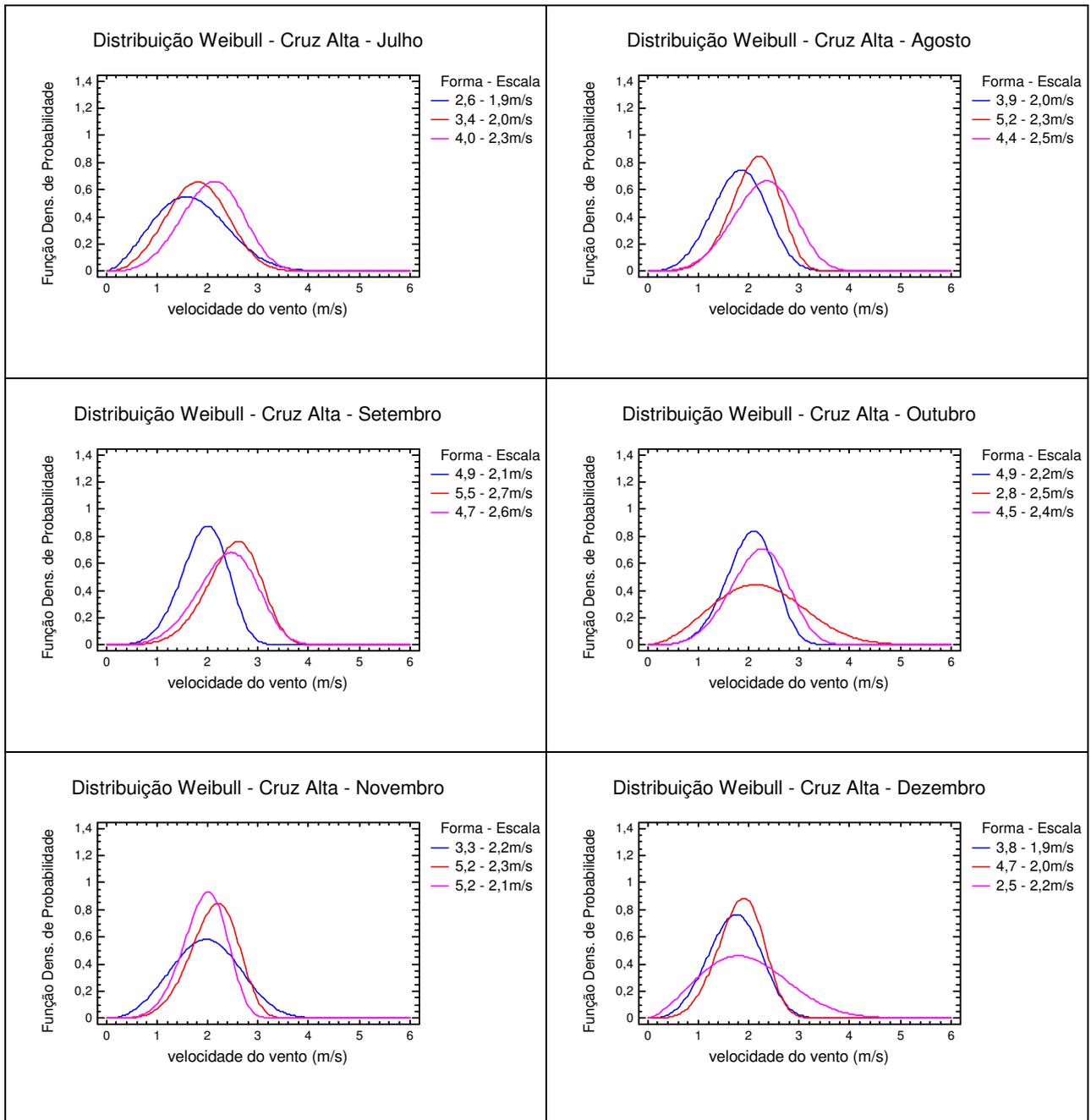


Figura C-6 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Cruz Alta, no período de 2000 a 2004.

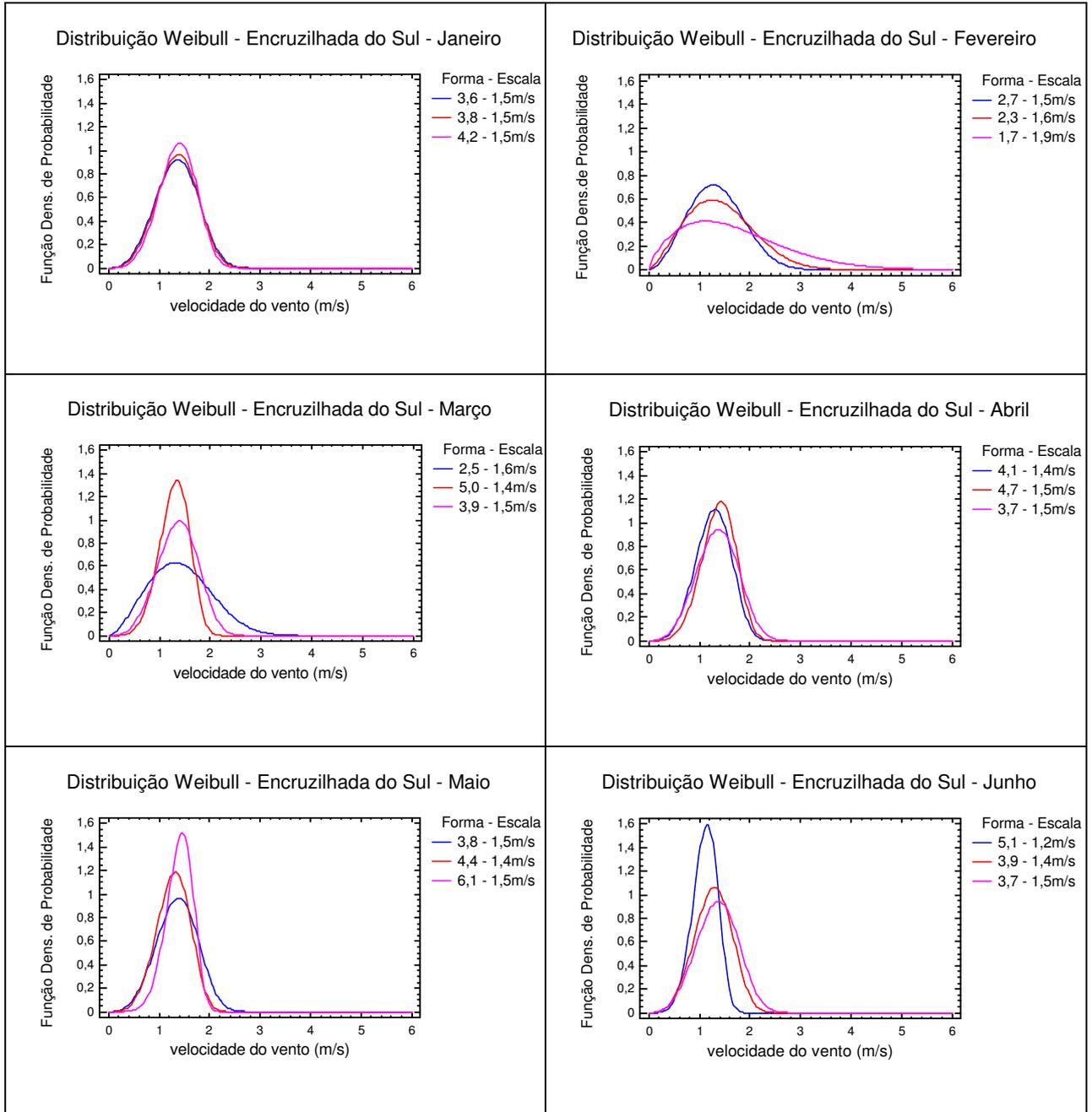


Figura C-7– Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Encruzilhada do Sul, no período de 2000 a 2007.

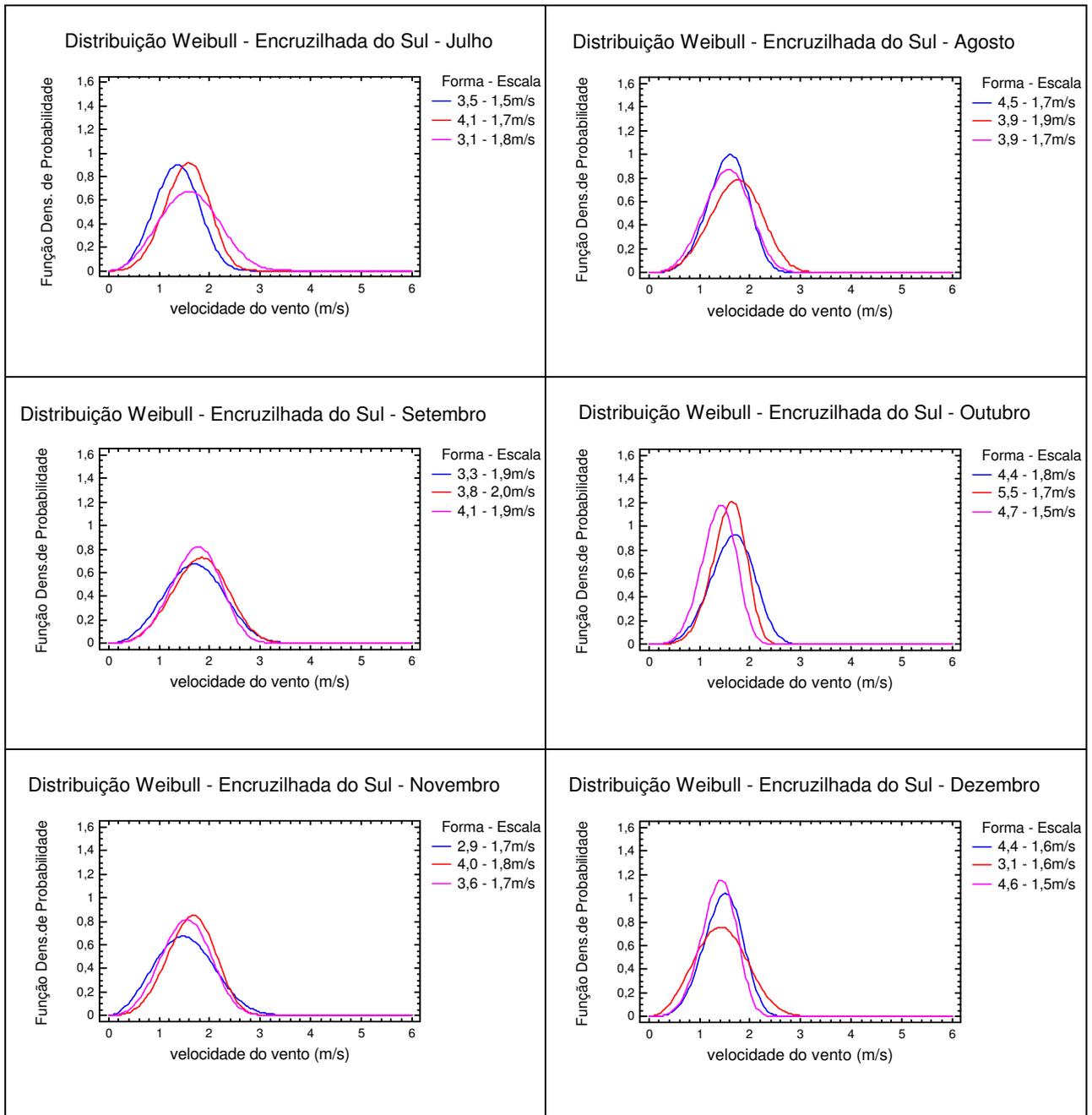


Figura C-8 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Encruzilhada do Sul, no período de 2000 a 2007.

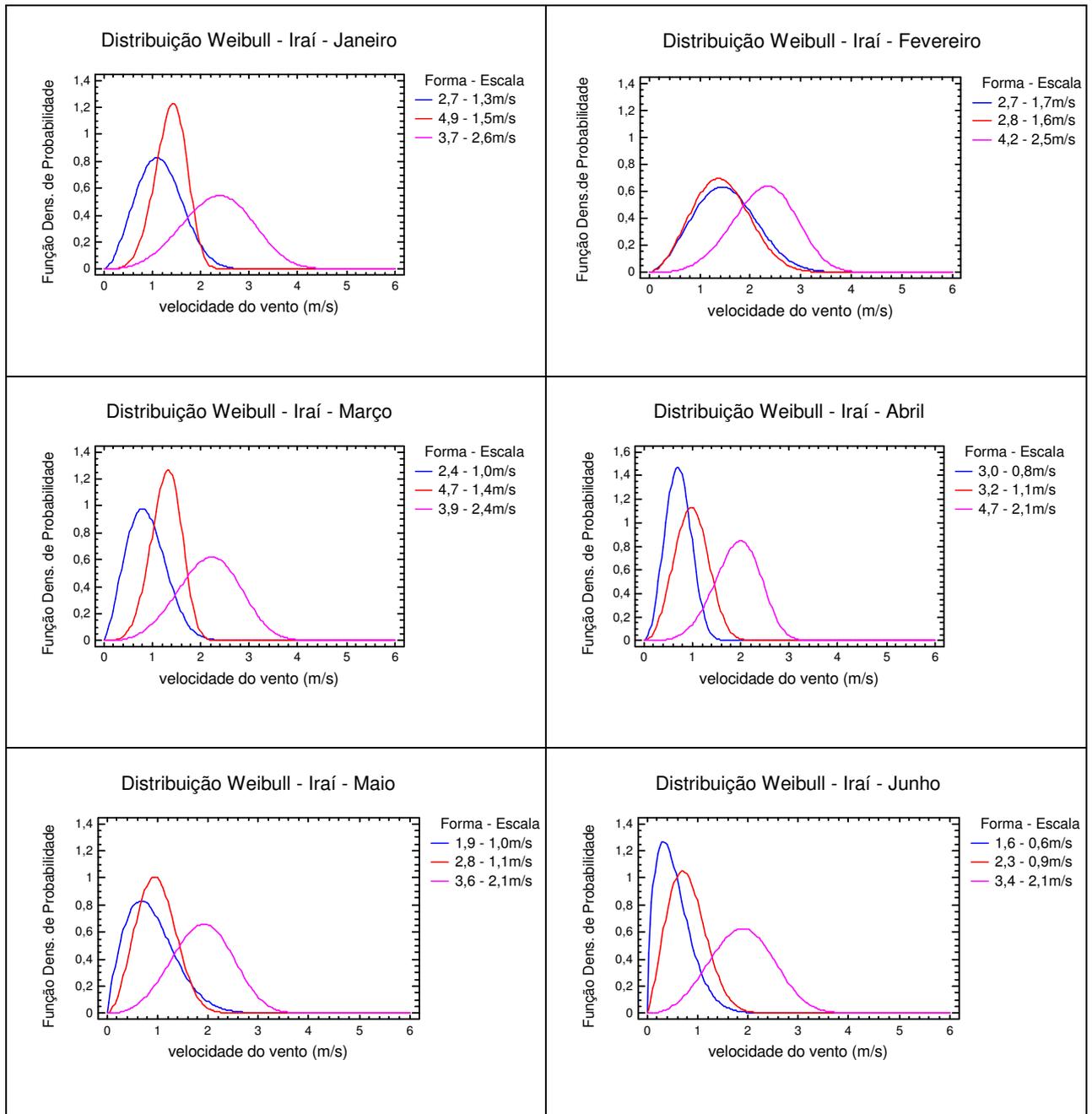


Figura C-9 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Iraí, no período de 2000 a 2007.

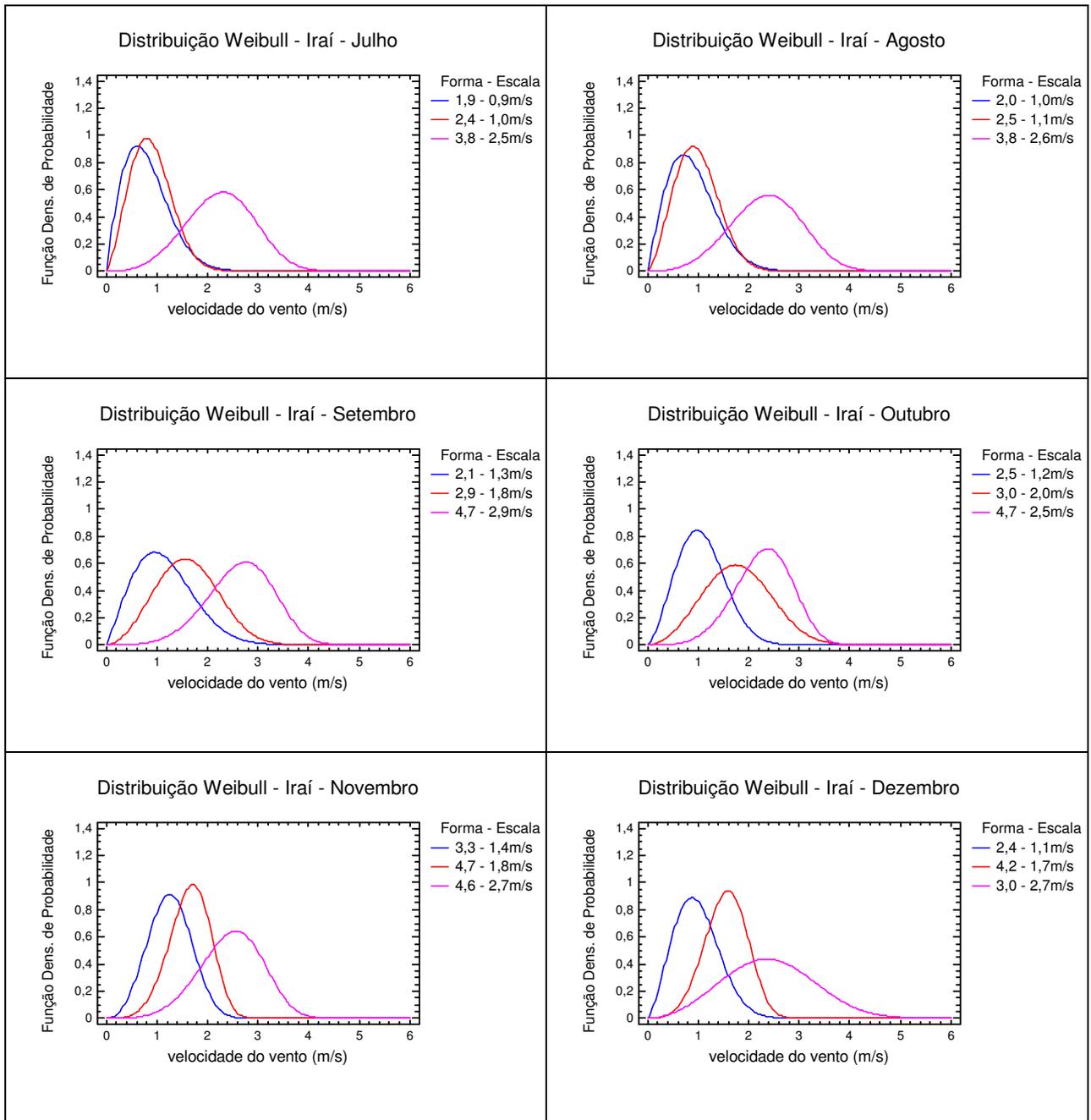


Figura C-10 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Iraí, no período de 2000 a 2007

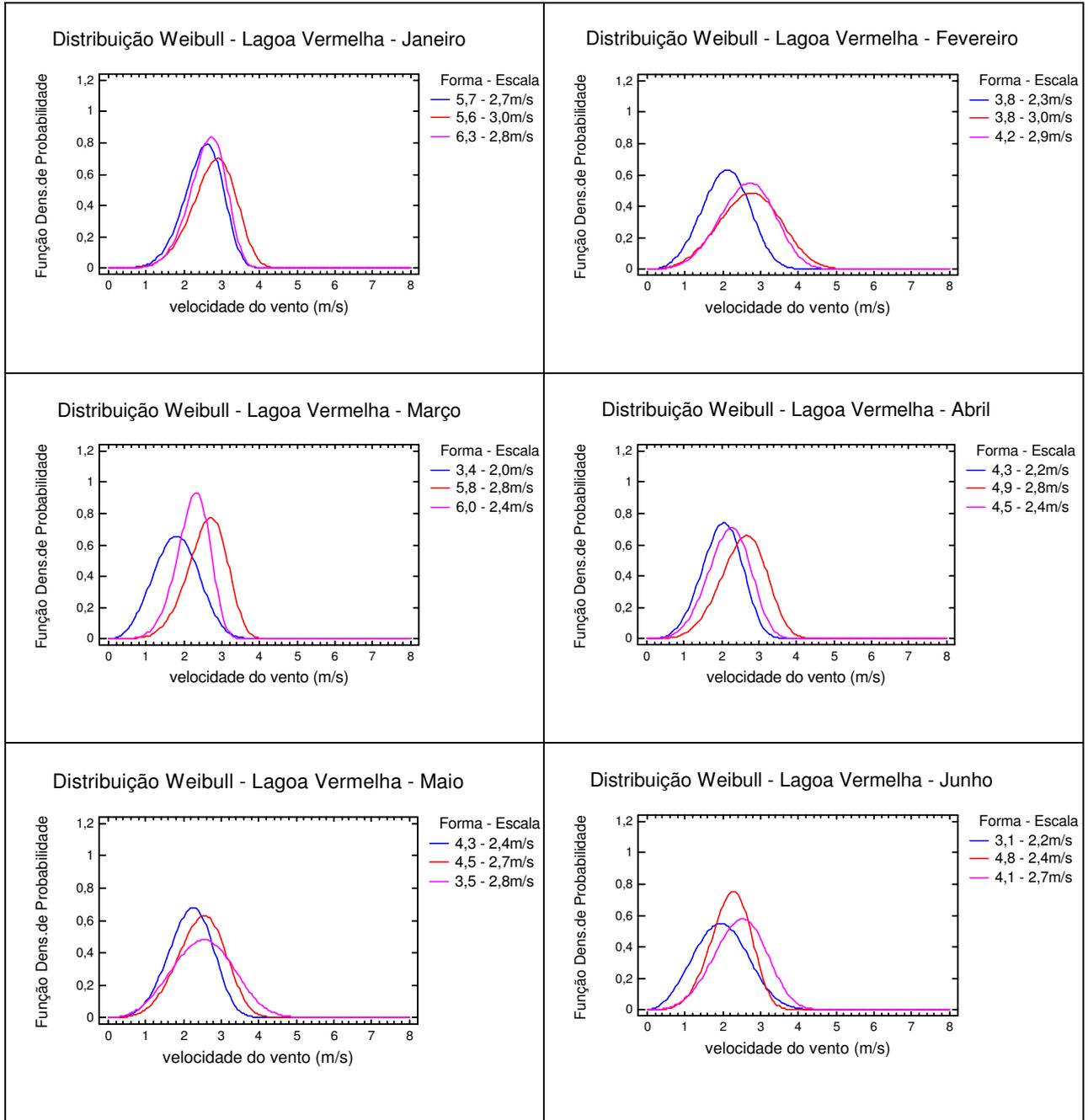


Figura C-11 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Lagoa Vermelha, no período de 2000 a 2004.

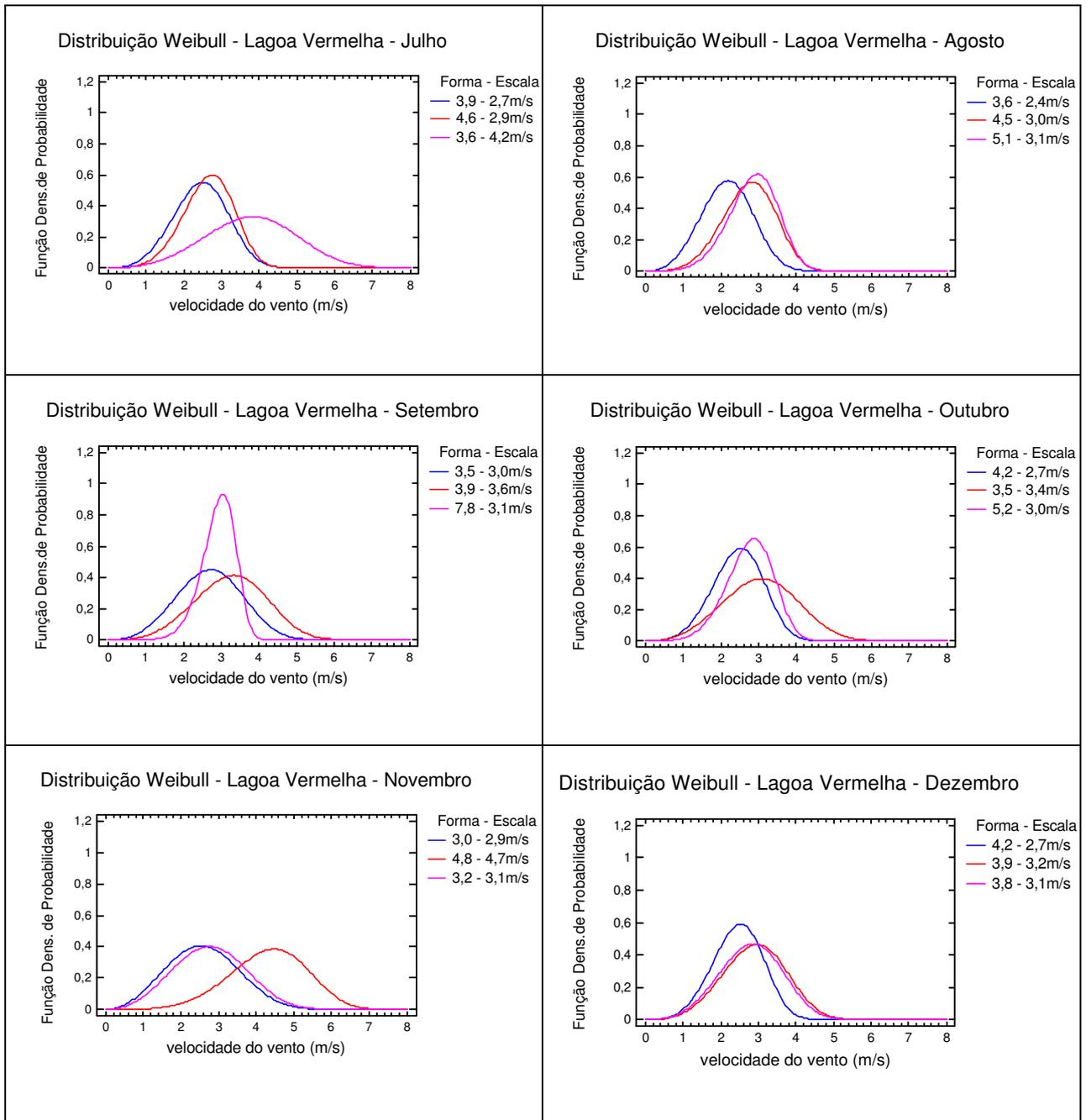


Figura C-12 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Lagoa Vermelha, no período de 2000 a 2004.

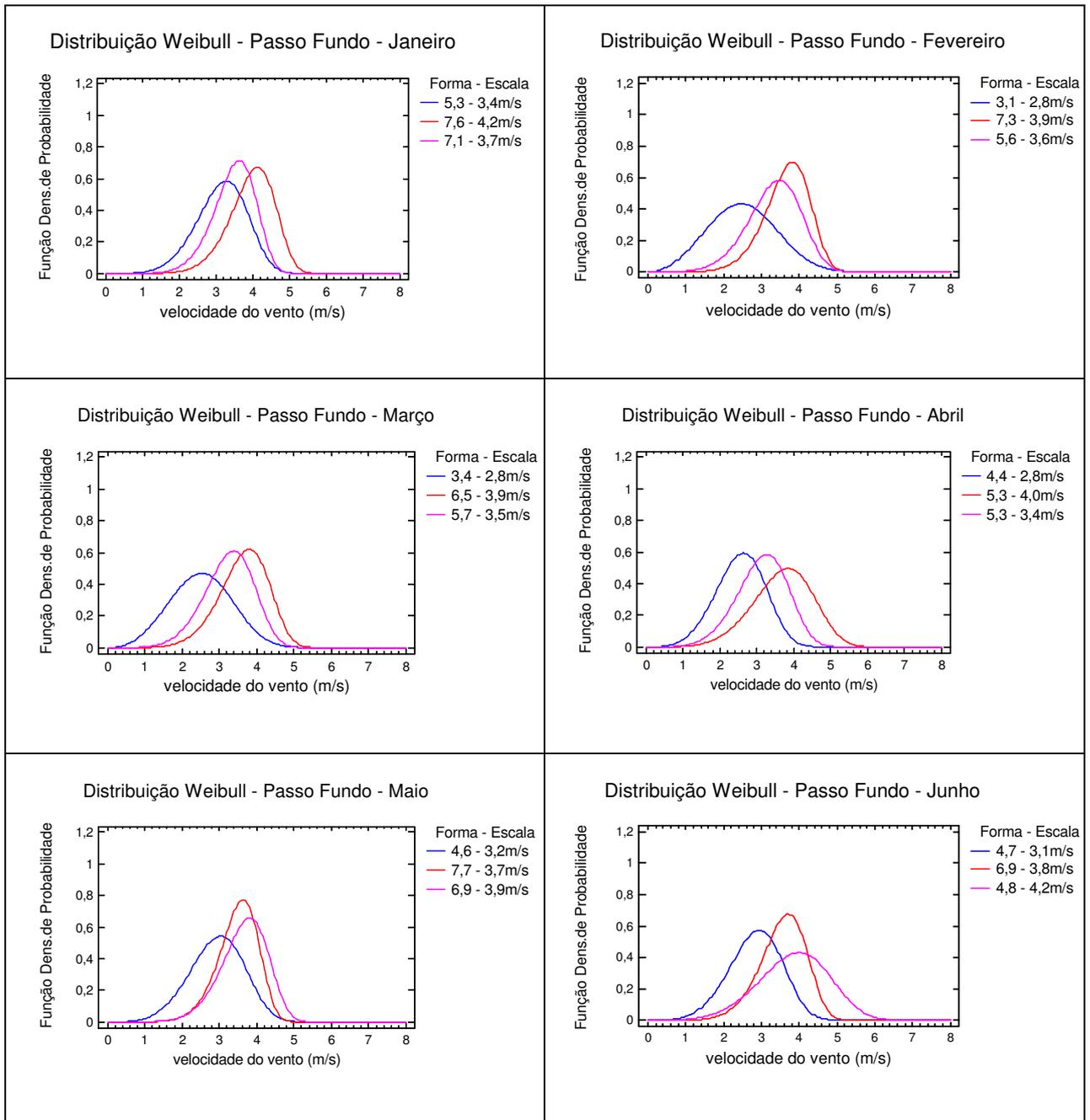


Figura C-13 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Passo Fundo, no período de 2000 a 2007.

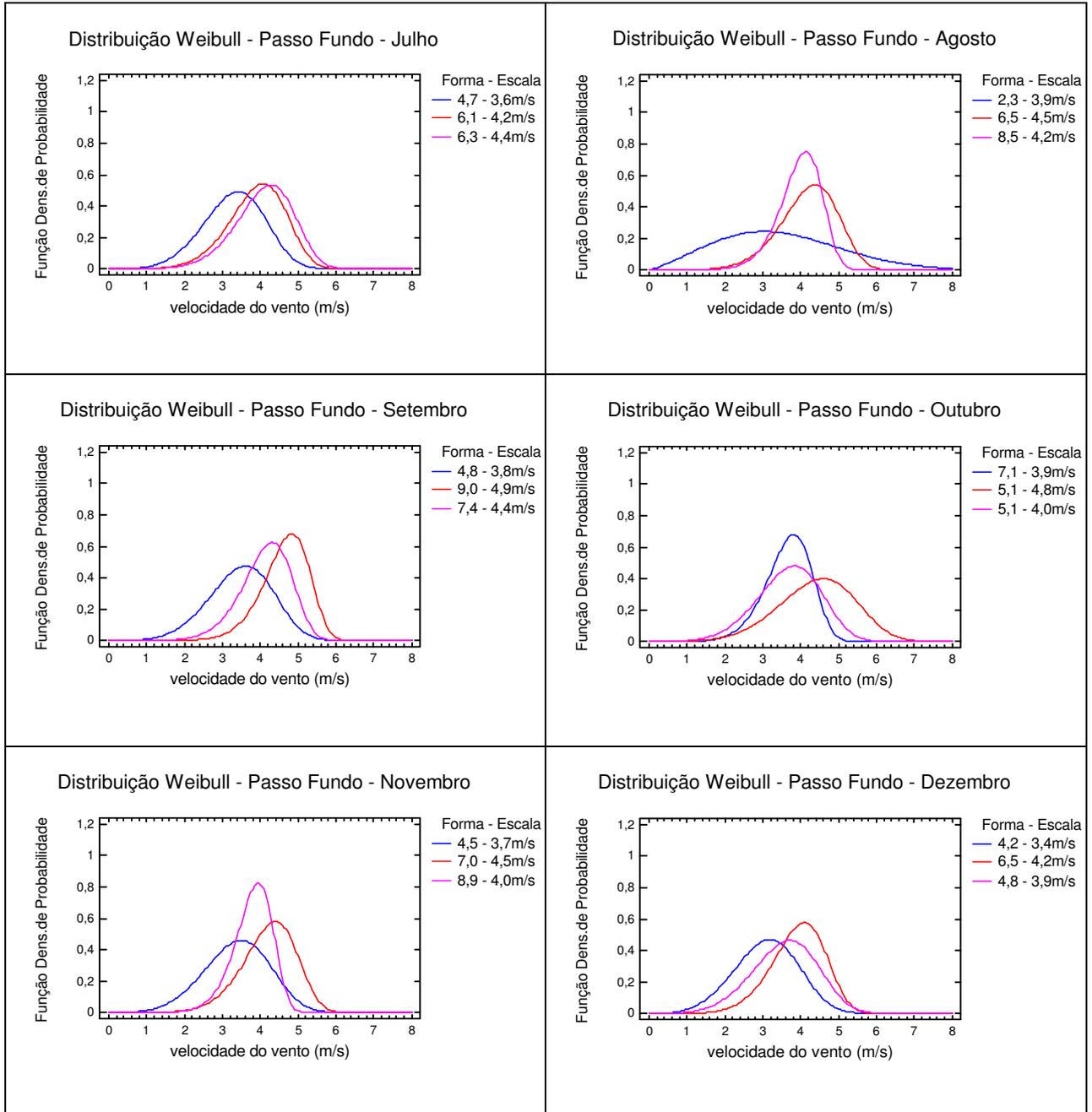


Figura C-14 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Passo Fundo, no período de 2000 a 2007.

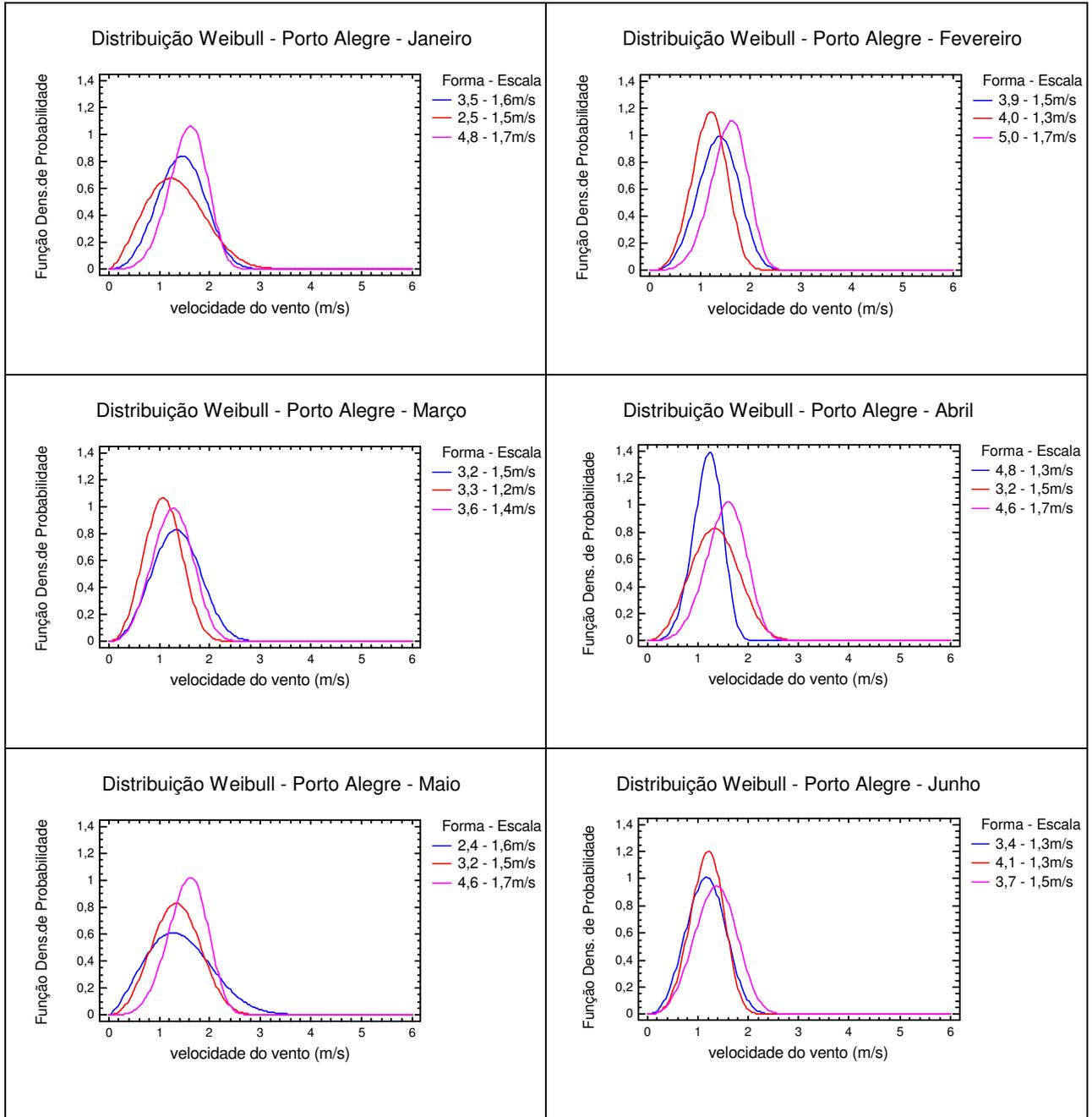


Figura C-15 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Porto Alegre, no período de 2000 a 2004.

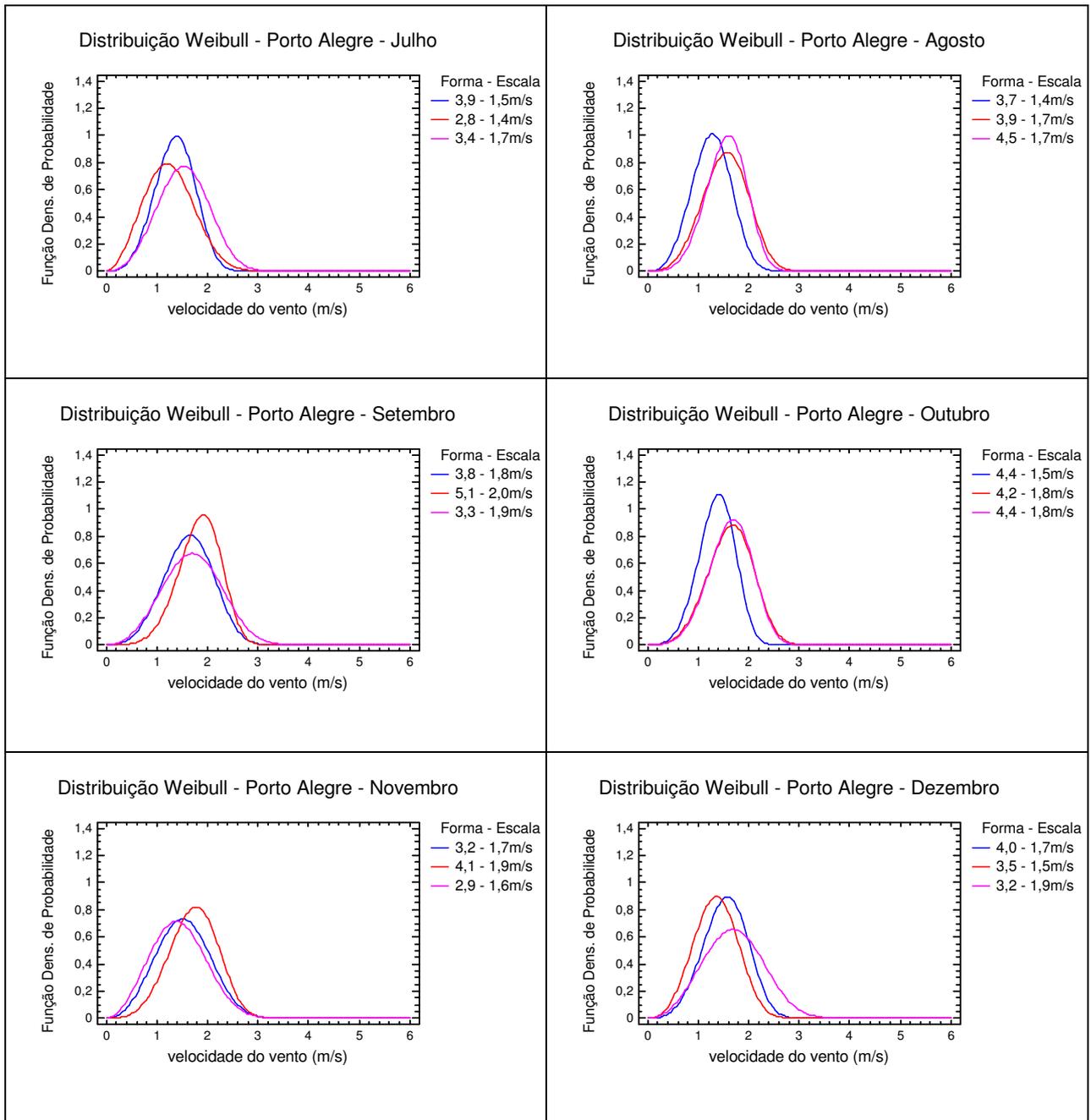


Figura C-16 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Porto Alegre, no período de 2000 a 2004.

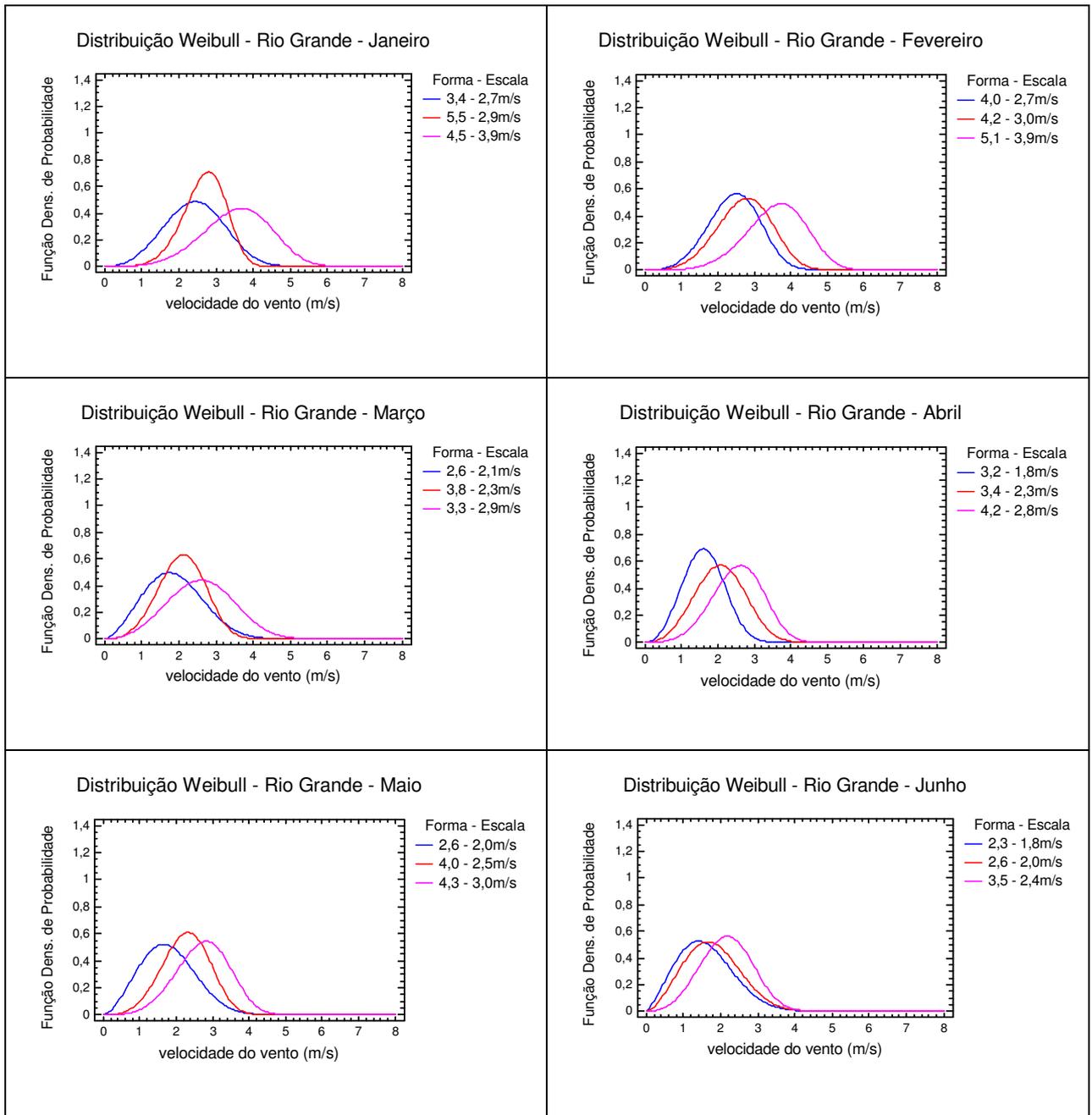


Figura C-17 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Rio Grande, no período de 2000 a 2007.

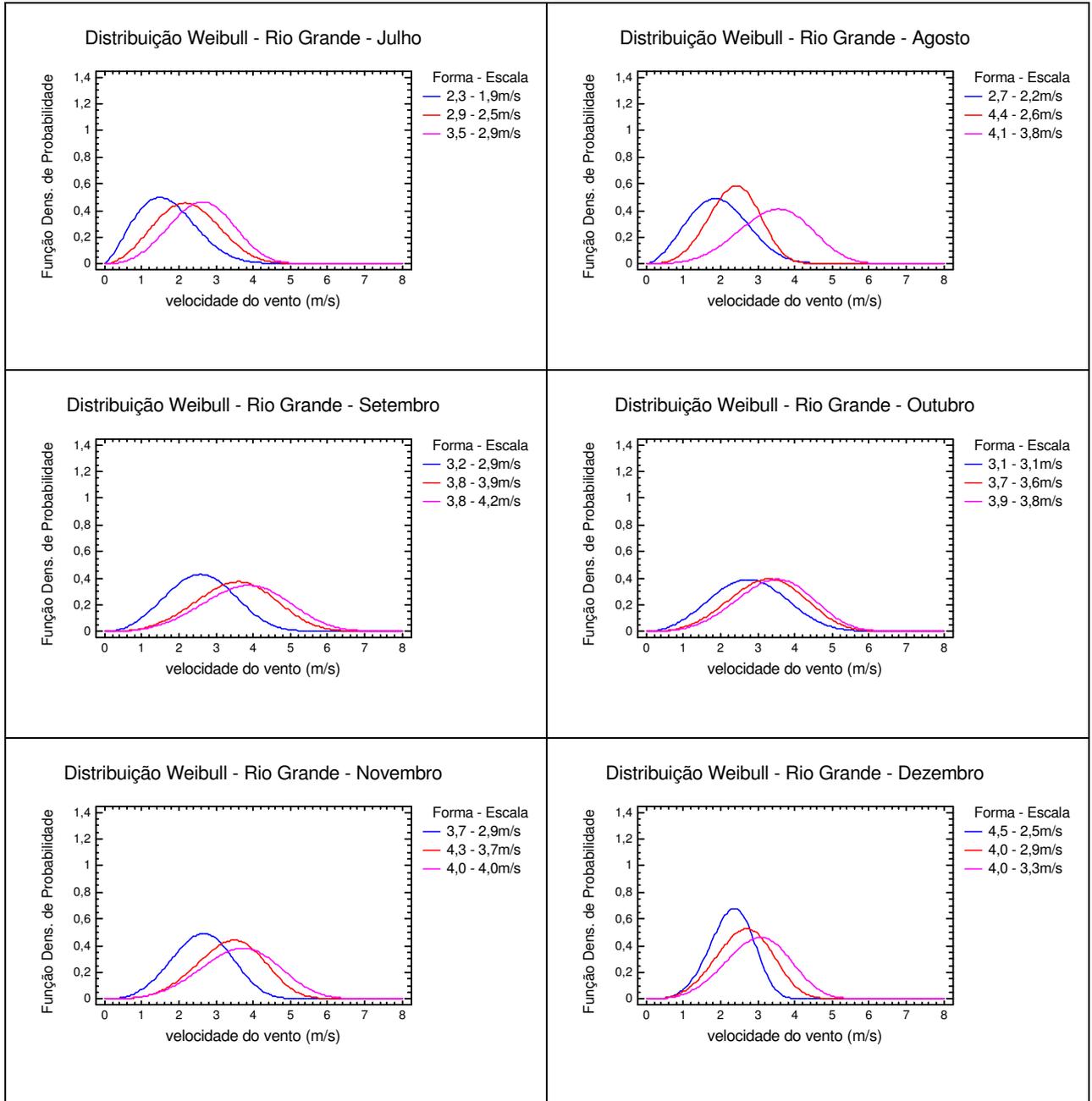


Figura C-18 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Rio Grande, no período de 2000 a 2007.

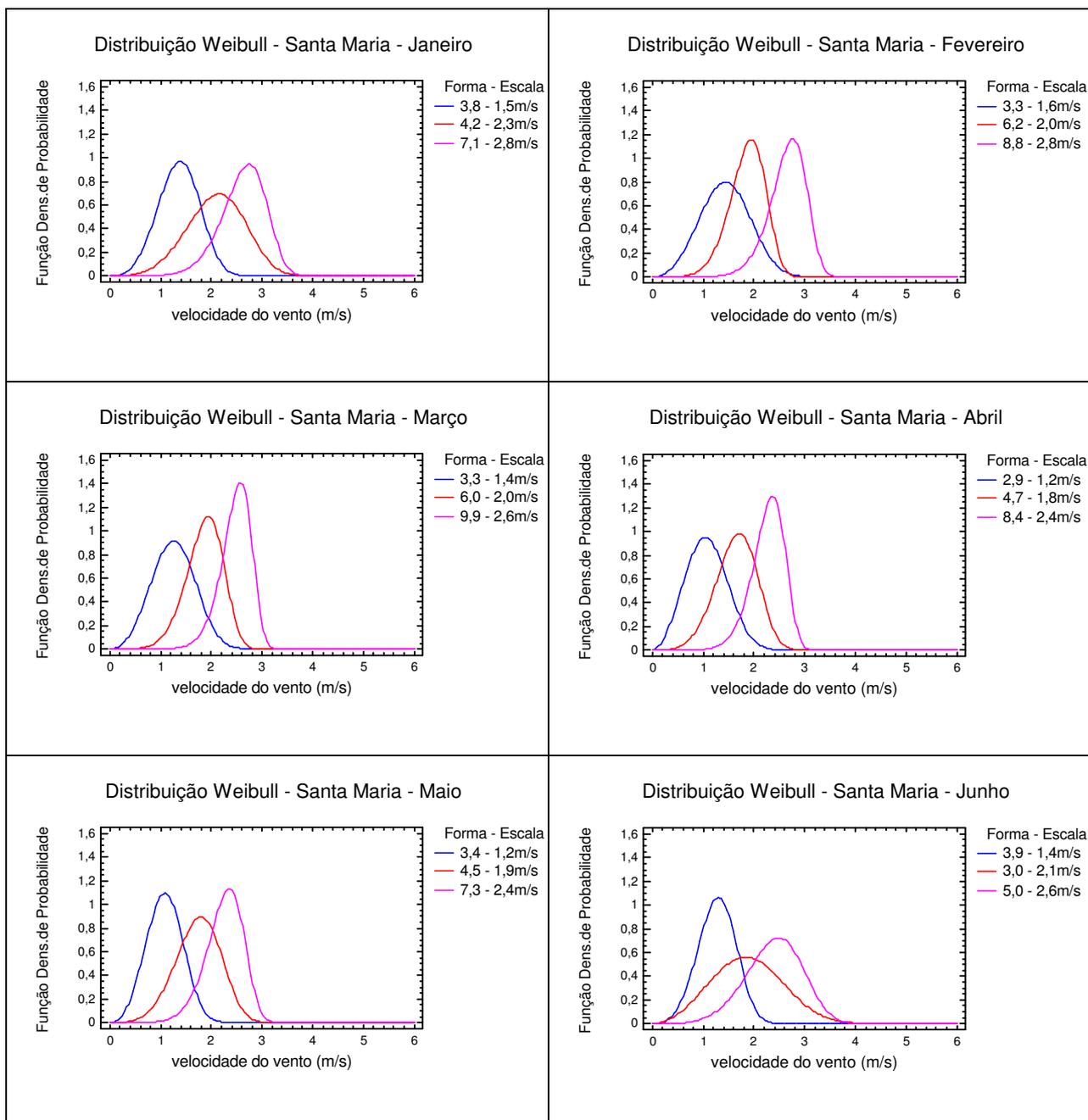


Figura C-19 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Santa Maria, no período de 2000 a 2007.

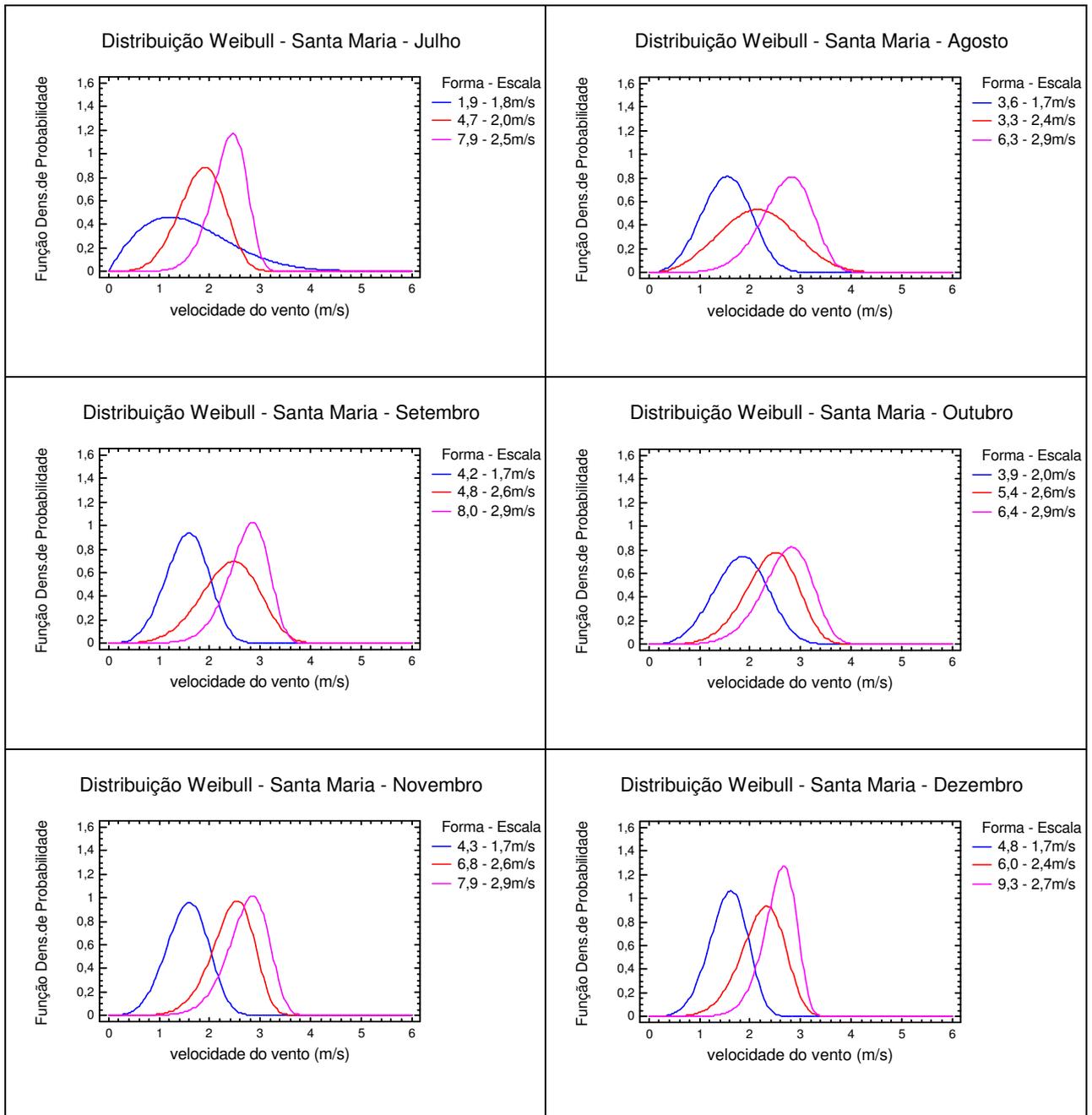


Figura C-20 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Santa Maria, no período de 2000 a 2007.

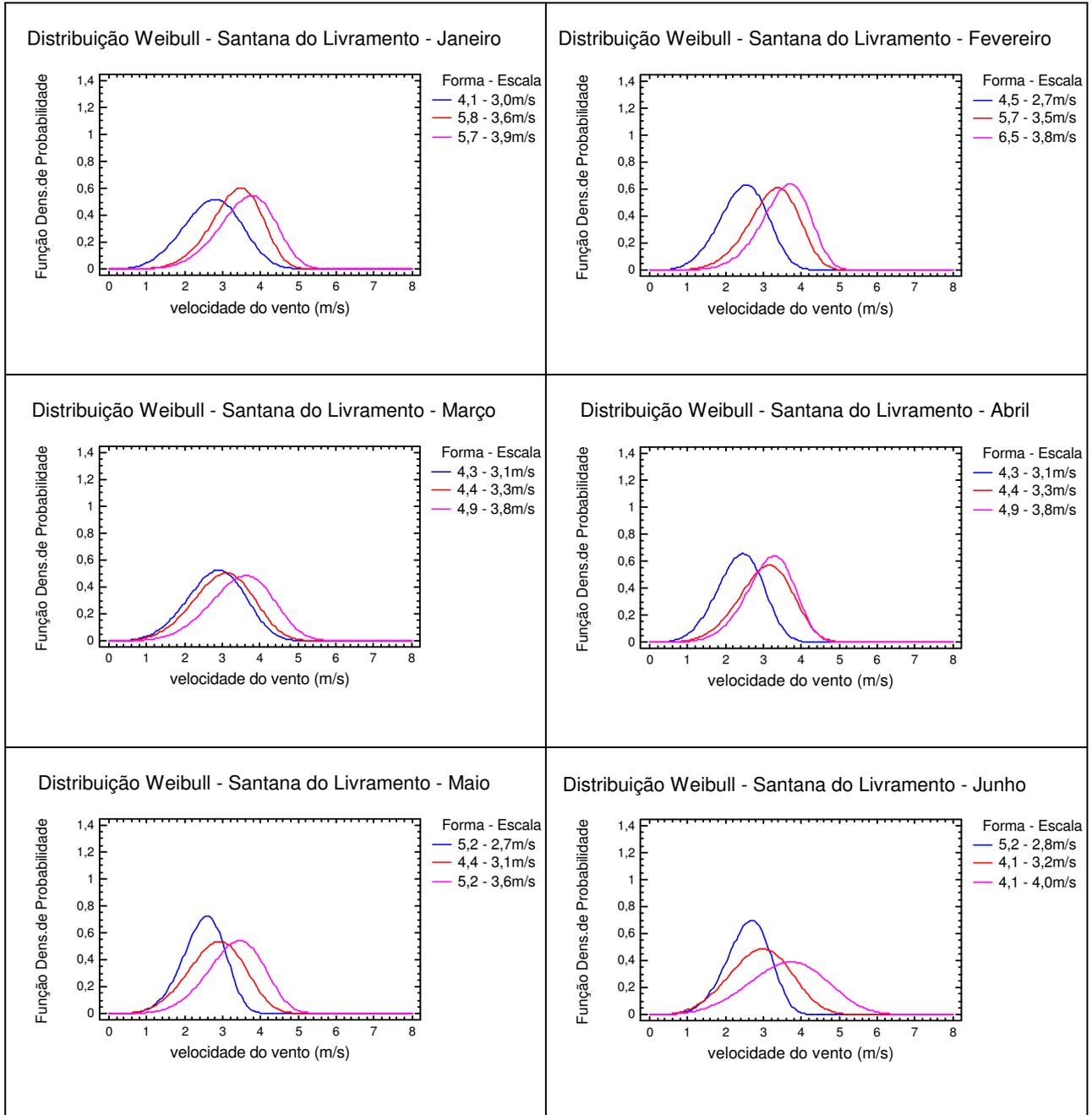


Figura C-21 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Santana do Livramento, no período de 2001 a 2006.

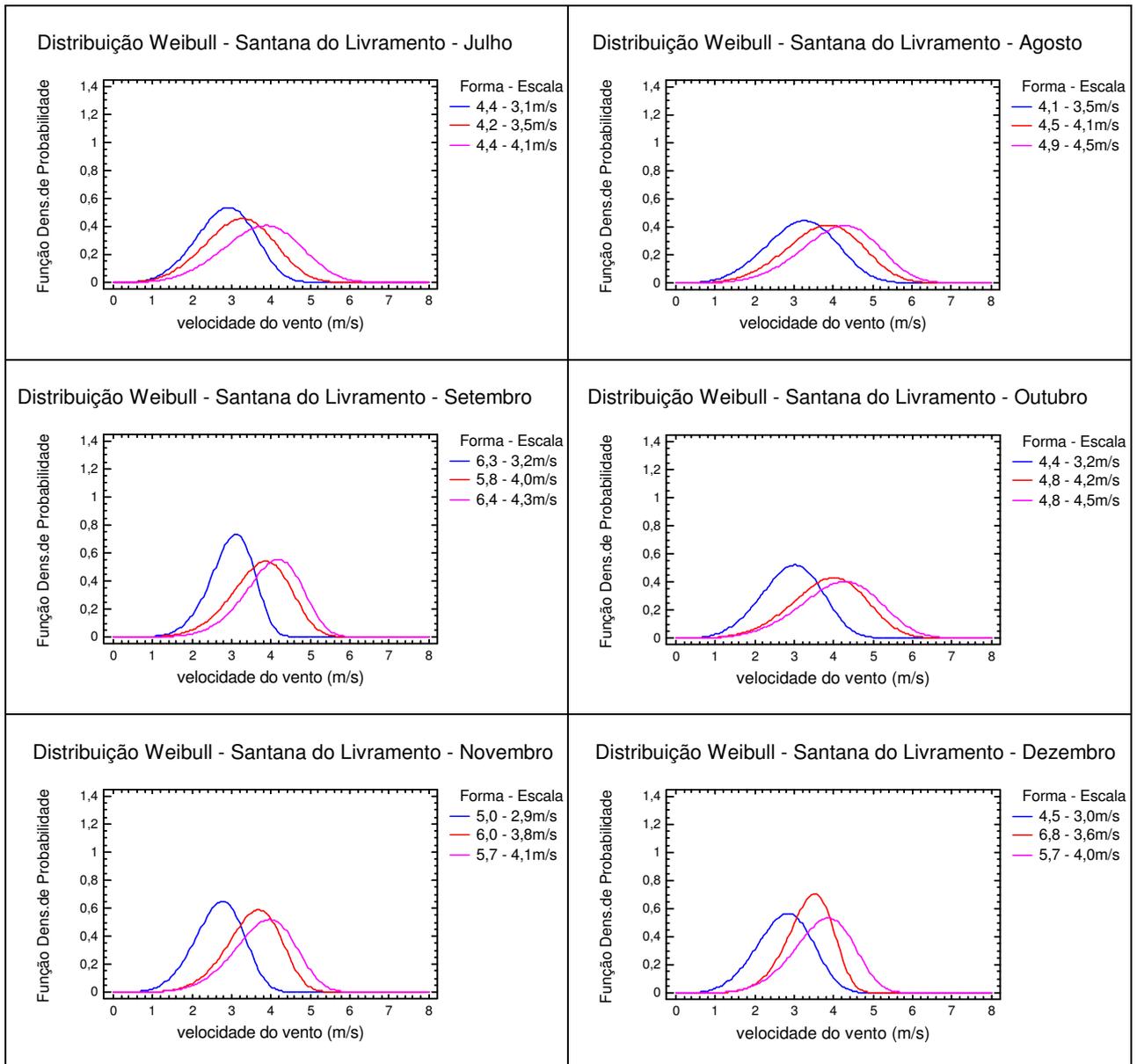


Figura C-22 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Santana do Livramento, no período de 2001 a 2006.

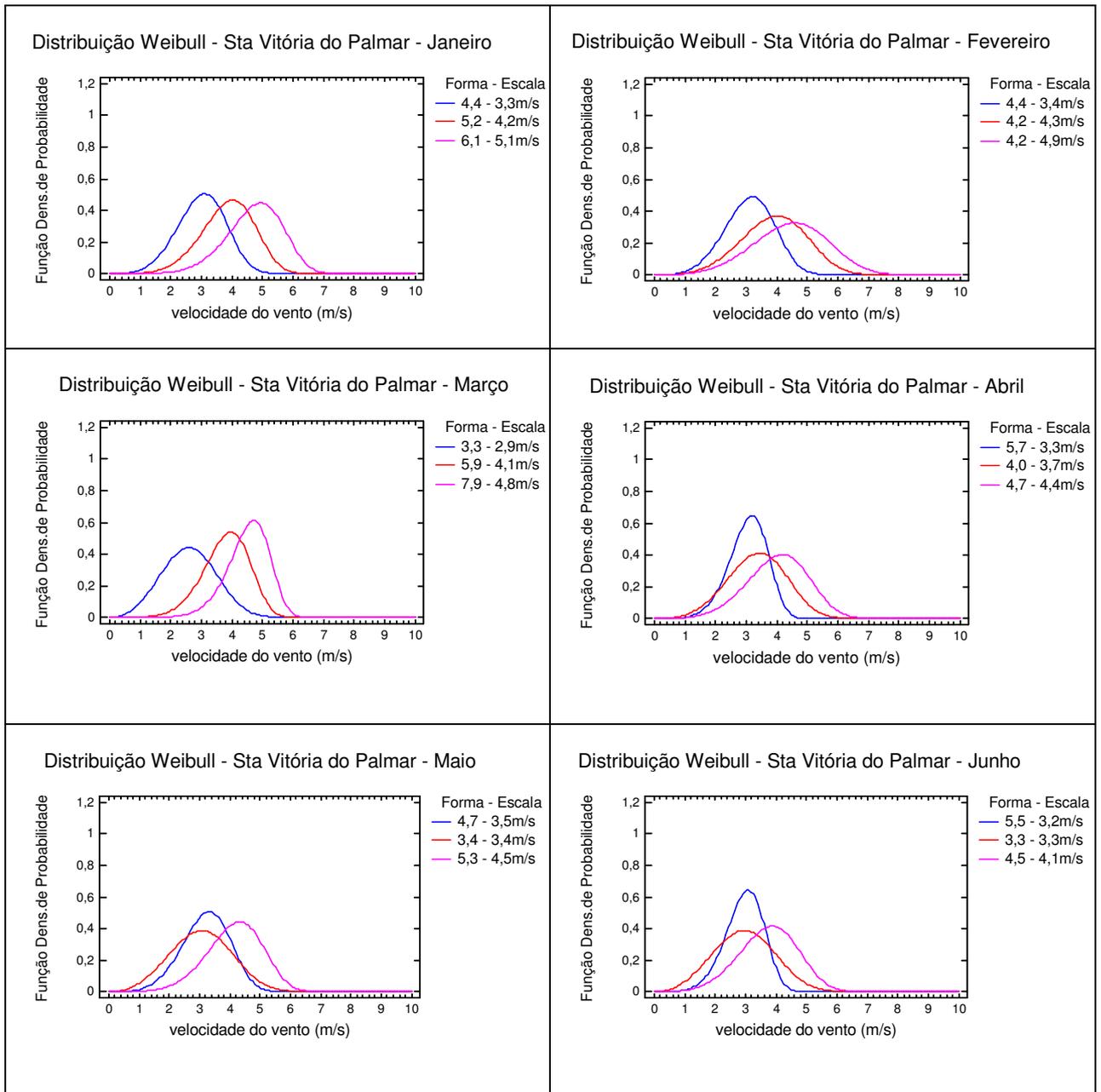


Figura C-23 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Santa Vitória do Palmar, no período de 2000 a 2007.

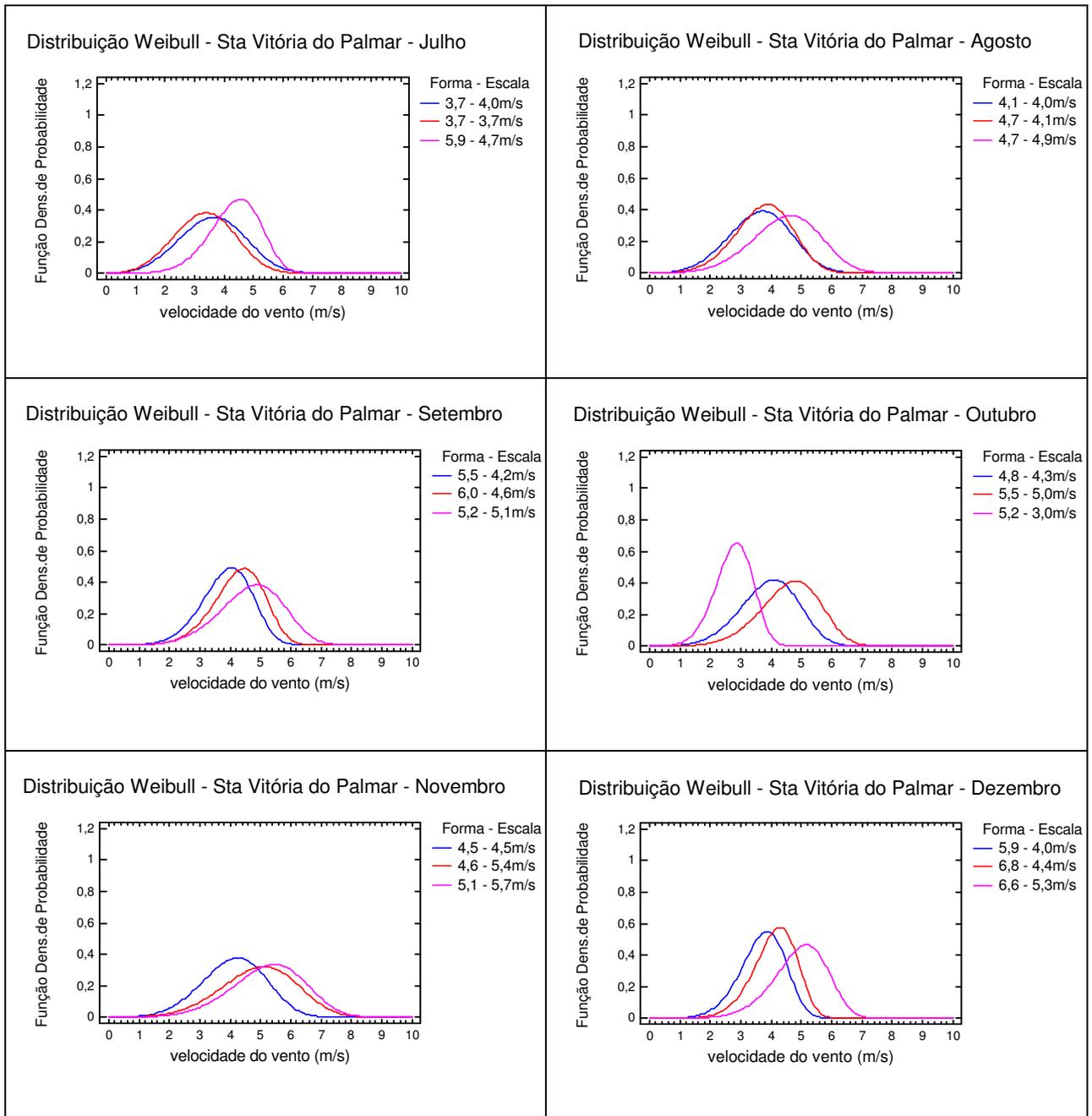


Figura C-24 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Santa Vitória do Palmar, no período de 2000 a 2007.

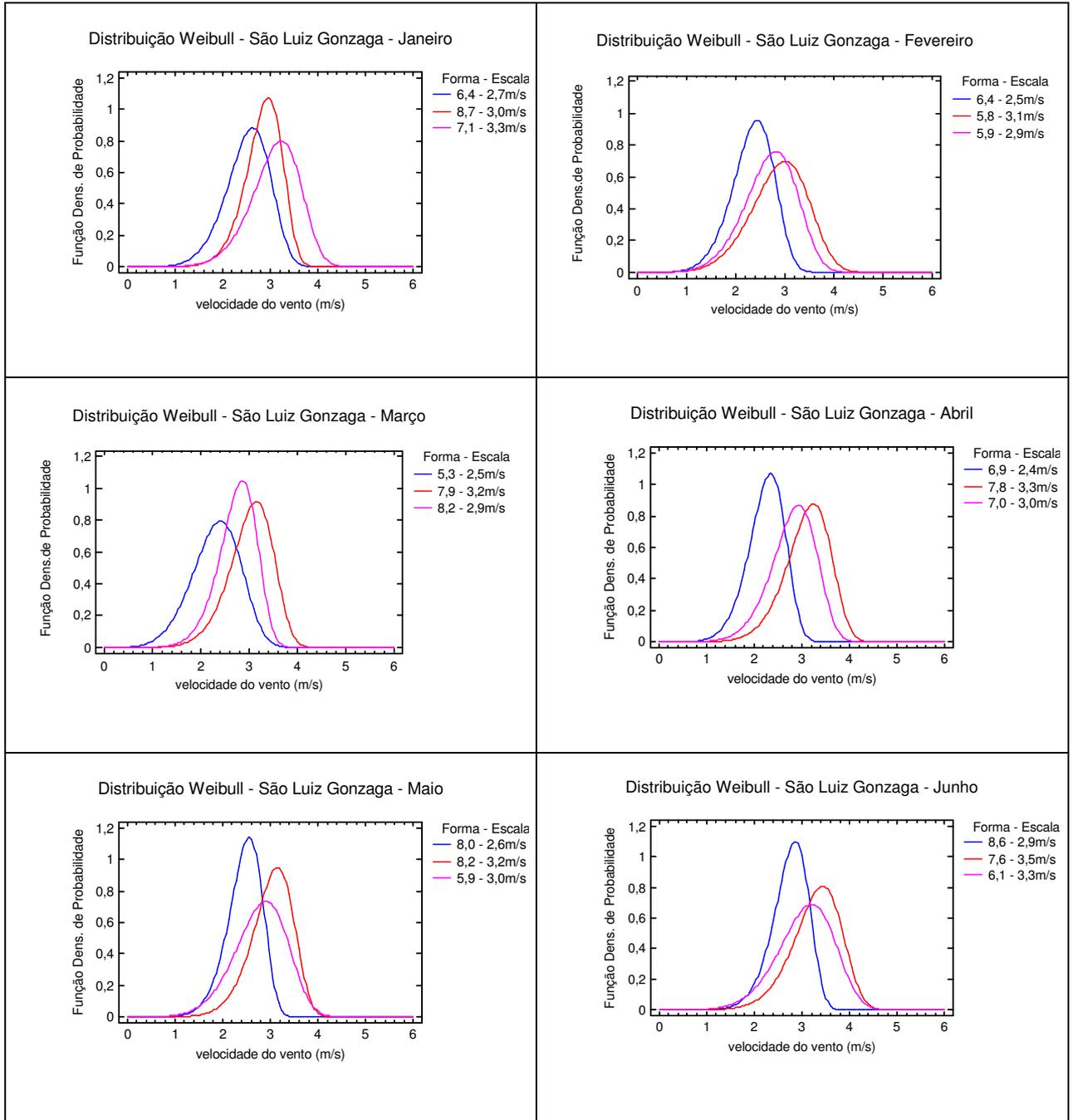


Figura C-25 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de São Luiz Gonzaga, no período de 2000 a 2007.

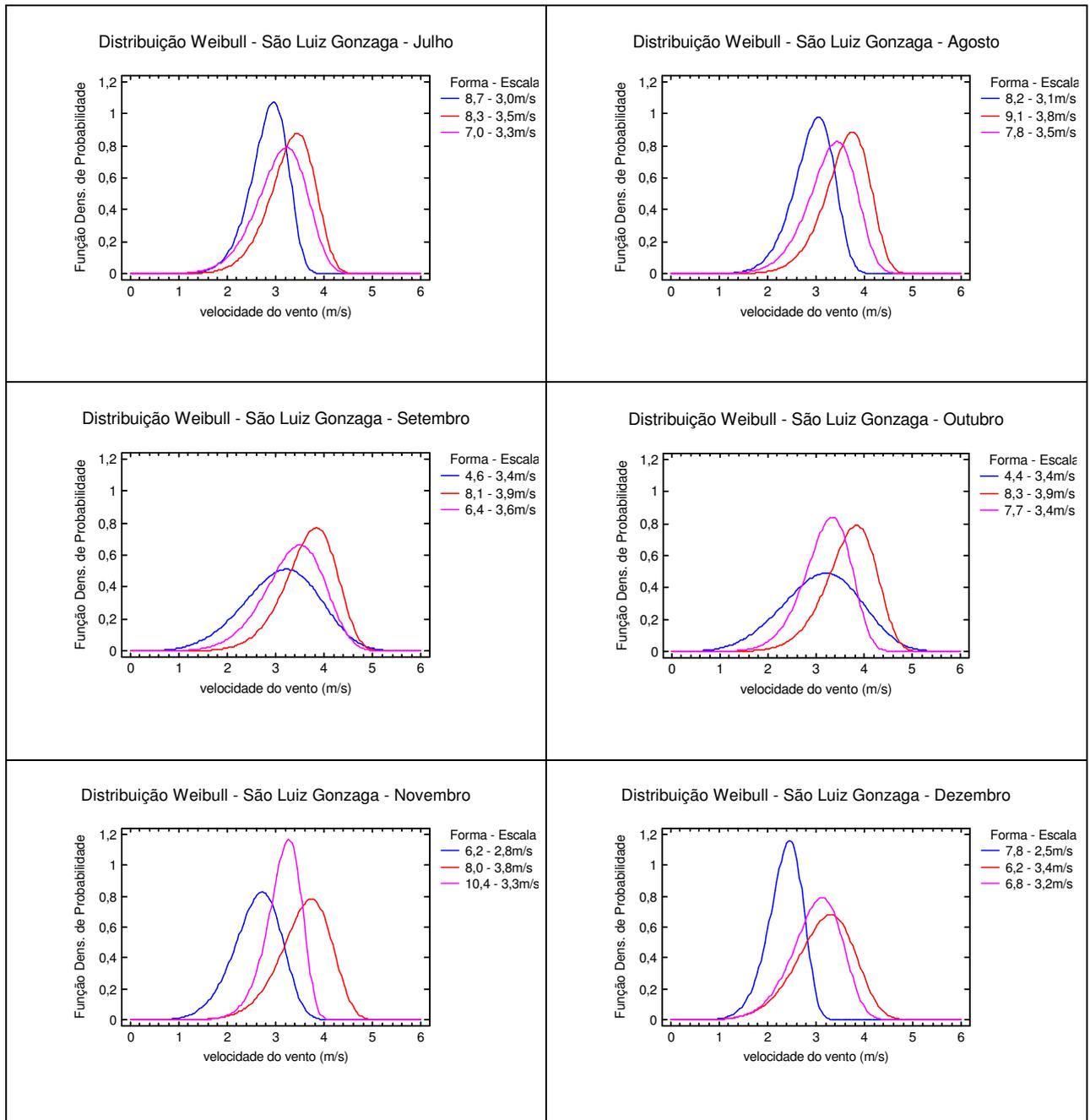


Figura C-26 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de São Luiz Gonzaga, no período de 2000 a 2007.

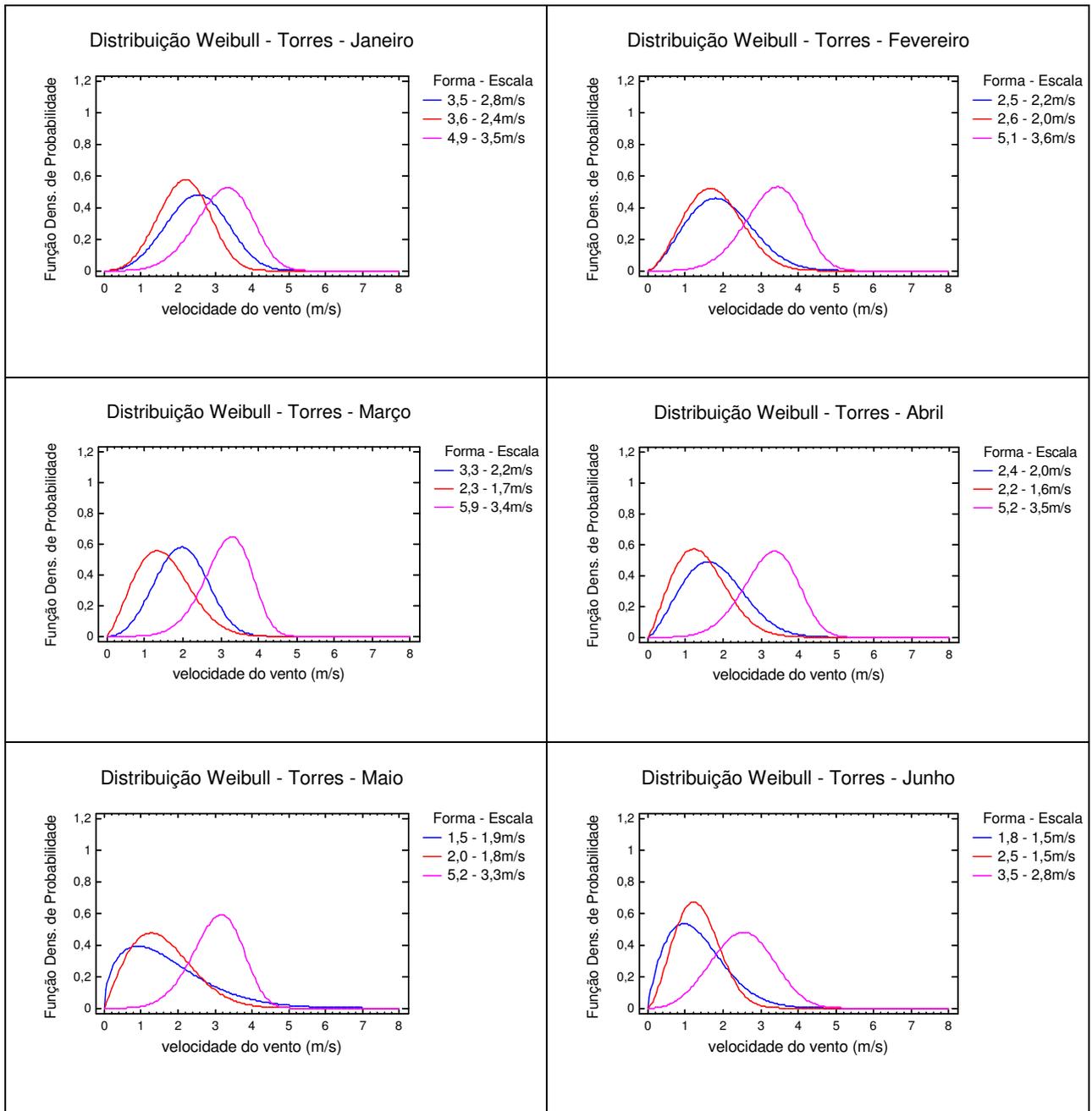


Figura C-27 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Torres, no período de 2000 a 2007.

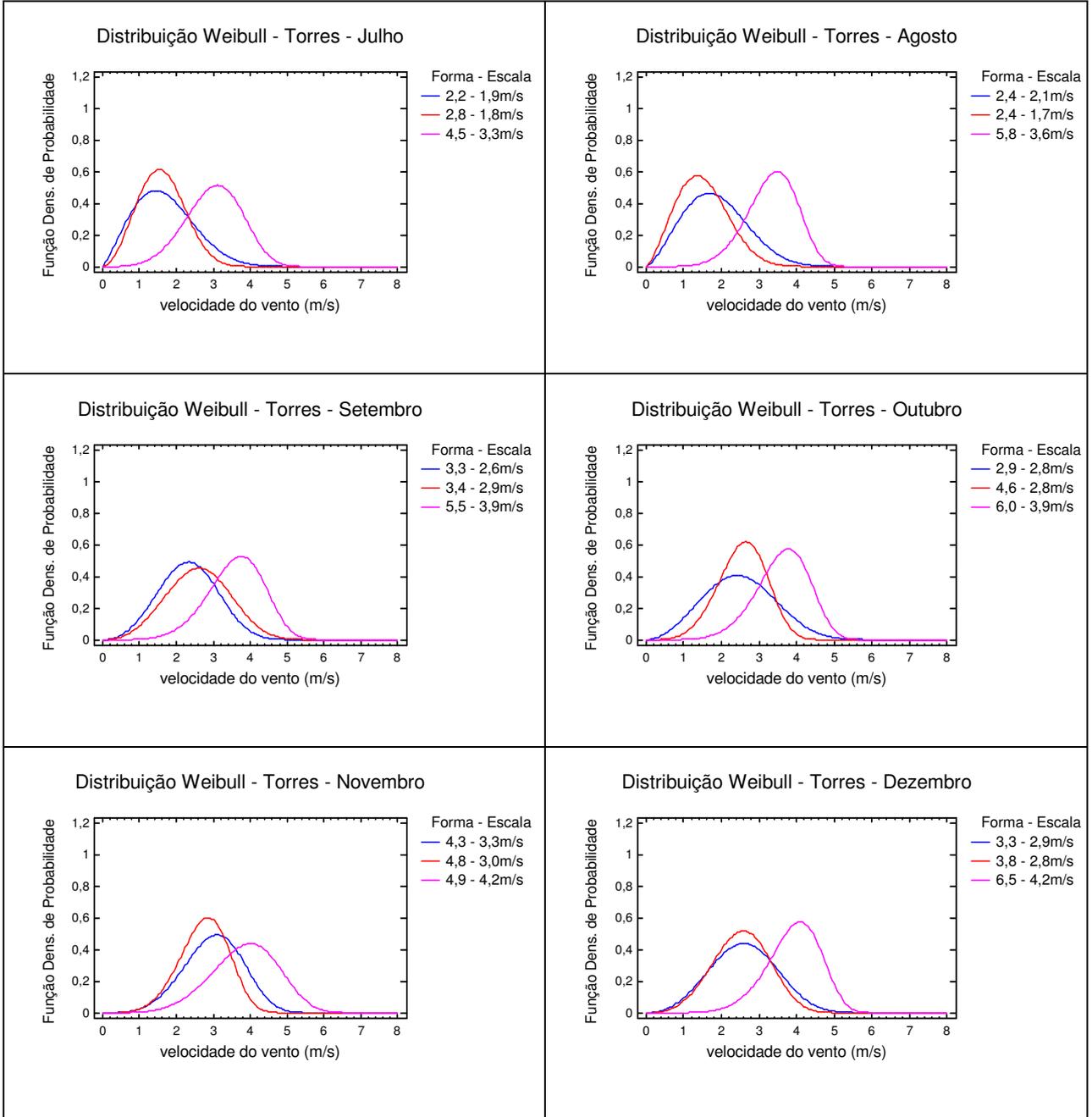


Figura C-28 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Torres, no período de 2000 a 2007.

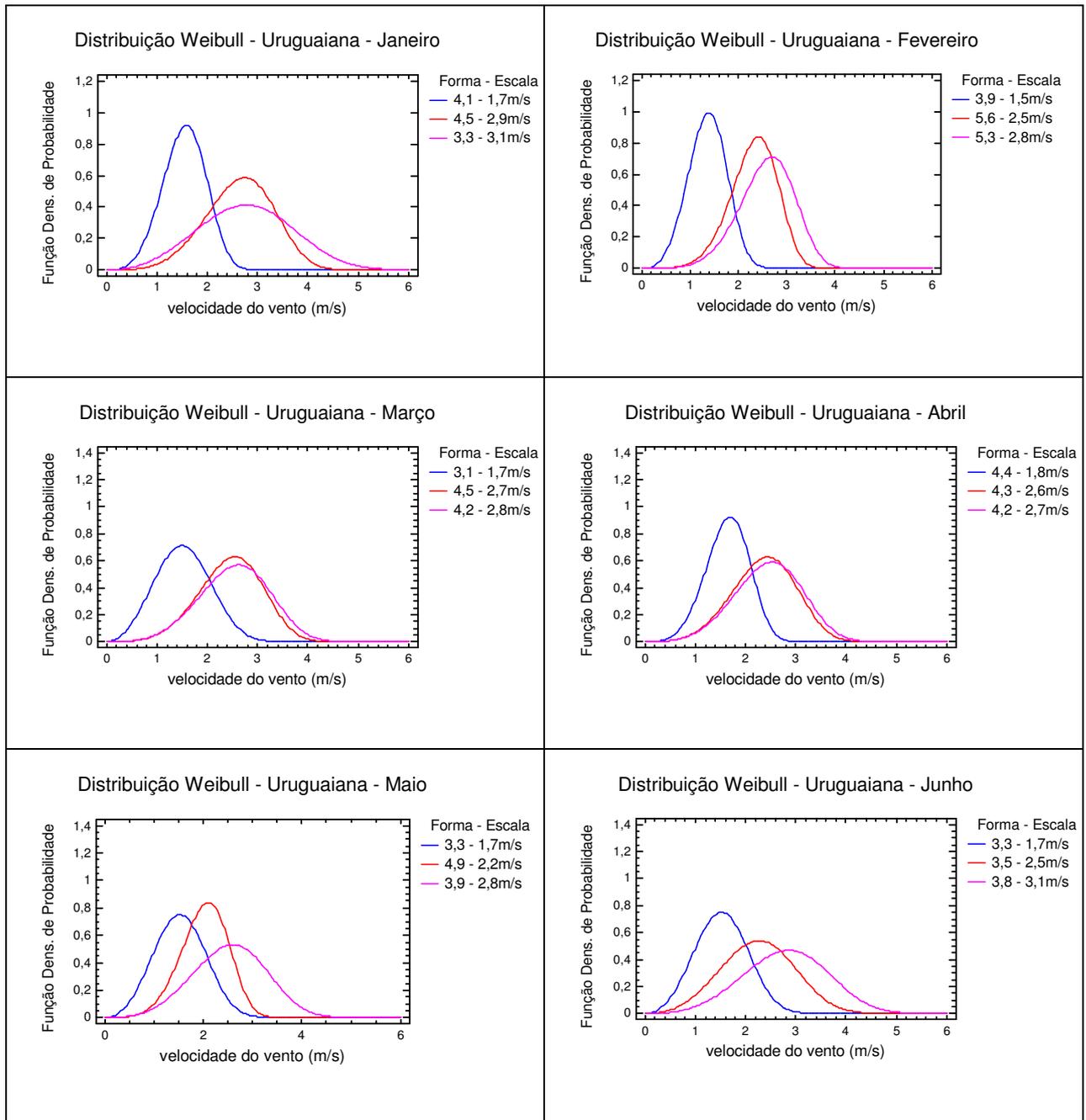


Figura C-29 – Distribuição Weibull para os meses de janeiro a junho para a localidade de Uruguaiana, no período de 2000 a 2007.

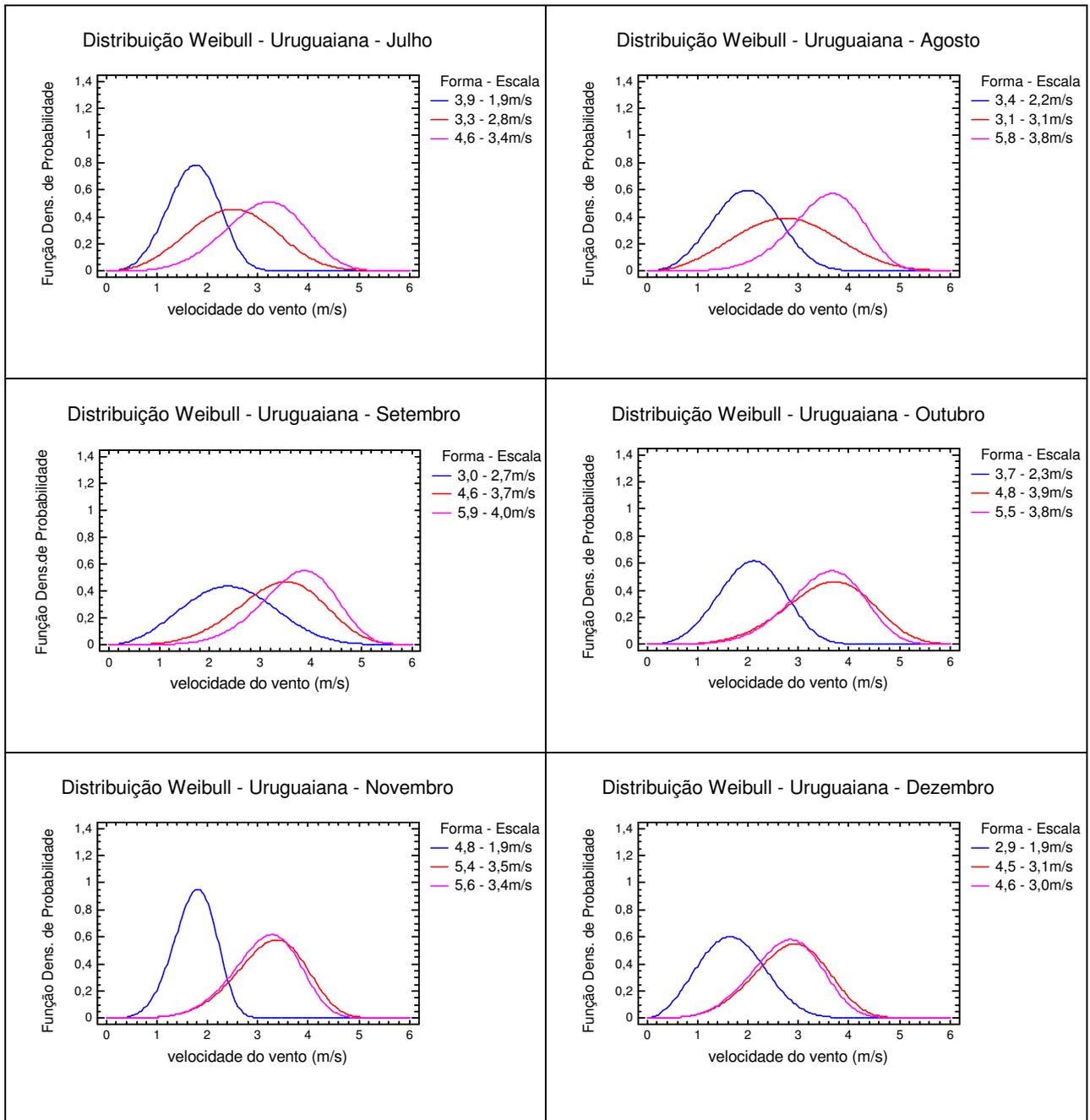


Figura C-30 – Distribuição Weibull para os meses de julho a dezembro para a localidade de Uruguiana, no período de 2000 a 2007.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)