

PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE DIFERENTES VELOCIDADES DOS VENTOS EM PELOTAS, RS¹

PROBABILITIES OF DIFFERENT WINDS VELOCITY IN PELOTAS, RS, BRAZIL

João Baptista da Silva² e Eliane Gonçalves Larroza³

RESUMO

O objetivo do trabalho foi o estabelecimento de tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal e da velocidade máxima pentadal dos ventos em Pelotas, RS. O método de construção das tabelas baseou-se na aproximação da variável à distribuição normal. Para a velocidade média pentadal foi usada a transformação raiz quarta, que homogeneizou as variâncias e permitiu um ajuste à normalidade. A velocidade máxima pentadal não exigiu uma transformação prévia. As probabilidades foram estimadas pela distribuição de t, para os níveis de probabilidade de 1% a 99%. As probabilidades da velocidade média pentadal foram testadas com um novo conjunto de dados, do período de 1982 a 1993 e os resultados dos testes indicaram uma adequada construção das tabelas. As probabilidades da velocidade máxima pentadal não puderam ser testadas, em virtude da indisponibilidade de dados. Acredita-se, entretanto, que estas tabelas também foram construídas de forma correta. Os dados utilizados referem-se aos registros diários da velocidade média e da velocidade máxima, coletados pela Estação Agroclimatológica de Pelotas, para o período de 1952-1981 (velocidade média) e para apenas 20 anos disponíveis, do período 1957-1993 (velocidade máxima). As tabelas construídas são importantes subsídios para o planejamento das atividades agropecuárias da região, visando obter-se o máximo proveito dos benefícios dos ventos e procurando evitar-se os seus efeitos danosos.

Palavras-chave: vento, velocidade média do vento, velocidade máxima do vento.

SUMMARY

This paper presents the tables of probabilities of the average and maximum speed by pentad in Pelotas,

RS. The constructions of the tables was based on the normal approximation. The normal approximation for the average speed by pentad was obtained by the quarter root transformation. The maximum speed by pentad was not prior transformation. The probabilities were estimated by the Student t distribution for the probability levels of 1% to 99%. The probabilities of the average speed by pentad were tested with the use of a new set data, from the period 1982-1993 and the results indicated the appropriateness of the procedure of construction of the tables. The probabilities of the maximum speed by pentad were not tested because of the inalienableness of data. Believe, however, that tables were constructed of correct form. The tables were computed from the daily records of the average and maximum speed collected at the Agroclimatological Station of Pelotas. The data used correspond to period 1952-1981 (30 years) for the average speed, and 1957-1993 (20 years) for the maximum speed. The built tables are important aids for the agricultural planning of region, taking the maximum advantages of the wind's benefits and seeking to avoid its damaging effects.

Key words: wind, average wind speed, maximum wind speed.

INTRODUÇÃO

O comportamento dos elementos climáticos, precipitação, temperatura, vento, entre outros, tem sido, há muito tempo objeto de estudo pelo homem. A importância destes elementos, como fatores de sobrevivência humana, tem despertado nos cientistas do mundo inteiro um grande interesse na interpretação, simulação e previsão dos mesmos. Os ventos destacam-se pelo seu papel fundamental de assegurar o desenvolvimento das plantas na Terra e, portanto, garantir a continuação da vida. Segundo MOTA (1986), o vento afeta o crescimento das plantas pela transpiração,

¹Trabalho realizado com recursos do CNPq e FAPERGS.

²Engº Agrônomo, Livre-Docente, Doutor em Ciências, Bolsista do CNPq, Professor Titular (Aposentado) do Instituto de Física e Matemática (UFPel).

absorção de CO₂ e efeito mecânico sobre as folhas e os ramos. Em condições naturais, o efeito do vento sobre a transpiração variará de acordo com a rugosidade, que é determinada pela superfície exposta. Geralmente, o efeito é maior em plantas altas e isoladas. Em áreas expostas, tanto a altura das plantas como a produção de matéria seca das plantas isoladas foram grandemente reduzidas. A fotossíntese aumenta com o suprimento de CO₂, que por sua vez é favorecido pela turbulência. Altas velocidades são prejudiciais ao crescimento das plantas. As folhas mecanicamente danificadas pelo vento tem reduzida a sua capacidade de translocação e fotossíntese.

Os ventos intensos são bastantes temidos, visto serem causadores de muitas catástrofes no mundo inteiro. Mesmo aqueles ventos de intensidades medianas (3 a 5m/s) ocasionam diversos prejuízos, notadamente na agropecuária: acamamento das plantas, erosão dos solos, mortandade de animais (GRACE, 1977). Além disso, os efeitos da intensidade do vento, quando combinados com de outras variáveis meteorológicas como, por exemplo, baixas temperaturas, chuvas fortes e alta umidade relativa, compõem um quadro extremamente danoso em algumas situações. Portanto, as tabelas de probabilidades desses elementos meteorológicos, reunidas, poderão permitir uma informação probabilística muito valiosa para a programação de diversas atividades.

Tabelas de probabilidades de elementos meteorológicos tem sido publicadas. Em 1952, o Eng^o Agr^o Fernando Silveira da Mota, da Secção de Climatologia, do então Instituto Agrônomo do Sul (atual CPACT/EMBRAPA), publicou uma tabela com as datas de chuvas mais freqüentes ocorridas em Pelotas de 1900 a 1949, incluindo que as mesmas distribuíam-se pelo ano inteiro, ocasionando um adequado suprimento de chuvas. BARGER et al. (1959), estimaram probabilidades semanais de chuvas para a região norte central dos Estados Unidos. COLIGADO et al. (1969), publicaram tabelas de vários elementos climáticos semanais, como subsídio ao planejamento agrícola e à irrigação em Wistaria, na British Columbia. STUFF (1969), publicou uma tabela de chuvas para a zona da Estação Experimental de Pergamino, na Argentina. Todos estes trabalhos utilizaram a distribuição gama na estimativa das probabilidades.

AMARAL & BAPTISTA DA SILVA (1970) e BAPTISTA DA SILVA & AMARAL (1984), apresentaram tabelas de probabilidades das precipitações pluviométricas, totais e máximas, para cada uma das 73 pênadas⁴ do ano. BAPTISTA DA SILVA & AMARAL (1987), apresentaram a fundamentação teórica do processo de construção de tabelas de probabilidades das precipitações pluviométricas pentadais. AMARAL et al.

(1975; 1976), estimaram probabilidades das temperaturas mínimas, média das mínimas e mínima absoluta, para dados pentadais, em Pelotas. A fundamentação teórica destes trabalhos baseou-se na busca da transformação de dados, que homogeneizasse as variâncias e normalizasse a distribuição, visto ser sabido que variáveis meteorológicas em períodos curtos (dias, semanas e pênadas) não possuem estas propriedades. As probabilidades foram estimadas, a partir dos valores transformados, pela distribuição de t de Student, para os graus de liberdade convenientes. BAPTISTA DA SILVA et al. (1997), determinaram as probabilidades de ocorrência das rajadas máximas mensais do vento em Pelotas, pelo ajuste dos dados à distribuição normal. Observou-se, pelo trabalho, que ventos fortes ocorrem nos meses de agosto a dezembro, localizando-se em outubro as rajadas mais extremas.

No atendimento de projeto de pesquisa, que pretende estimar as probabilidades pentadais de ocorrência dos principais elementos meteorológicos em Pelotas, foi conduzido este trabalho com o objetivo de estabelecer tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal e da velocidade máxima pentadal do vento em Pelotas, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de vento foram extraídos dos registros diários da Estação Agroclimatológica de Pelotas, situada no Campus da Universidade Federal de Pelotas, a 15 quilômetros do centro da cidade (latitude: 31°52'S, longitude: 52°21'W, altitude: 13,2m).

A velocidade média foi obtida de um anemômetro de contato marca Gasella, instalado a 7 metros acima do nível do solo. As observações referem-se aos registros de 42 anos (1952 a 1993), sendo que os primeiros 30 anos foram usados para a construção das tabelas e os restantes doze anos para fazer os testes das mesmas. A velocidade máxima do vento foi registrada por um anemógrafo marca R. Fuess instalado, também, a 7 metros acima do nível do solo. A velocidade máxima foi obtida dos registros de apenas 20 anos dentre aqueles que compunham o período completo de 42 anos, em virtude da indisponibilidade contínua das observações. Os dados usados neste estudo referem-se aos anos de 1957, 1961, 1962, 1966, 1970, 1971, 1973, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1985, 1986, 1987, 1988, 1991, 1992 e 1993.

A fundamentação teórica do trabalho baseou-se na aproximação dos dados à distribuição normal. Testes de homogeneidade de variâncias (teste de Cochran) e de normalidade (teste de Fisher) foram aplicados aos

⁴Pênada é uma sucessão de cinco dias consecutivos. A primeira pênada vai de 1 a 5 de janeiro, a segunda de 6 a 10 de janeiro etc. A última pênada de fevereiro representa os cinco dias de 25 de fevereiro a 1º de março nos anos comuns e cinco dias médios do mesmo período dos anos bissextos (5/6 do total dos seis dias).

dados observados na verificação destas propriedades. O teste de Cochran compara a pênstada de variância mais discrepante com a soma das variâncias das pênstadas, testando a significância desta estatística para os níveis de significância de 5% e 1% (DIXON & MASSEY Jr., 1969). O teste de normalidade de Fisher, aplicado para cada pênstada, baseia-se nas estatísticas g_1 e g_2 , medidas de assimetria e curtose, respectivamente. A significância dos desvios de normalidade foram testados pelo teste Z bilateral, ao nível de probabilidade de 5% (FISHER, 1941). Quando necessário, recorreu-se à transformação dos dados, visando à aquisição da homocedasticidade e da normalidade da distribuição.

A determinação da transformação adequada dos dados seguiu o método baseado na homogeneidade das variâncias e, concomitantemente, na normalização da distribuição. Admite-se uma relação funcional entre o desvio padrão (s) e a (\bar{x}) média dos dados, da forma, $S = B\bar{x}^a$, que, após linearizada, permite obter-se as estimativas dos parâmetros a e B . Desta relação, chega-se a uma transformação do tipo $Z = Bx^{1-a}$ ou $Z = B \log(x)$, dependendo da estimativa de a (BAPTISTA DA SILVA, 1979).

Na construção das tabelas de probabilidades utilizou-se a distribuição de t para os níveis de probabilidade de 1% a 99%. Para cada pênstada, calculou-se a média \bar{Z} e o desvio padrão S_z , dos valores transformados, no caso em que foi necessário a transformação dos dados, caso contrário, \bar{Z} e S_z , representaram a média e o desvio padrão dos dados originais. Os valores de Z_p , correspondentes aos diversos níveis de probabilidade foram calculados pela fórmula:

$$Z_p = \bar{Z} + t_{p,n-1} S_z \quad (1)$$

onde $t_{p,n-1}$ é obtido da tabela da distribuição de t unilateral para $p = 1$ até 99% e $n-1$ graus de liberdade ($n =$ número de anos com registros de vento na pênstada).

Para voltar-se aos dados originais utilizou-se a transformação inversa:

$$X_p = \exp \left[\frac{\ln(Z_p / B)}{1 - a} \right] \quad (2)$$

As tabelas obtidas foram testadas, quando possível, com as observações reservadas para tal, visto não terem participado da construção das mesmas.

Os testes realizados, para verificar a adequação das tabelas contruídas, foram: intervalos quartílicos, análise dos contrastes e valor esperado e intervalo de confiança da maior velocidade do vento.

Para o teste dos **intervalos quartílicos**, as velocidades do vento correspondentes às probabilidades de 25%, 50% e 75%, representam em qualquer pênstada, o 1º, 2º e o 3º quartil, respectivamente. Em

25% dos 12 anos (1982-1993), isto é, em três anos, as velocidades médias pentadais observadas devem estar em cada um dos quatro intervalos determinados por aqueles valores. O acordo entre os valores observados e esperados, em cada pênstada, foi analisado pelo teste de Qui-quadrado, com três graus de liberdade, no nível $\alpha = 0,05$ de probabilidade.

Para a **análise dos contrastes**, os três graus de liberdade, entre as quatro classes determinadas pelos três quartis, podem decompor-se de diversas maneiras. Consideremos os seguintes contrastes, originados de uma dada decomposição:

$$C_1 = (n_4 + n_3) - (n_2 + n_1)$$

$$C_2 = (n_4 + n_1) - (n_2 + n_3)$$

$$C_3 = (n_4 + n_2) - (n_3 + n_1)$$

onde: n_i é número de anos em que se observou a velocidade do vento dentro do intervalo quartílico i , sendo $i = 1, 2, 3$ ou 4 .

Escolheu-se esta decomposição dos três graus de liberdade por ser de fácil interpretação.

Como se pode observar na Figura 1, o contraste C_1 cresce com a mediana, C_2 cresce com a dispersão e C_3 cresce com a assimetria.

No gráfico superior à esquerda, o contraste C_1 é igual a zero na distribuição original e é positivo na distribuição que resulta do deslocamento da mediana para a direita. O novo C_1 é o contraste entre as áreas com hachuras ascendentes para a direita e as áreas com hachuras ascendentes para a esquerda. No gráfico inferior à esquerda, o contraste C_2 , originalmente nulo, tornou-se positivo com o aumento da dispersão. O novo C_2 é o contraste entre as áreas hachuradas nas duas direções perpendiculares entre si. No gráfico à direita, a assimetria positiva da nova distribuição fez passar C_3 de zero a um valor positivo. O novo C_3 é o contraste entre as áreas hachuradas nas duas direções.

O teste de Qui-quadrado, com um grau de liberdade, no qual se fez a correção de continuidade reco-

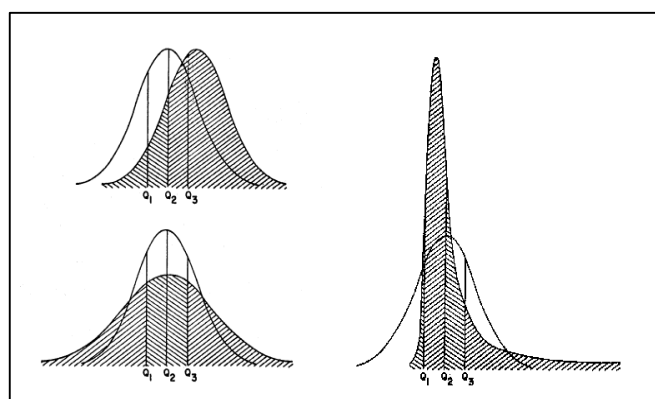


Figura 1. Interpretação dos contrastes C_1 , C_2 e C_3 .

mendada por Yates (FISHER, 1941), foi aplicado para verificar o acordo entre os valores observados e os esperados, para $\alpha = 0,05$.

Para analisar o **valor esperado e o intervalo de confiança (95%)** da maior velocidade dos ventos, determinou-se o valor esperado da maior das velocidades pentadais e o correspondente intervalo de confiança no qual, em 95% dos casos, deveria encontrar-se este valor esperado.

Sendo k_i , o número de anos com ventos na pântada i ($i = 1, 2, 3, \dots, 73$), no conjunto dos 12 anos de observação (1982-1993), na Estação Agroclimatológica de Pelotas, comparou-se a maior das velocidades do vento, em cada pântada, dentre as ocorridas no conjunto do anos com vento, com àquelas correspondentes às probabilidades, $(k_i + 0,5)/(k_i + 1)$, $i=1, 2, 3, \dots, 73$.

Conforme se sabe, mesmo quando os dados originais são independentes, sua ordenação crescente ou decrescente, rompe a independência (KENDALL & STUART, 1958). Nesse caso, qualquer que seja a distribuição original, o valor esperado da probabilidade de obter-se um valor da variável igual ou menor que o correspondente ao dado de ordem r , supondo os dados ordenados no sentido crescente, é $r/(m + 1)$, onde m é o número de observações. Entretanto, no trabalho em apreço utilizou-se a fórmula, com a correção de continuidade, justificada em BAPTISTA DA SILVA & AMARAL (1987).

Assim, se p_{k_i} é a probabilidade correspondente à maior das velocidades do vento na pântada i , em k_i anos com ventos (sem calmaria), no total dos 12 anos de observações, tem-se

$$E[p_{k_i}] = \frac{k_i + 0,5}{k_i + 1}, \quad i = 1, 2, 3 \dots 73, \quad (3)$$

a que corresponde um valor de t unilateral (BAPTISTA DA SILVA, 1979).

O valor correspondente $Z = \bar{Z} + t.S_z$, permite calcular o valor esperado da maior das velocidades do vento numa sucessão de k_i anos, para cada pântada i .

Determinou-se, a seguir, o intervalo de confiança no qual, em 95% dos casos, deveria encontrar-se o valor esperado da maior das velocidades do vento.

A probabilidade do extremo inferior do intervalo de confiança correspondente à 95% é $p_{k_i}(x_i)$, dada pela equação:

$$[p_{k_i}(x_i)]^{k_i} = 0,025 \quad (4)$$

analogamente, a probabilidade do extremo superior do intervalo de confiança é $p_{k_i}(x_s)$ dado por:

$$[p_{k_i}(x_s)]^{k_i} = 0,975, \quad (5)$$

tendo em vista que todos os k_i valores devem ser menores que x_s .

A partir das equações acima, calculou-se os valores de $p_{k_i}(x_i)$ e $p_{k_i}(x_s)$, respectivamente. Após determinar os valores de t unilaterais correspondentes àquelas probabilidades, obteve-se os valores esperados do extremo inferior e do extremo superior do intervalo de confiança (95%), por meio da mesma expressão utilizada para determinar a esperança matemática da maior das velocidades do vento, para a pântada em apreço.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de Cochran resultou em $C = 0,1355$, significativo a 1%, para os dados observados da velocidade média pentadal, indicando uma heterogeneidade das variâncias. Após fazer, $Z = 10 x^{0,25}$, os valores submetidos ao mesmo teste, ocasionaram um valor de $C = 0,0280$, não significativo a 5%⁵.

Os desvios da normalidade de g_1 e g_2 , pelo teste de Fisher, foram significativos em 29% da pântadas, nos dados originais e, em 22% delas, nos dados transformados.

Portanto, para esta variável, adotou-se a transformação raiz quarta que além de homogeneizar as variâncias, melhorou a normalidade da distribuição.

Para a velocidade máxima pentadal o teste de Cochran ($C = 0,03$), mostrou-se não significativo a 5%⁵ e o teste de Fisher, onde apenas 16% das 73 pântadas desviaram-se da normalidade, permitiram que os dados fossem estudados diretamente, sem necessidade de uma transformação prévia.

Os valores da velocidade média pentadal, que aparecem na Tabela 1, correspondentes aos níveis de probabilidade de 1% a 99%, foram calculados desde a função inversa dos valores estimados de Z_p , obtidos a partir da transformação dos dados. Para a velocidade máxima pentadal os valores que aparecem na Tabela 2, correspondentes aos mesmos níveis de probabilidade, foram estimados a partir dos dados observados.

As tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento foram testadas com as observações da Estação Agroclimatológica de Pelotas, referentes ao período de 1982 à 1993 (12 anos). Infelizmente,

⁵Valores interpolados do teste de Cochran, $C_{0,05; 73; 29} = 0,0316$, $C_{0,01; 73; 29} = 0,0345$, $C_{0,05; 73; 19} = 0,0370$ (Tabela A-17 de DIXON e MASSEY Jr., 1969).

Tabela 1. Velocidade média dos ventos (m/s) para diferentes pênadas de janeiro, e para diferentes probabilidades de ocorrência (α), tal que $P(\text{Veloc.} \leq \text{m/s}) = \alpha$, em Pelotas, RS.

α	Pênadas de janeiro				
	1 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25
0,990	6,41	6,54	7,86	7,23	6,06
0,975	5,75	5,84	6,92	6,48	5,53
0,950	5,24	5,30	6,21	5,91	5,11
0,925	4,93	4,97	5,78	5,56	4,86
0,900	4,71	4,74	5,47	5,31	4,67
0,875	4,54	4,55	5,23	5,11	4,52
0,850	4,39	4,39	5,03	4,94	4,40
0,825	4,26	4,26	4,85	4,80	4,29
0,800	4,14	4,14	4,69	4,67	4,19
0,775	4,04	4,03	4,55	4,55	4,10
0,750	3,94	3,93	4,43	4,44	4,02
0,725	3,86	3,83	4,31	4,34	3,95
0,700	3,77	3,74	4,20	4,25	3,87
0,675	3,69	3,66	4,09	4,16	3,81
0,650	3,62	3,58	3,99	4,07	3,74
0,625	3,55	3,51	3,90	3,99	3,68
0,600	3,48	3,44	3,80	3,91	3,62
0,575	3,41	3,37	3,72	3,84	3,56
0,550	3,34	3,30	3,63	3,76	3,51
0,525	3,28	3,23	3,55	3,69	3,45
0,500	3,22	3,17	3,47	3,62	3,39
0,475	3,16	3,10	3,39	3,55	3,34
0,450	3,09	3,04	3,31	3,48	3,29
0,425	3,03	2,98	3,23	3,41	3,23
0,400	2,97	2,91	3,15	3,35	3,18
0,375	2,91	2,85	3,07	3,28	3,13
0,350	2,85	2,79	2,99	3,21	3,07
0,325	2,79	2,72	2,91	3,14	3,02
0,300	2,73	2,66	2,84	3,07	2,96
0,275	2,66	2,59	2,75	2,99	2,90
0,250	2,60	2,52	2,67	2,92	2,84
0,225	2,53	2,45	2,58	2,84	2,78
0,200	2,46	2,38	2,50	2,76	2,72
0,175	2,38	2,30	2,40	2,68	2,65
0,150	2,30	2,22	2,30	2,59	2,57
0,125	2,21	2,13	2,19	2,48	2,49
0,100	2,11	2,02	2,07	2,37	2,40
0,075	1,99	1,90	1,93	2,24	2,29
0,050	1,85	1,75	1,75	2,07	2,15
0,025	1,63	1,54	1,50	1,83	1,95
0,010	1,40	1,30	1,24	1,57	1,72

Tabela 2. Velocidade máxima dos ventos (m/s) para diferentes pênadas de janeiro, e para diferentes probabilidades de ocorrência (α), tal que $P(\text{Veloc. máx.} \leq \text{m/s}) = \alpha$, em Pelotas, RS.

α	Pênadas de janeiro				
	1 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25
0,990	18,24	20,39	20,66	19,73	18,45
0,975	17,29	19,08	19,40	18,47	17,33
0,950	16,51	18,00	18,36	17,43	16,41
0,925	16,02	17,32	17,70	16,77	15,82
0,900	15,65	16,81	17,21	16,28	15,38
0,875	15,34	16,38	16,80	15,87	15,02
0,850	15,08	16,02	16,45	15,52	14,70
0,825	14,85	15,69	16,13	15,20	14,42
0,800	14,63	15,40	15,85	14,92	14,17
0,775	14,44	15,12	15,59	14,66	13,94
0,750	14,26	14,87	15,34	14,41	13,72
0,725	14,09	14,64	15,12	14,19	13,52
0,700	13,92	14,40	14,89	13,96	13,32
0,675	13,76	14,18	14,68	13,75	13,13
0,650	13,60	13,96	14,47	13,54	12,94
0,625	13,45	13,75	14,27	13,34	12,76
0,600	13,31	13,55	14,07	13,14	12,59
0,575	13,16	13,35	13,88	12,95	12,42
0,550	13,02	13,14	13,68	12,75	12,25
0,525	12,88	12,95	13,50	12,56	12,08
0,500	12,74	12,75	13,31	12,37	11,91
0,475	12,59	12,55	13,11	12,18	11,74
0,450	12,45	12,35	12,92	11,99	11,57
0,425	12,31	12,15	12,73	11,79	11,40
0,400	12,16	11,95	12,53	11,60	11,22
0,375	12,01	11,74	12,33	11,40	11,04
0,350	11,86	11,52	12,13	11,19	10,86
0,325	11,70	11,30	11,91	10,98	10,67
0,300	11,54	11,07	11,69	10,76	10,48
0,275	11,36	10,82	11,46	10,52	10,26
0,250	11,19	10,58	11,22	10,28	10,05
0,225	11,00	10,31	10,97	10,02	9,83
0,200	10,80	10,02	10,69	9,74	9,58
0,175	10,58	9,71	10,39	9,44	9,31
0,150	10,33	9,36	10,05	9,11	9,02
0,125	10,05	8,96	9,68	8,72	8,68
0,100	9,73	8,50	9,23	8,28	8,29
0,075	9,33	7,93	8,69	7,73	7,80
0,050	8,79	7,16	7,96	6,99	7,15
0,025	7,93	5,92	6,77	5,79	6,10
0,010	6,86	4,33	5,28	4,27	4,77

por falta de disponibilidade de dados, não foi possível testar as tabelas das velocidades máximas pentadais.

As velocidades médias correspondentes às probabilidades de 25%, 50% e 75% são, para a primeira pênada de janeiro, 2,60 m/s, 3,22 m/s e 3,94m/s, respectivamente (Tabela 1) Em cada um dos quatro intervalos determinados por aqueles três valores (1º quartil, 2º quartil ou mediana e 3º quartil), esperar-se-ia incluídos 25% (cerca de três casos) dos 12 anos em que se registrou ventos no período de observação (1982-1993). Os números observados foram $n_1 = 1$, $n_2 = 1$, $n_3 = 3$ e $n_4 = 7$ ⁶, ao que corresponde um valor de Qui-quadrado de 8,0 significativo à 5%. O teste de Qui-

quadrado apresentou discrepância significativa em 12 das 73 pênadas, aproximadamente 16% das pênadas (Tabela 3).

Para os contrastes ortogonais, resultantes da decomposição dos três graus de liberdade referentes às quatro classes definidas pelos quartis, o teste de Qui-quadrado com um grau de liberdade, no qual se fez a correção de continuidade de Yates (FISHER, 1941), indicou discrepância significativa em 12, 5 e 2 das 73 pênadas para os contrastes C_1 , C_2 e C_3 , respectivamente. Em nenhum dos casos, a discrepância significativa superou a 16% das pênadas (Tabela 3).

⁶Quando o valor da velocidade média coincidiu com um dos quartis, somou-se 0,5 a cada um dos valores de n_i das duas classes contíguas.

Tabela 3. Testes de Qui-Quadrado ($\alpha = 0,05$) da velocidade média pentadal para os intervalos quartílicos e para os contrastes C_1 , C_2 e C_3 , desde os dados da Estação Agroclimatológica de Pelotas, período de 1982-1993. (N_i = número de anos em que se observou a velocidade de vento dentro do intervalo quartílico i).

Pêntada	Intervalos Quartílicos				χ^2	Contraste C_1		χ^2	Contraste C_2		χ^2	Contraste C_3		χ^2
	N_1	N_2	N_3	N_4		N_1+N_2	N_3+N_4		N_1+N_4	N_2+N_3		N_1+N_3	N_2+N_4	
1	1,0	1,0	3,0	7,0	8,0*	2,0	10,0	4,1*	8,0	4,0	0,8	4,0	8,0	0,8
2	2,0	3,5	1,5	5,0	2,5	5,5	6,5	0,0	7,0	5,0	0,1	3,5	8,5	1,3
3	2,0	4,0	3,5	2,5	0,8	6,0	6,0	0,1	4,5	7,5	0,3	5,5	6,5	0,0
4	2,0	5,5	0,5	4,0	4,8	7,5	4,5	0,3	6,0	6,0	0,1	2,5	9,5	3,0
5	0,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	8,0	0,8	4,0	8,0	0,8	4,0	8,0	0,8
6	1,0	1,0	7,0	3,0	8,0*	2,0	10,0	4,1*	4,0	8,0	0,8	8,0	4,0	0,8
7	1,0	3,0	6,0	2,0	4,7	4,0	8,0	0,8	3,0	9,0	2,1	7,0	5,0	0,1
8	1,0	1,0	4,0	6,0	6,0	2,0	10,0	4,1*	7,1	5,0	0,1	5,0	7,0	0,1
9	1,0	1,0	5,0	5,0	5,3	2,0	10,0	4,1*	6,0	6,0	0,1	6,0	6,0	0,1
10	3,0	4,0	4,0	1,0	2,0	7,0	5,0	0,1	4,0	8,0	0,8	7,0	5,0	0,1
11	2,0	2,5	3,5	4,0	0,8	4,5	7,5	0,3	6,0	6,0	0,1	5,5	6,5	0,0
12	3,0	1,0	7,0	1,0	8,0*	4,0	8,0	0,8	4,0	8,0	0,8	10,0	2,0	4,1
13	0,0	7,0	2,5	2,5	8,5*	7,0	5,0	0,1	2,5	9,5	3,0	2,5	9,5	3,0
14	1,0	2,0	4,0	5,0	3,3	3,0	9,0	2,1	6,0	6,0	0,1	5,0	7,0	0,1
15	1,0	5,0	5,0	1,0	5,3	6,0	6,0	0,1	2,0	10,0	4,1	6,0	6,0	0,1
16	1,0	5,0	5,0	1,0	5,3	6,0	6,0	0,1	2,0	10,0	4,1	6,0	6,0	0,1
17	1,0	2,0	5,0	4,0	3,3	3,0	9,0	2,1	5,0	7,0	0,1	6,0	6,0	0,1
18	2,0	2,0	6,0	2,0	4,0	4,0	8,0	0,8	4,0	8,0	0,8	8,0	4,0	0,8
19	2,0	1,5	2,5	6,0	4,2	3,5	8,5	1,3	8,0	4,0	0,8	4,5	7,5	0,3
20	2,5	3,5	4,0	2,0	0,8	6,0	6,0	0,1	4,5	7,5	0,3	6,5	5,5	0,0
21	1,0	3,0	6,0	2,0	4,7	4,0	8,0	0,8	3,0	9,0	2,1	7,0	5,0	0,1
22	0,0	0,0	5,0	7,0	12,7*	0,0	12,0	10,1*	7,0	5,0	0,1	5,0	7,0	0,1
23	2,5	4,0	2,0	3,5	0,8	6,5	5,5	0,0	6,0	6,0	0,1	4,5	7,5	0,3
24	1,0	4,0	2,0	5,0	3,3	5,0	7,0	0,1	6,0	6,0	0,1	3,0	9,0	2,1
25	1,0	1,0	4,0	6,0	6,0	2,0	10,0	4,1*	7,0	5,0	0,1	5,0	7,0	0,1
26	1,0	0,0	8,0	3,0	12,7*	1,0	11,0	6,8*	4,0	8,0	0,8	9,0	3,0	2,1
27	0,0	4,0	6,0	2,0	6,7	4,0	8,0	0,8	2,0	10,0	4,1	6,0	6,0	0,1
28	1,0	4,0	3,0	4,0	2,0	5,0	7,0	0,1	5,0	7,0	0,1	4,0	8,0	0,8
29	0,0	1,5	4,5	6,0	7,5	1,5	10,5	5,3*	6,0	6,0	0,1	4,5	7,5	0,3
30	0,0	1,0	3,0	8,0	12,7*	1,0	11,0	6,8*	8,0	4,0	0,8	3,0	9,0	2,1
31	3,0	3,0	1,0	5,0	2,7	6,0	6,0	0,1	8,0	4,0	0,8	4,0	8,0	0,8
32	3,0	2,0	2,0	5,0	2,0	5,0	7,0	0,1	8,0	4,0	0,8	5,0	7,0	0,1
33	2,0	2,5	3,5	3,0	0,5	4,5	6,5	0,1	5,0	6,0	0,0	5,0	5,5	0,1
34	0,0	1,0	6,5	3,5	9,2*	1,0	10,0	5,8*	3,5	7,5	0,8	6,5	4,5	0,1
35	4,0	3,0	3,0	1,0	1,7	7,0	4,0	0,4	5,0	6,0	0,0	7,0	4,0	0,4
36	1,0	6,0	2,0	2,0	5,4	7,0	4,0	0,4	3,0	8,0	1,5	3,0	8,0	1,5
37	0,0	1,5	1,5	8,0	13,9*	1,5	9,5	4,5*	8,0	3,0	1,5	1,5	9,5	4,5
38	1,0	2,0	2,5	5,5	4,1	3,0	8,0	1,5	6,5	4,5	0,1	3,5	7,5	0,8
39	0,0	2,0	2,0	7,0	9,7*	2,0	9,0	3,3	7,0	4,0	0,4	2,0	9,0	3,3
40	1,0	5,0	3,0	2,0	3,2	6,0	5,0	0,0	3,0	8,0	1,5	4,0	7,0	0,4
41	1,0	1,0	2,0	7,0	9,0*	2,0	9,0	3,3	8,0	3,0	1,5	3,0	8,0	1,5
42	0,0	2,0	3,0	7,0	8,7*	2,0	10,0	4,1*	7,0	5,0	0,1	3,0	9,0	2,1
43	1,0	2,5	4,5	4,0	2,5	3,5	8,5	1,3	5,0	7,0	0,1	5,5	6,5	0,0
44	0,0	4,0	5,0	3,0	4,7	4,0	8,0	0,8	3,0	9,0	2,1	5,0	7,0	0,1
45	1,0	2,0	3,0	6,0	4,7	3,0	9,0	2,1	7,0	5,0	0,1	4,0	8,0	0,8
46	2,0	4,0	1,0	5,0	3,3	6,0	6,0	0,1	7,0	5,0	0,1	3,0	9,0	2,1
47	1,0	4,0	4,0	3,0	2,0	5,0	7,0	0,1	4,0	8,0	0,8	5,0	7,0	0,1
48	3,0	3,0	4,0	2,0	0,7	6,0	6,0	0,1	5,0	7,0	0,1	7,0	5,0	0,1
49	3,0	2,0	2,0	5,0	2,0	5,0	7,0	0,1	8,0	4,0	0,8	5,0	7,0	0,1
50	0,0	3,0	5,0	4,0	4,7	3,0	9,0	2,1	4,0	8,0	0,8	5,0	7,0	0,1
51	3,0	2,0	3,0	4,0	0,7	5,0	7,0	0,1	7,0	5,0	0,1	6,0	6,0	0,1
52	4,0	3,0	3,0	2,0	0,7	7,0	5,0	0,1	6,0	6,0	0,1	7,0	5,0	0,1
53	2,0	0,5	4,5	5,0	4,5	2,5	9,5	3,0	7,0	5,0	0,1	6,5	5,5	0,0
54	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	6,0	6,0	0,1	6,0	6,0	0,1	6,0	6,0	0,1
55	2,0	5,0	2,0	3,0	2,0	7,0	5,0	0,1	5,0	7,0	0,1	4,0	8,0	0,8
56	1,0	5,0	3,0	3,0	2,7	6,0	6,0	0,1	4,0	8,0	0,8	4,0	8,0	0,8
57	4,0	3,0	4,0	1,0	2,0	7,0	5,0	0,1	5,0	7,0	0,1	8,0	4,0	0,8
58	2,0	4,0	4,5	1,5	2,2	6,0	6,0	0,1	3,5	8,5	1,3	6,5	5,5	0,0

(Continua)

0 asterisco indica que a discrepância entre o esperado e o observado foi significativa ao nível de probabilidade de 5%.

Qui-quadrado (5%, 3 graus de liberdade) = 7,815.

Qui-quadrado (5%, 1 grau de liberdade) = 3,841

Tabela 3 (continuação)

Pêntada	Intervalos Quartílicos				χ^2	Contraste C_1		χ^2	Contraste C_2		χ^2	Contraste C_3		χ^2
	N_1	N_2	N_3	N_4		N_1+N_2	N_3+N_4		N_1+N_4	N_2+N_3		N_1+N_3	N_2+N_4	
59	2,0	2,0	5,0	3,0	2,0	4,0	8,0	0,8	5,0	7,0	0,1	7,0	5,0	0,1
60	3,0	2,0	1,0	6,0	4,7	5,0	7,0	0,1	9,0	3,0	2,1	4,0	8,0	0,1
61	3,0	2,0	4,0	3,0	0,7	5,0	7,0	0,1	6,0	6,0	0,1	7,0	5,0	0,1
62	3,5	3,0	1,5	4,0	1,2	6,5	5,5	0,0	7,5	4,5	0,3	5,0	7,0	0,1
63	2,0	2,0	4,0	4,0	1,3	4,0	8,0	0,8	6,0	6,0	0,1	6,0	6,0	0,1
64	0,0	4,0	6,0	2,0	6,7	4,0	8,0	0,8	2,0	10,0	4,1*	6,0	6,0	0,1
65	1,0	4,0	5,0	2,0	3,3	5,0	7,0	0,1	3,0	9,0	2,1	6,0	6,0	0,1
66	4,0	2,0	2,0	4,0	1,3	6,0	6,0	0,1	8,0	4,0	0,8	6,0	6,0	0,1
67	1,0	5,0	4,0	2,0	3,3	6,0	6,0	0,1	3,0	9,0	2,1	5,0	7,0	0,1
68	2,5	3,0	3,5	3,0	0,2	5,5	6,5	0,0	5,5	6,5	0,0	6,0	6,0	0,1
69	2,0	3,0	2,0	5,0	2,0	5,0	7,0	0,1	7,0	5,0	0,1	4,0	8,0	0,1
70	6,0	1,0	2,5	2,5	4,5	7,0	5,0	0,1	8,5	3,5	1,3	8,5	3,5	1,3
71	0,0	4,0	6,0	2,0	6,7	4,0	8,0	0,8	2,0	10,0	4,1*	6,0	6,0	0,1
72	1,0	2,0	2,0	7,0	7,3	3,0	9,0	2,1	8,0	4,0	0,8	3,0	9,0	2,1
73	1,0	4,0	3,0	4,0	2,0	5,0	7,0	0,1	5,0	7,0	0,1	4,0	8,0	0,1

0 asterisco indica que a discrepância entre o esperado e o observado foi significativa ao nível de probabilidade de 5%.

Qui-quadrado (5%, 3 graus de liberdade) = 7,815.

Qui-quadrado (5%, 1 grau de liberdade) = 3,841

Em relação ao valor esperado e o intervalo de confiança da maior das velocidades médias, a partir dos registros dos 12 anos (1982-1993), reservados para os testes das tabelas, comparamos a maior das velocidades médias, em cada pêntada, com aquelas correspondentes à probabilidade

$$p_{k_i} = \frac{12 + 0,5}{12 + 1} = 0,9615, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 73$$

visto que, em todas as pêntadas sempre houve a ocorrência de ventos.

Na primeira pêntada de janeiro, como em todas as demais, registraram-se velocidades médias nos 12 anos do período de observação. Teve-se, então

$$k_i = 12, \quad E(p_{k_i}) = \frac{12 + 0,5}{12 + 1} = 0,9615$$

$$e \quad t = 1,8340^7.$$

Com o para esta pêntada, $Z = 13,3951$ e $S_z = 1,022125$, calculou-se

$$Z = 13,3951 + 1,022125 \times 1,8340 = 15,26808$$

que correspondeu ao valor esperado da maior das velocidades médias, $x_m = 5,4$ m/s.

As probabilidades dos extremos inferior e superior do intervalo de confiança (95%), para a primeira pêntada de janeiro, foram, respectivamente

$$p_{k_i}(x_i) = \exp(\ln 0,025/12) = 0,7354$$

$$p_{k_i}(x_s) = \exp(\ln 0,975/12) = 0,9979$$

que corresponderam aos valores esperados dos extremos do intervalo de confiança $x_i = 3,9$ m/s e $x_s = 6,3$ m/s.

Em apenas 16 das 73 pêntadas (12%), a maior das velocidades médias ficou fora do intervalo de confiança (Tabela 4).

Para a velocidade máxima pentadal não foi possível testar as tabelas por falta de dados disponíveis. Entretanto, como o método de construção das tabelas de probabilidades foi o mesmo das velocidades médias, quer-se crer que os resultados também foram obtidos de forma adequada.

As previsões probabilísticas sempre foram muito importantes para o planejamento de um grande número de atividades. Os agricultores, construtores e outros profissionais sempre se preocupam em obter informações relativas às probabilidades dos elementos climáticos, porque eles se lembram, de uma maneira geral, do que aconteceu no passado e querem prevenir-se para o futuro.

⁷Valor correspondente a 29 graus de liberdade, pois a distribuição dos valores transformados para a primeira pêntada de janeiro, como para as demais, compõem-se de 30 anos de observação.

Tabela 4. Valor observado, valor esperado e intervalo de confiança (95%) da maior das velocidades médias, desde os dados da Estação Agroclimatológica de Pelotas, período de 1982-1993.

Pêntada	Valor Observado	Valor Esperado	Intervalo de Confiança		Pêntada	Valor Observado	Valor Esperado	Intervalo de Confiança	
			Extremo Inferior	Extremo Superior				Extremo Inferior	Extremo Superior
1	7,4	5,4	3,9	6,3 *	38	4,2	5,2	3,3	6,4
2	6,3	5,5	3,9	6,4	39	4,9	4,4	2,9	5,4
3	5,4	6,5	4,4	7,7	40	4,8	6,3	3,6	8,0
4	6,6	6,1	4,4	7,1	41	4,3	4,9	3,4	5,8
5	7,0	5,3	4,0	5,9 *	42	6,7	4,9	3,4	5,7 *
6	4,9	5,5	3,8	6,3	43	6,6	5,4	3,5	6,5 *
7	4,6	5,9	4,1	6,9	44	3,9	5,4	3,5	6,5
8	5,2	5,4	4,0	6,2	45	5,7	4,9	3,5	5,6 *
9	10,4	5,4	3,8	6,2 *	46	5,0	5,2	3,7	6,1
10	5,1	6,1	4,1	7,1	47	5,5	5,6	3,8	6,5
11	5,9	4,9	3,6	5,6 *	48	5,2	5,5	3,9	6,3
12	4,3	5,5	3,8	6,4	49	8,0	6,0	4,2	7,0 *
13	4,5	4,8	3,6	5,4	50	7,3	5,9	4,0	6,9 *
14	5,8	5,7	3,7	6,8	51	7,2	5,5	4,1	6,2 *
15	4,3	5,2	3,6	6,1	52	5,9	7,1	4,9	8,3
16	3,5	4,9	3,4	5,8	53	7,2	5,8	4,4	6,5 *
17	5,3	5,0	3,4	5,8	54	6,1	6,8	4,8	7,9
18	3,8	5,6	3,6	6,7	55	6,3	6,6	4,6	7,7
19	5,0	4,3	3,2	5,0 *	56	5,9	6,4	4,6	7,4
20	5,0	5,9	3,8	7,1	57	5,2	6,9	5,1	7,9
21	4,2	5,1	3,2	5,2	58	5,3	7,2	5,1	8,4
22	5,2	4,9	2,9	6,1	59	7,2	6,6	4,6	7,7
23	4,5	5,0	3,3	5,9	60	7,1	5,8	4,3	6,5 *
24	4,8	4,6	3,0	5,4	61	5,9	6,2	4,7	7,0
25	4,5	4,6	3,0	5,5	62	7,2	6,0	4,6	6,7 *
26	3,2	4,3	2,7	5,3	63	6,0	6,2	4,6	7,0
27	3,6	5,0	3,1	6,0	64	5,3	7,0	4,9	8,1
28	4,5	5,7	3,3	7,1	65	6,7	6,3	4,5	7,2
29	3,8	5,0	3,0	6,1	66	6,0	6,3	4,6	7,3
30	8,7	5,1	2,9	6,5 *	67	8,9	8,6	5,2	10,6
31	4,3	0,1	0,0	0,2 *	68	6,2	5,7	4,4	6,4
32	6,0	5,4	3,3	6,7	69	5,9	6,3	4,6	7,3
33	5,0	4,7	3,1	5,7	70	7,0	6,3	4,5	7,3
34	3,6	5,3	3,2	6,6	71	6,3	6,1	4,3	7,1
35	3,5	4,8	3,2	5,8	72	6,2	6,5	4,4	7,6
36	4,4	5,0	3,1	6,2	73	6,3	6,5	4,5	7,6
37	4,5	4,2	2,8	4,9					

0 asterisco indica a significância de valor observado ao nível de probabilidade de 5%.

O planejamento das atividades agropecuárias passa, obrigatoriamente, pelo conhecimento do comportamento probabilístico das variáveis do clima, vento, temperatura, chuva, umidade relativa, etc, visto estarem as operações de campo sujeitas às inclemências do tempo.

De modo geral, todas as culturas características da região, como arroz, milho, feijão, soja, pêssego, morango e ameixa, são de alguma forma afetadas pelas variações dos ventos. Além disso, os criadores devem tomar cuidados para evitar a exposição de seus pequenos animais aos ventos fortes, causadores de altos índices de mortalidade. A desertificação de muitas áreas agrícolas pode ser, também, atribuída à ação dos ventos fortes que causam a erosão dos solos. Pode-se

assim aquilatar da importância de um estudo deste elemento climático, cujo comportamento probabilístico aqui analisado deve ser combinado com aquele de outras variáveis meteorológicas, já avaliadas (chuva, temperaturas mínimas) ou, a avaliar (umidade relativa, radiação solar), na busca de uma previsão probabilística do clima (baseado nestas variáveis), de benefícios indiscutíveis.

CONCLUSÕES

As tabelas de probabilidades foram estabelecidas para os níveis de probabilidade de 1% a 99%, em cada uma das 73 pêntadas do ano.

As tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal foram testadas com um novo conjunto de observações registrados na Estação Agrometeorológica de Pelotas, a 15 quilômetros do centro da cidade de Pelotas, referentes ao período de 1982 a 1993. O acordo entre os valores observados e esperados foi satisfatório, indicando que o processo de construção das tabelas foi adequado. As tabelas de probabilidades da velocidade máxima pentadal não foram testadas, em virtude da indisponibilidade dos dados. Acredita-se, entretanto, que, tendo em vista a semelhança do processo de construção das duas tabelas, os resultados também foram obtidos a contento.

A transformação dos dados, raiz quarta, utilizada para a velocidade média pentadal, homogeneizou as variâncias e melhorou a normalidade da distribuição. Os dados da velocidade máxima pentadal, foram analisados diretamente, sem necessidade de transformação prévia.

Os resultados apresentados pelas tabelas servem como subsídios para o planejamento agropecuário da região, visando a evitar os efeitos danosos dos ventos e tirando o máximo proveito de seus benefícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, E., BAPTISTA DA SILVA, J. Tabela de probabilidades das precipitações pluviométricas em Pelotas, RS. Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Sul, Pelotas, 1970, 27 p. (Circular nº 44).
- AMARAL, E., BAPTISTA DA SILVA, J., BASSOLS, M.C. **Tabelas de probabilidades da temperatura mínima em Pelotas, RS (média das mínimas e mínima absoluta)**. Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília, 1975, 61 p. (Boletim Técnico n. 9).
- AMARAL, E., BAPTISTA DA SILVA, J., BASSOLS, M.C. **Temperatura mínima em Pelotas, RS (média das mínimas e mínima absoluta) - Tabelas de Probabilidades**. Instituto de Física e Matemática, UFPel, 1976, 39 p. (Boletim Técnico n. 1).
- BAPTISTA DA SILVA, J. **Tabela de probabilidades das precipitações pluviométricas máximas pentadais em Pelotas, RS**. Pelotas : Universidade Federal de Pelotas, 1979. 114 p, Tese (Concurso para Professor Titular) Universidade Federal de Pelotas, 1979.
- BAPTISTA DA SILVA, J., AMARAL, E. **Precipitações pluviométricas em Pelotas, RS (totais pentadais e máximas pentadais) - Tabelas de Probabilidades**. Pelotas : Instituto de Física e Matemática - UFPel/ Editora da Universidade, 1984, 41 p.
- BAPTISTA DA SILVA, J., AMARAL, E. Probabilidades das precipitações pluviométricas em Pelotas. RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 167-177, 1987.
- BAPTISTA DA SILVA, J., SCHONS, R.L., LARROZA, E.A. Probabilidades de ocorrência de rajadas máximas de vento em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 237-240, 1997.
- BARGER, G.L., SHAW, R.H., DALE, R.R. **Changes of receiving selected amounts of precipitation in the north central region of the United States**. Ames : Iowa University, 1959. 277 p.
- COLIGADO, M.C., BAIER, W., SLY, W.K. **Risk analysis of weekly climatic data for agricultural and irrigation planning- Wistaria, British Columbia**. Ottawa : Plant Research Institute, 1969. 23 p. (Tech. 77).
- DIXON, W.J., MASSEY Jr., F.J. **Introduction to statistical analysis**. Tokyo : Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd., 1969, 639 p.
- FISHER, R.A. **Statistical methods for research workers**. London : Oliver and Boyd, 8. ed., 1941. 35 p.
- GRACE, J. **Plant response to wind**. London : Academia Press Inc., 1977, 204 p.
- KENDALL, M.G., STUART, A. **The advanced theory of statistics**. London : Charles Griffin & Company Limited, v. 1, 1958, 433 p.
- MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo : Livraria Nobel, 7. ed., 1986, 376 p.
- STUFF, R. **Probabilidades de lluvias en la zona de la Estación Experimental Agropecuária Pergamino**. INTA, Pergamino : Estación Experimental Agropecuária de Pergamino, 1969, 61 p. (Informe Técnico n. 93).