



dos 42 anos de observação das velocidades médias diárias, excluído o dia 29 de fevereiro dos anos bissextos.

O método consistiu, inicialmente, de uma análise estatística descritiva da velocidade média diária do vento de onde foram estimadas as principais medidas de posição, dispersão, assimetria e curtose. Os dados diários encontram-se distribuídos pelos 12 meses do ano, bem como as suas medidas estatísticas.

A seguir, a sazonalidade da velocidade média diária, manifestada pelas suas médias nos 365 dias do ano, foi expressa pelo modelo de análise harmônica:

$$X_t = A_0/2 + \sum [ A_n \cos \omega_n t + B_n \sen \omega_n t ] + e_t$$

Onde:

$X_t$ : valor estimado da variável temporal

$\omega_n$ : frequência angular da n-ésima harmônica

$A_n$  e  $B_n$ : parâmetros a serem estimados

$e_t$ : resíduos

A estimativa dos parâmetros que caracterizam as 182 harmônicas resultantes da decomposição dos 364 graus de liberdade, visto que a cada harmônica correspondem 2 graus de liberdade, foram obtidas pelo periodograma dos dados.

O periodograma, cuja expressão matemática é  $I_n = (N/2)(A_n^2 + B_n^2)$ , mostra como as variâncias da série, constituída de senos e cossenos, estão distribuídas entre as várias frequências harmônicas distintas.

A seleção das ondas para o modelo baseou-se na magnitude dos picos do periodograma (Baptista da Silva *et al.*, 2001), concomitantemente com os valores da função de densidade espectral, de forma parcimoniosa.

Deve-se levar em conta que o uso do periodograma exige que a série seja estacionária. Intuitivamente, um processo é estacionário se ele desenvolve-se no tempo, de modo que a escolha de uma origem dos tempos não é importante. Em consequência disso, a média e a variância do processo são constantes. Em relação a normalidade, podemos considerar que os valores médios da variável no conjunto dos 42 anos, que vão constituir a série das temperaturas médias diárias do vento dos 365 dias do ano, podem ser aceitos seguindo aproximadamente a distribuição normal.

Estimado o modelo, a verificação do seu ajuste pode ser feita pela análise das autocorrelações dos resíduos. Se os  $r_k$  indicarem as autocorrelações dos resíduos  $e_t$ , então deve-se ter  $r_k$  aproximadamente igual a zero. Alguns testes permitem avaliar esta hipótese (Box *et al.*, 1994).

### 3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1, encontra-se uma amostra da análise estatística descritiva realizada para todos os 365 dias do ano. Como se pode observar, nas colunas estão os valores: mínimo, máximo, média, desvio padrão, assimetria, curtose, quartil 1, mediana, quartil 3, intervalo da média, frequência relativa, teste da assimetria (SCA), teste da curtose (SCC) e coeficiente de variação.

A velocidade média diária anual foi de 3,12 m/s. Em todos os dias do ano a média diária esteve no intervalo de 2 a 4 m/s. A partir do início do ano,

verão, a média diária é decrescente até atingir um mínimo no outono e voltando a crescer até atingir um máximo na primavera.

A frequência relativa (probabilidade) da variável estudada encontrar-se no intervalo de 2 a 4 m/s, nos 42 anos de observação, foi igual ou superior a 50% em aproximadamente 31% dos dias do ano.

A variabilidade da velocidade média diária nos 42 anos de observação é medida pelo coeficiente de variação. Este coeficiente igual ou superior a 50% indica uma grande variabilidade da variável em apreço, tendo ocorrido em 48% dos dias de janeiro, 54% de fevereiro, 55% de março, 93% de abril, 97% de maio, 100% de junho, 97% de julho, 87% de agosto, 83% de setembro, 55% de outubro, 57% de novembro e 42% de dezembro. Nota-se que nos meses em que a média é mais baixa a variabilidade dos dados é maior e vice-versa.

Sabe-se que dados climáticos em períodos curtos não seguem à distribuição normal. O teste de normalidade de Fisher confirma isto nas medidas de assimetria e de curtose, que comparadas com os erros padrões de assimetria e de curtose, respectivamente, produziram valores significativos a 5% ( $t_{0,05;41}=2,02$ ), para a assimetria e, principalmente para a curtose em todos os 365 dias do ano. Nesse caso, a melhor medida de posição é a mediana que se encontra entre 1,75 e 4,75m/s.

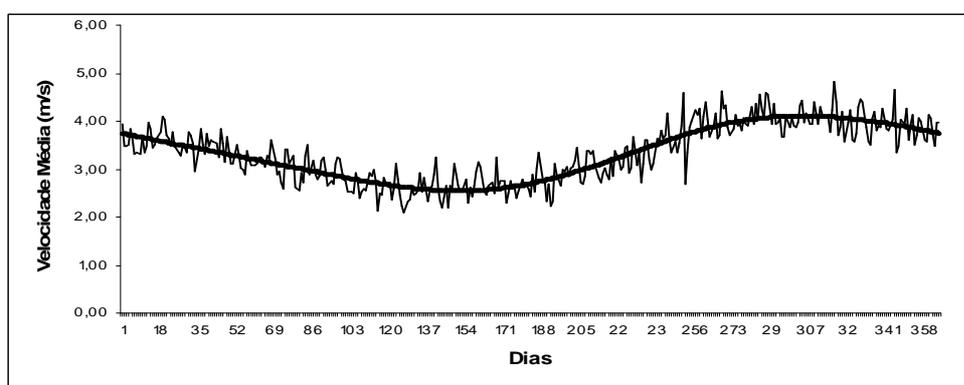
**TABELA 1.** Medidas estatísticas descritivas da velocidade média diária do vento de janeiro em Pelotas, RS (1952/1993).

Dias	Mínima	Máxima	Média	D. P.	Ass.	Curtose	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	x € interv.	Freq.Rel.	SCA	SCC	CV
1	0,00	7,80	3,92	1,81	0,35	2,83	2,90	3,60	4,90	2;4	0,52	0,96	3,95	46,17
2	0,60	8,70	3,48	1,97	0,88	3,16	2,00	3,10	4,50	2;4	0,45	2,41	4,41	56,61
3	0,00	8,00	3,48	1,73	0,57	3,67	2,40	3,15	4,40	2;4	0,57	1,56	5,12	49,71
4	0,60	8,00	3,52	1,67	0,74	3,23	2,40	3,30	4,00	2;4	0,52	2,03	4,51	47,44
5	0,50	9,00	3,84	2,24	0,72	2,51	2,40	2,94	5,40	2;4	0,43	1,97	3,50	58,33
6	0,00	8,10	3,63	1,77	0,68	3,13	2,10	3,30	4,90	2;4	0,57	1,86	4,37	48,76
7	0,00	7,10	3,30	1,61	0,34	2,90	2,10	3,10	4,30	2;4	0,47	0,93	4,05	48,79
8	0,70	8,70	3,36	1,95	1,05	3,37	2,00	2,90	4,00	2;4	0,50	2,87	4,70	58,04
9	0,00	7,20	3,32	1,43	0,70	3,99	2,50	3,00	4,10	2;4	0,67	1,92	5,57	43,07
10	1,30	6,80	3,67	1,46	0,45	2,17	2,60	3,10	4,70	2;4	0,47	1,23	3,03	39,78
11	1,10	7,10	3,36	1,61	0,51	2,29	1,90	3,25	4,40	2;4	0,40	1,40	3,20	47,92
12	0,90	10,80	3,48	1,78	1,59	7,85	2,10	3,40	4,30	2;4	0,43	4,35	10,95	51,15
13	0,00	9,30	3,98	1,85	0,72	3,55	2,80	3,35	5,00	2;4	0,50	1,97	4,95	46,48
14	0,50	9,80	3,84	2,07	0,62	2,98	2,20	3,45	5,30	2;4	0,33	1,70	4,16	53,91
15	0,00	8,00	3,43	2,00	0,58	2,76	1,90	2,95	4,70	2;4	0,40	1,59	3,85	58,31
16	0,00	8,70	3,51	1,91	0,86	3,94	2,40	3,30	4,30	2;4	0,48	2,35	5,50	54,42
17	0,00	8,10	3,64	1,88	0,62	3,07	2,50	3,30	4,80	2;4	0,52	1,70	4,28	51,65
18	1,30	12,30	3,77	1,89	2,28	11,06	2,70	3,30	4,60	2;4	0,55	6,24	15,43	50,13
19	1,30	12,00	4,10	2,22	1,32	5,15	2,50	3,40	5,30	2;4	0,40	3,61	7,19	54,20
20	0,70	8,50	4,04	1,74	0,40	2,95	2,80	3,90	5,10	2;4	0,40	1,09	4,12	43,07
21	0,50	8,30	3,72	1,65	0,51	2,98	2,60	3,50	4,80	2;4	0,45	1,40	4,16	44,35
22	1,20	10,20	3,65	1,83	2,00	7,76	2,40	3,30	4,20	2;4	0,62	5,47	10,83	50,14
23	1,10	7,50	3,49	1,48	0,60	3,02	2,20	3,35	4,30	2;4	0,57	1,64	4,21	42,41
24	0,90	8,30	3,76	1,75	0,72	3,00	2,20	3,45	4,80	2;4	0,50	1,97	4,19	46,54
25	0,00	7,00	3,46	1,57	0,27	3,01	2,40	3,40	4,32	2;4	0,52	0,74	4,20	45,38
26	0,90	8,00	3,36	1,70	0,80	3,09	2,10	3,05	4,20	2;4	0,50	2,19	4,31	50,60
27	0,60	8,00	3,27	1,68	1,01	4,50	2,30	3,25	4,20	2;4	0,54	2,76	6,28	51,38
28	0,00	7,80	3,46	1,69	0,58	3,47	2,30	3,45	4,20	2;4	0,52	1,59	4,84	48,84
29	0,70	7,10	3,44	1,70	0,62	2,20	2,30	2,85	4,70	2;4	0,57	1,70	3,07	49,42
30	0,00	8,50	3,33	1,83	1,22	4,28	2,30	2,70	4,00	2;4	0,57	3,34	5,97	54,95
31	0,50	8,20	3,77	1,93	0,48	2,36	2,60	3,30	5,20	2;4	0,43	1,31	3,29	51,19

Quanto ao modelo determinístico (análise harmônica) que representa a sazonalidade, os valores do periodograma indicaram dois picos mais destacados correspondentes às ondas anual e semestral, concordantes com as estimativas da função de densidade espectral. Logo, tem-se:

$$X_t = 3,3326 + 0,522481\cos(0,01726t) - 0,539691\sin(0,01726t) + \\ - 0,108458\cos(0,03453t) + 0,005041\sin(0,03453t) \\ t=0, 1, 2, \dots 364$$

Na Figura 1, estão representados os dados observados e o modelo de análise harmônica composto pelas duas ondas senoidais mais destacadas, com um coeficiente de determinação de 79%, que pode ser considerado satisfatório. Pode-se observar na figura a concordância entre o modelo e os dados observados, representando adequadamente a sazonalidade dos dados, conforme já verificado por Baptista da Silva *et al.*, 1997. Poder-se-ia usar no modelo apenas a onda anual pela sua grande representatividade, entretanto, segundo alguns autores, não é comum com dados meteorológicos usar-se modelos de uma única onda.



**Figura 1:** Modelo ajustado aos dados observados da velocidade média diária do vento, no período de 1952-1993, em Pelotas, RS.

O ajuste do modelo aos dados observados foi por meio das autocorrelações dos resíduos. As autocorrelações foram estimadas para  $k=1,2,\dots,90$  de acordo com o sugerido por Box *et al.*, 1994. Para os dois testes utilizados as autocorrelações dos resíduos apenas em dois lags ( $k=1$  e  $k=33$ ) ficaram fora do intervalo  $\pm 2/\sqrt{365} = \pm 0,1047$  e do intervalo  $\pm 2\sigma(r_k)$ , definido pelo erro padrão do coeficiente de autocorrelação. Portanto, em ambos os casos, o número de lags rejeitados ficou abaixo dos 5% aceitáveis (4,5 lags), ao nível de significância de 5%. Em vista disso, aceita-se o modelo como adequado para representar o comportamento das velocidades médias diárias em Pelotas, RS.

#### 4. Conclusões

A velocidade média diária do vento em todos os dias do ano esteve no intervalo 2 a 4 m/s, apresentando uma grande variabilidade ( $\geq 50\%$ ) na grande maioria dos dias do ano, sendo maior nos meses com média mais baixa. O perfil do vento diário é decrescente a partir do verão até atingir um mínimo no outono e crescente até atingir um máximo na primavera, conforme o modelo de análise harmônica, composto pelas ondas anual e semestral, com  $r^2=0,79$ , representa adequadamente a sazonalidade dos dados.

#### 5. Referências Bibliográficas

BAPTISTA DA SILVA, J., ZANUSSO, J.T., SILVEIRA, D.L.M. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.5, n.2, p.227-235, 1997.

BAPTISTA DA SILVA, J. *et al.* Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p.317-324, 2001.

BOX, G.E., JENKINS, G.M., REINSEL, G.C. **Time series analysis: forecasting and control**, 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994, 598p.