

ANÁLISE DE DADOS DE VENTO PARA A REGIÃO DE BOTUCATU - SP UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO BETA

Sérgio Marques Júnior¹, Lúcio Taveira Valadão², Ana Rita Rodrigues Vieira³ e
Maria Vilma Tavares de Moura⁴

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo a determinação em diversos níveis de probabilidades, dos valores esperados de velocidade de vento, em função das médias mensais registradas durante uma série de 20 anos (1974-1993) para a região de Botucatu, Estado de São Paulo. Baseando-se no teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que a ocorrência deste evento meteorológico pode ser adequadamente representada pela função de distribuição de probabilidade beta. Valores de velocidade média de vento na ordem de 150 km/dia demonstram a grande possibilidade para utilização desse elemento meteorológico como uma fonte alternativa de energia para a região, justificando assim o uso de análises probabilísticas no estudo da ocorrência do parâmetro meteorológico.

Palavras-chave: Clima, vento, função de densidade beta.

SUMMARY

This paper objective was to study the distribution of wind velocity to Botucatu-SP site, using beta density function. For this purpose, it was used average monthly wind data collected during 20 years (1974-1993). Using Kolmogorov-Smirnov test, it was observed that wind data showed good fitting with the beta distribution function. Average values closed to 150 km/day, show there is a great potential to the use of this natural energy as a alternative power source, justifying the use of statical model to study the distribution of this meteorological parameter.

¹ Prof. Ass, M. Sc., Departamento de Engenharia Rural CCA/UFSC. Rodovia Admar Gonzaga Km 3 Caixa Postal 476. CEP 88040-900, Florianópolis - SC

² Engº Agrº EMATER-DF. C.P. 08735 - CEP 70812-970. Brasília DF

³ Prof. Adjunto, Dr., Departamento de Fitotecnia, CCA/UFSC, Cx.P. 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC.

⁴ Engº Agrº Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Rio Grande do Norte. Centro Administrativo. BR 101 - Km 0 - CEP

Key words: climate, wind data, beta distribution.

INTRODUÇÃO

O fator "energia" pode ser considerado como um dos inputs básicos da vida humana. De maneira geral, observa-se que a maior quantidade utilizada no dia a dia é proveniente de combustíveis fósseis e carvão vegetal, sendo que estas fontes vêm sendo exauridas em uma velocidade acentuada nos últimos anos (MISHRA & SHARMA, 1992).

Nesta situação, vêm à tona a necessidade de pesquisas envolvendo a possibilidade de utilização de energias alternativas, principalmente na agricultura, setor esse considerado como um dos maiores consumidores. Dentro desse contexto, a energia produzida pelos ventos, não exaurível e aparentemente ilimitada, destaca-se como uma alternativa de grande potencialidade.

Sendo a velocidade do vento uma variável randômica, é importante salientar a ocorrência de variabilidade mensal, nos valores médios estimados dentro de uma série de anos. Essa inevitável variação que ocorre nos eventos meteorológicos justifica a utilização de análises mais criteriosas para estimativa dos valores a serem assumidos como constantes para uma determinada região, análises estas relacionadas à distribuição de frequência dos valores estimados (SAAD & SCALLOPI, 1988).

Ao longo do tempo, diversos estudos têm demonstrado que os valores estimados de alguns fatores meteorológicos podem ser adequadamente representados pela função de densidade beta (FALLS, 1973; HAAN & BARFIELD, 1973). Essa função de probabilidade pode ser expressa da seguinte forma (FALLS, 1973):

$$B(x) = \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p) \cdot \Gamma(q)} \cdot \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^{p-1} \cdot \left(1 - \frac{x-a}{b-a}\right)^{q-1} \quad \mathbf{1}$$

onde a e b correspondem ao menor e maior valor da série de dados, respectivamente, Γ é o símbolo da função gama das respectivas variáveis, p e q são parâmetros da distribuição beta e x é um valor qualquer da variável em análise. A estimativa dos parâmetros p e q pode ser realizada a partir do método dos momentos (PEARSON, 1934):

$$p = \frac{\mathbf{m}_1 \cdot (\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2)}{[\mathbf{m}_2 - (\mathbf{m}_1)^2]} \quad 2$$

$$q = \frac{(1 - \mathbf{m}_1) \cdot (\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2)}{[\mathbf{m}_2 - (\mathbf{m}_1)^2]} \quad 3$$

onde \mathbf{m}_1 corresponde ao momento de ordem 1 para a variável x e \mathbf{m}_2 ao momento de ordem 2 para a variável x, dentro de uma série de N dados. Estes termos podem ser estimados à partir da seguinte análise:

$$\mathbf{m}_1 = \frac{\sum_{i=1}^j x_i}{N} \quad 4$$

$$\mathbf{m}_2 = \frac{\sum_{i=1}^j x_i^2}{N} \quad 5$$

onde x_i corresponde a cada valor da variável em estudo durante a série de dados.

Para a estimativa dos valores de ocorrência de probabilidade, através da distribuição beta, a equação (1) deve ser adimensionalizada para um intervalo compreendido entre [0 e 1]. A variável adimensionalizada x' toma então o seguinte forma:

$$x' = \frac{x - a}{b - a} \quad (6)$$

sugerindo que a função de densidade da distribuição beta assuma a seguinte forma:

$$B(x') = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p) \cdot \Gamma(q)} \cdot x'^{p-1} \cdot (1-x')^{q-1} \quad 7$$

onde $0 \leq x' \leq 1$, para $p > 1$ e $q > 1$.

A integração numérica da equação (7), confere os valores de probabilidade de ocorrência para um valor de x qualquer dentro do intervalo considerado.

O objetivo do presente trabalho é a determinação, à diversos níveis de probabilidade, dos valores médios mensais assumidos pela velocidade do vento para a região de Botucatu, Estado de São Paulo, estimativa esta obtida a partir da função de densidade beta.

MATERIAL E MÉTODOS

A estimativa dos valores médios mensais de velocidade de vento dentro de diversos níveis de probabilidade, utilizando-se os conceitos matemáticos apresentados na equação (7), foi realizada a partir de dados referentes à uma série de 20 anos, obtidos juntos à Estação Meteorológica "Presidente Medici", município de Botucatu, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude: 22° 51' S, longitude: 48° 26' W e altitude: 786 m.

A aferição do ajuste dos valores médios mensais de velocidade de vento à função de densidade beta foi baseada no teste de Kolmogorov-Smirnov (CAMPOS,1983). Este teste baseia-se na comparação dos valores estimados através de uma específica e conhecida distribuição F(x), que no caso deste estudo corresponde à distribuição teórica (ou real) do evento, à dados provenientes de uma distribuição estimada F'(x), correspondendo aqui aos valores determinados através da função de densidade beta.

Como forma de caracterização da área em estudo, no presente trabalho procurou-se estimar os valores de velocidade de vento nos seguintes níveis de probabilidade: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 e 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores estimados das probabilidades teórica e calculada através da função beta, para os dados de velocidade de vento amostrados no mês de julho, durante a série de 20 anos, para Botucatu, Estado de São Paulo.

Ao nível de 5 % de probabilidade o teste de Kolmogorov-Smirnov indica o valor de 0.294 para a diferença $|D-S|$, utilizando-se uma série de 20 dados. Visto que as diferenças apresentadas na tabela 1 não excederam este limite, pode-se concluir que o evento meteorológico discutido pode ser representado através da função de densidade beta, quando analisados períodos médios mensais.

Tabela 1 - Valores estimados de probabilidade de ocorrência (menor que) de velocidade do vento para o mês de julho em Botucatu - SP.

Ordem	Velocidade do vento Km/dia)	Probabilidade de Ocorrência		D-S
		Teórica (D)	Função Beta (S)	
1	167,8	1,00	0,99	0,01
2	164,0	0,95	0,83	0,12
3	163,7	0,90	0,81	0,07
4	160,9	0,85	0,73	0,12
5	160,3	0,80	0,72	0,08
6	159,8	0,75	0,71	0,04
7	159,6	0,70	0,70	0,00
8	159,6	0,65	0,70	0,05
9	157,6	0,60	0,65	0,05
10	152,2	0,55	0,54	0,01
11	151,7	0,50	0,53	0,03
12	145,0	0,45	0,41	0,04
13	144,6	0,40	0,40	0,00
14	140,0	0,35	0,32	0,03
15	137,0	0,30	0,27	0,03
16	132,0	0,25	0,19	0,06
17	130,2	0,20	0,16	0,04
18	127,2	0,15	0,11	0,04
19	126,0	0,10	0,08	0,02
20	122,2	0,05	0,01	0,04

* O valor de probabilidade apresentada corresponde à probabilidade do evento meteorológico ser menor ou igual ao valor apresentado.

É interessante verificar que o coeficiente de variação dos valores de velocidade de vento encontrados para esta série de 20 anos de dados foi de 9,92 %, podendo ser, a princípio, considerado baixo. Entretanto, a amplitude dos valores extremos indica o valor de 45,6 km/dia, valor este representativo para o evento meteorológico quando analisado dentro de uma série de anos, justificando assim a utilização de estimativa dos valores de velocidade de vento a determinados níveis de probabilidade, empregando-se

funções de densidade.

Essa mesma tendência pode ser observada através da Tabela 2, onde são apresentados os valores estimados das probabilidades teórica e calculada através da função beta, para os dados de velocidade de vento amostrados no mês de dezembro, durante a série de 20 anos.

Tabela 2 - Valores estimados de probabilidade de ocorrência (menor que) de velocidade de vento para o mês de dezembro em Botucatu - SP.*

Ordem	Velocidade do vento (Km/dia)	Probabilidade de Ocorrência		D-S
		Teórica (D)	Função Beta (S)	
1	180,9	1,00	0,99	0,01
2	180,7	0,95	0,98	0,03
3	171,5	0,90	0,89	0,01
4	162,5	0,85	0,68	0,17
5	160,9	0,80	0,64	0,16
6	160,1	0,75	0,62	0,13
7	157,4	0,70	0,55	0,15
8	157,3	0,65	0,54	0,12
9	156,8	0,60	0,53	0,07
10	156,0	0,55	0,51	0,04
11	154,0	0,50	0,46	0,04
12	151,8	0,45	0,40	0,05
13	151,8	0,40	0,40	0,10
14	151,1	0,35	0,38	0,03
15	146,4	0,30	0,28	0,02
16	146,2	0,25	0,27	0,02
17	145,9	0,20	0,26	0,06
18	145,0	0,15	0,24	0,09
19	142,9	0,10	0,20	0,10
20	122,3	0,05	0,00	0,00

* O valor de probabilidade apresentada corresponde à probabilidade do evento meteorológico ser menor ou igual ao valor apresentado.

Nesta situação, também verifica-se que o valor determinado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov não foi excedido, confirmando-se então a tendência de que o fenômeno de distribuição da velocidade do vento para períodos médios mensais pode ser representado através da função de densidade beta. Para esse mês, o coeficiente de variação dos dados na série analisada foi de 8,52% e a amplitude entre os valores extremos de 58,6 km/dia, que pode ser considerado um alto valor entre os valores extremos.

Utilizando-se então os procedimentos matemáticos apresentados para a função de densidade beta, estimou-se os valores de velocidade de vento em períodos mensais para o município de Botucatu-SP durante os diversos meses do ano, apresentados na Tabela 3:

Através da Tabela 3 é possível verificar que a maior ocorrência de vento estabelece-se nos meses de

setembro e outubro. Este dado é relevante porque esta é a época do início da semeadura da cultura de arroz (*Oriza sativa, L.*) na região. Haja visto que essa cultura é normalmente irrigada através do processo de inundação, o presente estudo fornece subsídios para a utilização de forma mais criteriosa dessa energia disponível. Como exemplo, pressupõe-se a utilização de cata-ventos como fonte de potência alternativa para bombeamento de água para os tabuleiros de arroz existentes no local.

A visualização gráfica dos dados apresentados na tabela 3 é demonstrada na Figura 1.

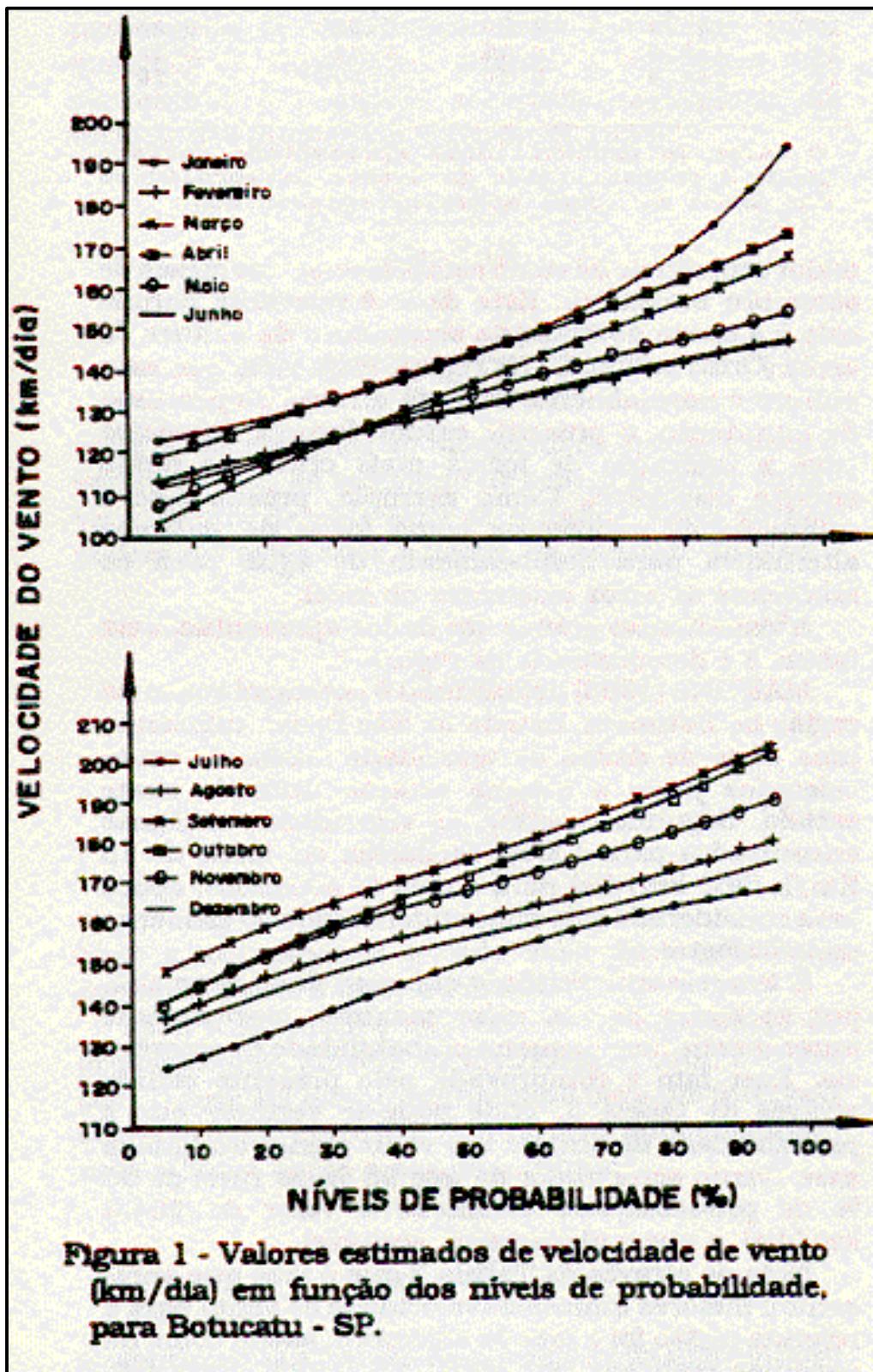
MARTINS (1993) determinou o potencial eólico na região de Botucatu, Estado de São Paulo, utilizando uma série de dados de velocidade média de vento coletados junto a mesma estação utilizada neste estudo. Segundo o autor, as velocidades máximas encontradas para o local oscilaram em torno de 15 Km/h (360 km/dia) para o mês de setembro, época essa considerada a de maior intensidade do elemento meteorológico.

Tabela 3 - Valores mensais estimados de velocidade de vento (Km/dia) à determinados níveis de probabilidade [p(x%)] para a região de Botucatu - SP.

Níveis de Prob.	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5	123,7	113,4	103,4	119,4	107,5	111,7	124,2	136,1	148,2	140,1	140,2	133,0
10	124,9	115,6	108,2	122,4	111,7	114,4	126,8	140,5	152,0	144,8	144,8	137,1
15	126,4	118,0	112,5	125,3	114,9	116,8	129,6	143,8	155,3	148,8	148,5	140,3
20	128,1	120,4	116,4	128,1	117,7	119,1	132,5	146,6	155,3	148,8	148,5	140,3
25	130,1	122,7	120,0	130,9	120,2	121,3	135,5	149,1	161,5	155,8	154,8	145,4
30	132,3	125,1	123,6	133,6	122,6	123,5	138,5	151,4	164,3	159,1	157,6	147,7
35	134,8	127,5	127,3	136,4	124,8	125,6	141,5	153,7	167,2	162,2	160,2	149,8
40	137,5	129,8	130,4	139,1	126,8	127,6	144,4	155,7	170,0	165,3	162,8	151,8
45	140,3	132,2	133,6	141,9	128,8	129,6	147,2	157,8	172,8	168,3	165,3	153,8
50	143,5	134,6	136,9	144,6	130,7	131,5	150,1	159,8	175,6	171,4	167,8	155,7
55	146,8	136,9	140,2	147,5	132,6	133,4	152,6	161,8	178,4	174,3	170,2	157,6
60	150,5	134,2	143,5	150,3	134,5	135,3	155,2	163,7	181,2	177,4	172,6	159,5
65	154,6	141,5	146,7	153,2	136,2	137,1	157,5	165,7	184,1	180,4	174,9	161,4
70	159,1	143,8	150,0	156,2	138,1	138,9	159,6	167,8	187,0	183,6	177,3	163,3
75	164,1	145,9	153,4	159,3	139,9	140,6	161,5	169,9	190,0	186,8	179,7	165,3
80	169,6	148,1	156,8	162,5	141,7	142,4	163,3	172,1	193,2	190,2	182,3	167,4
85	176,1	150,2	160,4	165,9	143,6	144,1	164,7	174,5	196,5	193,8	184,8	169,6
90	183,8	152,3	164,1	169,6	145,5	145,7	165,9	171,2	200,2	197,8	187,6	172,1
95	194,2	154,1	168,3	173,6	147,6	147,3	166,7	180,5	204,4	202,4	190,8	175,0

É interessante verificar que esse dado estimado, por se tratar de um valor máximo, teoricamente apresentaria uma pequena probabilidade de ocorrência. Esse fato é comprovado pelo presente estudo através da tabela 3, onde pode-se verificar que a probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual a esse evento seria maior do que 95 % (ao nível de 95 % de probabilidade estima-se o valor de 204,4 km/dia), o que é plenamente aceitável.

Nota-se através da Tabela 3 que o mês que apresentou maiores índices de velocidade de vento para a referida região foi o mês de setembro, assim como na pesquisa realizada por MARTINS (1993). Esse fato denota convergência de informações entre os respectivos estudos.



CONCLUSÕES

De posse dos resultados apresentados, conclui-se que:

- os valores médios mensais de velocidade de vento na região de Botucatu-SP podem ser adequadamente estimados pela função de densidade beta.
- através dos dados estimados, verifica-se o grande potencial eólico existente no local, o qual pode ser utilizado como fonte alternativa de energia para a agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, H. **Estatística Experimental Não Paramétrica**. 4ª ed. Piracicaba. ESALQ. Piracicaba, 1983. 343 p.
- FALLS, L. W. **The Beta distribution: a statical model for world cloud cover**. Alabama, NASA, 1973. p. 1-6. (NASA Tecnical Memorandum, TMX - 64714).
- HAAN, C. T., BARFIELD, B. J. Data simulation from probability distributions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 2, p. 374-377, 1973.
- MARTINS D. Determinação do potencial eólico na região de Botucatu-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 25. Ilhéus, **Anais**. SBEA- CEPLAC, 1993. v. 2., p. 826 - 839, 1413 p.
- MISHRA, S. P., SHARMA K. N. Utility of windmill in Coastal Belt of Orissa. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 47-49, 1992.
- PEARSON, K. **Tables of the incomplete Beta function**. London, University College, Biometrika, Office, 1934. 494 p.
- SAAD, J.C.C., SCALOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8. Florianópolis, **Anais**. ABID, 1988. v. 2., p. 1037- 1052, 747 p.