

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO POTENCIAL EÓLICO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO NO NORDESTE DO BRASIL

BERNARDO BARBOSA DA SILVA, JAKSON JOSE AMÂNCIO ALVES,
ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI e EYRES DIANA VENTURA
Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande,
Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco CL, 58.109-080 Campina Grande, PB
E.mail: bernardo@dca.ufcg.edu.br, jakson@dca.ufcg.edu.br, enilson@dca.ufcg.edu.br

Recebido Junho 2003 - Aceito Dezembro 2003

RESUMO

Neste trabalho foram utilizados dados horários de velocidade e direção do vento provenientes de anemógrafo Universal *Fuess*, a 10 m de altura, de 77 estações climatológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia, no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. O objetivo da pesquisa foi a determinação e regionalização da potência eólica média horária da direção predominante do vento em todas as estações selecionadas. Para tanto, identificou-se a direção predominante do vento de cada localidade e estimaram-se os parâmetros da distribuição de Weibull, por meio dos quais se calculou a potência eólica média horária. Em função dos resultados apresentados neste trabalho, se constatou que a direção predominante do vento no Nordeste do Brasil é de Leste, com flutuações para Sudeste e Nordeste. O ajuste das curvas pelo Método dos Momentos evidenciou-se melhor que pelos Mínimos Quadrados. O Estado do Maranhão destaca-se como o de menor potencial eólico, enquanto o Rio Grande do Norte, Sergipe, Ceará e Pernambuco apresentaram potencial superior aos 20 W m⁻². As estações de Alto Parnaíba, MA, e Acaraú, CE, foram as que apresentaram, mensalmente, a menor (0,02 W m⁻²) e a maior (138,30 W m⁻²) potência eólica, respectivamente.

Palavras-chave: Distribuição de Weibull, potência eólica, Nordeste do Brasil

ABSTRACT: SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE WIND POWER FOR THE PREDOMINANT WIND DIRECTION IN NORTHEAST BRAZIL

Hourly mean data of wind speed and direction, from *Fuess* anemograph at 10 m height, were used in this study. These data were collected in the period from January 1977 to December 1981 at 77 weather stations located in Northeast Brazil. The main objective of the study was the determination of the mean wind energy power in the predominant wind direction at each selected station. To do so, the relative frequency of the hourly mean wind speed in the predominant direction was identified. Then, the Weibull parameters, related to the monthly hourly mean wind speed in the predominant direction at each station, were estimated by the Moments and the Graphical methods. The results show that the wind predominant direction, in the Northeast Brazil, was East, with variations to Northeast and Southeast. The Weibull model fitted very well the observed frequency distribution of the wind speed, mainly due the consistency of the Weibull parameters estimation. The lowest wind energy power was observed in Maranhão State. On the other hand, Rio Grande do Norte, Sergipe, Ceará and Pernambuco State presented wind energy power greater than 20 W m⁻². At Acaraú, CE, was observed the highest monthly wind energy potential, with 138.3 W m⁻². The lowest monthly wind energy potential was registered at Alto Parnaíba, MA, with 0.02 W m⁻².

Key words: Weibull distribution, wind power, Northeast Brazil

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as medições de vento realizadas em diferentes pontos do território nacional pelo Instituto Nacional de Meteorologia, e alguns estudos conduzidos por institutos e universidades, indicam existir um imenso potencial ainda não explorado no nosso país. A nossa capacidade instalada, para que se tenha idéia de magnitude, é de apenas 20,3 MW, com turbinas eólicas de médio e grande portes conectadas à rede elétrica. Além disso, existem dezenas de turbinas

eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados da rede convencional para aplicações diversas: bombeamento d'água, carregamento de baterias, telecomunicações e eletrificação rural. Até o ano 2005, segundo estimativas do Fórum Permanente de Energia Renovável, coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, o país deverá ter 1.600 turbinas eólicas em funcionamento, cada uma delas com capacidade máxima de 600 kWh. Para que esse programa logre êxito, porém, é imperioso obter dados em maior quantidade e de melhor qualidade sobre o comportamento dos

ventos, de forma a propiciar uma escolha adequada do tipo de turbina que proporcione o melhor rendimento energético em cada localidade identificada como detentora de bom potencial eólico, e que esteja à altura das condições sócio-econômicas do país.

Para produzir esse conhecimento tem sido usado em diversos estudos o modelo estatístico de Weibull de dois parâmetros, em virtude do mesmo apresentar um bom ajuste à distribuição de frequência dos dados de velocidade do vento. Esses parâmetros podem ser determinados de diferentes maneiras. No entanto, classicamente tem sido usado com maior frequência o Método Gráfico, mais conhecido no passado como “Gráfico de Weibull”, e que mais recentemente tem sido classificado como dos Mínimos Quadrados. Nos dias atuais estão sendo mais utilizados os métodos da Máxima Verossimilhança e o dos Momentos. Ambos são os que oferecem as estimativas mais precisas dos parâmetros de Weibull.

Dentre os estudos pioneiros com a distribuição de Weibull, merecem destaque especial os de Hennessey (1977), Justus & Mikail (1976) e Justus et al. (1978). Estes últimos aplicaram o modelo de Weibull à velocidade do vento medida em mais de cem localidades dos Estados Unidos, ocasião em que concluíram que esse modelo foi o que proporcionou o melhor ajuste aos dados de distribuição de frequências da velocidade do vento. Hennessey (1978) realizou outro estudo em que comparava o desempenho dos modelos de Weibull e Rayleigh, quando concluiu que o erro máximo esperado, obtido com o uso do modelo uniparamétrico de Rayleigh em comparação com o da Weibull, é tolerável.

A identificação do potencial eólico de uma dada localidade é tarefa fundamental e tem como requisito básico e indispensável a existência de uma série temporal de observações da velocidade e direção do vento à uma altura adequada. No Nordeste brasileiro há registros de velocidades médias horárias do vento obtidas a 10 m de altura, em 77 estações climatológicas pertencentes à Rede de Estações Meteorológicas de Superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com base em tais registros Bastos et al. (1986, 1987) realizaram um zoneamento eólico do Nordeste brasileiro e obtiveram informações importantes sobre a potência média diária em diversas épocas do ano. Nesse estudo não foram realizados ajustamentos dos dados a nenhum tipo de distribuição probabilística e não foram identificadas as direções predominantes do vento. Anos mais tarde, um outro estudo, igualmente importante, foi realizado por Bandeira (1990), ocasião em que as velocidades médias horárias do vento foram agrupadas em quatro períodos diários de seis horas cada, e ajustados ao modelo de Weibull. Foram considerados os métodos dos momentos, gráfico e da máxima verossimilhança no processo de estimativa dos parâmetros do modelo de Weibull e, mais uma vez, não foi identificada a direção predominante do vento, nem calculada a sua potência eólica correspondente. Mais recentemente, Silva et al. (2002) identificaram o potencial da direção predominante de estações do Nordeste, mas não foi regionalizada o potencial, o que teria proporcionado forte

subsídio à escolha de áreas propícias à instalação de turbinas eólicas de grande porte.

Não obstante a existência de algumas pesquisas sobre o potencial eólico do Nordeste do Brasil, constata-se que, ainda, não há estudo que tenha possibilitado a regionalização da potência associada à direção predominante do vento, mesmo sendo esta uma informação imprescindível à instalação de turbinas eólicas de grande porte. Diante do exposto, a presente pesquisa tem por objetivo o preenchimento dessa lacuna, qual seja, a regionalização da potência eólica da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil (NEB).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados que serviram de base para o presente estudo consistem de velocidade e direção horários do vento registrados em anemógrafos Fuess, instalados em 77 localidades da rede de estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Silva et al., 2002), distribuídas conforme Figura 1. Foram consideradas todas as medições obtidas no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981, inclusive. O elemento sensível dos anemógrafos situava-se a 10 m da superfície e proporcionou a obtenção da direção horária predominante do vento e a velocidade média horária correspondente. Foram consideradas, para fins de identificação da direção horária predominante, oito faixas centradas nas direções que se encontram na Tabela 1. Cada faixa corresponde a 45° e nesse sentido a direção Norte compreende os ventos com direções entre 337,5° a 360° e de 0° a 22,5°. Na Figura 2 está representada a carta de altitude do Nordeste do Brasil que, associado aos sistemas meteorológicos atuantes na região, exercem grande influência no potencial eólico local.

2.1. O modelo de Weibull

A distribuição de Weibull tem sido utilizada em inúmeros estudos destinados à análise de frequência da velocidade do vento, bem como na identificação do potencial eólico de várias áreas do planeta (Hennessey, 1977; Justus et al., 1978; Bandeira, 1990; Souza & Granja, 1997; Silva et al., 2002; dentre outros). A sua função de densidade de probabilidade é do tipo:

$$f(x) = \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp \left[- \left(\frac{x}{b}\right)^a \right] \quad (1)$$

em que a é o parâmetro de forma (adimensional e positivo), b é o fator de escala (dimensão de velocidade e positivo) e x é a variável aleatória, no caso a velocidade horária do vento.

A função de distribuição, $F(x)$, associada ao modelo probabilístico de Weibull é dada, por sua vez, por:

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{b}\right)^a \right] \quad (2)$$

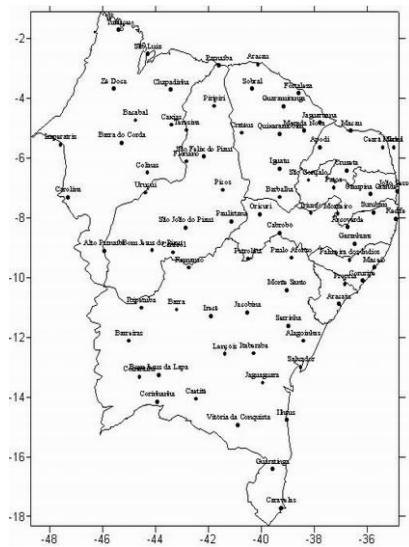


Figura 1: Distribuição espacial das estações climatológicas utilizadas na pesquisa.



Figura 2: Região Nordeste do Brasil com destaque para sua orografia (Fonte: Simelli, 1991).

Identificação	Denominação	Direção	Identificação	Denominação	Direção
1	Norte	360°	5	Sul	180°
2	Nordeste	45°	6	Sudoeste	225°
3	Leste	90°	7	Oeste	270°
4	Sudeste	135°	8	Noroeste	315°

Tabela 1: Codificação usada na classificação da direção horária predominante

Os parâmetros do modelo Weibull foram estimados segundo os métodos dos Mínimos Quadrados (ou Método Gráfico) e dos Momentos. O Método Gráfico é o que tem sido mais amplamente utilizado, principalmente antes da utilização massiva de microcomputadores.

No Método Gráfico determinam-se a e b , através da solução da seguinte equação:

$$\ln\{-\ln[1 - F(x)]\} = -a \cdot \ln(b) + a \cdot \ln(x) \quad (3)$$

em que $F(x)$ é substituída pela frequência empírica de Kimball (Silva et al., 2002). O procedimento de cálculo dos valores de a e b , a partir desta etapa, consiste em se considerar uma equação linear do tipo: $Y = a_0 + b_0 X$, em que $a_0 = -a \cdot \ln(b)$, $b_0 = a$ e $X = \ln(x)$.

No Método dos Momentos são obtidos os momentos de primeira $[E(x)]$ e segunda $[E(x^2)]$ ordens, centrados na origem, que para o modelo de Weibull são dados por:

$$E(x) = b \cdot \Gamma(1 + 1/a) \quad (4)$$

$$\text{e } E(x^2) = b^2 \cdot \Gamma(1 + 2/a) \quad (5)$$

onde Γ , refere-se à função matemática gama, cuja solução pode ser aproximada por polinômio (Abramowitz & Stegun, 1972). Considerando-se que a média aritmética amostral (x_m) e o desvio padrão ao quadrado (s^2), são estimadores da esperança matemática e variância da distribuição de Weibull, respectivamente, tem-se:

$$s^2 = x_m^2 \left(\frac{\Gamma(1 + 2/a)}{\Gamma^2(1 + 1/a)} - 1 \right) \quad (6)$$

que pode ser resolvida por método numérico destinado à obtenção da raiz de uma equação (Silva et al., 2002).

A densidade de potência eólica média horária ($W \text{ m}^{-2}$) foi calculada com base nos parâmetros da distribuição de Weibull, obtidos pelos dois métodos já mencionados e na frequência relativa $[fr(d)]$ correspondente à direção predominante do vento, em cada uma das 77 estações climatológicas incluídas no estudo, segundo a expressão:

$$P = 1/2 \rho E(x^3) \text{ fr}(d) \quad (7)$$

em que ρ é massa específica do ar úmido ($1,15 \text{ kg.m}^{-3}$) e $E(x^3)$ o terceiro momento centrado na origem, que para a distribuição de Weibull é igual a :

$$E(x^3) = b^3 \cdot \Gamma(1 + 3/a) \quad (8)$$

em que a e b são os parâmetros de Weibull e Γ é a função matemática gama. Com base na Equação (7) foram elaboradas as cartas anual e mensais do potencial eólico (Wm^{-2}), com interpolações realizadas de acordo com Barnes (1964). Antes, porém, procedeu-se a identificação do método que proporcionou o melhor ajuste entre as distribuições teórica e empírica, sendo considerado a de melhor ajuste aquele que proporcionou diferença máxima usada no teste de Kolmogorov-Smirnov, comparativamente menor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados correspondentes à direção predominante - DP do vento de cada uma das 77 estações selecionadas para o estudo, estão representados na Tabela 2. Para tanto, foram consideradas todas as medições da velocidade média horária e direção correspondente. Após a identificação da direção predominante de cada mês, procedeu-se a identificação da DP anual, ou seja, daquela que ocorre com maior frequência ao longo do ano. Nos casos em que ocorreram empates no número de meses associados às direções predominantes, escolheu-se como DP anual aquela detentora da maior velocidade média. Na região como um todo, as direções do vento variaram de 1 (Norte) a 5 (Sul), ocorrendo com maior frequência as direções 2, 3 e 4, quais sejam: Nordeste, Leste e Sudeste, como era de se esperar, dada a grande influência dos ventos alísios na Região, notadamente na sua costa leste. Para maiores detalhes consultar Silva et al. (2002). Barreto et al. (2002) e Correia (2000) analisaram a direção do vento das mesmas estações incluídas na presente pesquisa através da sua decomposição zonal e meridional e obtiveram os campos médios anual e horário médio anual do vento à superfície, através dos componentes principais. Embora usando técnicas, e com objetivos diferentes, os resultados da direção obtidos corroboram com os do presente estudo.

O conhecimento da direção predominante permite avaliar melhor o potencial eólico da região, seja em virtude das variações associadas à frequência do vento, seja face às variações de direção. Porém, o rendimento esperado por uma máquina eólica fixada a partir da direção predominante escapa aos objetivos do presente trabalho.

Com base na identificação da direção predominante do vento de cada localidade pesquisada procedeu-se à obtenção dos parâmetros a e b da distribuição de Weibull. Em seguida, identificou-se qual dos métodos de estimativas dos parâmetros de Weibull, proporcionou o melhor ajustamento aos dados da velocidade horária do vento, da direção predominante. De

um modo geral, constatou-se que o Método dos Momentos foi aquele que proporcionou o melhor ajustamento às distribuições empíricas da velocidade do vento, segundo aferição da diferença entre a distribuição empírica acumulada e a função de distribuição de Weibull associada a cada método de obtenção dos seus parâmetros, e por essa razão foi escolhido para o cálculo da densidade de potência instantânea média horária mensal (DPMM) e a sua média anual (DPMA), de todas as 77 localidades incluídas na pesquisa. Na Tabela 3 estão representados os valores dos parâmetros de forma (a) e escala (b) da distribuição de Weibull, segundo o Método dos Momentos.

Na Figura 3, por sua vez, está representada a regionalização da DPMA de todas as localidades estudadas. Conforme se depreende da análise da referida figura, se destacam quatro áreas com valores da DPMA superiores a 35 W m^{-2} . Acompanhando a evolução latitudinal, tem-se a primeira delas, qual seja, aquela delimitada pelas coordenadas $3^\circ - 4^\circ \text{ S}$ e $39^\circ - 41^\circ \text{ W}$. Nesse núcleo as isodinas são quase que paralelas à costa, indicando haver uma influência aparente de brisas. A outra área de destaque localiza-se no costa norte do Rio Grande do Norte, com predominância de DPMA entre 30 e 35 W m^{-2} . Na porção mais central do Nordeste, entre $7^\circ - 9^\circ \text{ S}$ e $40^\circ - 42^\circ \text{ W}$, são observadas as maiores potências eólicas da Região, com DPMA superior a 45 W/m^2 . Por último, há uma outra área, localizada no sul da Bahia e delimitada pelas coordenadas $13^\circ - 15^\circ \text{ S}$ e $41^\circ - 43^\circ \text{ W}$, com grande potencial eólico. Ainda em relação à Figura 3, observa-se, claramente, que há um potencial muito baixo em grande porções dos estados do Maranhão e Piauí.

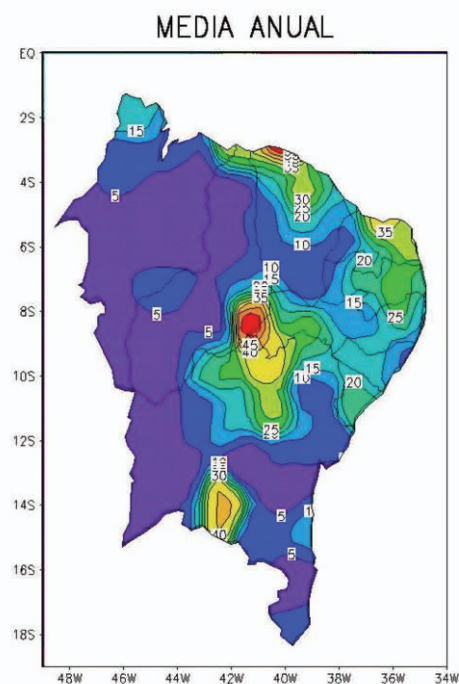
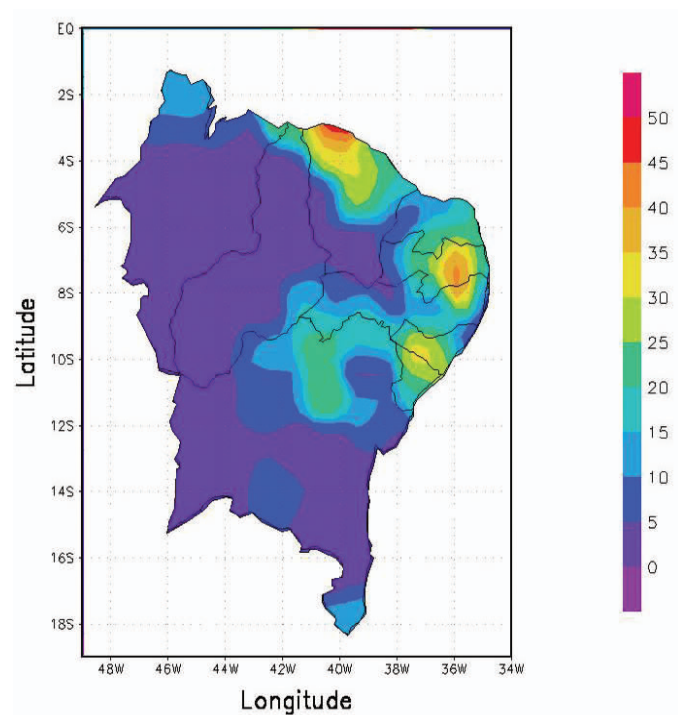


Figura 3: Distribuição espacial da densidade de potência eólica instantânea média anual - DPMA (W m^{-2}), no Nordeste do Brasil, para o período 1977-1981

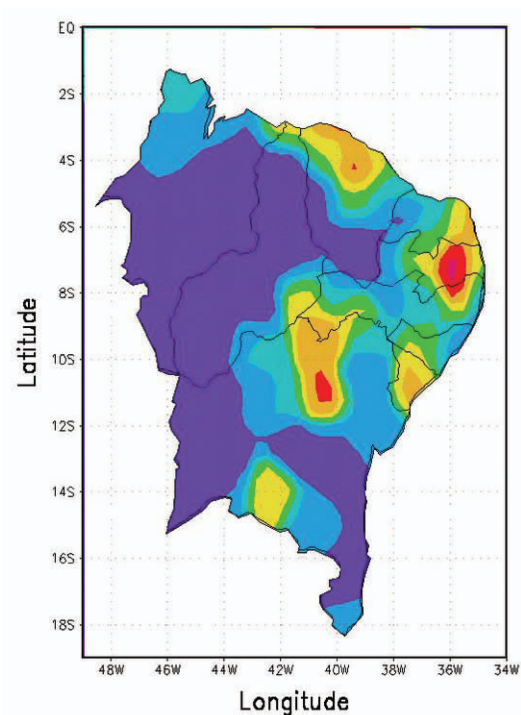
Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	DP		Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	DP
Rio Grande do Norte															São Felix	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	2	2	5
Apodi	2	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	4		Floriano	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	3
Macau	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4		Uriçui	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	
Natal	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4	3	3	4		Picos	2	3	2	4	4	4	4	4	2	2	2	4	
C. Mirim	4	3	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4		São João	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	
Cruzeta	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3		Paulistana	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Paraíba															B. Jesus	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	
S.Gonçalo	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3		Caracol	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	
Patos	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3		Maranhão													
Monteiro	2	2	2	2	4	4	4	4	3	2	2	2	2		Turiacu	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
C.Grande	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3		São Luiz	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	
J. Pessoa	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4		Zé Docas	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	
Pernambuco															Chapadinha	2	2	2	2	2	4	4	1	1	1	1	2	2
Ouricuri	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		Bacabal	1	2	1	2	4	4	4	1	1	1	1	1	
Triunfo	4	4	4	4	2	5	5	5	5	4	2	3	4		Caxias	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	
Surubim	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3		Imperatriz	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	
Arcoverde	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4		B.do Corda	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	1	3	
Cabrobó	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		Colinas	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4	
Garanhuns	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4		Carolina	2	2	4	4	4	4	4	2	2	8	2	2	
Recife	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5		A. Parnaíba	1	1	1	4	4	4	5	5	5	1	1	1	
Petrolina	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		Bahia													
Alagoas															Remanso	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	
P. Índios	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3		P. Afonso	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Maceió	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4		Ibipetuba	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	
Coruripe	2	4	3	4	4	4	4	3	3	3	2	2	3		Mt. Santo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Sergipe															Barra	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Aracaju	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4		Irecê	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	
Propriá	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3		Jacobina	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Ceará															Serrinha	3	3	3	3	4	5	4	4	3	3	3	3	3
Acarau	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		Salvador	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	
Sobral	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2		Barreiras	2	2	2	1	1	4	4	4	2	2	2	2	
Fortaleza	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3		Lençóis	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	5	5	
Guaramiranga	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		Itaberaba	3	3	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	
Jaguaruana	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3		Alagoinhas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	
Crateús	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	4		Correntina	3	2	2	2	3	4	4	4	4	4	2	4	
Quixeramobim	2	2	2	2	2	4	4	2	3	2	2	2	2		B.J.da Lapa	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Morada Nova	2	2	2	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2		Jaguaquara	1	3	3	5	5	5	5	5	3	3	3	3	
Iguatu	2	4	4	4	5	5	5	5	4	2	1	2	5		Caetité	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	3	4	
Barbalha	1	3	3	5	5	5	5	5	5	5	1	1	5		V.Conquista	1	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	
Piauí															Ilhéus	1	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	5	
Parnaíba	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		Caririnha2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Piripiri	1	1	1	1	5	5	5	5	1	1	1	3	1		Guaratinga	1	3	3	5	4	5	4	4	4	1	1	1	
Terezina	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4		Caravelas	2	2	2	5	5	5	5	2	2	2	1	2	

Tabela 2: Direção predominante mensal dos ventos nas localidades estudadas e direção predominante anual (DP)

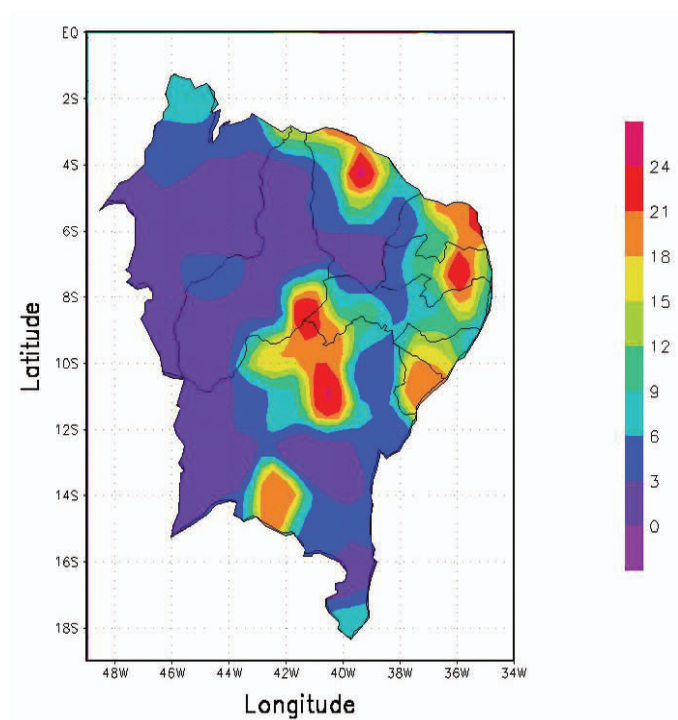
a)



b)



c)



d)

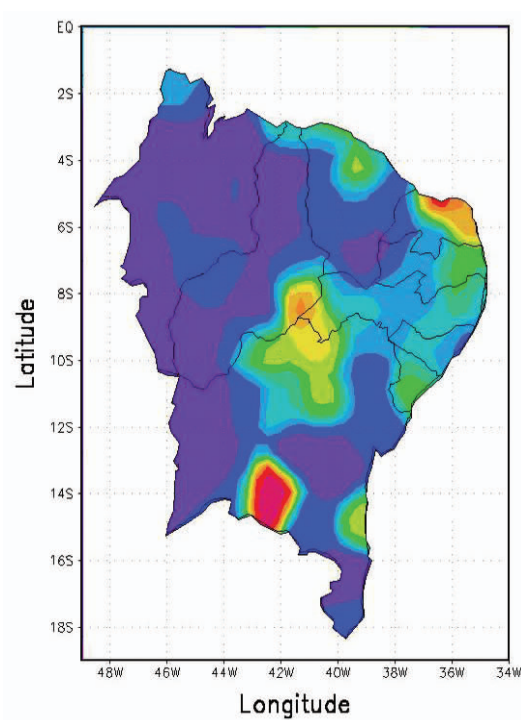
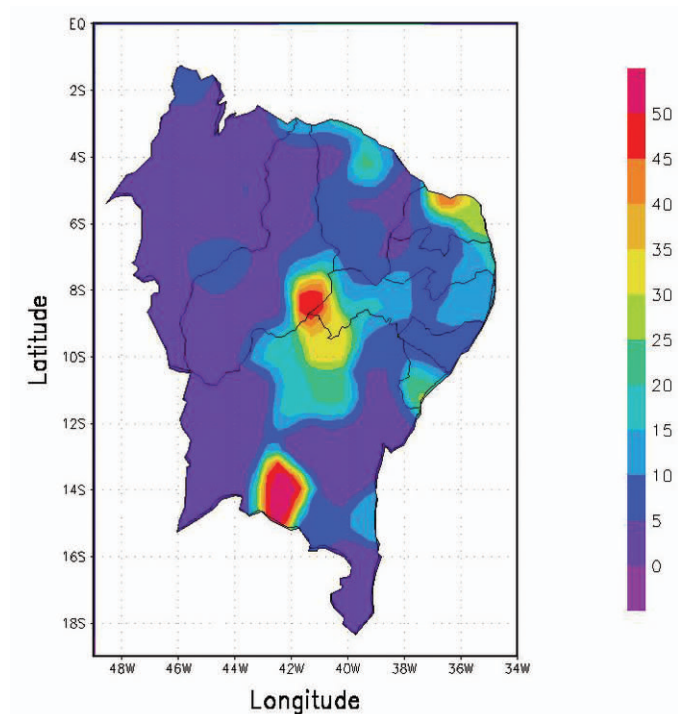
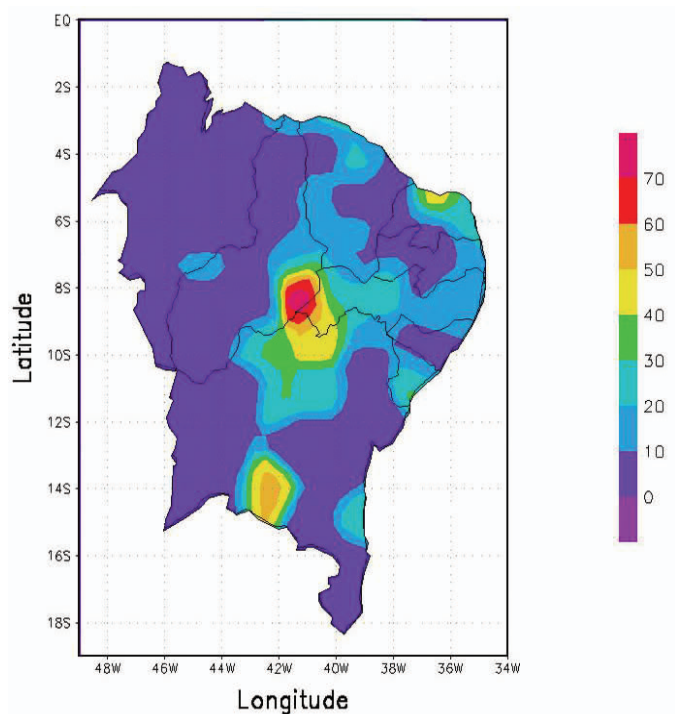


Figura 4: Distribuição espacial da densidade de potência eólica instantânea média horária - DPMM (W m^{-2}) para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março(c) e abril (d), no Nordeste do Brasil, para o período 1977-1981.

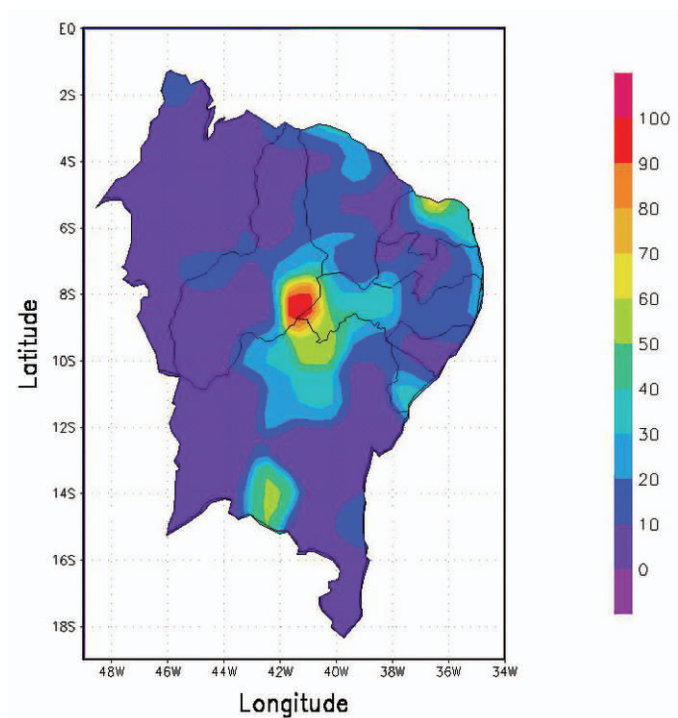
a)



b)



c)



d)

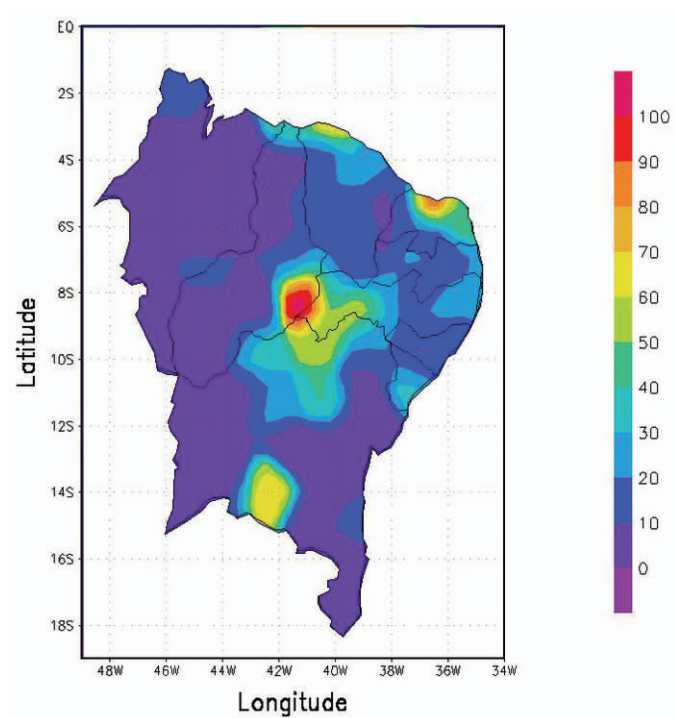
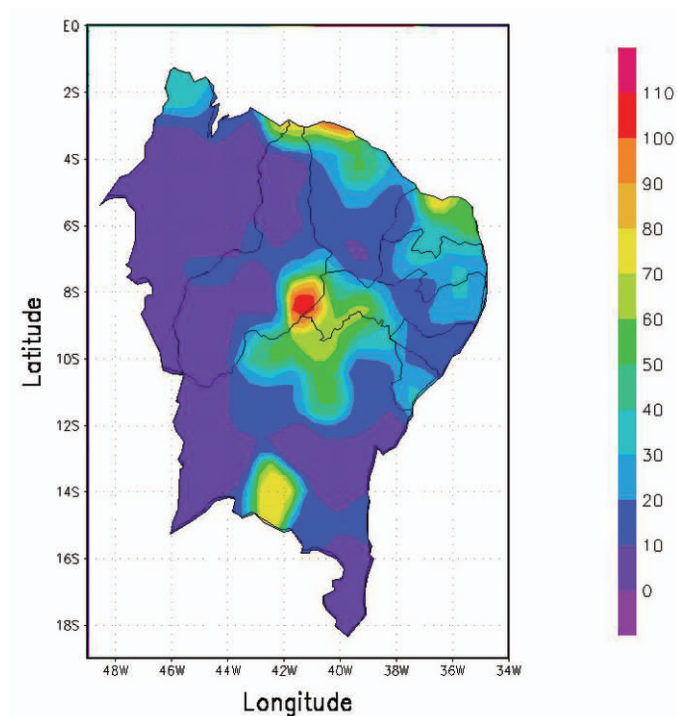
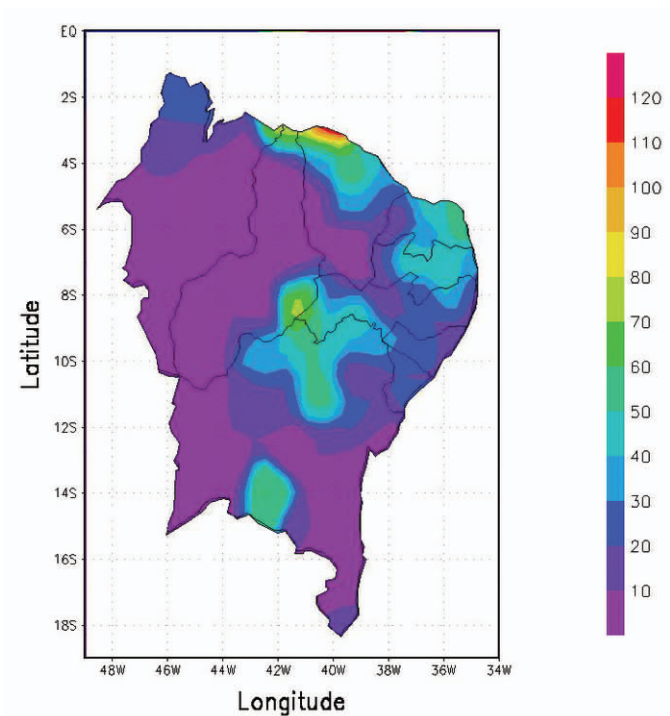


Figura 4: Distribuição espacial da densidade de potência eólica instantânea média horária - DPM (W m^{-2}) para os meses de maio (e), junho (f), julho (g) e agosto (h), no Nordeste do Brasil, para o período 1977-1981.

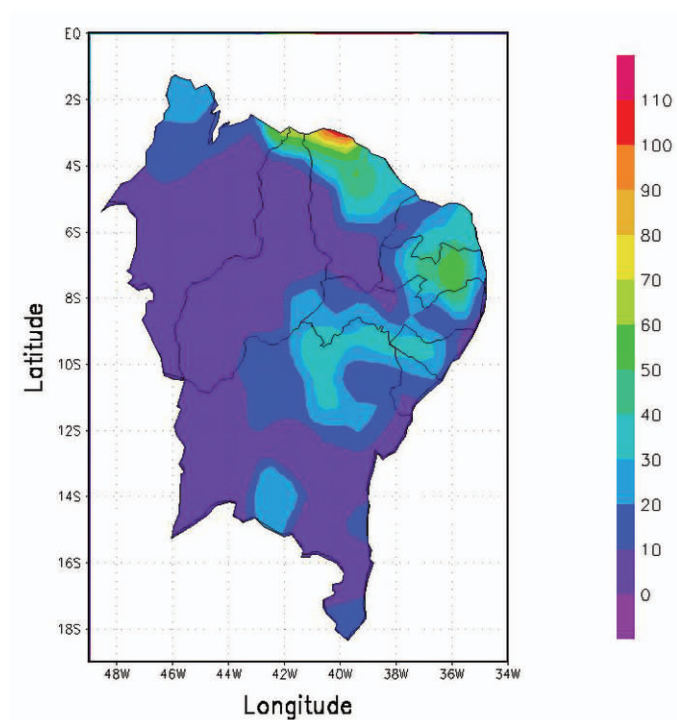
a)



b)



c)



d)

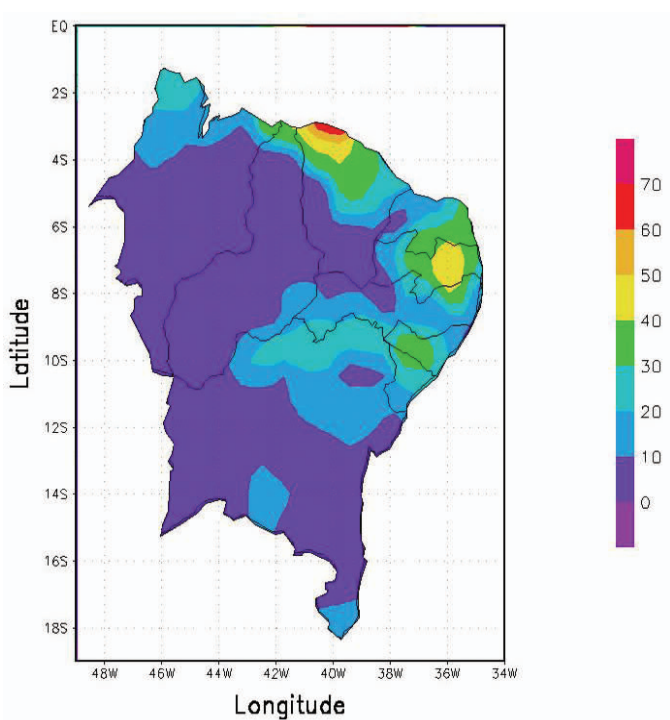


Figura 4: Distribuição espacial da densidade de potência eólica média horária (W m^{-2}) para os meses de setembro (i), outubro (j), novembro (k) e dezembro (l), no Nordeste do Brasil, para o período 1977-1981.

Localidades	Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Rio Grande do Norte																								
Apodi	3,09	3,19	2,43	3,08	2,57	2,99	2,28	3,04	2,80	3,05	2,68	3,32	2,87	3,56	2,74	3,60	2,85	3,75	3,02	3,61	3,24	3,17	3,16	3,04
Macau	2,85	4,60	2,64	4,00	2,64	4,69	2,77	4,99	2,84	5,43	3,07	5,55	3,05	6,00	3,40	6,67	3,11	6,59	2,89	6,06	3,07	4,85	2,84	4,61
Natal	2,43	4,68	2,27	5,10	2,33	4,96	2,45	5,18	2,43	5,32	2,42	5,79	2,45	5,92	2,23	5,81	2,30	6,00	2,21	6,01	2,42	5,13	2,32	5,17
Ceará Mirim	2,82	4,89	2,77	5,23	3,02	5,16	3,24	4,91	3,66	4,94	3,16	4,84	3,24	5,26	3,24	5,43	2,86	5,64	2,81	5,80	2,61	5,37	2,46	5,07
Cruzeta	3,15	4,39	3,08	4,08	2,72	3,69	2,87	3,33	2,79	3,35	3,19	3,79	3,75	4,03	3,43	4,49	3,60	4,84	3,53	4,85	3,47	4,72	3,48	4,57
Paraíba																								
São Gonçalo	3,77	3,83	3,23	3,57	3,73	3,45	3,72	3,21	4,08	3,58	4,30	3,80	4,02	3,96	4,48	4,26	4,03	4,40	4,39	4,42	4,05	4,20	4,34	4,14
Patos	3,35	4,71	2,92	4,57	3,15	3,97	3,28	3,86	3,42	4,06	3,32	4,23	3,70	4,56	3,75	4,93	3,95	5,44	4,09	5,52	3,58	5,16	3,59	4,96
Monteiro	2,84	3,99	2,73	3,66	2,46	3,39	2,59	3,08	2,83	2,88	2,76	2,95	9,62	4,24	2,52	3,22	3,26	3,94	3,60	4,70	3,60	4,90	3,37	4,46
Camp Grande	3,95	5,01	3,58	4,86	3,35	4,54	3,40	4,04	3,35	3,82	3,10	3,84	3,49	4,08	3,78	4,53	4,17	4,94	4,59	5,20	4,79	5,20	4,41	5,02
João Pessoa	4,61	4,12	3,67	4,40	3,95	4,08	3,70	4,13	3,04	4,04	3,31	4,64	3,05	4,73	3,58	4,70	3,79	4,85	4,45	4,48	5,11	4,38	4,26	4,48
Pernambuco																								
Ouricuri	2,50	3,22	2,40	3,33	2,58	3,02	2,50	3,19	2,54	3,22	2,58	3,74	2,90	4,06	3,06	4,19	3,30	4,39	3,22	4,17	3,00	3,77	2,48	3,41
Triunfo	2,97	3,24	3,21	3,42	3,00	3,58	3,38	3,74	3,81	4,13	3,71	4,57	3,74	4,76	3,52	4,52	3,62	4,54	3,30	4,12	3,39	3,35	3,30	3,04
Surubim	3,16	5,25	3,01	5,11	2,96	4,74	2,88	4,38	2,83	4,21	3,13	4,50	3,39	5,01	3,20	4,86	3,01	5,01	3,17	5,12	3,33	5,26	3,07	5,05
Arcoverde	3,23	3,67	2,99	3,33	2,89	3,02	2,85	3,01	3,12	3,14	3,47	3,57	3,37	3,54	3,22	3,81	3,87	4,16	3,70	4,28	3,59	3,78	3,20	3,56
Cabrobó	2,79	4,26	2,95	4,46	2,99	4,01	2,82	3,97	3,30	4,10	3,13	4,52	3,26	4,86	3,75	5,41	4,16	5,84	3,64	5,67	3,34	5,04	3,03	4,61
Garanhuns	3,95	4,73	3,85	4,57	3,50	3,97	3,44	3,91	3,59	3,85	3,55	4,13	3,43	4,18	3,59	4,12	4,20	4,51	4,44	4,74	4,81	4,71	4,23	4,72
Recife	3,04	3,96	2,67	4,02	2,76	3,84	2,77	3,83	2,57	3,81	2,48	3,91	2,51	4,19	2,75	4,29	2,90	4,53	3,57	4,72	3,12	4,10	3,24	4,42
Petrolina	3,09	3,90	3,17	4,06	3,36	3,86	3,11	3,84	3,70	4,25	3,82	4,66	3,99	4,79	4,16	4,83	4,16	5,01	3,82	4,86	3,54	4,44	3,40	4,10
Alagoas																								
Palmera Índios	3,02	4,65	2,71	4,19	2,76	4,34	2,93	3,62	2,56	3,21	2,31	3,16	2,36	3,15	2,44	3,45	2,88	4,11	3,53	4,99	3,72	5,28	3,22	5,05
Maceió	2,95	3,55	2,74	3,73	3,12	3,09	2,43	3,21	2,14	3,12	2,65	3,76	2,57	4,09	2,47	3,83	2,60	3,88	2,87	4,33	2,53	3,75	3,15	4,47
Coruripe	3,11	5,26	4,02	4,49	2,85	4,74	3,11	3,94	3,83	3,69	3,01	3,21	2,76	3,23	3,19	3,44	3,11	3,83	3,16	4,11	3,83	5,25	3,01	4,97
Sergipe																								
Aracaju	4,73	5,04	4,60	5,01	4,69	4,69	3,69	4,60	3,36	4,65	3,57	4,88	3,69	4,92	4,01	4,94	4,72	5,16	5,05	5,41	4,34	5,61	4,61	5,23
Propriá	2,67	4,84	2,71	4,63	2,85	4,50	2,78	4,11	3,00	3,61	3,03	4,02	3,16	3,91	3,04	4,08	2,75	4,35	3,52	5,04	2,96	5,07	3,00	5,37
Acará	3,08	5,56	2,67	5,14	2,41	4,73	2,72	4,52	2,86	4,62	3,15	5,05	2,93	5,45	3,58	6,31	3,86	6,90	3,68	6,94	3,37	6,65	2,95	5,93
Ceará																								
Sobral	2,75	4,68	2,47	4,20	2,45	3,21	2,56	3,04	2,83	2,71	2,50	2,85	2,62	3,65	2,67	4,18	2,80	4,83	2,83	5,25	3,08	5,40	2,98	5,12
Fortaleza	2,71	3,95	2,60	4,07	2,63	3,68	2,71	3,72	2,77	3,61	2,55	3,84	2,56	4,12	2,75	4,60	2,93	4,65	2,88	4,66	2,98	4,20	2,61	4,08
Guaramiranga	4,21	4,97	4,16	4,96	3,78	4,69	3,55	4,53	3,66	4,46	3,94	4,79	4,11	4,80	4,45	5,04	4,63	5,63	5,15	5,78	5,26	5,53	4,78	5,28
Jaguaruana	3,52	4,42	3,07	4,31	2,37	3,40	2,78	2,96	2,78	2,88	2,78	3,12	2,93	3,29	3,15	3,98	3,57	4,54	3,74	4,76	3,73	4,82	3,40	4,55
Crateús	2,35	3,47	2,18	3,27	2,38	3,09	2,22	3,22	2,52	3,52	2,88	4,16	2,81	4,40	2,77	4,45	3,02	4,57	3,45	4,67	3,22	4,02	3,04	4,05
Quixeramobim	2,61	4,22	2,39	3,81	2,08	3,52	1,95	2,63	2,04	2,51	1,99	2,51	2,01	2,79	2,40	3,96	2,96	4,72	3,59	5,27	3,18	5,15	2,87	4,71
Morada Nove	2,80	4,08	2,71	3,72	2,29	3,19	2,59	2,73	2,70	2,64	2,51	2,59	2,46	2,84	2,69	3,48	2,93	4,21	3,22	4,66	3,21	4,70	3,01	4,42
Iguatu	2,68	3,00	2,52	2,98	2,62	2,73	2,62	3,00	3,07	3,66	3,03	4,28	3,59	4,65	3,46	4,58	3,48	4,75	3,42	3,95	2,92	3,21	3,09	3,07
Barbalha	3,28	2,44	3,29	2,76	2,84	2,54	3,36	2,81	3,58	2,96	3,50	3,18	3,62	3,30	3,24	3,27	3,61	3,27	3,48	3,04	3,65	2,66	2,67	2,69
Piauí																								
Parnaíba	2,93	4,65	2,78	4,50	2,52	3,95	3,15	3,81	3,05	3,75	3,20	3,77	3,23	4,26	3,57	5,16	4,69	6,06	4,53	6,31	3,95	6,07	3,10	5,17
Piripiri	2,88	2,75	2,59	2,54	2,52	2,46	2,56	2,24	2,85	2,03	3,04	2,03	3,21	2,30	3,17	2,64	3,00	2,90	2,68	3,21	2,65	3,18	2,75	2,93
Terezina	3,26	2,13	3,53	2,18	3,16	2,42	4,19	2,61	3,44	2,65	3,13	2,96	2,94	3,01	2,95	3,08	3,12	3,05	2,89	2,97	4,25	2,35	3,37	2,26
S Félix do Pi	2,63	2,03	2,98	2,03	3,18	1,98	2,83	2,07	2,79	2,15	2,76	2,71	2,96	2,63	2,95	2,88	3,01	2,87	3,55	2,58	3,37	2,37	3,11	2,10
Florianópolis	2,17	2,46	2,44	2,60	2,80	3,06	2,63	3,18	2,83	3,42	2,77	3,61	2,91	3,87	2,91	3,93	3,08	3,98	2,79	3,73	2,57	2,92	2,56	2,88
Uruçui	2,14	2,97	2,21	3,13	2,10	2,79	2,35	3,05	2,60	3,15	2,53	3,41	2,63	3,59	2,32	3,34	2,01	3,10	1,92	3,20	1,83	2,54	1,88	2,53
Picos	1,79	2,71	2,10	2,89	2,13	2,53	2,43	2,93	2,52	3,23	2,71	3,77	2,59	3,98	2,51	3,78	2,42	3,61	2,64	3,02	2,33	3,00	2,24	3,04
S João do Pi	2,63	1,93	2,45	2,28	2,17	2,41	2,81	2,55	2,21	2,26	2,26	2,72	2,63	3,32	3,75	3,28	5,31	3,12	2,25	2,81	2,09	2,40	2,20	2,00
Paulistana	3,29	4,79	3,10	5,04	3,34	4,80	3,03	4,94	3,50	5,26	3,90	5,70	4,15	6,14	4,18	6,36	4,31	6,66	3,70	6,29	3,25	5,24	3,64	4,78
B Jesus do Pi	2,53	2,42	2,83	2,27	2,90	2,12	2,89	2,65	2,97	2,56	2,66	2,68	2,78	2,64	2,69	2,62	2,54	2,75	2,40	2,75	2,45	2,78	2,63	2,52
Caracol	2,52	3,33	2,85	3,66	2,85	3,34	2,70	3,25	3,09	3,39	2,46	3,86	2,36	4,05	2,13	4,05	2,54	4,35	2,57	4,41	2,60	4,15	2,35	3,38

	Maranhão																							
Turiação	2,68	4,11	2,49	3,93	2,56	3,79	2,75	3,32	2,75	3,24	2,79	3,35	3,10	3,70	3,74	4,30	3,84	4,51	3,76	4,67	3,41	4,57	2,95	4,43
São Luiz	2,88	3,35	2,74	3,31	2,60	3,23	2,68	2,84	3,10	2,61	2,97	2,66	3,15	2,90	3,12	3,21	3,35	3,64	3,31	3,76	3,18	3,68	2,78	3,60
Zé doca	2,74	3,30	2,49	3,43	2,37	3,07	2,44	2,56	2,49	2,51	2,26	2,40	2,23	2,61	2,62	2,83	2,81	3,45	2,86	3,61	2,97	3,71	2,83	3,69
Chapadinha	3,09	3,18	3,13	3,18	3,02	3,00	3,15	2,61	3,11	2,48	3,09	2,67	3,18	2,60	3,08	3,13	3,15	3,33	3,11	3,61	3,02	3,55	3,08	3,56
Bacabal	2,30	2,30	2,40	2,24	2,33	2,27	2,25	1,83	2,38	2,10	2,14	1,52	1,98	1,59	3,10	2,25	3,59	2,54	3,13	2,67	2,83	2,56	2,89	2,56
Caxias	2,80	2,62	2,50	2,56	2,54	2,73	2,42	2,96	2,47	3,10	2,26	3,42	2,37	3,63	2,51	3,68	2,78	3,59	2,84	3,45	3,29	3,04	2,83	3,01
Imperatriz	2,53	2,42	2,40	2,41	2,53	2,64	2,16	2,67	2,22	2,81	2,37	3,18	2,42	3,42	2,62	3,31	3,33	3,00	2,75	2,73	2,25	2,50	2,44	2,69
Barra d Corda	2,77	2,35	2,66	2,52	2,56	2,76	2,92	2,96	3,24	2,95	3,40	3,36	2,94	3,19	3,17	3,26	3,25	3,03	3,14	2,79	3,01	2,56	2,88	2,79
Colinas	2,31	2,13	2,22	2,14	2,10	2,38	2,37	2,70	2,30	2,80	2,36	3,18	2,51	3,20	2,50	3,30	2,82	3,03	2,60	2,80	2,61	2,22	1,97	2,12
Carolina	2,40	2,16	2,25	2,20	2,31	1,99	2,20	1,92	2,29	1,91	2,24	2,72	2,28	2,94	2,42	2,89	2,32	2,97	2,07	2,64	2,27	2,30	2,09	2,24
Alt Paranaíba	2,08	2,19	2,32	2,35	2,38	2,26	2,35	2,14	2,55	2,10	2,83	1,63	2,21	2,60	2,64	2,43	2,65	2,68	2,16	2,42	2,37	2,35	2,15	2,37
	Bahia																							
Remanso	2,96	4,23	2,86	4,40	3,73	4,50	3,38	4,62	3,47	4,24	3,99	4,63	4,11	4,75	3,98	4,91	3,58	5,24	3,26	5,21	3,25	4,77	3,08	4,98
Paulo Afonso	2,61	3,82	2,41	3,69	2,51	3,07	2,89	3,12	2,91	3,14	2,77	3,47	2,72	3,57	3,04	4,06	3,34	4,61	3,35	4,79	3,01	4,54	2,62	4,16
Ipietuba	2,73	2,78	3,11	2,99	3,34	2,78	2,73	2,95	3,15	3,26	3,03	3,57	3,32	3,60	2,89	3,74	3,03	3,67	2,96	3,36	3,11	2,89	2,99	2,94
Monte Santo	3,17	3,27	2,91	3,36	3,14	3,14	2,68	3,10	2,67	3,00	2,64	3,16	2,63	3,29	3,04	3,39	3,26	3,69	3,40	3,67	3,52	3,62	3,03	3,26
Barra	2,21	2,91	2,50	3,03	2,65	2,77	2,16	2,73	2,30	2,36	2,52	2,86	2,64	2,94	2,64	3,24	2,89	3,67	2,68	3,61	2,51	3,49	2,42	3,36
Irecê	3,03	3,37	3,05	3,65	3,06	3,29	3,07	3,42	3,34	3,83	3,15	4,22	3,30	4,27	3,41	4,26	3,61	4,28	3,53	4,22	3,55	3,70	3,08	3,45
Jacobina	2,86	4,22	2,85	4,37	2,58	4,21	3,14	3,96	3,31	3,93	3,52	4,06	3,37	4,25	3,18	4,60	3,21	4,97	2,98	5,19	2,85	4,67	3,12	4,01
Serrinha	2,66	3,60	2,66	3,48	2,57	3,30	2,76	3,19	2,43	2,89	2,74	2,81	2,55	2,83	2,59	3,25	2,94	3,82	3,45	4,23	3,71	4,41	2,83	4,08
Salvador	3,38	2,76	3,48	2,68	3,49	2,61	3,26	2,65	2,46	2,68	2,34	2,65	2,47	2,62	2,90	2,62	3,54	2,75	3,30	2,81	3,30	3,03	3,49	2,94
Barreiras	3,38	3,11	3,28	3,04	3,42	3,08	3,06	2,89	3,64	2,85	3,42	2,81	3,60	2,97	3,25	3,16	3,18	3,23	3,09	3,15	3,26	3,23	3,40	3,20
Lençóis	2,59	1,90	2,32	1,94	2,58	1,92	2,00	2,05	2,21	1,91	2,14	1,99	2,10	1,90	2,17	2,09	2,56	2,08	2,60	2,14	2,73	1,94	2,35	1,72
Itaberaba	2,24	2,90	2,25	3,12	2,27	2,69	2,02	2,54	2,29	2,89	2,11	2,95	2,35	3,12	2,62	3,46	2,59	3,73	2,52	3,75	2,26	3,55	2,32	3,66
Alagoinhas	2,60	3,25	2,31	3,40	2,68	3,06	2,58	3,06	2,62	3,07	2,59	3,02	2,60	3,16	2,65	3,18	2,80	3,41	2,96	3,50	2,91	3,56	2,73	3,65
Correntina	2,12	2,16	2,69	2,44	2,94	2,13	2,49	2,66	2,16	2,76	2,08	2,91	2,30	3,07	2,06	3,11	2,10	2,76	2,29	2,62	2,12	2,27	2,17	2,09
B Jesus Lapa	2,86	2,03	3,50	2,46	3,23	2,27	2,80	2,37	3,03	2,33	2,83	2,75	2,88	2,52	2,65	2,62	3,02	2,56	2,93	2,63	2,88	2,33	2,69	2,21
Jaguaquara	2,83	2,76	2,63	2,76	2,90	2,44	2,68	2,44	2,78	2,39	2,87	2,38	2,43	2,42	2,93	2,52	3,20	2,82	3,29	2,99	3,29	3,05	2,96	3,06
Caetitê	2,06	3,81	2,65	5,47	2,42	4,79	2,30	5,26	2,40	5,64	2,06	5,52	2,35	5,59	2,33	5,52	2,86	6,25	2,63	5,93	2,44	4,95	2,14	4,02
Vitor/Conquista	2,86	2,97	3,20	3,33	3,07	3,09	2,80	2,99	2,85	3,02	2,69	2,98	2,67	3,02	3,08	3,34	3,30	3,65	3,65	3,64	3,04	3,37	2,81	3,36
Ilhéus	3,60	3,03	3,96	3,15	3,35	3,18	2,85	4,22	3,51	3,72	2,91	4,04	2,83	3,80	2,38	3,59	2,46	3,70	2,95	3,66	2,61	4,50	2,56	3,29
Carinhana	2,22	2,34	2,65	2,86	2,57	2,59	2,51	2,74	2,45	2,57	2,33	2,85	2,33	2,95	2,51	3,33	2,66	3,34	2,58	3,20	2,45	2,66	2,56	2,44
Guaratinga	2,49	3,03	2,52	2,71	3,08	2,66	3,25	2,72	2,94	2,41	2,32	2,10	2,78	2,46	3,19	2,57	2,45	2,84	2,64	3,03	2,86	3,27	3,06	2,94
Caravelas	2,10	3,72	1,88	3,18	1,83	3,22	1,90	3,21	1,83	2,77	1,97	2,62	1,82	2,70	1,93	3,02	2,05	3,56	2,15	3,94	2,49	4,39	2,29	4,05

Tabela 3: a) Parâmetros de forma; e b) de escala da distribuição de Weibull das localidades estudadas.

Com base nos resultados da Tabela 4 e Figura 4 (a – l) conclui-se que os meses com maior potencial eólico associado à DP são agosto, setembro e outubro, com DPMM respectivamente iguais a 20,55 W m⁻², 25,14 W m⁻² e 25,02 W m⁻². Os de menor potencial eólico foram os meses de março, abril e maio, com DPMM iguais a 10,50 W m⁻², 9,45 W m⁻² e 10,72 W m⁻², respectivamente. A mencionada figura revela a existência de quatro regiões com destacado potencial. Essas áreas correspondem às mesma áreas destacadas quando da análise da DPMA, e uma quinta área, localizada no Estado de Sergipe, aparece com destaque nos meses de janeiro a março.

Os resultados obtidos sugerem haver grande influência da orografia e sistemas locais, sobre o potencial da Região, vez que era esperado haver um forte gradiente de DPMA entre a costa leste do NEB e o seu interior, o que não foi observado no presente estudo. Há que ser registrado que a velocidade do vento medida a 10 m é fortemente influenciada pela localização do sensor de velocidade, particularmente no que concerne à existência de obstáculos próximos ao anemômetro

e/ou anemógrafo, circulação secundária, orografia e outros. Ademais, existem certas limitações instrumentais que não podem ser ignoradas, como a obtenção da média horária do vento, com base em leituras anemográficas. De qualquer modo, os resultados obtidos possibilitam identificar que estando sendo considerada apenas a direção predominante do vento em cada local, a energia integrada em 24 horas na área de maior potencial é da ordem de 4,3 MJ m⁻².

Na Tabela 4 são apresentados os valores da DPMM de todos os meses e localidades estudadas. Como pode ser observado, dentre as localidades do Rio Grande do Norte, Macau foi a que apresentou maior potência eólica associada à direção predominante, com média anual de 41,27 W m⁻². Ademais, a DPMM nesse mesmo local chegou a atingir, no mês de agosto, 92,33 W m⁻². No Estado da Paraíba, Campina Grande e São Gonçalo foram as localidades que apresentaram o maior e o menor potencial eólica, com valores da DPMA iguais a 29,32 W m⁻² e 8,27 W m⁻², respectivamente. Destaque-se o potencial verificado em João Pessoa, com DPMA de

Localidades	Meses												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Rio Grande do Norte													
Apodi	1,7	2,1	2,8	4,2	5,2	8,3	11,1	10,2	8,3	3,6	1,4	0,8	5,0
Macau	11,5	10,8	20,0	33,3	47,3	51,6	68,4	92,3	81,5	47,2	18,1	13,2	41,3
Natal	22,6	31,5	24,1	29,4	36,1	36,7	48,0	59,7	64,6	67,1	33,2	33,5	40,5
Ceará Mirim	18,5	21,5	19,7	25,2	24,6	22,7	33,7	39,0	50,1	47,9	34,3	30,3	30,6
Cruzeta	21,9	14,8	8,9	5,0	4,1	5,1	6,2	13,0	28,9	34,0	36,8	33,9	17,7
Paraíba													
São Gonçalo	8,2	5,5	3,4	2,2	1,8	2,7	3,3	6,9	16,3	19,2	16,3	13,5	8,3
Patos	25,8	24,5	11,7	9,0	11,0	10,5	14,4	27,5	43,7	59,4	45,3	35,6	26,5
Monteiro	22,7	14,7	9,4	5,1	1,0	1,3	0,1	1,2	4,3	23,3	41,3	31,4	13,0
Campina Grande	40,9	39,2	26,2	15,2	8,9	7,4	7,0	13,2	28,3	50,4	62,6	52,7	29,3
João Pessoa	18,8	19,5	10,2	15,8	17,3	20,0	25,1	21,8	28,4	32,1	22,6	27,8	21,6
Pernambuco													
Ouricuri	7,0	9,1	5,4	8,5	11,0	23,6	30,7	33,5	37,4	23,8	12,8	8,1	17,6
Triunfo	2,4	4,8	3,6	7,7	15,4	29,6	38,2	28,0	19,4	8,2	0,8	1,2	13,3
Surubim	47,7	38,2	22,8	17,4	15,0	12,1	15,7	23,4	35,3	46,1	57,5	48,6	31,7
Arcoverde	6,0	8,7	5,8	6,5	9,6	15,0	15,6	22,6	23,8	20,0	7,7	7,2	12,4
Cabrobó	16,2	23,1	12,6	12,5	18,0	32,4	44,5	63,6	71,1	50,3	27,9	19,3	32,6
Garanhuns	13,8	15,6	11,9	14,5	15,9	19,5	23,6	24,3	23,7	15,0	4,4	7,5	15,8
Recife	3,7	5,5	6,5	8,7	12,1	19,7	22,8	23,4	22,5	13,2	1,8	5,8	12,1
Petrolina	20,6	28,8	20,7	21,4	34,0	48,4	55,5	55,5	61,5	50,0	33,0	25,1	37,9
Alagoas													
Palmeira Índios	32,9	19,1	14,5	8,1	3,4	3,4	3,4	6,3	12,9	32,2	49,0	43,4	19,0
Maceió	2,5	4,3	4,0	4,1	6,3	10,7	10,3	12,3	12,8	9,5	1,0	7,3	7,1
Coruripe	27,7	5,7	19,3	6,5	4,9	5,2	3,3	8,6	14,2	21,3	16,0	27,5	13,4
Sergipe													
Aracaju	18,3	26,5	19,7	18,0	27,6	33,0	38,0	36,0	33,5	21,8	7,5	17,2	24,8
Propriá	33,4	25,8	19,3	11,9	4,8	6,9	5,7	10,6	14,9	17,4	27,2	34,3	17,7
Ceará													
Acarau	51,7	33,3	25,5	19,5	22,0	29,7	42,6	86,8	121,5	138,3	125,2	75,9	64,3
Sobral	31,9	19,2	6,3	3,8	1,7	1,6	5,2	10,7	20,2	34,1	36,0	37,1	17,3
Fortaleza	20,3	19,9	9,0	8,4	7,0	8,4	13,1	26,5	31,2	37,8	26,2	27,5	19,6
Guaramiranga	32,6	34,4	31,5	24,0	28,2	30,8	33,0	32,5	61,0	64,7	56,8	43,2	39,4
Jaguaruana	19,7	15,5	7,6	3,9	3,2	4,3	5,5	12,7	21,7	31,2	32,1	24,4	15,1
Crateús	3,7	3,3	3,4	4,4	6,1	12,9	18,8	19,5	16,1	7,5	2,4	2,5	8,4
Quixeramobim	27,5	17,3	12,7	4,8	2,7	1,8	3,8	12,5	21,9	35,3	37,4	31,0	17,4
Morada Nove	20,2	9,5	4,5	2,0	1,6	1,3	2,5	6,1	16,0	28,5	32,6	25,8	12,6
Iguatu	1,1	2,1	1,0	3,1	9,2	15,0	22,5	16,3	9,8	1,2	0,6	0,7	6,9
Barbalha	0,3	0,5	0,5	1,5	3,6	7,4	9,0	8,7	6,7	2,3	0,6	0,8	3,5
Piauí													
Parnaíba	24,6	22,2	13,8	12,2	12,6	14,2	19,6	39,3	73,5	73,7	63,7	40,1	34,1
Piripiri	2,6	1,8	2,0	1,0	0,6	0,6	1,1	2,0	3,2	5,5	5,2	2,9	2,4
Terezina	0,2	0,2	0,4	0,6	1,5	3,8	4,3	4,3	2,8	1,7	0,5	0,3	1,7
São Félix Piauí	0,7	0,6	0,7	0,9	1,3	5,6	4,5	5,2	3,7	1,1	0,5	0,5	2,1
Floriano	0,9	1,1	2,2	2,7	4,1	5,6	11,1	10,5	13,1	4,1	1,1	0,9	4,8
Uruaqui	4,0	4,6	4,1	5,4	6,4	10,3	11,2	10,6	10,8	6,7	2,2	2,0	6,5
Picos	2,3	2,9	1,6	4,5	8,5	15,9	21,2	17,9	17,2	4,7	3,5	4,0	8,7
São João do Piauí	0,2	0,2	0,4	0,5	0,3	0,8	0,8	0,7	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4
Pernambuco													
Paulistana	15,5	23,8	24,0	28,7	51,8	78,3	105,6	108,1	111,5	75,6	26,5	13,7	55,3
Bom Jesus Piauí	1,6	1,1	0,9	2,6	3,0	4,1	3,7	2,4	2,2	2,1	2,3	1,6	2,3
Caracol	6,2	7,4	4,6	3,8	3,6	6,9	8,4	12,2	18,7	19,3	11,2	6,2	9,0

Maranhão													
Turiação	14,8	12,6	9,0	6,5	6,2	7,7	10,7	19,7	37,6	29,8	29,9	24,7	17,4
São Luiz	9,5	7,5	5,7	2,8	1,6	1,7	3,0	7,8	17,6	20,5	17,3	16,2	9,3
Zé doca	5,0	6,4	4,1	1,6	1,2	0,9	1,6	3,1	8,0	11,8	13,1	10,3	5,6
Chapadinha	4,2	4,4	3,0	1,7	1,3	1,1	1,6	2,9	5,4	8,2	8,2	8,6	4,2
Bacabal	1,3	0,9	1,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,9	2,2	3,4	3,5	2,1	1,4
Caxias	1,4	1,9	2,1	3,9	6,2	11,8	11,9	10,0	7,8	4,6	2,3	2,7	5,6
Imperatriz	0,8	0,9	1,4	2,5	3,0	5,0	6,9	4,6	2,2	1,0	1,0	0,9	2,5
Barra do Corda	0,9	1,3	1,8	3,2	3,5	5,1	4,2	4,4	3,2	1,4	1,0	1,6	2,6
Colinas	0,6	0,9	1,0	2,4	4,3	7,8	8,1	6,4	3,5	1,7	0,6	0,7	3,1
Carolina	0,8	0,9	0,7	0,5	0,4	1,2	3,0	3,3	4,3	2,1	1,3	1,2	1,6
Alto Paranaíba	0,9	1,1	0,8	0,4	0,1	0,0	0,1	0,4	1,0	1,2	1,0	1,2	0,7
Bahia													
Remanso	11,8	11,8	18,7	19,7	18,9	32,6	31,9	36,7	53,3	40,1	17,5	22,7	26,3
Paulo Afonso	17,9	12,4	5,6	6,8	7,9	11,8	16,7	22,7	35,2	38,4	34,3	25,7	19,6
Ipibetuba	1,7	2,1	1,5	2,3	2,4	3,0	3,7	4,4	5,3	3,0	2,1	2,2	2,8
Monte Santo	4,0	5,4	3,3	4,4	4,7	6,0	6,8	8,3	12,8	13,0	9,4	6,5	7,0
Barra	5,5	5,1	4,2	3,4	1,6	2,6	4,1	8,6	17,7	14,9	10,4	9,2	7,3
Irecê	8,6	10,6	8,4	11,9	19,1	30,8	29,5	25,4	18,3	18,8	10,5	8,6	16,7
Jacobina	24,9	31,2	24,5	18,8	21,8	25,9	32,5	40,8	52,7	54,5	31,7	17,1	31,4
Serrinha	12,7	8,6	6,5	5,5	3,3	1,7	2,9	6,3	12,6	24,6	26,1	21,5	11,0
Salvador	4,9	5,1	4,3	3,2	3,2	2,1	2,5	3,6	3,8	5,3	6,8	5,2	4,2
Barreiras	3,4	2,7	2,4	1,2	0,8	0,5	0,7	1,3	2,2	1,9	2,4	3,6	1,9
Lençóis	0,9	1,3	0,9	1,3	1,1	1,7	0,9	1,4	1,2	1,4	1,1	0,7	1,2
Itaberaba	3,0	3,9	2,1	1,8	2,4	2,5	3,5	5,9	9,8	12,3	10,2	9,1	5,5
Alagoinhas	4,5	8,0	4,2	4,4	4,6	5,3	5,4	6,2	7,7	7,6	4,4	6,0	5,7
Correntina	0,3	0,6	0,2	1,1	1,9	5,5	5,3	5,2	3,8	3,0	1,1	0,4	2,4
Bom Jesus Lapa	0,9	2,4	1,2	3,0	3,1	6,5	4,5	4,2	3,1	3,8	2,2	1,4	3,0
Jaguaquara	2,7	2,9	2,1	1,5	0,9	0,8	1,5	2,0	3,6	4,8	4,7	5,5	2,7
Caetité	9,6	22,9	20,6	35,1	53,1	52,1	51,2	64,4	76,6	60,3	29,9	12,6	40,7
V. da Conquista	4,0	8,9	5,5	3,8	5,7	5,4	6,1	7,0	11,4	10,0	6,0	6,4	6,7
Ilhéus	2,2	4,0	3,8	19,8	13,9	25,5	16,9	12,8	12,7	8,1	11,0	3,5	11,2
Carinhana	1,7	5,7	3,9	4,2	3,3	4,3	5,0	10,4	11,6	8,1	3,1	2,1	5,3
Guaratinga	2,9	1,0	1,2	0,8	0,6	0,2	0,6	1,0	1,5	2,6	3,5	3,0	1,6
Caravelas	12,6	6,4	7,4	4,2	1,8	0,8	2,4	5,5	8,8	11,0	15,3	13,6	7,5

Tabela 4: Densidade de potência eólica instantânea média horária ($W m^{-2}$) em todas as localidades selecionadas ao longo dos meses do ano

21,62 $W m^{-2}$, inferior àquele verificado em Campina Grande e Patos. Esse fato sugere uma avaliação mais pormenorizada de tais valores, que podem resultar de uma grande variabilidade da direção do vento que resulta em potencial da direção predominante não muito diferente daquela associado a outras direções do vento. Ademais, outros fatores podem estar interferindo em tal potencial, como a existência de obstáculos nas proximidades do anemógrafo utilizado.

Em Pernambuco, a DPMA variou de 37,87 $W.m^{-2}$, em Petrolina, a 12,14 $W.m^{-2}$, em Recife. Isso ocorre, possivelmente, porque o litoral do Nordeste possui ventos persistentes ao longo dos dias e meses do ano, resultantes da ação do anticiclone semipermanente do Atlântico Sul e que são responsáveis pela ocorrência dos ventos alísios na região Nordeste. O desenvolvimento urbano em torno das estações poderia está associado a tais discrepâncias. Ao nível mensal, a maior DPMM foi registrada no mês de setembro em Petrolina.

No Estado de Alagoas, verificou-se que o maior e

menor potencial eólico ocorreram em Palmeira dos Índios, com DPMA = 19,04 Wm^{-2} , e Maceió, onde a DPMA foi igual a 7,09 Wm^{-2} . Mais uma vez se constata que o potencial eólico da direção predominante no litoral foi menor do que aquele obtido no interior do Estado. Já em Sergipe existem apenas duas localidades com registros anemométricos, sendo que o potencial eólico maior se localizou no litoral, mais precisamente em Aracaju, mas com uma DPMA = 24,76 $W m^{-2}$, menor ainda que o verificado em João Pessoa.

No Estado do Ceará a DPMA variou de 64,32 $W m^{-2}$, obtido em Acaraú, a 6,87 $W m^{-2}$, registrado em Iguatu. Em Fortaleza a maior DPMM ocorreu no mês de outubro, com 37,82 $W m^{-2}$, e apresentou DPMA igual a 19,61 $W m^{-2}$. No Piauí, de maneira geral, foram obtidos potenciais muito baixos, exceto em Paulistana, que apresentou uma DPMA = 55,25 $W m^{-2}$ e Parnaíba, com DPMA = 34,13 $W m^{-2}$. Nas demais localidades desse Estado a DPMA foi inferior aos 10,00 $W m^{-2}$. Situação semelhante foi verificada no Estado

do Maranhão, onde a maior potência eólica foi registrada em Turiaçu, com $DPMA = 17,43 \text{ W m}^{-2}$. Nesta localidade a DPMM alcançou o seu máximo valor em setembro, com $DPMM = 37,60 \text{ W m}^{-2}$. Nas demais localidades deste Estado a DPMA foi inferior $10,00 \text{ W m}^{-2}$; portanto, com um potencial eólico muito baixo. Em Parnaíba a DPMA foi de apenas $0,69 \text{ W m}^{-2}$, sendo a menor dentre todas as 77 localidades nordestinas estudadas.

No Estado da Bahia, a DPMA alcançou o seu máximo em Remanso, com $26,29 \text{ W m}^{-2}$. Por sua vez, a localidade de menor DPMA foi Caetitê, com apenas $1,16 \text{ W m}^{-2}$. Tchinda et al. (2000) constataram que no norte de Camarões a DPMA era, em geral, igual ou superior a 15 W m^{-2} , sendo que em outubro ela era de $11,4 \text{ W m}^{-2}$ e em março alcançou $29,27 \text{ W m}^{-2}$. Aqueles pesquisadores concluíram que a energia solar disponível naquele país era bem maior que a energia eólica.

As localidades que apresentaram valores mensais de densidade da potência eólica média (DPEM) superiores a 100 W m^{-2} foram Paulistana - PI (julho, agosto e setembro) e Acaraú - CE (setembro, outubro e novembro). Nesta última localidade a DPMM alcançou, no mês de outubro, $138,30 \text{ W m}^{-2}$. Nfaoui et al. (1998) observaram que em Taza, Marrocos, a DPMA foi de 900 W m^{-2} , para o nível $Z = 10$ metros, e que o mesmo aumentou em 85% quando se considerou a sua projeção a 30 metros. Já na Argélia, a DPMA variou de 37 W m^{-2} , em Skikada, a 161 W m^{-2} , em Tiaret (Merzouk, 2000). Ao avaliar o potencial eólico da Malásia, Sopian et al. (1995) observaram que o maior potencial foi obtido em Mersing, com DPMA igual a $85,615 \text{ W m}^{-2}$, à 10 metros, alcançando $119,75 \text{ W m}^{-2}$ no mês de janeiro. Já Tolun et al (1995) observaram que no noroeste da Turquia a DPMA chegou a 342 W m^{-2} , observada na localidade de Cinaralti.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a presente pesquisa permitem concluir que a direção predominante do vento no Nordeste como um todo varia de Norte a Sul, com predominância das direções Leste e Sudeste, o que já fora observado em outros estudos na região, e que a distribuição de Weibull representou adequadamente a distribuição de frequências da velocidade do vento. Há áreas com grande potencial associado à DP, particularmente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Sergipe. Os meses de maior potencial associado à direção predominante situam-se, em geral, entre junho e dezembro.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa, concedida ao primeiro autor; ao Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA da UFPB e ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, pelos dados usados na pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOWITZ, M; STEGUN, I. A. Handbook of mathematical functions. Editora Dover, 1972, 1046p.
- BANDEIRA, M. M. Regionalização do regime eólico no Nordeste do Brasil. Campina Grande, PB, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba (Dissertação de Mestrado em Meteorologia). 1990, 62p.
- BARNES, S.L. A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, USA. 3, 396-409. 1964.
- BASTOS, E. J. B.; CEBALLOES, J. C; SOBRAL, Z. R. Zoneamento eólico do Nordeste. Relatório Técnico CHESF/UFPB. Campina Grande, 1986, 70p.
- BASTOS, E. J. B.; CEBALLOS, J. C; SOBRAL, Z. R; SIMÕES, F. Distribuição estatística da energia eólica no Nordeste. Relatório Final CHESF/BRASCEP/ ATECEL/UFPB/NMA. Campina Grande, 1987, 48p.
- CORREIA, A. A. Padrões de variabilidade do vento à superfície no Nordeste do Brasil. Campina Grande, PB. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba (Dissertação de Mestrado em Meteorologia). 66p, 2000.
- GALVANI, E., KLOSOWSKI, E.S., CUNHA, A.R.DA. Caracterização da direção do vento predominante em Maringá, PR. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.81-90, 1999.
- HENESSEY, JR. J.P. Some aspects of wind power statistic. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 16, n. 2, p. 119-128, 1977.
- JUSTUS, C. G; MIKAIL, A. Height variation of wind speed and wind distribution. *Geophysical Research*, v. 3, p. 261-264, 1976.
- JUSTUS, C. G; HARGRAVES, W. R; MIKAIL, A; GRABER, D. Methods for estimating wind speed frequency distributions. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 17, n. 3, p. 350-353, 1978.
- MERZOUK, N. K. Wind energy potential of Algeria. *Renewable Energy*, v. 21, p 553-562, 2000.
- NFAOUI, H; BURET, J; SAYIGH, A. A. M. Wind characteristics and wind energy potential in Marrocos. *Solar Energy*, v. 63, n. 1, p. 51-60, July 1998.

SILVA, B. B. DA; ALVES, J. J. A; CAVALCANTI, E.P.; VENTURA, E.D. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, 2002.

SIMELLI, M. E. *Geoatlas*. São Paulo: Editora Ática. 1991.

SOPIAN, K; OTHMAN, M. Y. H; WIRSAT, A. The wind energy potential of Malaysia. *Renewable Energy*, v. 6, p. 1005-1016, 1995.

SOUZA, A; 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. 109-114, 1997.

TCHINDA, R; KENJIO, J; KAPTOUOM, E; NJOMO, D. Estimation of mean wind energy available in far north Cameroon. *Energy Conversion & Management*, v. 41, p. 1917-1929, 2000.

TOLUN, S; MENTS, S; ASLAN, Z; WUKSELEN, M. A. The wind energy potential of Gokçeada in the northern aegean sea. *Renewable Energy*, v. 6, p. 679-685, 1995.