



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II

**DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PÓS - GRADUAÇÃO
EM METEOROLOGIA**

POTENCIAL EÓLICO NA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO NO NORDESTE DO BRASIL

AUTOR: JOSE JAKSON AMANCIO ALVES

PUBLICAÇÃO DCA-CMM TD Nº 04 - 2001

CAMPINA GRANDE

JULHO - 2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

**POTENCIAL EÓLICO NA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO
NO NORDESTE DO BRASIL**

Jose Jakson Amancio Alves

Campina Grande – PB
Julho/2001

**POTENCIAL EÓLICO NA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO
NO NORDESTE DO BRASIL**

JOSE JAKSON AMANCIO ALVES

**POTENCIAL EÓLICO NA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO
NO NORDESTE DO BRASIL**

**Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Meteorologia da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.**

**Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala
Sub-área: Climatologia Estatística**

**Orientador: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva
Universidade Federal da Paraíba**

**Co-orientador: Prof. Dr. Renilson Targino Dantas
Universidade Federal da Paraíba**

**Campina Grande – PB
Julho/2001**



A474p

Alves, José Jakson Amâncio.

Potencial eólico na direção predominante do vento no nordeste do Brasil / José Jakson Amâncio Alves. - Campina Grande, 2001.

125 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001.

"Orientação : Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, Prof. Dr. Renilson Targino Dantas".

Referências.

1. Vento - Velocidade e Direção. 2. Potencial Eólico - Nordeste - Brasil. 3. Potência Eólica. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Silva, Bernardo Barbosa da. II. Dantas, Renilson Targino. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título


CDU 551.55(812/813)(043)

JOSÉ JAKSON AMANCIO ALVES

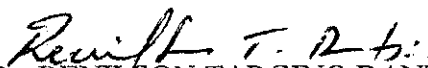
POTENCIAL EÓLICO NA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO NO NORDESTE
DO BRASIL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/7/01

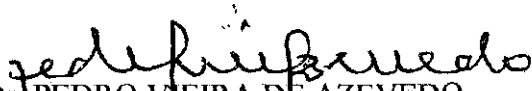
BANCA EXAMINADORA



Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Universidade Federal da Paraíba



Dr. RENILSON TARGINO DANTAS
Universidade Federal da Paraíba



Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Universidade Federal da Paraíba



Dr. ENILSON FATMEIRA CAVALCANTI
Universidade Federal da Paraíba

DEDICO

À **DEUS**, que é a fonte dos elementos: terra, água, luz e ar, que permite a vida na Terra.

A minha **MÃE**, pelo exemplo da luta e da dedicação social-religiosa em prol dos mais humildes.

Aos meus **FILHOS**; Jaylanne Dantas Alves, Yrisllanea Dantas Alves e Jakssuel Sebastian Dantas Alves, para que toda essa história na busca desse meu objetivo não seja entendido como sofrimento, mas sim, que possa servir de exemplo e de motivação para a construção de suas histórias.

A minha **ESPOSA**, Iris Dantas Aguiar Alves, pelo companheirismo de todos os momentos.

À **TODOS**, pois são diversas as pessoas com os quais encontrei que transmitiram crédito, esperança, força e fé durante essa fase da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À **DEUS**, pelas providências divinas que foram fundamentais para a conclusão dessa fase.

À **Eyres Diana Ventura Silva**, pela contribuição na programação e no apoio que foram essenciais para a conclusão desse trabalho.

À **UFPB**, particularmente nas pessoas dos professores **Dr. T. V. Ramana Rao**, **Dr. Renilson Targino Dantas**, **Dr. Vicente P. R. da Silva**, **Dr. Manoel Francisco Gomes Filho** e **Dr. Enio Pereira de Sousa**, que além de professores foram verdadeiros educadores, compreendendo e orientando no decorrer do Curso de Mestrado em Meteorologia.

À **Secretária** do Curso de Mestrado em Meteorologia da **UFPB**, **Divanete Cruz Rocha**, pelo incentivo e força na luta do dia-a-dia para a conclusão dessa fase em minha vida.

Ao Prof. Dr. **Bernardo Barbosa da Silva**, pela orientação, colaboração e apoio no decorrer do Curso e deste Trabalho.

Aos **Colegas** do Curso de Mestrado em Meteorologia da **UFPB**, em especial àqueles que estiveram próximos nesse final de caminhada.

Aos meus **Pais, Irmãos, Sobrinhos, Amigos, Filhos, Esposa** e demais **Familiares** pelo incentivo, apoio e compreensão.

Ao **CENTRO UNIVERSITÁRIO DE JOÃO PESSOA – UNIPÊ**, nas pessoas dos professores do Curso de Geografia e nos que fazem a Direção dessa renomada Instituição.

À **Todos**, que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

**É graça divina começar bem.
É graça maior, persistir na
caminhada certa. Mas a graça
das graças é não desistir.**

D. Helder Câmara

SUMÁRIO	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE ABREVIATURAS	
RESUMO	
CAPÍTULO I	
1. INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II	
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
CAPÍTULO III	
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1 Disponibilidade de dados	13
3.2 O modelo de Weibull	19
3.2.1 Método dos mínimos quadrados	20
3.2.2 Método dos momentos	21
3.2.3 Teste de ajustamento	22
3.3 Cálculo da potência eólica	23
CAPÍTULO IV	
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1 Análise da velocidade média e direção predominante	25
4.2 Análise dos parâmetros da distribuição de Weibull	36
4.3 Análise do teste de ajustamento	80
4.4 Análise da potência eólica anual no Nordeste	92
CAPÍTULO V	
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
7. ANEXOS	104

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 3.1	Localização Geográfica das estações climatológicas utilizadas na pesquisa	15
Figura 4.1	Direção predominante anual para os Estados do Nordeste do Brasil	34
Figura 4.2	Velocidade horária média dos meses da ocorrência da direção predominante anual (VDP)	35
Figura 4.3	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de janeiro para a região Nordeste do Brasil	39
Figura 4.4	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de janeiro para a região Nordeste do Brasil	40
Figura 4.5	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de São Luiz referente ao mês de setembro	82
Figura 4.6	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Salvador referente ao mês de agosto	83
Figura 4.7	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Recife referente ao mês de julho	84
Figura 4.8	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Parnaíba referente ao mês de junho	85
Figura 4.9	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Maceió referente ao mês de maio	86
Figura 4.10	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de João Pessoa referente ao mês de abril	87
Figura 4.11	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Fortaleza referente ao mês de março	88
Figura 4.12	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Cruzeta referente ao mês de fevereiro	89

Figura 4.13	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Campina Grande referente ao mês de janeiro	90
Figura 4.14	Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Aracaju referente ao mês de outubro	91
Figura 4.15	Densidade de potência eólica média anual em W/m^2 a partir de dados de vento à 10 metros no período 1977 a 1981, para o Nordeste Brasileiro	96
Figura 7.1	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de fevereiro para a região Nordeste do Brasil	104
Figura 7.2	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de fevereiro para a região Nordeste do Brasil	105
Figura 7.3	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de março para a região Nordeste do Brasil	106
Figura 7.4	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de março para a região Nordeste do Brasil	107
Figura 7.5	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de abril para a região Nordeste do Brasil	108
Figura 7.6	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de abril para a região Nordeste do Brasil	109
Figura 7.7	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de maio para a região Nordeste do Brasil	110
Figura 7.8	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de maio para a região Nordeste do Brasil	111
Figura 7.9	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de junho para a região Nordeste do Brasil	112
Figura 7.10	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de junho para a região Nordeste do Brasil	113
Figura 7.11	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de julho para a região Nordeste do Brasil	114
Figura 7.12	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de julho para a região Nordeste do Brasil	115
Figura 7.13	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de agosto para a região Nordeste do Brasil	116
Figura 7.14	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de agosto para a região Nordeste do Brasil	117
Figura 7.15	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de setembro para a região Nordeste do Brasil	118

Figura 7.16	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de setembro para a região Nordeste do Brasil	119
Figura 7.17	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de outubro para a região Nordeste do Brasil	120
Figura 7.18	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de outubro para a região Nordeste do Brasil	121
Figura 7.19	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de novembro para a região Nordeste do Brasil	122
Figura 7.20	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de novembro para a região Nordeste do Brasil	123
Figura 7.21	Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de dezembro para a região Nordeste do Brasil	124
Figura 7.22	Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de dezembro para a região Nordeste do Brasil	125

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 4.1	Distribuição estacional da direção predominante do vento, da velocidade horária média anual (VMA), da velocidade horária média dos meses da ocorrência da direção predominante anual (VDP) e direção predominante anual (DP)	30 a 33
Tabela 4.2	Média e desvio padrão da velocidade horária da direção predominante, coeficientes de forma (a) e escala (b) em m/s de Weibull segundo o Método dos Momentos (MM) e o Método Gráfico (MQ), e densidade de potência eólica média (W/m^2) em MM e MQ	41 a 79
Tabela 4.3	Valores dos desvios máximo (D_m) observados entre as distribuições Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos, D_m (MM), dos Mínimos Quadrados, D_m (MQ), e níveis críticos correspondentes aos níveis de significância 0,05, D_c ($\alpha = 0,05$) e 0,01, D_c ($\alpha = 0,01$) para diferentes localidades do Nordeste do Brasil	81

LISTA DE QUADROS

Pág.

- | | | |
|-------------------|---|---------|
| Quadro 3.1 | Codificação usada na classificação da direção horária predominante | 14 |
| Quadro 3.2 | Estações climatológicas do Nordeste com registros anemográficos no quinquênio 1977 - 1981 | 16 a 19 |

LISTA DE ABREVIATURAS

CBEE	Centro Brasileiro de Energia Eólica
PRODEENE	Programa Emergencial Prioritário de Desenvolvimento de Energia Eólica do Nordeste
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VMA	Velocidade média horária (base anual) em m/s
VDP	Velocidade horária dos meses de ocorrência da direção predominante anual em m/s
DP	Direção predominante
TMG	Tempo Médio Greenwich
MM	Método dos Momentos
MQ	Método dos Mínimos Quadrados ou Gráfico
DPEM	Densidade da potência eólica média

RESUMO

Neste trabalho foram utilizados dados horários de velocidade e direção dos ventos provenientes de registros de anemógrafos Universais, a 10 m de altura, de 77 estações climatológicas pertencentes ao antigo Departamento Nacional de Meteorologia, no período compreendido entre janeiro de 1977 e dezembro de 1981. O objetivo da pesquisa foi a determinação da potência média horária da direção predominante do vento. Para tanto, identificou-se a frequência relativa associada à velocidade média horária do vento na direção predominante, estimaram-se os parâmetros da distribuição de Weibull de acordo com os métodos dos momentos e gráfico, e testou-se o ajustamento do modelo de Weibull aos dados observados segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. Em função dos resultados apresentados neste trabalho, constatou-se que a direção predominante no Nordeste do Brasil é de Leste, flutuando para Sudeste e Nordeste, e que ventos mais fortes, em média 4,3 m/s, ocorreram no Estado do Rio Grande do Norte, e ventos mais fracos, em média 2,7 m/s ocorreram no Estado do Maranhão. A distribuição de Weibull mostrou-se adequada devido a consistência verificada na obtenção dos parâmetros **a** e **b**. O ajuste do método dos momentos evidenciou-se melhor que o método dos mínimos quadrados, embora a aplicação do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov apresentou, em ambos os casos, resultados satisfatórios. Os Estados do Maranhão e Rio Grande do Norte apresentaram menores e maiores potenciais eólicos respectivamente; entre as estações consideradas, em Alto Parnaíba, MA, e Acaraú, CE, foram determinados respectivamente a menor (0,022 W/m²) e a maior (138,302 W/m²) potência eólica.

ABSTRACT

Hourly mean data of wind speed and direction, measured with anemograph Fues 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 of Brazil. The main objective of the study was the determination of the wind energy power for the predominant wind direction of each selected station. To do so, the identification of the relative frequency related to the hourly mean wind speed of the predominant direction was performed. Then, the Weibull parameters, related to the hourly mean wind speed of the predominant direction at each station monthly, were estimated according to the Moment and the Graphical methods. The goodness of the fit was evaluated according to the Kolmogorov-Smirnov test. The results show that the wind predominant direction, at Northeast as a whole, was East, with variation to Northeast and Southeast. The highest wind speed values, on average 4.3 m/s, were found in Rio Grande do Norte State, while the lowest wind speed values, on average 2.7 m/s, were observed in Maranhão State. The Weibull model fitted very well to the observed frequency distribution of the wind speed data used in this research, mainly due the consistency of the Weibull parameters estimation. The lowest and the highest wind energy potential were observed at Maranhão and Rio Grande do Norte States, respectively. At Acaraú, CE, was observed the highest wind energy potential, with 138.30 W/m². On the other hand, the lowest wind energy potential was register at Aalto Parnaíba, MA, with 0.02 W/m².

CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade contemporânea diz respeito à questão energética, vez que o seu consumo tem sido cada vez mais crescente e ainda prevalece uma grande dependência dos recursos não renováveis, que tem no petróleo a sua principal fonte de matéria prima. Este, por sua vez, apresenta reservas mundiais que, a persistir a atual taxa de consumo, poderão se esgotar dentro de mais quatro ou cinco décadas.

Algumas nações, antevendo as graves conseqüências que essa dependência do petróleo já tem proporcionado, têm dedicado alguma atenção aos projetos relacionados com a utilização de fontes de energia alternativas e renováveis. Dentre tais fontes uma tem recebido grande destaque: a energia eólica, notadamente por ser renovável, limpa e de custo baixo, quando comparada com outras fontes renováveis, como a solar, por exemplo. Quanto à relevância do seu caráter não poluente, considere-se que segundo dados extraídos de Garcia et al. (1998), a geração de 1.649 GWh de energia extraída dos ventos, em

substituição a outras fontes convencionais, evitaria o lançamento de 1,3 Mton de CO₂ na atmosfera terrestre, o que representaria contribuição de grande importância para o ambiente global.

No passado acreditava-se que o vento era importante apenas para construtores de navios, desenhistas de pontes e arquitetos. Hoje em dia, a análise do vento não só fornece informações extremamente valiosas para engenheiros no campo de projetos estruturais e ambientais, mas também para pesquisadores envolvidos em estudos relacionados com energia renovável, sendo a energia do vento uma alternativa não apenas promissora, tendo já se constituído em realidade em alguns países da Europa e Estados Unidos. Há registros que apontam na atualidade a existência de mais de 30.000 turbinas eólicas de grande porte em operação no mundo, com capacidade instalada estimada em cerca de 13.500 MW. Por sua vez, no âmbito do Comitê Internacional de Mudanças Climáticas, está sendo projetada a instalação de 30.000 MW, por volta do ano 2030 (CBEE, 2001). E graças a estudos levados a efeito nos últimos 25 anos, foi possível identificar a existência de grandes potenciais eólicos na América do Norte, Ucrânia, Austrália e em diferentes áreas da Europa.

No Brasil, algumas medidas de vento, realizadas em alguns pontos do território nacional em estudos conduzidos pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), indicam existir um imenso potencial ainda não explorado no nosso país. A partir desses dados e de simulações computacionais efetuadas com modelos atmosféricos já foi possível elaborar um mapa preliminar de ventos do Brasil. A nossa capacidade instalada 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.

O Centro Brasileiro de Energia Eólica - CBEE, com o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT lançou, em 1998, a primeira versão do Atlas Eólico do Nordeste do Brasil, o que possibilitou desenvolver modelos atmosféricos, analisar dados de ventos e elaborar mapas eólicos para a região. Estudos promovidos por esse Centro dão conta que a Região Nordeste tem ventos suficientes para prover 20% de sua demanda de abastecimento elétrico, numa escala inversamente proporcional à vazão dos rios que abastecem as suas hidroelétricas. O que significa dizer que quando o nível das águas estivesse crítico e não fosse suficiente para a geração de energia elétrica, os ventos estariam na sua capacidade máxima, ideais, portanto, para mover as turbinas.

Tem sido divulgado em importantes órgãos de imprensa do Nordeste, Projeto de Lei de criação do Programa Emergencial Prioritário de Desenvolvimento de Energia Eólica do Nordeste (PRODEENE), que propõe a geração de 2.000 MWh de energia elétrica a partir de sistemas eólicos nesta Região, nos próximos dois anos, o que é ainda muito modesto se comparado com a Espanha, que havia planejado aumentar a sua capacidade para 175 MW, o que representa 630.000 MWh. Há dois anos, o governo do Marrocos projetou expandir a oferta de energia elétrica extraída dos ventos locais, para 200.000 MWh até o final do ano passado, usando geradores com potência nominal de 600 KW.

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). Estes dados já chegaram a ser utilizados em estudos de caracterização do vento que resultaram em dois trabalhos de grande importância: Potencial Eólico do Nordeste (Bastos et al., 1987) e Regionalização da Potência Eólica no Nordeste (Bandeira, 1990).

Para melhor caracterizar o vento de uma dada localidade, pesquisadores em diferentes países do mundo têm feito uso da distribuição de Weibull, por ser mais adequada. Grande parte dos estudos de caracterização do vento, no entanto, tem-se utilizado do método gráfico de estimativa dos parâmetros do modelo de Weibull. Essa técnica proporciona resultados satisfatórios em muitos casos, mas há alternativas mais precisas e que proporcionam resultados mais confiáveis, sendo o *Método dos Momentos* uma dessas alternativas.

Não obstante a existência de algumas pesquisas versando sobre o potencial eólico do Nordeste, constata-se que ainda não há estudo que tenha possibilitado a identificação de tal potencial para uma direção particular do vento. E esta é, portanto, uma informação imprescindível à instalação de uma turbina eólica de grande porte, vez que a mesma é acionada apenas pelos ventos que sopram naquela direção.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem como objetivo principal a determinação da potência eólica da direção predominante dos ventos medidas em 77 Estações Climatológicas do Nordeste no período de 1977 – 1981, que será alcançado a partir dos seguintes objetivos específicos:

- a. Identificação da frequência relativa associada à velocidade média horária do vento segundo oito direções pré-selecionadas para cada mês e estação climatológica;
- b. Estimativa dos parâmetros da distribuição de Weibull segundo o *Método dos Momentos* e o *Método Gráfico*, associada à velocidade média horária da direção predominante do vento em cada localidade;
- c. Análise do ajustamento do modelo de Weibull aos dados observados segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov; e
- d. Determinação da densidade de potência média horária associada à direção predominante do vento de cada estação selecionada.

CAPÍTULO II

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A origem dos ventos está relacionado ao aquecimento diferenciado da superfície terrestre, que resulta em gradientes de pressão e subsequente deslocamento do ar.

Estudos sobre a exploração do vento como potencial energético, têm mostrado que o seu aproveitamento depende fundamentalmente do conhecimento pormenorizado de suas características sobre a área onde serão implantadas as fazendas eólicas. Como o Nordeste brasileiro é influenciado pelos ventos alísios, e estes oscilam de intensidade e direção entre o oceano e o continente, tais estudos devem caracterizar a variabilidade do potencial existente entre a zona costeira e a zona continental.

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 as de Hennessey (1977) e Justus et al (1978). Estes últimos aplicaram o modelo de Weibull à velocidade do vento medida em mais de cem (100) 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.

Stevens & Smulders (1979) usaram diversos métodos para obter os valores dos parâmetros de Weibull: método dos momentos, método do fator padrão de energia, método de máxima verossimilhança e uso de estimativas percentuais. A comparação dos resultados dos diversos métodos não oferece discordância entre os mesmos, o que só comprova a flexibilidade no rearranjo do modelo matemático de Weibull.

Com relação aos estudos relacionados ao potencial eólico do Nordeste do Brasil pode-se destacar o trabalho de Ceballos et al (1981), que produziram um zoneamento eólico preliminar para o Nordeste brasileiro, com base em dados de cata-vento Wild coletados no período 1961 – 1970. Embora no estudo tenha sido usado o registro das medições dos horários sinóticos (12, 18 e 24 TMG), ele forneceu avaliação preliminar da média diária da energia eólica e de sua variação anual.

Por sua vez, Bastos et al (1986) realizaram um zoneamento eólico com base em dados anemográficos do período 1977 – 1981 para o Nordeste brasileiro. Naquela oportunidade foram obtidas informações importantes sobre a potência média diária em diversas épocas do ano. Naquele 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 estudo muito importante acerca da regionalização do potencial eólico do Nordeste 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. Conclui-se que o método de máxima verossimilhança foi o que proporcionou o melhor ajustamento aos dados observados, e que o método dos momentos ofereceu um ajuste muito semelhante, sendo adotado para o cômputo do potencial eólico, em virtude de sua simplicidade de aplicação.

Observa-se então que o conhecimento do regime de vento é fundamental para se estimar o possível aproveitamento do vento como energia alternativa. É importante lembrar que sendo a velocidade do vento uma variável aleatória, deve-se 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.

Assim, essas medições permitem conhecer as variações dos ventos, à superfície, o que são muito importantes para fins práticos, como o da conversão da energia eólica, pois os cursos diário e anual da velocidade do vento têm uma componente fortemente ligada à oferta da radiação solar, caracterizando a energia de vento como possuidora de alta variabilidade em espaço e tempo.

É por isso que, para o planejamento do uso adequado dos recursos eólicos, de uma região, deve-se caracterizar bem o vento, ou seja, identificar os locais de maior potencialidade eólica, quanta energia pode ser extraída nesses locais, etc., assim como o desempenho das turbinas de vento que sofrem a influência da turbulência gerada pela rugosidade da superfície e da cobertura vegetal. Tudo isso é fundamental na elaboração de um projeto de criação de uma fazenda eólica para geração de energia.

Com isso, para qualquer projeto envolvendo captação de energia eólica, torna-se necessário conhecimento completo do comportamento do vento no local escolhido, pois os ventos variam de intensidade e direção a cada instante, sendo necessário à adoção de um modelo matemático para uma análise mais precisa do vento. Faz-se então necessário a medição com precisão e qualidade. Sendo o vento representado pelo seu vetor velocidade, que, como tal, possui um módulo (ou intensidade), uma direção e um sentido, sua medição deverá fornecer, portanto, esses três elementos (Vianello & Alves, 1991). Assim, o

conhecimento desses três elementos permite uma avaliação precisa do potencial de vento em uma região, passo fundamental para o aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia.

Para Martins (1993) o conhecimento da direção predominante dos ventos, velocidades médias e possíveis fenômenos eólicos cíclicos que ocorrem localmente, fornecem informações importantes para o posicionamento de quebra-ventos, construções de estábulos, distribuição das diferentes culturas no campo e principalmente, no posicionamento e dimensionamento das torres para utilização desta fonte natural de energia.

Marques Júnior et al (1995) afirmaram que essa energia produzida pelos ventos, não exaurível e aparentemente ilimitada, destaca-se como uma alternativa de grande potencialidade. Em seus estudos, ajustaram a velocidade média mensal do vento de Botucatu - SP, ao modelo probabilístico Beta. Concluíram que o mesmo se ajustou muito bem aos dados observados e aplicaram o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Com base nos resultados do estudo, elaboraram uma tabela de probabilidade do vento para aquela localidade.

Sopian et al (1995) identificaram o potencial eólico da Malásia, com base em estudo do comportamento do vento de 10 estações. No cálculo da densidade da potência eólica mensal, usaram os parâmetros da distribuição de Weibull, que foram obtidos segundo o método gráfico. O potencial máximo obtido foi verificado em Mersing, com $85,61 \text{ W/m}^2$ a 10 metros. Nessa pesquisa os autores não levaram em consideração a direção predominante do vento para fins do potencial eólico.

Tolun et al (1995) avaliaram o potencial eólico de quatro localidades do Noroeste da Turquia, com base em três anos de registro dos dados horários da velocidade do vento dessas localidades. Foram usados vários modelos estatísticos, inclusive o de Weibull, e um algoritmo que eliminava efeitos da orografia, rugosidade e obstáculos da superfície. O potencial foi avaliado em três alturas: 10, 30 e 50 metros. Na estação NWS a potência variou de 34 a 146 W/m^2 , para altura de 10 metros e de 80 a 326 W/m^2 , a 50 metros.

Coelingh et al (1996) empreenderam uma análise pormenorizada do vento em 3 plataformas marítimas no Mar do Norte. Obtiveram estatísticas das velocidades, ciclos diários e anuais, determinação dos parâmetros de Weibull segundo o método gráfico e

analisaram, também, o comportamento do vento com a direção (30 graus). Para comparar as velocidades entre as plataformas, vez que foram obtidos à diferentes alturas, aplicaram a teoria da similaridade de Monin-Obukhov.

Scerri & Farrugia (1996) compararam o ajustamento das distribuições de Weibull e logística, a dados horários de vento da Ilha de Malta. A estimativa dos parâmetros de ambos os modelos se deu segundo o método dos mínimos quadrados. Observaram que as médias mensais de vento se aproximaram melhor daquelas obtidas com a logística. Acredita-se que o fraco desempenho da Weibull resida no método usado para o cálculo de seus parâmetros.

O potencial eólico de Campo Grande e Dourado - MT, foi investigado por Sousa & Granja (1997) a partir do registro de seis anos de dados do INMET. Obtiveram os parâmetros de Weibull para períodos semanais e mensais, com base na observação da velocidade e direção do vento medidos à 10 (dez) metros no período de 1986 a 1991, segundo o método gráfico e mais outros propostos por Justus et al (1978), como também, trabalharam com a definição de probabilidade de ocorrência da velocidade máxima proposto por Widger (1977). Concluíram que a densidade de potência média anual em Campo Grande e Dourado foi respectivamente de 40,2 W/m² e 49,8 W/m² e que o método gráfico foi o melhor método de ajuste para os parâmetros "C" e "K" de Weibull, pois apresenta os menores erros dentre os métodos apresentados por Justus et al (1976).

Mayhoub & Azzam (1997) estimaram o potencial eólico do Egito, com base em 20 anos de dados coletados em 15 estações distribuídas naquele país. Embora as medições tenham sido tomadas à 10 metros, foi estimada a energia eólica à 25 metros. Para tanto, usaram os parâmetros de Weibull, que foram obtidos através do método gráfico. Observou-se que na costa do Mar Vermelho a potência chega a ser superior aos 450 W/m², já algumas estações do Mediterrâneo apresentaram energia disponível da ordem de 150 a 200 kWh/m²/ano, enquanto que no interior os valores caíram para menos de 50 kWh/m²/ano. Para algumas estações foram comparadas as densidades de potência eólica e energia disponível segundo as observações e de acordo com os parâmetros de Weibull. Em geral os valores da densidade da potência eólica e a energia eólica obtida com os parâmetros de Weibull foram ligeiramente menores que aqueles baseados nas observações.

Sahin & Aksakal (1998) realizaram estudo acerca do potencial eólico da Arábia Saudita. Ajustaram os dados de vento às distribuições de Weibull e Rayleigh e avaliaram o desempenho de um sistema de conversão com dois eixos horizontais com dados experimentais da velocidade do vento e da distribuição obtida com dois modelos analíticos e concluíram que os resultados alcançados com os dados experimentais se aproximaram melhor àqueles gerados com o modelo de Weibull, apresentando erro relativo de apenas 3,46%. Usaram o método gráfico na estimativa dos parâmetros de Weibull.

Borhan (1998) investigou os mecanismos atmosféricos responsáveis pelo alto potencial eólico na Turquia e ilhas vizinhas. Ao mesmo tempo, quantificou a potência eólica em três localidades usando, para tanto, a distribuição de Weibull e o método dos momentos. Em Bozcoada a potência situou-se entre 120,5 a 1.410,9 W/m² (à 30 metros).

As características do vento e o potencial eólico da região considerada a mais ventilada de Marrocos, foram obtidos por Nfaoui et al (1998), ocasião em que trabalharam com dados horários de 11 estações. Concluíram que a distribuição híbrida de Weibull representou melhor os dados observados, em comparação com a forma clássica de Weibull. Com base nas características estatísticas do vento da região estudada e num aerogerador padrão, concluíram que a potência eólica da região era de 1.817 MW, o que corresponderia a um total explorável de 15.196 GWh por ano.

Garcia et al (1998) caracterizaram a velocidade e a direção do vento através da função contínua de densidade de probabilidade a partir do modelo de Weibull. Foram obtidos os parâmetros "K" e "C" para as regiões de vale e regiões montanhosas, onde identificaram que o parâmetro "C" variou bastante de acordo com a direção considerada e que ambos os parâmetros mostraram uma tendência crescente na medida que domina uma certa direção do vento. Trabalharam também com os coeficientes de assimetria e curtose, e que as diferentes direções mostraram flutuações importantes.

Torres et al (1999) apresentaram estudo pioneiro ao caracterizar o vento de acordo com sua direção. Esta foi dividida em oito classes, e para cada uma delas foi determinada a sua frequência relativa e obtidos os parâmetros da distribuição de Weibull. As análises se deram sobre um intervalo de tempo de 10 minutos, trabalho único também quanto a esse aspecto. Foram usados dados de 11 estações automáticas localizadas na região de Navarra, Espanha, no período de 1992 a 1996, inclusive. Para cada direção foram determinados sua

frequência relativa de ocorrência, os coeficientes de assimetria e de curtose, e os parâmetros de forma e escala de Weibull. Não houve caracterização da variação mensal das variáveis mencionadas.

Silva & Larroza (1999) construíram tabelas de probabilidades quinquiduais da velocidade média e da velocidade máxima do vento em Pelotas - RS. Para a velocidade média usaram uma transformação (raiz quarta) como forma de homogeneizar a variância e normalizar os dados. As probabilidades foram estimadas pela distribuição de Student para níveis de 1% a 99%.

Seguro & Lambert (2000) usaram três métodos de estimativa dos parâmetros de Weibull, quais sejam: duas variações do método de máxima verossimilhança e o método gráfico. Afirmaram eles, que o método gráfico é o mais usual em virtude de sua simplicidade. Porém, o trabalho objetivava demonstrar que o método de máxima probabilidade é o método mais apropriado para estimar os parâmetros de Weibull nos dias atuais graças a utilização massiva dos computadores pessoais. Observaram que os parâmetros de Weibull fornece uma representação conveniente dos dados de velocidade para propósitos de cálculo de energia eólica

Lun & Lam (2000) destacaram o grande esforço empreendido nas últimas décadas no sentido do desenvolvimento de um modelo estatístico adequado para descrever a distribuição de frequências da velocidade do vento. Concluíram que muitas considerações foram dadas ao modelo biparamétrico de Weibull por este ter se constituído no método que melhor se ajusta aos dados de velocidade do vento. Na sua pesquisa, aplicaram a distribuição de Weibull a trinta anos de registros de velocidade do vento de três localidades em Hong Kong e analisaram a variação mensal, estacional e anual dos parâmetros de Weibull. Usaram o método gráfico na estimativa dos parâmetros de Weibull e avaliaram as tendências dos parâmetros no período analisado, concluindo que a partir da primeira metade do período estudado houve uma tendência de crescimento dos parâmetros do modelo.

Merzouk (2000) obteve o mapa do potencial eólico da Argélia a partir dos dados de vento de 64 estações. Caracterizou as variações diárias e anual com base no uso da distribuição de Weibull, sendo que as velocidades médias usadas correspondem a um período com 3 horas de duração, e de pelo menos 10 anos de registros. Afirmou que a lei de Weibull é a mais usada para descrever a variação das velocidades do vento. Porém, nas

Weibull é a mais usada para descrever a variação das velocidades do vento. Porém, nas regiões onde os registros das frequências do vento são tranquilas deve-se adotar a distribuição híbrida de Weibull. Usou essa distribuição híbrida e o da máxima verossimilhança para as localidades com tais características.

CAPÍTULO III

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Disponibilidade de dados

Os dados que serviram de base para o presente estudo, consistem de velocidade e direção horários do vento provenientes do registro de anemógrafos Fuess, instalados em 77 localidades da rede de estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Na Figura 3.1 está representada a distribuição espacial das estações consideradas no estudo. Foram consideradas todas as medições obtidas no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981, inclusive. A relação de todas as estações estudadas, com os códigos e coordenadas geográficas correspondentes, se encontra representada na Quadro 3.2.

O elemento sensível dos anemógrafos situava-se a 10 m da superfície e proporcionou a obtenção das seguintes informações:

- a. direção horária predominante do vento;
- b. velocidade média horária do vento.

Essas informações se encontram disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, e foram processadas pelo então Núcleo de Meteorologia Aplicada da UFPB.

Nos arquivos de dados do DCA – UFPB, os dados de velocidade estão nas unidades de m/s e foram consideradas, para fins de identificação da direção horária predominante, oito faixas centradas nas direções que se encontram na Quadro 3.1. 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°.

Quadro 3.1 – Codificação usada na classificação da direção horária predominante

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°

Um programa em Fortran 90 foi desenvolvido para gerar a distribuição de frequências associada a cada uma das direções consideradas na Quadro 3.1. Assim, foi possível identificar a direção predominante de cada localidade e mês, bem como a frequência relativa associada a tal direção. Uma vez identificado a direção predominante de cada estação climatológica, passou-se à fase de análise da distribuição de frequências das velocidades correspondentes apenas àquela direção predominante. Nessa etapa foram determinados as frequências acumuladas segundo a frequência Kimbal, e os parâmetros da distribuição de Weibull, cujos procedimentos são descritos a seguir.

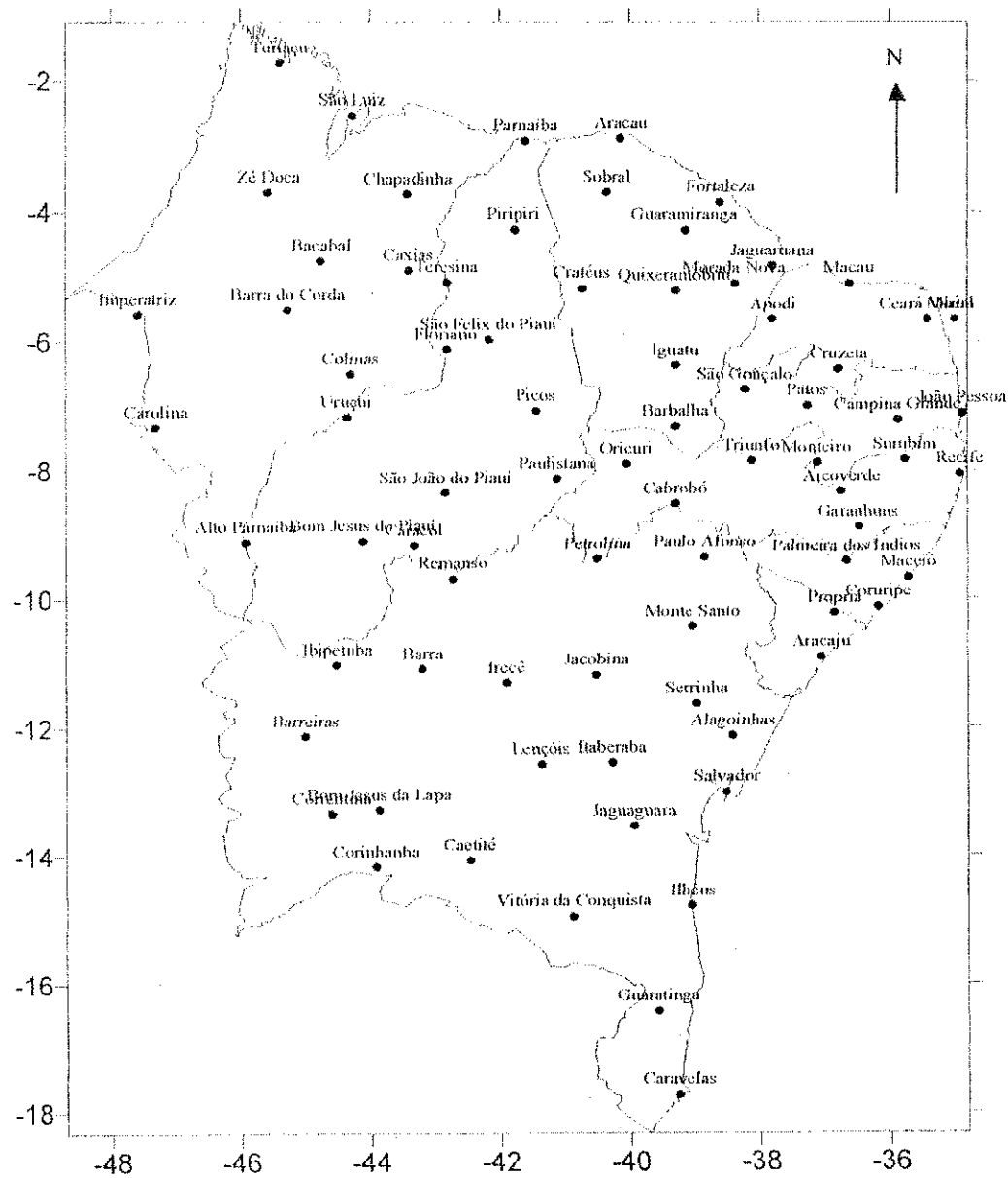


Figura 3.1 – Localização geográfica das estações climatológicas utilizadas na pesquisa

Quadro 3.2 - Estações climatológicas do Nordeste com registros anemográficos no quinquênio 1977 - 1981

Código	Estação	Latitude (S)	Longitude (W)
RIO GRANDE DO NORTE			
82590	Apodi	5° 39'	37° 48'
82594	Macau	5° 06'	36° 37'
82599	Natal	5° 39'	35° 00'
82598	Ceará Mirim	5° 39'	35° 25'
82696	Cruzeta	6° 26'	36° 47'
PARAÍBA			
82689	São Gonçalo	6° 45'	38° 13'
82791	Patos	7° 00'	37° 16'
82792	Monteiro	7° 53'	37° 07'
82795	Campina Grande	7° 13'	35° 53'
82798	João Pessoa	7° 07'	34° 53'
PERNAMBUCO			
82753	Ouricuri	7° 54'	40° 03'
82789	Triunfo	7° 51'	38° 08'
82797	Surubim	7° 50'	35° 46'
82879	Arcoverde	8° 20'	36° 45'
82886	Cabrobó	8° 31'	39° 18'
82893	Garanhuns	8° 53'	36° 29'
82900	Recife	8° 03'	34° 55'
82983	Petrolina	9° 23'	40° 30'

Continuação da Quadro 3.2

	ALAGOAS		
82992	Palmeira dos Índios	9° 25'	36° 40'
82994	Maceió	9° 40'	35° 43'
83098	Coruripe	10° 07'	36° 11'
	SERGIPE		
83096	Aracaju	10° 54'	37° 04'
83097	Propriá	10° 13'	36° 51'
	CEARÁ		
82294	Acarauá	2° 53'	40° 08'
82392	Sobral	3° 42'	40° 21'
82397	Fortaleza	3° 51'	38° 36'
82487	Guaramiranga	4° 17'	39° 09'
82493	Jaguaruana	4° 50'	37° 48'
82583	Crateús	5° 10'	40° 44'
82586	Quixeramobim	5° 12'	39° 18'
92588	Morada Nova	5° 06'	38° 23'
82686	Iguatu	6° 22'	39° 18'
82784	Barbalha	7° 19'	39° 18'
	PIAUI		
82288	Parnaíba	2° 55'	41° 36'
82480	Piripiri	4° 16'	41° 47'
82578	Teresina	5° 05'	42° 49'
82669	São Félix do Piauí	5° 58'	42° 10'
82678	Floriano	6° 07'	42° 50'
82771	Uruçuí	7° 10'	44° 22'
82780	Picos	7° 05'	41° 27'

82879	São João do Piauí	8° 21'	42° 51'
82882	Paulistana	8° 08'	41° 08'
82975	Bom Jesus do Piauí	9° 06'	44° 07'
82976	Caracol	9° 10'	43° 20'
MARANHÃO			
82198	Turiação	1° 43'	45° 24'
82280	São Luiz	2° 32'	44° 17'
82376	Zé Doca	3° 42'	45° 34'
82382	Chapadinha	3° 44'	43° 25'
82460	Bacabal	4° 45'	44° 45'
82476	Caxias	4° 54'	43° 24'
82564	Imperatriz	5° 34'	47° 35'
82571	Barra do Corda	5° 30'	45° 16'
82676	Colinas	6° 03'	44° 18'
82765	Carolina	7° 20'	47° 18'
82970	Alto Parnaíba	9° 07'	45° 56'
BAHIA			
82979	Remanso	9° 41'	42° 44'
82986	Paulo Afonso	9° 21'	38° 51'
83076	Ibipetuba	11° 01'	44° 31'
83090	Monte Santo	10° 26'	39° 02'
83179	Barra	11° 05'	43° 12'
83182	Irecê	11° 18'	41° 54'
83186	Jacobina	11° 11'	40° 31'
83190	Serrinha	11° 38'	38° 59'
83229	Salvador	13° 00'	38° 31'
83236	Barreiras	12° 08'	45° 00'
83242	Lençóis	12° 34'	41° 23'
83244	Itaberaba	12° 33'	40° 17'

83249	Alagoinhas	12° 08'	38° 25'
83286	Correntina	13° 20'	44° 36'
83288	Bom Jesus da Lapa	13° 16'	43° 52'
83295	Jaguaquara	13° 32'	39° 57'
83339	Caetité	14° 04'	42° 28'
83344	Vitória da Conquista	14° 57'	40° 53'
83348	Ilhéus	14° 47'	39° 03'
83408	Carinhanha	14° 10'	43° 55'
83446	Guaratinga	16° 25'	39° 35'
83498	Caravelas	17° 44'	39° 15'

3.2 – 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 e Granja, 1997; Torres et al, 1999; Silva et al, 2001; e outros).

De um modo geral, uma variável aleatória x , contínua e independente, distribui-se segundo o modelo de Weibull, se a função de densidade de probabilidade for do tipo:

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

onde a é o parâmetro de forma (adimensional) e b é o fator de escala (dimensão de velocidade), ambos positivos.

Por definição, a função de distribuição, $F(x)$, associada a um modelo probabilístico cuja variável aleatória seja positiva, esteja definida no intervalo $[0 - \infty]$ e tenha fdp igual a $f(v)$, é dada por:

$$F(x) = \int_0^x f(v)dv \quad (2)$$

que corresponde à probabilidade de ocorrência de valores inferiores ou iguais à x . Portanto, para a distribuição de Weibull, a função de distribuição correspondente é dada por:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad (3)$$

que é obtida ao se integrar a equação 1 através da substituição de x/b por u .

Nesta pesquisa estimou-se os parâmetros do modelo Weibull segundo os métodos dos mínimos quadrados (ou método gráfico) e dos momentos, descritos abaixo.

3.2.1 - Método dos mínimos quadrados

É o método que tem sido mais amplamente utilizado, principalmente antes da utilização massiva de microcomputadores. Considere-se a função:

$$1 - F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad (4)$$

onde $F(x)$ é a função de distribuição associada ao modelo de Weibull. Ao se aplicar o logaritmo a ambos os lados da equação acima, obtém-se:

$$\ln[1 - F(x)] = -\left(\frac{x}{b}\right)^a \quad (5)$$

Multiplicando-se o resultado por -1 e repetindo-se o mesmo procedimento, obtém-se:

$$\ln\{-\ln[1 - F(x)]\} = -a \ln(b) + a \ln(x) \quad (6)$$

O procedimento de cálculo dos valores de a e b , a partir desta etapa, consiste em se considerar uma equação do tipo: $Y = a_0 + b_0 X$, ou seja, uma equação do primeiro grau, em que $a_0 = -a \ln(b)$, $b_0 = a$ e $X = \ln(x)$.

Considere-se, ainda, que uma dada amostra de velocidades do vento média horária, seja constituída dos valores x_1, x_2, \dots, x_n ; e seja $K(x)$, a função de distribuição empírica (frequência Kimbal) associada à referida amostra. Desta forma, ao admitir-se que os valores amostrais podem ser representados por uma distribuição de Weibull, cujos parâmetros deseja-se obter, faz-se simplesmente $F(x) = K(x)$. Desta feita, o problema da determinação de a e b , reduz-se à determinação dos coeficientes linear e angular de uma reta de regressão de mínimos quadrados. Para tanto, elaborou-se programa em Fortran 90, destinado ao cálculo dos coeficientes da reta de regressão de mínimos quadrados, e subsequente cálculo dos parâmetros de Weibull.

3.2.2 - Método dos momentos

Consiste em se obter os momentos de primeira $[E(x)]$ e segunda $[E(x^2)]$ ordens, centrados na origem, associados ao modelo de Weibull. Para o referido modelo, $E(x)$ e $E(x^2)$ são dados por:

$$E(x) = b \cdot \Gamma(1 + 1/a) \quad (7)$$

e

$$E(x^2) = b^2 \cdot \Gamma(1 + 2/a) \quad (8)$$

Por sua vez, sabe-se que a variância de x , por definição, é dada por $E(x^2) - [E(x)]^2$, o que resulta em termos, para a distribuição de Weibull, a seguinte igualdade:

$$Var(x) = a^2 \cdot [\Gamma(1 + 2/a) - \Gamma^2(1 + 1/a)] \quad (9)$$

onde $\Gamma(z)$, refere-se à função matemática gama, cuja solução pode ser aproximada por polinômio (Abramowitz & Stegun, 1972).

Extraindo o valor de b da equação (7), considerando que $E(x) = xm$ e $Var(x) = s^2$, ou seja, admitimos que a média aritmética amostral e o desvio padrão ao quadrado, são estimadores da esperança matemática e da variância da distribuição de Weibull, tem-se que:

$$s^2 = xm^2 \left(\frac{\Gamma(1+2/a)}{\Gamma^2(1+1/a)} - 1 \right) \quad (10)$$

O problema que se apresenta agora é o de se identificar **a** para o qual a igualdade acima é satisfeita. Como se pode observar, para cada valor de **a** na equação acima, tem-se um resultado diferente. Assim, pode ser definida uma função, dada por:

$$f(a) = s^2 - xm^2 \left(\frac{\Gamma(1+2/a)}{\Gamma^2(1+1/a)} - 1 \right) \quad (11)$$

Logo, o problema agora se reduziu apenas à *obtenção da raiz de uma equação*. Mais uma vez, foi elaborado um programa em Fortran 90, especificamente destinado à determinação de **a**. Em seguida, com a equação 7, fez-se a determinação de **b**, isto é, após feita a determinação de $\Gamma(1+1/a)$ usando o polinômio referido anteriormente.

3.2.3 - Teste de ajustamento

Para testar o ajustamento dos dados observados (distribuição empírica) com o modelo teórico (distribuição de Weibull), utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, que consiste na comparação da maior diferença existente entre as freqüências acumulada teórica e empírica, **Dm**, com um valor crítico **Dc**. A determinação do **Dm** é feita segundo a expressão:

$$\mathbf{Dm} = \text{Max } |K(x) - F(x)| \quad (12)$$

onde: $K(x)$ é a freqüência acumulada da amostra (Kimbal) e $F(x)$ é a freqüência acumulada do modelo (função de distribuição de Weibull).

Para determinar-se o valor crítico (**Dc**), ou seja, a diferença máxima tolerável entre as freqüências empírica e teórica para um nível de significância $\alpha = 0,05$ utilizou-se a seguinte equação (Assis Neto et al., 1996):

$$Dc = 1,371/\sqrt{n} \quad (13)$$

e para o nível de significância $\alpha = 0,01$, a equação:

$$Dc = 1,63/\sqrt{n} \quad (14)$$

onde **n** é o número de pontos da amostra.

Então, sempre que o **Dc** for maior ou igual a **Dm**, conclui-se que a hipótese nula é aceita, ou seja, que o modelo testado representa satisfatoriamente a distribuição empírica.

3.3 – Cálculo da potência eólica

Para o cálculo da densidade de potência eólica média foram considerados os parâmetros da distribuição de Weibull, obtidos pelos dois métodos já mencionados e a frequência relativa correspondente à direção predominante do vento em cada uma das 77 estações climatológicas incluídas no estudo. Com tais informações, obteve-se a densidade de potência média horária em W/m², segundo a expressão:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot E(x^3) \cdot fr(d) \quad (15)$$

onde ρ é a massa específica do ar úmido (1,15 kg.m⁻³), $fr(d)$ é a frequência relativa correspondente à direção predominante do vento e $E(x^3)$ é o terceiro momento centrado na origem, que para a distribuição de Weibull é igual a :

$$E(x^3) = b^3 \cdot \Gamma(1 + 3/a) \quad (16)$$

onde **a** e **b** são os parâmetros de Weibull e Γ é a função matemática gama.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Análise da velocidade média e direção predominante

Os dados correspondentes à direção predominante dos ventos de cada uma das 77 estações selecionadas para o estudo, se encontram representados na Tabela 4.1. Para tanto, foram consideradas todas as medições da velocidade média horária e direção correspondente. Obteve-se, ainda, a velocidade horária média anual (VMA), ou seja, a média aritmética de todas as medições da velocidade do vento para todos os meses do ano e período analisado. Após a identificação da direção predominante (DP) 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.

No Estado de Sergipe foram consideradas as localidades de Aracaju e Própria. A direção predominante dos ventos de Aracaju foi a direção 4, qual seja, Sudeste, embora em quatro meses do ano tenham ocorrido DP 3, ou seja, de Este. Em Própria, por sua vez, a DP foi Este, verificada em nove meses do ano, e a outra DP mensal foi a Sudeste. Conforme se observa na Tabela 4.1, a velocidade horária média da direção predominante (VDP) foi de 4,4 m/s em Aracaju, e de 4,1 m/s em Própria. Em ambas as localidades a VDP foi superior à velocidade horária média anual (VMA).

No Estado de Alagoas a DP mensal dos ventos apresentou comportamento semelhante àquele verificado em Sergipe, exceto que foi registrada a DP mensal Nordeste em Coruripe nos meses de janeiro, novembro e dezembro. Em Maceió predominou a direção Sudeste, enquanto que em Palmeira dos Índios e Coruripe predominou a direção 3, Este. A VDP de Palmeira dos Índios foi de 4,0 m/s, sendo superior à de Maceió, com 3,1 m/s, e Coruripe, com 3,7 m/s. A exemplo de Sergipe, a VDP de todas as estações de Alagoas foi superior à VMA.

Dando continuidade, constatou-se que nas cinco estações estudadas no Estado do Rio Grande do Norte foram registradas DP mensais 2, 3, 4 e 5, ou seja, direções Nordeste, Este, Sudeste e Sul, embora com predominância 4 (Sudeste), com exceção de Cruzeta. A DP anual de Cruzeta foi Este, e nas demais localidades predominou a direção Sudeste. Macau apresentou VDP igual a 5,0 m/s, bem superior ao valor mínimo observado no Estado, qual seja de 2,9 m/s, em Apodi. A VMA variou de 2,4 m/s a 4,9 m/s, correspondentes às localidades de Apodi e Macau, respectivamente. É importante observar que a VDP do Estado é de 4,3 m/s, sendo superior a VMA, que é de 3,4 m/s.

No Estado da Paraíba foram incluídas no estudo as localidades de João Pessoa, Campina Grande, Patos, Monteiro e São Gonçalo. De uma maneira geral foram registradas DP mensais correspondentes aos quadrantes Nordeste, Este, Sudeste. Monteiro apresentou direção muito variável, mas com predominância de Nordeste em sete meses do ano. Observou-se um comportamento relativamente homogêneo na distribuição das velocidades VMA e VDP ao longo das estações. A média da VMA no Estado para o período estudado foi de 2,7 m/s, onde a velocidade média maior se encontra na estação de Campina Grande com um vento médio de 3,1 m/s, e a menor velocidade na estação de São Gonçalo com um

vento médio de 2,5 m/s. Ainda com relação à DP, observou-se que em Campina Grande, Patos e São Gonçalo a direção predominante anual foi 3 (Este), enquanto que João Pessoa apresentou a direção 4 (Sudeste) e Monteiro a direção 2 (Nordeste). No Estado como um todo a direção predominante foi a 3 (Este). É importante observar que a velocidade média da direção predominante do Estado foi de 3,9 m/s, sendo superior à velocidade média anual de todas as estações, que foi de 2,7 m/s.

No Estado de Pernambuco o comportamento da direção predominante é semelhante ao verificado nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, ou seja, foram registrados as direções Este, Sudeste e Sul, sendo que houve predominância no Estado como um todo, da direção Sudeste. Fato marcante foi observado nas localidades de Petrolina, Ouricuri e Cabrobó, onde se registrou apenas a DP 4, Sudeste, em todos os meses do ano. Com relação à direção predominante de cada localidade do Estado, observou-se que Arcoverde, Cabrobó, Garanhuns, Ouricuri e Petrolina, apresentaram a DP anual 4 (Sudeste), enquanto que Recife e Triunfo apresentaram a DP 5 (Sul), e apenas Surubim apresentou a DP anual 3 (Este). A média da velocidade do vento no Estado no período estudado foi de 2,7 m/s, com a maior velocidade média sendo registrada na estação de Garanhuns, com um vento médio de 3,6 m/s, e a menor velocidade ocorrendo na estação de Ouricuri, com um vento médio de 2,1 m/s. É importante também enfatizar que a velocidade média das direções predominante do Estado foi de 3,7 m/s, sendo superior a velocidade média geral das estações que foi de 2,7 m/s. Tanto Recife como Triunfo apresentaram os mesmos números de ocorrências entre a direção 4 (Sudeste) e 5 (Sul), e o critério usado para determinar a direção predominante foi aquele em que a direção apresentou a maior velocidade entre as direções dos meses de ocorrências.

No Ceará a VMA do Estado como um todo para o período estudado foi de 2,6 m/s, com a maior velocidade média, de 3,3 m/s, ocorrendo na estação de Guarani e a menor velocidade sendo registrada na estação de Barbalha, com valor igual a 1,8 m/s. Com relação à direção predominante mensal o Estado apresentou direções variadas, indo de 1 (Norte) a 5 (Sul). Fortaleza, Acaraú, Jaguaruana e Guarani, apresentaram a direção 3 (Este), enquanto que Sobral, Quixeramobim e Morada Nova apresentaram a direção 2 (Nordeste), Barbalha e Iguatu apresentaram a direção 5 (Sul) e apenas Crateús apresentou a direção 4 (Sudeste). No Estado como um todo a direção predominante foi a 3 (Este). Novamente se repete a

condição dos demais estados em que a VDM foi superior à VMA. A VDP no Estado como um todo foi igual a 3,8 m/s, enquanto que a VMA foi de 2,6 m/s. A localidade com a maior VDP foi Acaraú, com 5,0 m/s, enquanto que a de menor valor foi Crateús, com 2,8 m/s. As localidades Barbalha, Sobral e Iguatu foram as únicas a registrar direção 1 (Norte).

Com relação à direção predominante o Estado do Maranhão apresentou uma grande variabilidade de direção, como pode ser observado na Tabela 4.1. A análise da DP mensal das onze localidades deste Estado possibilitou observar que foram registradas as direções: Noroeste (mês de outubro em Carolina), Norte, Nordeste, Este, Sudeste e Sul. Em todas as estações do Estado foram registradas pelo menos duas DP mensais diferentes. São Luiz, Chapadinha, Carolina e Zé Docas, apresentaram como predominante a direção 2 (Nordeste); já Imperatriz, Turiaçu e Barra do Corda apresentaram a direção 3 (Este); Alto Parnaíba e Bacabal apresentaram a direção 1 (Norte), enquanto que Colinas e Caxias registraram direção 4 (Sudeste). No Estado como um todo a direção predominante foi a 2 (Nordeste). Repetiu-se o mesmo processo verificado nos demais estados, onde a velocidade média das direções predominantes deste Estado (2,6 m/s) foi superior à velocidade média geral das estações, que foi de 2,0 m/s, como pode ser interpretado a partir da Tabela 4.1. Ao longo do Estado, a VMA variou de 1,6 m/s, em Colinas, a 2,3 m/s, registrada em São Luiz. Por sua vez, a VDP situou-se entre 2,0 m/s, em no Alto Parnaíba e 3,6 m/s, obtida em Turiaçu. De todos os estados analisados. O Estado do Maranhão foi o que apresentou as menores velocidades médias e menor dispersão, seja a VMA seja a VDP.

Para o Estado do Piauí, com onze estações estudadas, observou-se a ocorrência de cinco direções predominantes mensais: Norte, Nordeste, Este, Sudeste e Sul. As únicas localidades a registrarem direção Norte foram Piripiri (sete meses) e Floriano (dois meses apenas). No Estado como um todo a direção predominante foi a 3 (Este). A DP anual das localidades de Parnaíba, São João, Uriçuí, e Caracol, foi a 3 (Este). Já em Paulistana, Picos e Terezina, a DP anual foi a 4 (Sudeste). Em São Félix e Bom Jesus predominou a direção Sul, e em Piripiri a Norte. A média da velocidade do Estado para o período estudado foi de 2,2 m/s, com a maior velocidade média sendo registrada na estação de Paulistana, com vento médio de 3,4 m/s, e a menor velocidade na estação de Uriçuí, com um vento médio de 1,6 m/s. É importante observar que a velocidade média da direção predominante do

Estado foi de 3,1 m/s, sendo superior à velocidade média geral da estação que foi de 2,2 m/s.

No Estado da Bahia observou-se uma boa homogeneidade na distribuição da velocidade média do vento ao longo das estações. Como se pode observar, no Estado como um todo a média da velocidade do período estudado foi de 2,2 m/s, sendo que a maior velocidade média ocorreu na estação de Remanso, com ventos médios de 2,9 m/s, e a menor velocidade tendo sido registrada na estação de Lençóis, com valor igual a 1,4 m/s. Se repetiu o mesmo fenômeno dos demais estados, onde a velocidade média das direções predominantes do Estado, que foi de 3,0 m/s, foi superior à velocidade média geral das estações, que foi de 2,2 m/s. No que concerne à direção predominante, o Estado da Bahia foi o que apresentou a maior variabilidade, com ocorrência desde o Norte, passando por Nordeste, Este, Sudeste e Sul, como pode ser observado na Tabela 4.1. Isso pode ser justificado pelas dimensões do Estado e pelo fato do Estado apresentar o maior número de estações dentro da região Nordeste e período estudado. As localidades de Carinhanha, Ibipetuba, Itaberaba, Jaguaquara, Remanso, Salvador e Serrinha apresentaram a direção 3 (Este); já Alagoinhas, Caetité Irecê, Jacobina, Monte Santo, Paulo Afonso e Correntina apresentaram a direção 4 (Sudeste); Barra, Barreiras e Caravelas apresentaram a direção 2 (Nordeste); Bom Jesus da Lapa, Ilhéus e Lençóis a direção 5 (Sul) e apenas Guaratinga apresentou a direção 1 (Norte). No Estado como um todo a direção predominante foi a 3 (Este).

Diante do exposto, 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 as variações de direção. Porém, o rendimento esperado por uma máquina eólica fixada a partir da direção predominante escapa aos objetivos do presente trabalho.

Analisando o comportamento mensal da DP no Nordeste contido na Tabela 4.1, observa-se que a maior frequência da direção do vento predominante foi a 3 (Este) em 55,55 % dos casos, e com ocorrência da direção 4 (Sudeste) em 33,33 %, e finalmente a direção 2 (Nordeste), tendo alcançado 11,11 % dos casos estudados (ver Figura 4.1).

As maiores médias associadas às direções predominantes (em média superior a 3 m/s) no Nordeste brasileiro, estão situadas de julho a fevereiro, com exceção do Estado do

Maranhão que apresentou uma média relativa à direção predominante de 2 a 3 m/s, sendo o Estado que apresentou as médias mais baixas do Nordeste (2,6 m/s). Por outro lado, o Estado do Rio Grande do Norte foi o que apresentou as médias de velocidade das direções predominantes mais altas do Nordeste (4,3 m/s), seguida de Sergipe (4,2 m/s), Paraíba (3,9 m/s), Ceará (3,8 m/s), Pernambuco (3,7 m/s), Alagoas (3,6 m/s), Piauí (3,1 m/s) e Bahia com 3,0 m/s, como pode ser observado a partir da Figura 4.2.

Para a região de Maringá - PR, Galvani et al (1999) concluíram que a DP do vento anual nos horários das 12 e 18 GMT era de Nordeste. No entanto nos meses de janeiro a maio e de outubro a dezembro a DP às 24 GMT era Sudeste, sendo de Leste de julho a setembro.

Souza & Granja (1997) estudando o comportamento mensal dos ventos em Campo Grande - MS, encontraram ventos predominantes de Leste, com ocorrência de Norte nos meses de janeiro a dezembro, cujos valores anuais resultaram em 24% de Leste, 19,8% de Norte e 12,2% de Nordeste, tendo as calmarias representado 12%.

TABELA 4.1 - Distribuição estacional da direção predominante do vento, da velocidade horária média anual (VMA), da velocidade horária média dos meses da ocorrência da direção predominante anual (VDP) e direção predominante anual (DP)

Estação	Direção predominante do vento												VMA (m/s)	VDP (m/s)	DP
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
RIO GRANDE DO NORTE															
Apodi	2	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2,4	2,9	4
Macau	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4,9	5,0	4
Natal	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4	3	3	3,1	4,8	4
Ceará Mirim	4	3	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	3,6	4,6	4
Cruzeta	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2,7	4,0	3
PARAIBA															
São Gonçalo	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2,5	3,6	3
Patos	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	2,8	4,2	3
Monteiro	2	2	2	2	4	4	4	4	3	2	2	2	2,6	3,5	2
Campina Grande	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3,1	4,3	3
João Pessoa	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	2,6	3,9	4
PERNAMBUCO															
Ouricuri	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2,1	3,2	4
Triunfo	4	4	4	4	2	5	5	5	5	4	2	3	2,6	4,0	4
Surubim	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	2,8	4,3	3
Arcoverde	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	2,4	3,1	4
Cabrobó	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,0	4,2	4
Garanhuns	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3,6	3,6	4
Recife	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	2,2	3,6	5
Petrolina	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2,7	3,9	4

Continuação da Tabela 4.1

Estação	Direção predominante do vento												VMA (m/s)	VDP (m/s)	DP
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
ALAGOAS															
Palmeira dos Índios	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	2,5	4,05	3
Maceió	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2,6	3,9	4
Coruripe	2	4	3	4	4	4	4	3	3	3	2	2	3,2	3,7	3
SERGIPE															
Aracaju	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3,2	4,4	4
Propriá	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	2,9	4,1	3
CEARA															
Acarau	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,0	5,0	3
Sobral	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2,6	3,9	2
Fortaleza	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	2,7	3,6	3
Guaramiranga	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,3	4,5	3
Jaguaruana	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	2,8	3,5	3
Crateus	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2,6	3,3	4
Quixeramobim	2	2	2	2	2	4	4	2	3	2	2	2	2,6	3,5	2
Morada Nova	2	2	2	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2,6	3,6	2
Iguatu	2	4	4	4	5	5	5	5	4	2	1	2	2,4	3,8	5
Barbalha	1	3	3	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1,8	2,8	5

Continuação da Tabela 4.1

Estação	Direção do Vento												VMA (m/s)	VDP (m/s)	DP
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
PIAUI															
Parnaíba	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,3	4,3	3
Piripiri	1	1	1	1	5	5	5	5	1	1	1	3	2,2	2,4	1
Terezina	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	1,9	2,6	4
São Felix	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	2	2	2,0	2,1	5
Floriano	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	1,9	3,2	3
Uriçuí	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1,6	2,8	3
Picos	2	3	2	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1,9	3,1	4
São João	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2,2	3,2	3
Paulistana	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,4	4,9	4
Bom Jesus	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	2,1	2,2	5
Caracol	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	2,2	3,3	3
MARANHAO															
Turiacu	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2,2	3,6	3
São Luiz	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2,3	2,9	2
Zé Docas	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2,1	2,9	2
Chapadinha	2	2	2	2	2	4	4	1	1	1	1	2	2,1	2,6	2
Bacabal	1	2	1	2	4	4	4	1	1	1	1	1	1,9	2,1	1
Caxias	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	4	2,0	2,8	4
Imperatriz	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1,8	2,5	3
Barra do Corda	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1,8	2,8	3
Colinas	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1,6	2,6	4
Carolina	2	2	4	4	4	4	4	2	2	8	2	2	1,8	2,1	2
Alto Parnaíba	1	1	1	4	4	4	5	5	5	1	1	1	2,0	2,0	1

Continuação da Tabela 4.1

Estação	Direção do Vento												VMA (m/s)	VDP (m/s)	DP
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
BAHIA															
Remanso	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2,9	4,6	3
Paulo Afonso	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2,4	3,0	4
Ibipetuba	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	2,0	2,8	3
Monte Santo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2,3	2,7	4
Barra	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1	2,3	2
Irecê	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	2,8	3,3	4
Jacobina	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2,6	3,0	4
Serrinha	3	3	3	3	4	5	4	4	3	3	3	3	2,3	3,5	3
Salvador	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	2,0	2,0	3
Barreiras	2	2	2	1	1	4	4	4	2	2	2	2	2,2	2,2	2
Lençóis	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	5	5	1,4	1,8	5
Itaberaba	3	3	3	5	3	5	3	3	3	3	3	3	1,8	2,1	3
Alagoinhas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	2,1	2,3	4
Correntina	3	2	2	2	3	4	4	4	4	4	2	3	2,1	2,6	4
Bom Jesus da Lapa	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1,9	2,9	5
Jaguaquara	1	3	3	5	5	5	5	5	3	3	3	3	2,2	2,4	3
Caetité	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	2,6	4,7	4
Vitória da Conquista	1	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	2,4	2,2	3
Ilhéus	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	2,8	3,8	5
Carinhanha	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,7	2,4	3
Guaratinga	1	3	3	5	4	5	4	4	4	1	1	1	2,2	2,3	1
Caravelas	2	2	2	5	5	5	5	2	2	2	1	1	2,5	3,4	2

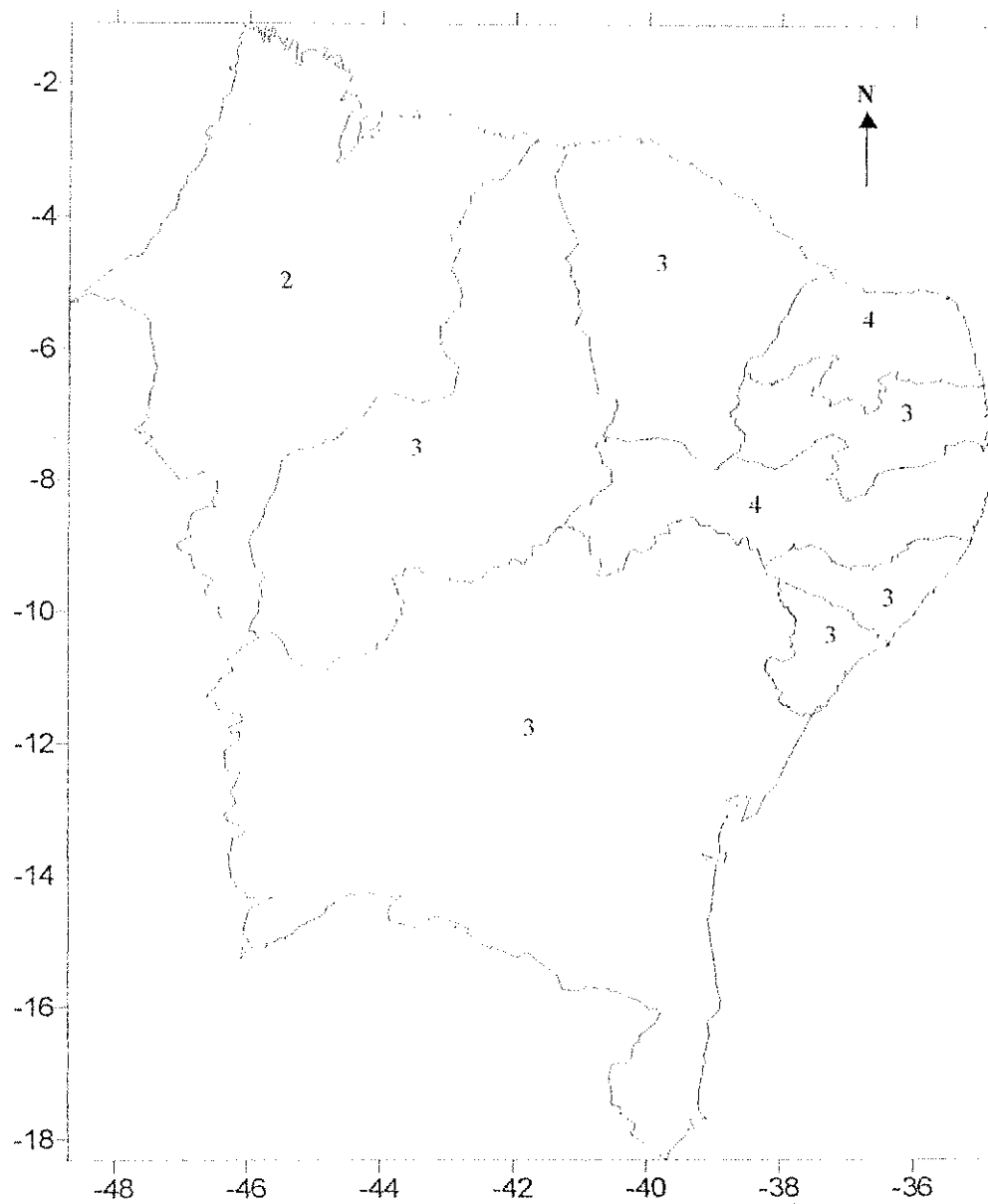


Figura 4.1 - Direção predominante anual para os Estados do Nordeste do Brasil

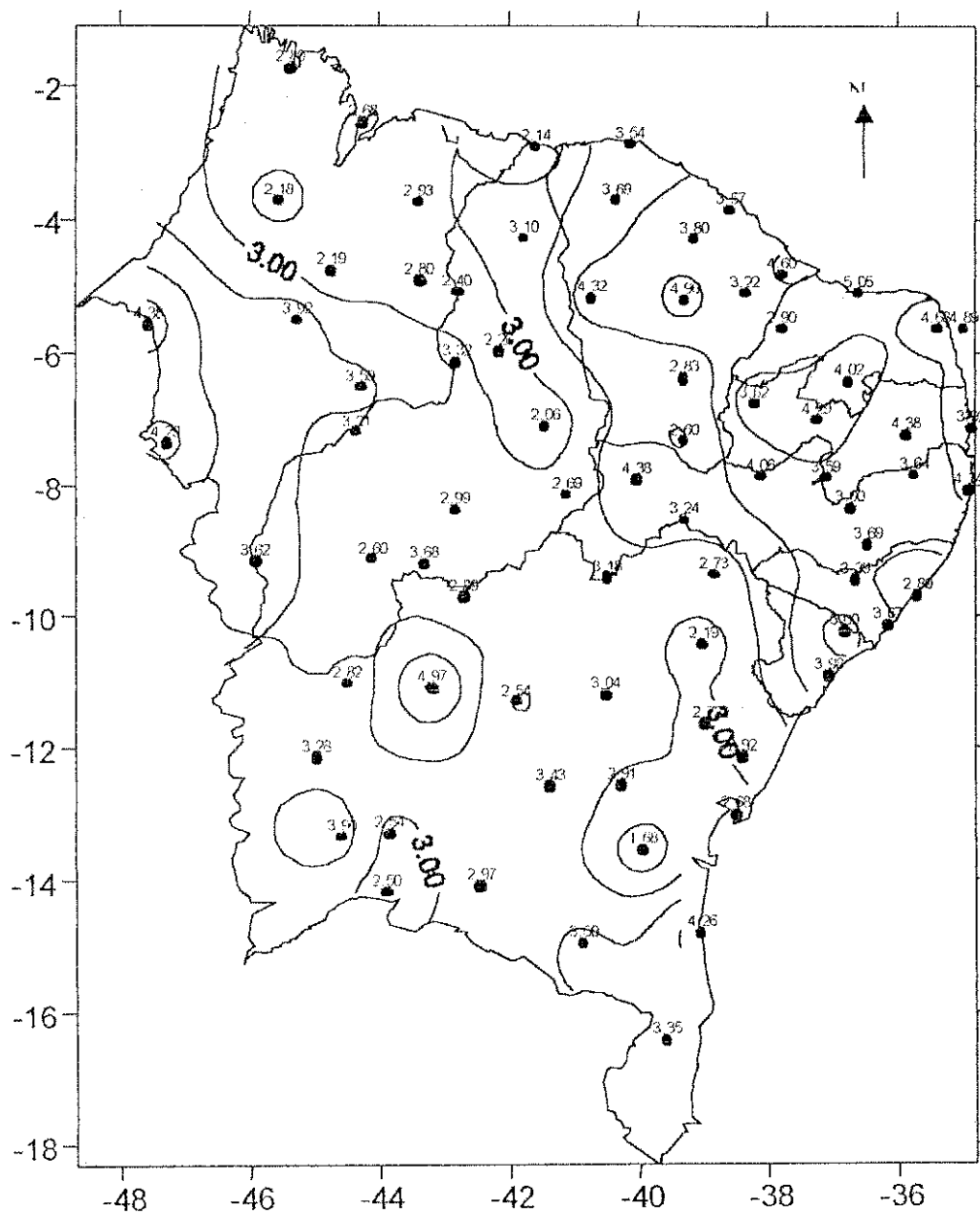


Figura 4.2 - Velocidade horária média dos meses da ocorrência da direção predominante anual (VDP)

4.2 – Análise dos parâmetros da distribuição de Weibull

Uma vez determinada a direção predominante do vento de cada estação, procedeu-se a separação dos dados da velocidade horária média correspondentes à direção predominante, mês a mês, o que resultou em doze amostras mensais por localidade.

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados dos parâmetros de Weibull obtidos com os métodos MM e MQ, bem como é analisado o ajustamento do modelo. Uma vez que foi constatado que o MM foi o que proporcionou o melhor ajustamento aos dados observados, foram construídas Figuras com a distribuição espacial dos parâmetros de forma (**a**) e escala (**b**) de Weibull para as doze amostras mensais que estão representadas nas Figuras 4.3 e 4.4 para o mês de janeiro nesta seção, e para os demais meses, encontra-se em anexo neste trabalho.

Uma observação importante acerca da análise desses parâmetros é que o de escala (**b**) é relativamente equivalente à velocidade média da direção predominante do vento. Por sua vez, o parâmetro de forma (**a**) está intimamente relacionado com a assimetria da distribuição, conforme afirmaram Justus et al (1978) e Coelingh et al (1996). Com uma Figura do parâmetro de forma (**a**) e uma outra Figura da velocidade do vento da direção predominante, é possível conhecer a potência média disponível, e todas essas Figuras estão disponíveis nesse trabalho. Uma outra consideração é que aparecem círculos fechados nas Figuras. Esses círculos representam centros de alta ou baixa em torno de algumas estações do Nordeste, significando que as mesmas apresentam maior ou menor valor do que a isolinha traçada; porém, uma estimativa mais exata da potência eólica deve basear-se na observação simultânea da distribuição de **a** e **b**.

Com relação aos valores de **a** e **b**, observa-se que as diferenças existentes entre os métodos não chegam a ser expressivas, mas suficientes para produzir alterações significativas na potência eólica. Vejamos como exemplo o caso de Campina Grande, em que **a** variou de 3,1 (junho) a 4,8 (novembro), segundo o MM. Já pelo método dos mínimos quadrados, **a** situou-se entre 2,7 (junho) a 5,1 (novembro). Com relação a **b**, este variou de 3,8 (junho) a 5,2 (novembro), segundo o MM, e pelo método dos

mínimos quadrados, **b** situou-se entre 3,8 (junho) a 5,1 (novembro). Essa variação se estende as demais estações no Nordeste do Brasil. Outro aspecto é que os valores de **a** e **b** pelos dois métodos apresentam crescimento a partir de junho até novembro e decrescem de dezembro a maio. Essa situação foi observada praticamente em quase todas as estações estudadas neste trabalho.

O maior valor de **a** pelo método dos momentos, foi registrado na estação de Monteiro - PB, no mês de julho, sendo igual a 9,6. Já o maior valor de **a** pelo método dos mínimos quadrados, também foi registrado na estação de Monteiro - PB, no mês de julho, sendo igual a 5,7.

O maior valor de **b** pelo método dos momentos, foi registrado na estação de Acaraú - CE, no mês de outubro, sendo igual a 6,9. Já o maior valor de **b** pelo método dos mínimos quadrados, também foi registrado na estação de Acaraú - CE, no mês de outubro, sendo igual a 6,8.

Conforme destacaram Justus et al (1978) uma das principais vantagens do uso da distribuição de Weibull consiste na possibilidade de se estimar os seus parâmetros em uma altura qualquer a partir do conhecimento desses mesmos parâmetros em um nível **Z** já conhecido. Isto significa que com o zoneamento levado a efeito nesse estudo para o nível de 10 metros é perfeitamente possível se obter a potência eólica à 25 metros, que é a altura típica do eixo horizontal de uma turbina de grande porte, ou para qualquer outra altura. Para poder estimar os parâmetros **a** e **b** ao nível **Z** desejado deve-se utilizar as relações propostas por Justus & Mikhail (1976) quais sejam:

$$b(z) = ba(z / za)^n \quad (1)$$

$$a(z) = aa[1 - 0.088 \ln(za/10)] / [1 - 0.088 \ln(z/10)] \quad (2)$$

onde **Z** é o nível desejado, **Za** é o nível conhecido (10 metros neste trabalho), **ba** e **aa** são os parâmetros, respectivamente no nível inicial e o valor exponencial de **n** é dado por:

$$n = [0.37 - 0.088 \ln ba/10] / [1 - 0.088 \ln(za/10)] \quad (3)$$

As Figuras com os valores mensais de **a** e **b** além de possibilitar identificar as regiões de maior potencial, oferecem a possibilidade de identificar os seus valores em pontos desprovidos de observações regulares. No entanto as interpolações quando realizadas devem ser usadas com cautela, já que o vento local é afetado por diversos fatores, tais como orográficos, rugosidade da superfície, presença de obstáculos nas vizinhanças do ponto de interesse, etc.

Como forma de possibilitar uma exploração mais ampla dos resultados da pesquisa, foi elaborado a Tabela 4.2 que contém a média e o desvio padrão da velocidade horária da direção predominante, bem como, os parâmetros de Weibull obtidos pelos métodos dos momentos e gráfico além da densidade de potência média (W/m^2) associada a cada método.

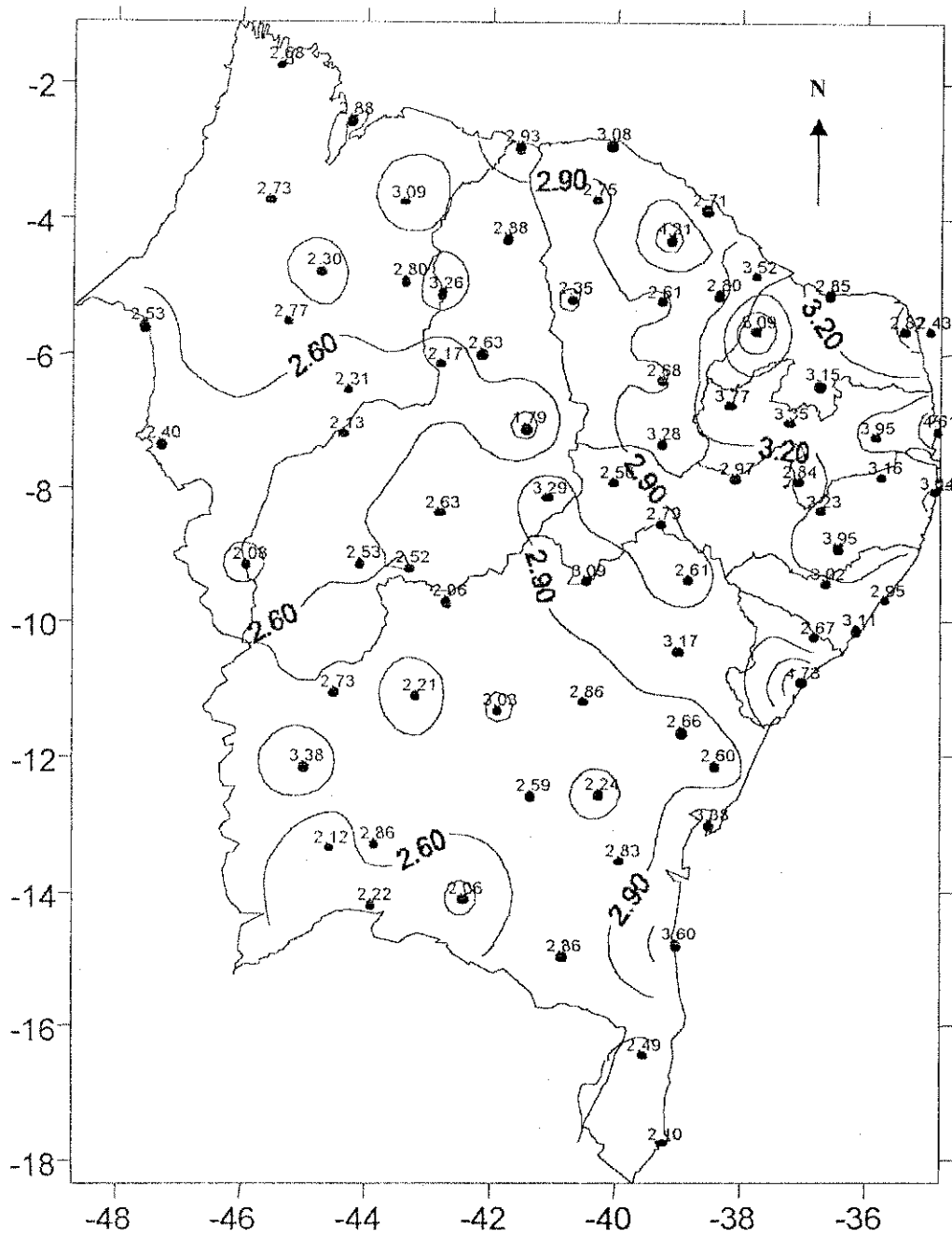


Figura 4.3 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de janeiro para a região Nordeste do Brasil

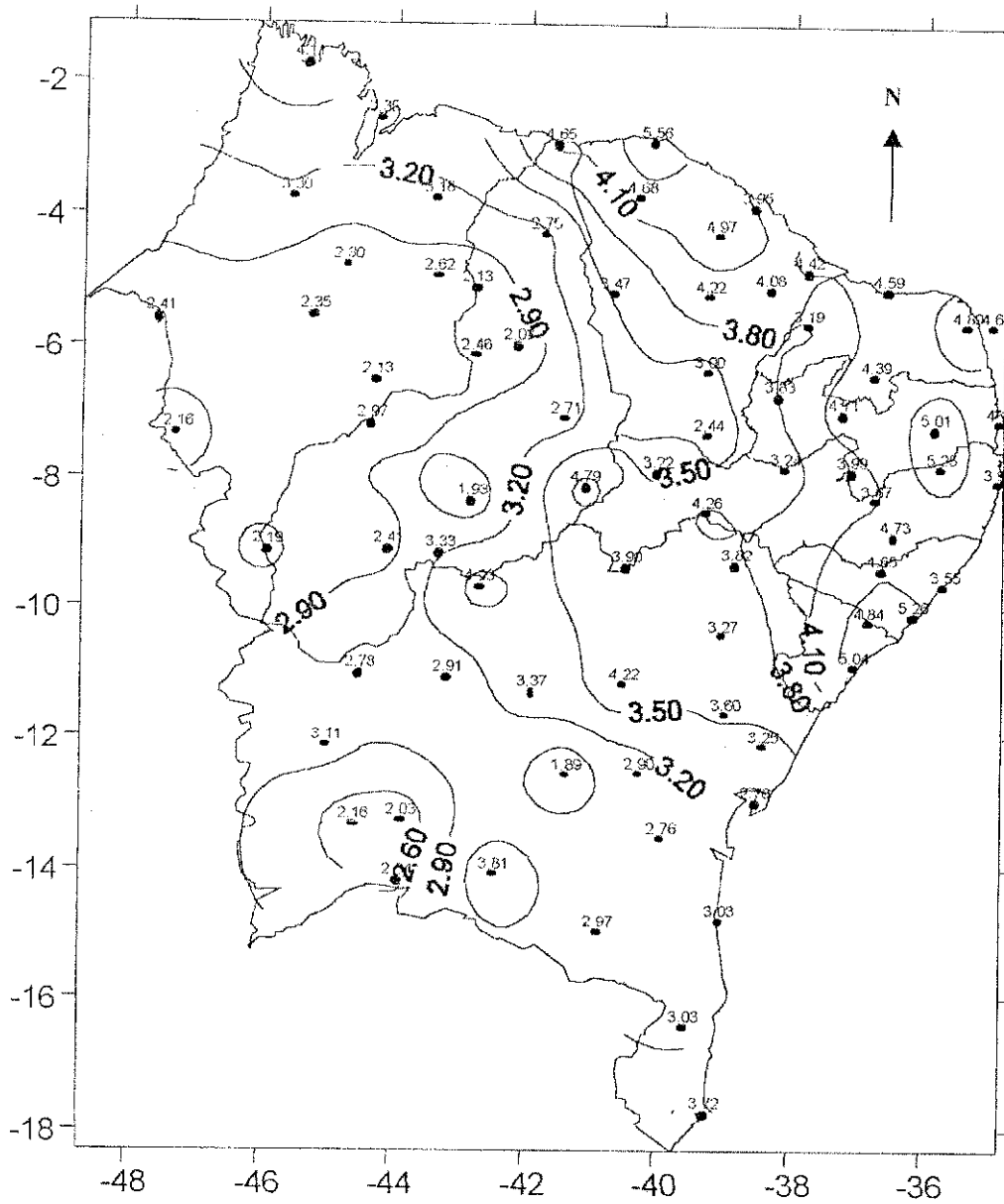


Figura 4.4 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de janeiro para a região Nordeste do Brasil

Tabela 4.2 – Média e desvio padrão da velocidade horária da direção predominante, coeficientes de forma (**a**) e escala (**b**) em m/s de Weibull segundo o Método dos Momentos (MM) e o Método Gráfico (MQ), e densidade de potência eólica média (W/m^2) em MM e MQ

ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Apodi

Mês	Média	Desvio	a	b	PM _{MM}	a	b	PM _{MQ}
1	2,853	1,011	3,085	3,190	1,731	3,137	3,177	1,699
2	2,734	1,201	2,426	3,083	2,058	2,510	3,079	2,003
3	2,652	1,108	2,567	2,987	2,757	2,684	2,923	2,518
4	2,690	1,248	2,283	3,036	4,181	2,515	3,095	4,132
5	2,712	1,049	2,798	3,046	5,233	3,060	3,018	4,889
6	2,951	1,185	2,682	3,319	8,347	2,907	3,277	7,719
7	3,170	1,198	2,870	3,557	11,094	3,010	3,459	9,992
8	3,203	1,263	2,738	3,600	10,166	3,099	3,539	9,129
9	3,340	1,271	2,848	3,748	8,302	2,761	3,676	7,958
10	3,224	1,166	3,017	3,609	3,557	2,794	3,498	3,353
11	2,837	0,963	3,238	3,165	1,417	3,162	3,221	1,506
12	2,725	0,946	3,156	3,044	0,797	2,654	2,976	0,807

Macau

Mês	Média	Desvio	a	b	PM _{MM}	a	b	PM _{MQ}
1	4,095	1,558	2,849	4,595	11,502	3,454	4,827	12,388
2	3,558	1,447	2,644	4,004	10,826	2,847	4,213	12,137
3	4,163	1,696	2,639	4,685	20,032	2,722	4,915	22,741
4	4,444	1,736	2,767	4,993	33,345	3,294	5,076	32,578
5	4,840	1,849	2,837	5,433	47,268	3,345	5,461	44,977
6	4,962	1,764	3,074	5,550	51,570	3,374	5,503	48,646
7	5,360	1,920	3,046	5,998	68,400	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
8	5,993	1,949	3,398	6,672	92,329	2,865	6,667	98,379
9	5,897	2,078	3,105	6,594	81,494	3,488	6,528	76,075
10	5,400	2,030	2,886	6,057	47,200	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
11	4,339	1,544	3,071	4,854	18,140	3,462	5,070	19,847
12	4,104	1,569	2,835	4,607	13,167	3,144	4,851	14,707

Natal

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4.148	1.818	2.433	4.678	22.632	2.652	4.754	22.504
2	4.521	2.109	2.270	5.103	31.462	2.272	4.987	29.334
3	4.397	2.001	2.333	4.962	24.129	2.271	4.749	21.602
4	4.595	2.003	2.447	5.182	29.405	3.125	5.249	26.906
5	4.719	2.071	2.429	5.322	36.114	2.587	5.173	31.839
6	5.130	2.260	2.417	5.785	36.720	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
7	5.248	2.289	2.447	5.918	48.001	3.107	5.914	42.260
8	5.220	2.470	2.233	5.813	59.740	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
9	5.320	2.450	2.301	6.004	64.560	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
10	5.320	2.550	2.210	6.006	67.080	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
11	4.549	2.001	2.424	5.131	33.198	3.074	5.328	32.720
12	4.580	2.090	2.324	5.168	33.450	XXXXX	XXXXX	XXXXXX

Ceará Mirim

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4.357	1.675	2.817	4.892	18.490	2.776	4.817	17.791
2	4.659	1.819	2.769	5.234	21.482	3.362	5.192	19.376
3	4.607	1.665	3.019	5.158	19.715	3.365	5.017	17.440
4	4.399	1.491	3.242	4.908	25.221	3.653	4.796	22.714
5	4.456	1.356	3.657	4.941	24.644	4.111	4.846	22.701
6	4.329	1.502	3.160	4.837	22.667	3.553	4.749	20.670
7	4.713	1.600	3.238	5.260	33.730	3.080	5.175	32.730
8	4.863	1.648	3.244	5.426	39.003	2.921	5.384	39.722
9	5.029	1.910	2.855	5.643	50.118	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
10	5.170	1.990	2.811	5.800	47.930	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
11	4.770	1.960	2.613	5.369	34.250	XXXXX	XXXXX	XXXXXX
12	4.500	1.950	2.462	5.073	30.344	XXXXX	XXXXX	XXXXXX

Cruzeta

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMO
1	3,924	1,365	3,150	4,385	21,942	3,054	4,296	20,881
2	3,652	1,297	3,078	4,084	14,755	3,291	4,055	14,090
3	3,281	1,300	2,723	3,688	8,924	3,028	3,648	8,217
4	2,965	1,119	2,874	3,327	4,995	3,164	3,341	4,858
5	2,979	1,154	2,793	3,346	4,135	2,509	3,324	4,311
6	3,390	1,166	3,190	3,785	5,127	2,927	3,708	4,991
7	3,639	1,084	3,747	4,029	6,180	4,107	4,064	6,224
8	4,031	1,298	3,433	4,485	12,996	3,441	4,392	12,194
9	4,360	1,345	3,602	4,838	28,858	3,098	4,761	28,856
10	4,362	1,372	3,526	4,847	34,032	2,687	4,819	37,301
11	4,247	1,356	3,468	4,723	36,799	3,372	4,571	33,647
12	4,110	1,307	3,483	4,569	33,941	3,409	4,488	32,360

ESTADO DA PARAÍBA

São Gonçalo

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMO
1	3,457	1,023	3,773	3,827	8,165	3,870	3,909	8,654
2	3,195	1,087	3,230	3,566	5,538	3,104	3,708	6,315
3	3,113	0,93	3,733	3,447	3,416	3,850	3,526	3,630
4	2,900	0,869	3,721	3,213	2,227	3,539	3,284	2,408
5	3,244	0,894	4,084	3,575	1,755	2,952	3,648	2,050
6	3,463	0,911	4,299	3,804	2,660	4,136	3,828	2,727
7	3,591	1,004	4,019	3,961	3,258	4,467	3,996	3,291
8	3,886	0,984	4,482	4,260	6,895	3,021	4,536	9,190
9	3,986	1,111	4,034	4,396	16,309	3,616	4,456	17,387
10	4,024	1,040	4,386	4,416	19,229	4,675	4,487	20,021
11	3,806	1,057	4,048	4,196	16,328	3,597	4,228	17,143
12	3,766	0,982	4,341	4,135	13,497	4,629	4,295	15,001

Patos

Mês	Meta	Despe	a	b	PMM	a	B	PMO
1	4.225	1.389	3.354	4.706	25.832	3.640	4.712	25.339
2	4.074	1.516	2.922	4.567	24.545	3.210	4.489	22.440
3	3.555	1.237	3.149	3.972	11.725	3.356	4.079	12.424
4	3.458	1.161	3.278	3.857	8.976	3.478	3.827	8.608
5	3.651	1.180	3.419	4.063	10.955	3.630	4.020	10.442
6	3.792	1.258	3.322	4.226	10.512	3.452	4.200	10.195
7	4.118	1.241	3.698	4.564	14.389	3.401	4.497	14.086
8	4.455	1.326	3.750	4.933	27.532	3.847	4.880	26.500
9	4.926	1.398	3.954	5.439	43.716	4.100	5.349	41.302
10	5.005	1.378	4.090	5.515	59.399	3.936	5.440	57.415
11	4.652	1.444	3.579	5.164	45.311	3.855	5.101	42.906
12	4.469	1.382	3.593	4.960	35.641	3.902	4.896	33.630

Monteiro

Mês	Meta	Despe	a	b	PMM	a	b	PMO
1	3.554	1.358	2.836	3.989	22.730	2.580	3.900	22.366
2	3.253	1.288	2.725	3.656	14.700	2.566	3.551	13.941
3	3.004	1.304	2.459	3.387	9.423	2.295	3.322	9.351
4	2.735	1.132	2.593	3.079	5.052	2.848	3.092	4.863
5	2.561	0.982	2.826	2.876	0.997	2.783	2.854	0.982
6	2.628	1.029	2.760	2.953	1.337	2.801	2.940	1.310
7	4.028	0.501	9.622	4.241	0.108	5.789	4.316	0.113
8	2.861	1.215	2.521	3.224	1.242	2.280	3.215	1.324
9	3.535	1.191	3.264	3.943	4.286	2.859	3.971	4.618
10	4.230	1.305	3.602	4.695	23.255	2.783	4.695	25.610
11	4.418	1.365	3.596	4.903	41.321	3.709	4.867	40.103
12	4.006	1.310	3.374	4.461	31.435	2.887	4.388	31.763

Campina Grande

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,536	1,288	3,952	5,008	40,888	3,895	4,955	39,739
2	4,375	1,357	3,582	4,856	39,214	3,709	4,766	36,739
3	4,073	1,342	3,348	4,538	26,184	3,355	4,434	24,404
4	3,626	1,177	3,404	4,036	15,157	3,410	3,952	14,229
5	3,425	1,128	3,349	3,815	8,860	3,449	3,762	8,419
6	3,434	1,212	3,098	3,839	7,397	2,710	3,857	7,980
7	3,666	1,163	3,490	4,075	6,976	3,424	3,987	6,571
8	4,094	1,210	3,780	4,532	13,169	3,099	4,452	13,257
9	4,486	1,213	4,170	4,938	28,343	3,956	4,874	27,521
10	4,752	1,178	4,592	5,201	50,392	3,731	5,233	53,131
11	4,760	1,135	4,789	5,198	62,592	5,139	5,131	59,889
12	4,577	1,176	4,411	5,022	52,720	4,654	5,009	51,998

João Pessoa

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,764	0,929	4,613	4,119	18,787	4,425	4,051	17,962
2	3,964	1,204	3,666	4,395	19,522	3,381	4,353	19,393
3	3,691	1,049	3,947	4,076	10,218	2,869	4,134	11,807
4	3,731	1,122	3,704	4,134	15,780	3,360	4,090	15,694
5	3,605	1,295	3,039	4,035	17,286	3,118	3,943	15,970
6	4,159	1,383	3,313	4,635	19,967	3,409	4,500	18,099
7	4,229	1,515	3,048	4,732	25,143	3,161	4,619	23,055
8	4,236	1,315	3,576	4,703	21,829	3,957	4,718	21,544
9	4,386	1,292	3,792	4,854	28,354	3,807	4,802	27,424
10	4,084	1,041	4,454	4,479	32,140	4,193	4,558	34,171
11	4,025	0,905	5,107	4,378	22,644	4,206	4,449	24,273
12	4,071	1,081	4,256	4,476	27,777	3,784	4,432	27,549

ESTADO DO PERNAMBUCO

Orcun

Mes	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PVO
1	2,853	1,221	2,499	3,216	6,994	2,660	3,155	6,359
2	2,954	1,312	2,397	3,332	9,058	2,522	3,241	8,054
3	2,686	1,117	2,580	3,024	5,438	2,614	2,910	4,806
4	2,828	1,211	2,498	3,188	8,491	2,567	3,074	7,485
5	2,861	1,205	2,542	3,223	10,996	2,595	3,127	9,919
6	3,320	1,382	2,578	3,739	23,634	2,726	3,604	20,502
7	3,616	1,353	2,903	4,055	30,650	2,693	3,879	27,865
8	3,747	1,339	3,058	4,193	33,486	3,062	4,060	30,389
9	3,940	1,315	3,301	4,393	37,368	3,087	4,202	33,508
10	3,732	1,273	3,219	4,166	23,795	2,707	4,020	23,079
11	3,366	1,222	3,004	3,769	12,829	2,888	3,662	11,976
12	3,025	1,302	2,481	3,410	8,090	2,578	3,333	7,376

Trunfo

Mes	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PVO
1	2,888	1,060	2,968	3,236	2,395	2,919	3,330	2,629
2	3,067	1,049	3,209	3,424	4,802	3,208	3,415	4,763
3	3,200	1,164	2,995	3,584	3,555	3,297	3,636	3,581
4	3,354	1,096	3,379	3,735	7,705	3,053	3,707	7,811
5	3,736	1,097	3,806	4,134	15,373	3,768	4,156	15,663
6	4,125	1,240	3,707	4,570	29,576	3,142	4,526	30,208
7	4,302	1,282	3,742	4,764	38,209	3,552	4,802	39,633
8	4,071	1,282	3,521	4,523	27,992	2,846	4,516	30,159
9	4,093	1,258	3,618	4,541	19,412	3,156	4,571	20,660
10	3,699	1,234	3,303	4,124	8,174	3,553	4,134	8,055
11	3,006	0,978	3,393	3,347	0,822	3,462	3,422	0,873
12	2,730	0,911	3,298	3,043	1,156	3,274	3,102	1,227

Surubim

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4.702	1.632	3.157	5.253	47.733	3.208	5.057	42.342
2	4.566	1.653	3.012	5.112	38.212	3.217	4.937	33.552
3	4.231	1.557	2.957	4.741	22.759	2.872	4.608	21.173
4	3.906	1.470	2.884	4.381	17.403	3.044	4.246	15.475
5	3.748	1.435	2.829	4.208	14.998	3.098	4.122	13.553
6	4.025	1.408	3.130	4.499	12.128	3.367	4.429	11.280
7	4.499	1.467	3.386	5.009	15.733	3.330	4.893	14.741
8	4.349	1.494	3.195	4.856	23.417	3.216	4.729	21.569
9	4.471	1.620	3.010	5.006	35.332	3.073	4.846	31.764
10	4.583	1.585	3.170	5.120	46.137	3.205	4.981	42.330
11	4.722	1.563	3.331	5.262	57.547	3.214	5.102	53.093
12	4.516	1.606	3.072	5.052	48.557	2.717	4.861	45.811

Arcoverde

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3.291	1.121	3.226	3.673	6.007	3.257	3.623	5.749
2	2.976	1.085	2.989	3.333	8.688	3.144	3.290	8.189
3	2.691	1.012	2.888	3.019	5.777	2.879	2.942	5.354
4	2.685	1.022	2.849	3.014	6.523	2.905	2.939	5.995
5	2.810	0.986	3.120	3.142	9.647	3.033	3.127	9.617
6	3.212	1.024	3.474	3.572	15.026	3.327	3.625	15.921
7	3.174	1.041	3.365	3.535	15.581	3.248	3.520	15.557
8	3.412	1.164	3.218	3.808	22.567	2.999	3.792	22.893
9	3.764	1.089	3.870	4.160	23.770	3.778	4.104	22.942
10	3.859	1.163	3.696	4.277	20.042	3.313	4.250	20.284
11	3.405	1.054	3.587	3.779	7.723	3.230	3.788	8.027
12	3.184	1.093	3.197	3.555	7.163	3.042	3.524	7.108

Cabrobó

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,795	1,472	2,789	4,263	16,231	3,144	4,385	16,768
2	3,979	1,470	2,945	4,459	23,100	3,200	4,493	22,861
3	3,577	1,303	2,991	4,006	12,626	3,230	4,064	12,797
4	3,535	1,356	2,824	3,969	12,450	3,178	4,112	13,169
5	3,675	1,225	3,303	4,097	17,952	3,586	4,120	17,825
6	4,041	1,414	3,129	4,517	32,412	2,851	4,557	34,653
7	4,357	1,469	3,263	4,860	44,526	3,623	4,855	43,043
8	4,884	1,454	3,747	5,409	63,581	3,332	5,375	64,456
9	5,307	1,438	4,161	5,843	71,074	4,289	5,812	69,643
10	5,108	1,563	3,635	5,666	50,305	3,864	5,660	49,445
11	4,519	1,491	3,343	5,035	27,909	3,375	5,096	28,852
12	4,121	1,483	3,033	4,612	19,323	3,331	4,586	18,359

Garanhuns

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,283	1,217	3,947	4,729	13,804	3,669	4,619	13,072
2	4,129	1,200	3,850	4,565	15,604	2,932	4,652	18,008
3	3,571	1,130	3,502	3,969	11,926	3,608	3,899	11,217
4	3,515	1,131	3,437	3,911	14,517	2,901	3,891	15,229
5	3,472	1,074	3,592	3,854	15,851	3,823	3,817	15,174
6	3,716	1,161	3,552	4,126	19,480	3,356	4,149	20,133
7	3,759	1,212	3,428	4,182	23,581	2,920	4,186	25,104
8	3,713	1,149	3,591	4,121	24,347	3,258	4,066	24,076
9	4,101	1,102	4,200	4,512	23,744	4,343	4,550	24,223
10	4,323	1,104	4,443	4,741	15,045	4,428	4,736	15,004
11	4,310	1,024	4,810	4,705	4,429	4,912	4,642	4,248
12	4,287	1,145	4,228	4,715	7,451	3,833	4,672	7,379

Recife

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,538	1,269	3,044	3,959	3,666	3,181	3,874	3,375
2	3,576	1,441	2,672	4,022	5,470	2,219	3,905	5,700
3	3,413	1,337	2,758	3,835	6,492	2,511	3,716	6,238
4	3,409	1,330	2,769	3,830	8,701	2,768	3,678	7,706
5	3,385	1,412	2,571	3,812	12,121	2,637	3,693	10,859
6	3,466	1,493	2,480	3,907	19,657	2,387	3,784	18,341
7	3,720	1,588	2,507	4,193	22,787	2,681	4,099	20,454
8	3,817	1,497	2,754	4,289	23,365	2,740	4,160	21,379
9	4,038	1,513	2,900	4,529	22,532	2,758	4,378	20,856
10	4,247	1,320	3,574	4,716	13,246	2,749	4,742	14,891
11	3,668	1,289	3,115	4,101	1,789	2,426	4,055	1,974
12	3,963	1,344	3,241	4,422	5,834	2,707	4,375	6,115

Petrolina

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,487	1,233	3,092	3,899	20,605	2,812	3,874	21,075
2	3,637	1,258	3,169	4,063	28,809	3,028	3,972	27,389
3	3,469	1,138	3,363	3,863	20,703	3,307	3,848	20,573
4	3,437	1,209	3,109	3,843	21,367	3,017	3,738	19,916
5	3,831	1,154	3,700	4,246	33,970	3,389	4,270	35,383
6	4,210	1,233	3,816	4,657	48,390	3,641	4,724	51,071
7	4,344	1,222	3,991	4,793	55,462	3,845	4,900	59,693
8	4,388	1,190	4,155	4,831	55,481	4,038	4,829	55,688
9	4,553	1,235	4,156	5,012	61,544	3,309	5,032	65,770
10	4,391	1,285	3,819	4,857	49,998	3,529	4,767	48,183
11	4,000	1,253	3,543	4,443	33,008	2,851	4,447	35,851
12	3,681	1,197	3,398	4,098	25,091	3,124	4,040	24,748

ESTADO DE ALAGOAS

Palmeira dos Índios

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,157	1,500	3,024	4,653	32,859	2,808	4,562	32,024
2	3,730	1,483	2,712	4,193	19,086	2,831	4,105	17,514
3	3,858	1,511	2,758	4,335	14,493	2,858	4,234	13,265
4	3,226	1,196	2,933	3,616	8,099	2,780	3,567	7,976
5	2,848	1,194	2,557	3,208	3,446	2,661	3,197	3,332
6	2,798	1,285	2,310	3,158	3,382	2,242	3,116	3,327
7	2,789	1,256	2,361	3,147	3,383	2,654	3,179	3,231
8	3,061	1,337	2,441	3,451	6,265	2,443	3,435	6,174
9	3,661	1,379	2,883	4,107	12,916	2,996	4,056	12,233
10	4,490	1,412	3,527	4,988	32,165	3,517	4,887	30,260
11	4,763	1,427	3,723	5,276	48,992	3,572	5,094	44,534
12	4,524	1,545	3,215	5,049	43,370	3,086	4,932	41,035

Maceió

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,165	1,168	2,949	3,547	2,513	2,917	3,427	2,277
2	3,319	1,306	2,744	3,730	4,253	2,793	3,699	4,109
3	2,767	0,97	3,122	3,094	4,037	3,256	3,021	3,704
4	2,847	1,251	2,425	3,211	4,095	2,756	3,227	3,846
5	2,766	1,358	2,144	3,123	6,251	2,257	3,148	6,124
6	3,337	1,356	2,647	3,755	10,676	2,641	3,681	10,071
7	3,630	1,516	2,569	4,089	10,343	2,645	4,016	9,635
8	3,394	1,468	2,469	3,826	12,303	2,808	3,884	11,945
9	3,449	1,424	2,602	3,883	12,808	2,428	3,834	12,886
10	3,858	1,459	2,870	4,329	9,488	2,948	4,274	9,022
11	3,331	1,412	2,525	3,753	1,001	2,727	3,743	0,949
12	3,998	1,391	3,151	4,467	7,313	3,043	4,384	7,009

Arquivo: BIC/117/05/17/41

Coruripe

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4.703	1,657	3.106	5,258	27,712	2,783	5,182	27,855
2	4,066	1,138	4,015	4,485	5,734	4,130	4,564	6,013
3	4,226	1,609	2,848	4,743	19,316	2,440	4,958	24,126
4	3,520	1,238	3,111	3,936	6,472	2,289	3,862	7,285
5	3,336	0,975	3,825	3,690	4,944	3,482	3,668	4,969
6	2,869	1,040	3,008	3,213	5,224	2,167	3,150	6,059
7	2,871	1,125	2,756	3,226	3,302	2,140	3,090	3,467
8	3,083	1,062	3,185	3,443	8,555	2,965	3,453	8,878
9	3,422	1,204	3,110	3,825	14,198	2,983	3,831	14,505
10	3,676	1,274	3,163	4,107	21,280	3,042	4,142	22,162
11	4,745	1,386	3,828	5,249	16,029	3,994	5,130	14,838
12	4,441	1,608	3,012	4,972	27,526	2,987	4,965	27,494

ESTADO DE SERGIPE

Aracaju

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,615	1,113	4,732	5,043	18,322	3,818	5,071	19,250
2	4,576	1,133	4,599	5,009	26,515	4,177	4,995	26,636
3	4,292	1,044	4,686	4,693	19,687	4,644	4,840	21,625
4	4,146	1,252	3,688	4,595	17,973	3,576	4,591	18,070
5	4,176	1,371	3,361	4,652	27,624	3,419	4,654	27,525
6	4,399	1,367	3,573	4,884	32,956	3,751	4,954	33,988
7	4,440	1,341	3,689	4,921	38,034	3,732	4,958	38,796
8	4,475	1,254	4,011	4,937	36,022	4,005	5,030	38,103
9	4,717	1,139	4,724	5,155	33,516	4,679	5,151	33,477
10	4,968	1,130	5,045	5,408	21,816	4,589	5,380	21,665
11	5,108	1,331	4,343	5,609	7,454	3,118	5,676	8,387
12	4,781	1,181	4,609	5,232	17,170	4,424	5,199	16,924

Propriá

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,306	1,738	2,668	4,843	33,366	2,552	4,667	30,645
2	4,122	1,642	2,706	4,634	25,801	2,345	4,493	25,781
3	4,007	1,524	2,850	4,497	19,296	2,835	4,360	17,636
4	3,662	1,425	2,779	4,113	11,865	2,930	3,990	10,557
5	3,224	1,170	3,003	3,610	4,825	3,183	3,543	4,461
6	3,590	1,295	3,025	4,018	6,925	3,194	3,913	6,261
7	3,496	1,213	3,160	3,905	5,732	3,453	3,870	5,417
8	3,648	1,312	3,036	4,083	10,601	3,036	3,927	9,432
9	3,874	1,524	2,745	4,353	14,921	2,867	4,201	13,120
10	4,537	1,428	3,522	5,041	17,394	3,417	4,900	16,115
11	4,522	1,664	2,958	5,067	27,193	3,169	4,899	23,899
12	4,796	1,741	3,004	5,371	34,347	3,024	5,167	30,499

ESTADO DO CEARÁ

Acarajú

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,974	1,766	3,079	5,564	51,658	3,497	5,473	47,102
2	4,568	1,844	2,667	5,138	33,265	2,958	5,109	31,063
3	4,194	1,856	2,407	4,731	25,452	2,783	4,757	23,704
4	4,023	1,596	2,720	4,523	19,519	3,020	4,483	18,088
5	4,113	1,562	2,855	4,616	22,000	3,250	4,595	20,590
6	4,516	1,573	3,146	5,047	29,731	3,467	5,018	28,315
7	4,864	1,805	2,930	5,452	42,622	3,193	5,373	39,404
8	5,679	1,762	3,579	6,305	86,766	3,698	6,201	81,883
9	6,239	1,810	3,858	6,898	121,483	3,808	6,836	118,562
10	6,261	1,894	3,683	6,940	138,302	3,694	6,899	135,748
11	5,971	1,955	3,372	6,649	125,196	3,614	6,474	113,323
12	5,288	1,950	2,952	5,926	75,863	3,376	5,812	68,064

Sobral

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,168	1,639	2,747	4,684	31,872	2,821	4,559	28,997
2	3,728	1,614	2,467	4,203	19,167	2,732	4,203	18,023
3	2,848	1,243	2,445	3,212	6,284	2,754	3,307	6,384
4	2,701	1,133	2,556	3,042	3,838	2,774	3,088	3,834
5	2,415	0,925	2,827	2,711	1,674	2,604	2,741	1,809
6	2,533	1,082	2,504	2,854	1,639	2,703	2,967	1,759
7	3,245	1,331	2,620	3,653	5,171	2,830	3,601	4,756
8	3,715	1,497	2,673	4,179	10,747	2,678	4,050	9,770
9	4,296	1,660	2,801	4,825	20,237	2,394	4,748	21,214
10	4,681	1,793	2,827	5,254	34,081	2,685	5,072	31,492
11	4,829	1,715	3,078	5,402	35,967	2,987	5,242	33,269
12	4,574	1,671	2,983	5,124	37,105	3,113	4,971	33,297

Fortaleza

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,512	1,397	2,712	3,948	20,339	3,117	3,838	17,526
2	3,611	1,494	2,595	4,066	19,865	2,757	3,973	17,922
3	3,271	1,337	2,630	3,681	9,005	2,849	3,606	8,119
4	3,309	1,315	2,713	3,720	8,397	2,731	3,590	7,524
5	3,215	1,255	2,768	3,612	6,995	2,935	3,469	6,027
6	3,408	1,433	2,549	3,839	8,432	2,728	3,680	7,140
7	3,655	1,533	2,555	4,117	13,093	2,454	3,918	11,586
8	4,091	1,608	2,748	4,598	26,472	2,783	4,432	23,557
9	4,147	1,539	2,931	4,649	31,228	3,132	4,565	28,765
10	4,156	1,567	2,880	4,663	37,820	2,995	4,538	34,260
11	3,750	1,372	2,978	4,201	26,233	3,120	4,119	24,273
12	3,624	1,490	2,612	4,079	27,485	2,815	3,945	23,878

Guaramiranga

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,517	1,211	4,211	4,969	32,564	4,119	5,051	34,329
2	4,508	1,223	4,156	4,963	34,447	3,590	5,011	36,574
3	4,237	1,251	3,784	4,689	31,456	3,850	4,691	31,375
4	4,081	1,276	3,549	4,533	24,002	3,576	4,599	25,023
5	4,023	1,223	3,661	4,461	28,194	3,439	4,517	29,774
6	4,334	1,233	3,943	4,786	30,760	3,921	4,830	31,655
7	4,356	1,194	4,107	4,799	33,034	3,500	4,890	36,206
8	4,599	1,172	4,451	5,043	32,478	4,929	5,110	33,445
9	5,142	1,265	4,631	5,626	61,029	5,066	5,849	68,031
10	5,311	1,185	5,151	5,775	64,661	5,418	5,947	70,411
11	5,096	1,115	5,264	5,534	56,832	5,736	5,601	58,719
12	4,837	1,157	4,775	5,282	43,245	5,306	5,392	45,648

Jaguaruana

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,977	1,253	3,519	4,419	19,697	3,701	4,383	18,969
2	3,854	1,371	3,073	4,312	15,517	2,774	4,230	15,353
3	3,015	1,353	2,369	3,402	7,579	2,555	3,457	7,556
4	2,634	1,023	2,783	2,959	3,920	2,992	2,984	3,887
5	2,566	0,999	2,775	2,882	3,238	2,703	2,914	3,393
6	2,775	1,079	2,780	3,117	4,255	3,273	3,190	4,258
7	2,930	1,086	2,934	3,285	5,501	3,272	3,289	5,292
8	3,564	1,241	3,147	3,982	12,658	3,423	3,942	11,936
9	4,084	1,270	3,569	4,535	21,675	2,977	4,469	22,077
10	4,302	1,282	3,743	4,764	31,216	3,647	4,633	28,893
11	4,350	1,300	3,733	4,818	32,094	3,936	4,678	29,045
12	4,084	1,328	3,397	4,546	24,432	3,539	4,440	22,496

Crateús

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,077	1,389	2,354	3,472	3,730	2,281	3,404	3,601
2	2,892	1,400	2,178	3,265	3,297	2,330	3,270	3,133
3	2,738	1,225	2,378	3,090	3,388	2,518	3,056	3,154
4	2,855	1,359	2,220	3,224	4,405	2,345	3,158	3,961
5	3,127	1,329	2,517	3,524	6,143	2,430	3,431	5,808
6	3,708	1,397	2,882	4,159	12,889	2,986	4,085	12,016
7	3,919	1,508	2,814	4,401	18,774	2,900	4,345	17,816
8	3,960	1,544	2,772	4,449	19,520	2,657	4,290	17,913
9	4,078	1,471	3,024	4,565	16,064	2,883	4,520	15,928
10	4,198	1,348	3,446	4,670	7,471	3,500	4,661	7,392
11	3,598	1,229	3,215	4,017	2,430	3,038	4,014	2,477
					2,492	2,831	3,979	2,444

Quixeramobim

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,749	1,544	2,607	4,221	27,511	2,445	4,073	25,753
2	3,375	1,502	2,392	3,807	17,302	2,334	3,670	15,792
3	3,116	1,569	2,084	3,518	12,720	2,177	3,489	11,924
4	2,332	1,247	1,949	2,630	4,829	2,166	2,673	4,567
5	2,227	1,142	2,041	2,513	2,733	2,173	2,565	2,738
6	2,227	1,171	1,985	2,512	1,768	2,198	2,545	1,666
7	2,474	1,288	2,007	2,791	3,758	2,200	2,761	3,331
8	3,507	1,555	2,401	3,956	12,457	2,352	3,800	11,215
9	4,213	1,550	2,959	4,721	21,894	2,719	4,571	20,708
10	4,748	1,471	3,587	5,271	35,302	3,825	5,219	33,763
11	4,615	1,591	3,182	5,154	37,379	3,299	5,075	35,246
12	4,194	1,584	2,873	4,705	30,975	2,886	4,600	28,884

Morada Nova

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3.631	1.402	2.804	4.078	20,249	2.718	3,966	18.935
2	3.311	1.316	2.713	3.722	9,546	2,662	3,667	9.224
3	2.829	1.310	2,289	3,193	4,503	2,569	3,313	4.638
4	2.424	1.006	2,585	2,730	2,029	2,292	2,720	2.184
5	2.349	0.937	2,703	2,641	1,579	2,490	2,654	1.682
6	2.299	0,98	2,511	2,591	1,261	2,639	2,635	1.286
7	2,514	1,089	2,464	2,835	2,481	2,437	2,756	2.297
8	3,094	1,238	2,693	3,480	6,093	2,776	3,427	5.729
9	3,756	1,395	2,928	4,211	16,045	2,525	4,124	16.320
10	4,172	1,423	3,221	4,657	28,530	2,883	4,655	29.807
11	4,211	1,442	3,205	4,701	32,609	3,049	4,579	30.711
12	3,945	1,429	3,011	4,417	25,766	2,866	4,272	23.831

Ignatu

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,669	1,072	2,681	3,002	1,123	2,691	3,008	1,127
2	2,643	1,125	2,515	2,979	2,098	2,671	2,997	2,061
3	2,424	0,996	2,616	2,729	0,959	2,915	2,774	0,952
4	2,662	1,094	2,615	2,997	3,134	2,397	2,959	3,195
5	3,267	1,165	3,065	3,656	9,160	3,033	3,575	8,602
6	3,820	1,376	3,030	4,276	14,963	2,919	4,260	15,045
7	4,187	1,297	3,588	4,648	22,520	3,305	4,553	21,687
8	4,116	1,316	3,461	4,577	16,315	3,236	4,487	15,702
9	4,269	1,359	3,478	4,746	9,760	3,612	4,714	9,466
10	3,549	1,147	3,421	3,949	1,157	3,271	3,912	1,141
11	2,863	1,066	2,917	3,210	0,648	2,738	3,185	0,653
12	2,745	0,97	3,094	3,070	0,667	2,996	3,031	0,651

Barbalha

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2.190	0,735	3,279	2,442	0,278	3,275	2,414	0,269
2	2.472	0,827	3,292	2,756	0,456	2,661	2,749	0,496
3	2.261	0,863	2,837	2,537	0,455	2,664	2,476	0,437
4	2.523	0,827	3,364	2,810	1,535	2,852	2,751	1,536
5	2.669	0,828	3,579	2,963	3,640	3,085	2,870	3,471
6	2.857	0,904	3,502	3,175	7,377	3,552	3,113	6,924
7	2.976	0,914	3,620	3,301	9,016	3,202	3,257	8,982
8	2.927	0,993	3,238	3,267	8,658	3,156	3,244	8,558
9	2.949	0,909	3,606	3,272	6,709	2,956	3,279	7,231
10	2.732	0,869	3,482	3,037	2,251	3,788	3,012	2,149
11	2.395	0,731	3,647	2,657	0,644	3,658	2,605	0,606
12	2.387	0,961	2,674	2,685	0,766	2,496	2,645	0,764

ESTADO DO PIAUÍ

Parnaíba

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4.147	1,538	2,932	4,649	24,605	3,219	4,581	22,686
2	4.003	1,559	2,775	4,497	22,229	3,074	4,436	20,364
3	3.505	1,489	2,518	3,950	13,805	3,002	4,037	13,445
4	3.413	1,189	3,146	3,814	12,178	3,642	3,835	11,834
5	3.353	1,199	3,054	3,752	12,594	3,527	3,876	13,237
6	3.379	1,159	3,201	3,772	14,215	3,774	3,808	13,946
7	3.818	1,298	3,232	4,261	19,554	3,712	4,308	19,416
8	4.651	1,446	3,571	5,164	39,314	3,661	5,184	39,515
9	5.542	1,348	4,689	6,059	73,512	4,587	5,984	70,985
10	5.764	1,446	4,531	6,314	73,701	4,374	6,271	72,540
11	5.498	1,560	3,953	6,070	63,712	3,743	6,024	63,006
12	4.619	1,632	3,095	5,165	40,141	3,350	5,087	37,276

Piripiri

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,450	0,924	2,877	2,749	2,600	3,226	2,802	2,628
2	2,253	0,934	2,587	2,537	1,849	2,827	2,662	2,036
3	2,184	0,927	2,522	2,461	1,957	2,672	2,577	2,170
4	1,989	0,834	2,556	2,241	0,956	2,686	2,353	1,075
5	1,806	0,688	2,845	2,027	0,558	2,980	2,158	0,659
6	1,813	0,652	3,035	2,030	0,574	2,856	1,995	0,56
7	2,062	0,706	3,207	2,303	1,129	3,306	2,322	1,145
8	2,362	0,818	3,166	2,638	1,994	3,268	2,649	1,996
9	2,585	0,94	2,999	2,895	3,206	3,196	2,999	3,476
10	2,854	1,148	2,678	3,210	5,494	3,249	3,365	5,811
11	2,822	1,146	2,648	3,175	5,218	2,982	3,228	5,169
12	2,603	1,024	2,745	2,925	2,911	2,943	2,978	2,970

Teresina

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,906	0,642	3,264	2,126	0,206	3,227	2,195	0,228
2	1,963	0,617	3,525	2,181	0,219	3,545	2,251	0,24
3	2,165	0,752	3,155	2,419	0,368	2,531	2,389	0,395
4	2,375	0,639	4,194	2,614	0,621	3,617	2,605	0,634
5	2,378	0,764	3,441	2,645	1,458	3,669	2,588	1,341
6	2,650	0,926	3,132	2,961	3,822	2,909	2,898	3,692
7	2,689	0,995	2,940	3,014	4,289	2,863	2,987	4,225
8	2,749	1,013	2,954	3,081	4,279	2,783	3,022	4,152
9	2,724	0,956	3,117	3,045	2,795	3,161	2,972	2,585
10	2,649	0,996	2,887	2,972	1,732	2,819	2,988	1,781
11	2,139	0,569	4,246	2,352	0,452	3,868	2,324	0,444
12	2,032	0,666	3,367	2,264	0,331	3,064	2,242	0,333

São Felix do Piauí

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,805	0,739	2,625	2,031	0,684	2,360	2,011	0,712
2	1,815	0,663	2,982	2,033	0,595	2,884	2,065	0,632
3	1,769	0,611	3,175	1,976	0,671	3,055	2,036	0,744
4	1,847	0,706	2,834	2,073	0,887	2,447	2,081	0,977
5	1,917	0,743	2,790	2,153	1,320	2,720	2,166	1,363
6	2,410	0,942	2,764	2,708	5,569	3,050	2,731	5,462
7	2,350	0,864	2,958	2,633	4,470	3,371	2,755	4,876
8	2,571	0,948	2,949	2,881	5,161	2,953	2,879	5,147
9	2,565	0,929	3,012	2,872	3,674	3,249	3,102	4,500
10	2,325	0,727	3,545	2,582	1,131	3,930	2,631	1,168
11	2,128	0,696	3,373	2,370	0,481	3,615	2,507	0,558
12	1,881	0,662	3,109	2,103	0,492	3,285	2,189	0,544

Floriano

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,178	1,060	2,166	2,459	0,855	1,898	2,347	0,851
2	2,305	1,007	2,441	2,599	1,102	2,132	2,539	1,144
3	2,727	1,056	2,795	3,063	2,217	2,861	3,041	2,145
4	2,829	1,158	2,626	3,184	2,715	2,137	3,086	2,880
5	3,044	1,165	2,832	3,417	4,120	2,523	3,359	4,177
6	3,215	1,256	2,766	3,612	5,634	2,601	3,564	5,600
7	3,454	1,292	2,905	3,874	11,135	2,525	3,768	11,058
8	3,508	1,310	2,910	3,933	10,516	2,972	3,859	9,837
9	3,559	1,263	3,079	3,980	13,096	2,620	3,868	12,998
10	3,320	1,287	2,790	3,729	4,061	2,724	3,663	3,898
11	2,590	1,081	2,568	2,917	1,082	2,397	2,921	1,138
12	2,552	1,070	2,557	2,875	0,903	2,180	2,792	0,931

Uruçuí

Mês	Média	Desvio	a	b	PMIM	a	b	PMQ
1	2,631	1,296	2,135	2,971	4,036	2,294	2,928	3,637
2	2,769	1,322	2,212	3,126	4,556	2,381	3,056	4,017
3	2,468	1,232	2,104	2,787	4,061	2,241	2,695	3,473
4	2,706	1,225	2,346	3,053	5,385	2,262	2,873	4,614
5	2,795	1,153	2,604	3,146	6,395	2,504	2,972	5,525
6	3,023	1,280	2,527	3,406	10,291	2,148	3,135	9,084
7	3,194	1,307	2,626	3,594	11,245	2,581	3,392	9,551
8	2,955	1,355	2,315	3,336	10,628	2,443	3,203	9,044
9	2,744	1,430	2,005	3,096	10,848	2,053	2,944	9,110
10	2,838	1,539	1,920	3,199	6,731	2,056	3,105	5,716
11	2,258	1,277	1,832	2,541	2,166	2,196	2,602	1,920
12	2,244	1,238	1,883	2,529	2,039	1,910	2,475	1,882

Picos

Mês	Média	Desvio	a	b	PMIM	a	b	PMQ
1	2,412	1,395	1,788	2,712	2,250	1,824	2,651	2,048
2	2,561	1,282	2,097	2,891	2,876	2,059	2,781	2,607
3	2,236	1,105	2,129	2,525	1,560	2,197	2,509	1,487
4	2,594	1,137	2,432	2,925	4,458	2,486	2,775	3,752
5	2,865	1,219	2,515	3,228	8,479	2,364	3,072	7,627
6	3,352	1,333	2,711	3,768	15,930	2,457	3,570	14,385
7	3,537	1,466	2,589	3,983	21,174	2,363	3,817	19,811
8	3,358	1,430	2,512	3,784	17,919	2,513	3,637	15,905
9	3,203	1,410	2,422	3,613	17,162	2,010	3,414	17,006
10	2,681	1,093	2,639	3,017	4,696	2,434	2,982	4,771
11	2,653	1,208	2,332	2,995	3,498	2,227	2,941	3,438
12	2,695	1,273	2,239	3,043	3,968	2,117	2,936	3,747

São João do Piauí

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,713	0,7	2,628	1,927	0,154	2,680	1,910	0,148
2	2,026	0,881	2,454	2,284	0,23	2,314	2,249	0,229
3	2,130	1,037	2,165	2,406	0,376	2,241	2,369	0,349
4	2,270	0,875	2,810	2,549	0,516	2,653	2,533	0,522
5	2,000	0,955	2,210	2,258	0,254	2,232	2,312	0,27
6	2,407	1,129	2,257	2,718	0,777	1,780	2,630	0,906
7	2,946	1,205	2,627	3,316	0,774	2,751	3,296	0,741
8	2,959	0,881	3,745	3,276	0,697	3,504	3,244	0,688
9	2,870	0,623	5,308	3,116	0,261	4,478	3,094	0,259
10	2,486	1,168	2,251	2,806	0,401	1,844	2,792	0,484
11	2,125	1,068	2,090	2,399	0,461	2,112	2,375	0,443
12	1,772	0,849	2,202	2,001	0,205	2,395	2,096	0,22

Paulistana

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,295	1,436	3,293	4,788	15,518	3,319	4,718	14,804
2	4,509	1,591	3,101	5,042	23,828	3,502	5,042	22,890
3	4,309	1,423	3,338	4,801	23,956	3,571	4,835	23,991
4	4,412	1,591	3,027	4,939	28,711	2,822	4,829	27,706
5	4,729	1,498	3,497	5,256	51,779	3,823	5,246	50,367
6	5,157	1,483	3,897	5,698	78,280	4,332	5,731	78,217
7	5,577	1,515	4,151	6,140	105,611	4,693	6,135	103,690
8	5,782	1,560	4,181	6,363	108,072	4,206	6,415	110,630
9	6,064	1,593	4,305	6,662	111,510	5,161	6,656	109,201
10	5,673	1,710	3,695	6,286	75,558	3,552	6,230	74,294
11	4,694	1,587	3,252	5,237	26,469	3,243	5,157	25,304
12	4,310	1,318	3,638	4,781	13,725	3,461	4,685	13,087

Bom Jesus do Piauí

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2.144	0.906	2.532	2.415	1.557	2.618	2.494	1.681
2	2.021	0.774	2.826	2.269	1.128	2.886	2.291	1.149
3	1.893	0.708	2.904	2.123	0.865	2.815	2.216	0.999
4	2.363	0.887	2.892	2.650	2.600	3.072	2.660	2.565
5	2.284	0.838	2.966	2.558	2.952	3.298	2.627	3.068
6	2.383	0.965	2.657	2.681	4.089	2.746	2.825	4.701
7	2.353	0.916	2.776	2.643	3.722	2.995	2.751	4.050
8	2.326	0.932	2.688	2.616	2.397	2.681	2.639	2.465
9	2.443	1.030	2.539	2.753	2.191	2.615	2.787	2.236
10	2.441	1.083	2.401	2.754	2.075	2.766	2.939	2.312
11	2.461	1.070	2.454	2.775	2.327	2.571	2.951	2.715
12	2.237	0.916	2.626	2.518	1.565	2.738	2.610	1.702

Caracol

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2.952	1.256	2.515	3.326	6.248	2.322	3.184	5.801
2	3.264	1.240	2.854	3.663	7.426	2.652	3.558	7.071
3	2.972	1.129	2.854	3.335	4.563	2.658	3.296	4.571
4	2.894	1.157	2.695	3.254	3.826	2.611	3.220	3.774
5	3.033	1.075	3.085	3.392	3.643	2.876	3.298	3.450
6	3.424	1.487	2.458	3.860	6.880	2.375	3.755	6.487
7	3.593	1.620	2.356	4.054	8.445	2.219	3.893	7.846
8	3.589	1.770	2.134	4.052	12.156	2.021	3.896	11.393
9	3.861	1.627	2.542	4.350	18.683	2.583	4.198	16.633
10	3.919	1.638	2.566	4.414	19.304	2.319	4.240	18.349
11	3.683	1.520	2.601	4.146	11.155	2.411	3.989	10.439
12	2.996	1.354	2.351	3.381	6.176	2.187	3.280	5.981

ESTADO DO MARANHÃO

Turiçu

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3.651	1.467	2.682	4.107	14.763	3.005	4.042	13.324
2	3.490	1.499	2.488	3.933	12.642	2.860	3.910	11.483
3	3.362	1.408	2.559	3.786	8.987	2.961	3.834	8.641
4	2.956	1.161	2.750	3.322	6.530	3.186	3.375	6.417
5	2.883	1.131	2.752	3.240	6.169	3.051	3.215	5.750
6	2.980	1.155	2.790	3.347	7.671	2.945	3.338	7.415
7	3.307	1.168	3.098	3.698	10.708	3.451	3.666	10.055
8	3.878	1.157	3.739	4.295	19.716	3.556	4.221	18.959
9	4.081	1.190	3.835	4.514	37.603	4.609	4.590	38.402
10	4.222	1.253	3.759	4.674	29.808	3.941	4.675	29.533
11	4.107	1.330	3.414	4.571	29.934	3.843	4.565	28.931
12	3.949	1.458	2.947	4.426	24.678	3.417	4.366	22.437

São Luiz

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2.987	1.127	2.876	3.351	9.474	3.082	3.290	8.708
2	2.946	1.161	2.738	3.311	7.450	2.667	3.249	7.143
3	2.866	1.185	2.596	3.227	5.707	3.010	3.181	5.072
4	2.522	1.014	2.680	2.837	2.835	2.876	2.757	2.511
5	2.335	0.825	3.095	2.611	1.608	3.219	2.576	1.523
6	2.377	0.872	2.967	2.663	1.682	3.202	2.626	1.564
7	2.596	0.904	3.145	2.901	3.036	3.594	2.904	2.922
8	2.868	1.005	3.124	3.205	7.779	3.614	3.221	7.537
9	3.267	1.077	3.345	3.639	17.635	3.938	3.651	17.082
10	3.371	1.123	3.305	3.758	20.496	4.135	3.823	20.447
11	3.291	1.136	3.179	3.676	17.267	3.835	3.768	17.633
12	3.200	1.245	2.779	3.595	16.194	3.142	3.584	15.194

Zé Doca

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,937	1,159	2,735	3,301	5,020	2,665	3,239	4,811
2	3,046	1,307	2,491	3,433	6,356	2,404	3,317	5,875
3	2,720	1,222	2,366	3,069	4,063	2,361	3,007	3,826
4	2,268	0,991	2,441	2,558	1,587	2,382	2,550	1,601
5	2,224	0,954	2,491	2,507	1,210	2,648	2,539	1,211
6	2,125	0,995	2,260	2,399	0,886	2,276	2,439	0,926
7	2,315	1,099	2,225	2,614	1,571	2,409	2,596	1,448
8	2,514	1,033	2,615	2,830	3,080	2,647	2,809	2,990
9	3,069	1,182	2,812	3,446	8,000	2,848	3,382	7,512
10	3,218	1,220	2,862	3,611	11,826	2,550	3,488	11,355
11	3,312	1,216	2,966	3,711	13,110	2,666	3,616	12,783
12	3,285	1,257	2,830	3,688	10,348	2,889	3,578	9,360

Chapadinha

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,844	1,006	3,092	3,180	4,242	3,391	3,143	3,965
2	2,842	0,995	3,126	3,176	4,374	3,596	3,193	4,251
3	2,679	0,968	3,018	2,999	3,021	3,100	3,010	3,023
4	2,338	0,813	3,152	2,612	1,737	3,548	2,682	1,810
5	2,218	0,78	3,113	2,479	1,281	3,068	2,529	1,367
6	2,385	0,845	3,085	2,668	1,077	3,258	2,707	1,103
7	2,330	0,803	3,184	2,603	1,605	3,432	2,668	1,687
8	2,795	0,992	3,079	3,127	2,935	3,321	3,193	3,040
9	2,980	1,036	3,152	3,329	5,405	3,355	3,334	5,313
10	3,231	1,137	3,109	3,613	8,224	3,355	3,682	8,475
11	3,169	1,144	3,022	3,548	8,222	3,110	3,512	7,885
12	3,181	1,129	3,079	3,558	8,567	3,409	3,550	8,209

Bacabal

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,041	0,94	2,302	2,304	1,274	2,180	2,333	1,385
2	1,987	0,882	2,397	2,241	0,857	2,194	2,275	0,962
3	2,010	0,917	2,326	2,269	1,186	2,245	2,286	1,248
4	1,622	0,763	2,249	1,831	0,386	2,129	1,783	0,374
5	1,861	0,831	2,382	2,100	0,263	1,897	2,033	0,296
6	1,344	0,661	2,138	1,517	0,091	1,757	1,416	0,092
7	1,410	0,745	1,976	1,591	0,2	1,643	1,496	0,212
8	2,014	0,71	3,101	2,252	0,913	2,398	2,207	0,987
9	2,288	0,708	3,591	2,539	2,215	2,983	2,529	2,331
10	2,390	0,836	3,129	2,671	3,399	2,715	2,651	3,543
11	2,278	0,872	2,829	2,558	3,463	2,408	2,524	3,661
12	2,281	0,857	2,888	2,558	2,062	2,789	2,578	2,146

Caxias

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,331	0,901	2,799	2,618	1,449	2,915	2,718	1,589
2	2,270	0,971	2,500	2,558	1,863	2,792	2,592	1,818
3	2,422	1,021	2,542	2,729	2,113	2,900	2,766	2,050
4	2,627	1,159	2,415	2,963	3,915	2,578	2,990	3,856
5	2,754	1,191	2,469	3,104	6,225	2,468	3,007	5,661
6	3,027	1,418	2,259	3,417	11,843	2,281	3,324	10,813
7	3,217	1,442	2,373	3,630	11,903	2,408	3,594	11,430
8	3,264	1,392	2,508	3,678	10,033	2,521	3,674	9,968
9	3,193	1,241	2,782	3,587	7,778	3,040	3,574	7,391
10	3,074	1,174	2,838	3,451	4,648	2,731	3,457	4,766
11	2,722	0,912	3,285	3,036	2,338	3,602	3,153	2,551
12	2,679	1,025	2,830	3,007	2,672	2,802	2,965	2,573

Imperatriz

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,143	0,906	2,532	2,415	0,804	2,787	2,439	0,786
2	2,132	0,945	2,403	2,405	0,925	2,358	2,371	0,898
3	2,346	0,994	2,525	2,644	1,418	2,693	2,717	1,481
4	2,363	1,151	2,162	2,668	2,458	2,312	2,641	2,255
5	2,491	1,184	2,222	2,812	3,018	2,066	2,671	2,764
6	2,814	1,263	2,369	3,175	5,045	2,132	3,001	4,651
7	3,036	1,336	2,422	3,424	6,918	2,192	3,274	6,539
8	2,943	1,206	2,621	3,312	4,567	2,755	3,294	4,370
9	2,688	0,889	3,334	2,995	2,176	3,468	3,051	2,274
10	2,431	0,956	2,746	2,732	1,007	2,390	2,714	1,075
11	2,218	1,045	2,245	2,504	0,996	2,413	2,561	1,007
12	2,389	1,045	2,438	2,694	0,922	2,530	2,691	0,897

Barra do Corda

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,092	0,817	2,766	2,350	0,946	2,887	2,443	1,041
2	2,242	0,908	2,658	2,523	1,343	2,550	2,575	1,464
3	2,451	1,026	2,560	2,761	1,776	2,773	2,797	1,766
4	2,642	0,984	2,917	2,963	3,169	2,996	2,959	3,121
5	2,644	0,897	3,237	2,950	3,534	3,322	2,928	3,425
6	3,016	0,981	3,397	3,358	5,148	3,059	3,361	5,359
7	2,847	1,052	2,944	3,191	4,219	2,898	3,184	4,222
8	2,919	1,009	3,173	3,261	4,414	3,213	3,223	4,243
9	2,720	0,92	3,251	3,034	3,190	3,483	3,044	3,151
10	2,494	0,869	3,141	2,787	1,393	3,379	2,880	1,500
11	2,283	0,826	3,013	2,556	0,964	3,393	2,643	1,021
12	2,484	0,936	2,879	2,787	1,579	3,251	2,906	1,704

Colinas

Mês	Mediana	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,889	0,869	2,305	2,132	0,586	2,549	2,197	0,597
2	1,895	0,902	2,218	2,139	0,856	2,286	2,141	0,837
3	2,106	1,055	2,095	2,377	0,962	1,969	2,288	0,914
4	2,390	1,071	2,374	2,697	2,370	2,492	2,638	2,147
5	2,477	1,142	2,300	2,796	4,269	2,319	2,696	3,804
6	2,817	1,268	2,362	3,178	7,779	2,319	3,034	6,866
7	2,840	1,210	2,511	3,201	8,146	2,412	3,089	7,521
8	2,931	1,252	2,504	3,303	6,389	2,285	3,183	6,105
9	2,696	1,037	2,815	3,027	3,473	2,512	2,948	3,423
10	2,483	1,024	2,604	2,795	1,659	2,724	2,752	1,543
11	1,972	0,811	2,611	2,220	0,592	2,743	2,230	0,583
12	1,875	0,995	1,967	2,115	0,712	2,477	2,200	0,657

Carolina

Mês	Mediana	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,912	0,848	2,399	2,157	0,762	2,710	2,269	0,823
2	1,945	0,913	2,254	2,196	0,885	2,453	2,325	0,987
3	1,766	0,81	2,313	1,993	0,7	2,668	2,065	0,709
4	1,699	0,814	2,203	1,918	0,542	2,361	2,034	0,612
5	1,692	0,782	2,292	1,909	0,394	2,438	2,039	0,459
6	2,405	1,133	2,244	2,715	1,222	2,320	2,684	1,150
7	2,606	1,210	2,281	2,941	2,976	2,509	2,971	2,862
8	2,561	1,129	2,417	2,888	3,279	2,689	2,873	3,021
9	2,634	1,204	2,321	2,973	4,287	2,495	3,002	4,195
10	2,338	1,185	2,069	2,640	2,140	2,351	2,758	2,187
11	2,034	0,949	2,269	2,297	1,250	2,437	2,341	1,255
12	1,985	0,998	2,087	2,241	1,200	2,488	2,428	1,325

Alto Parnaíba

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,939	0,977	2,084	2,189	0,924	2,030	2,195	0,955
2	2,078	0,952	2,316	2,346	1,084	2,297	2,345	1,090
3	2,004	0,897	2,378	2,261	0,772	2,476	2,227	0,717
4	1,895	0,857	2,350	2,138	0,434	2,303	2,126	0,433
5	1,860	0,782	2,548	2,095	0,085	2,805	2,111	0,083
6	1,450	0,554	2,832	1,628	0,022	2,538	1,600	0,023
7	2,302	1,101	2,207	2,599	0,116	1,608	2,582	0,167
8	2,156	0,88	2,635	2,427	0,414	1,940	2,330	0,472
9	2,383	0,967	2,650	2,681	0,964	2,305	2,595	0,96
10	2,145	1,046	2,161	2,422	1,248	2,133	2,405	1,237
11	2,082	0,934	2,369	2,349	1,018	2,420	2,324	0,972
12	2,096	1,026	2,150	2,366	1,172	2,073	2,323	1,148

ESTADO DA BAHIA

Remanso

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,774	1,386	2,964	4,228	11,838	3,122	4,101	10,576
2	3,917	1,486	2,859	4,396	11,797	2,786	4,382	11,835
3	4,067	1,216	3,730	4,504	18,678	3,881	4,434	17,663
4	4,148	1,354	3,383	4,618	19,659	3,403	4,584	19,191
5	3,813	1,216	3,470	4,239	18,904	3,019	4,170	18,884
6	4,198	1,182	3,986	4,632	32,550	3,875	4,599	32,037
7	4,315	1,181	4,114	4,753	31,863	3,615	4,676	31,163
8	4,449	1,255	3,979	4,910	36,708	3,653	4,805	35,036
9	4,719	1,463	3,582	5,239	53,264	2,897	5,271	58,507
10	4,668	1,576	3,258	5,207	40,062	3,343	5,053	36,294
11	4,276	1,447	3,250	4,771	17,478	2,742	4,727	18,282
12	4,454	1,583	3,077	4,982	22,655	3,222	4,889	21,041

Paulo Afonso

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,392	1,398	2,606	3,819	17,877	2,816	3,902	18,282
2	3,271	1,447	2,407	3,690	12,408	2,805	3,832	12,682
3	2,720	1,158	2,514	3,065	5,614	2,525	3,232	6,564
4	2,779	1,044	2,890	3,117	6,831	3,184	3,202	7,117
5	2,804	1,046	2,912	3,144	7,861	2,791	3,197	8,440
6	3,087	1,205	2,768	3,468	11,836	2,884	3,540	12,346
7	3,174	1,260	2,717	3,568	16,697	3,210	3,635	16,409
8	3,631	1,304	3,038	4,063	22,661	3,072	4,023	21,899
9	4,133	1,366	3,336	4,605	35,211	3,188	4,673	37,361
10	4,299	1,415	3,351	4,788	38,396	3,737	4,823	38,086
11	4,050	1,466	3,013	4,535	34,327	3,327	4,545	33,313
12	3,694	1,515	2,621	4,158	25,664	2,926	4,212	25,196

Ibipetuba

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,473	0,977	2,732	2,779	1,697	2,248	2,705	1,783
2	2,678	0,943	3,105	2,994	2,143	2,919	2,968	2,143
3	2,499	0,824	3,342	2,784	1,523	2,997	2,725	1,486
4	2,623	1,037	2,730	2,948	2,271	2,471	2,898	2,291
5	2,920	1,016	3,150	3,263	2,377	2,188	3,224	2,850
6	3,188	1,149	3,027	3,569	3,003	2,207	3,549	3,589
7	3,233	1,073	3,318	3,603	3,651	2,692	3,545	3,805
8	3,330	1,250	2,893	3,735	4,366	2,716	3,735	4,504
9	3,278	1,182	3,025	3,669	5,268	2,467	3,559	5,362
10	2,995	1,101	2,960	3,356	2,982	2,733	3,324	3,011
11	2,585	0,91	3,110	2,891	2,094	2,970	2,870	2,087
12	2,623	0,956	2,988	2,938	2,171	2,952	2,887	2,072

Monte Santo

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,923	1,011	3,172	3,265	3,991	3,343	3,238	3,825
2	2,999	1,118	2,914	3,362	5,398	3,306	3,378	5,213
3	2,807	0,979	3,140	3,137	3,253	3,023	3,069	3,092
4	2,751	1,107	2,676	3,095	4,385	2,850	3,055	4,085
5	2,663	1,074	2,668	2,995	4,654	2,928	2,918	4,105
6	2,803	1,144	2,635	3,155	6,010	2,912	3,110	5,471
7	2,925	1,198	2,625	3,292	6,828	2,573	3,186	6,259
8	3,027	1,089	3,035	3,388	8,339	3,161	3,279	7,441
9	3,312	1,118	3,257	3,694	12,824	3,495	3,590	11,507
10	3,299	1,072	3,397	3,672	12,960	3,443	3,628	12,447
11	3,256	1,025	3,520	3,618	9,361	3,528	3,596	9,186
12	2,909	1,047	3,033	3,256	6,513	2,936	3,165	6,065

Barra

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,576	1,231	2,209	2,908	5,515	2,107	2,842	5,373
2	2,692	1,152	2,498	3,034	5,129	2,735	3,013	4,762
3	2,462	1,001	2,646	2,770	4,200	2,598	2,797	4,371
4	2,413	1,178	2,158	2,725	3,350	2,651	2,731	2,904
5	2,095	0,964	2,304	2,364	1,550	2,150	2,326	1,565
6	2,538	1,077	2,523	2,860	2,586	2,717	2,796	2,312
7	2,616	1,068	2,635	2,944	4,083	2,829	2,924	3,850
8	2,876	1,172	2,640	3,236	8,617	2,884	3,230	8,185
9	3,275	1,230	2,890	3,673	17,659	2,863	3,607	16,798
10	3,212	1,293	2,675	3,613	14,908	2,475	3,542	14,734
11	3,094	1,321	2,505	3,487	10,383	2,490	3,492	10,462
12	2,976	1,312	2,418	3,357	9,215	2,379	3,297	8,830

Irecê

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,009	1,083	3,033	3,368	8,608	3,218	3,487	9,340
2	3,263	1,168	3,051	3,652	10,644	2,978	3,685	11,044
3	2,941	1,051	3,058	3,291	8,443	2,662	3,258	8,752
4	3,057	1,090	3,065	3,420	11,944	3,107	3,434	12,033
5	3,433	1,135	3,335	3,825	19,053	3,060	3,921	21,166
6	3,779	1,314	3,153	4,222	30,796	3,265	4,379	33,936
7	3,830	1,280	3,295	4,271	29,501	3,408	4,365	31,178
8	3,830	1,240	3,413	4,262	25,371	3,710	4,475	28,714
9	3,856	1,187	3,613	4,279	18,283	4,168	4,408	19,403
10	3,799	1,194	3,528	4,220	18,797	3,336	4,274	19,848
11	3,335	1,043	3,546	3,704	10,464	3,586	3,667	10,129
12	3,084	1,095	3,080	3,450	8,582	3,447	3,571	9,160

Jacobina

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,763	1,428	2,856	4,222	24,914	2,626	4,318	27,865
2	3,893	1,481	2,849	4,369	31,235	2,510	4,381	33,814
3	3,738	1,554	2,580	4,209	24,456	2,656	4,447	28,353
4	3,540	1,236	3,137	3,956	18,781	3,085	4,049	20,266
5	3,525	1,174	3,305	3,929	21,813	2,987	3,975	23,469
6	3,653	1,152	3,515	4,059	25,875	3,107	4,060	26,976
7	3,813	1,248	3,373	4,246	32,518	3,086	4,351	36,097
8	4,115	1,420	3,180	4,596	40,773	3,084	4,808	47,213
9	4,449	1,522	3,209	4,966	52,663	3,337	5,308	63,440
10	4,629	1,691	2,982	5,185	54,528	2,884	5,535	67,332
11	4,161	1,582	2,851	4,670	31,732	2,893	4,993	38,531
12	3,586	1,259	3,117	4,009	17,115	3,019	4,203	19,966

Serrinha

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,201	1,296	2,659	3,601	12,680	2,395	3,549	12,983
2	3,090	1,249	2,663	3,476	8,552	2,816	3,484	8,363
3	2,928	1,224	2,565	3,298	6,520	2,867	3,335	6,349
4	2,834	1,110	2,759	3,185	5,525	3,152	3,186	5,217
5	2,562	1,125	2,428	2,889	3,340	2,528	2,873	3,196
6	2,504	0,986	2,741	2,814	1,712	3,002	2,880	1,758
7	2,510	1,055	2,548	2,827	2,856	2,559	2,886	3,031
8	2,886	1,194	2,594	3,249	6,329	2,750	3,201	5,858
9	3,409	1,260	2,944	3,821	12,614	3,029	3,678	11,116
10	3,802	1,219	3,450	4,229	24,557	3,538	4,106	22,310
11	3,978	1,194	3,713	4,407	26,077	3,599	4,311	24,602
12	3,630	1,389	2,831	4,075	21,468	2,928	3,995	19,907

Salvador

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,480	0,809	3,384	2,761	4,913	3,147	2,668	4,546
2	2,407	0,766	3,480	2,677	5,103	3,632	2,605	4,653
3	2,348	0,745	3,489	2,611	4,267	3,618	2,627	4,305
4	2,373	0,802	3,255	2,647	3,156	3,269	2,666	3,216
5	2,374	1,032	2,456	2,676	3,156	2,751	2,822	3,458
6	2,349	1,066	2,340	2,651	2,072	2,471	2,709	2,128
7	2,326	1,007	2,468	2,623	2,549	2,725	2,620	2,394
8	2,340	0,876	2,900	2,624	3,578	3,059	2,624	3,499
9	2,473	0,775	3,541	2,747	3,813	3,402	2,683	3,592
10	2,522	0,841	3,304	2,811	5,266	3,330	2,698	4,642
11	2,722	0,909	3,298	3,034	6,764	3,390	2,915	5,947
12	2,647	0,841	3,485	2,942	5,200	3,470	2,795	4,465

Barreiras

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,794	0,913	3,376	3,111	3,367	3,261	3,196	3,691
2	2,725	0,913	3,282	3,038	2,710	3,284	3,079	2,820
3	2,769	0,895	3,419	3,082	2,368	2,690	3,141	2,770
4	2,587	0,925	3,055	2,894	1,208	2,726	2,835	1,198
5	2,565	0,784	3,641	2,845	0,803	3,353	2,797	0,78
6	2,525	0,815	3,423	2,810	0,517	2,129	2,855	0,711
7	2,676	0,826	3,600	2,970	0,712	3,038	2,962	0,747
8	2,836	0,959	3,249	3,164	1,251	2,789	3,134	1,297
9	2,890	0,998	3,175	3,228	2,233	2,398	3,196	2,511
10	2,817	0,997	3,091	3,151	1,874	2,708	3,113	1,922
11	2,892	0,976	3,256	3,226	2,445	2,899	3,240	2,595
12	2,879	0,935	3,401	3,204	3,591	2,757	3,267	4,146

Lençóis

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,683	0,696	2,594	1,895	0,909	2,803	1,959	0,963
2	1,721	0,787	2,319	1,942	1,278	2,393	1,949	1,262
3	1,703	0,708	2,579	1,918	0,921	2,567	1,929	0,939
4	1,820	0,952	1,996	2,053	1,305	2,203	2,210	1,480
5	1,694	0,81	2,205	1,912	1,070	2,437	2,017	1,162
6	1,762	0,866	2,140	1,989	1,652	2,244	2,049	1,732
7	1,679	0,84	2,099	1,896	0,86	2,154	1,903	0,849
8	1,854	0,9	2,171	2,093	1,448	2,451	2,202	1,533
9	1,843	0,772	2,558	2,076	1,236	2,553	2,111	1,301
10	1,896	0,784	2,595	2,135	1,423	2,721	2,218	1,552
11	1,725	0,682	2,727	1,939	1,125	2,864	1,989	1,184
12	1,521	0,687	2,352	1,716	0,661	2,348	1,839	0,814

Itaberaba

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,570	1,211	2,244	2,902	2,980	2,586	3,030	3,065
2	2,760	1,298	2,249	3,116	3,913	2,159	3,077	3,904
3	2,379	1,111	2,268	2,686	2,123	2,244	2,634	2,020
4	2,253	1,170	2,015	2,543	1,848	2,323	2,570	1,680
5	2,564	1,186	2,290	2,894	2,382	2,186	2,838	2,335
6	2,609	1,298	2,112	2,946	2,532	2,218	2,941	2,412
7	2,765	1,248	2,353	3,120	3,519	2,192	3,018	3,372
8	3,070	1,260	2,617	3,456	5,912	2,105	3,274	5,928
9	3,316	1,375	2,588	3,734	9,807	2,677	3,633	8,853
10	3,329	1,415	2,518	3,751	12,295	2,616	3,665	11,201
11	3,148	1,473	2,263	3,554	10,187	2,210	3,502	9,943
12	3,242	1,485	2,316	3,659	9,065	2,555	3,704	8,785

Alagoinhas

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,887	1,190	2,604	3,250	4,537	2,352	3,116	4,280
2	3,016	1,387	2,307	3,404	8,026	2,099	3,196	7,206
3	2,718	1,092	2,679	3,057	4,164	2,136	2,895	4,173
4	2,713	1,127	2,583	3,055	4,401	2,436	2,938	4,067
5	2,729	1,118	2,624	3,072	4,596	2,527	2,971	4,255
6	2,682	1,111	2,591	3,020	5,281	2,304	2,894	5,040
7	2,808	1,160	2,598	3,161	5,406	2,180	2,988	5,193
8	2,827	1,149	2,647	3,181	6,150	2,103	2,965	5,917
9	3,034	1,175	2,795	3,408	7,705	2,346	3,232	7,329
10	3,119	1,149	2,955	3,496	7,594	2,769	3,321	6,717
11	3,175	1,186	2,909	3,560	4,447	2,572	3,442	4,293
12	3,249	1,286	2,727	3,652	6,006	2,606	3,473	5,300

Correntina

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,911	0,946	2,124	2,158	0,299	2,125	2,111	0,28
2	2,171	0,87	2,688	2,442	0,554	2,111	2,388	0,619
3	1,901	0,703	2,943	2,131	0,15	2,633	2,068	0,146
4	2,363	1,013	2,494	2,664	1,074	2,162	2,612	1,131
5	2,445	1,192	2,161	2,761	1,856	2,071	2,708	1,822
6	2,573	1,296	2,084	2,905	5,527	1,878	2,746	5,228
7	2,718	1,254	2,298	3,068	5,304	2,096	2,933	5,023
8	2,754	1,401	2,060	3,108	5,159	1,988	3,018	4,899
9	2,447	1,222	2,103	2,763	3,794	1,982	2,696	3,742
10	2,317	1,074	2,286	2,615	3,008	2,446	2,733	3,266
11	2,014	1,000	2,116	2,273	1,101	2,122	2,273	1,097
12	1,850	0,897	2,173	2,088	0,44	2,362	2,131	0,437

Bom Jesus da Lapa

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	1,808	0,685	2,864	2,029	0,906	2,674	2,083	1,016
2	2,216	0,701	3,498	2,463	2,373	3,731	2,515	2,486
3	2,032	0,691	3,230	2,268	1,213	3,478	2,391	1,388
4	2,108	0,815	2,798	2,368	3,001	2,811	2,474	3,418
5	2,078	0,747	3,033	2,326	3,114	3,235	2,462	3,604
6	2,447	0,937	2,829	2,747	6,476	3,071	3,008	8,203
7	2,242	0,845	2,879	2,515	4,519	3,229	2,662	5,115
8	2,332	0,946	2,650	2,624	4,165	3,215	2,876	5,026
9	2,288	0,826	3,022	2,561	3,059	3,276	2,663	3,335
10	2,348	0,873	2,925	2,633	3,822	3,374	2,807	4,390
11	2,078	0,784	2,877	2,332	2,214	3,086	2,475	2,569
12	1,965	0,786	2,692	2,209	1,437	2,884	2,337	1,643

Jaguaquara

Mês	Média	Desvio	a	b	PMI	a	b	PMQ
1	2.456	0,941	2.827	2.757	2.667	2.924	2.754	2.618
2	2.448	0,999	2.634	2.755	2.870	3,097	2,798	2,783
3	2.177	0,816	2.896	2.442	2,080	3,082	2,421	1,972
4	2.172	0,873	2.681	2.443	1,501	2,924	2,449	1,448
5	2.124	0,826	2.780	2.386	0,915	3,060	2,458	0,958
6	2.119	0,8	2.874	2.377	0,79	3,105	2,375	0,763
7	2.143	0,94	2.430	2.417	1,514	2,749	2,471	1,501
8	2.245	0,832	2.933	2.517	1,970	3,006	2,490	1,887
9	2.523	0,865	3.203	2.817	3,606	3,553	2,783	3,366
10	2.679	0,897	3.287	2.987	4,760	3,057	2,929	4,609
11	2.732	0,915	3.286	3.046	4,691	3,048	2,982	4,524
12	2.729	1,005	2,956	3,058	5,527	2,951	2,984	5,140

Cacitê

Mês	Média	Desvio	a	b	PMI	a	b	PMQ
1	3.374	1,717	2,060	3,809	9,644	1,942	3,614	8,768
2	4.857	1,973	2,648	5,465	22,891	2,142	5,399	25,784
3	4.251	1,870	2,422	4,794	20,620	2,104	4,579	20,166
4	4.660	2,150	2,297	5,259	35,122	2,096	5,097	34,629
5	5.000	2,220	2,397	5,640	53,100	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
6	4.893	2,486	2,064	5,524	52,055	1,797	5,361	55,740
7	4.950	2,240	2,346	5,585	51,220	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
8	4.890	2,230	2,326	5,518	64,410	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
9	5.570	2,110	2,862	6,249	76,640	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
10	5.273	2,154	2,632	5,934	60,256	2,170	5,758	63,324
11	4.392	1,924	2,435	4,953	29,940	2,077	4,762	30,360
12	3.558	1,753	2,135	4,018	12,581	1,974	3,820	11,698

Vitória da Conquista

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2.650	1,006	2,855	2,973	3,997	3,004	2,966	3,877
2	2.978	1,021	3,201	3,325	8,890	3,353	3,271	8,332
3	2.757	0,983	3,065	3,085	5,517	3,323	3,032	5,088
4	2.660	1,028	2,800	2,987	3,844	3,030	2,984	3,694
5	2.688	1,024	2,845	3,017	5,739	2,951	3,076	5,984
6	2.645	1,062	2,685	2,975	5,449	3,016	3,009	5,327
7	2.686	1,084	2,668	3,022	6,136	2,951	3,059	6,053
8	2.982	1,057	3,084	3,335	7,028	3,342	3,279	6,493
9	3.275	1,092	3,303	3,650	11,392	3,573	3,691	11,510
10	3.281	1,001	3,648	3,639	10,025	3,943	3,626	9,752
11	3.013	1,082	3,039	3,372	5,986	3,298	3,380	5,847
12	2.992	1,152	2,811	3,359	6,364	2,946	3,340	6,120

Ilhéus

Mês	Medida	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2.727	0,842	3,598	3,026	2,206	3,718	3,043	2,226
2	2.851	0,807	3,964	3,147	3,960	4,031	3,212	4,197
3	2.856	0,941	3,345	3,181	3,830	3,735	3,341	4,306
4	3.764	1,431	2,853	4,224	19,751	3,310	4,459	21,886
5	3.350	1,059	3,505	3,723	13,941	3,933	3,936	16,032
6	3.600	1,345	2,908	4,037	25,535	3,335	4,311	29,487
7	3.382	1,293	2,833	3,796	16,893	3,295	4,060	19,446
8	3.180	1,423	2,377	3,588	12,799	2,969	3,848	13,905
9	3.282	1,423	2,462	3,700	12,652	2,951	3,917	13,590
10	3.269	1,206	2,949	3,664	8,117	3,297	3,773	8,495
11	4.001	1,647	2,611	4,504	11,038	2,764	4,504	10,691
12	2.922	1,225	2,556	3,291	3,503	2,527	3,303	3,569

Carinhanha

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,070	0,986	2,218	2,337	1,668	2,347	2,359	1,640
2	2,542	1,032	2,650	2,861	5,731	2,760	2,916	5,936
3	2,301	0,961	2,567	2,591	3,895	2,634	2,618	3,953
4	2,433	1,039	2,505	2,742	4,220	2,629	2,778	4,258
5	2,278	0,994	2,446	2,569	3,324	2,686	2,559	3,101
6	2,524	1,150	2,330	2,848	4,276	2,268	2,744	3,908
7	2,617	1,193	2,328	2,954	4,995	2,438	2,894	4,540
8	2,957	1,259	2,512	3,333	10,356	2,774	3,322	9,685
9	2,966	1,200	2,660	3,337	11,605	2,546	3,302	11,540
10	2,839	1,180	2,580	3,197	8,077	2,840	3,242	7,997
11	2,357	1,025	2,454	2,658	3,122	2,544	2,637	2,976
12	2,170	0,908	2,562	2,444	2,143	2,770	2,391	1,920

Guaratinga

Mês	Média	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	2,686	1,151	2,493	3,027	2,864	2,450	3,041	2,938
2	2,404	1,023	2,515	2,709	1,010	2,608	2,695	0,972
3	2,378	0,843	3,083	2,659	1,185	2,565	2,622	1,245
4	2,435	0,823	3,254	2,717	0,756	3,174	2,688	0,739
5	2,147	0,794	2,943	2,406	0,584	2,495	2,412	0,644
6	1,864	0,853	2,319	2,103	0,247	2,409	2,147	0,255
7	2,186	0,851	2,776	2,456	0,626	2,707	2,447	0,627
8	2,305	0,793	3,191	2,574	0,998	2,753	2,507	0,983
9	2,515	1,097	2,446	2,836	1,464	1,954	2,707	1,553
10	2,692	1,097	2,637	3,029	2,625	2,788	2,988	2,446
11	2,910	1,103	2,861	3,265	3,453	2,529	3,178	3,408
12	2,626	0,936	3,064	2,938	2,989	2,923	2,871	2,847

Caravelas

Mês	Medias	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,293	1,650	2,095	3,717	12,599	2,286	3,603	10,631
2	2,820	1,560	1,877	3,176	6,370	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
3	2,860	1,620	1,829	3,218	7,410	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
4	2,847	1,558	1,900	3,208	4,150	2,075	3,140	3,544
5	2,461	1,397	1,825	2,769	1,815	1,982	2,729	1,577
6	2,322	1,230	1,970	2,619	0,77	2,065	2,611	0,727
7	2,398	1,366	1,818	2,698	2,443	2,168	2,762	2,168
8	2,683	1,450	1,927	3,024	5,502	2,336	3,054	4,729
9	3,155	1,612	2,050	3,561	8,835	2,285	3,455	7,325
10	3,490	1,710	2,148	3,940	10,970	xxxxx	xxxxx	xxxxxxx
11	3,891	1,668	2,494	4,386	15,338	2,539	4,246	13,762
12	3,586	1,659	2,291	4,048	13,631	2,161	3,877	12,583

4.3 - Análise do teste de ajustamento

Em virtude do grande número de estações estudadas, optou-se por considerar duas formas distintas de verificação da representatividade do modelo de Weibull. Uma delas consistiu em aplicar-se simplesmente o teste de Kolmogorov-Smirnov com dois níveis de significância (0,05 e 0,01) para algumas situações selecionadas; e a outra consistiu em se representar num mesmo gráfico as funções de distribuição de Weibull segundo os métodos dos momentos e dos mínimos quadrados, além da distribuição empírica, ou Kimbal, para as mesmas amostras selecionadas anteriormente.

Os resultados da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov podem ser observados na Tabela 4.3. Como pode ser visto, para os doze meses e localidades selecionadas o modelo de Weibull se ajustou satisfatoriamente às distribuições empíricas para os dois níveis de significância considerados. Observa-se ainda que em todos os casos o Método dos Momentos proporcionou melhor ajustamento às observações que o Método dos Mínimos Quadrados, exceto em Maceió (junho) e Salvador (setembro). O menor desvio máximo (D_m) associado ao Método dos Momentos, ocorreu em João Pessoa no mês de maio, sendo igual a 0,033, e o maior em São Luiz (outubro), sendo igual a 0,093. Com relação ao Método dos Mínimos Quadrados o menor desvio máximo foi verificado em Salvador (setembro), com valor igual a 0,025, e o maior em São Luiz (outubro) sendo igual a 0,163. Em geral o desvio máximo observado para cada um dos métodos foi inferior à metade do desvio crítico para o nível de significância de 0,05.

Bandeira (1990) testou o ajustamento do modelo de Weibull a vários locais do Nordeste através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e o Qui-quadrado. No seu estudo chegou a concluir que o Qui-quadrado se mostra mais exigente que o K.S, o que contraria inúmeros estudos acerca do teste de aderência.

Sousa & Granja (1997) avaliaram o ajustamento do modelo de Weibull aos dados de vento de Campo Grande e Dourados - MS, usando o erro residual, utilizado em Justus et al (1976).

Marques Júnior et al (1995) por sua vez, aplicaram o teste de Kolmogorov-Smirnov aos dados mensais de velocidade do vento de Botucatu - SP, ocasião em que constataram o ajustamento do modelo Beta aos dados observados, ao nível de significância de 5%.

Tabela 4.3 -- Valores dos desvios máximo (D_m) observados entre as distribuições Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos, $D_m(MM)$, dos Mínimos Quadrados, $D_m(MQ)$, e níveis críticos correspondentes aos níveis de significância 0,05, $D_c (\alpha=0,05)$ e 0,01, $D_c (\alpha=0,01)$ para diferentes localidades do Nordeste do Brasil

Mês	N. de dados	$D_m(mm)$	$D_m(mq)$	$D_c(\alpha=0,05)$	$d_c(\alpha=0,01)$	Estação
Janeiro	51	0,057	0,094	0,19	0,23	Aracaju
Fevereiro	53	0,044	0,047	0,18	0,22	C. Grande
Março	46	0,058	0,078	0,20	0,24	Cruzeta
Abril	45	0,058	0,078	0,20	0,24	Fortaleza
Maió	47	0,033	0,034	0,19	0,23	J. Pessoa
Junho	48	0,041	0,031	0,19	0,23	Maceió
Julho	49	0,056	0,102	0,19	0,23	Parnaíba
Agosto	50	0,041	0,052	0,19	0,23	Recife
Setembro	33	0,059	0,025	0,24	0,28	Salvador
Outubro	43	0,093	0,163	0,21	0,25	São Luiz
Novembro	39	0,087	0,096	0,22	0,26	J. Pessoa
Dezembro	52	0,048	0,059	0,19	0,23	C. Grande

As frequências acumuladas teóricas e empíricas estão representadas nas Figuras de 4.5 à 4.14. Como pode se observar o Método dos Momentos apresentou melhor aderência à distribuição empírica (Kimbal), onde mais uma vez se constata a grande representatividade do Método dos Momentos.

Este mesmo critério de avaliação de aderência foi empregado por Silva et al (2001) em estudo do potencial eólico do Estado da Paraíba, quando se constatou que o MM se ajustou melhor aos dados observados que o MQ.

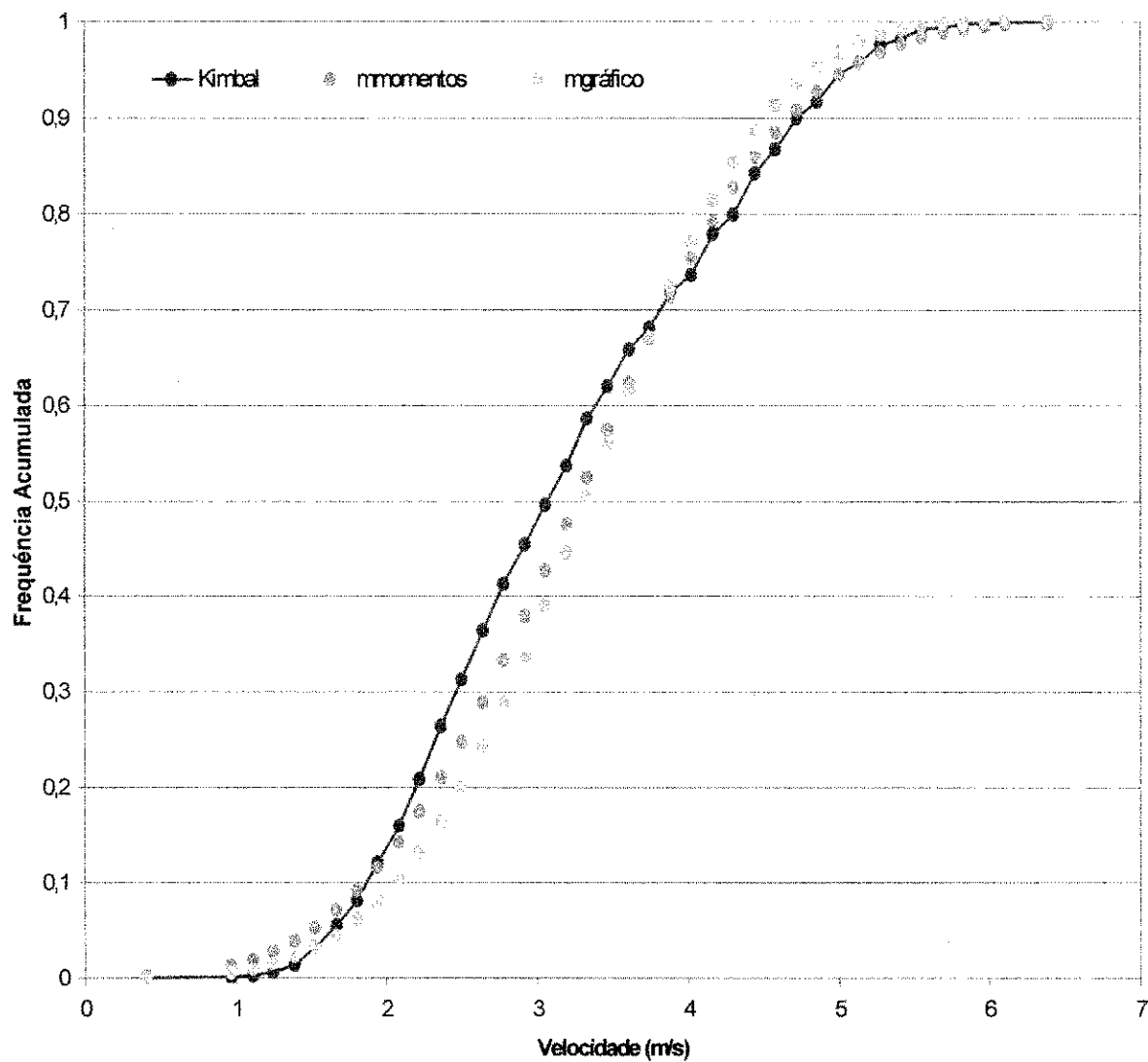


Figura 4.5 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de São Luiz referente ao mês de setembro

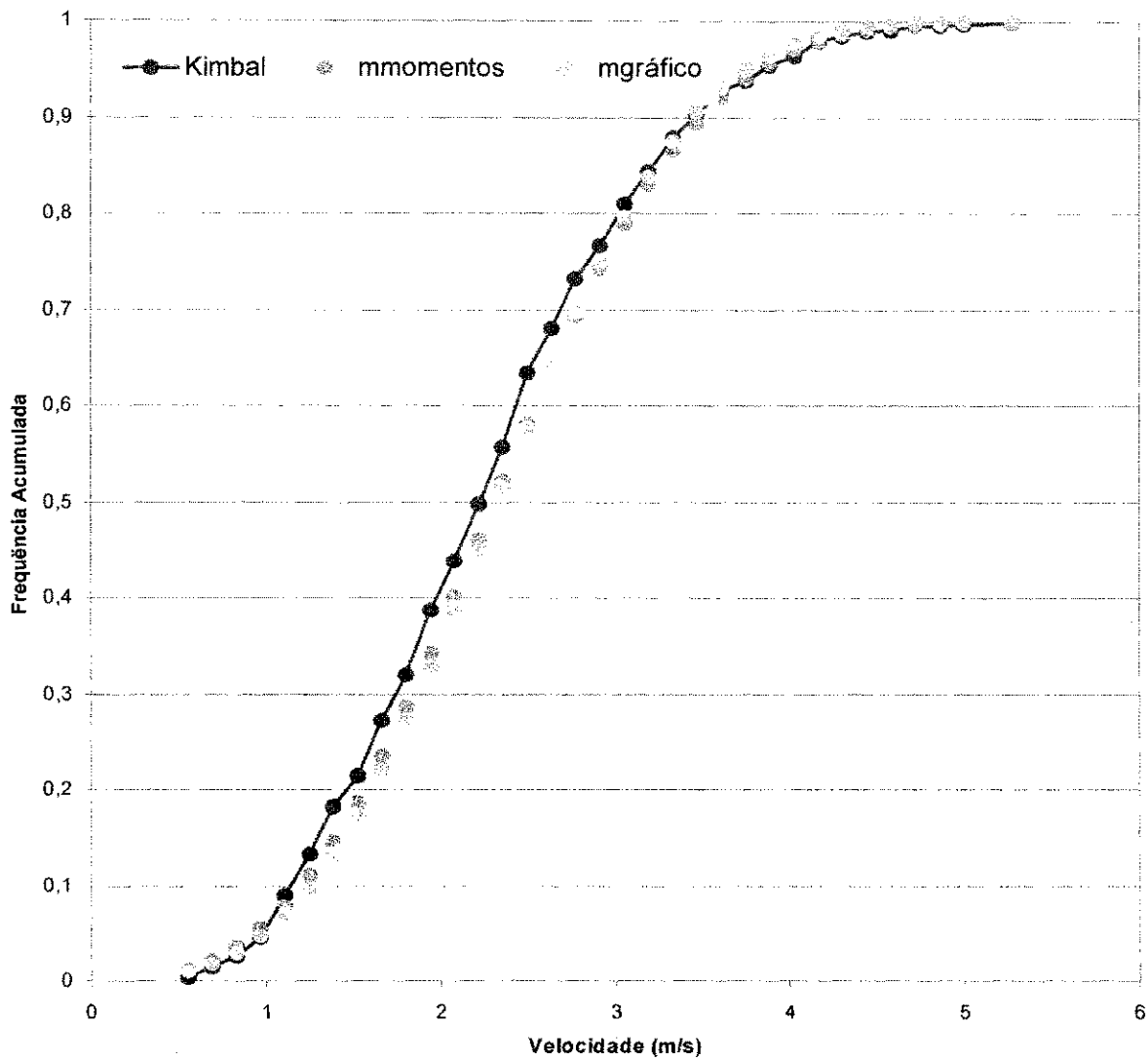


Figura 4.6 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Salvador referente ao mês de agosto

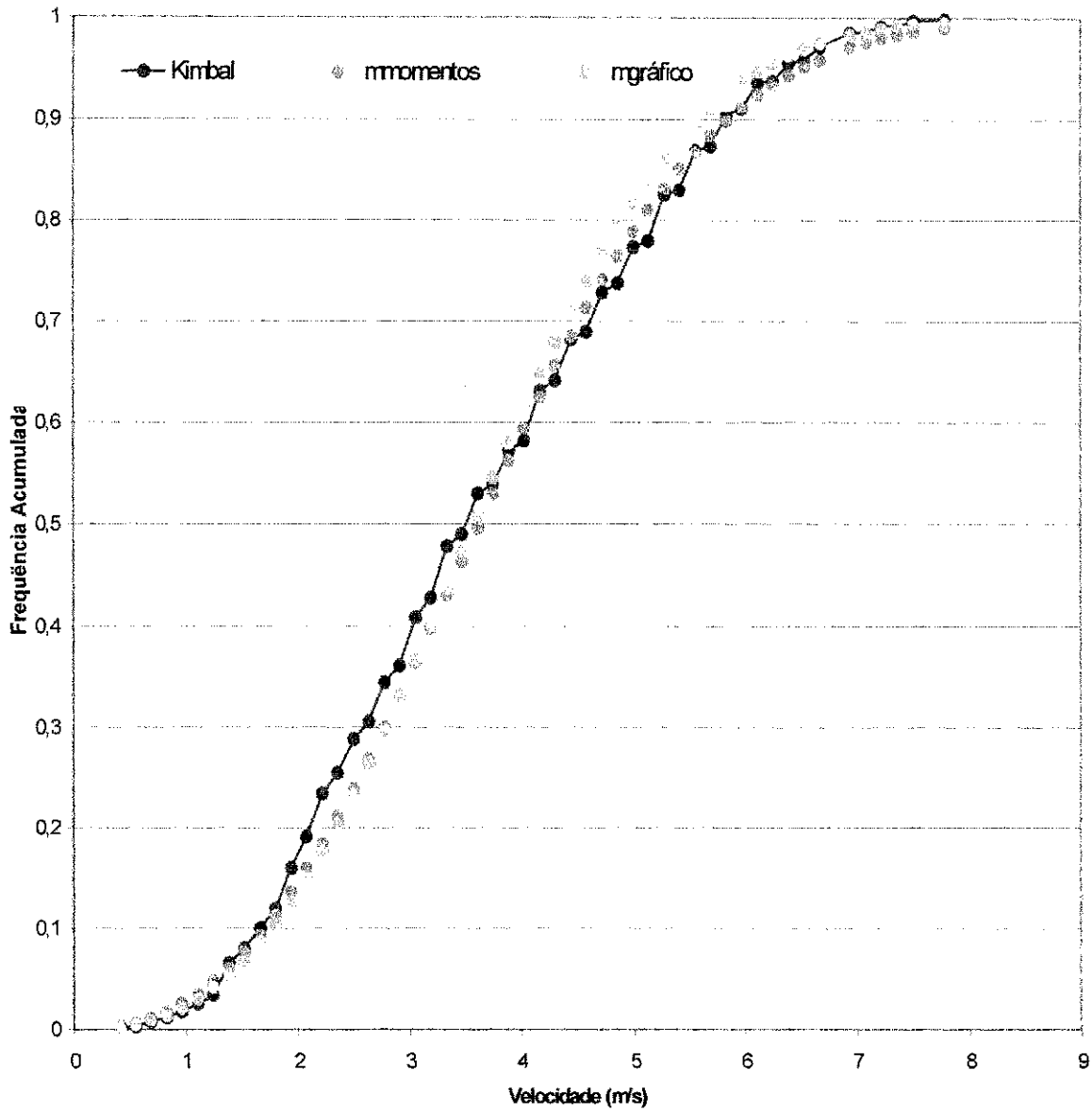


Figura 4.7 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Recife referente ao mês de julho

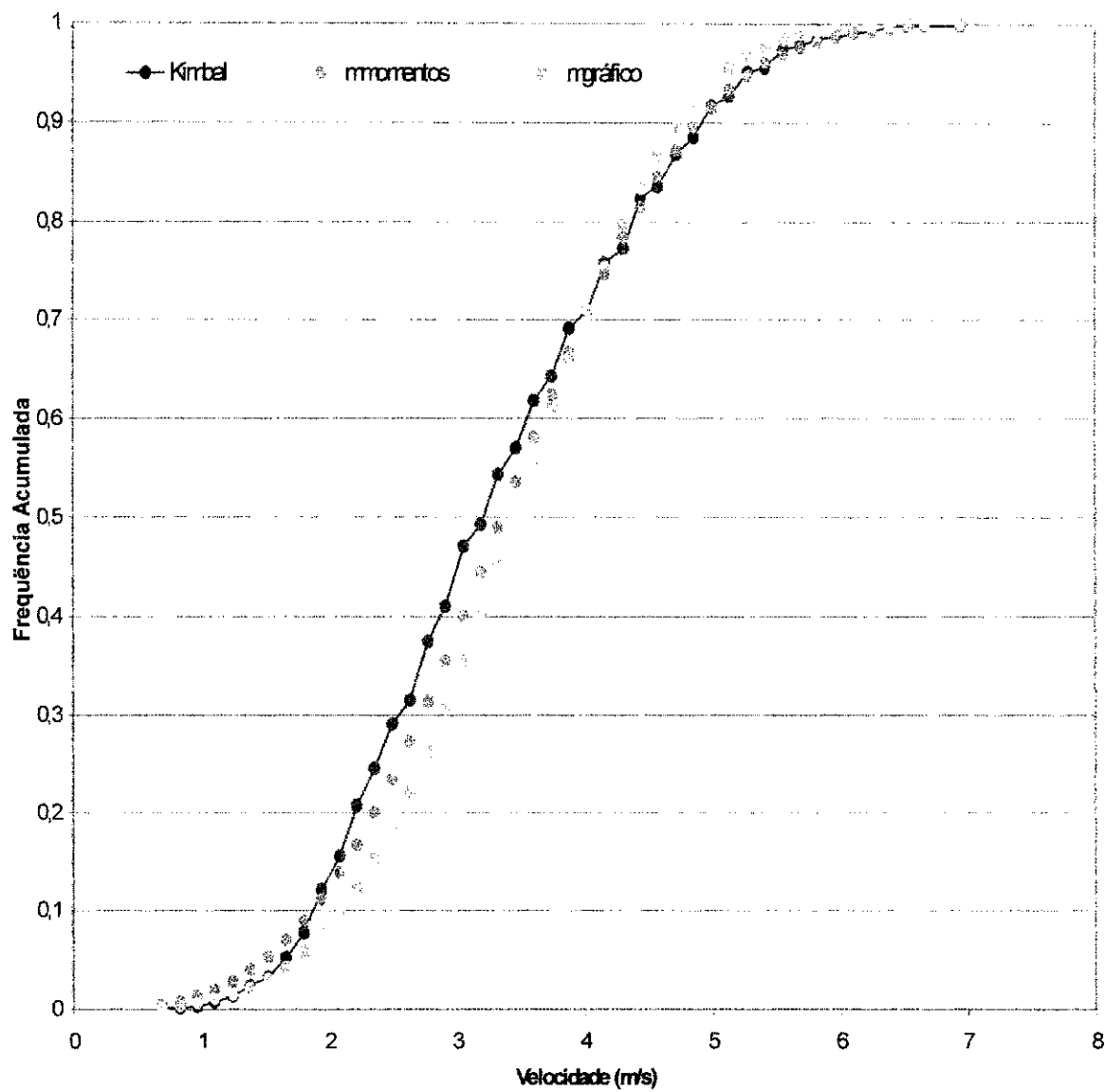


Figura 4.8 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Parnaíba referente ao mês de junho

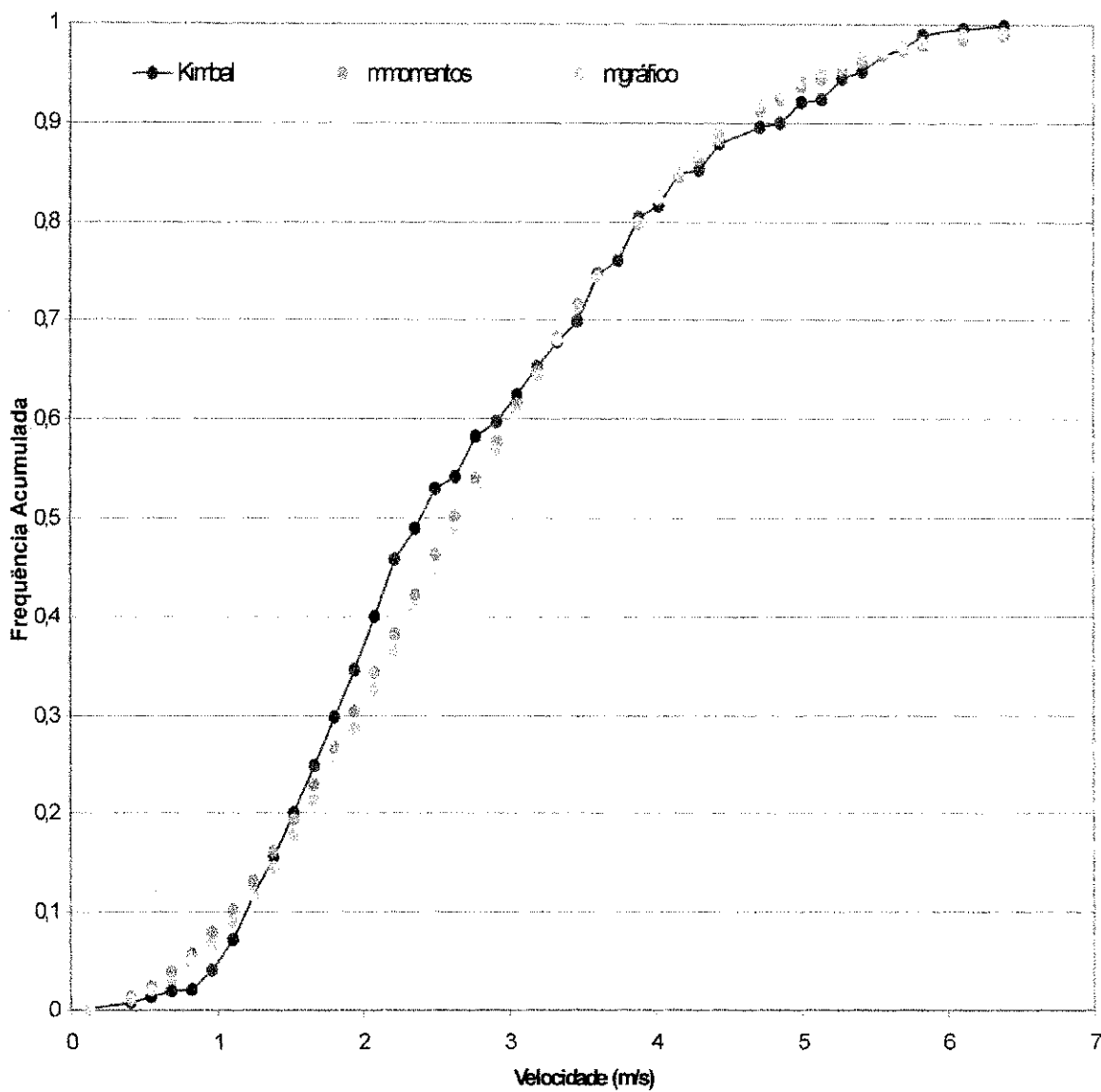


Figura 4.9 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Maceió referente ao mês de maio

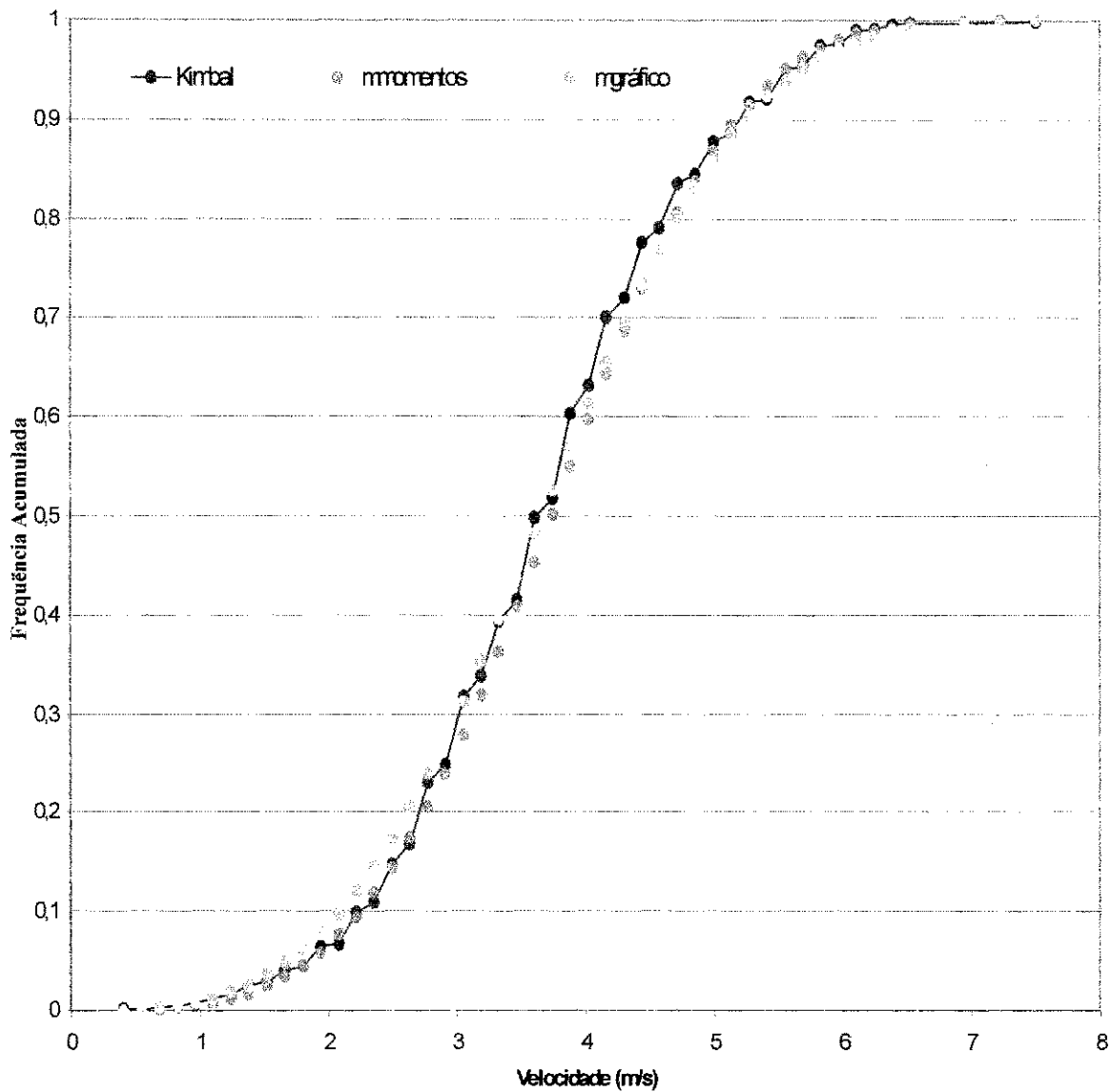


Figura 4.10 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de João Pessoa referente ao mês de abril

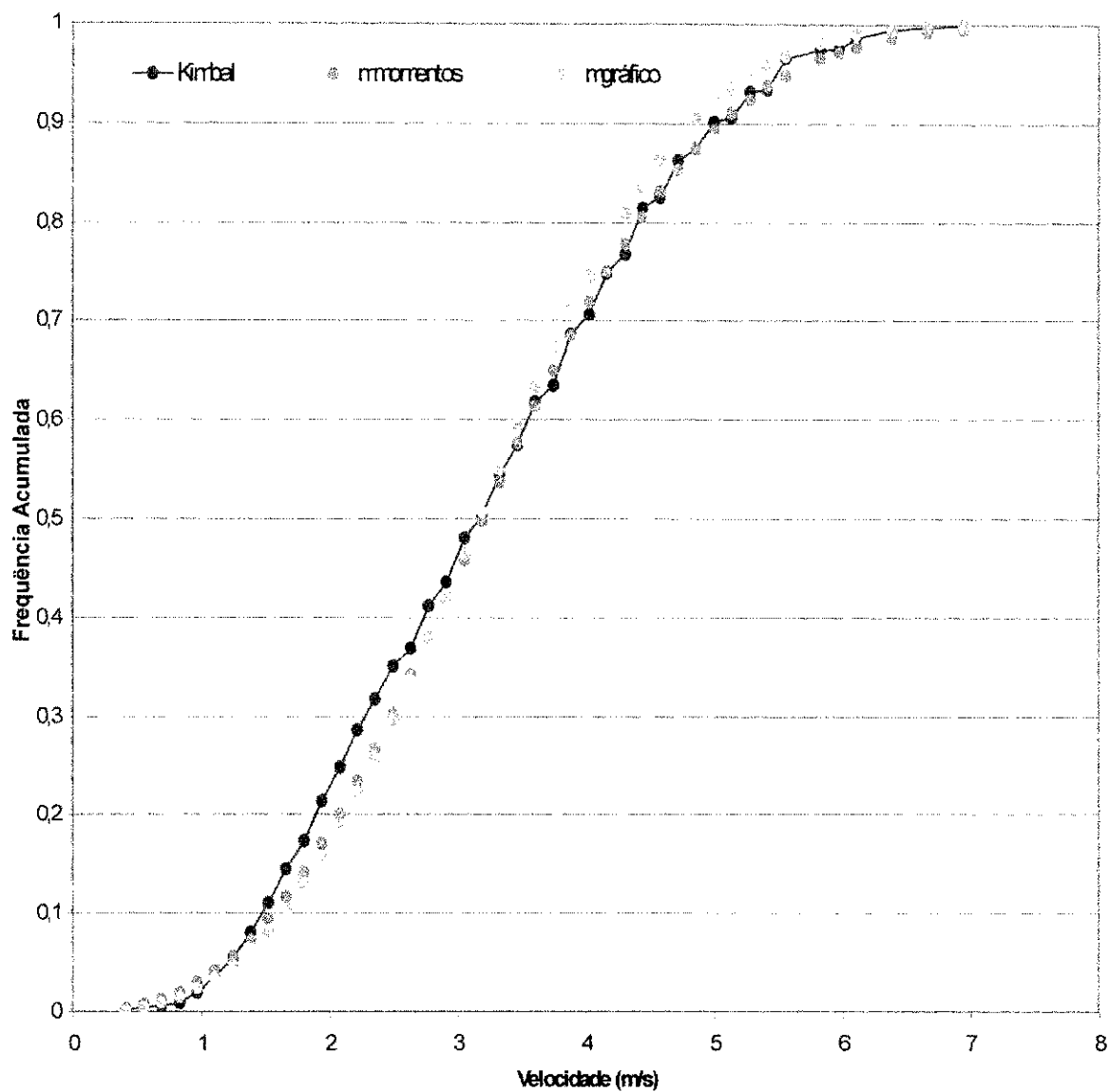


Figura 4.11 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Fortaleza referente ao mês de março

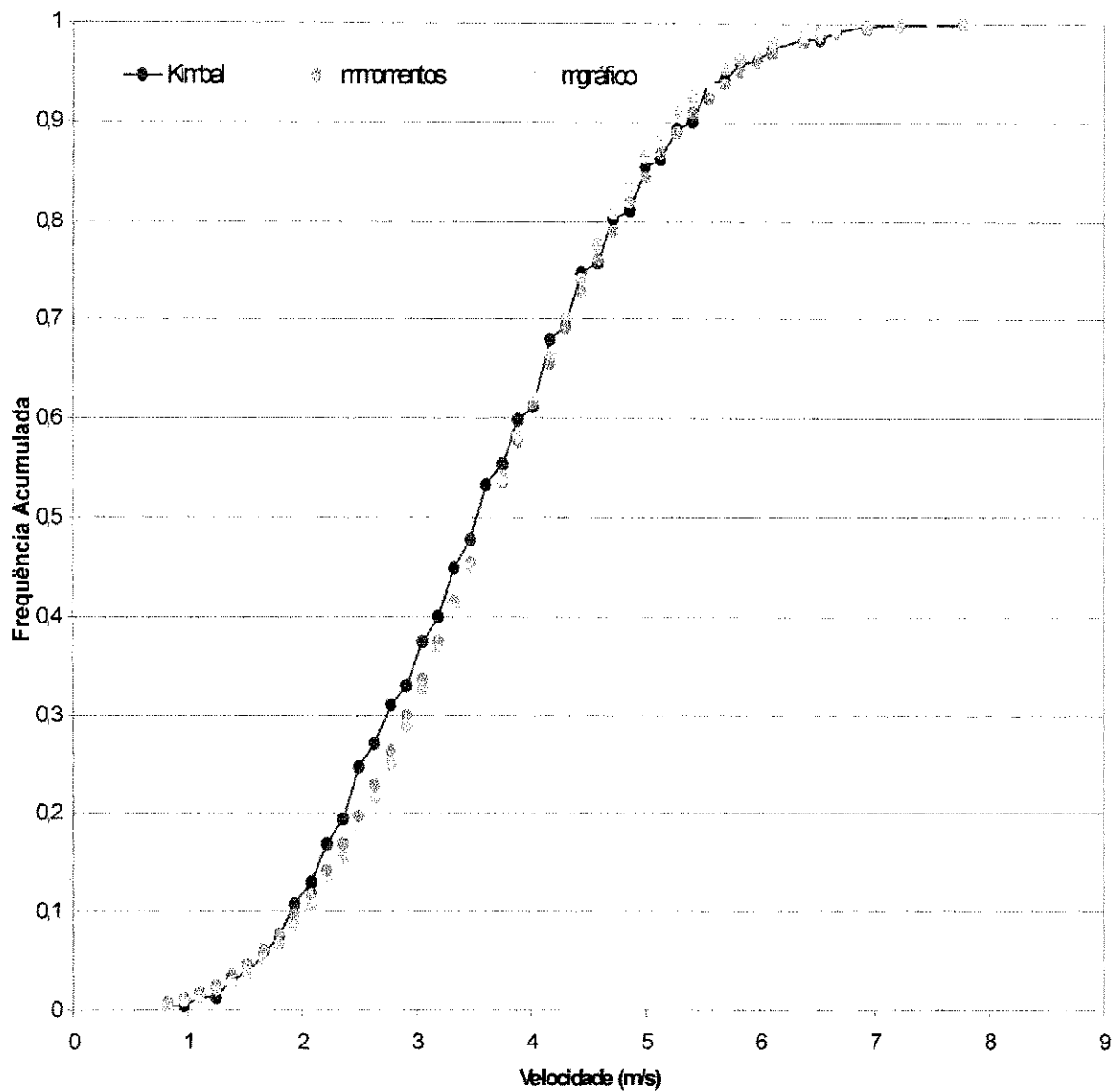


Figura 4.12 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Cruzeta referente ao mês de fevereiro

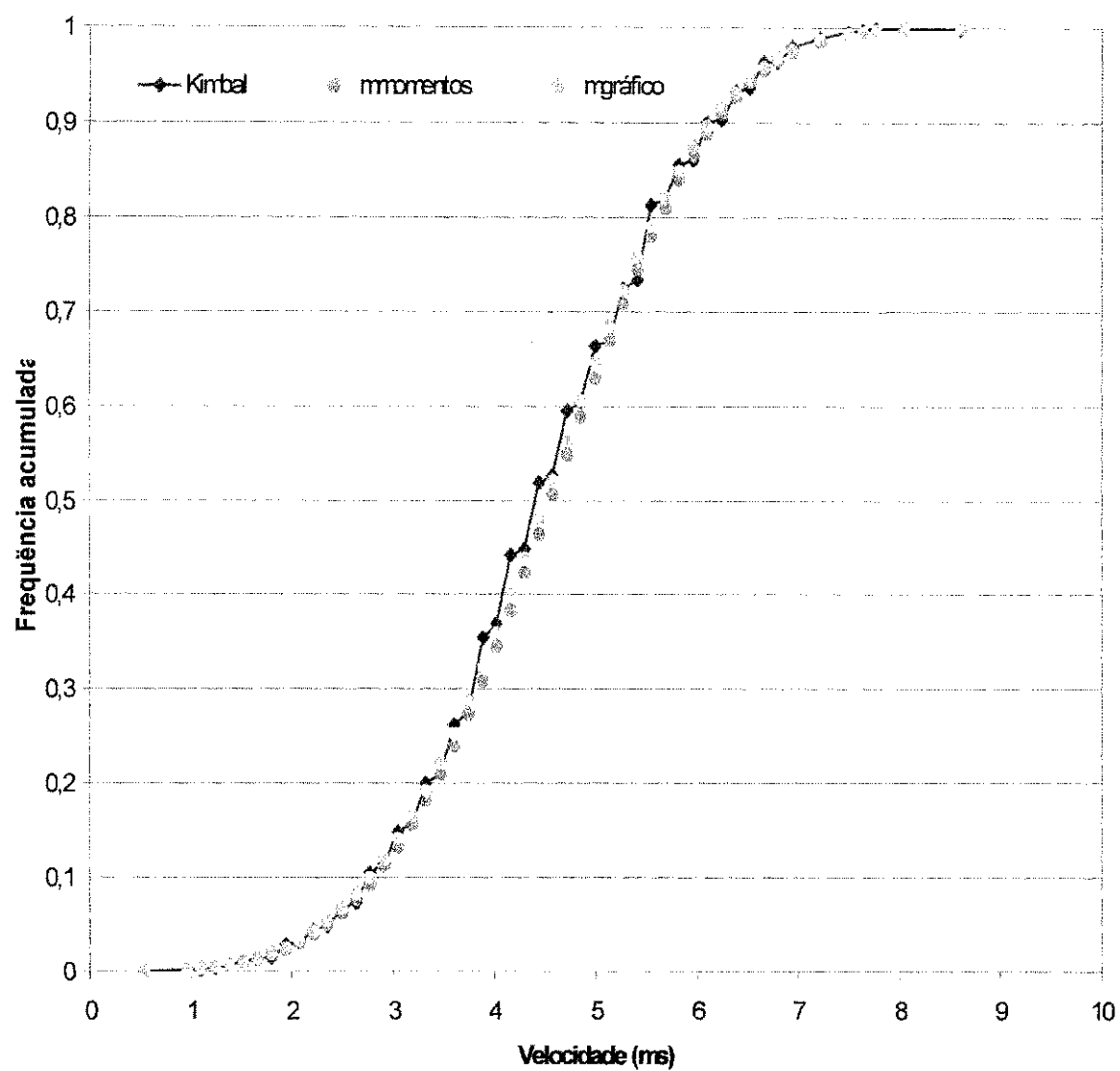


Figura 4.13 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Campina Grande referente ao mês de janeiro

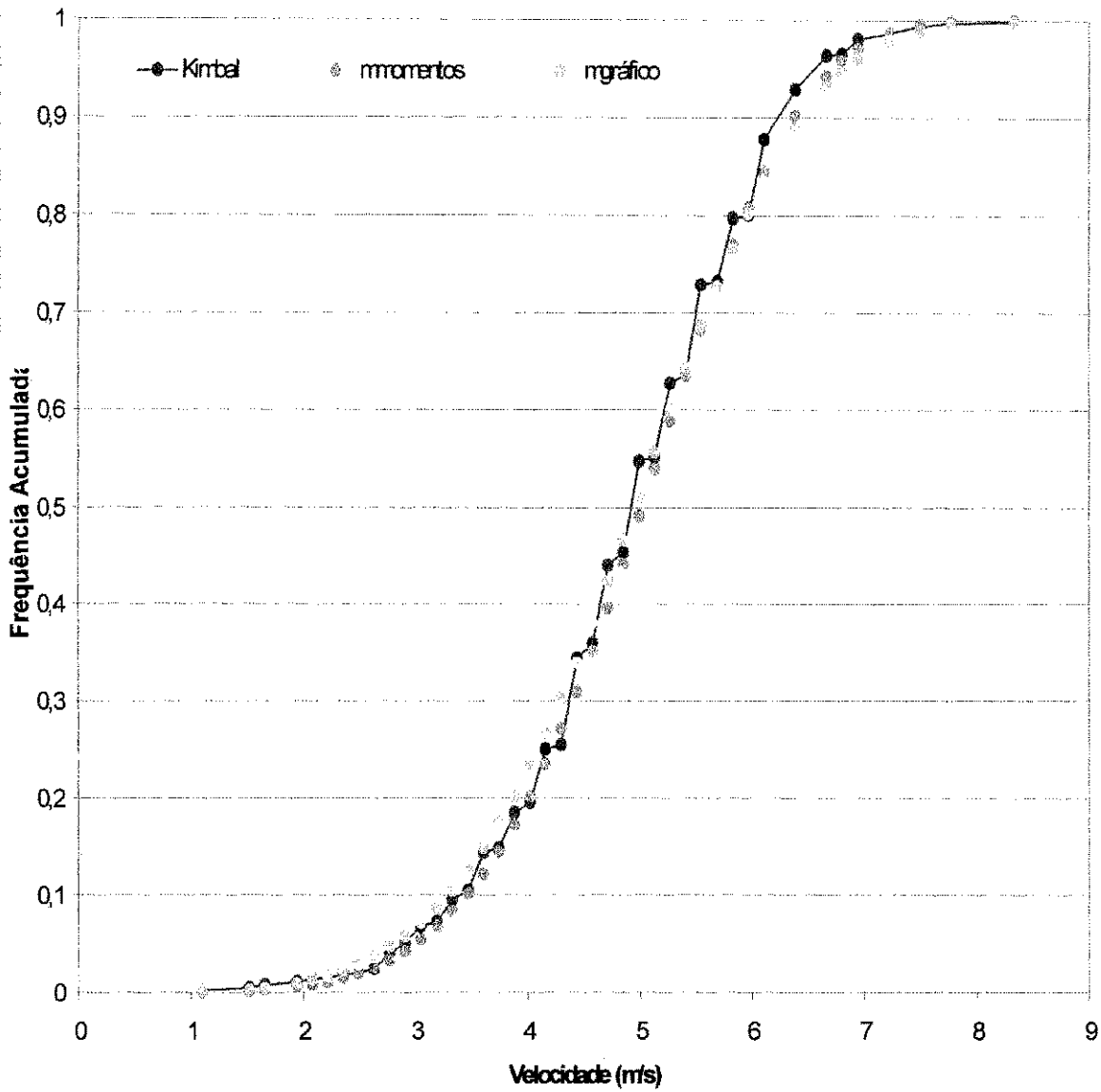


Figura 4.14 – Representação gráfica das distribuições de Kimbal e de Weibull segundo os Métodos dos Momentos e dos Mínimos Quadrados a distribuição empírica Kimbal para a localidade de Aracaju referente ao mês de outubro

4.4 - Análise da potência eólica anual no Nordeste

Com relação à potência eólica do Nordeste identificada com base nos dados de velocidade horária média do quinquênio (1977 – 1981) medidas à 10 metros de altura, expostas nas Tabelas 4.2 extraímos as informações que nos permitiram elaborar a distribuição espacial da potência eólica média do Nordeste com relação a direção predominante usando os recursos do Surfe 32. Genericamente, as isolinhas de potência eólica disponível foram denominadas de isodinas (Reed, 1977). Para a potência eólica disponível, Figura 4.15, escolheu-se 5 W/m^2 como incremento básico entre as isodinas, pois foi esta a que melhor delineou as características da região em função do valor da potência eólica média da região dada pela direção predominante do vento.

Assim como ocorrido com valores de **a** e **b**, as diferenças da potência existentes entre os métodos, como pode ser observado nas Tabela 4.2, não chegaram a ser expressivas, e entende-se que no cômputo da potência a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull representam oscilações significativas; é importante observar que a variação da potência não obedece à dinâmica da evolução dos valores de **a** e **b** determinado por esse trabalho, ou seja, se fosse obedecida essa mesma dinâmica os valores da potência seriam crescentes e decrescentes de acordo com a variação dos valores de **a** e **b**. O que sucede, é que no cômputo da potência eólica apresentada neste trabalho, a frequência da ocorrência de vento naquela determinada direção estabelecida para o cálculo desse potencial é que vai influenciar na distribuição desses valores de potência, como também, as frequências de calmarias, já que para determinar as frequências relativas das direções predominantes elas foram incluídas.

Dentre os Estados estudados aquele que apresentou a menor potência eólica foi o Estado do Maranhão. Por sua vez, o Estado do Rio Grande do Norte foi o que registrou a maior potência 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).

Dentre as estações estudadas aquela que apresentou a maior potência eólica foi Acaraú - CE, pelo Método dos Momentos no mês de outubro, sendo igual a $138,302 \text{ W/m}^2$.

Já pelo Método Gráfico, também, foi Acaraú, CE, no mês de outubro chegando a 135,748 W/m².

Dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Alto Parnaíba - MA, pelo Método dos Momentos no mês de junho, sendo igual a 0,022 W/m². Já pelo Método Gráfico, também, foi Alto Parnaíba - MA, no mês de junho chegando a 0,023 W/m².

Dando ênfase às estações do Estado da Paraíba, Campina Grande foi a que apresentou a maior potência eólica mensal, com valor máximo sendo registrado no mês de novembro, com 62,6 W/m² e 59,9 W/m² conforme o método dos momentos (**MM**) e gráfico (**MQ**), respectivamente. Em seguida vem Patos, com máximo mensal igual a 59,4 W/m² (**MM**) e 57,4 W/m² (**MQ**). De uma maneira geral, para o Estado da Paraíba, a densidade da potência eólica mensal (DPEM) calculada com os parâmetros obtidos segundo o **MM** resulta em valores superiores àqueles obtidos com o **MQ**, sendo que a única exceção foi registrada em São Gonçalo.

Com o propósito de oferecer uma visão ampla e espacial do potencial eólico do Nordeste, calculou-se a densidade de potência média anual que resultou na Figura 4.15, cuja análise possibilitou as seguintes observações:

- a) a maior potência eólica verifica-se no litoral norte, em particular em regiões vizinhas a Macau (RN) e Acaraú (CE), com intensidade variando de 50 a 65 W/m²;
- b) no litoral leste (Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe), tem-se entre 7 e 25 W/m², com um mínimo em Maceió (AL), inferior a 8 W/m², e um máximo restrito a Aracaju (SE), 24,76 W/m². É importante salientar que nessa região as estações climatológicas se encontram localizadas não muito próximos da costa onde a experiência cotidiana indica que os ventos são constantes e de valores superiores aos registrados nas estações;
- c) no centro do Nordeste, polarizando uma região a sudeste do Piauí, oeste de Pernambuco e norte da Bahia observou-se valores médios de 30 W/m², com máximo de 55 W/m² em torno de Paulistana - PI;
- d) também no interior, encontra-se um máximo intenso localizado em torno de Caetité - BA, no sul da Bahia, com 55 W/m² e rápida diminuição em torno do local. É razoável supor que existe grande influência orográfica nessa região;

- e) uma outra região, por sinal muito ampla, cobrindo o ocidente do Nordeste, isto é, grande parte do Piauí, Maranhão, oeste da Bahia e mesmo o centro-sul da Bahia (em torno de Itaberaba) exibem valores médios anuais muito baixos, inferiores a 10 W/m^2 . As baixas potências são observadas também em regiões de transição entre dois máximos (por exemplo Barbalha - CE, São Gonçalo - PB, e Monte Santo - BA);
- f) as estações situadas no centro-oeste do Nordeste, especialmente, São João do Piauí -PI e Alto Parnaíba - PI, apresentam os mais baixos valores de potência eólica, inferiores a 1 W/m^2 . A causa pode ser devida a diversos fatores, dentre eles eventual localização espacial das estações com relação à topografia local, e efeitos de meso escala e micrometeorológicos, que não são detectáveis a partir de dados em escala sinótica (convecção, efeitos de vale-montanha, etc.). Por outro lado, pode-se observar que o mínimo mencionado não está em sincronismo com o resto da região Nordeste.

Em termos gerais, pode-se dizer que essas áreas se conservam durante o ano, ainda que apresentando um ciclo anual bem nítido, como também, as variações de máximas estão entre junho e dezembro e as de mínimas entre março e maio, a exceção é o sul da Bahia, que apresenta máxima entre junho e setembro, pois a razão climatológica deste comportamento diferenciado em relação ao restante do Nordeste deve-se ao fato da influência de sistemas sinóticos de latitudes médias que atuam na época do inverno provenientes do sul do Brasil. Para o litoral, os ventos alísios favorecem a penetração de brisa marítima no continente durante os períodos de máxima. Nestas épocas, maiores intensidades de potência eólicas encontram-se adentradas no continente (Bandeira, 1990). Demais razões da variabilidade da potência eólica do Nordeste provocadas por influências meteorológicas, não serão abordadas e aprofundadas neste trabalho, como também, o rendimento esperado por aerogeradores em função dessa potência encontrada.

Ao avaliar o potencial eólico da Malásia, Sopia et al (1995) observaram que o maior potencial foi obtido em Mersing, com DPEM anual igual a $85,61 \text{ W/m}^2$, à 10 metros, alcançando $119,7 \text{ W/m}^2$ no mês de janeiro. Já Tolun et al (1995) observaram que no noroeste da Turquia a DPEM anual chegou a 342 W/m^2 , observado na localidade de Cinaralti, com $a = 1,5$ e $b = 6,5 \text{ m/s}$.

Telhinda et al (2000) constataram que no norte de Camarões a DPEM era em geral igual ou superior a 15 W/m^2 , sendo que em outubro ela é de $11,4 \text{ W/m}^2$ e em março alcança $29,27 \text{ W/m}^2$, concluíram que a energia solar disponível naquele país era bem maior que a energia eólica.

Nafaoui et al (1998) observaram que em Taza, Marrocos, a DPEM foi de 900 W/m^2 , para o nível $Z = 10$ metros, e que o mesmo aumentou em 85% quando considerou-se a sua projeção à 30 metros. Já na Argélia, a DPEM, variou de 37 W/m^2 em Skikada ($a = 1,57$ e $b = 3,3$) a 161 W/m^2 em Tiaret ($a = 1,74$ e $b = 6,3$) (Merzouk, 2000).

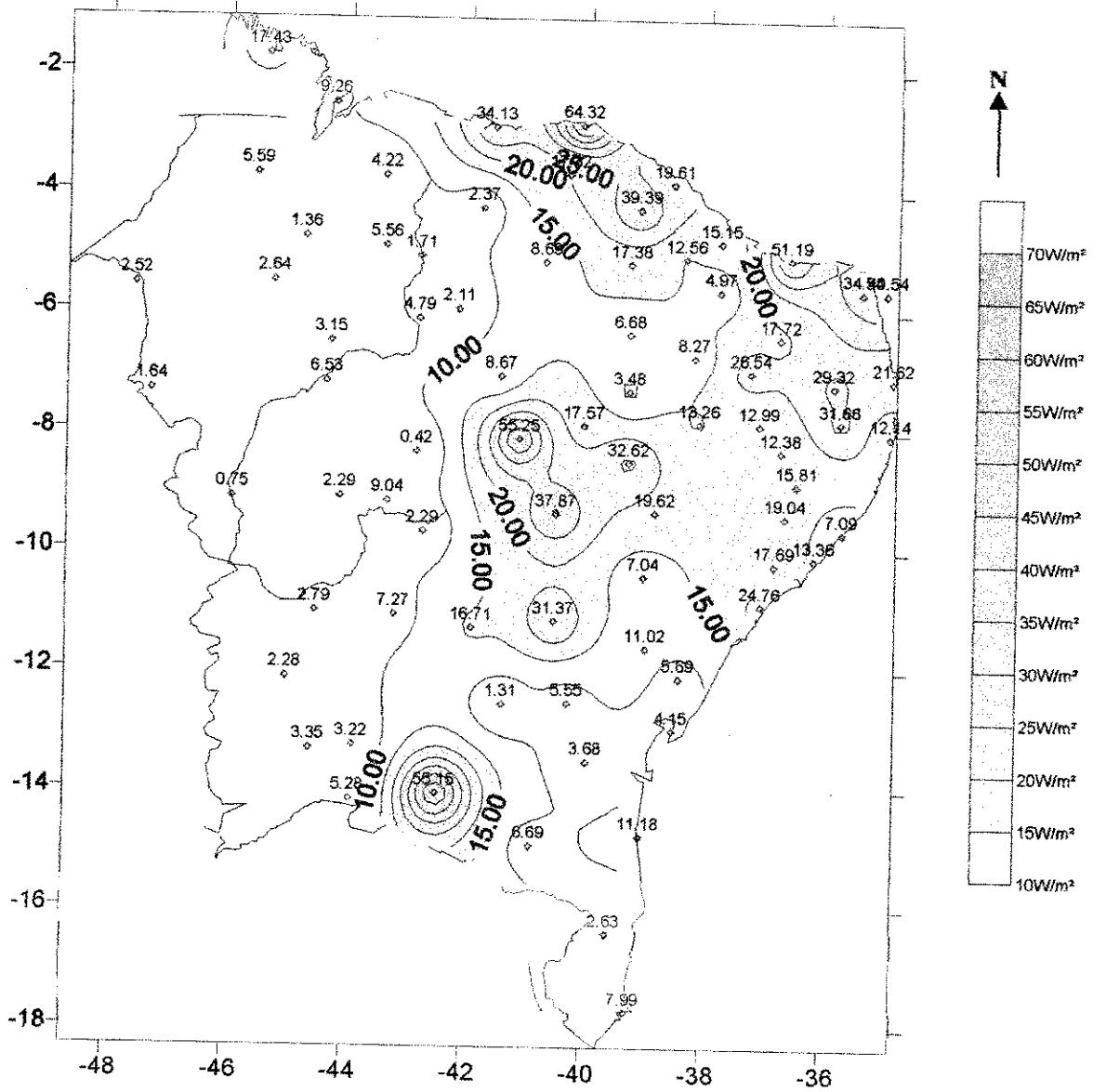


Figura 4.15 – Densidade de potência eólica média anual em W/m^2 a partir de dados de vento à 10 metros no período 1977 a 1981, para o Nordeste Brasileiro

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em virtude dos resultados obtidos com a presente pesquisa foram extraídas as seguintes conclusões:

1. A direção predominante do vento no Nordeste como um todo é de **Este**, com as maiores médias de velocidade de vento ocorrendo entre primavera e verão e as menores médias entre outono e inverno.
2. A distribuição bi-paramétrica de Weibull representou adequadamente a distribuição de frequência de velocidade do vento.
3. O Método dos Momentos proporcionou melhores estimativas dos parâmetros de Weibull que o Método dos Mínimos Quadrados (Método Gráfico).
4. A aplicação do teste Kolmogorov-Smirnov, teve em ambos os casos, resultados satisfatórios, porém, o Método dos Momentos, graficamente obteve melhor aderência a distribuição empírica dos dados de velocidade do vento.
5. A distribuição da potência eólica no Nordeste evolui de zonas de baixas potencialidades, como o Centro-Oeste, com valores da ordem de 5 W/m^2 , até

zonas de máximas potencialidades, como o litoral Norte, com valores da ordem de 65 W/m^2 .

Considerando estes resultados e a falta de maiores informações na literatura, recomenda-se que:

- a) estudo mais precisos do regime de vento com sensores em vários níveis e o processamento automatizado das informações;
- b) instalação de sensores no litoral oriental nas proximidades do oceano. Isso é fundamental para a análise da potência eólica dessa faixa do litoral nordestino, pois os dados obtidos por esse e outros trabalhos sobre a potência eólica no Nordeste, apresentam baixa potencialidade como característica nessa região, o que contradiz a experiência local já que nesses locais os ventos são de alísios, ocorrendo isso, porque a localização das estações de medição do vento sofre a influência de espigões ou do relevo, que funciona como barreiras, se encontrando praticamente em toda área da planície litorânea (orla marítima) do litoral oriental (pesquisa in loco), o que poderá vir a enfraquecer esses ventos produzindo medições muito baixas, diminuindo a potência eólica dessa região;
- c) avaliar a potência eólica por direção prevalecente de cada mês. As medidas obtidas com esse critério poderão ser sensivelmente maiores em todas as regiões energéticas do Nordeste, em particular na região litorânea;
- d) analisar a energia produzida por diversos tipos de aerogeradores fixos a partir da potência eólica encontrada, para identificar o que melhor se adapta as condições de regime de vento e da real potencialidade de energia eólica do Nordeste do Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOWITZ, M; SETEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions**. Editora Dover, 1972, 1000p.
- ASSIS NETO, F; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R.. **Aplicações de estatísticas à climatologia**. Pelotas: Editora Universitária – UFPel, 1996, 161p.
- BANDEIRA, M. M. **Regionalização do regime eólico no Nordeste do Brasil**. Campina Grande. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 1990, 62p.
- BASTOS, E. J. Brito; 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.
- BASTOS, E. J. Brito; CEBALLOS, J. C; SOBRAL, Z. Rosa. **Zoneamento eólico do Nordeste**. Relatório Técnico CHESF/UFPB. Campina Grande, 1986, 70p.
- BORHAN, Y. Mesoscale interactions on wind energy potential in the northern Aegean region: a case study. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 2, p. 353 – 360, 1998.

- JUSTUS, C. G; MIKAIL, A. Height variation of wind speed and wind distribution. **Geophys. Res. Lett.** USA, v. 3, p. 261 – 264, 1976.
- LUN, Isaac Y. F; LAM, Joseph C. A study of Weibull parameters using long-term wind observations. **Renewable Energy**, v. 20, p. 145 – 153, 2000.
- MARQUES JÚNIOR, S; VALADÃO, L. T; VIEIRA, A. R. R; MOURA, M. V. T. Análise e dados de vento para a região de Botucatu – SP utilizando a distribuição beta. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 129 – 132, 1995.
- MARTINS, D. Congresso Brasileiro de Eng. Agrícola, 22, 1993, Ilhéus, BA. **Anais... Soc. Bras. de Eng. Agrícola**, Ilhéus, BA: CEPLAC, 1993, p815 – 824, 1413 p.
- MAYHOUB, A. B; AZZAM, A. A survey on the assessment of wind energy potential in Egypt. **Renewable Energy**, v. 11, n. 2, p. 235 – 247, 1997.
- MERZOUK, N. Kasbadji. Wind energy potential of Algeria. **Renewable Energy**, v. 21, p 553 – 562, november, 2000.
- NFAQUI, 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.
- REED, J. W. **Wind time series analysis for WECS applications** - Rel. Sandia 77 – 1701. Sandia Laboratories, EUA. Albuquerque, 1977.
- SAHIN, A. Z; AKSAKAL, A.. Wind Power energy potential at the northeastern region of Saudi Arabia. **Renewable Energy**, v. 14, p. 435 – 440, 1998.
- SCERRIE; FARRUGIA, R. Wind data evaluation in the Maltese Island. **Renewable Energy**, v. 7, p. 109 – 114, 1996.

- SEGURO, J. V; LAMBERT, T. W. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 85, p. 75 – 84, 2000.
- SILVA, B. B. da; ALVES, J. J. A; AZEVEDO, F. G. B. de. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12 / Reunião latino-americana de Agrometeorologia, 3, 2001, Fortaleza/CE, **Anais...** Fortaleza/CE: Funcene, 2001, v. 2, p. 577 – 578.
- SILVA, J. B. da; LARROZA, E. Gonçalves. Probalidade de ocorrência de diferentes velocidades dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 91 – 99, 1999.
- 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.
- STEVEN, M. J. M; SMULDERS, P. T. The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes. **Wind Engineering**, v. 3, n. 2, p. 132 – 145, 1979.
- TCHINDA, R; KENDJIO, J; KAPTOUOM, E; NJOMO, D. Estimation of mean wind energy availabe in far north Cameroon. **Energy Conversion & Management**, v. 41, p. 1917 – 1929, 2000.
- TOLUN, S; MENTS, S; ASLAN, Z; WÜKSELEN, M. A. The wind energy potential of Gokçeada in the northern aegean sea. **Renewable Energy**, v. 6, p. 679 – 685, 1995.

TORRES, J. L; GARCÍA, A; PRIETO, E; FRANCISCO, A. Characterization of wind speed data according to wind direction. **Solar Energy**, v.66, n.1, p.57 – 64,1999.

VIANELLO, R. L; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária – UFV, 1991, 449p.

WIDGER, W. K. Jr. Estimations of wind speed distributions using only the monthly average an fastest mile data. **Journal Applied Meteorology**, USA, v. 16, p. 244 – 247, 1977.

ANEXOS

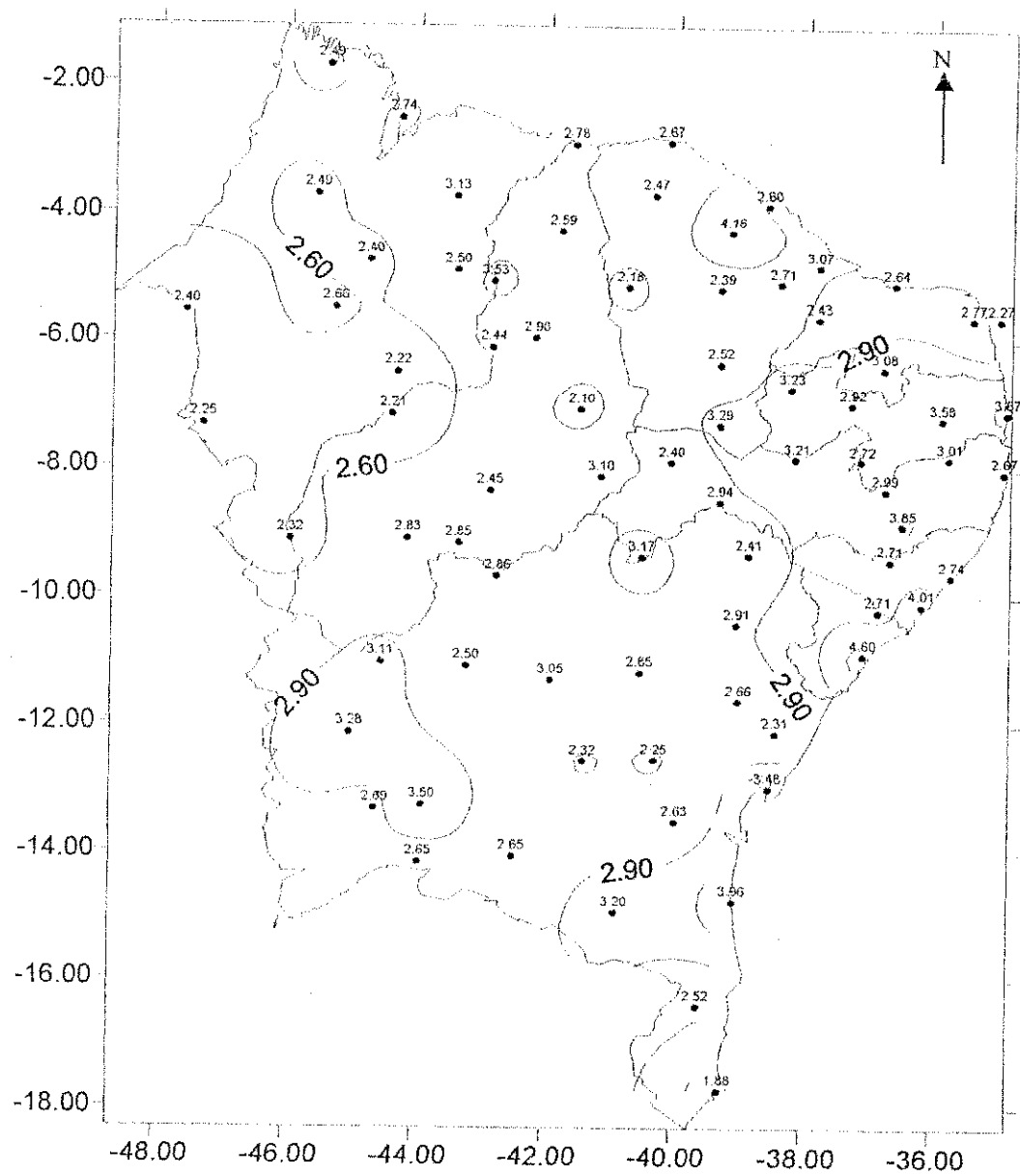


Figura 7.1 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de fevereiro para a região Nordeste do Brasil

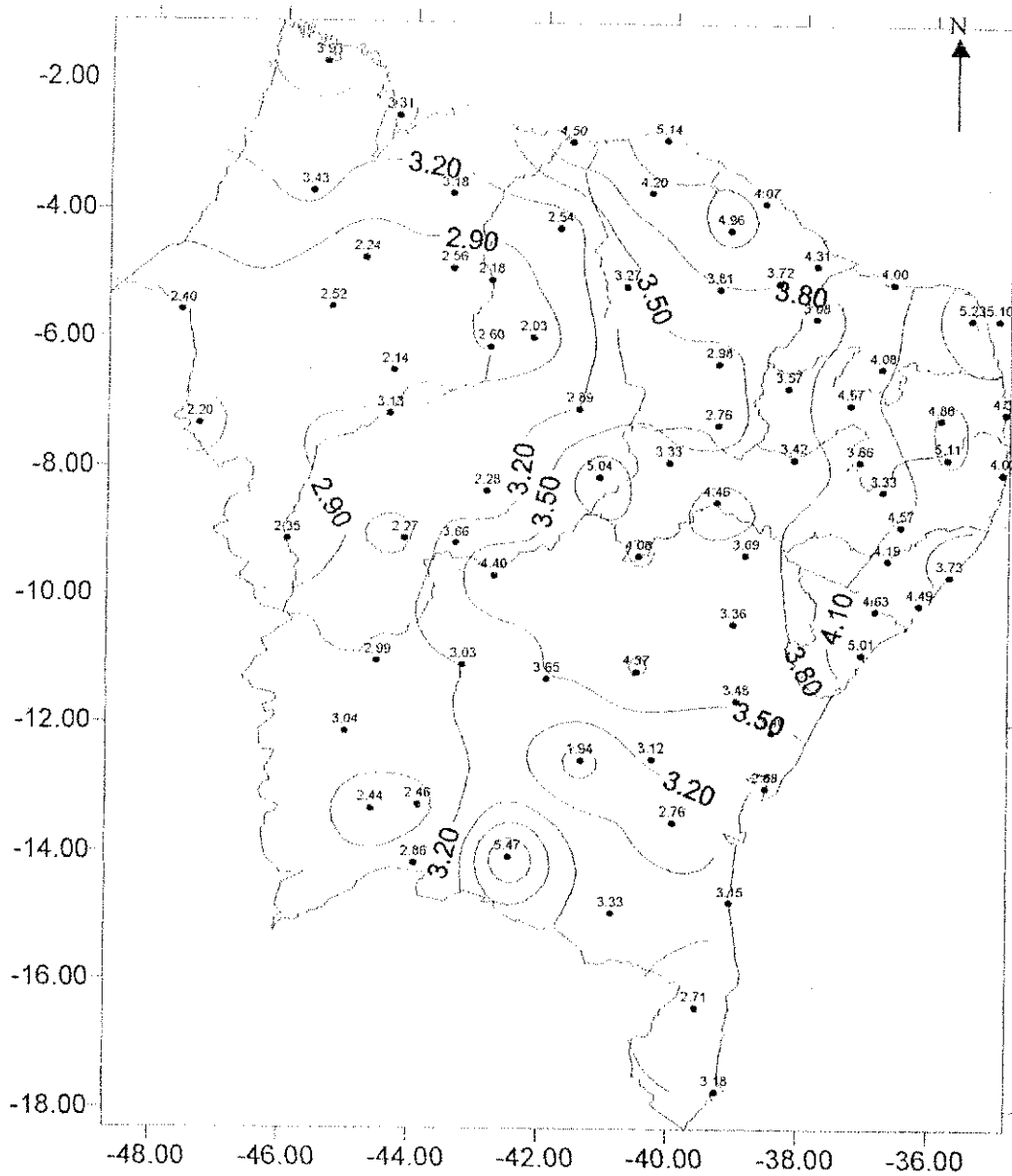


Figura 7.2 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de fevereiro para a região Nordeste do Brasil

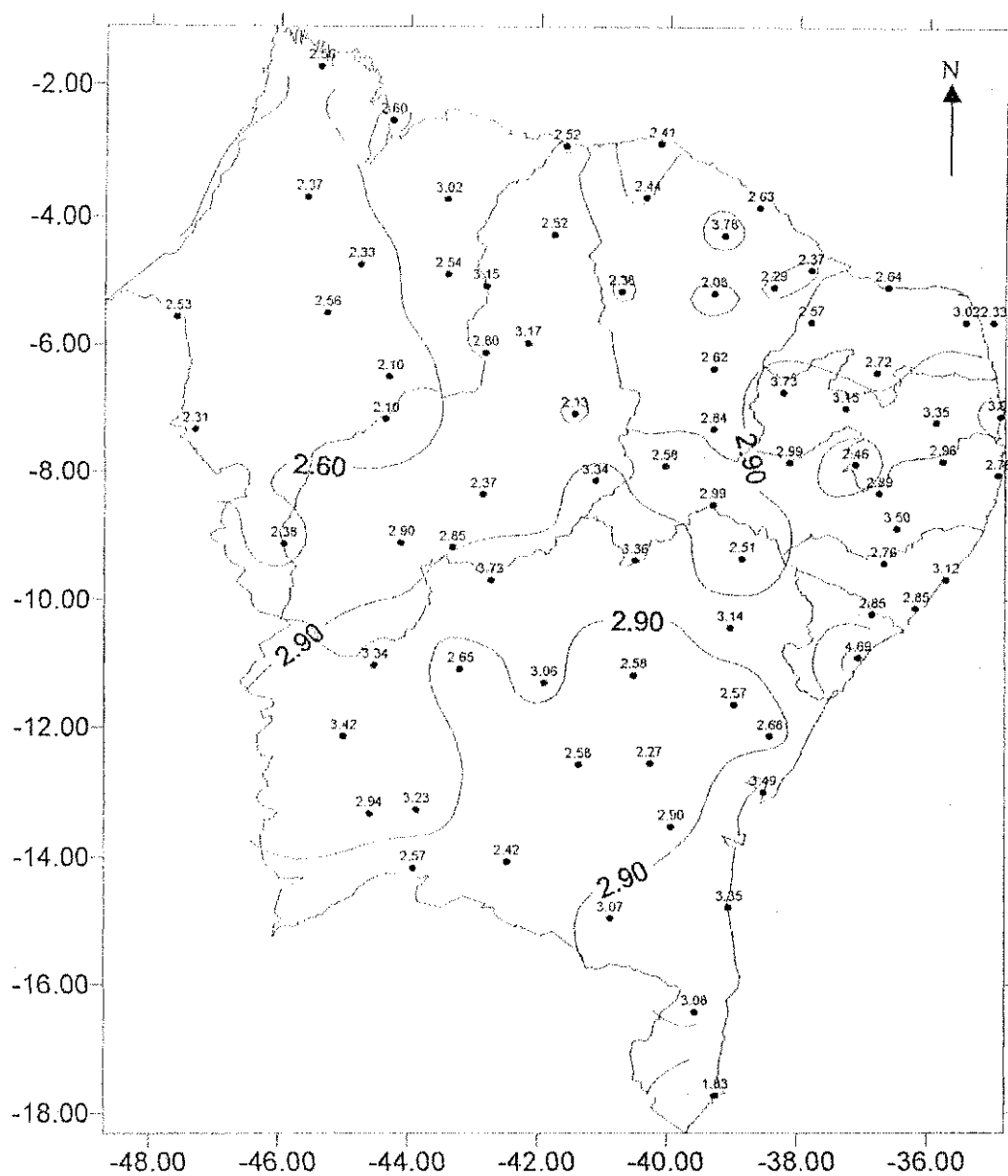


Figura 7.3 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de março para a região Nordeste do Brasil

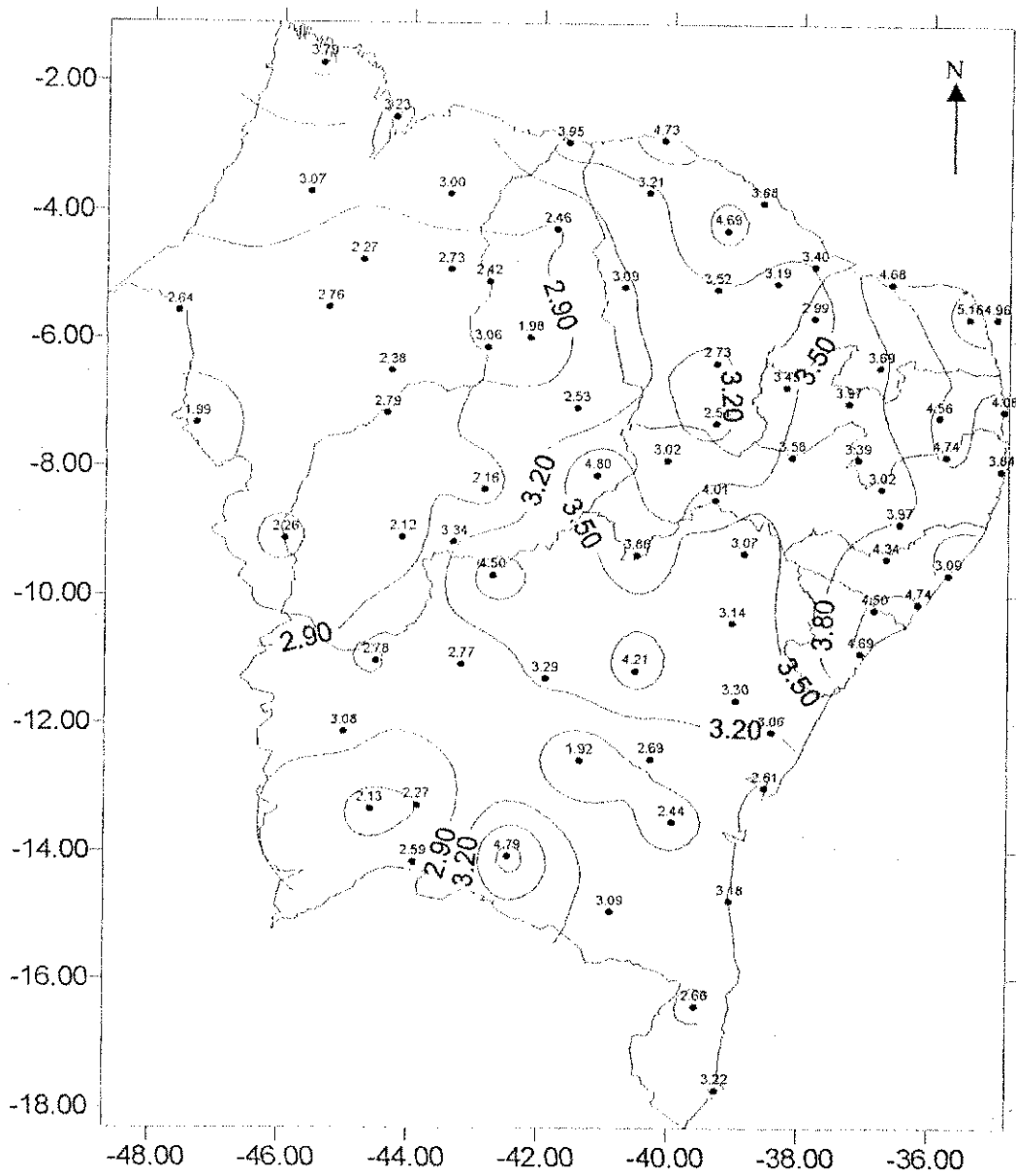


Figura 7.4 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de março para a região Nordeste do Brasil

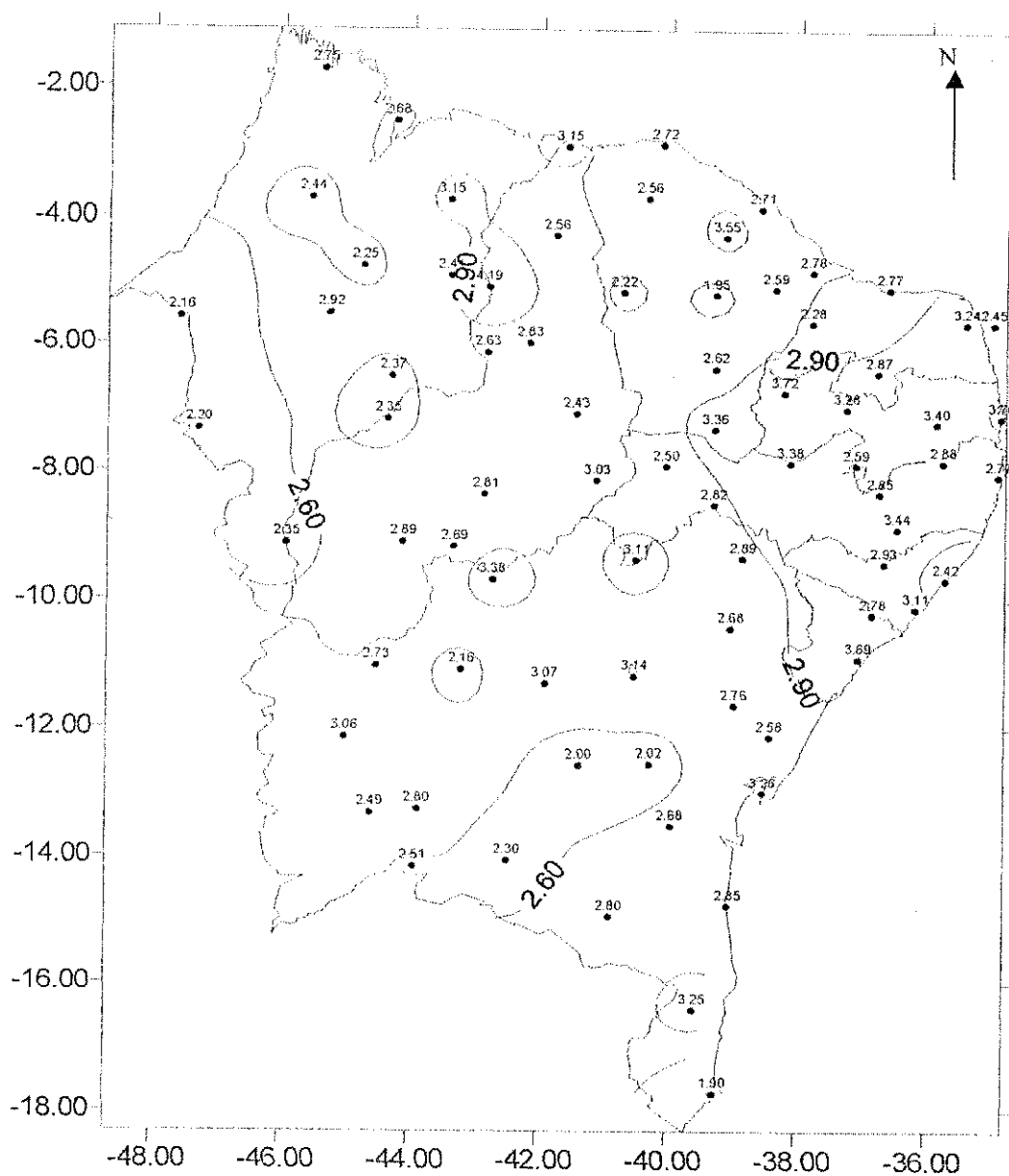


Figura 7.5 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de abril para a região Nordeste do Brasil

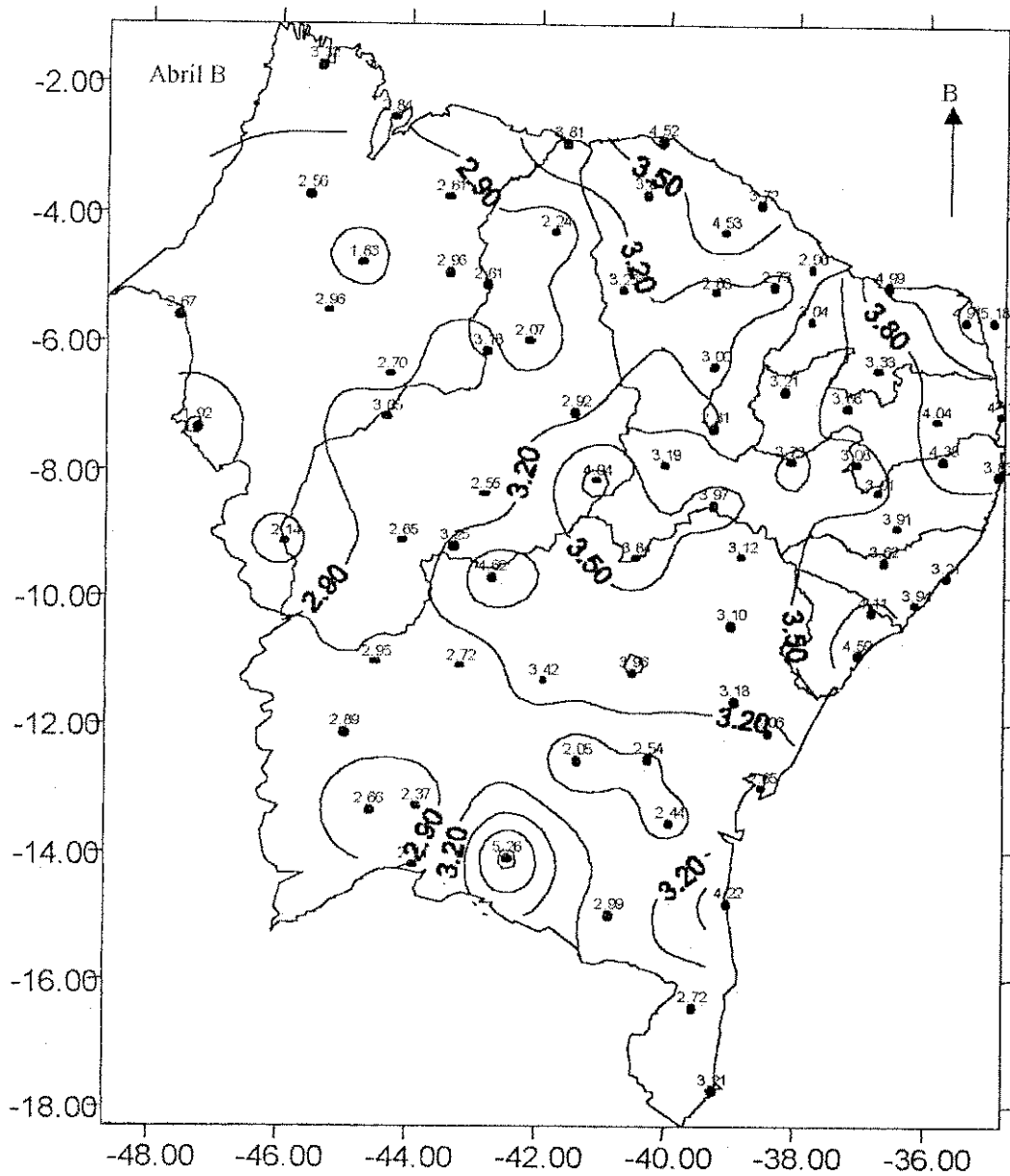


Figura 7.6 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de abril para a região Nordeste do Brasil

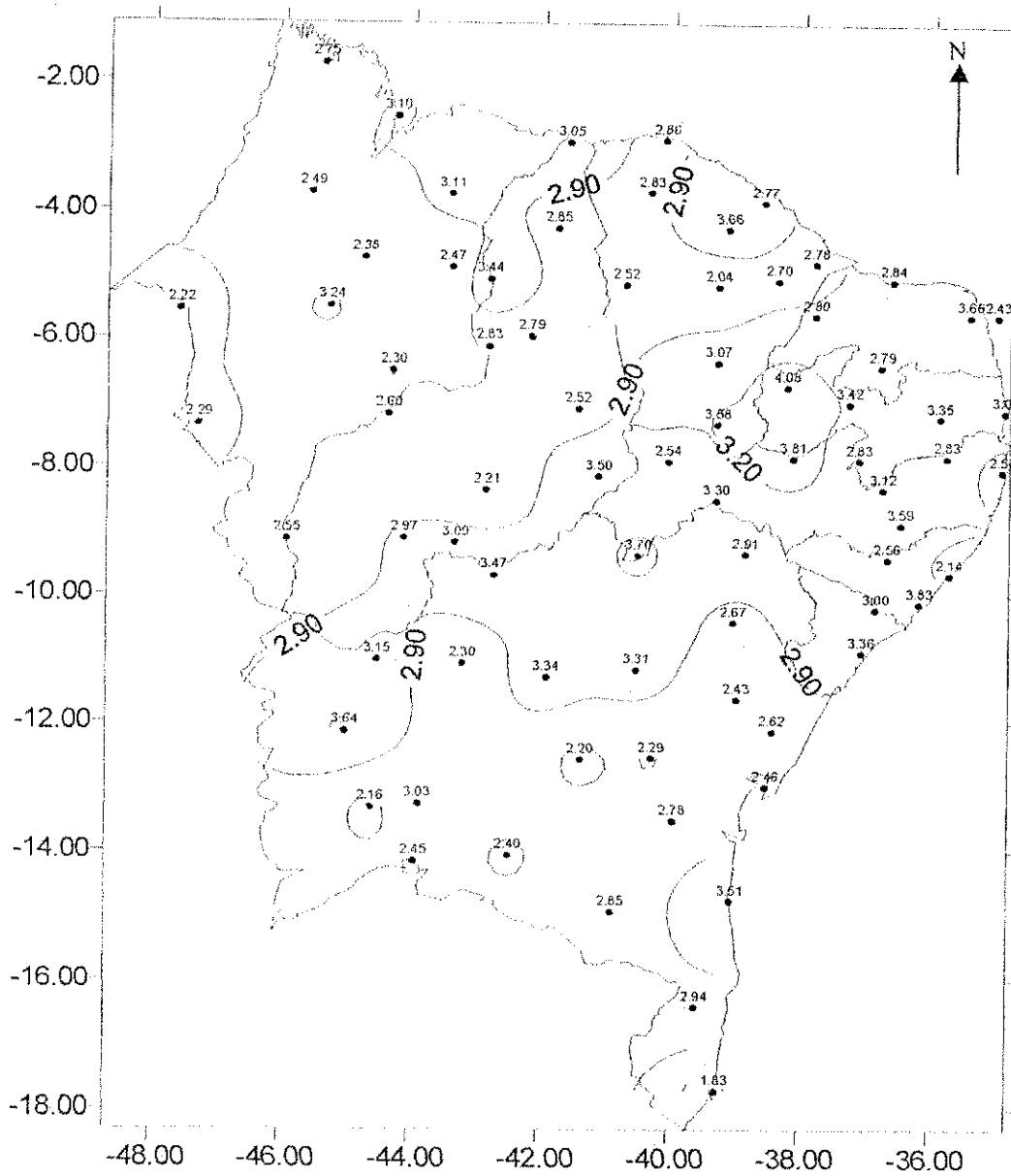


Figura 7.7 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de maio para a região Nordeste do Brasil

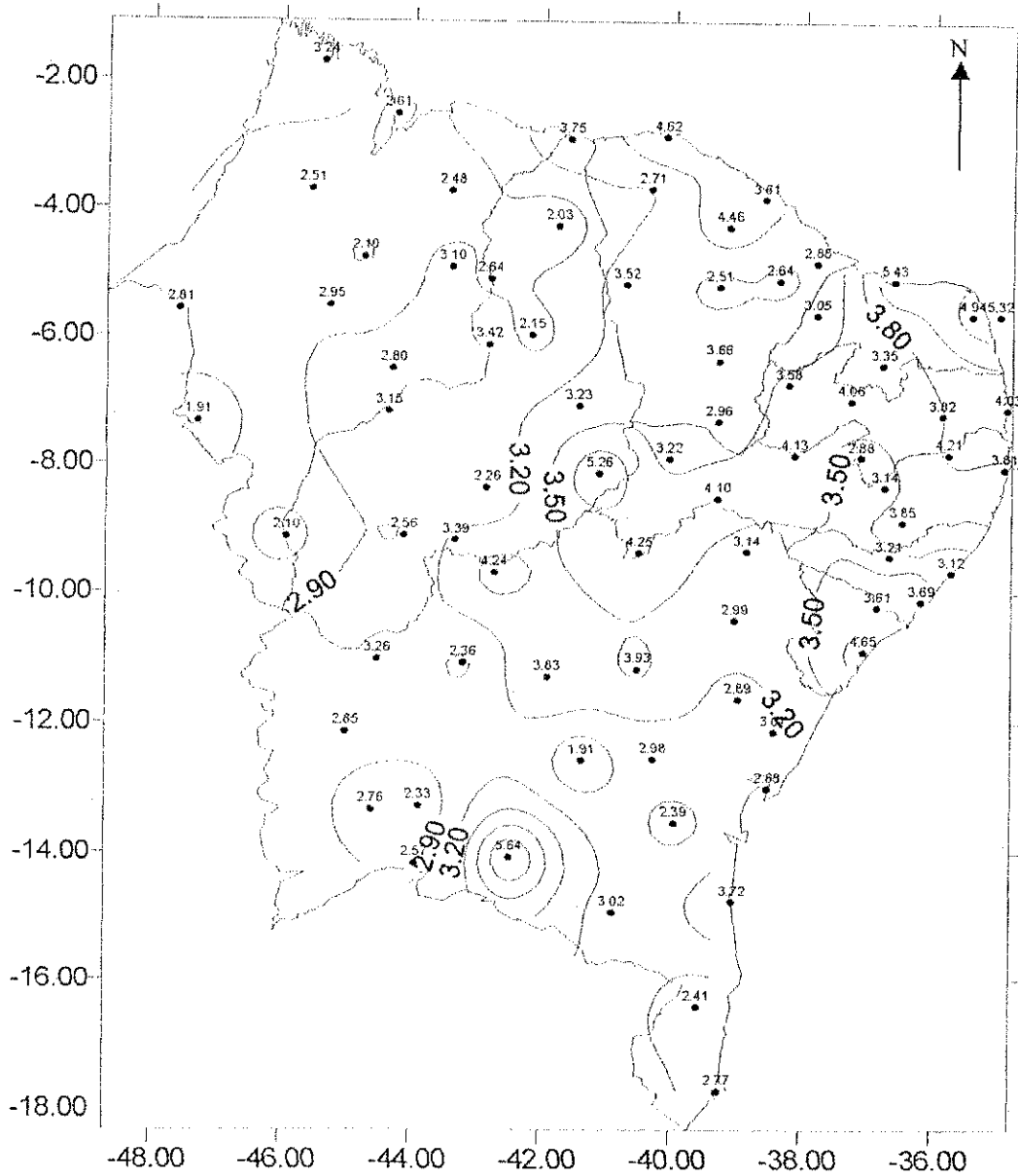


Figura 7.8 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de maio para a região Nordeste do Brasil

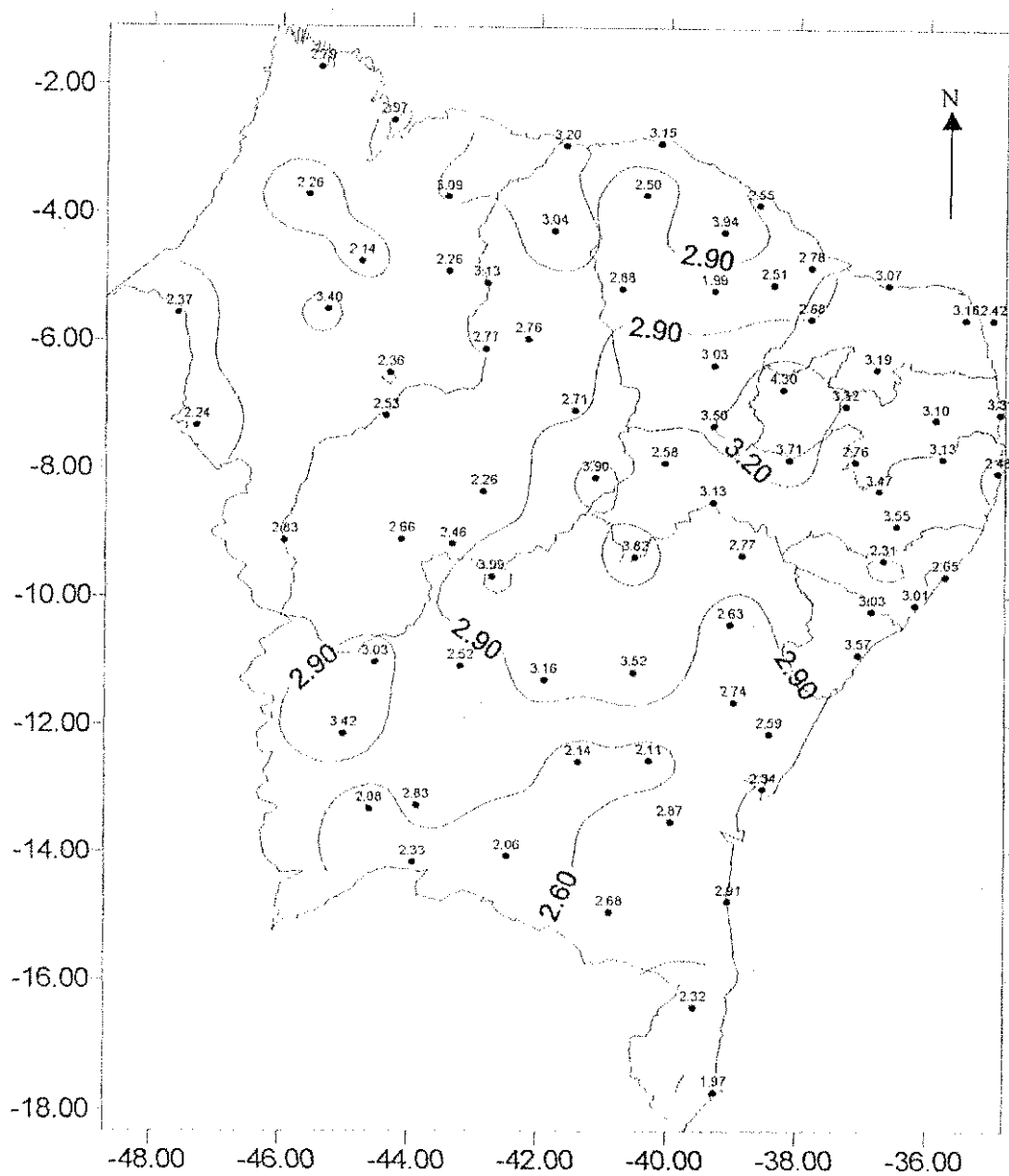


Figura 7.9 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de junho para a região Nordeste do Brasil

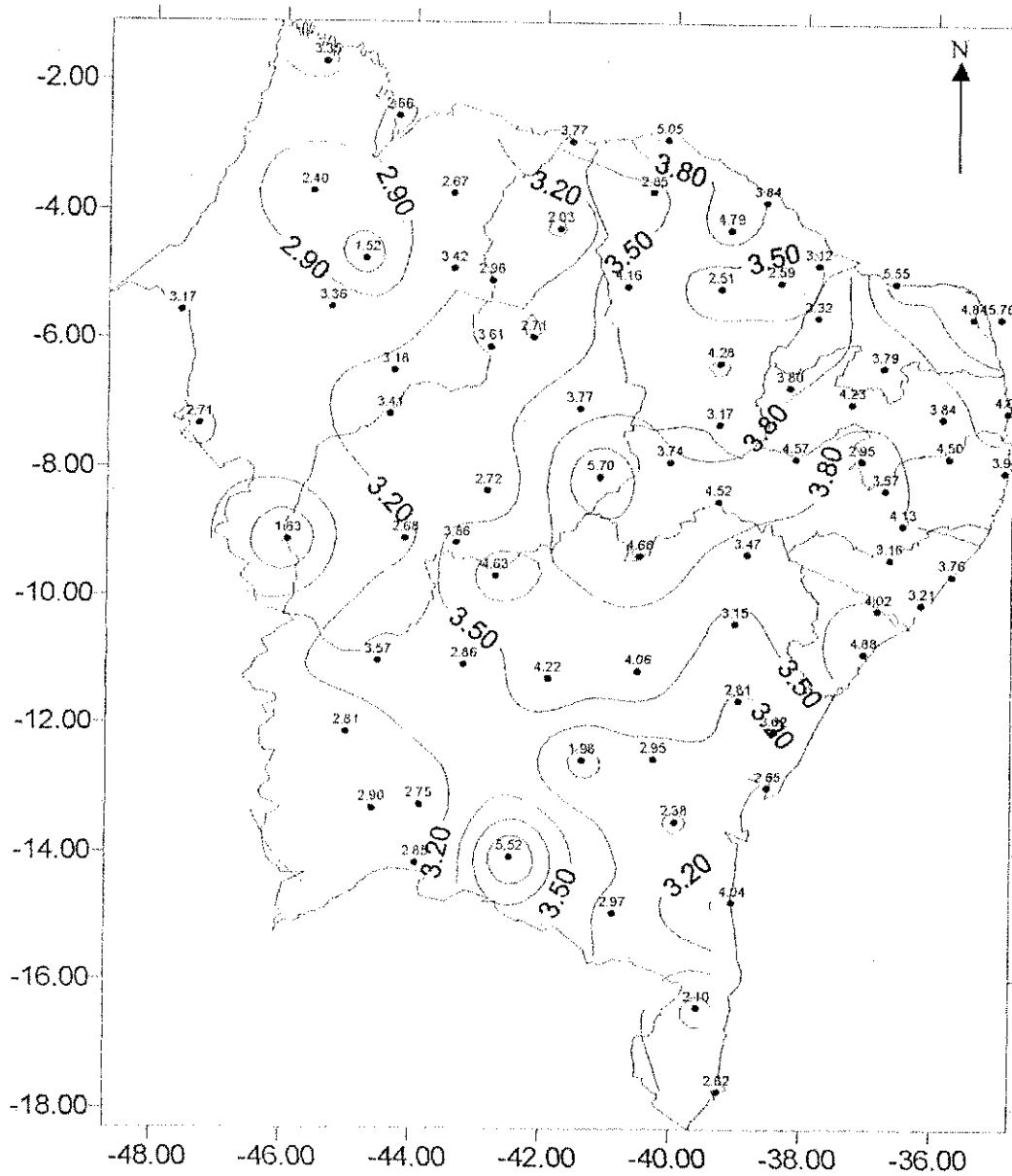


Figura 7.10 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de junho para a região Nordeste do Brasil

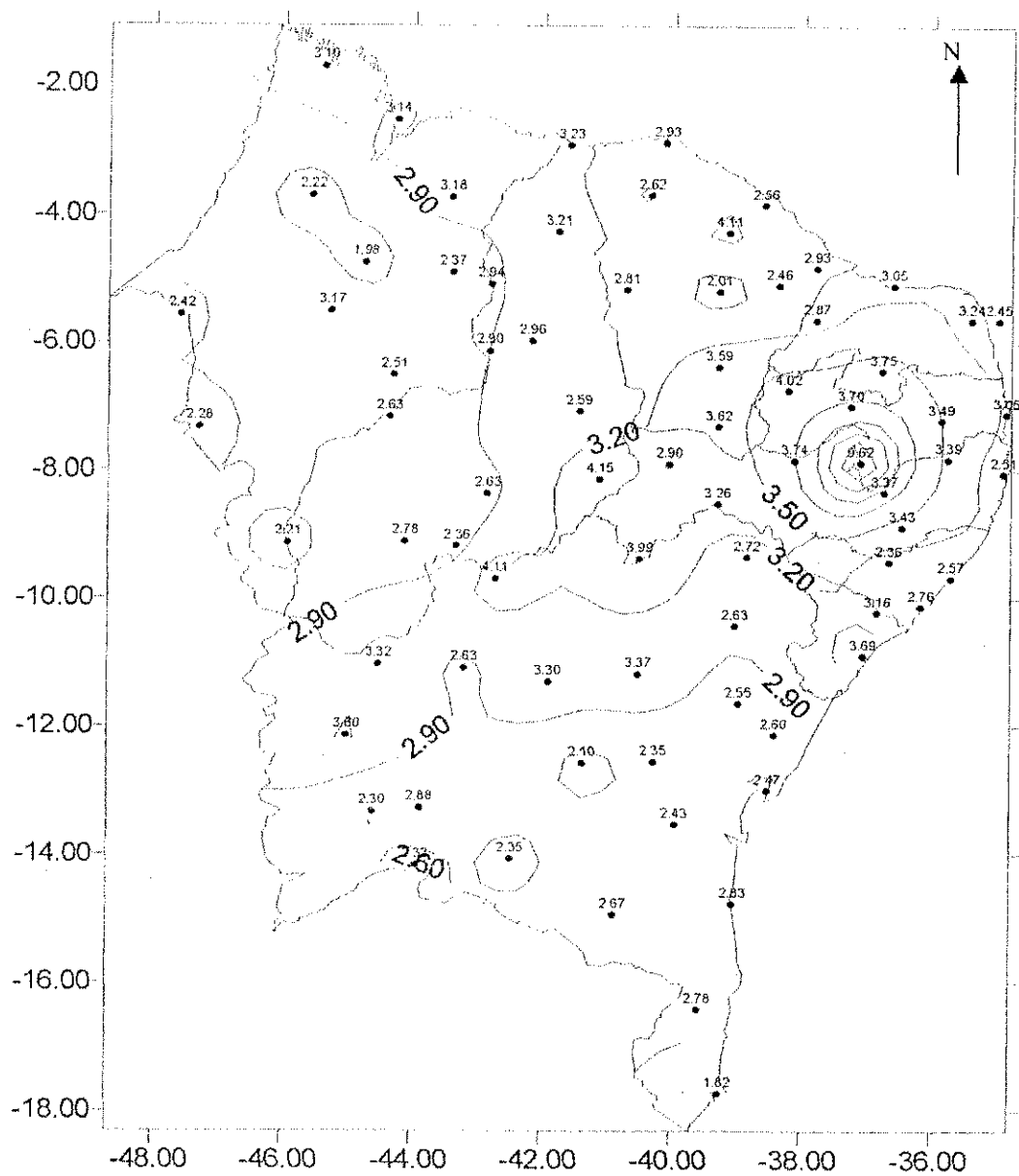


Figura 7.11 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de julho para a região Nordeste do Brasil

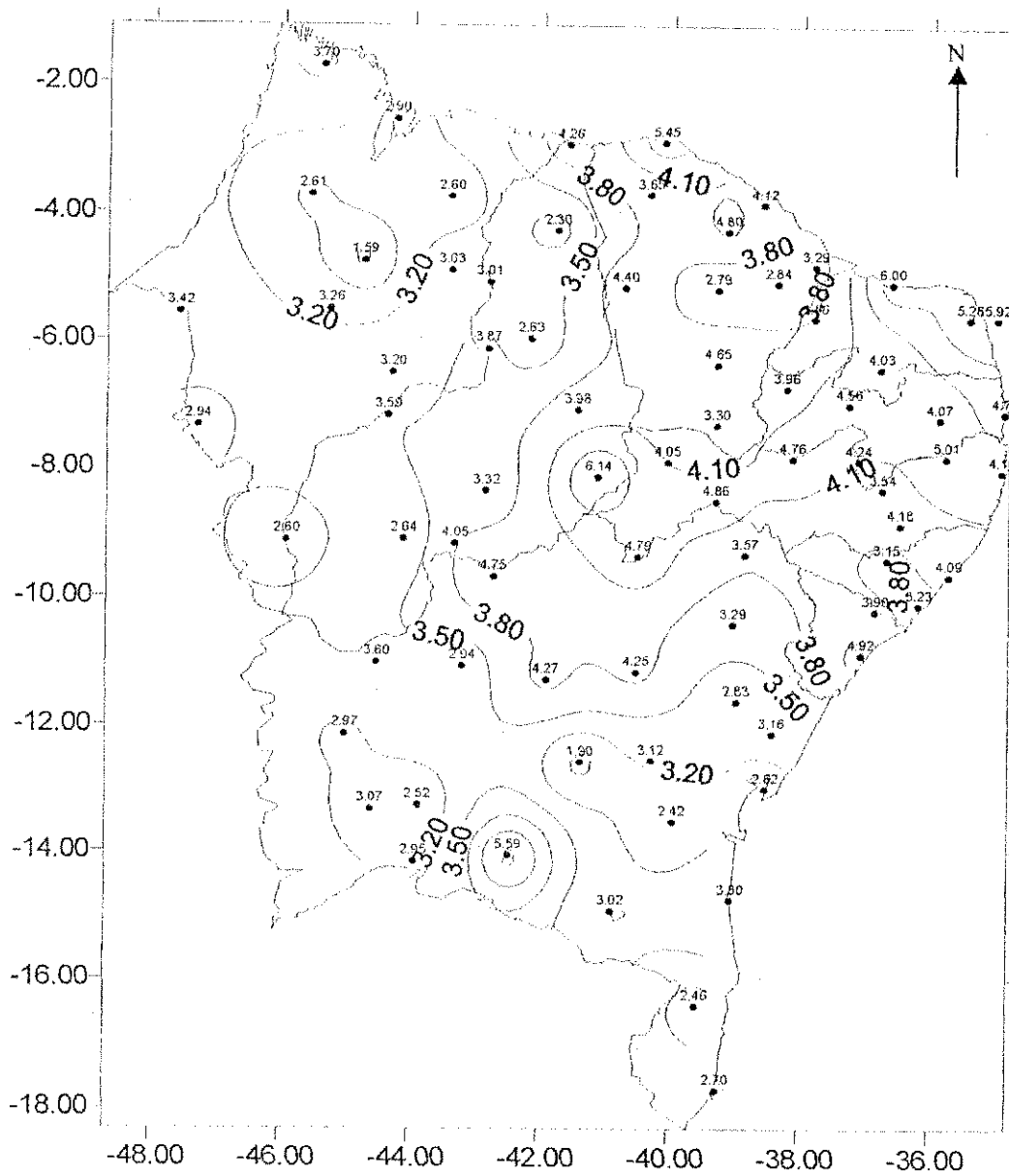


Figura 7.12 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de julho para a região Nordeste do Brasil

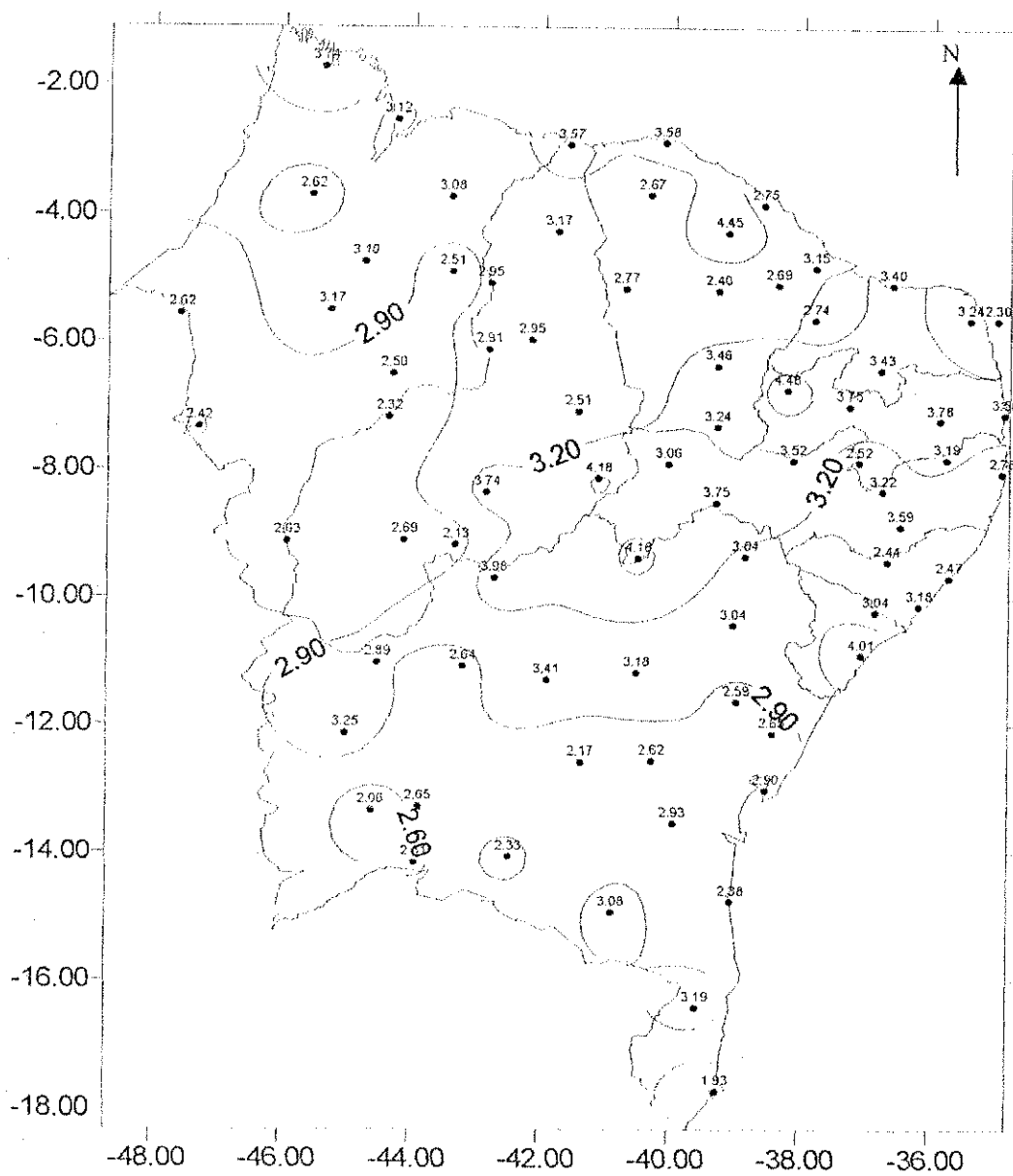


Figura 7.13 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de agosto para a região Nordeste do Brasil

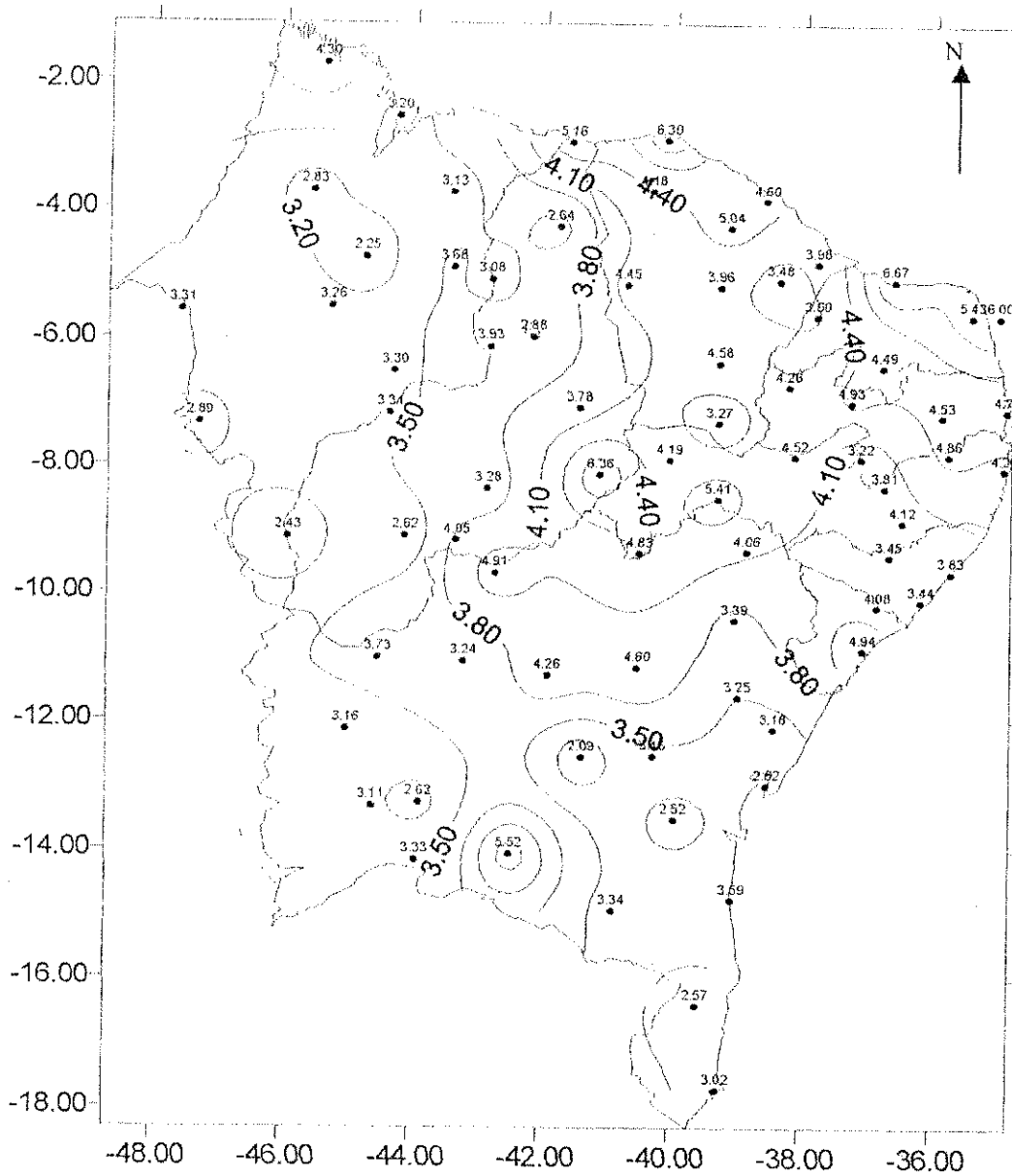
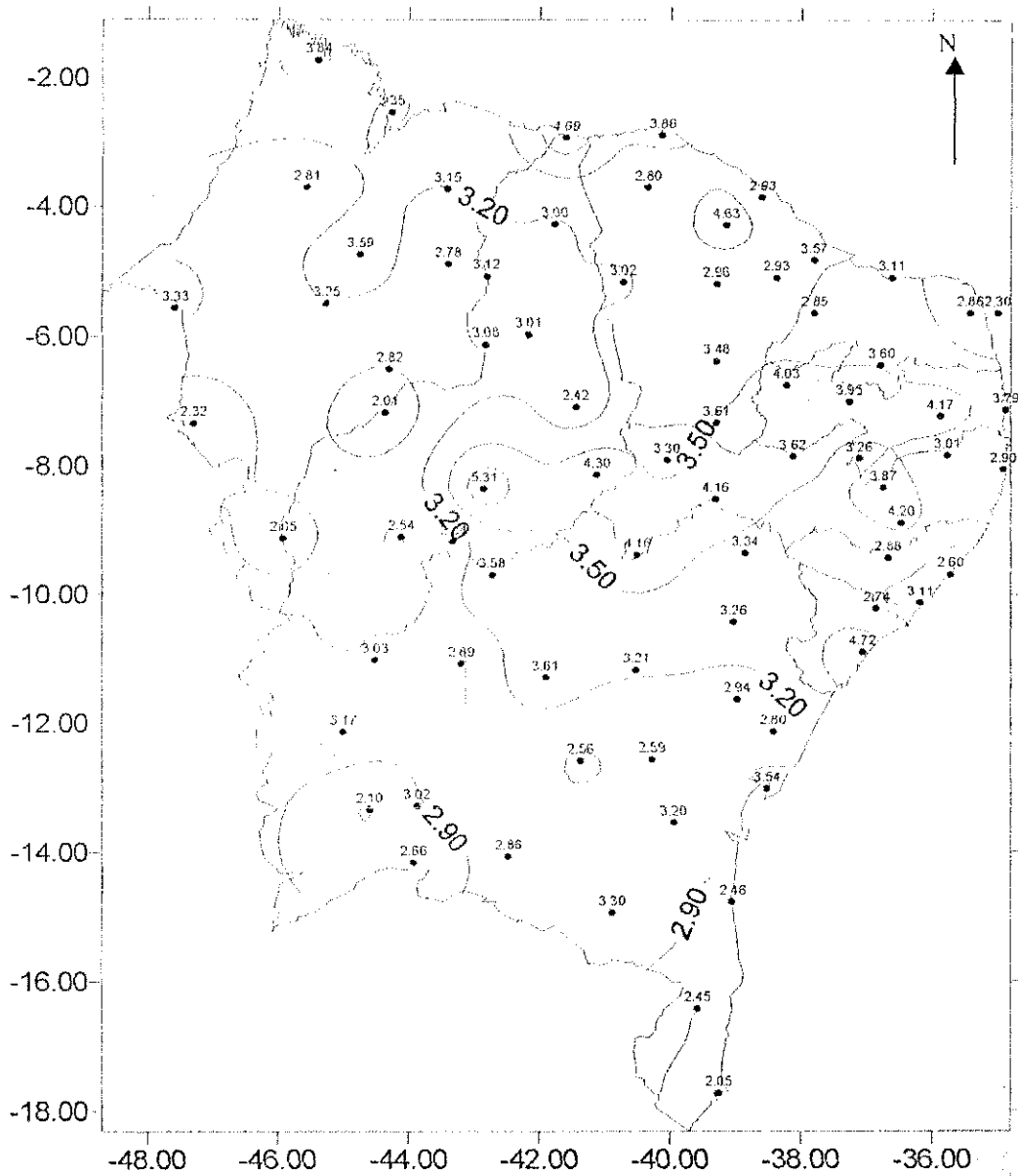


Figura 7.14 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de agosto para a região Nordeste do Brasil



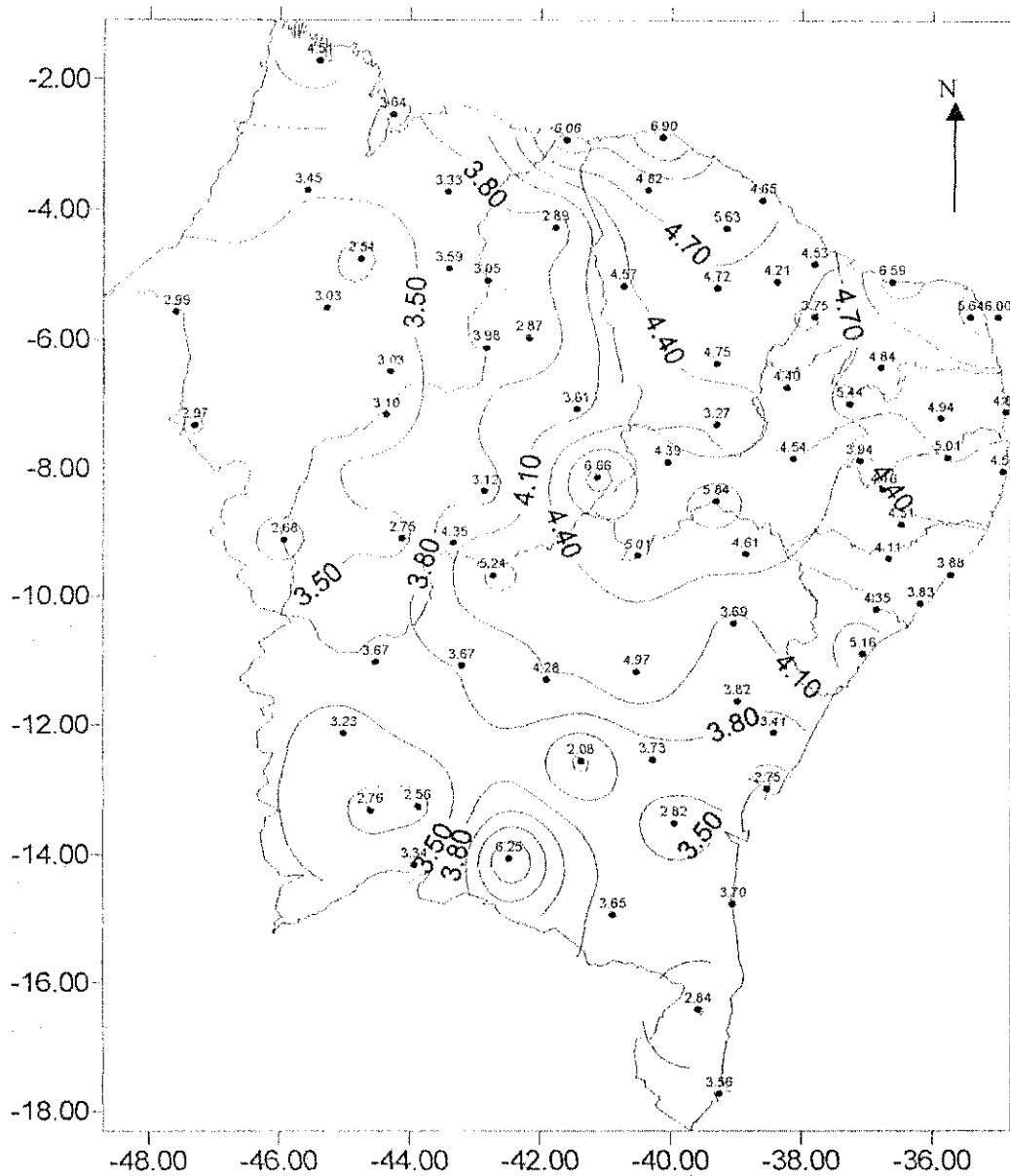


Figura 7.16 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de setembro para a região Nordeste do Brasil

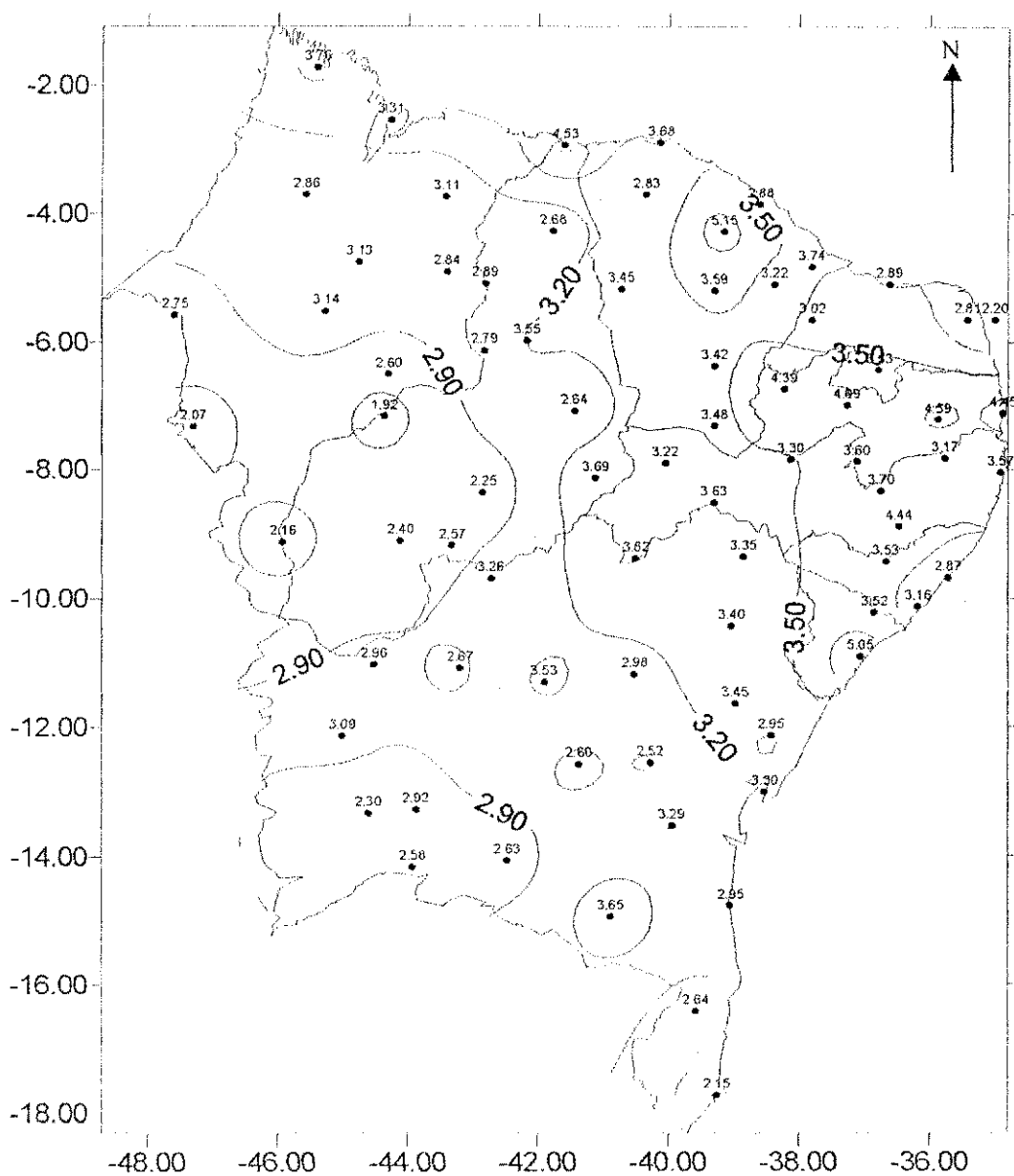


Figura 7.17 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de outubro para a região Nordeste do Brasil

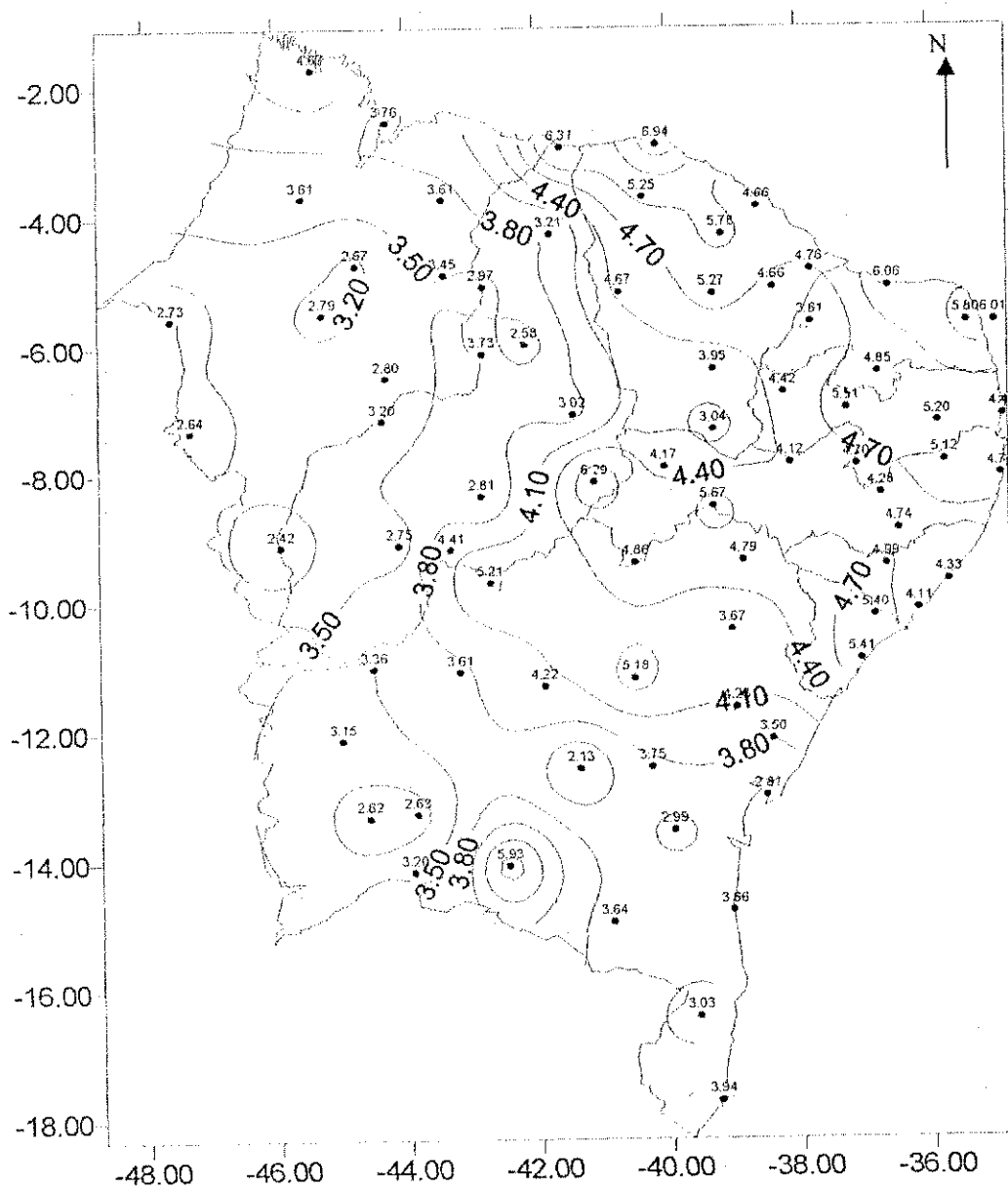


Figura 7.18 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de outubro para a região Nordeste do Brasil

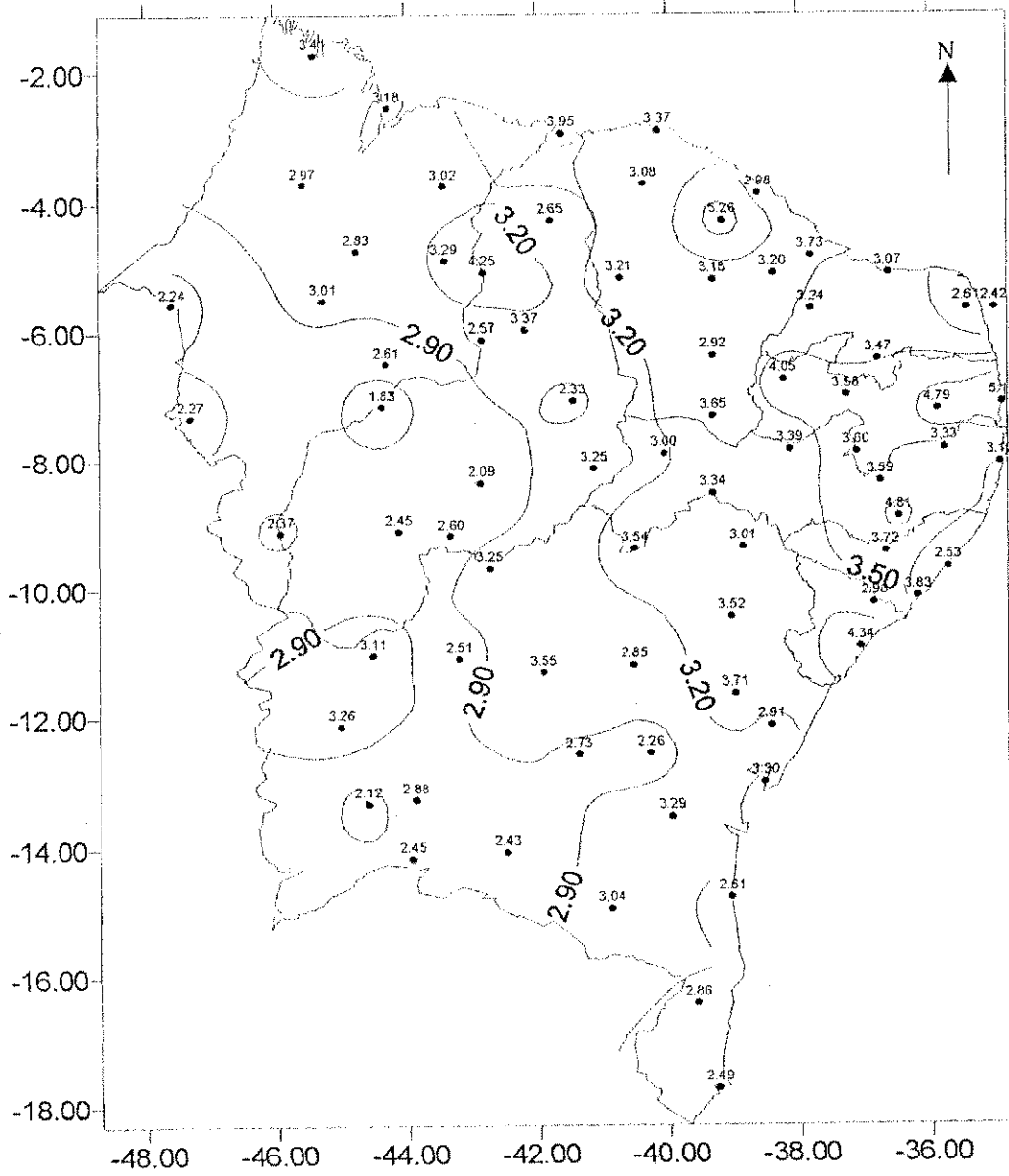


Figura 7.19 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de novembro para a região Nordeste do Brasil

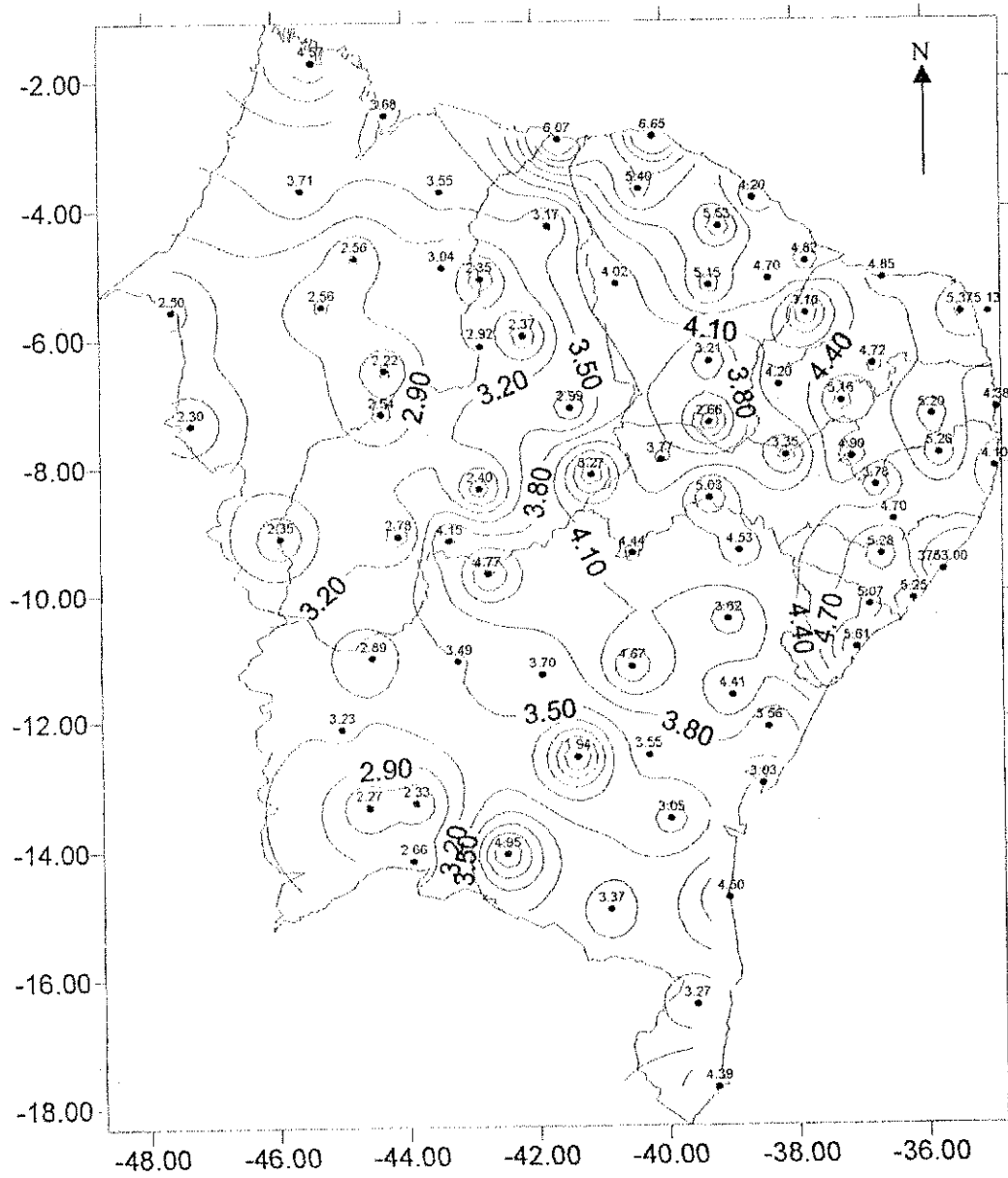


Figura 7.20 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de novembro para a região Nordeste do Brasil

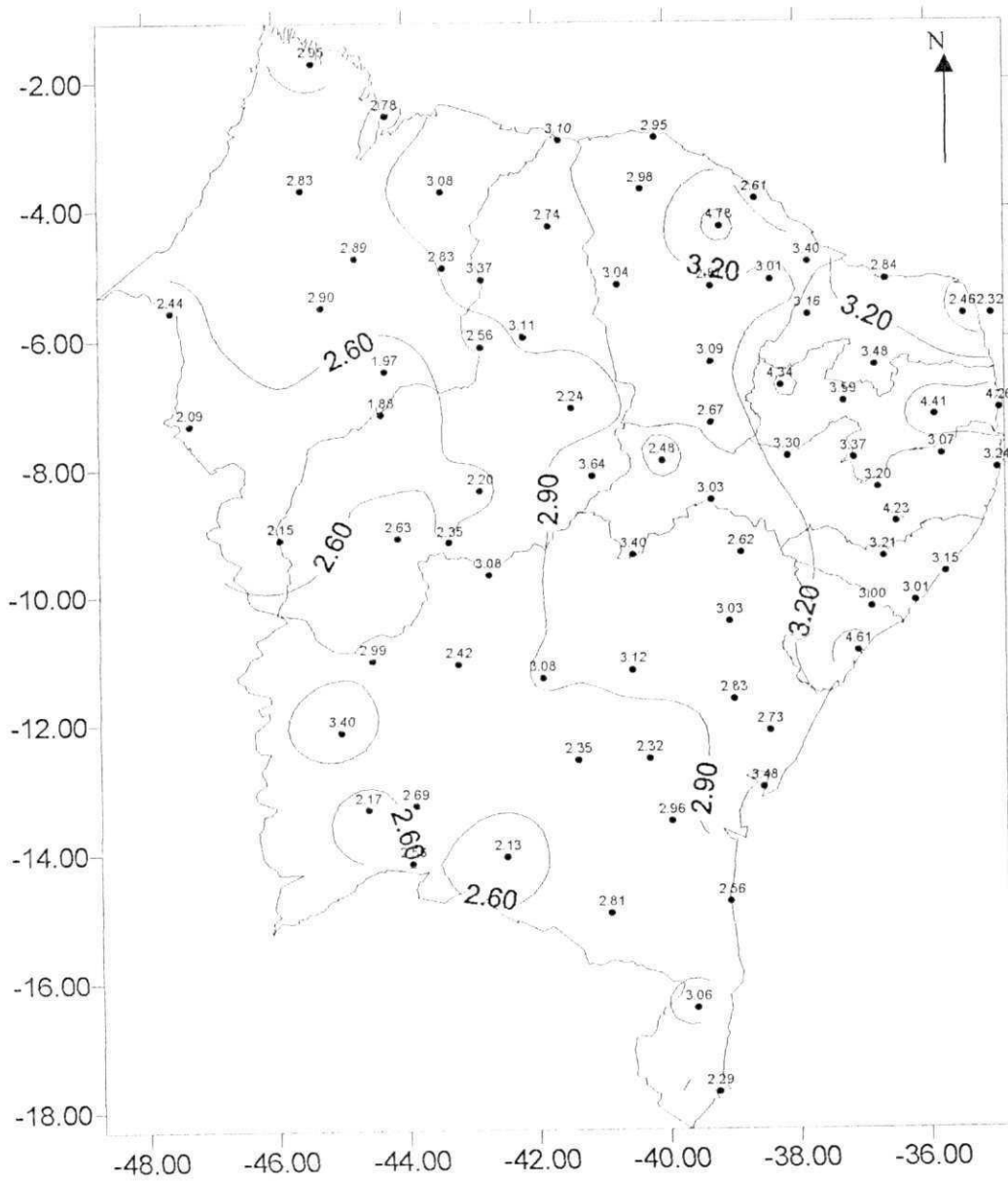


Figura 7.21 – Distribuição espacial do parâmetro de forma (a) de Weibull do mês de dezembro para a região Nordeste do Brasil

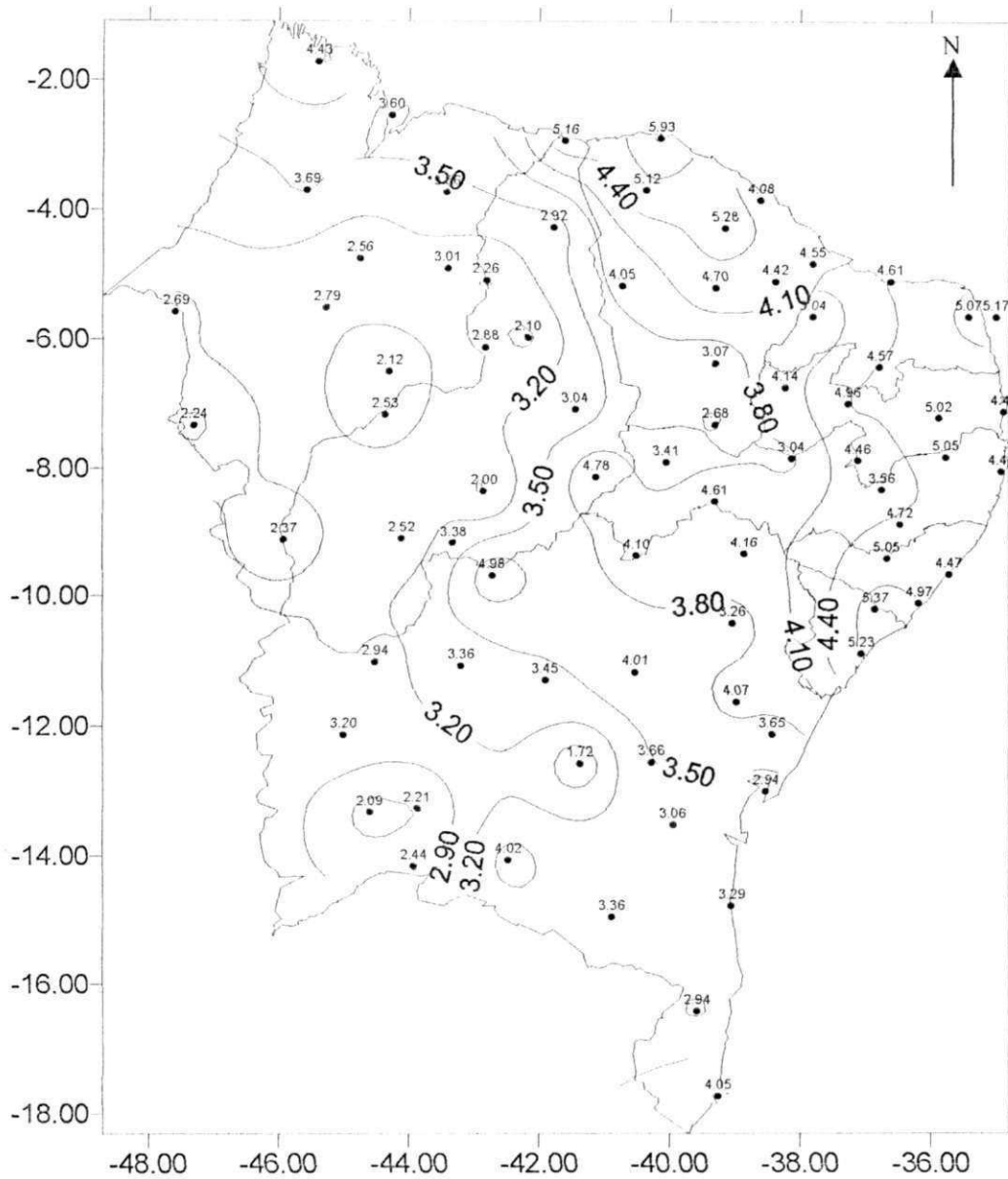


Figura 7.22 – Distribuição espacial do parâmetro de escala (b) em m/s de Weibull do mês de dezembro para a região Nordeste do Brasil