

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

**PADRÕES DE VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE NO NORDESTE**  
**DO BRASIL**

**ADELMO ANTONIO CORREIA**

**Campina Grande - PB**

**Julho de 2000**

---

**ADELMO ANTONIO CORREIA**

**PADRÕES DE VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE 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.**

---

**Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala**

**Sub-área: Climatologia**

**Orientadoras: Maria Regina da Silva Aragão  
Célia Campos Braga**

**Campina Grande - PB**

**Julho de 2000**

FICHA CATALOGRÁFICA

C824p	<p>Correia, Adelmo Antonio</p> <p>Padrões de variabilidade do vento à superfície no Nordeste do Brasil / Adelmo Antonio Correia. Campina Grande: UFPB, 2000. 66p. : il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Vento à superfície (Meteorologia)</li><li>2. Análise em componentes principais</li><li>3. Análise de agrupamento</li></ol>
Palavras chaves:	<p>VENTO À SUPERFÍCIE REGIONALIZAÇÃO FISIOGRAFIA NORDESTE DO BRASIL</p>
	CDU: 551.552(812/814)

**DIGITALIZAÇÃO:**  
**SISTEMOTECA - UFCG**

ADELMO ANTONIO CORREIA

PADRÕES DE VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE  
NO NORDESTE DO BRASIL.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/7/00

BANCA EXAMINADORA



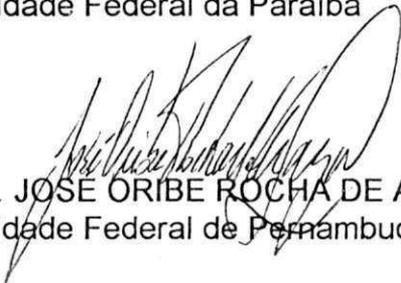
Profa. Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO  
Universidade Federal da Paraíba



Profa. MSc. CÉLIA CAMPOS BRAGA  
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGÃO  
Universidade Federal de Pernambuco

## HOMENAGEM

- *A meus pais,  
**Ana & Antônio Alfeu,**  
que através de carinho e perseverança  
me mostraram o caminho da vida.  
Meu muito obrigado!*

- *A meus irmãos,  
pelo apoio e incentivo.*
- *À minha namorada,  
**Betânia Gomes Barbosa,**  
pelos momentos de felicidade.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela fé e por ter iluminado sempre o meu caminho.

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela estrutura didático-científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Às professoras Dra. Maria Regina da Silva Aragão e Célia Campos Braga pela imprescindível orientação, paciência e amizade.

Agradeço em especial a Ewerton Cleudson de Sousa Melo, à Eng<sup>a</sup> Eyres Diana Ventura e ao professor Enilson Palmeira Cavalcanti, por suas contribuições na área de informática.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela concessão dos dados utilizados na pesquisa.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas e a todos os funcionários, em especial, às funcionárias Eng<sup>a</sup>. Eyres Diana Ventura Silva e Divanete Cruz Rocha, pela atenção e assistência.

Aos meus amigos Gerson, Genilson, Romilson, Magna, Márcia, Lígia, Antonio, Lorival e Jurandir, que mesmo distantes compartilharam deste ideal, incentivando-me a vencer todos os obstáculos durante a realização deste trabalho.

A todos os meus familiares, especialmente às minhas tias Luíza e Severina, minha avó Julia (*in memorium*), que sempre estiveram ao meu lado fortalecendo-me e dando-me força para seguir meus estudos, obrigado.

## RESUMO

No presente estudo foram utilizados dados horários de vento à superfície para um período de 5 anos (1977-1981) coletados em 77 estações localizadas no Nordeste do Brasil. O objetivo deste estudo foi analisar as componentes zonal (CZV) e meridional (CMV) do vento à superfície, utilizando métodos de análise multivariada (análise em componentes principais (ACP) e análise de agrupamento) visando determinar padrões temporais de sua variabilidade associando-os com a fisiografia e os fenômenos atmosféricos que atuam na região.

A aplicação da análise fatorial em componentes principais a cada componente do vento à superfície mostra que os três primeiros fatores comuns temporais da CZV explicam 93,8% da variância total das médias decendiais, enquanto que os dois primeiros fatores comuns temporais da CMV explicam 91,0%. Os resultados da análise conjunta da CZV e CMV mostram que os três primeiros fatores comuns temporais explicam 88,4% da variância total das médias decendiais. Os resultados obtidos mostram que a circulação de grande escala (anticiclone subtropical do Atlântico Sul) e a fisiografia complexa (principalmente o vale do Rio São Francisco) são fatores determinantes no comportamento do vento à superfície no Nordeste do Brasil. Os padrões temporais também foram associados a outros fenômenos: ZCIT, ZCAS, vórtices ciclônicos da alta troposfera, sistemas frontais austrais, distúrbios de leste, sistemas convectivos de mesoescala e circulações locais.

A regionalização através da ACP dos fatores comuns temporais mais significativos, seguida da análise de agrupamento usando o método de Ward, revela a existência de cinco (05) grupos homogêneos para a CZV, quatro (04) grupos homogêneos para a CMV e cinco (05) grupos homogêneos para a CZV e CMV, em conjunto, no Nordeste do Brasil. Os grupos resultantes da regionalização são influenciados pela maioria dos sistemas atmosféricos, especialmente o anticiclone subtropical do Atlântico Sul, e pela fisiografia.

## ABSTRACT

Hourly surface wind data covering a 5-year period (1977-1981) for 77 stations located on Northeast Brazil were used in this study. Multivariate analysis methods (principal components analysis and cluster analysis) were applied to mean decadal values of the zonal (ZWC) and meridional (MWC) surface wind components, individually and in conjunction, in order to identify patterns of their time variability. Patterns' association with physiography and atmospheric phenomena acting on the region was searched for.

Factorial analysis based on principal components applied to each surface wind component shows the first three ZWC temporal factor loadings to explain 93.8% of the total variance, while the first two MWC temporal factor loadings explain 91.0%. Analysis of the ZWC and MWC in conjunction shows the first three temporal factor loadings to explain 88.4% of the total variance. Results show the large-scale atmospheric circulation (South Atlantic subtropical anticyclone) and the complex physiography (principally the São Francisco River valley) to be determining factors for the surface wind behaviour in Northeast Brazil. Temporal patterns were also associated with other phenomena; ITCZ, SACZ, upper tropospheric cyclonic vortices, southern frontal systems, easterly disturbances, mesoscale convective systems and local circulations.

Regionalization on principal component analysis of the most significant temporal factor loadings, followed by cluster analysis based on Ward's method, reveals the existence of five homogeneous groups for the ZWC, four (04) homogeneous groups for the MWC and five (05) homogeneous groups for the ZWC and MWC, in conjunction, in Northeast Brazil. The resulting groups are seen to be influenced by the majority of the atmospheric systems, especially the South Atlantic subtropical anticyclone, and by the physiography.

## SUMÁRIO

	Pág.
ABSTRACT	
RESUMO	
I. LISTA DE FIGURAS	i
II. LISTA DE TABELAS	iv
III. LISTA DE ABREVIATURAS	v
IV. LISTA DE SÍMBOLOS	vi
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 Materiais	11
3.2 Métodos	15
3.2.1 Campos Médios Mensais do Vento à Superfície	15
3.2.2 Análise em Componentes Principais (ACP)	16
3.2.3 Análise de Agrupamento	20
3.2.3.1 Função de Agrupamento	21
3.2.3.2 Critério de Agrupamento	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 Campos Médios Mensais do Vento à Superfície	24
4.2 Padrões de Variabilidade do Vento à Superfície	31
4.2.1 Análise Temporal da Componente Zonal	31
4.2.2 Análise Temporal da Componente Meridional	34
4.2.3 Análise Temporal Conjunta das Componentes Zonal e Meridional	36
4.3 Regionalização do Vento à Superfície	41
4.3.1 Regionalização da Componente Zonal	41
4.3.2 Regionalização da Componente Meridional	46
4.3.3 Regionalização Conjunta das Componentes Zonal e Meridional	51
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	60
6 REFERÊNCIAS	62

## I - LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1 - Mapa do relevo da Região Nordeste do Brasil ( <i>Fonte: SIMIELLI, 1991</i> )	2
Fig. 3.1 - Distribuição espacial das estações meteorológicas de superfície da Rede Climatológica do Nordeste operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foi omitido o número de bloco das estações (83 para estações situadas ao sul de 10°S e 82 para as demais). Os estados que compõem o Nordeste e estados limítrofes são identificados por suas abreviaturas (vermelho).	12
Fig. 3.2 - Representação da seqüência de partições do conjunto a,b,c,d,e ( <i>Fonte: BOUROCHE &amp; SAPORTA, 1982</i> ).	21
Fig. 4.1 - Vetor vento médio à superfície no Nordeste do Brasil (período 1977-1981) para o mês de: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro. A escala utilizada (m/s) é vista à direita de (c), (f), (i) e (l) ( <i>Fonte dos dados: INMET</i> ).	27
Fig. 4.2 - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) da componente zonal do vento à superfície que explicam 96,7% da variância total dos dados (82,5%; 11,3%; 2,9%) no Nordeste do Brasil.	32
Fig. 4.3 - Padrões de variabilidade espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fatores comuns temporais, da componente zonal do vento à superfície no Nordeste do Brasil.	33
Fig. 4.4 - Dois primeiros fatores comuns temporais (correlações) da componente meridional do vento à superfície que explicam 91% da variância total dos dados (79,9%; 11,1%) no Nordeste do Brasil.	35
Fig. 4.5 - Padrões de variabilidade espacial do (a) primeiro fator comum temporal e (b) segundo fator comum temporal, da componente meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil.	35
Fig. 4.6 - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) das componentes zonal e meridional do vento à superfície que explicam 88,4% da variância total das médias decendiais (55,1%; 26,6%; 6,7%) no Nordeste do Brasil.	38

- Fig. 4.7 - Padrões de variabilidade espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fatores comuns temporais, das componentes zonal e meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil. 40
- Fig. 4.8 - Curva de inércia referente à componente zonal do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A seta indica o número de grupos retidos. 42
- Fig. 4.9 - Dendrograma resultante do agrupamento da componente zonal do vento à superfície das 77 estações, utilizando o método de Ward. 42
- Fig. 4.10 - Zoneamento da componente zonal do vento à superfície, a partir dos três primeiros fatores comuns mais significativos, no Nordeste do Brasil. 43
- Fig. 4.11 - Série temporal da componente zonal do vento à superfície e respectivo desvio padrão, médios decendiais (m/s) do: (a) Grupo I, (b) Grupo II, (c) Grupo III, (d) Grupo IV, (e) Grupo V. Valores negativos representam componente de leste. 45
- Fig. 4.12 - Curva de inércia referente à componente meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A seta indica o número de grupos retidos. 47
- Fig. 4.13 - Dendrograma resultante do agrupamento da componente meridional do vento à superfície das 77 estações, utilizando o método de Ward. 47
- Fig. 4.14 - Zoneamento da componente meridional do vento à superfície, a partir dos dois primeiros fatores comuns mais significativos, no Nordeste do Brasil. 48
- Fig. 4.15 - Série temporal da componente meridional do vento à superfície e respectivo desvio padrão, médios decendiais (m/s) do: (a) Grupo I, (b) Grupo II, (c) Grupo III, (d) Grupo IV. Valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte). 50
- Fig. 4.16 - Curva de inércia referente às componentes zonal e meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A seta indica o número de grupos retidos. 52
- Fig. 4.17 - Dendrograma resultante do agrupamento das componentes zonal e meridional do vento à superfície das 77 estações, utilizando o método de Ward. 52

- Fig. 4.18 - Zoneamento das componentes zonal e meridional do vento à superfície, a partir dos três primeiros fatores comuns mais significativos, no Nordeste do Brasil. 53
- Fig. 4.19 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais\* (m/s) do Grupo I. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte). 54
- Fig. 4.20 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais (m/s) do Grupo II. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte). 55
- Fig. 4.21 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais do Grupo III. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte). 57
- Fig. 4.22 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais do Grupo IV. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos em (b) representam componente de sul. 58
- Fig. 4.23 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais do Grupo V. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte). 59

**II - LISTA DE TABELAS**

	Pág.
TABELA 1 - Relação das estações de superfície do INMET com dados horários de direção e velocidade do vento	13

**III - LISTA DE ABREVIATURAS**

- ACP - Análise em Componentes Principais  
AL - Alagoas  
ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul  
BA - Bahia  
CE - Ceará  
CMV - Componente Meridional do Vento à Superfície  
COLA - Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions  
CP's - Componentes principais  
CZMJ - Componentes zonal e meridional juntas  
CZV - Componente Zonal do Vento à Superfície  
ENOS - El Niño-Oscilação do Sul  
ES - Espírito Santo  
FOE - Funções Ortogonais Empíricas  
GrADS - Grid Analysis and Display System  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
LNE - Leste do Nordeste  
MA - Maranhão  
MG - Minas Gerais  
PA - Pará  
PB - Paraíba  
PE - Pernambuco  
PI - Piauí  
RN - Rio Grande do Norte  
SE - Sergipe  
TO - Tocantins  
ZCA - Zona de Convergência dos Alísios  
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

**IV - LISTA DE SÍMBOLOS**

a	determinado ano
A	número de anos para uma determinada estação
e	determinado dia
j	número de decêndios
h	determinada hora
k	número de dias no i-ésimo decêndio
m	determinado mês
$\theta$	direção do vento (radianos)
u	componente zonal do vento (m/s)
v	componente meridional do vento (m/s)
V	módulo da velocidade do vento

## 1 INTRODUÇÃO

Situada entre as latitudes de 1° e 18° sul e as longitudes de 34° e 48° oeste, a Região Nordeste do Brasil se limita a oeste com áreas de floresta tropical e cerrado, a leste e ao norte com o Oceano Atlântico e ao sul com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Sua topografia pode ser subdividida em três regiões morfológicamente definidas (Fig. 1.1) segundo a classificação do relevo brasileiro de AB'SÁBER (1993):

a) Planalto Maranhão-Piauí que abrange quase toda a área desses estados, com exceção da região litorânea.

b) Planalto Nordestino bastante extenso mas com altitudes modestas, onde sobressaem ora serras ora chapadas (Borborema, Araripe, Diamantina).

c) Planícies e terras costeiras que se estendem por todo o litoral nordestino ora faixas mais largas, ora mais estreitas e, às vezes, interrompidas.

A hidrografia de superfície do Nordeste é formada por inúmeras bacias entre as quais estão as dos rios: Pindaré, Grajaú, Mearim, Itapecuru (MA); Parnaíba (MA-PI); Gurguéia e Piauí (PI); Acaraú e Jaguaribe (CE); Piranhas (RN); Vaza-Barris, Itapecuru, Paraguaçu, Contas (BA); Jequitinhonha e São Francisco (MG-BA) (COELHO, 1990). A bacia do Rio São Francisco é, sem dúvida, uma das mais importante do país. O vale do São Francisco é tradicionalmente dividido em quatro regiões: alto, médio, sub-médio e baixo. A maior parte do médio está situada em solo nordestino, estendendo-se entre o Espigão Mestre e a Chapada Diamantina, desde a fronteira da Bahia com Minas Gerais até Remanso-BA (9°39'S, 42°3'W). O sub-médio está situado entre Remanso e Paulo Afonso-BA (9°21'S, 38°15'W), onde começa o baixo, que se estende até a foz, no Oceano Atlântico.



A interação entre a atmosfera, os oceanos e a complexa fisiografia regional é um dos fatores que determinam o tempo e o clima no Nordeste do Brasil. Atuam na região fenômenos atmosféricos pertencentes às várias escalas, desde a planetária até a pequena escala representada pela convecção isolada. Pertence à escala planetária a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), amplamente conhecida como o principal sistema gerador de precipitação sobre o norte do Nordeste. Esse fato é facilmente compreendido quando se observa que o máximo de precipitação na parte norte do semi-árido do Nordeste (março-abril) ocorre exatamente na época em que a ZCIT atinge sua posição mais ao sul. A ZCIT pode ser monitorada através da posição de vários fenômenos meteorológicos com ela relacionados, tal como a Zona de Convergência dos Alísios (ZCA) que, embora não coincidindo exatamente com a ZCIT, apresenta deslocamento muito bem relacionado com ela (UVO, 1989). Intimamente relacionados com a ZCIT estão os anticiclones subtropicais do Atlântico (HASTENRATH & HELLER, 1977). O anticiclone subtropical do Atlântico Sul, em particular, desempenha papel decisivo no regime pluviométrico do leste do Nordeste (RAO et al., 1993).

Outros sistemas pertencentes a escala planetária que também influenciam o tempo e clima do Nordeste são as circulações geradas por anomalias no campo da temperatura da superfície do mar (CAVIEDES, 1973; MOURA & SHUKLA, 1981; HARZALLAH et al., 1996; ROUCOU et al., 1996) e a oscilação de Madden-Julian, cuja influência no Nordeste ainda não é bem compreendida. Na escala sinótica estão os sistemas frontais ou zonas de convergência deles remanescentes (SERRA, 1941; KOUSKY, 1979), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (KODAMA, 1992), os vórtices ciclônicos da alta troposfera (KOUSKY & GAN, 1981) e os distúrbios ondulatórios de leste (YAMAZAKI & RAO, 1977; CHAN, 1990). Fenômenos de mesoescala também atuam no Nordeste tais como sistemas associados a ZCIT (aglomerados convectivos de mesoescala) (SOUZA et al., 1997), linhas de instabilidade formadas na costa norte do Nordeste (CAVALCANTI, 1982) e outras circulações geradas por contraste térmico entre superfícies sólidas e líquidas e entre áreas não-elevadas e elevadas, sendo que estas últimas também podem agir como uma forçante mecânica (SILVA, 1996).

Vários desses fenômenos que influenciam o tempo e o clima do Nordeste do Brasil podem ser diagnosticados pelo escoamento superficial, já que os sistemas atmosféricos podem ser identificados pelo vento a eles associado (SILVA ARAGÃO et al., 1997). Isso indica que o vento é uma variável fundamental na caracterização climática de

uma região, particularmente em áreas tropicais. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar as componentes (zonal e meridional) do vento à superfície observado no Nordeste do Brasil no período 1977-1981, utilizando métodos de análise multivariada (análise em componentes principais e análise de agrupamento) visando determinar padrões temporais de sua variabilidade associando-os com a fisiografia regional e os fenômenos atmosféricos que atuam na região.

O Capítulo 2 deste trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a metodologia empregada (análise em componentes principais e análise de agrupamento) e vento à superfície. No Capítulo 3 são descritos os dados e a metodologia utilizados neste estudo. No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os campos médios mensais do vento à superfície e os resultados obtidos da análise multivariada (análise em componentes principais e análise de agrupamento) aplicada às componentes (zonal e meridional) do vento à superfície. Finalmente, conclusões e sugestões para trabalhos futuros são apresentados no Capítulo 5.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A técnica estatística da análise multivariada que tem sido mais amplamente empregada em ciências atmosféricas é a Análise em Componentes Principais (ACP). Ela tornou-se popular nas análises de dados atmosféricos após LORENZ (1956), que a denominou Funções Ortogonais Empíricas (FOE). Hoje ambos os nomes são comumente usados e referem-se aos mesmos procedimentos. A partir daí, inúmeros pesquisadores fizeram uso de tais técnicas como BRAGA (1992), KOUSKY & KAYANO (1994), CEBALLOS & BRAGA (1995), NERY et al. (1999) e outros que a empregaram em uma variedade de aplicações meteorológicas. Outra técnica de análise multivariada muito utilizada em ciências atmosféricas, seja isoladamente ou em conjunto com a ACP, é a Análise de Agrupamento.

A precipitação é, dentre os parâmetros meteorológicos observados à superfície, o que tem sido mais freqüentemente estudado com o emprego de tais técnicas. BRAGA & SILVA (1990) foram pioneiros nessa linha para o Nordeste do Brasil. Eles identificaram seis regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba utilizando a análise de agrupamento aplicada a médias decendiais dos totais diários de precipitação coletados em 65 postos pluviométricos no período de 1930 a 1981. Posteriormente, BRAGA (1992) reutilizou esses dados aplicando o método de análise em componentes principais (ACP) em conjunto com a análise de agrupamento. Verificou que as duas primeiras componentes principais (CP's) explicavam 93,2% da variância total da série. Uma análise objetiva de agrupamento utilizando os autovetores mais significativos permitiu classificar a pluviometria do Estado da Paraíba em cinco sub-regiões homogêneas. Desde então, outros pesquisadores tais como LOPES et al. (1996), RODRIGUES et al. (1996), SILVA (1996) e BRAGA et al. (1998) têm aplicado a mesma metodologia a outros estados do Nordeste do Brasil.

LOPES et al. (1996) aplicaram a metodologia da análise de agrupamento a dados de chuva do período 1910-1990 coletados em 59 postos pluviométricos do Estado do Rio Grande do Norte. A partir de cortes transversais no dendrograma foi possível identificar cinco microrregiões pluviometricamente homogêneas.

RODRIGUES et al. (1996) utilizaram totais diários de chuva coletados em 84 postos pluviométricos do Estado do Ceará no período de 1913 a 1983 para determinar microrregiões pluviometricamente homogêneas utilizando a metodologia da análise de agrupamento. A partir de cortes transversais no dendrograma foi possível dividir o Estado do Ceará em sete microrregiões pluviometricamente homogêneas.

SILVA (1996) utilizou dados de chuva coletados em 68 postos pluviométricos distribuídos no Estado da Paraíba no período 1930-1993 organizando-os em três conjuntos, sendo:

a) um formado pela série climatológica para o período 1930-1993.

b) outro, um subconjunto do primeiro, formado pelos anos em que ocorreram eventos fortes de El Niño-Oscilação do Sul (ENOS).

c) outro, constituído também por um número de anos climatologicamente representativo, formado com a retirada do subconjunto (b) em (a).

O objetivo do autor na aplicação das técnicas de análise em componentes principais e análise de agrupamento foi identificar sub-regiões pluviometricamente homogêneas e determinar as mudanças que o fenômeno ENOS provoca na distribuição espacial da precipitação no Estado da Paraíba. A aplicação da ACP para o primeiro conjunto de dados mostrou que as duas primeiras componentes explicam 96% da variância espacial total. SILVA (1996) relacionou o padrão espacial associado ao primeiro fator comum com a influência da ZCIT e o segundo fator comum à atuação dos distúrbios de leste, sistemas de brisa e suas interações. A aplicação da ACP para anos de eventos fortes de ENOS resultou na retenção de três componentes mais significativas que explicam 82% da variância total. A regionalização conjunta das CP's mais significativas seguida da análise de agrupamento revelou a existência de seis sub-regiões para os anos climatológicos e cinco sub-regiões para os anos de eventos fortes de ENOS. O autor concluiu que os dois conjuntos de dados evidenciam diferenças significativas na distribuição espacial da chuva no Estado da Paraíba entre anos de ENOS fortes e anos climatológicos.

BRAGA et al. (1998), com a finalidade de identificar as sub-regiões pluviometricamente homogêneas do Estado da Bahia, utilizaram dados coletados em 140

estações meteorológicas com um período mínimo de trinta anos de observação. Aplicando a análise de agrupamento foi possível dividir o estado da Bahia em nove sub-regiões pluviometricamente homogêneas. Os autores concluíram ainda que a posição geográfica da Bahia faz com que seu território seja influenciado por sistemas atmosféricos de diferentes escalas, em diferentes épocas do ano, fazendo com que algumas estações com alturas pluviométricas semelhantes pertençam a grupos distintos, dificultando a regionalização.

Outros autores como PANDZIC & KISEGI (1990), PRATES (1994) e SANSIGOLO & NERY (1998) aplicaram a metodologia de ACP, isolada ou em conjunto com análise de agrupamento, a dados de chuva de outras regiões.

SANSIGOLO & NERY (1998) aplicaram as técnicas da análise de fatores comuns e de agrupamentos às precipitações das regiões Sul e Sudeste do Brasil, visando sua regionalização e melhor compreensão de seus padrões sazonais e interanuais. Foram utilizados os registros mensais de precipitação de 1960 a 1991, de 47 estações meteorológicas distribuídas nessas regiões. Foram retidos os dois primeiros fatores comuns temporais, explicando 52% e 33% da variância total, respectivamente, e os três primeiros fatores comuns espaciais que explicam 37%, 15% e 7% da variância total, respectivamente. Segundo os autores, o primeiro e o terceiro fatores comuns espaciais estão associados às anomalias da temperatura da superfície do mar no Pacífico e o segundo, às do Atlântico Sul. Através da análise de agrupamento foram identificados três grupos homogêneos em relação às precipitações anuais e distribuição sazonal.

PRATES (1994) aplicou a metodologia da análise em componentes principais a dados de chuva coletados em 128 postos pluviométricos distribuídos no estado de Minas Gerais e regiões limítrofes de Goiás, Espírito Santo e Bahia. O objetivo do autor foi identificar regiões pluviometricamente homogêneas. Foram analisadas as três primeiras CP's que explicam 92,32% da variância total dos dados. O padrão espacial da primeira CP, que explica 86,85% da variância, foi associado a resposta local a mecanismos de grande escala. Os padrões espaciais da segunda e terceira CP's, que explicam 3,55% e 1,92% da variância, respectivamente, podem representar diferenças no regime pluviométrico associadas a efeitos locais, apesar da pequena porcentagem de explicação da variância.

PANDZIC & KISEGI (1990) empregaram a análise em componentes principais para avaliar o campo de precipitação de mesoescala associado à circulação de grande escala. Os autores utilizaram dados de precipitação de 108 estações da Croácia, juntamente com dados médios mensais de pressão à superfície e de geopotencial em 500

hPa numa grade de 12x19 pontos que abrangia a região de atuação da grande escala para o período 1961-1980. Encontraram dois grupos distintos: o primeiro, relacionado ao curso climático anual dos campos considerados e o segundo, a suas anomalias. Obtiveram ainda, uma regionalização das regiões de meso e grande escala, dividindo-as em sub-regiões homogêneas, de acordo com o curso climático anual das variáveis, ficando estabelecida a conexão entre o curso anual da precipitação da Croácia e o campo de pressão de grande escala.

É evidente que, independentemente da região estudada, a climatologia da precipitação deve estar diretamente relacionada com a circulação atmosférica em superfície e altitude ou, em outras palavras, com os sistemas atmosféricos, conforme sugerem PANDZIC & KISEGI (1990), SILVA (1996) e BRAGA et al. (1998). A interligação entre o vento à superfície e a chuva em áreas específicas do Nordeste do Brasil foi abordada em RAO et al. (1993) e SILVA ARAGÃO et al. (1997).

RAO et al. (1993) analisaram as séries de precipitação normalizadas para o período 1914-1983 de 63 estações distribuídas na costa Leste do Nordeste (LNE) do Brasil com o objetivo de determinar as estações chuvosa e seca e identificar os fenômenos que causam as variações sazonais e interanuais da chuva nessa região. Os autores definiram como estação chuvosa o período com maior contribuição para os totais anuais de chuva e como estação seca o de menor contribuição. Eles determinaram que a principal estação chuvosa é de abril a julho (60% da precipitação anual) e a principal estação seca é de setembro a dezembro (10% da precipitação anual). As chuvas de outono e inverno sobre o LNE do Brasil estão associadas com ventos de sudeste perpendiculares à costa. A intensidade e localização da alta subtropical da Atlântico Sul parece ter um efeito importante nas chuvas do LNE do Brasil, já que ela modula a direção e intensidade do vento na costa leste, o que tem grande influência na precipitação. Isso foi comprovado correlacionando os dados de vento das estações de Abrolhos e Trindade com a precipitação da estação chuvosa do LNE do Brasil. Os dois pares de séries apresentaram correlação significativa ao nível de significância de 99%. Abrolhos apresentou coeficiente de correlação mais elevado mostrando que os ventos com componente de sul estão fortemente correlacionados com a chuva no LNE do Brasil.

SILVA ARAGÃO et al. (1997) utilizaram totais mensais de precipitação e dados horários de direção do vento coletados nos anos de 1980 e 1981 em quatro estações de superfície localizadas no sub-médio São Francisco para investigar a relação entre a

chuva e a circulação atmosférica em superfície em dois anos de contraste na região. As autoras mostraram que precipitação acima (abaixo) da normal climatológica em janeiro e fevereiro de 1980 (1981) precede precipitação abaixo (acima) da normal climatológica em março de 1980 (1981). Os meses com precipitação abaixo da normal climatológica são dominados por ventos de leste-sudeste associados à alta subtropical do Atlântico Sul, enquanto que meses com precipitação acima da normal climatológica apresentam outras direções devido a atuação duradoura e/ou freqüente de sistemas atmosféricos tais como os vórtices ciclônicos da alta troposfera e a ZCIT.

Apesar de ser um importante componente da caracterização climática de uma região, a climatologia do vento à superfície tem sido relativamente pouco estudada. Além disso, a maioria dos trabalhos existentes enfoca apenas a freqüência relativa da direção e velocidade do vento para localidades específicas. Este é o caso, por exemplo, de VAREJÃO SILVA et al. (1987). A deficiência dessa abordagem é que ela não possibilita uma visão de conjunto do comportamento do vento numa determinada região, o que pode ser obtido através da aplicação de técnicas de análise multivariada como em GREEN et al. (1993), KLINK & WILLMOT (1989) e KLINK (1999).

GREEN et al. (1993) aplicaram a análise em componentes principais a séries climatológicas de vento, temperatura e precipitação da Região Sul da Califórnia. As cargas fatoriais das componentes principais foram usadas para formar grupos de meses (estações) possuindo padrão espacial similar. O resultado apresentou períodos sazonais (estações) de duração desigual, diferindo das estações convencionais (três meses). As análises de temperatura e vento apresentaram longos períodos de verão e inverno e curtas estações intermediárias, especialmente o outono. Na análise da precipitação o período (estação) novembro-maio é associado a sistemas sinóticos vindos do Pacífico. O período julho-agosto é a estação de tempestades de verão associadas a fluxo de umidade de sul. Períodos intermediários secos separam essas estações. Os meses agrupados coincidiram para as análises de temperatura e vento, o que sugere uma relação estreita entre essas variáveis conforme assinalado pelos autores, já que efeitos térmicos em mesoescala induzem circulações locais tais como as brisas marítima e terrestre e as circulações em áreas de topografia complexa.

KLINK & WILLMOTT (1989) aplicaram o método de ACP a dados de vento à superfície coletados a cada três horas no ano de 1975 em 68 estações dos Estados Unidos. Os autores analisaram separadamente velocidade e direção do vento utilizando a

ACP vetorial enquanto que para as componentes zonal e meridional do vento usaram a ACP escalar. Os campos da velocidade média do vento, das componentes zonal e meridional juntas (CZMJ) e da direção média são muito similares mas apresentam algumas diferenças não triviais, existindo também diferenças entre as componentes principais da velocidade, direção e CZMJ. As três primeiras componentes principais (CP's) das CZMJ explicam 45% da variância total no campo do vento. As CP's para velocidade e direção explicam 43% e 34% da variância total, respectivamente. As análises apresentam um padrão temporal similar mas com fases diferentes para as componentes mais representativas. As variâncias são associadas a sistemas de escala sinótica. O campo da direção do vento apresenta ruídos que dificultam a interpretação física enquanto que o campo das CZMJ apresenta resultados inferiores ao da ACP vetorial. Os autores concluíram que o método estatisticamente mais preciso para avaliar a variabilidade do vento é a ACP vetorial.

KLINK (1999) utilizou dados coletados no período de 1961 a 1990 em 216 estações de superfície dos Estados Unidos para calcular as médias e variâncias das direções, velocidades e vetor velocidade dos dados médios mensais de vento objetivando identificar características no comportamento dessa variável que pudessem fornecer informações adicionais à climatologia de superfície dos Estados Unidos. A autora observou que a topografia tem grande influência no comportamento do vento na parte oeste do país. No inverno os ventos predominantes são de oeste e noroeste enquanto que no verão eles são predominantemente de sul. As direções são mais variáveis nas estações de transição da primavera e outono. A velocidade do vento é mais intensa no inverno e primavera pois nessas estações do ano os gradientes horizontais de temperatura e pressão (equador-pólo) são mais intensos. As similaridades e diferenças nos campos médios do vento à superfície (velocidade, direção e vetor velocidade) e sua variabilidade interanual são resultado da interação entre sistemas locais e de escala sinótica.

A revisão apresentada sugere que a aplicação da metodologia da análise multivariada (análise em componentes principais e análise de agrupamento) pode trazer novos conhecimentos sobre o comportamento do vento à superfície no Nordeste do Brasil.

### 3 MATERIAIS e MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Os dados utilizados nesta pesquisa são observações horárias de direção e velocidade do vento para um período de 5 anos (1977-1981) coletadas em 77 estações meteorológicas de superfície da Rede Climatológica do Nordeste operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados provêm de anemógrafos universais Fuess, cujos sensores se encontram a 10 metros de altura. Informações referentes ao processamento e análise desses dados visando determinar o potencial para aproveitamento de energia eólica são encontradas em BASTOS et al. (1987). A Figura 3.1 ilustra a localização das estações cujos respectivos número sinótico, sigla, latitude, longitude e altitude são dados na Tabela 1.

Algumas estações apresentam ausência de dados em parte do período em estudo. Há apenas dois anos de dados para as estações de Maceió-AL (82994) e Coruripe-AL (83098). As estações de Iguatu-CE (82686), Picos-PI (82780) e Remanso-BA (82979) possuem três anos de dados. Além dessas, mas com falhas em menores períodos, estão: Alto Parnaíba, no Maranhão; São João do Piauí e Caracol, no Piauí; Guaramiranga, no Ceará; Apodi e Ceará Mirim, no Rio Grande do Norte; Monteiro e João Pessoa, na Paraíba; Surubim, em Pernambuco; Palmeira dos Índios, em Alagoas; Propriá, em Sergipe e Corinhanha, na Bahia.



TABELA 1 – Relação das estações de superfície do INMET com dados horários de direção e velocidade do vento

Localidade/Estado	Número sinótico	Sigla	Latitude (sul)	Longitude (oeste)	Altitude (metros)
<b>Turiaçu/MA</b>	<b>82198</b>	Tur	1°40'	45°22'	10
São Luiz	82280	SLu	2°32'	44°18'	30
Zé Doca	82376	ZDo	3°14'	45°37'	50
Chapadinha	82382	Cha	3°44'	43°21'	130
Bacabal	82460	Bac	4°14'	44°47'	40
Caxias	82476	Cax	4°48'	43°20'	50
Imperatriz	82564	Imp	5°32'	47°29'	96
Barra do Corda	82571	BdC	5°30'	45°15'	82
Colinas	82676	Col	6° 0'	44°14'	70
Carolina	82765	Car	7°18'	47°27'	169
<b>Alto Parnaíba/MA</b>	<b>82970</b>	APa	9° 7'	45°56'	220
<b>Parnaíba/PI</b>	<b>82288</b>	Par	2°55'	41°47'	15
Piripiri	82480	Pir	4°17'	41°47'	160
Teresina	82578	Ter	5° 4'	42°49'	72
São Felix do Piauí	82669	SFP	5°56'	42° 7'	180
Floriano	82678	Flo	6°46'	43° 1'	85
Uruçui	82771	Uru	7°14'	44°33'	124
Picos	82780	Pic	7° 5'	41°28'	195
São João do Piauí	82879	SJP	8°22'	42°15'	244
Paulistana	82882	Pau	8° 8'	41° 9'	350
Bom Jesus	82975	BJe	9° 4'	44°21'	220
<b>Caracol/PI</b>	<b>82976</b>	Car	9°17'	43°19'	556
<b>Acarau/CE</b>	<b>82294</b>	Aca	2°53'	40° 7'	7
Sobral	82392	Sob	3°42'	40°21'	75
Fortaleza	82397	For	3°42'	38°31'	26
Guaramiranga	82487	Gua	4°17'	39°09'	977
Jaguaruana	82493	Jag	4°50'	37°48'	15
Cratêus	82583	Cra	5°11'	40°40'	275
Quixeramobim	82586	Qui	5°12'	39°18'	187
Morada Nova	82588	MNo	5° 6'	38°23'	50
Iguatu	82686	Igu	6°22'	39°18'	213
<b>Barbalha/CE</b>	<b>82784</b>	Bar	7°19'	39°18'	405
<b>Apodi/RN</b>	<b>82590</b>	Apo	5°40'	37°48'	305
Macau	82594	Mac	5° 7'	36°38'	2
Ceará Mirim	82598	CMi	5°38'	35°26'	40
Natal	82596	Nat	5°48'	35°13'	8
<b>Cruzeta/RN</b>	<b>82696</b>	Cru	6°25'	36°47'	140
<b>São Gonçalo/PB</b>	<b>82698</b>	SGo	6°50'	38°19'	235
Patos	82791	Pat	7° 1'	37°17'	250
Monteiro	82792	Mon	7°52'	37° 7'	596
Campina Grande	82795	CGr	7°12'	35°51'	508
<b>João Pessoa/PB</b>	<b>82798</b>	JPe	7° 7'	34°53'	5

Continuação da tabela 1.

Ouricuri/PE	82756	Our	7°53'	40° 4'	432
Triunfo	82789	Tri	7°50'	38° 7'	1010
Surubim	82797	Sur	7°49'	35°45'	380
Arcoverde	82879	Arc	8°26'	37° 4'	663
Cabrobó	82886	Cab	8°30'	39°19'	350
Garanhuns	82893	Gar	8°51'	36°28'	866
Recife	82900	Rec	8° 3'	34°55'	5
Petrolina/PE	82983	Pet	9°23'	40°30'	376
Palmeira dos Índios/AL	82992	PdI	9°24'	36°39'	342
Maceió	82994	Mac	9°39'	35°43'	30
Coruripe/AL	83098	Cor	10° 7'	36°10'	10
Aracaju/SE	83096	Ara	10°54'	37° 3'	3
Propriá/SE	83097	Pro	10°12'	36°49'	17
Remanso/BA	82979	Rem	9°39'	42° 3'	378
Paulo Afonso	82986	PAf	9°21'	38°15'	250
Ibipetuba	83076	Ibi	11° 0'	44°31'	434
Monte Santo	83090	MSa	10°26'	39°20'	489
Barra	83179	Bar	11° 4'	43° 8'	410
Irecê	83182	Ire	11°18'	41°52'	722
Jacobina	83186	Jac	11°10'	40°31'	460
Serrinha	83190	Ser	11°39'	38°59'	377
Salvador	83229	Sal	13° 1'	38°31'	10
Barreiras	83236	Bas	12° 9'	44°59'	435
Lençóis	83242	Len	12°34'	41°23'	394
Itaberaba	83244	Ita	12°32'	40°18'	270
Alagoinhas	83249	Ala	12° 6'	38°24'	140
Correntina	83286	Cor	13°20'	44°38'	579
Bom Jesus da Lapa	83288	BJL	13°16'	43°25'	435
Jaguaquara	83295	Jag	13°32'	39°57'	774
Caetitê	83339	Cae	14° 4'	42°29'	826
Vitória da Conquista	83344	VdC	14°51'	40°50'	928
Ilhéus	83348	Ilh	14°48'	39° 2'	45
Corinhanha	83408	Coa	14°18'	43°46'	452
Guaratinga	83446	Gua	16°34'	39°33'	170
Caravelas/BA	83498	Car	17°42'	39°14'	4

### 3.2 Métodos

O vento à superfície observado em cada estação foi decomposto em suas componentes zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ) da seguinte forma:

$$u = - V \operatorname{sen}\theta \quad (3.1)$$

$$v = - V \operatorname{cos}\theta \quad (3.2)$$

onde  $V$  é o módulo da velocidade do vento e  $\theta$  é a direção do vento (em radianos). Foram calculadas médias diárias das componentes horárias do vento e, em seguida, médias mensais para os 5 anos de dados (1977-1981). As médias diárias das componentes horárias do vento também foram usadas na obtenção de médias decendiais para o período 1977-1981. As médias decendiais foram utilizadas na análise em componentes principais.

#### 3.2.1 Campos Médios Mensais do Vento à Superfície

Os campos do vetor vento médio à superfície foram obtidos através da rotina GrADS (Grid Analysis and Display System) (DOTY, 1992), fornecida pelo COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions). O método de BARNES (1964) foi usado na interpolação considerando uma grade (42x52) com espaçamento de 0,353x0,353 graus, nos limites de 34° a 49° de longitude oeste e 1° a 19° de latitude sul. Os campos médios foram elaborados com o objetivo de estudar o comportamento do vento médio mensal no Nordeste do Brasil.

Vale assinalar que o vetor vento médio à superfície obtido para algumas das estações foi comparado às respectivas estatísticas de intensidade média e frequência de direção que constam de BASTOS et al. (1987), o que evidenciou resultados semelhantes.

Feita a decomposição do vento à superfície, as médias diárias de cada componente foram calculadas da seguinte forma:

$$\bar{V}_{d,m,a} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h(t)} V_{h,d,m,a}}{h(t)} \quad (3.3)$$

onde

$\bar{V}_{d,m,a}$  = componente média diária no d-ésimo dia, do m-ésimo mês, do a-ésimo ano,

$V_{h,d,m,a}$  = componente na h-ésima hora, do d-ésimo dia, do m-ésimo mês, do a-ésimo ano

sendo:

$h = 1, 2, 3, \dots, h(t)$ , número de observações diárias;

$d = 1, 2, 3, \dots, d(f)$ , determinado dia do m-ésimo mês;

$m = 1, 2, 3, \dots, y = 12$ , determinado mês do a-ésimo ano;

$a = 1, 2, 3, \dots$ , determinado ano do período 1977-1981.

As componentes médias mensais para cada ano foram determinadas como:

$$\bar{V}_{m,a} = \frac{\sum_{d=1}^{d=d(f)} \bar{V}_{d,m,a}}{d(f)} \quad (3.4)$$

enquanto as médias mensais do período 1977-1981 foram calculadas por:

$$\bar{V}_m = \frac{\sum_{a=1}^{a=A} \bar{V}_{m,a}}{A} \quad (3.5)$$

onde  $A$  = número de anos para uma determinada estação.

Dois critérios foram adotados nos cálculos das médias mensais para o período em estudo. O primeiro critério foi o de que o dia deveria ter, no mínimo, 12 observações horárias para que a média diária fosse calculada. O segundo critério foi o de que o mês deveria ter, no mínimo, 15 médias diárias para que a média mensal fosse calculada.

### 3.2.2 Análise em Componentes Principais (ACP)

A análise em componentes principais (ACP) foi aplicada às médias decendiais das componentes do vento à superfície de duas maneiras: a cada componente, individualmente, e às duas componentes, em conjunto. O objetivo desse procedimento foi o

de determinar os padrões de variabilidade temporal de cada componente e do vento à superfície como um todo, o que exigiu a utilização das duas componentes em conjunto.

No cálculo das médias decendiais cada mês foi dividido em três decêndios com base na informação diária, de modo que nos meses de 31 dias o último decêndio tem um período de 11 dias, enquanto que no mês de fevereiro o último decêndio tem um período de 8 ou 9 dias, dependendo se o ano é bissexto.

As médias decendiais de cada componente foram calculadas definindo:

$$\bar{V}_{k,j,a} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h(t)} V_{h,k,j,a}}{h(t)} \quad (3.6)$$

onde

$\bar{V}_{k,j,a}$  = componente média diária no k-ésimo dia, do j-ésimo decêndio, do a-ésimo ano.

$V_{h,k,j,a}$  = componente na h-ésima hora, do k-ésimo dia, do j-ésimo decêndio, do a-ésimo ano, sendo:

$h = 1, 2, 3, \dots, h(t)$ , número de observações diárias;

$k = 1, 2, 3, \dots, k(n)$ , determinado dia do j-ésimo decêndio;

$j = 1, 2, 3, \dots, d = 36$ , determinado decêndio do a-ésimo ano;

$a = 1, 2, 3, \dots$ , determinado ano do período 1977-1981.

As componentes médias diárias para cada decêndio foram determinadas como:

$$\bar{V}_{j,a} = \frac{\sum_{k=1}^{k=k(n)} \bar{V}_{k,j,a}}{k(n)} \quad (3.7)$$

enquanto as médias decendiais, para cada estação, foram calculadas por:

$$\bar{V}_j = \frac{\sum_{a=1}^{a=A} \bar{V}_{j,a}}{A} \quad (3.8)$$

onde  $A$  = número de anos para uma determinada estação.

Dois critérios foram adotados nos cálculos das médias decendiais para o período em estudo. O primeiro critério foi igual àquele adotado no cálculo das médias mensais. O segundo critério foi o de que o decêndio deveria ter, no mínimo, 5 médias diárias para que a média decendial fosse calculada. Felizmente foi possível calcular a média para todos os decêndios. A aplicação da ACP às médias decendiais de cada componente individualmente exigiu a organização de um arquivo de trabalho disposto sob a forma de uma matriz  $X_{n \times p} = (x_i^j)$ , onde  $x_i^j$  representa a média decendial ( $\bar{V}_j$ ) da  $i$ -ésima estação, ou seja, cada linha da matriz contém os dados de uma estação. Como se trata de apenas uma variável, a primeira linha descreve a série temporal de observações para a primeira estação, de forma que trata-se de uma matriz  $n \times p$ , com  $n=77$  estações e  $p=36$  decêndios. Na análise conjunta das componentes zonal e meridional do vento à superfície foram considerados 77 estações e 72 decêndios (36 decêndios da componente zonal e 36 da componente meridional).

As técnicas de análise multivariada, a exemplo da ACP, são ferramentas poderosas na análise de um número grande de variáveis. Elas permitem reduzir a dimensão da matriz de observações sem perder as informações importantes dos dados originais, investigar o comportamento espaço-temporal das variáveis envolvidas no problema, assim como detectar grupos de variáveis que apresentem comportamento homogêneo. Esse método tem por objetivo a descrição dos dados contidos numa matriz indivíduos-caracteres numéricos:  $p$  caracteres são medidos em  $n$  indivíduos.

Trabalhando com dois caracteres  $x^1$  e  $x^2$  apenas, é possível representá-los facilmente num gráfico plano. Nesse caso, o simples exame visual do comportamento da nuvem de pontos permite avaliar o nível de ligação entre  $x^1$  e  $x^2$  e identificar os indivíduos ou grupos de indivíduos que apresentam características similares (BOUROCHE & SAPORTA, 1982). Mas, trabalhando com um número  $p$  de caracteres igual ou maior que quatro, esse tipo de análise passa a ser impossível.

Considerando um espaço vetorial  $\Gamma$  de dimensão  $P$ , o  $i$ -ésimo indivíduo é representado nesse espaço por um ponto cujas coordenadas são:

$$[X(i,1), X(i,2), \dots, X(i,p)]$$

Se  $p$  corresponde ao número total de indivíduos da população, estes podem ser representados sob a forma matricial:

$$X_{n \times p} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & x_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdot & \cdot & x_{np} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

onde as linhas correspondem aos indivíduos (estações  $i$ ) e as colunas representam as  $j$  informações observadas sobre os  $n$  indivíduos.

A partir de uma matriz de dados  $X$  ( $n$  indivíduos  $\times$   $p$  caracteres), é possível obter a matriz de variância e covariância  $S$  através de:

$$S = \frac{1}{n} X^t \cdot X \quad (3.10)$$

onde  $X^t$  é a transposta de  $X$  e  $n$  é o número de indivíduos ou estações.

Normalizando os elementos da matriz variância e covariância através da média e do desvio padrão, é obtida a matriz correlação  $R$ :

$$R = \frac{1}{n} Z^t \cdot Z \quad (3.11)$$

onde  $Z^t$  é a transposta de  $Z$ , matriz das variáveis reduzidas.

Sabendo que  $R$  é uma matriz simétrica e positiva de dimensão ( $p \times p$ ), ela é diagonalizável por uma matriz  $A$  de mudança de base, chamada de matriz de autovetores. A matriz diagonal  $D$ , cujos elementos diagonais são os autovalores de  $R$ , é dada por:

$$D = A^{-1} \cdot R \cdot A \quad (3.12)$$

onde  $A^{-1}$  é a inversa da matriz  $A$ . Como  $A$  é ortonormal  $A^{-1} = A^t$ . Assim:

$$D = A^t \cdot R \cdot A \quad (3.13)$$

As CP's  $U_1, U_2, \dots, U_p$  são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores de  $A^t$  e a matriz de observações  $X$ , isto é:

$$U = A^t \cdot X \quad (3.14)$$

Os valores  $X_m$  do  $n$ -ésimo local podem ser estimados pela seguinte expressão:

$$X_m = a_{m1}U_1 + a_{m2}U_2 + \dots + a_{mk}U_k + \dots + a_{mM}U_m \quad (3.15)$$

As variáveis  $U_1, U_2, U_i, U_m$  são as componentes principais que formam as séries temporais associadas aos autovetores de  $X$ , ordenados por ordem decrescente dos autovalores escolhidos de  $\alpha_k$  em  $A$ , em que:

$$U_k = \sum_{i=1}^n a_{ki}X_i \quad (3.16)$$

onde  $U_k$  é o somatório das componentes com maior contribuição para a variância total da série de dados.

### 3.2.3 Análise de Agrupamento (“Cluster Analysis”)

Esta técnica estatística de análise multivariada tem como objetivo principal classificar os indivíduos de uma população que são conhecidos por suas características, em grupos que sejam homogêneos intragrupos e heterogêneos intergrupos. As técnicas objetivas de agrupamento diminuem a subjetividade, pois quantificam a similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos. Dentre os vários métodos ou algoritmos de classificação de grupos estão aqueles que utilizam as técnicas hierárquicas. Nestes, a partição se dá a partir de um número de grupos não definido inicialmente, onde os grupos majoritários são divididos em subgrupos minoritários agrupando aqueles indivíduos que apresentam características semelhantes. A estrutura final dos grupos é apresentada sob forma de dendrograma (Fig. 3.2), que representa uma síntese objetiva dos resultados. A Figura 3.2

representa a seqüência de partições do conjunto a,b,c,d,e: P1= a/b/c/d/e, P2= ab/c/d/e, P3= ab/cd/e, P4= ab/cde e P5=abcde.

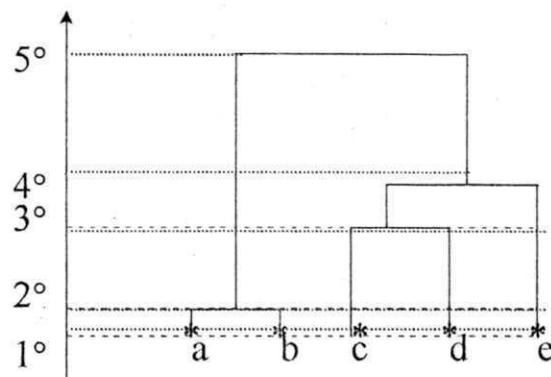


Fig. 3.2 - Representação da seqüência de partições do conjunto a,b,c,d,e (Fonte: BOUROCHE & SAPORTA, 1982).

A classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento (BOUROCHE & SAPORTA, 1982).

O agrupamento das 77 estações em grupos homogêneos foi realizado através dos métodos de agrupamento de Ward, centróide, ligação simples e ligação completa. Finalmente, foi escolhida a classificação hierárquica ascendente baseada no critério de inércia intragrupo proposto por WARD (1963), por apresentar melhor coerência com a distribuição espacial do vento à superfície no período 1977-1981, na região Nordeste do Brasil. A distância Euclidiana foi utilizada como função de agrupamento para medir a similaridade ou dissimilaridade entre as estações.

### 3.2.3.1 Função de Agrupamento

Na Análise de Agrupamento todos os processos de hierarquização são similares, iniciando pela determinação de uma Função de Agrupamento. Esta função é um artifício matemático utilizado para medir a distância ou similaridade entre dois indivíduos. A partir dessa distância, é possível aplicar critérios que classifiquem os indivíduos em grupos homogêneos no seio de uma população.

As medidas de similaridade ou dissimilaridade mais utilizadas são o coeficiente de correlação e a distância Euclidiana por apresentarem enorme facilidade de cálculo.

A distância Euclidiana, utilizada para medir a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos (estações)  $S_i$  e  $S_j$ , é dada por:

$$d(S_i, S_j) = \left[ \sum_{q=1}^n p_i (S_{iq} - S_{jq})^2 \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

onde  $p_i$  é o peso associado a cada estação e  $S_{iq}$  representa a média decendial da estação  $S_i$ .

### 3.2.3.2 Critério de Agrupamento

Na análise de agrupamento todos os processos de hierarquização são similares. Inicialmente, é obtida a função de agrupamento que é usada para medir a distância entre dois indivíduos quaisquer ou para quantificar o quanto eles são parecidos.

Nas técnicas hierárquicas e aglomerativas existem vários métodos ou critérios de agrupamento. Dentre eles podem ser destacados:

- Método de Ligação Simples
- Método de Ligação Completa
- Método do Centróide
- Método de Ward

#### a) Método de Ligação Simples

Este método usa como medida de semelhança entre dois grupos tanto a similaridade quanto a distância. Os grupos inicialmente constituídos de grupos individuais (cada indivíduo é um grupo) se fundem de acordo com a distância entre os indivíduos mais próximos. Os grupos com menor distância se fundem primeiro. Neste método a menor distância entre os indivíduos  $x$  e  $y$  é dada por:

$$d(x,y) = \min\{d(i,j) : i \in x \text{ e } j \in y\} \quad (3.18)$$

### b) Método de Ligação Completa

Este método é exatamente o oposto do método da ligação simples. Apesar de usar tanto a medida de distância quanto a de similaridade para definir a semelhança, aqui os grupos são formados fundindo os indivíduos mais distantes entre os grupos. Logo, a maior distância entre os indivíduos  $x$  e  $y$  é dada por:

$$d(x,y) = \max\{d(i,j) : i \in x \text{ e } j \in y\} \quad (3.19)$$

### c) Método do Centróide

Este processo é mais direto pois substitui cada fusão de objetos por um único ponto representado pelas coordenadas do seu centro. A distância entre os grupos é definida pela distância aos centros. A cada etapa são fundidos grupos que tenham a menor distância entre si.

### d) Método de Ward

O método de WARD (1963) utiliza como critério de agrupamento a inércia, que é a soma dos quadrados dos desvios (SQD) dos  $n$  pontos em relação à média do grupo ao qual pertencem (EVERITT, 1974). Esse método não é outro que o de variância mínima, pois a estratégia usada na agregação consiste em maximizar a variância intergrupo, a fim de assegurar uma boa homogeneidade de cada grupo, de maneira que a perda de informação por ocasião da fusão de dois grupos seja mínima. Logo, para os  $p$  indivíduos organizados em  $k$  grupos,

$$SDQ = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2], \quad (3.20)$$

onde  $x_i$  é o indivíduo pertencente ao  $i$ -ésimo grupo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Campos Médios Mensais do Vento à Superfície

No decorrer do primeiro trimestre (janeiro-fevereiro-março) (Fig. 4.1a-c) há, de maneira geral, uma desintensificação do vento do Ceará até Sergipe. Há desintensificação, também, nas faixas litorâneas do Maranhão, Piauí e Bahia, sendo que nesse último estado o vento, que é inicialmente fraco, se torna ainda mais fraco no transcorrer do trimestre. A desintensificação do vento é provocada pela migração da ZCIT para a sua posição mais ao sul, aproximadamente 2°S em março-abril, e pela desintensificação do ASAS. O vento também é fraco no restante da Bahia, com exceção do vale do sub-médio São Francisco e nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina. Também é evidente o vento muito fraco no restante do Maranhão e Piauí, durante todo o trimestre.

O vento é de nordeste nas faixas litorâneas do Maranhão e Piauí e de leste-nordeste no Ceará e oeste do Rio Grande do Norte e Paraíba. O vento é de leste em Alagoas e Sergipe e de leste-sudeste em Pernambuco e na metade oriental do Rio Grande do Norte e Paraíba. Na Bahia, a leste do meridiano de 42°W, o vento é de leste-sudeste ao norte de 12°S, exceto na região de Remanso-BA (82979) onde o vento é de nordeste, enquanto que ao sul dessa latitude ele é de nordeste em janeiro, passando a leste-nordeste no restante do trimestre. A oeste do meridiano de 42°W, o vento é de leste-nordeste nos três meses.

A mudança mais evidente no decorrer do segundo trimestre (abril-maio-junho) (Fig. 4.1d-f) é a intensificação do vento no vale do sub-médio São Francisco, nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina e no centro-leste do Piauí. É evidente também intensificação na faixa litorânea da Bahia e a mudança de direção que ocorre do mês de

março (leste-nordeste) (Fig. 4.1c) para o mês de abril (sudeste). Tal mudança no sinal da componente meridional do vento é provocada pela mudança de posição e intensificação do ASAS e pela penetração de sistemas frontais austrais. Segundo KOUSKY (1979), março-dezembro é o período em que os sistemas frontais atingem o sul da Bahia com maior frequência.

O vento é de nordeste nas faixas litorâneas do Maranhão e Piauí. No Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e Paraíba, o vento é de leste, passando a sudeste no final do trimestre (junho). O vento é de sudeste em Pernambuco, Alagoas, Sergipe, centro-leste do Piauí e na metade oriental do Rio Grande do Norte e Paraíba. Na Bahia, a leste do meridiano de  $42^{\circ}\text{W}$ , o vento é de sul-sudeste, exceto na região de Remanso-BA (82979), onde o vento é de nordeste em abril (Fig. 4.1d) passando a leste no decorrer do trimestre. A oeste de  $42^{\circ}\text{W}$ , o vento é de nordeste durante todo o trimestre, à exceção da parte central do vale do médio São Francisco, onde o vento é de sul em junho, e dos extremos norte e sul da Chapada Diamantina, onde o vento é de leste-sudeste.

Prossegue no terceiro trimestre (julho-agosto-setembro) (Fig. 4.1g-i) a intensificação do vento no vale do sub-médio São Francisco, nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina e no centro-leste do Piauí. Setembro é o mês em que o vento atinge máxima intensidade nessas áreas. Ocorre intensificação também nas faixas litorâneas do Maranhão, Piauí e noroeste do Ceará.

A direção do vento no terceiro trimestre sobre quase todo o Nordeste do Brasil é de leste-sudeste, à exceção do vale do médio São Francisco ao norte de  $12^{\circ}\text{S}$ , Maranhão, extremo norte do Piauí e noroeste do Ceará, onde o vento é de nordeste.

No último trimestre (outubro-novembro-dezembro) (Fig. 4.1j-l) há desintensificação do vento nas faixas litorâneas do Maranhão, Piauí e noroeste do Ceará. Ocorre também desintensificação no oeste de Pernambuco e no centro-leste do Piauí. No vale do sub-médio São Francisco e nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina o vento também desintensifica no transcorrer do trimestre. O vento é muito fraco no restante do Maranhão, Piauí e oeste da Bahia no mês de dezembro (Fig. 4.1l). Há intensificação do vento em Alagoas e Sergipe do mês de setembro (Fig. 4.1i) para o mês de outubro (Fig. 4.1j). Novembro é o mês em que o vento atinge máxima intensidade nesses estados.

O vento permanece de nordeste nas faixas litorâneas do Maranhão e Piauí. Ele é de leste-nordeste no Ceará e no oeste do Rio Grande do Norte e Paraíba. Nas faixas litorâneas do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco o vento é de sudeste. O vento é

de leste em Alagoas e Sergipe no mês de outubro, passando a nordeste no restante do trimestre. É evidente a mudança de direção que ocorre do mês de outubro (sudeste) para o mês de dezembro (leste), no centro-leste do Piauí e oeste de Pernambuco. Na Bahia, a leste do meridiano de  $42^{\circ}\text{W}$ , o vento é de leste-sudeste ao norte de  $12^{\circ}\text{S}$ , enquanto que ao sul dessa latitude ele é de leste em outubro, passando a nordeste no restante do trimestre. A oeste do meridiano de  $42^{\circ}\text{W}$ , o vento é de nordeste nos três meses, com exceção da parte sul da Chapada Diamantina, onde o vento é de sudeste em outubro e novembro, passando a leste em dezembro.

O comportamento médio mensal do vento à superfície observado na costa do Nordeste, no decorrer do ano, é semelhante aos resultados obtidos por SERVAIN & LUKAS (1990) na área oceânica próxima à região, exceto no Maranhão e Piauí, no período maio-dezembro. Esse fato sugere que os resultados apresentados podem ser representativos de uma média de longo prazo, já que as médias de Servain e Lukas foram obtidas com base em dados do período 1964-1989.

A maior intensidade do vento, durante todo o ano, ocorre na faixa litorânea do Piauí e noroeste do Ceará no período setembro-novembro. É evidente a influência que a fisiografia complexa do Nordeste do Brasil exerce sobre a intensidade e direção do vento, particularmente no centro-leste do Piauí, no vale do sub-médio São Francisco e nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina. A intensificação do vento nessas áreas, no período maio-setembro, sugere o acoplamento entre a circulação do ASAS e circulações locais geradas pelo contraste térmico existente entre as áreas altas e baixas dos vales e entre as encostas e os vales (STULL, 1997; SOUSA et al., 2000). Nesse contexto é importante assinalar que RAMOS (1975) formulou a hipótese da interação entre o escoamento de grande escala (alísios) e circulação locais (ventos anabáticos e catabáticos) para explicar o máximo no número de episódios de chuva no período da manhã em Petrolina (PE) e no período da tarde nas áreas elevadas situadas a oeste da cidade.

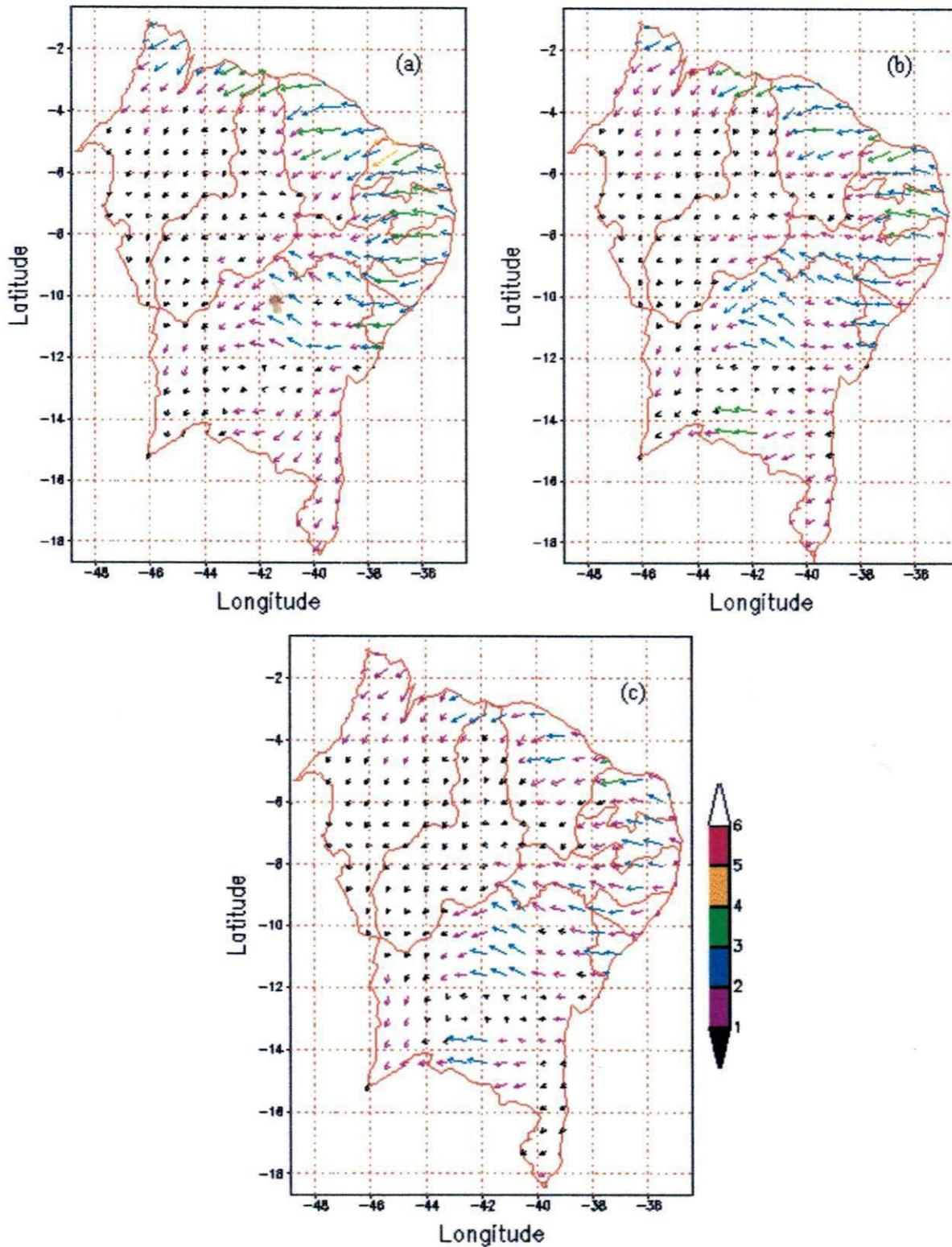


Fig. 4.1 - Vetor vento médio à superfície no Nordeste do Brasil (período 1977-1981) para o mês de: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro. A escala utilizada (m/s) é vista à direita de (c), (f), (i) e (l) (Fonte dos dados: INMET).

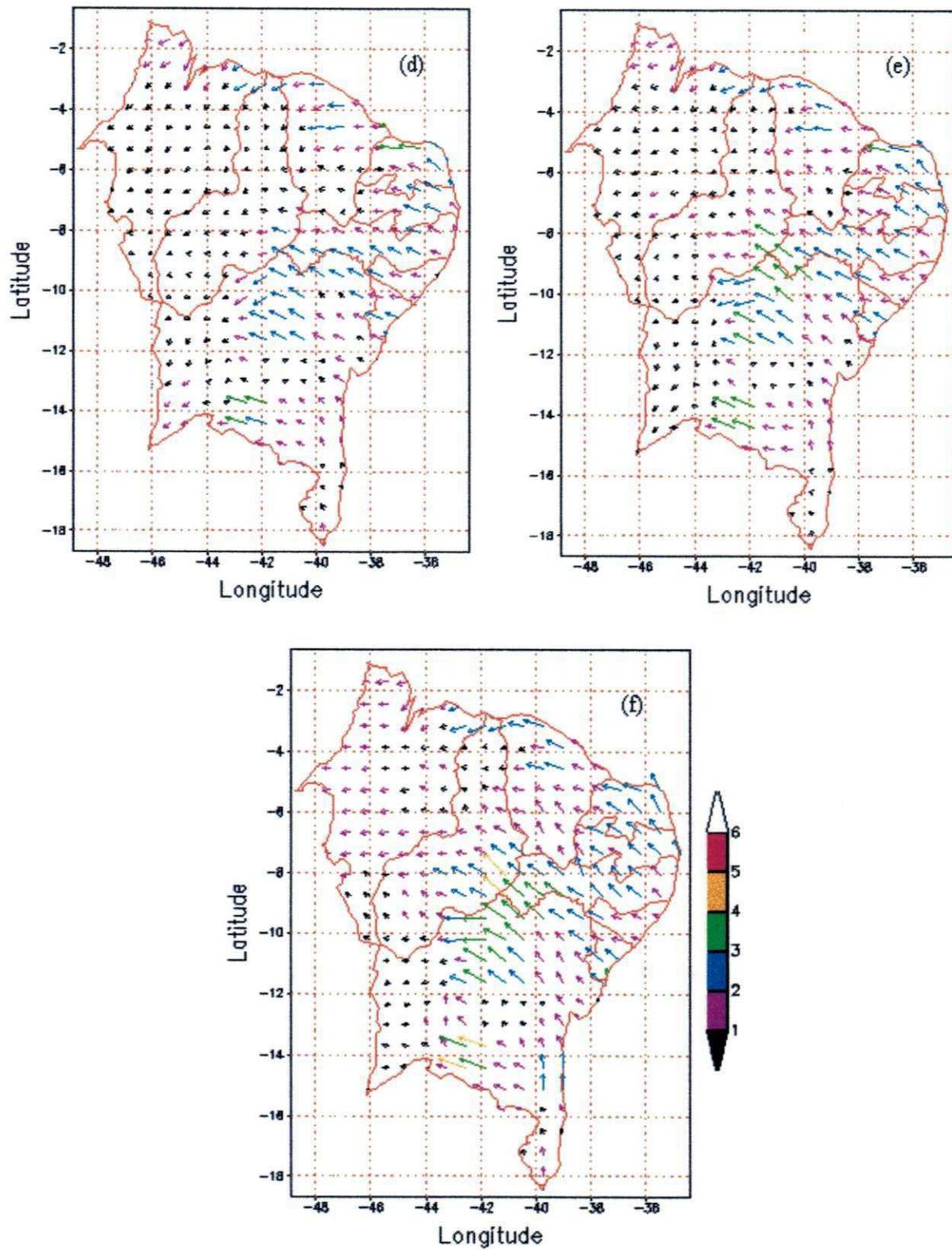


Fig. 4.1 - continuação

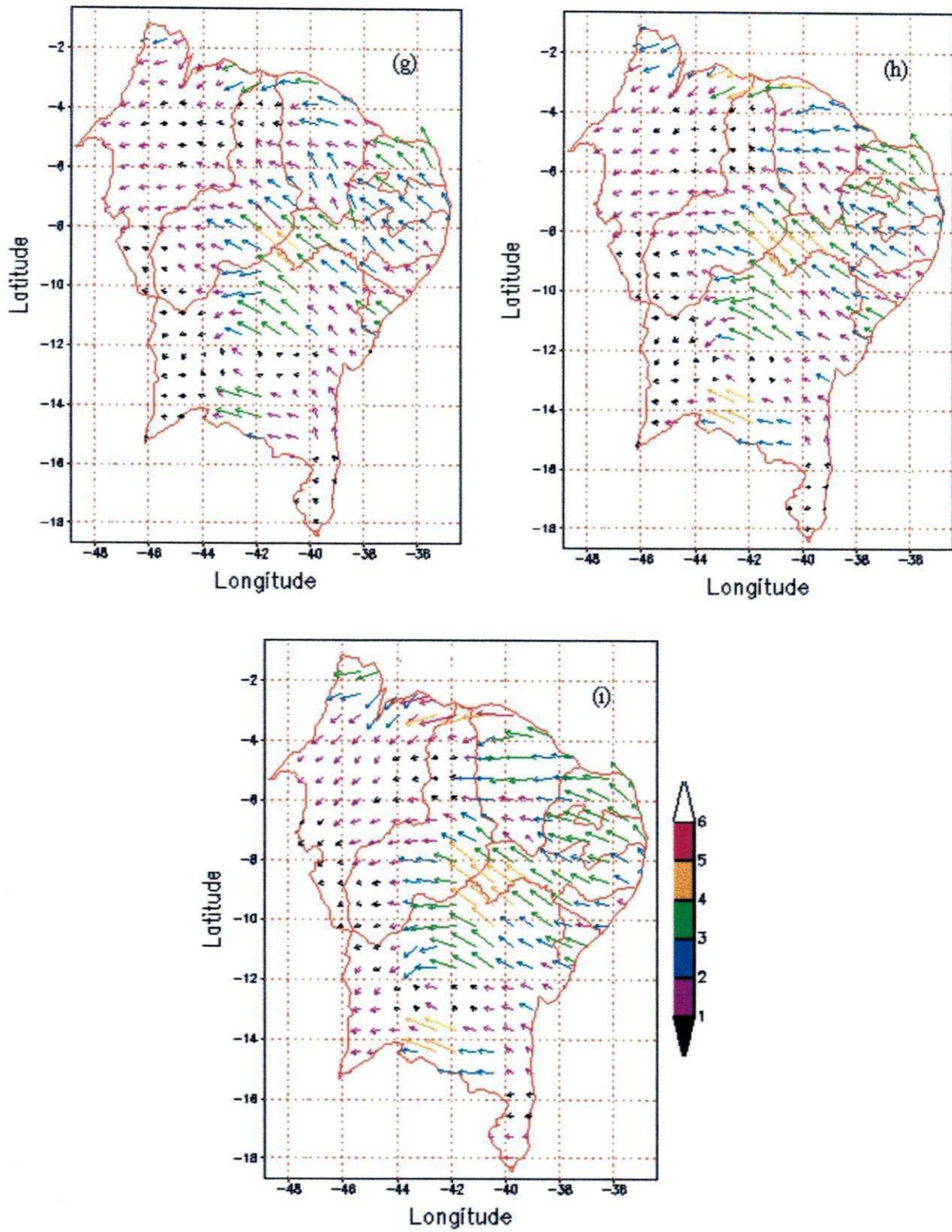


Fig. 4.1 - continuação

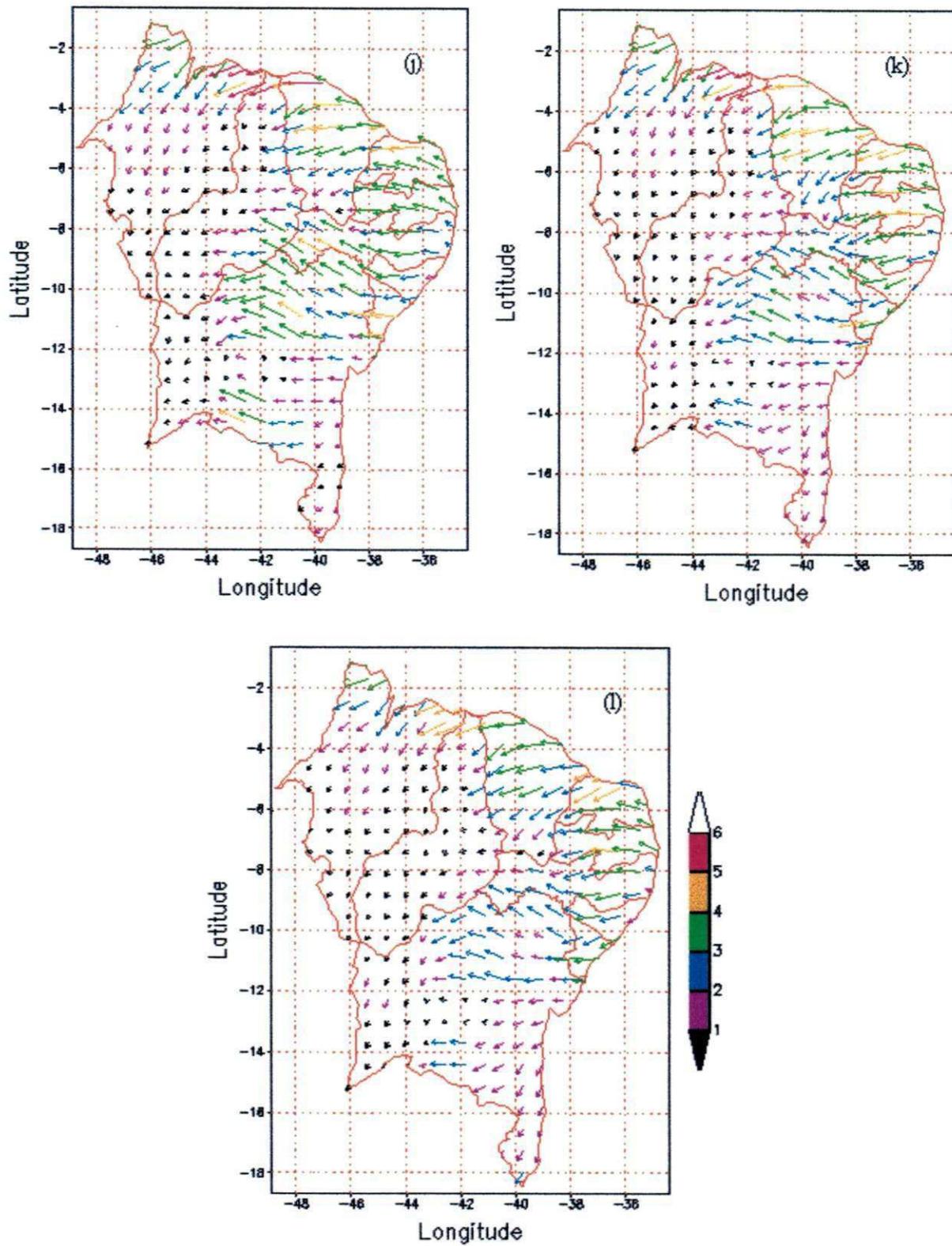


Fig. 4.1 - conclusão

## 4.2 Padrões de Variabilidade do Vento à Superfície

A partir dos resultados da análise fatorial pelo método das componentes principais (CP's), foram retidos os fatores comuns temporais mais significativos para as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento à superfície. Os padrões temporais foram calculados a partir de dados médios decendiais das componentes u e v em 77 localidades para um período de 5 anos (1977-1981). Os resultados obtidos permitiram determinar os padrões (modos) de variabilidade do vento à superfície no Nordeste do Brasil.

### 4.2.1 Análise Temporal da Componente Zonal

A Figura 4.2 ilustra as correlações temporais decendiais das três primeiras CP's da componente zonal do vento à superfície (CZV) que explicam 96,7% da variância total das médias decendiais. O primeiro fator comum temporal, que explica 82,5% da variância, tem correlações elevadas, superiores a 0,8, quase o ano inteiro. A única exceção é o período entre o segundo decêndio de junho e o primeiro decêndio de julho, quando as correlações são pouco inferiores a 0,8. O padrão espacial da primeira CP associado a esse fator (Fig. 4.3a) indica uma quase homogeneidade da CZV no Nordeste, com exceção de cinco pequenos núcleos, com contribuições inferiores a -1,5, que abrangem as seguintes áreas: (a) parte do nordeste do Maranhão, faixa litorânea do Piauí e do noroeste do Ceará e o centro-norte do Ceará, (b) centro-norte e quase todo o litoral norte do Rio Grande do Norte, (c) parte do leste da Paraíba, (d) sul de Sergipe e (e) sul da Chapada Diamantina. Há um núcleo de contribuição positiva ( $>1,5$ ) no vale do médio São Francisco que pode estar associado com ventos de sul no mês de junho (Fig. 4.1f). As áreas com contribuições negativas estão relacionadas com ventos moderados de nordeste (Maranhão e Piauí) e sudeste no mesmo mês. Esse padrão espacial sugere a resposta local a mecanismos atmosféricos de grande escala tais como o ASAS e a penetração de sistemas frontais na área da Bahia e de distúrbios de leste no norte do Nordeste do Brasil.

O segundo fator comum temporal (Fig. 4.2), explicando 11,3% da variância, define o ciclo anual da CZV com correlações positivas superiores a 0,4 do segundo decêndio de junho ao primeiro decêndio de julho e do terceiro decêndio de julho ao primeiro decêndio de agosto e correlações negativas da ordem de -0,4 do terceiro decêndio de novembro ao primeiro decêndio de fevereiro. O padrão espacial associado a este fator

comum (Fig. 4.3b) apresenta núcleos bem definidos com contribuições negativas ( $<-1,5$ ) em parte do vale do sub-médio São Francisco, nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina e centro-leste do Piauí. Há também núcleos de contribuições positivas no leste

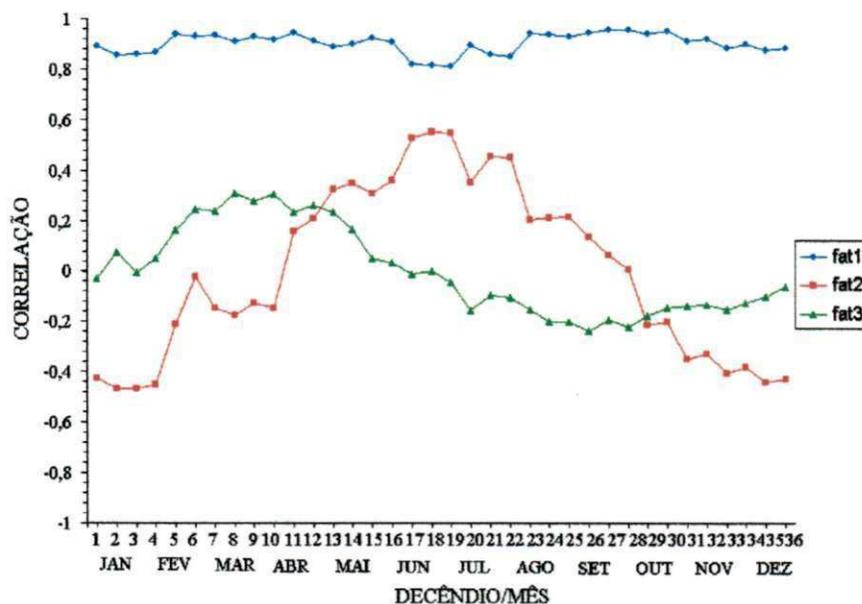


Fig. 4.2 - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) da componente zonal do vento à superfície que explicam 96,7% da variância total dos dados (82,5%; 11,3%; 2,9%) no Nordeste do Brasil.

dos estados da Paraíba e Pernambuco e no centro-norte do estado de Alagoas. Esta componente indica que existe um contraste entre as áreas dominadas por núcleos positivos e negativos, no inverno e verão. As áreas que apresentam contribuições  $<-2,5$  ( $>1,5$ ) estão associadas a uma forte (fraca) CZV nos meses de junho e julho (Fig. 4.1f,g) e uma fraca (forte) CZV nos meses de janeiro e dezembro (Fig. 4.1a,l). Este padrão espacial sugere a resposta em escala regional a mecanismos atmosféricos de grande e mesoescala. No período de verão, época em que o ASAS está menos intenso e a ZCIT está migrando para sul, esse padrão espacial está associado à atuação dos vórtices ciclônicos da alta troposfera, da ZCAS e de sistemas convectivos de mesoescala a eles associados. No período de inverno, o ASAS está intenso e interage com circulações locais nas áreas de contribuições negativas e com os distúrbios de leste e as brisas marítima e terrestre na faixa litorânea leste do Nordeste do Brasil.

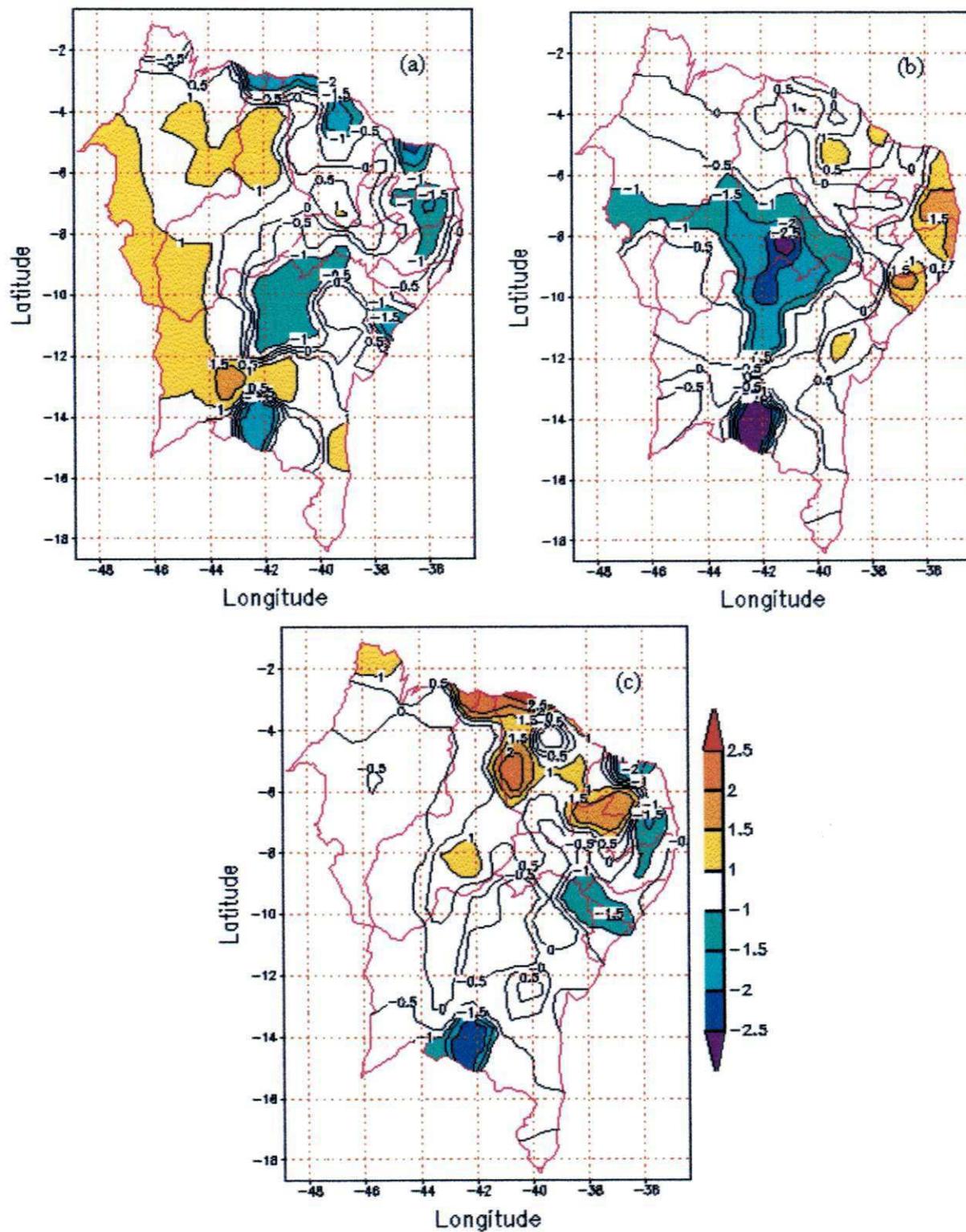


Fig. 4.3 - Padrões de variabilidade espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fatores comuns temporais, da componente zonal do vento à superfície no Nordeste do Brasil.

A Figura 4.2 ilustra ainda as correlações temporais da terceira CP. O terceiro fator comum, que explica 2,9% da variância, tem suas maiores correlações (valores próximos de 0,3) do segundo decêndio de março ao primeiro decêndio de abril. O padrão espacial deste fator (Fig. 4.3c) mostra contribuições positivas ( $>1,5$ ) no nordeste do Maranhão, na faixa litorânea do Piauí, no centro-oeste e noroeste do Ceará, no oeste da Paraíba e centro-sul do Rio Grande do Norte. Escores negativos elevados ( $<1,5$ ) são encontrados no centro-norte do Rio Grande do Norte, em parte do leste da Paraíba e no extremo sul da Chapada Diamantina. Este padrão espacial sugere a resposta local a mecanismos atmosféricos de grande escala tais como a ZCIT e o ASAS na parte norte do Nordeste e o ASAS e sistemas frontais no sul da Bahia.

#### 4.2.2 Análise Temporal da Componente Meridional

A Figura 4.4 apresenta as correlações temporais decendiais das duas primeiras CP's da componente meridional do vento à superfície (CMV) que explicam 91% da variância total das médias decendiais. O primeiro fator comum temporal, que explica 79,9% da variância, tem correlações superiores a 0,8 em quase todos os decêndios. As exceções são o segundo e terceiro decêndios de janeiro, o terceiro decêndio de abril e o terceiro decêndio de novembro, quando as correlações tem valores muito próximos de 0,8. O padrão espacial deste fator (Fig. 4.5a) mostra contribuições positivas ( $>1,5$ ) no leste do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Este fator também apresenta contribuições positivas elevadas no vale do sub-médio São Francisco e no extremo norte da Chapada Diamantina. Há contribuições negativas ( $<-1,5$ ) nos extremos norte do Piauí, Maranhão e noroeste do Ceará. As contribuições positivas estão associadas a ventos moderados de sudeste nos meses de janeiro, abril e novembro (Fig. 4.1a,d,k) enquanto que as contribuições negativas estão associadas a ventos de nordeste nos mesmos meses. Esse padrão espacial sugere a resposta em escala regional a mecanismos atmosféricos de grande e mesoescala tais como os vórtices ciclônicos da alta troposfera, a ZCAS, a ZCIT e sistemas convectivos de mesoescala a eles associados e o ASAS.

O segundo fator comum temporal, explicando 11,1% da variância total (Fig. 4.4), define o ciclo anual da CMV com correlações baixas, embora significativas, iguais ou superiores a 0,4 do primeiro decêndio de novembro ao primeiro decêndio de fevereiro e correlações muito próximas ou inferiores a -0,4 no terceiro decêndio de abril, do primeiro

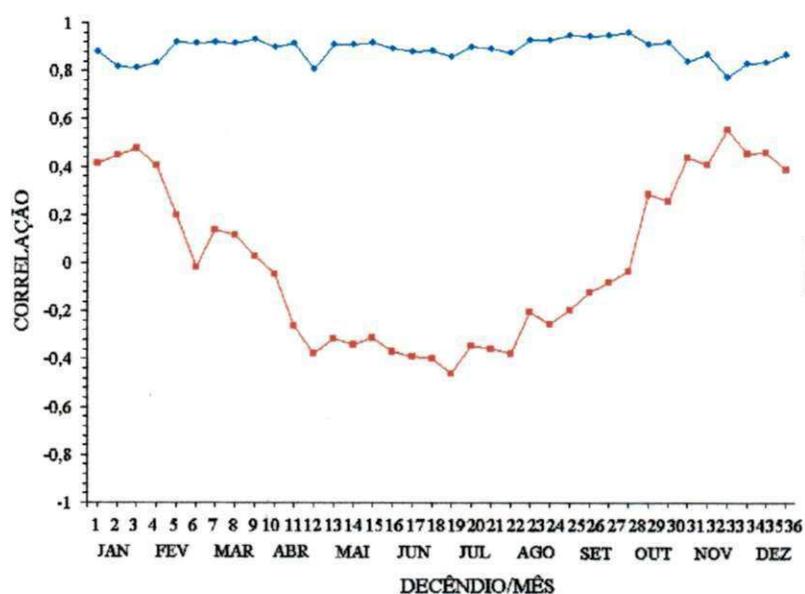


Fig. 4.4- Dois primeiros fatores comuns temporais (correlações) da componente meridional do vento à superfície que explicam 91% da variância total dos dados (79,9%; 11,1%) no Nordeste do Brasil.

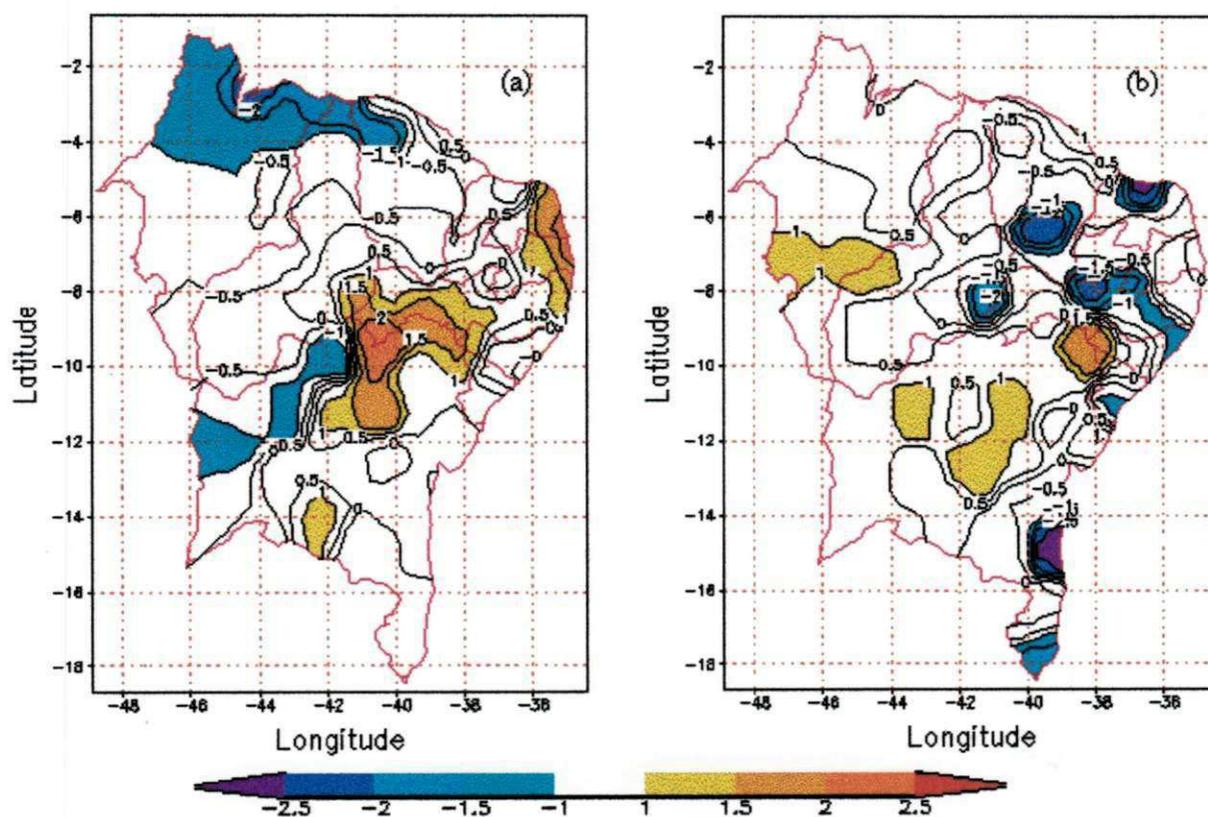


Fig. 4.5 - Padrões de variabilidade espacial do (a) primeiro fator comum temporal e (b) segundo fator comum temporal, da componente meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil.

decêndio de junho ao primeiro decêndio de julho e no primeiro decêndio de agosto. O padrão espacial associado a este fator comum (Fig. 4.5b) apresenta contribuições (escores) máximas superiores a 1,5 na parte superior do vale do baixo São Francisco. Escores negativos elevados ( $<-1,5$ ) são encontrados no norte do Rio Grande do Norte, centro-sul do Ceará, área limítrofe do Ceará, Paraíba e Pernambuco (Chapada do Araripe/Serra dos Cariris Velhos) e área limítrofe do Piauí e Pernambuco (Serra Dois Irmãos). As áreas com contribuições negativas ( $<-1,5$ ) estão relacionadas com ventos de leste-nordeste nos meses de janeiro, novembro e dezembro (Fig. 4.1a,k,l), e a positiva ( $>1,5$ ) com ventos de sudeste nos mesmos meses. Já em abril, junho, julho e agosto (Fig. 4.1d,f-h) os ventos são de leste-sudeste nessas áreas de contribuições elevadas ( $>1,5$  ou  $<-1,5$ ). Este segundo fator evidencia áreas específicas nas quais a interação entre a circulação atmosférica e a fisiografia local deve ser um fator determinante para a variabilidade da CMV. Há, ainda, dois núcleos com contribuições negativas no sul da Bahia (Fig. 4.5b) que podem ser associados à passagem de sistemas frontais austrais no inverno, uma hipótese que é fortalecida pela CMV positiva no período abril-agosto (Fig. 4.1d-h). No verão, esses núcleos podem indicar regiões preferenciais para o estacionamento dos sistemas frontais austrais e possível formação da ZCAS, enquanto os demais núcleos sugerem a resposta local, em áreas de fisiografia complexa, a mecanismos atmosféricos de grande e mesoescala.

#### 4.2.3 Análise Temporal Conjunta das Componentes Zonal e Meridional

A análise fatorial pelo método das componentes principais foi aplicada às duas componentes do vento à superfície, em conjunto, já que somente essa análise permite a visão integral da variabilidade do vento à superfície. Os resultados foram interpretados associando diretamente os padrões de variabilidade conjunta das componentes com os campos médios mensais do vento à superfície. Na análise foram consideradas 72 variáveis (36 decêndios da componente zonal e 36 decêndios da componente meridional) dos 77 indivíduos (estações).

A Figura 4.6 ilustra as correlações temporais decendiais das três primeiras CP's do vento à superfície que explicam 88,4% da variância total das médias decendiais. O primeiro fator comum temporal, que explica 55,1% da variância, tem correlações positivas superiores a 0,6 para a CZV e correlações negativas iguais ou inferiores a -0,6 para a

CMV, durante todo o ano. Esse resultado indica que as duas componentes têm comportamentos opostos a ano inteiro. A CZV tem comportamento bastante regular em alguns meses enquanto que a CMV apresenta variabilidade. As menores correlações para a CZV ocorrem no terceiro decêndio de janeiro, do segundo decêndio de junho ao primeiro de julho e no primeiro decêndio de agosto. As maiores correlações para essa componente (valores iguais ou superiores a 0,8) ocorrem do segundo decêndio de fevereiro ao segundo decêndio de maio. As menores correlações para a CMV (valores em torno de  $-0,6$ ) ocorrem do primeiro decêndio de novembro ao primeiro decêndio de fevereiro. As maiores correlações para essa componente (valores em torno de  $-0,8$ ) ocorrem no terceiro decêndio de março, no segundo e terceiro decêndios de maio e do segundo decêndio de agosto ao terceiro decêndio de setembro.

O padrão espacial da primeira CP associada a esse fator comum (Fig. 4.7a) apresenta contribuições negativas ( $<-1,5$ ) em parte do vale do sub-médio São Francisco, nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina, no sudeste do Rio Grande do Norte e no leste da Paraíba. O núcleo negativo que abrange parte do vale do sub-médio São Francisco e extremo norte da Chapada Diamantina guarda grande semelhança com o que é visto no padrão espacial do primeiro fator comum temporal da CMV (Fig. 4.5a). O núcleo negativo situado no extremo sul da Chapada Diamantina é análogo àquele visto no padrão espacial do primeiro, segundo e terceiro fatores comuns temporais da CZV (Fig. 4.3a,b,c). Escores positivos ( $>1,5$ ) são encontrados na parte central do litoral do Maranhão e no centro-oeste da Bahia. As áreas com contribuições negativas estão relacionadas com ventos de leste-sudeste (fracos a moderados) nos meses de janeiro, novembro e dezembro (Fig. 4.1a,k,l). Nesse período as duas componentes apresentam pouca variabilidade. No período de fevereiro a maio (Fig. 4.1b-e) essas áreas estão relacionadas com ventos de leste-sudeste (fracos a moderados). Nesses meses a CZV tem comportamento regular, já a CMV apresenta variabilidade. No período de junho a setembro (Fig. 4.1f-i) as áreas com contribuições negativas estão relacionadas com ventos de sudeste (moderados a fortes) provocados pelo acoplamento entre a circulação de grande escala e circulações locais.

O segundo fator comum temporal (Fig. 4.6), que explica 26,6% da variância, tem correlações positivas nas duas componentes, o ano inteiro. As menores correlações para a CZV ocorrem do terceiro decêndio de abril ao segundo decêndio de maio. As maiores correlações para essa componente ocorrem do primeiro decêndio de setembro ao primeiro decêndio de outubro. Na CMV as menores correlações ocorrem no

segundo e terceiro decêndios de maio e as maiores correlações do segundo decêndio de dezembro ao primeiro decêndio de janeiro e no primeiro decêndio de fevereiro.

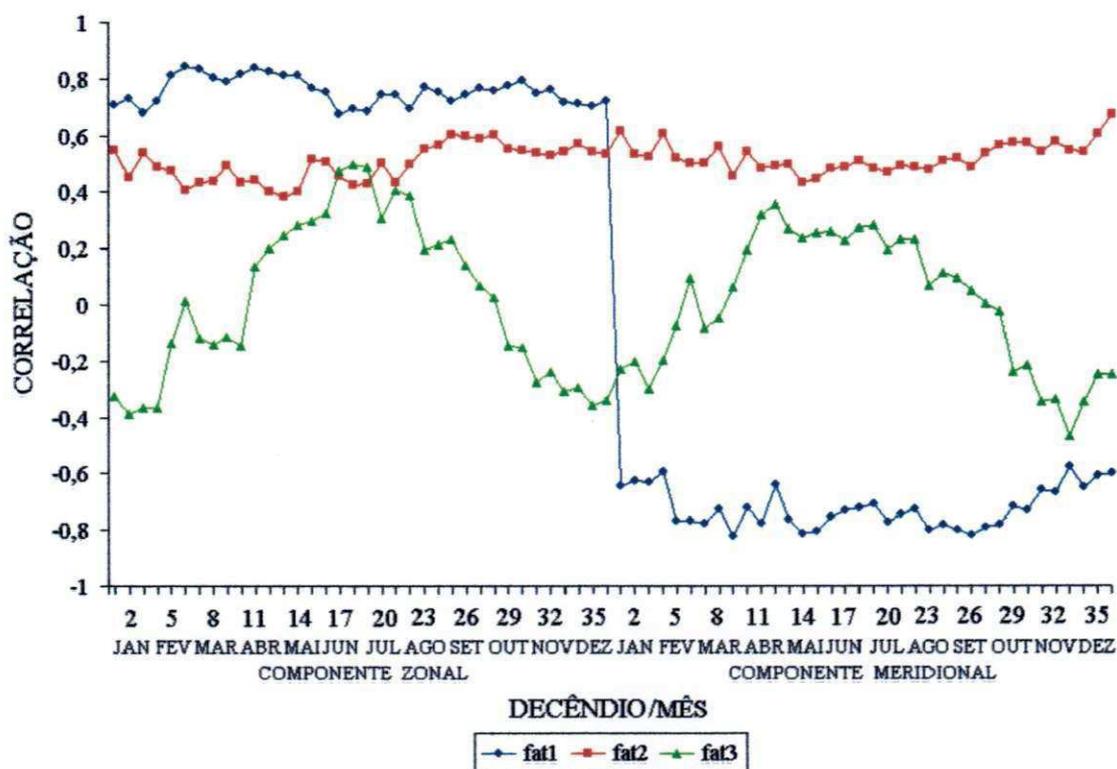


Fig. 4.6 - Três primeiros fatores comuns temporais (correlações) das componentes zonal e meridional do vento à superfície que explicam 88,4% da variância total das médias decendiais (55,1%; 26,6%; 6,7%) no Nordeste do Brasil.

O padrão espacial associado a este fator comum (Fig. 4.7b) apresenta dois núcleos com contribuições positivas ( $>1,5$ ): um no vale do médio São Francisco e outro nas faixas litorâneas da Paraíba e Pernambuco. O primeiro também é visto no padrão espacial do primeiro fator comum temporal da CZV (Fig. 4.3a). Escores negativos elevados ( $<-1,5$ ) são encontrados no noroeste e nordeste do Maranhão, na faixa litorânea do Piauí, no centro-norte e noroeste do Ceará, no centro-norte do Rio Grande do Norte e no vale do sub-médio São Francisco, na região de Remanso-BA (82979). O núcleo de contribuição negativa situado no centro-norte do Rio Grande do Norte é semelhante àquele visto no padrão espacial do primeiro e terceiro fatores comuns temporais da CZV (Fig. 4.3a,c) e no segundo fator comum temporal da CMV (Fig. 4.5b). O núcleo de contribuições positivas situado no litoral leste (no vale do médio São Francisco) está associado a ventos moderados de sudeste (ventos fracos com intensidade  $\leq 1$  m/s) nos

meses de maio, setembro e dezembro (Fig. 4.1e,i,l). O núcleo de contribuições negativas situado na região de Remanso está associado a ventos moderados nos três meses, sendo de leste-nordeste em maio, de leste em setembro e de nordeste em dezembro. Os núcleos negativos situados no extremo norte do Nordeste do Brasil estão associados a ventos de leste-nordeste nos três meses, sendo de fracos a moderados em maio e de fortes a moderados em setembro e dezembro. As áreas com contribuições elevadas ( $>1,5$  ou  $<-1,5$ ) situadas na Bahia estão associadas à resposta local aos sistemas de grande escala. As demais áreas com contribuições elevadas podem estar relacionadas com a interação entre a circulação de grande escala e os sistemas de brisa marítima e terrestre.

O terceiro fator comum temporal (Fig. 4.6), explicando 6,7% da variância total dos dados, define o ciclo anual do vento. A CZV apresenta correlações positivas iguais ou superiores a 0,4 do segundo decêndio de junho ao primeiro decêndio de julho e no terceiro decêndio de julho. A CMV também apresenta ciclo anual bem definido, mas seus valores de correlação ficam entre 0,4 e -0,4, exceto no terceiro decêndio de novembro, quando alcança valor próximo de -0,5.

O padrão espacial associado a este fator comum (Fig. 4.7c) apresenta contribuições (escores) máximas superiores a 1,5 no sudeste da Bahia e no estado de Pernambuco, na região fronteira com o Ceará e a Paraíba. Esses núcleos também são vistos no padrão espacial do segundo fator comum temporal da CMV (Fig.4.5b). Parte do vale do sub-médio São Francisco e os extremos norte e sul da Chapada Diamantina apresentam áreas com contribuições negativas ( $<-1,5$ ). O núcleo no extremo sul da Chapada Diamantina também é visto no padrão espacial dos fatores comuns temporais da CZV (Fig. 4.3a,b,c) enquanto que o núcleo no vale do sub-médio São Francisco e extremo norte da Chapada Diamantina guarda alguma semelhança com aquele visto no padrão espacial do segundo fator comum temporal da CZV (Fig. 4.3c) e primeiro fator comum temporal da CMV (Fig. 4.5a). O núcleo negativo situado no norte (sul) da Bahia está associado a ventos moderados de nordeste-leste-sudeste (leste-sudeste) no mês de julho (Fig. 4.1g). Os núcleos positivos situados no sudeste da Bahia (centro-norte de Pernambuco) estão associados a ventos fracos (moderados) de sul no mesmo mês. Esse padrão espacial representa a resposta local aos sistemas frontais que penetram no Nordeste do Brasil vindos de sul.

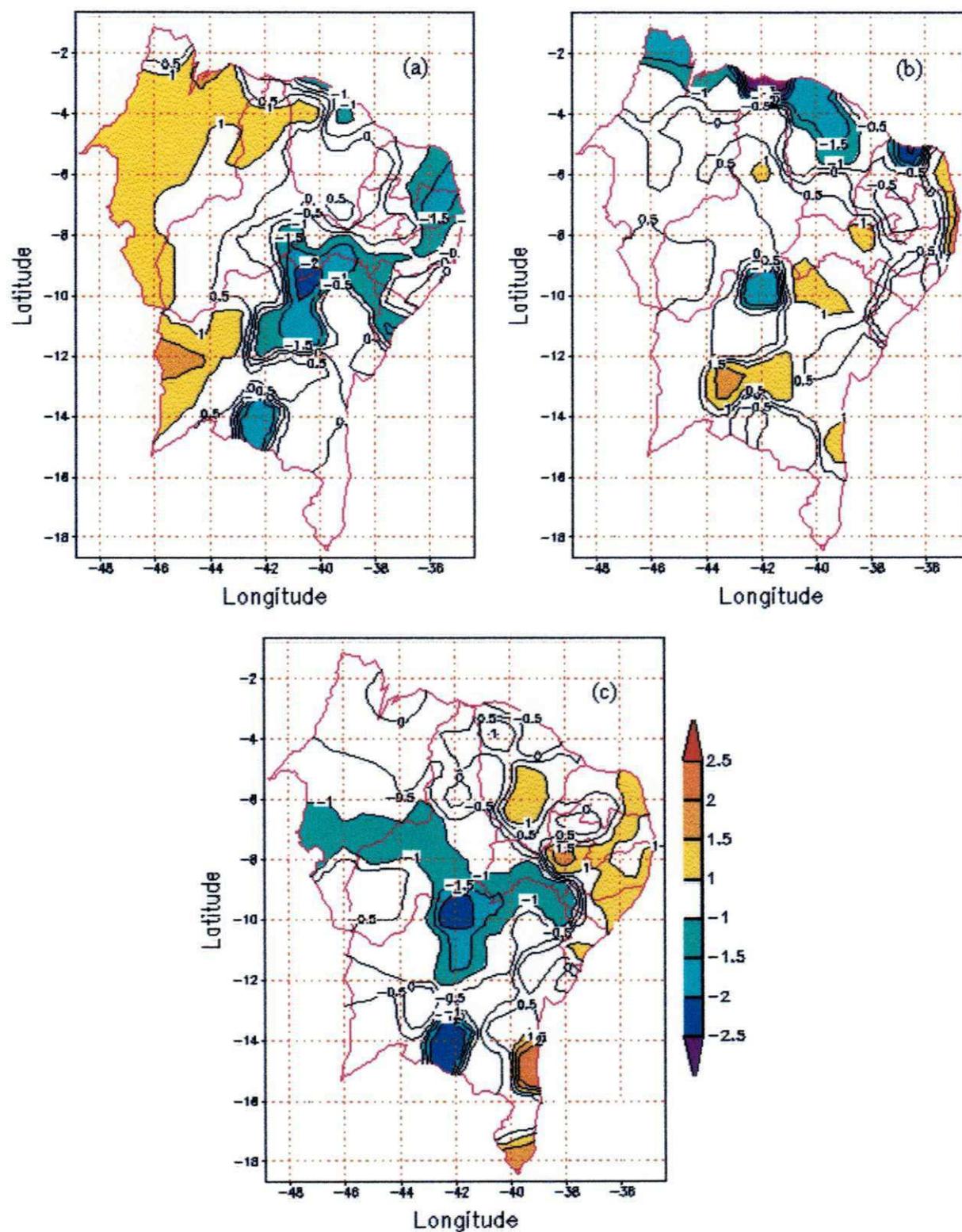


Fig. 4.7 - Padrões de variabilidade espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fatores comuns temporais, das componentes zonal e meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil.

### 4.3 Regionalização do Vento à Superfície

A seguir são apresentadas as regiões homogêneas das componentes do vento à superfície obtidas a partir dos principais fatores comuns temporais, para cada componente individualmente e para as duas componentes, em conjunto. Dentre os vários métodos de agrupamento utilizados foi escolhida a classificação hierárquica ascendente baseada no critério de inércia intraclasse proposto por WARD (1963), por apresentar melhor coerência espacial do vento à superfície no período 1977-1981, no Nordeste do Brasil. A distância Euclidiana foi utilizada como função de agrupamento para medir a similaridade ou dissimilaridade entre as estações.

#### 4.3.1 Regionalização da Componente Zonal

O resultado dos grupos homogêneos está representado sob a forma de dendrograma ou árvore de classificação. O número de grupos foi obtido através de cortes transversais no dendrograma segundo o critério matemático de inércia e conhecimento prévio dos campos médios mensais do vento à superfície no período de estudo.

O critério de corte adotado foi aquele em que o número  $n$  de grupos formados resulta no maior salto de inércia em relação ao precedente  $n+1$  (Fig. 4.8). O agrupamento das estações foi feito a partir dos três fatores comuns temporais mais significativos da CZV, que explicam 96,7% da variância total das médias decendiais. Levando em consideração estes procedimentos de análise, foi efetuado um corte no dendrograma (Fig. 4.9) que permitiu dividir o Nordeste em cinco (05) grupos homogêneos da CZV (Fig. 4.10). As características dos grupos são descritas a seguir.

O Grupo I (Fig. 4.10) está constituído pelas estações de Parnaíba, Acarau, Sobral, Fortaleza, Jaguaruana, Cratéus, Quixeramobim, Morada Nova, Apodi, Cruzeta, São Gonçalo e Patos. Este grupo também inclui a estação de Turiaçu-MA (82198). A Figura 4.11a apresenta a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CZV e seu desvio padrão. A CZV é mais intensa (fraca) na primavera (outono), com máximo no mês de outubro (3,5 m/s) e mínimo no mês de abril (1,1 m/s). A CZV mais fraca no outono está associada à atuação da ZCIT enquanto sua maior intensidade na primavera está relacionada com a posição e intensificação do ASAS. Não há mudança de sinal na CZV em nenhuma estação desse grupo no decorrer do ano.

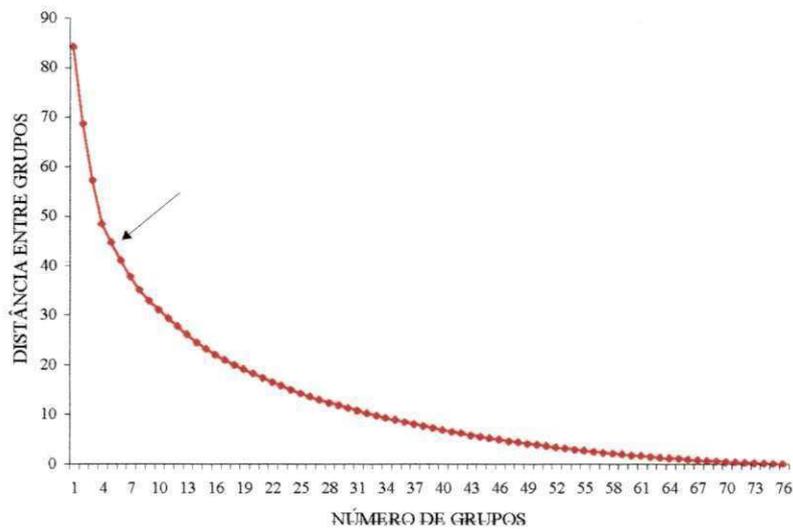


Fig. 4.8 - Curva de inércia referente à componente zonal do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A seta indica o número de grupos retidos.

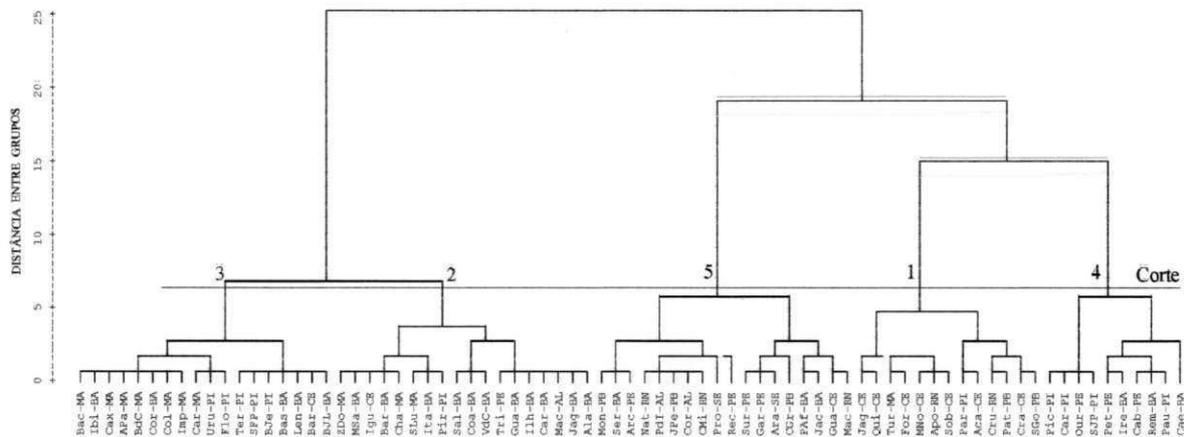


Fig. 4.9 - Dendrograma resultante do agrupamento da componente zonal do vento à superfície das 77 estações, utilizando o método de Ward.

O Grupo II (Fig. 4.10) compreende as estações de São Luiz, Zé Doca, Chapadinha, Piripiri, Salvador, Itaberaba, Alagoinhas, Jaguaquara, Vitória da Conquista, Ilhéus, Guaratinga e Caravelas. Também pertencem a este grupo as estações de Iguatu-CE (82686), Triunfo-PE (82789), Maceió-AL (82994), Monte Santo-BA (83090), Barra-BA (83179) e Corinhanha-BA (83408). A variação decendial dos valores médios da CZV para esse grupo (Fig. 4.11b) é bastante regular; a componente atinge mínimo em abril (0,5 m/s) e máximo em setembro (1,5 m/s). Semelhantemente ao Grupo I, as variações ocorridas no norte do Maranhão e Piauí são provocadas pelo ASAS e pela migração sazonal da ZCIT.

Além desses fatores, a orografia também deve contribuir para a definição da região homogênea no sul do Ceará e na área limítrofe do Ceará, Paraíba e Pernambuco. Nas estações situadas no vale do médio São Francisco e no leste da Bahia devem atuar circulações locais geradas em áreas de orografia complexa ou características superficiais contrastantes. Nessas regiões homogêneas o comportamento da CZV também é influenciado pela penetração de sistemas frontais austrais e pela posição e intensidade do ASAS. Existe mudança de sinal na CZV na estação de Caravelas-BA (83498), no mês de junho.

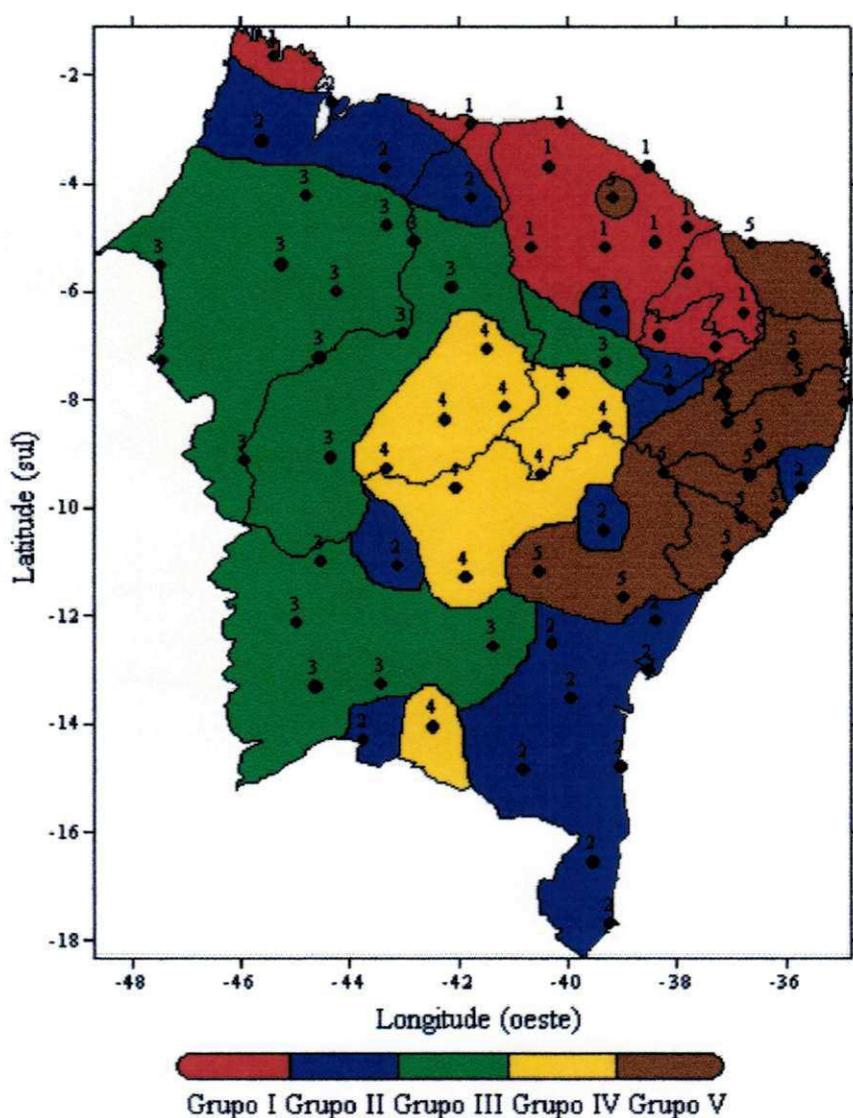


Fig. 4.10 - Zoneamento da componente zonal do vento à superfície, a partir dos três primeiros fatores comuns mais significativos, no Nordeste do Brasil.

O Grupo III (Fig. 4.10) está constituído pelas estações de Bacabal, Caxias, Imperatriz, Barra do Corda, Colinas, Carolina, Alto Parnaíba, Teresina, São Félix do Piauí, Floriano, Uruçui, Bom Jesus, Barbalha, Ibipetuba, Barreiras, Lençóis, Correntina e Bom Jesus da Lapa. A CZV média do grupo (Fig. 4.11c) é fraca em todos os meses, com máximo (1,1 m/s) no inverno que pode estar associado à intensidade do ASAS nessa época do ano. Existe mudança de sinal na CZV nas estações de Carolina-MA (82765) e São Félix do Piauí-PI (82669), nos meses de janeiro, maio, outubro, novembro e dezembro.

O Grupo IV (Fig. 4.10) compreende as estações de Picos, São João do Piauí, Paulistana, Caracol, Ouricuri, Cabrobó, Petrolina, Remanso e Irecê. Também pertence a este grupo a estação de Caetitê-BA (83339). Não há mudança de sinal na CZV em nenhuma estação desse grupo no decorrer do ano. A CZV é mais intensa no inverno (Fig. 4.11d). A CZV média do grupo é máxima em setembro (3,3 m/s) e mínima em janeiro (1,1 m/s). A intensificação da CZV nesse grupo no período de maio a setembro é provocada pelo acoplamento entre a circulação de grande escala (ASAS) e circulações locais, conforme discutido na seção 4.1.

O Grupo V (Fig. 4.10) está constituído pelas estações de Macau, Ceará Mirim, Natal, Monteiro, Campina Grande, João Pessoa, Surubim, Arcoverde, Garanhuns, Recife, Palmeira dos Índios, Coruripe, Aracaju, Propriá, Paulo Afonso, Jacobina e Serrinha. Este grupo também inclui a estação de Guaramiranga-CE (82487). Não há mudança de sinal na CZV em nenhuma estação desse grupo no decorrer do ano. O máximo da CZV na primavera (Fig. 4.11e) está relacionado com a posição e intensidade do ASAS. Segundo HASTENRATH (1991), o ASAS está centrado em (27°S, 15°W) em agosto e em (33°S, 5°W) em fevereiro. A posição mais a noroeste do ASAS em agosto faz com que o vento seja praticamente de leste e intenso, na primavera, na área desse grupo.

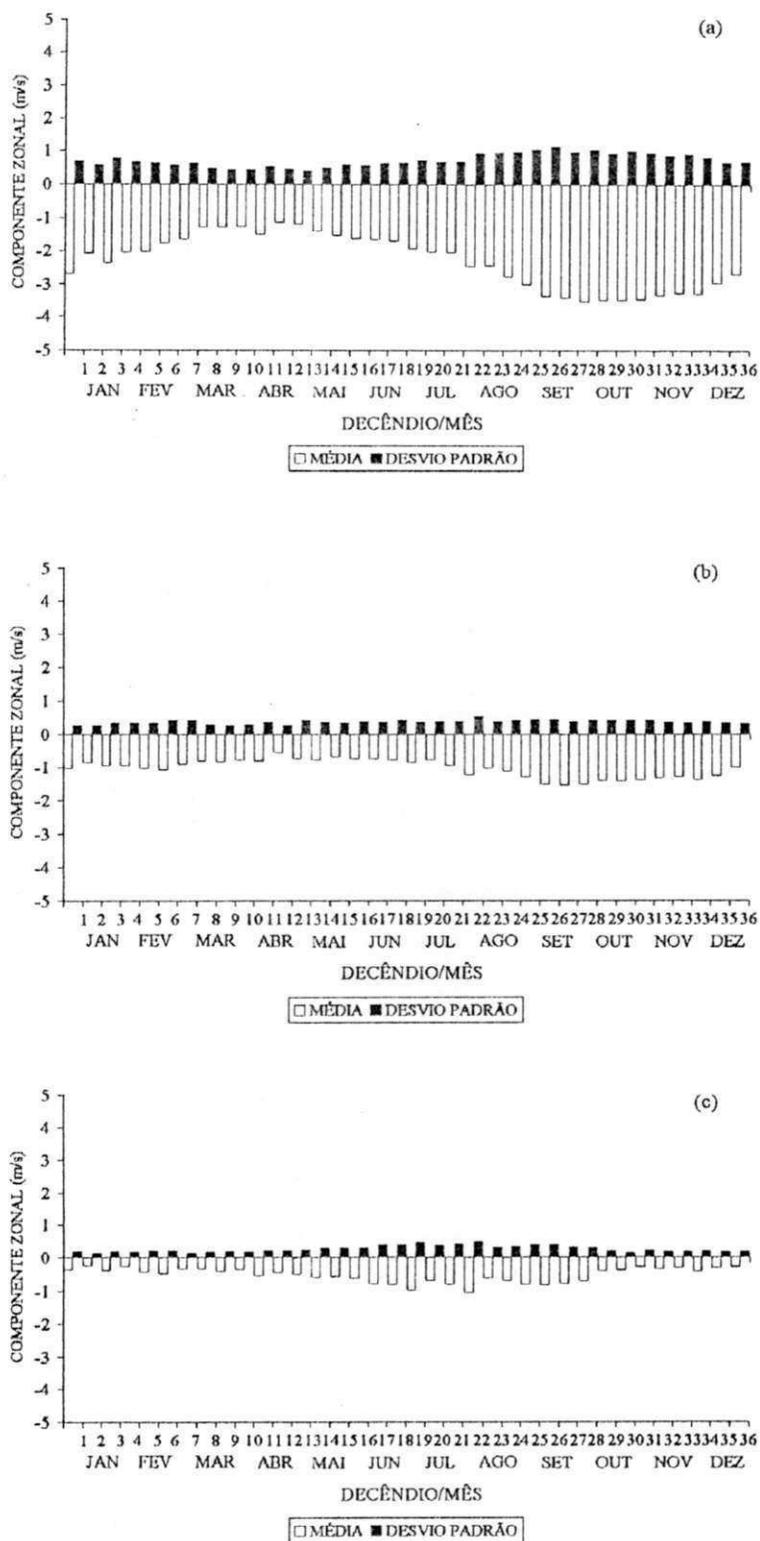


Fig. 4.11 - Série temporal da componente zonal do vento à superfície e respectivo desvio padrão, médios decendiais (m/s) do: (a) Grupo I, (b) Grupo II, (c) Grupo III, (d) Grupo IV, (e) Grupo V. Valores negativos representam componente de leste.

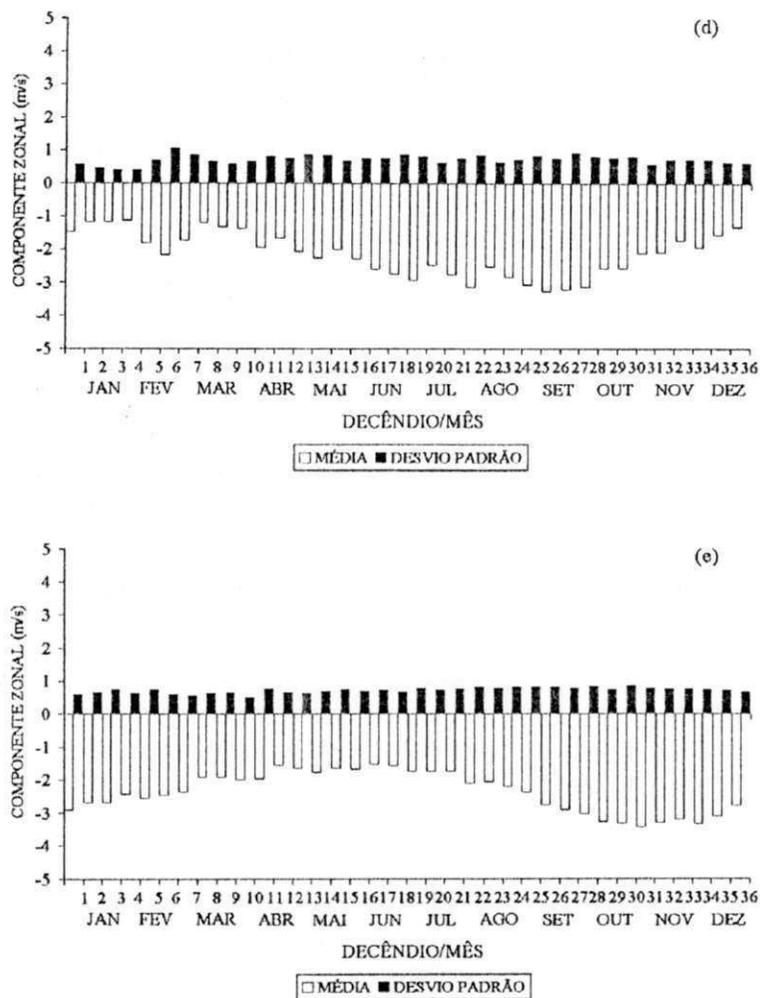


Fig. 4.11 - conclusão

#### 4.3.2 Regionalização da Componente Meridional

O agrupamento das estações foi feito a partir dos dois fatores comuns temporais mais significativos da CMV, que explicam 91,0% da variância total das médias decendiais. Os procedimentos de análise da CMV são análogos aos utilizados para a CZV. Utilizando a curva de inércia (Fig. 4.12) foi efetuado um corte no dendrograma (Fig. 4.13) que dividiu o Nordeste em quatro (04) grupos homogêneos da CMV (Fig. 4.14).

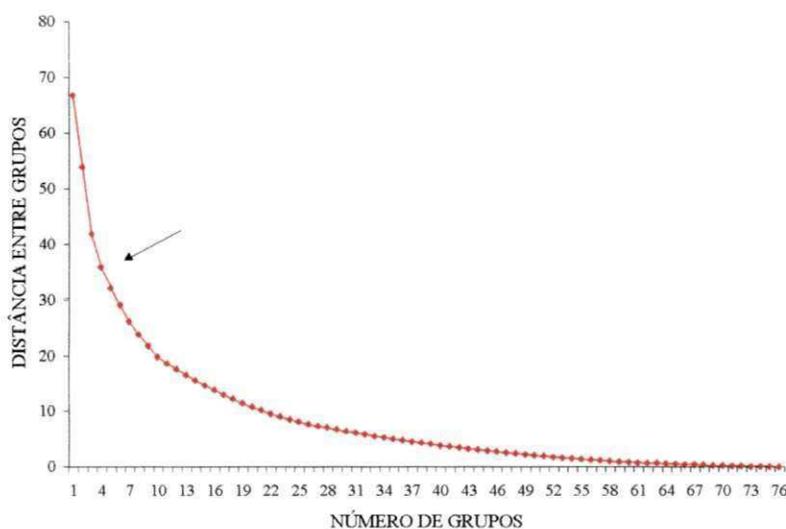


Fig. 4.12 - Curva de inércia referente à componente meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A seta indica o número de grupos rebtidos.

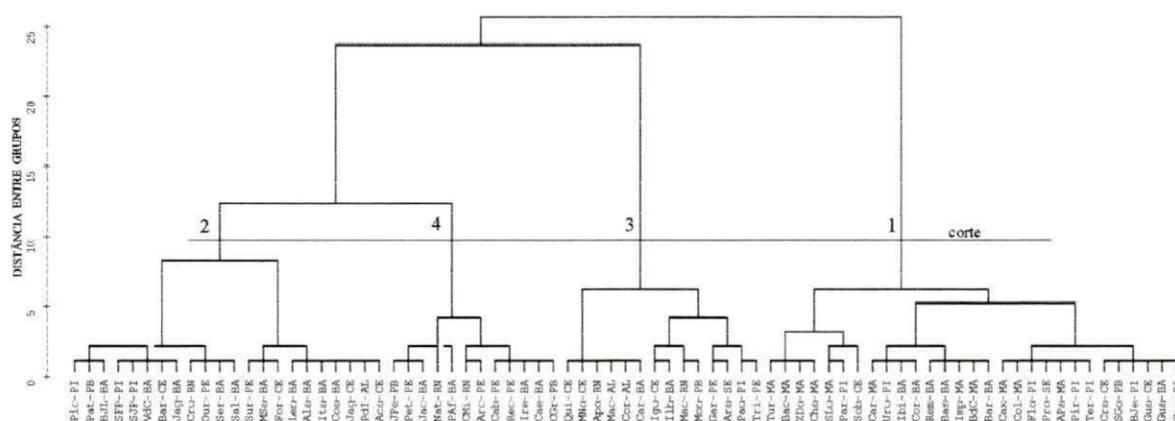


Fig. 4.13 - Dendrograma resultante do agrupamento da componente meridional do vento à superfície das 77 estações, utilizando o método de Ward.

As características dos grupos são descritas a seguir.

O Grupo I (Fig. 4.14) está constituído pelas estações de Turiaçu, São Luiz, Zé Doca, Chapadinha, Bacabal, Caxias, Imperatriz, Barra do Corda, Colinas, Carolina, Alto Parnaíba, Parnaíba, Piripiri, Teresina, Floriano, Uruçui, Bom Jesus, Caracol, Sobral, Guarimiranga, Cratéus, Remanso, Ibipetuba, Barra, Barreiras e Correntina. Este grupo também inclui três estações isoladas no interior de outros grupos: São Gonçalo-PB (82698), Propriá-SE (83097) e Guaratinga-BA (83446). A Figura 4.15a ilustra a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CMV e seu desvio padrão. No período de

abril a julho o desvio padrão é maior do que a média, o que significa que é freqüente a mudança na direção do vento com inversão no sinal da CMV em algumas estações desse grupo. Na primavera e no verão quase não há mudança de sinal na CMV nas estações desse grupo. Este fato sugere que a desintensificação do ASAS favorece o estabelecimento de ventos de nordeste, na parte oeste do Nordeste do Brasil.

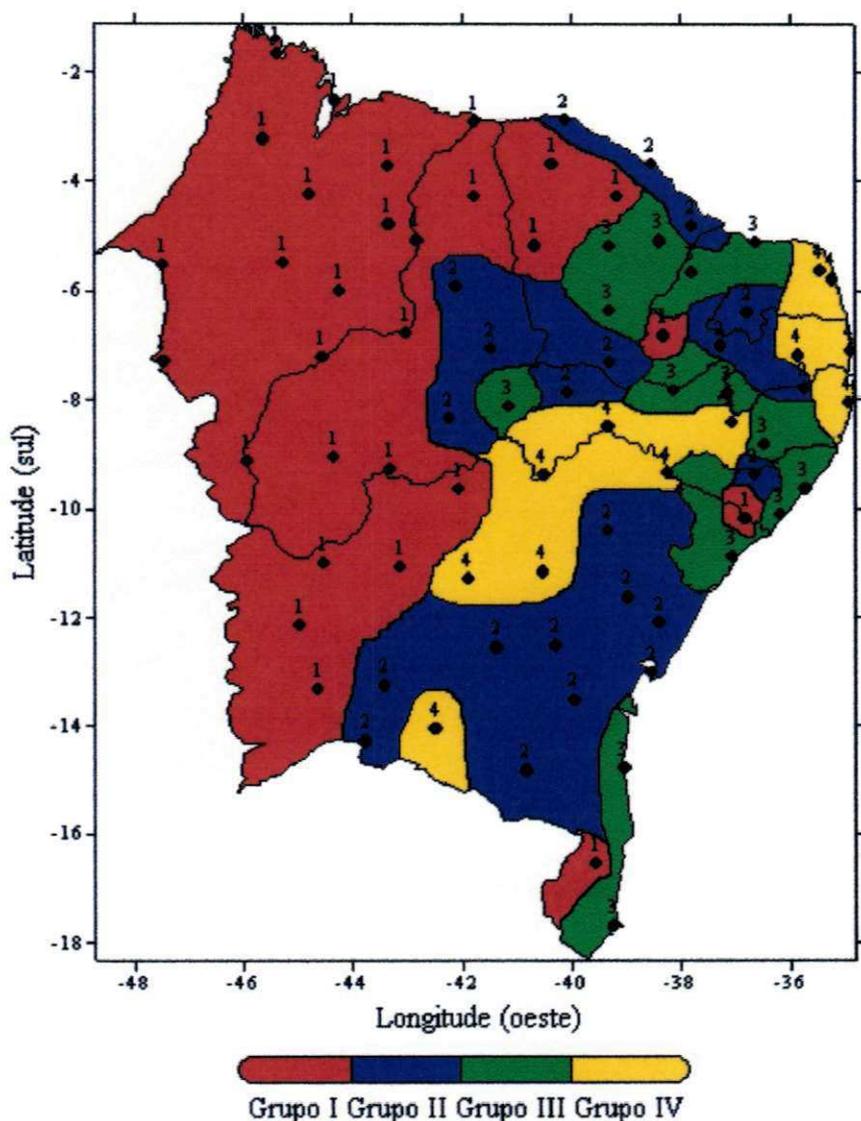


Fig. 4.14 – Zoneamento da componente meridional do vento à superfície, a partir dos dois primeiros fatores comuns mais significativos, no Nordeste do Brasil.

O Grupo II (Fig. 4.14) está composto pelas estações de São Félix do Piauí, Picos, São João do Piauí, Acarau, Fortaleza, Jaguaruana, Barbalha, Cruzeta, Patos, Ouricuri, Surubim, Monte Santo, Serrinha, Salvador, Lençóis, Itaberaba, Alagoinhas, Bom

Jesus da Lapa, Jaguaquara, Vitória da Conquista e Corinhanha. Também pertence a este grupo a estação de Palmeira dos Índios-AL (82992). No período de abril a setembro a CMV é positiva em quase todas as estações desse grupo (Fig. 4.15b). Nos períodos de janeiro a março e de outubro a dezembro o desvio padrão é próximo ou maior do que a média, o que significa que é freqüente a mudança na direção do vento com inversão no sinal da CMV em algumas estações desse grupo. Semelhantemente a outros grupos, é notável a influência do ASAS no inverno.

O Grupo III (Fig. 4.14) está constituído pelas estações de Quixeramobim, Morada Nova, Iguatu, Apodi, Macau, Monteiro, Triunfo, Garanhuns, Maceió, Coruripe, Aracaju, Ilhéus e Caravelas. Também pertence a este grupo a estação de Paulistana-PI (82882). No mês de janeiro todas as estações desse grupo tem a CMV negativa enquanto que no período de maio a julho todas tem a CMV positiva (Fig. 4.15c). As áreas desse grupo são influenciadas pelo ASAS e por circulações locais. A penetração de sistemas frontais austrais é outro fator que influencia diretamente as estações localizadas na faixa litorânea sul da Bahia.

O Grupo IV (Fig. 4.14) compreende as estações de Ceará Mirim, Natal, Campina Grande, João Pessoa, Arcoverde, Cabrobó, Recife, Petrolina, Paulo Afonso, Irecê e Jacobina. Também pertence a este grupo a estação de Caetité-BA (83339). Não existe mudança de sinal na CMV nesse grupo, exceto nas estações de Ceará Mirim, Arcoverde e Caetité, no período de novembro a fevereiro. A CMV é intensa no outono e inverno (Fig. 4.15d). A intensificação da CMV nesse período do ano (abril-setembro) nas estações situadas no vale do sub-médio São Francisco e nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina é provocada pelo acoplamento entre a circulação atmosférica de grande escala (ASAS) e circulações locais induzidas pelo contrastes térmicos gerados em áreas de topografia complexa.

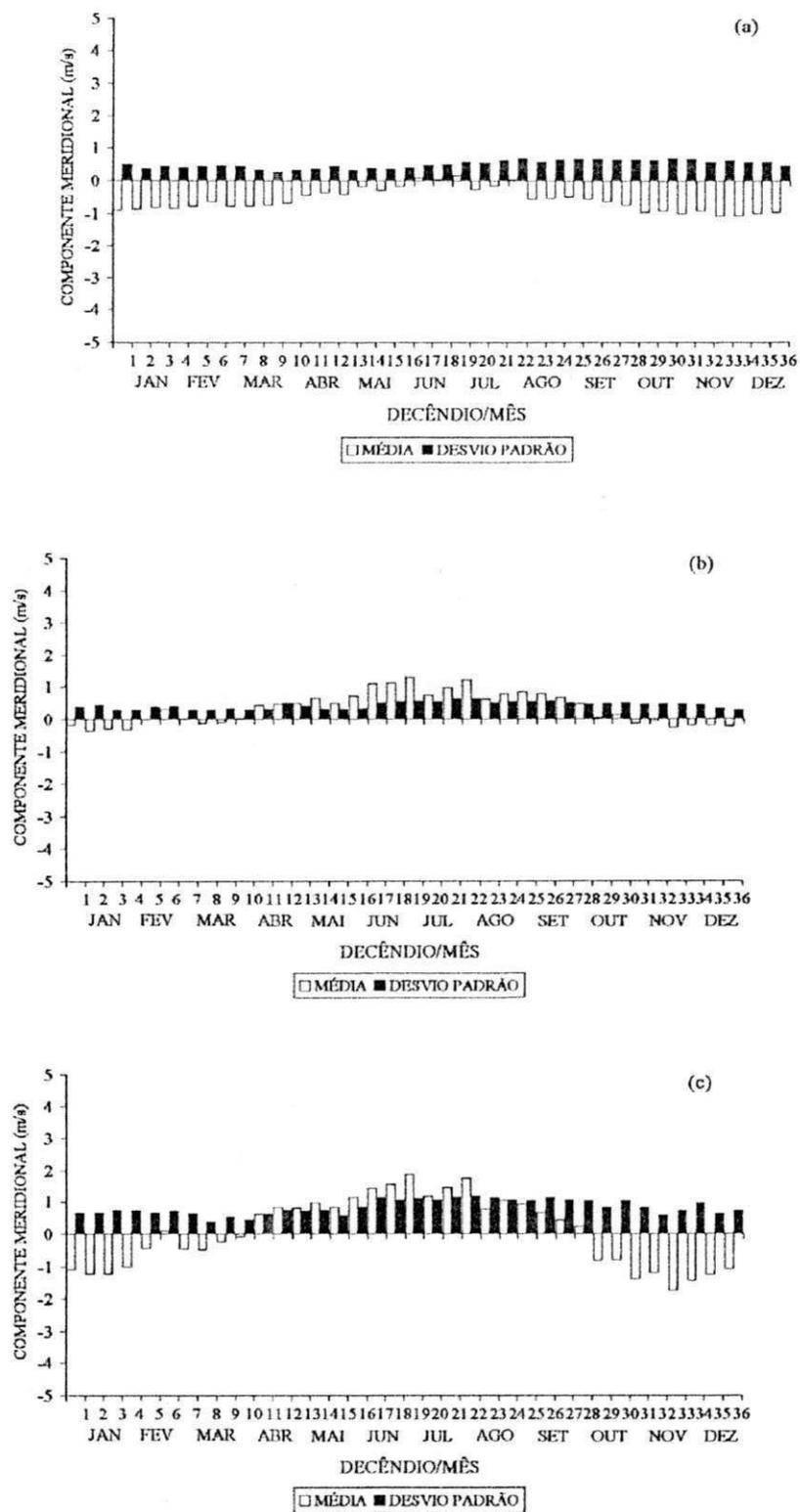


Fig. 4.15 - Série temporal da componente meridional do vento à superfície e respectivo desvio padrão, médios-decendiais (m/s) do: (a) Grupo I, (b) Grupo II, (c) Grupo III, (d) Grupo IV. Valores positivos (negativos) representam componente de sul (norte).

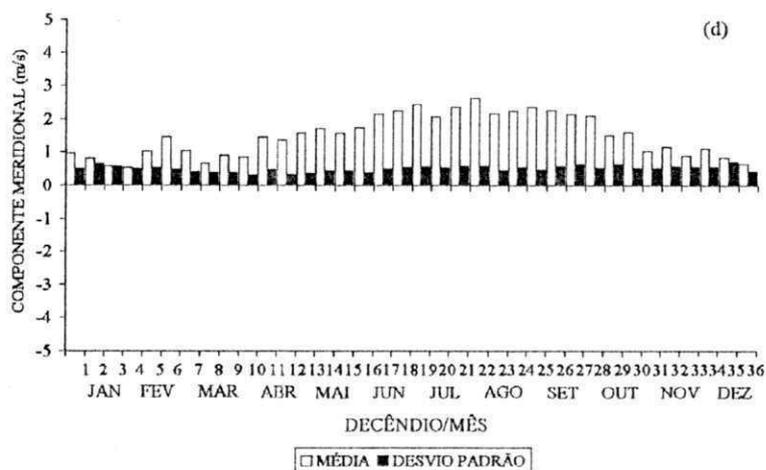


Fig. 4.15 – conclusão

#### 4.3.3 Regionalização Conjunta das Componentes Zonal e Meridional

O agrupamento das estações foi feito a partir dos três fatores comuns temporais mais significativos das componentes zonal e meridional do vento à superfície, que explicam 88,4% da variância total das médias decendiais.

A Figura 4.16 ilustra a curva de inércia que serviu de base para efetuar o corte no dendrograma (Fig. 4.17) que dividiu o Nordeste em (05) cinco grupos homogêneos do vento à superfície (Fig. 4.18). As características dos grupos são descritas a seguir.

O Grupo I (Fig. 4.18) está constituído pelas estações de Parnaíba, Acarau e Guaramiranga. Também estão inclusas neste grupo as estações de Turiaçu-MA (82198), Macau-RN (82594) e Remanso-BA (82797). A Figura 4.19a apresenta a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CZV e seu desvio padrão. A CZV é mais intensa (fraca) no inverno e primavera (outono), com máximo no mês de setembro (4,5 m/s) e mínimo no mês de abril (2,1 m/s). A CZV fraca no outono está associada à atuação da ZCIT e sua maior intensidade no inverno e primavera está relacionada com a posição e intensificação do ASAS. Não há mudança de sinal na CZV em nenhuma estação desse grupo no decorrer do ano. O comportamento do vento nesse grupo também é influenciado pelos seguintes sistemas: ZCAS, vórtices ciclônicos da alta troposfera, sistemas convectivos de mesoescala e circulações locais. Distúrbios de leste também contribuem

para a variabilidade do vento nesse grupo, com a possível exceção da região homogênea situada na Bahia.

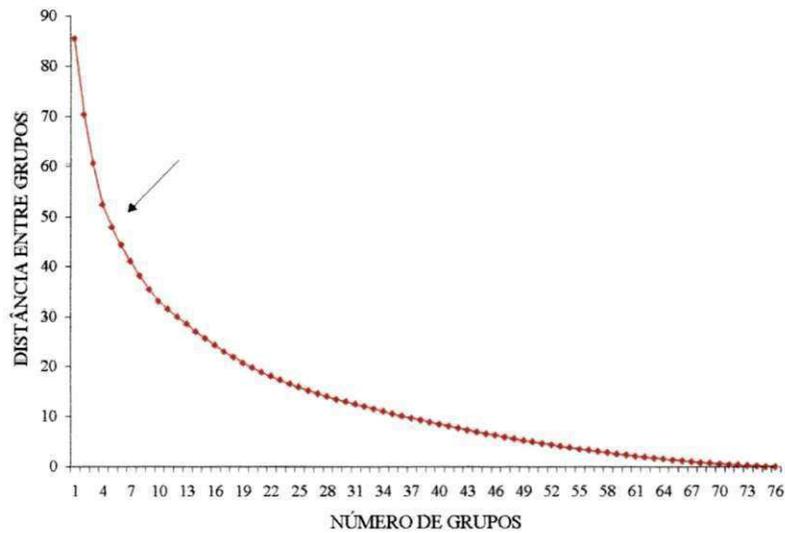


Fig. 4.16 - Curva de inércia referente às componentes zonal e meridional do vento à superfície no Nordeste do Brasil. A seta indica o número de grupos retidos.

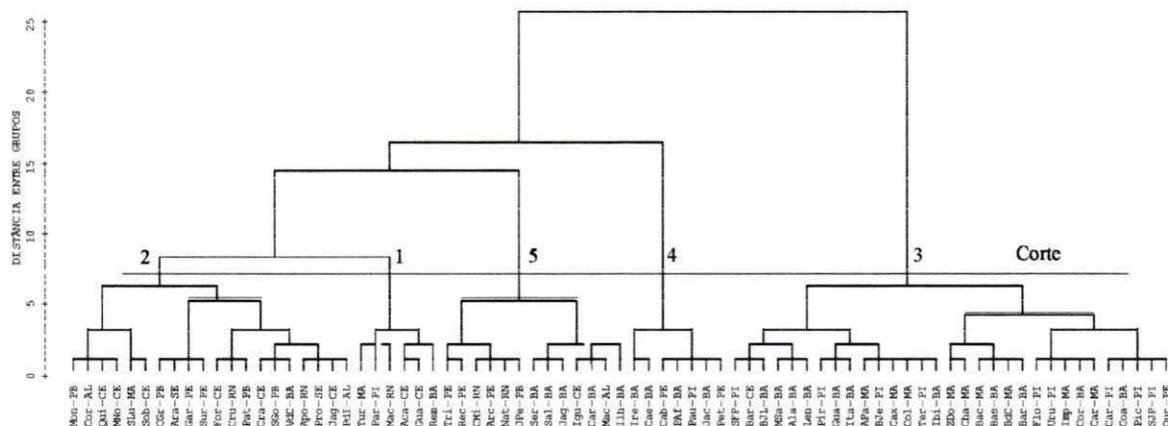


Fig. 4.17 - Dendrograma resultante do agrupamento das componentes zonal e meridional do vento à superfície das 77 estações, utilizando o método de Ward.

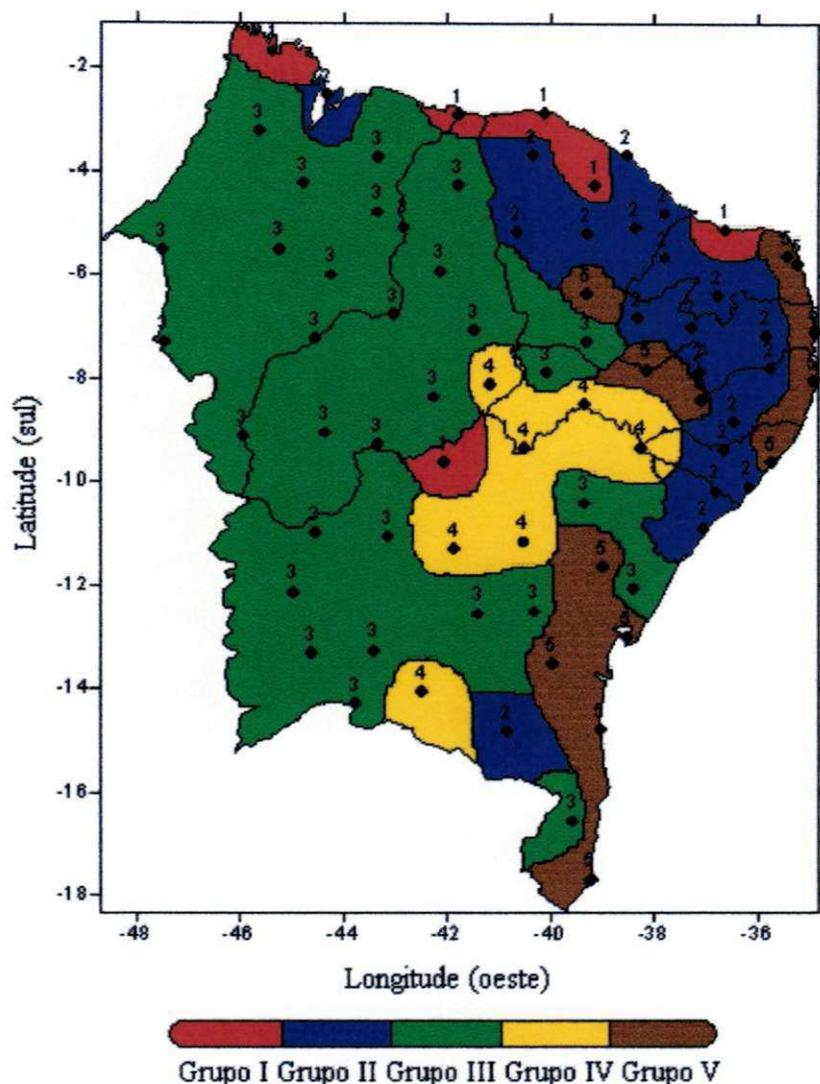


Fig. 4.18 - Zoneamento das componentes zonal e meridional do vento à superfície, a partir dos três primeiros fatores comuns mais significativos, no Nordeste do Brasil.

A Figura 4.19b ilustra a variação decenal dos valores médios desse grupo para a CMV e seu desvio padrão. No período de abril a setembro o desvio padrão é maior do que a média, o que significa que é freqüente a mudança na direção do vento com inversão no sinal da CMV em algumas estações desse grupo. Nos meses de dezembro e janeiro quase não há mudança de sinal na CMV nas estações desse grupo.

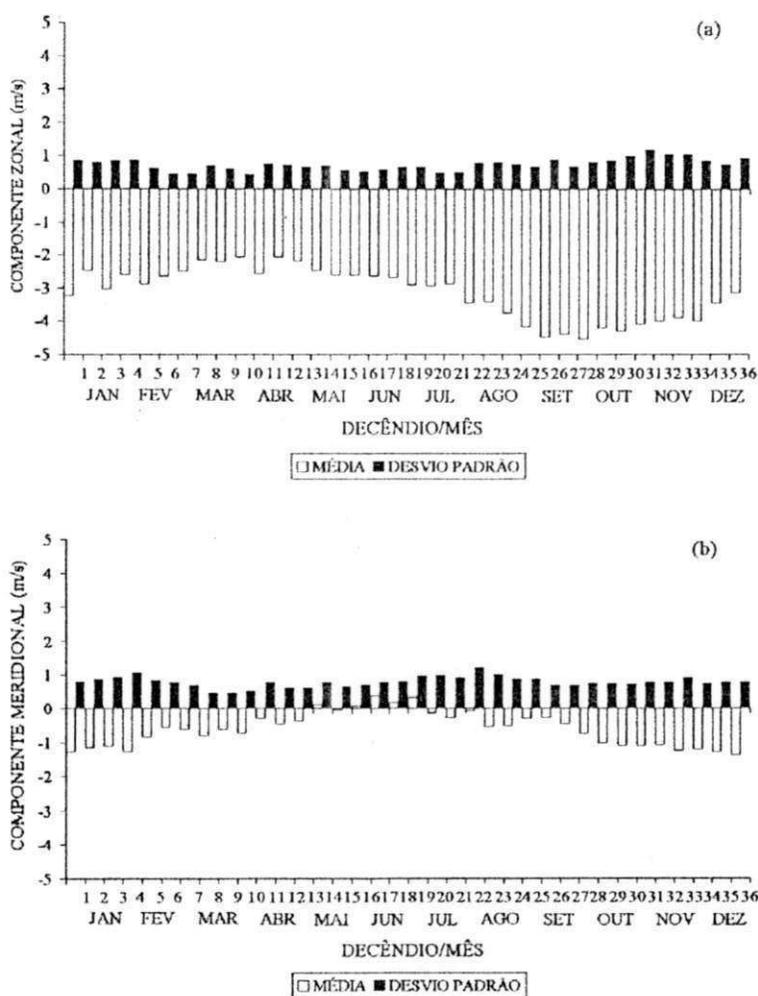


Fig. 4.19 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais (m/s) do Grupo I. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte).

O Grupo II (Fig. 4.18) é formado pelas estações de Sobral, Fortaleza, Jaguaruana, Cratêus, Quixeramobim, Morada Nova, Apodi, Cruzeta, São Gonçalo, Patos, Monteiro, Campina Grande, Surubim, Garanhuns, Palmeira dos Índios, Coruripe, Aracaju e Propriá. Também pertencem a este grupo as estações de São Luiz-MA (82280) e Vitória da Conquista-BA (83344). A variação decendial dos valores médios desse grupo para a CZV (Fig. 4.20a) mostra comportamento semelhante ao da CZV para o Grupo I. A diferença é que a CZV é mais fraca no Grupo II e existe uma defasagem temporal de dois meses na intensidade máxima. No Grupo II o máximo na CZV é em novembro (3,2 m/s). Essa defasagem é provocada pela gradual mudança de posição e desintensificação do

ASAS. Não há mudança de sinal na CZV em nenhuma estação desse grupo no decorrer do ano.

A Figura 4.20b ilustra a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CMV e seu desvio padrão. Durante todo o ano o desvio padrão é maior ou próximo da média, o que significa que é freqüente a mudança na direção do vento com inversão no sinal da CMV na maioria das estações desse grupo.

As regiões homogêneas situadas no norte do Nordeste do Brasil pertencentes ao Grupo II são influenciadas pelos mesmos sistemas que atuam no Grupo I, com exceção da região homogênea situada no sudeste da Bahia que é afetada por sistemas frontais e não sofre influência da ZCIT.

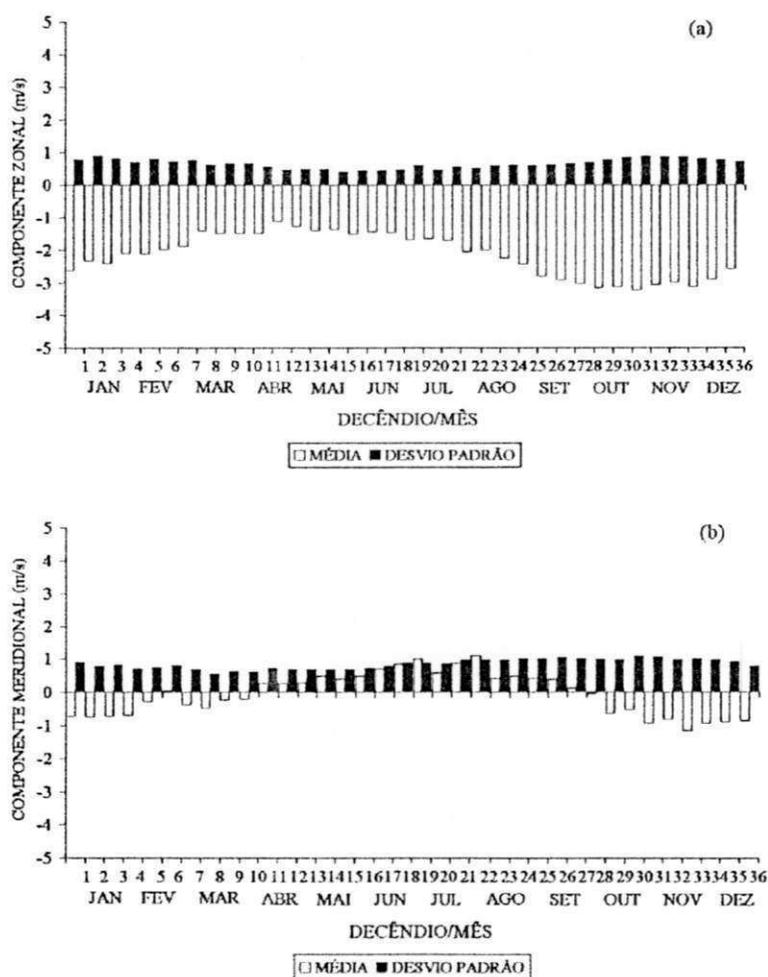


Fig. 4.20 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais (m/s) do Grupo II. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte).

O Grupo III (Fig. 4.18) compreende as estações de Zé Doca, Chapadinha, Bacabal, Caxias, Imperatriz, Barra do Corda, Colinas, Carolina, Alto Parnaíba, Piripiri, Teresina, São Félix do Piauí, Floriano, Uruçui, Picos, São João do Piauí, Bom Jesus, Caracol, Barbalha, Ouricuri, Ibipetuba, Monte Santo, Barra, Barreiras, Lençóis, Itaberaba, Alagoinhas, Correntina, Bom Jesus da Lapa e Corinhanha. Este grupo também inclui a estação de Guaratinga-BA (83446). A CZV média do grupo (Fig. 4.21a) é fraca em todos os meses, com máximo no inverno (1,26 m/s) que pode estar associado à intensidade do ASAS nessa época do ano. Existe mudança de sinal na estação de Carolina-MA (82765) em janeiro, maio e no período de outubro a dezembro. O mesmo ocorre em São Félix do Piauí-PI (82669) em janeiro, Floriano-PI (82678) em outubro e Bom Jesus da Lapa-BA (83288) nos três últimos meses do ano.

A Figura 4.21b ilustra a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CMV. Durante todo o ano o desvio padrão é maior ou próximo da média, o que significa que é freqüente a mudança na direção do vento com inversão no sinal da CMV. Na primavera e no verão a CMV é negativa em algumas estações desse grupo. Este fato sugere que a desintensificação do ASAS favorece o estabelecimento de ventos de nordeste, na parte oeste do nordeste do Brasil. O comportamento do vento nesse grupo também é influenciado pelos seguintes sistemas: ZCIT (no norte do Nordeste, até o norte da Bahia), ZCAS, vórtices ciclônicos da alta troposfera, sistemas convectivos de mesoescala e circulações locais. As áreas homogêneas situadas na Bahia também são influenciadas por sistemas frontais.

O Grupo IV (Fig. 4.18) está constituído pelas estações de Paulistana, Cabrobó, Petrolina, Paulo Afonso, Irecê e Jacobina. Este grupo também inclui a estação de Caetité-BA. Não há mudança de sinal na CZV em nenhuma estação desse grupo no decorrer do ano. A CZV é mais intensa no outono e inverno (Fig. 4.22a). A CZV média do grupo é máxima em setembro (3,6 m/s) e mínima em janeiro (1,5 m/s).

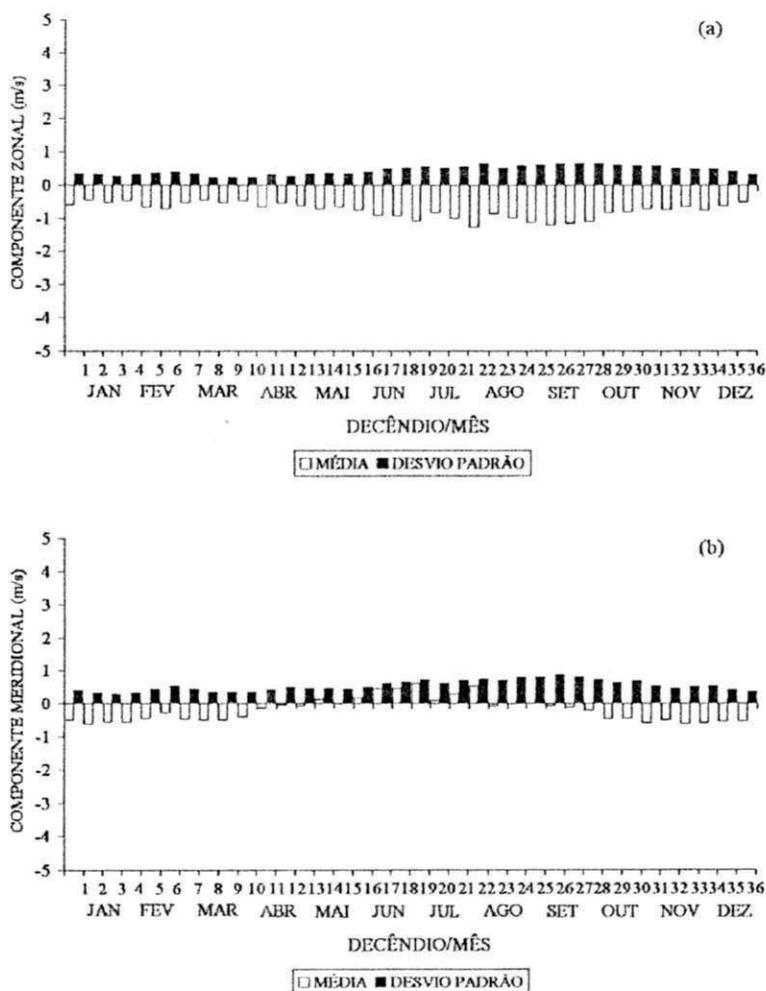


Fig. 4.21 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais do Grupo III. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte).

A Figura 4.22b ilustra a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CMV. Não existe mudança de sinal na CMV nesse grupo, exceto nas estações de Caetité-BA (83339) e Paulistana-PI (82882) no período de dezembro a fevereiro. A CMV é intensa no período de abril a outubro. A intensidade da CZV e CMV nas estações desse grupo é devida ao acoplamento entre a circulação atmosférica de grande escala (ASAS) e circulações locais induzidas pelo contrastes térmicos gerados em áreas de topografia complexa. O comportamento do vento nesse grupo também é influenciado por: ZCAS, vórtices ciclônicos da alta troposfera, sistemas convectivos de mesoescala e sistemas frontais.

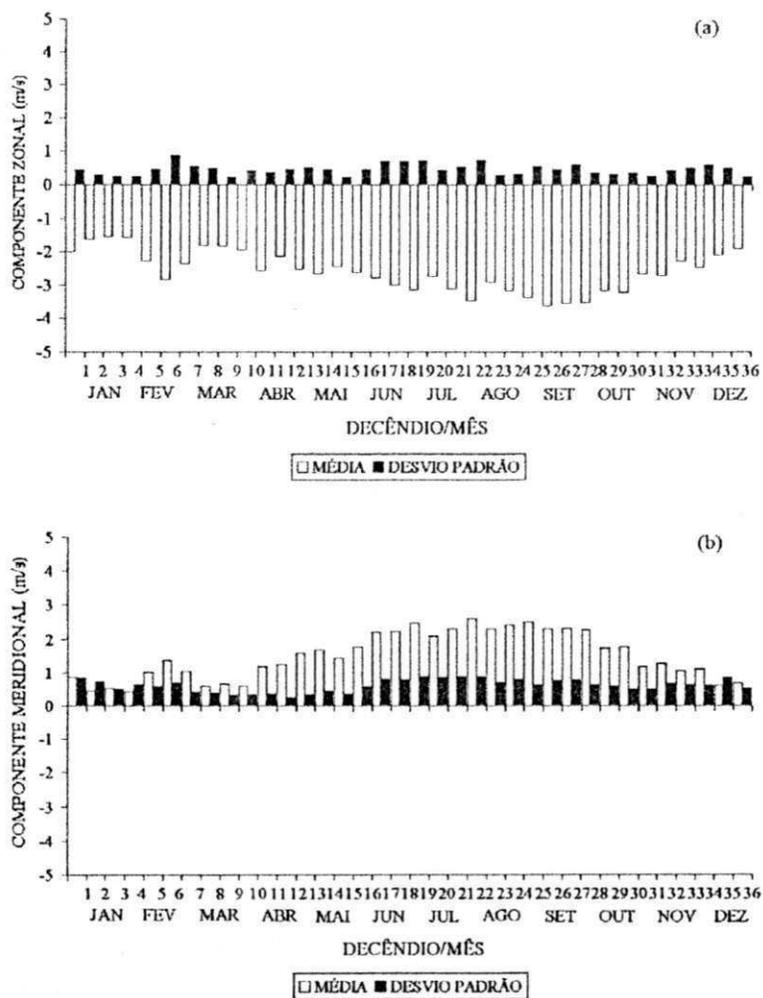


Fig. 4.22 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais do Grupo IV. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos em (b) representam componente de sul.

O Grupo V (Fig. 4.18) compreende as estações de Ceará Mirim, Natal, João Pessoa, Triunfo, Arcoverde, Recife, Maceió, Serrinha, Salvador, Jaguaquara, Ilhéus e Caravelas. Este grupo também inclui a estação de Iguatu-CE (82686). Existe mudança de sinal na estação de Caravelas (83498) no mês de maio. A CZV é mais intensa na primavera e fraca no outono (Fig. 4.23a). O máximo ocorre no mês de novembro (2,16 m/s) e está relacionado com a posição do ASAS; o mínimo ocorre em junho (0,8 m/s) associado à penetração de sistemas frontais austrais e ao ASAS. A Figura 4.23b ilustra a variação decendial dos valores médios desse grupo para a CMV. No período de abril a setembro a CMV é positiva em todas as estações desse grupo, com exceção de Caravelas-BA (83498),

Maceió-AL (82994) e Iguatu-CE (82686) no mês de abril e de Caravelas-BA (83498) e Ilhéus-BA (83348), no mês de setembro. Nas estações desse grupo situadas no leste da Bahia, o comportamento da CMV é influenciado pela penetração de sistemas frontais, pela posição e intensidade do ASAS e pela ZCAS. As demais áreas homogêneas desse grupo são influenciadas por: ASAS, ZCIT, vórtices ciclônicos da alta troposfera, distúrbios de leste, sistemas convectivos de mesoescala e circulações locais.

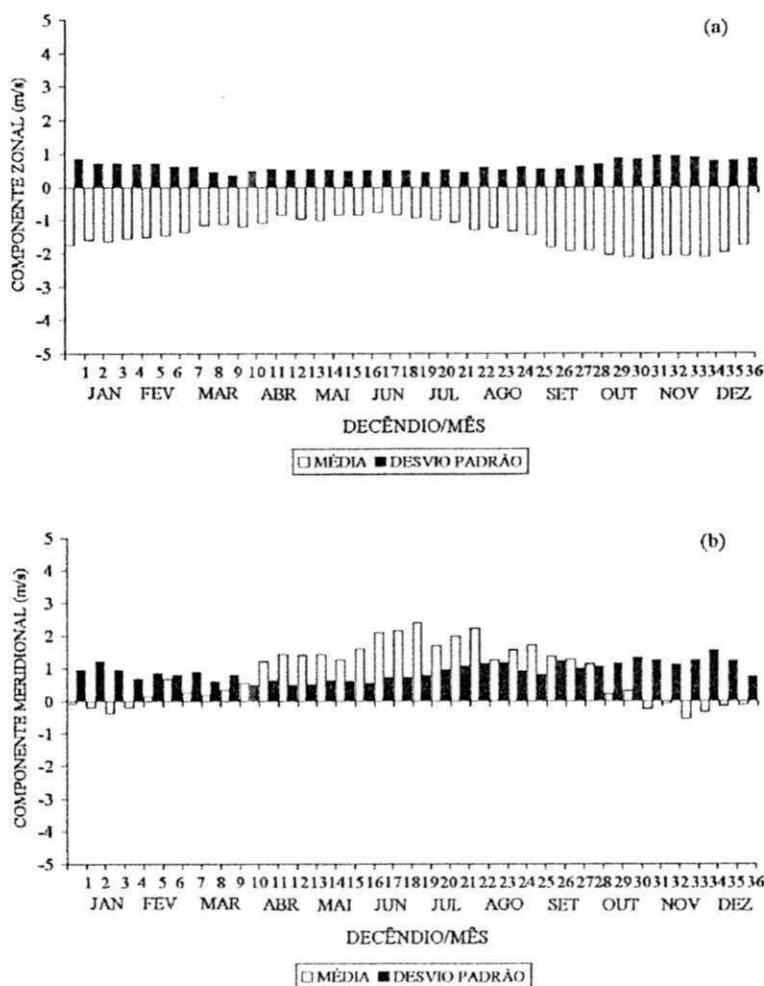


Fig. 4.23 - Série temporal da (a) componente zonal e (b) componente meridional e respectivos desvios padrões, médios decendiais do Grupo V. Valores negativos em (a) representam componente de leste. Valores positivos (negativos) em (b) representam componente de sul (norte).

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A aplicação da análise fatorial em componentes principais às componentes do vento à superfície mostra que os três primeiros fatores comuns temporais da CZV explicam 96,7% da variância total das médias decendiais, enquanto que os dois primeiros fatores comuns temporais da CMV explicam 91,0%. Os resultados da análise conjunta das componentes mostram que os três primeiros fatores comuns temporais explicam 88,4% da variância total das médias decendiais.

Na análise de variáveis atmosféricas utilizando a ACP o sinal da grande escala é representado pelo primeiro padrão espacial. No caso do vento à superfície tanto o sinal da grande escala está presente nos outros padrões espaciais, como a influência de escalas menores é identificada no primeiro padrão espacial. Este fato é consequência da interação entre a circulação atmosférica de grande escala e circulações locais ou regionais geradas pelo contraste térmico entre áreas com características superficiais contrastantes e/ou áreas elevadas e não elevadas. Esse acoplamento entre diferentes escalas deve explicar, em particular, a intensificação do vento que ocorre entre maio e setembro no centro-leste do Piauí, no vale do sub-médio São Francisco e nos extremos norte e sul da Chapada Diamantina. Assim, a interpretação dos resultados da ACP aplicada a parâmetros meteorológicos de superfície requer o conhecimento de três aspectos fundamentais relacionados com a região em estudo: (a) sistemas atmosféricos atuantes, (b) comportamento médio do parâmetro e (c) fisiografia.

A regionalização através da ACP dos fatores comuns temporais mais significativos, seguida da análise de agrupamento usando o método de Ward, revela a existência de cinco (05) grupos homogêneos para a CZV (Fig. 4.10), quatro (04) grupos homogêneos para a CMV (Fig. 4.14) e cinco (05) grupos homogêneos para a CZV e CMV, em conjunto (Fig. 4.18).

Os padrões temporais associados aos fatores comuns mais significativos e os grupos puderam ser relacionados com a fisiografia regional e os fenômenos atmosféricos que atuam no Nordeste do Brasil.

Os resultados obtidos permitem sugerir para estudos futuros:

(a) determinar padrões de variabilidade temporal e espacial do vento à superfície utilizando séries mais longas, para um conjunto homogêneo de anos;

(b) determinar padrões de variabilidade temporal e espacial do vento à superfície para anos contrastantes com respeito às anomalias da temperatura da superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico;

(c) acrescentar outra variável à análise como, por exemplo, a precipitação.

## 6 REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Editora Moderna, 1993. p.53-60.
- BARNES, S.L. A technique for maximizing detail in numerical weather maps analysis. **Journal of Applied Meteorology**. v.3, p.396-400, 1964.
- BASTOS, E.J.B., CEBALLOS, J.C., SOBRAL, Z.R., SIMÕES, F. Distribuição Estatística da Energia Eólica no Nordeste. **Fontes Energéticas Brasileiras**, 1-13, 1987.
- BOUROCHE, J.M., SAPORTA, G. **Análise de dados**. Trad. Marcos Penchel. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982. 116p.
- BRAGA, C.C. Análise em componentes principais da precipitação média decenal no Estado da Paraíba. In: I CONGRESO IBEROAMERICANO, V CONGRESO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1992, Madrid. **Anais...**,v.1, p.292-298, 1992.
- BRAGA, C.C., MELO, M.L.D., MELO, E.C.S. Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1998, Brasília. **Anais...** Brasília, 1998.
- BRAGA, C.C., SILVA, B.B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1990, Salvador. **Anais...**,v.1, p.200-205, 1990.
- CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. São José dos Campos, 1982. 113p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais.
- CAVIEDES, C.N. Secas and El Niño: two simultaneous climatological hazards in South America. **Association of American Geographers**. v.5, p.44-49, 1973.

- CEBALLOS, J.C., BRAGA, C.C. Missing data assessment in a solarimetric network. **International Journal of Climatology**. v.15, p.325-340, 1995.
- CHAN, Chou Sin. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Equatorial Sul**. São José dos Campos, 1990. 104p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais.
- COELHO, M.A. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Editora Moderna, 1990. 281p.
- DOTY, B.E. **Using the Grid Analysis and Display System**. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), University of Maryland, jan. 1992.
- EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Educational Books, London, 135p, 1974.
- GREEN, M.C., FLOCCHINI, R.G., MYRUP, L.O. Use of temporal principal components analysis to determine seasonal periods. **Journal of Applied Meteorology**. v.32, p.986-995, 1993.
- HARZALLAH, A., ROCHA DE ARAGÃO, J.O., SADOURNY, R. Interannual rainfall variability in North-East Brazil: observation and model simulation. **International Journal of Climatology**. v.16, p.861-878, 1996.
- HASTENRATH, S. **Climate Dynamics of Tropics**. Kluwer Academic Publishers, 1991. 488p.
- HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quart. J. R. Met. Soc.** v.103, p.77-92, 1977.
- KLINK, K. Climatological mean and interannual variance of United States surface wind speed, direction and velocity. **International Journal of Climatology**. v.19, p.471-488, 1999.
- KLINK, K., WILLMOTT, C.J. Principal components of the surface wind field in the United States: A comparison of analyses based upon wind velocity, direction, and speed. **International Journal of Climatology**. v.9, p.293-308, 1989.
- KODAMA, Y. Large-Scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPZC, and the SACZ) Part I: Characteristic of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. v.70, p.813-835, 1992.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**. v.107, p.1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V.E., GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**. v.33, p.538-551, 1981.

- KOUSKY, V.E., KAYANO, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**. v.7, p.1131-1143, 1994.
- LOPES, P.M.O., SILVA, B.B., RODRIGUES, M.F.G. Identificação de grupos pluviometricamente homogêneos no Estado do Rio Grande do Norte. IX CONGRESSO BRASILEIRO de METEOROLOGIA, 1996, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1996. v.1, p.272-275.
- LORENZ, E. N. Empirical orthogonal function and statistical weather prediction. Sci. Rep. n.1. Cambridge, Massachusetts (EUA), Statistical Forecasting Project, Department of Meteorology, MIT, 49p, 1956.
- MOURA, A.D., SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v.38, p.2653-2675, 1981.
- NERY, J.T., SANSIGOLO, C.A., MARTINS, M.L.O.F. Análise de fatores comuns e agrupamentos das temperaturas mínimas de inverno no Estado do Paraná. XI CONGRESSO BRASILEIRO de AGROMETEOROLOGIA, II REUNIÃO LATINO-AMERICANA de AGROMETEOROLOGIA, 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. v.1, p.1036-1043.
- PANDIZIC, K., KISEGI, M. Principal component analysis of a local precipitation field within the global circulation. **Beitr. Phys. Atmosph.** v.63, p.101-106, 1990.
- PRATES, José Eduardo. **Controles Associados à Distribuição Espacial de Precipitação no Verão em Minas Gerais: Aspectos Fisiográficos e Meteorológicos**. São Paulo, 1994. 178p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo.
- RAMOS, R.P.L. Precipitation Characteristics in the Northeast Brazil Dry Region. **Journal of Geophysical Research**. v.80, p.1665-1678, 1975.
- RAO, V.B., LIMA, M.C., FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**. v.6, p.1754-1763, 1993.
- RODRIGUES, M.F.G., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B. Uso da classificação hierárquica na identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Ceará. IX CONGRESSO BRASILEIRO de METEOROLOGIA, 1996, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1996. v.1, p.275-277.

- ROUCOU, P., ARAGÃO, J.O.R., HARZALLAH, A., FONTAINE, B., JANICOT, S. Vertical motion changes related to North-East Brazil rainfall variability: A GCM simulation. **International Journal of Climatology**. v.16, p.879-891, 1996.
- SANSIGOLO, C.A., NERY, J.T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. X CONGRESSO BRASILEIRO de METEOROLOGIA, 1998, Brasília. **Anais...** Brasília, 1998. v.1.
- SERRA, A.B. The general circulation over South America. **Bull. Am. Meteorol. Soc.** v.22, p.173-179, 1941.
- SERVAIN, J., LUKAS, S. **Climatic Atlas of the Tropical Atlantic Wind Stress and Sea Surface Temperature**. Plouzané, Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération, 143 pp, 1990.
- SILVA ARAGÃO, M.R., CORREIA, M.F., SOBRAL, Z.R. Vento à superfície e chuva em anos contrastantes no sub-médio São Francisco. **Boletim Climatológico**. Presidente Prudente-SP, ano 2, n.3, p.213-217, jul.1997.
- SILVA, Saulo Tasso Araújo da. **Influência do El Niño-Oscilação Sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba**. Campina Grande, 1996. 63p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba.
- SIMIELLI, M.E. **Geoatlas**. São Paulo: Editora Ática, 1991.
- SOUSA, E.P., RENNÓ, N.O., SILVA DIAS, M.A.F. Convective circulations induced by surface heterogeneities. **J. Atmos. Sci.**, no prelo.
- SOUZA, E.B., ALVES, J.M.B., REPELLI, C.A. Um complexo convectivo de mesoescala associado à precipitação intensa sobre Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.13, p.1-14, 1998.
- STULL, R.B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p.588-593.
- UVO, Cintia Regina Bertacchi. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. São José dos Campos, 1989. 82p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais.
- VAREJÃO SILVA, M.A., AGUIAR, M.J.N., NIETZSCHE, M.H., SILVA, B.B. **ATLAS CLIMATOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA**. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1987. (Sem paginação).

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal American Association**, n.58, p.236-244, 1963.

YAMAZAKI, Y., RAO, V.B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. v.55, p.205-207, 1977.