

# UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

# METEOROLOGIA



CENTRO DE CIÊNCIAS  
E  
TECNOLOGIA



DEPARTAMENTO  
DE CIÊNCIAS  
ATMOSFÉRICAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
OBSERVAÇÃO DA OSCILAÇÃO DE MADDEN & JULIAN EM UM  
ANO DE UM EVENTO DE EL NIÑO (1993) USANDO ANÁLISE  
MULTIVARIADA EM COMPONENTES PRINCIPAIS

AUTORA: SHEILLA CRISTINI SANTANA

MAIO - 2003





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
MESTRADO EM METEOROLOGIA**



**OBSERVAÇÃO DA OSCILAÇÃO DE MADDEN & JULIAN EM UM ANO DE UM  
EVENTO EL NIÑO (1993) USANDO ANÁLISE MULTIVARIADA EM  
COMPONENTES PRINCIPAIS**

**SHEILLA CHRISTINI SANTANA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito**

CAMPINA GRANDE - PB

Maio de 2003

---

SHEILLA CHRISTINI SANTANA

**OBSERVAÇÃO DA OSCILAÇÃO DE MADDEN & JULIAN EM UM ANO DE UM  
EVENTO EL NIÑO (1993) USANDO ANÁLISE MULTIVARIADA EM  
COMPONENTES PRINCIPAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em  
Meteorologia da Universidade Federal de  
Campina Grande em cumprimento às exigências  
para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala  
Subárea: Climatologia

---

Orientador: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito

Campina Grande – PB  
Maio de 2003


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


SHEILLA CHRISTINI SANTANA

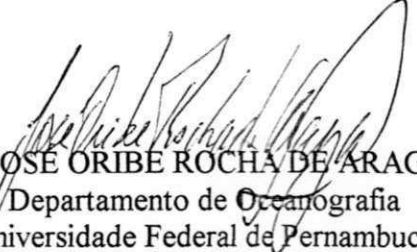
OBSERVAÇÃO DA OSCILAÇÃO DE MADDEN & JULIAN EM UM ANO DE UM  
EVENTO EL NIÑO (1993) USANDO ANÁLISE MULTIVARIADA EM  
COMPONENTES PRINCIPAIS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/5/2003

BANCA EXAMINADORA

  
Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Dra. CELIA CAMPOS BRAGA  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Dr. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO  
Departamento de Oceanografia  
Universidade Federal de Pernambuco



## **DEDICATÓRIA**

*Dedico todo esforço necessário à conclusão deste trabalho aos meus pais João Santana Pereira e Maria Evangelista Santana e a minha irmã Keila Regina Santana pelo incentivo, amor e lições de vida ao longo da caminhada. E ao meu namorado Pablo Ricalli pela paciência e companheirismo.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, minha gratidão por chegar até aqui, vitoriosa pela conquista obtida depois de tanta luta, incertezas e dificuldades;

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo;

Ao professor Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito pela orientação, dedicação e apoio constantes;

Ao professor Dr. Sukaran Ran Patel por nos ter cedido os dados do NCEP, fazendo com que a realização deste trabalho fosse possível;

Ao Professor Dr. Enio Pereira de Souza pelo auxílio na versão em inglês do resumo;

Aos membros da banca examinadora pela valorosa contribuição nas correções finais;

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas, em especial a Enga. Eyres Diana Ventura Silva e Divanete C. Rocha por estarem sempre dispostas a ajudar;

Aos meus colegas de curso, pelos momentos de alegria e descontração compartilhadas;

Aos meus familiares e amigos por serem força e paciência e por estarem sempre presentes;

E finalmente a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.



## RESUMO

Analisou-se o comportamento das atividades da Oscilação de Madden & Julian (OMJ) em um ano em que ocorreu um episódio de El Niño (1993), observando sua variação temporal e espacial, em uma faixa do globo limitada pelas latitudes de 20°S a 20°N. Para isto foram utilizados dados diários das reanálises do NCEP: taxa de precipitação total, pressão ao nível médio do mar, vento zonal em 850 e 200 hPa, fluxo de calor latente, radiação de onda longa emitida para o espaço e temperatura do ar em 700 hPa. Estes dados estão distribuídos em uma malha de pontos de grande de 2,5°X2,5°. Nosso interesse em verificar isto partiu do princípio que a literatura destaca que as atividades da OMJ tendem a ser fracas ou ausentes durante os episódios fortes ou moderados de El Niño. Utilizaram-se as técnicas de Análise multivariada em Componentes Principais, Análise de Fourier, e correlações espaciais. A técnica de Componentes Principais foi capaz de determinar as atividades da OMJ no ano de 1993. De posse das médias móveis no espaço, observou-se a variação temporal e a propagação para leste da OMJ, e a técnica de correlação linear não se mostrou satisfatória para detectar as atividades da OMJ em um ano de El Niño. A análise para a região Nordeste do Brasil, devido à redução da escala, que passou de global a regional, permitiu evidenciar as oscilações associadas a sistemas de menor escala de tempo, destacando as perturbações associadas às ondas de Rossby e em menor intensidade a OMJ.

## ABSTRACT

We analyzed the behavior of the Madden & Julian Oscillation (MJO) during 1993, a year of an El Niño episode. We observed both time and space variation within a strip of the globe limited by the latitudes of 20 °N and 20 °S. To accomplish this, we used the following NCEP-reanalysis daily data: total precipitation rate, mean sea level pressure, zonal wind at 850 and 250 hPa, latent heat flux, long-wave radiation emitted to space and 700-hPa air temperature. These data are distributed in a 2.5 by 2.5 degree grid mesh. Our motivation to develop this study came from the fact, widely supported by literature, that MJO activity tends to be weak or even absent during years of strong or moderate El Niño events. We used Multivariate Analysis: Principal Components, Fourier analysis, and space correlation. The results showed that the Principal Components technique was able to detect the activities of MJO during 1993. By using moving mean in space, we could observe both the time variation and the eastward propagation of the MJO. However the linear correlation technique did not show a good tool to detect the MJO during El Niño years. The North-East of Brazil analysis, through a global-to-regional reduction of scale, allowed a better identification of oscillations associated to systems with smaller time scale. It enhanced the observation of Rossby-type perturbations and, in a lesser degree, the MJO.

## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xv
LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS.....	xvi
LISTA DE APÊNDICES.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3. MATERIAL E METODOLOGIA.....	35
3.1. Dados.....	35
3.2. Metodologia.....	36
3.2.1. Análise de Fourier.....	36
3.2.2. Análise Multivariada: Componentes Principais.....	37
3.3. Média Móvel e Correlações Espaciais.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1. Análise Fatorial em Componentes Principais.....	40
4.1.1. Análise da Componente Temporal.....	41
4.1.2. Análise Componente Espacial.....	52
4.2. Propagação temporal da OMJ .....	57
4.3. Correlações Espaciais.....	66



4.4 Atuação da OMJ sobre o Nordeste do Brasil no ano de 1993.....	69
4.5 Análise dos parâmetros usando Fourier.....	73
5. CONCLUSÕES.....	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
APÊNDICE.....	89
Apêndice A1 – Correlações espaciais (primeira, terceira e quinta componentes)- (referentes ao item 4.1.1).....	90
Apêndice A2 - Segundo, quarto e sexto fatores (complemento do item 4.1.2).....	93
Apêndice A3 – Correlações temporais (primeira, terceira e quinta componentes)- (referentes ao item 4.1.2).....	96
Apêndice A4 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier para o fluxo de calor latente, temperatura do ar no nível de 700 hPa e vento zonal no nível de 200 hPa (complemento do item 4.5).....	99

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 – Um índice das atividades da OMJ das reanálises do ECMWF (linha preta), HADAM3 L19 (linha azul) e HADAM3 L30 (linha vermelha). A intensidade e sazonalidade da OMJ na integração L30 estão relacionados a OMJ observada, embora os picos mais fortes não estejam necessariamente nos mesmos anos (Iness, 2003).....	24
Figura 2.1 – Ângulo de fase médio (graus), coerência quadrada e coerência quadrada conhecida para o intervalo de tempo de aproximadamente 36-50 dias do espectro cruzado entre a pressão na estação da Ilha de Canton e as pressões nas demais estações mostradas no mapa. (adaptado de Madden e Julian 1972).....	28
Figura 2.2 – Desenho esquemático das variações espaço e tempo (plano zonal) do distúrbio associado com a oscilação de 30-60 dias (adaptado de Madden e Julian, 1972a).....	29
Figura 2.3 - Esquema mostrando a relação entre a radiação de onda longa emitida para o espaço como indicado por regiões com nuvens e com céu claro e a circulação em 250 hPa na época em que a nebulosidade é máxima nos Oceanos Índico Oriental e Pacífico Extremo Oeste ( adaptado de Weickmann et al., 1985).....	31
Figura 4.1 – Variação temporal das componentes principais do vento zonal no nível de 850 hPa, correspondem respectivamente à a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator.....	46
Figura 4.2 – Variação temporal das componentes principais do vento zonal no nível de 200 hPa, correspondem respectivamente à a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator.....	47

Figura 4.3 – Variação temporal das componentes principais da pressão ao nível médio do mar, correspondem respectivamente à a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator.....	48
Figura 4.4 – Variação temporal das componentes principais da radiação de onda longa emitida para o espaço, correspondem respectivamente à a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator.....	49
Figura 4.5 – Variação temporal das componentes principais do fluxo de calor latente, correspondem respectivamente à a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator.....	50
Figura 4.6 – Variação temporal das componentes principais da temperatura do ar no nível de 700 hPa, correspondem respectivamente à a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator.....	51
Figura 4.7 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator da Radiação de onda longa.....	54
Figura 4.8 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator da Pressão ao nível médio do mar.....	54
Figura 4.9 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator do vento zonal no nível de 850 hPa.....	55
Figura 4.10 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator do vento zonal no nível de 200 hPa.....	55
Figura 4.11 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator do fluxo de calor latente.....	56
Figura 4.12 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator da temperatura do ar no nível de 700 hPa.....	56
Figura 4.13 – Média móvel em 5 dias da pressão ao nível médio do mar na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	60
Figura 4.14 – Média móvel em 5 dias do fluxo de calor latente na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	61



Figura 4.15 – Média móvel em 5 dias da precipitação na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	62
Figura 4.16 – Média móvel em 5 dias da radiação de onda longa emitida para o espaço na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	63
Figura 4.17 – Média móvel em 5 dias do vento zonal no nível de 850 hPa na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	64
Figura 4.18 – Média móvel em 5 dias do vento zonal no nível de 200 hPa na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	65
Figura 4.19 – Média móvel em 5 dias da temperatura do ar no nível de 700 hPa na faixa latitudinal de 10°S a 10°N.....	66
Figura 4.20 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para a radiação de onda longa emitida para o espaço.....	68
Figura 4.21 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para o fluxo de calor latente.....	68
Figura 4.22 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para a pressão ao nível médio do mar.....	68
Figura 4.23 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para o vento zonal no nível de 850 hPa.....	69
Figura 4.24 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para o vento zonal no nível de 200 hPa.....	69
Figura 4.25 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para temperatura do ar no nível de 700 hPa.....	69
Figura 4.26 – Valores médios de a) Fluxo de calor latente, b) pressão ao nível médio do mar e c) radiação de onda longa emitida para o espaço, para a área do Nordeste do Brasil (situada entre 45°W-35°W e 0°-10°S).....	72
Figura 4.27 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier da pressão ao nível médio do mar: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°;180°) e d) no ponto (0°; 90°W).....	75

- Figura 4.28 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier do Vento Zonal em 850 hPa: a) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $0^{\circ}$ ), b) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ E), c) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $180^{\circ}$ ) e d) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ W)..... 75
- Figura 4.29 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier da radiação de onda longa emitida para o espaço: a) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $0^{\circ}$ ), b) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ E), c) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $180^{\circ}$ ) e d) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ W)..... 76
- Figura 4.30 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier da precipitação: a) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $0^{\circ}$ ), b) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ E), c) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $180^{\circ}$ ) e d) no ponto ( $0^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ W)..... 76

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
Tabela 1 – Variâncias explicadas por cada um dos seis primeiros fatores, e a variância total explicada pelos seis.....	41

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF – Análise Fatorial

CP- Componentes Principais

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecast

ENOS – El Niño Oscilação Sul

EOF- Funções Ortogonais Empíricas

FCL – Fluxo de Calor Latente

NCAR – National Center Atmospheric Resource

NCEP – National Center Environment Predictions

OMJ – Oscilação de Madden e Julian

PNMM – Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar

ROL – Radiação de Onda Longa Emitida para o Espaço

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCPS – Zona de Convergência do Pacífico Sul

U – Vento Zonal

**LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS**

$t$  – Tempo

$X(t)$  – Variável  $X$  no tempo  $t$

$a_0$  – Coeficiente harmônico de ordem zero

$a_k$  e  $b_k$  – Coeficientes de ordem  $k$

$m$  – Número total de harmônicos

$n$  – Número total de dados

$c_k$  – Amplitude do  $k$ -ésimo harmônico

$R$  – Matriz de correlação

$A$  – Matriz de autovetores

$D$  – Matriz diagonal

$\lambda$  - Autovalores

$A^{-1}$  – Inversa da matriz  $A$

$A^t$  – Transposta da matriz  $A$

$Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  – Componentes Principais

$Y$  – Matriz de observações

$R^2_{k,p}$  – Quadrado do coeficiente de correlação da variável  $k$  no ponto  $p$

$Y_{k,p}$  – Valor diário da variável  $k$  no ponto  $p$  menos o seu valor médio ao longo do ano

$[Y]$  – Média móvel

**LISTA DE APÊNDICES**

	<b>Pág.</b>
Apêndice A1 – Correlações espaciais (primeira, terceira e quinta componentes)- (referentes ao item 4.1.1).....	90
Apêndice A2 - Segundo, quarto e sexto fatores (complemento do item 4.1.2).....	93
Apêndice A3 – Correlações temporais (primeira, terceira e quinta componentes)- (referentes ao item 4.1.2).....	96
Apêndice A4 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier para o fluxo de calor latente, temperatura do ar no nível de 700 hPa e vento zonal no nível de 200 hPa (complemento do item 4.5).....	99

## **1 – INTRODUÇÃO**

Um dos grandes desafios para os meteorologistas é identificar antecipadamente as características atmosféricas associadas a casos extremos de precipitação. Identificando os padrões de circulação com antecedência de pelo menos dez dias, tem-se a possibilidade de melhorar os prognósticos e desenvolver métodos de previsão para alertar a sociedade em geral sobre possíveis ocorrências de eventos extremos, tais como estiagens e enchentes.

Extremos de precipitação, em uma determinada região, podem causar grandes danos para a agricultura e a sociedade. As enchentes podem colocar em perigo a vida das pessoas que moram em lugares de alto risco (encostas de morros e na beira de córregos), pois causam deslizamentos de terra e transbordamentos de rios, ocasionando graves impactos econômicos e sociais na região atingida. (Silva & Kousky, 2001).

Estiagens dentro da estação chuvosa podem ter impactos negativos na agricultura, principalmente se ocorrerem numa época em que as culturas necessitem de água regularmente. Por outro lado, estiagens podem ter um impacto positivo na hora da colheita, do cacau, por exemplo, que necessita de vários dias sem chuva para secar o grão. Várias pesquisas apresentam as oscilações intra-sazonais como uma moduladora destes eventos,

podendo atuar tanto bloqueando os sistemas causadores de precipitação, provocando assim estiagens, quanto intensificando os mesmos, e em alguns casos provocando enchentes.

As observações da atmosfera tropical têm revelado dois proeminentes modos de oscilações de baixa frequência, os quais têm recebido grande atenção. São eles, o El Niño – Oscilação Sul (ENOS), que ocorre geralmente em um período de um ano, e as oscilações de 30-60 dias, que foram descobertas por Madden & Julian (1971, 1972a), por isto receberam o nome de Oscilação de Madden & Julian (OMJ). Possíveis ligações entre estes dois fenômenos foram discutidas por Lau & Chan (1985, 1986a) e Kessler (2001) entre outros pesquisadores. O ENOS tem sido exaustivamente documentado do ponto de vista observacional e teórico (Philander, 1990), enquanto a causa fundamental da oscilação de 30-60 dias não foi tão bem investigada e a sua formulação teórica ainda é relativamente obscura, até mesmo após ter-se conhecimento de sua estrutura observacional.

A OMJ é o resultado das células de circulação em grande escala orientadas no plano equatorial que se movem para leste. Anomalias no vento zonal e no potencial de velocidade na alta troposfera frequentemente se propagam por todo o globo, relacionado a isto, são observadas regiões de complexos convectivos que também apresentam um movimento para leste.

A OMJ representa a mais significativa forma de variabilidade atmosférica nos trópicos em escala de tempo intra-sazonal. Desde a sua descoberta no início da década de 1970, uma variedade de estudos vem sendo empreendidos para caracterizar sua estrutura espacial e temporal, teorizar sua origem, simular e prever seu comportamento em modelos numéricos (Waliser et al., 1997). Estudos observacionais descrevem a OMJ como sendo um evento que se propaga para leste, na região equatorial, de número de onda um e oscilação



baroclínica no campo de vento tropical. A velocidade de propagação é da ordem de 6 m/s no hemisfério oriental, onde a OMJ interage fortemente com a atividade convectiva profunda, e de 12 m/s ou mais no hemisfério ocidental, onde ela continua se propagando sem muita influência no campo de nebulosidade. As interações entre a OMJ, anomalias da convecção e a circulação de grande escala são mais fortes no hemisfério oriental, sobre os Oceanos Índico e Pacífico Ocidental, onde a oscilação exibe sua maior variabilidade e tipicamente atinge sua amplitude máxima. Tais interações influenciam fortemente o desenvolvimento e as atividades tropicais, tais como as monções asiática-australianas, e também influencia as condições atmosféricas das regiões extratropicais (Weickmann, 1983; Liebmann & Hartmann, 1984; Weickmann et al., 1985).

Portanto, é oportuno mencionar que de acordo com Knutson & Weickmann (1987) as principais características observacionais da oscilação de 30-60 dias (OMJ) são as seguintes:

- a) caracterizada por anomalias, em escala global, nos campos de vento e convecção tropicais, inclusive com uma modulação nas atividades de monções dos Hemisférios Norte e Sul;
- b) apresenta uma periodicidade que pode variar de 30 a 60 dias;
- c) as anomalias de convecção e de circulação associadas com a OMJ tendem a se propagar para leste com o tempo;
- d) nos trópicos, as anomalias do vento zonal na baixa e alta troposfera estão fora de fase na escala de tempo de 30-60 dias;
- e) a oscilação não apresenta variação sazonal sistemática, em amplitude e periodicidade, mas apresenta sazonalidade nas regiões de máxima variabilidade de radiação de onda longa emitida para o espaço e na resposta extratropical;

- f) há evidências de uma associação entre flutuações na convecção tropical e anomalias da circulação em latitudes médias na escala de tempo de 30-60 dias;
- g) oscilações atmosféricas intra-sazonais, caracterizadas por propagação para leste das anomalias do vento tropical de grande escala, foram observadas nos modelos de circulação geral.

Devido a sua natureza de desenvolvimento lento, uma previsão precisa da OMJ é fundamentalmente relacionada à habilidade do previsor em monitorar as características e estimar sua posição relativa e sua velocidade. Modelos dinâmicos geralmente não prevêm bem a OMJ, de certa forma por causa das dificuldades inerentes que ainda existem no que se refere ao tratamento matemático correto dos processos convectivos tropicais.

Os meteorologistas costumam usar uma variedade de dados e técnicas de análises para monitorar, estudar e prever as oscilações intra-sazonais tropicais e sua evolução. A princípio, dados derivados de satélites NOAA de órbitas polar e geoestacionária. Estes dados são usados para indicar regiões de intensa atividade convectiva tropical, e regiões em que estas atividades desaparecem substancialmente por um longo tempo. Essas saídas do normal são uma ferramenta diagnóstica fundamental a qual é usada diretamente para monitorar e prever a OMJ enquanto ela se propaga por todo o cinturão tropical do Globo.

Uma segunda fonte de dados usados para monitorar a OMJ é a rede de dados de radiossonda distribuída em todo o Globo que fornece informações cruciais referentes a vento, temperatura, umidade e pressão em vários níveis da atmosfera. Estes dados são obtidos duas vezes ao dia, e assimilados por modelos dinâmicos de previsão de tempo em formatos que são altamente eficientes para análises climáticas e previsão numérica de tempo. Combinadas a precipitação observada com imagens de satélite e aos padrões de convecção, estas observações fornecem aos meteorologistas a capacidade para monitorar rotineiramente e avaliar a OMJ e a

sua evolução. Isto também permite uma melhor avaliação dos impactos da atividade da OMJ em características tais como as correntes de jato de inverno, e o ambiente em grande escala dentro do qual desenvolvem-se tempestades tropicais e furacões sobre o Atlântico tropical.

Existem várias análises diagnósticas que nos permite monitorar diretamente a OMJ (NCEP, 2003). Estas análises são frequentemente exibidas em diagramas tempo-longitude com o objetivo de revelar a propagação, amplitude e localização de características relacionadas a OMJ. Diagramas típicos em tempo-longitude incluem 1) radiação de onda longa emitida para o espaço, que é derivada de satélite e serve como medida de convecção tropical e, por consequência, precipitação, 2) potencial de velocidade, que é uma quantidade derivada que isola a componente divergente do vento em altos níveis atmosféricos, 3) anomalias de vento nos baixos e altos níveis e 4) anomalias de altura geopotencial no nível de 500 hPa para representar as respostas atmosféricas nas médias latitudes.

Observa-se que as análises de Weickmann et al., (1985) e de Knutson & Weickmann (1987) referem-se à atuação da OMJ no Hemisfério Oriental. Mas, Kayano et al (1990) mostraram que as precipitações ocorridas de novembro de 1989 a março de 1990 sobre o Brasil, principalmente na Região Nordeste, foram influenciadas pela oscilação de 30-60 dias. Enquanto, Madden & Julian (1994) e Maloney & Hartmann (1998) mostram a atuação da OMJ sobre toda faixa tropical do Globo.

Existe uma forte variabilidade interanual nas atividades da OMJ, com longos períodos de intensas atividades seguidos por períodos em que a oscilação é fraca ou ausente. Esta variabilidade da OMJ está de certa forma ligada ao ciclo do ENSO (Iness, 2003). Por outro lado, estudos observacionais indicam que as atividades da OMJ tendem a ser fracas ou ausentes durante os episódios fortes ou moderados de El Niño, enquanto que nos anos neutros

ou durante eventos fracos de La Niña as atividades da OMJ são freqüentemente substanciais. Estas características são mostradas na Figura 1.1, obtida de Iness (2003). Vale ressaltar que essa Figura foi construída para mostrar o desempenho do Modelo do UK Met Office na avaliação da OMJ quando modificado. Para tanto, Iness (2003) utilizou duas integrações do modelo unificado denominado HADAM3 com 19 e 30 níveis verticais e conseguiu captar as OMJ. Observa-se que quando Iness (2003) usou as reanálises do ECMWF, as atividades da OMJ são muito pequenas nos anos de El Niño (82/83; 87; 92/93). No ano de 1993 as reanálises não foram capazes de identificar as atividades da OMJ, na segunda metade do ano (Figura 1.1). A propósito, o ano de 1993 foi o final de um evento El Niño que teve início em 1991. Este evento foi o mais prolongado do século XX. O motivo desse episódio ter-se prolongado no tempo foi (possivelmente) devido à erupção do Pinatubo (Indonésia) (HANSEN et al., 1993).

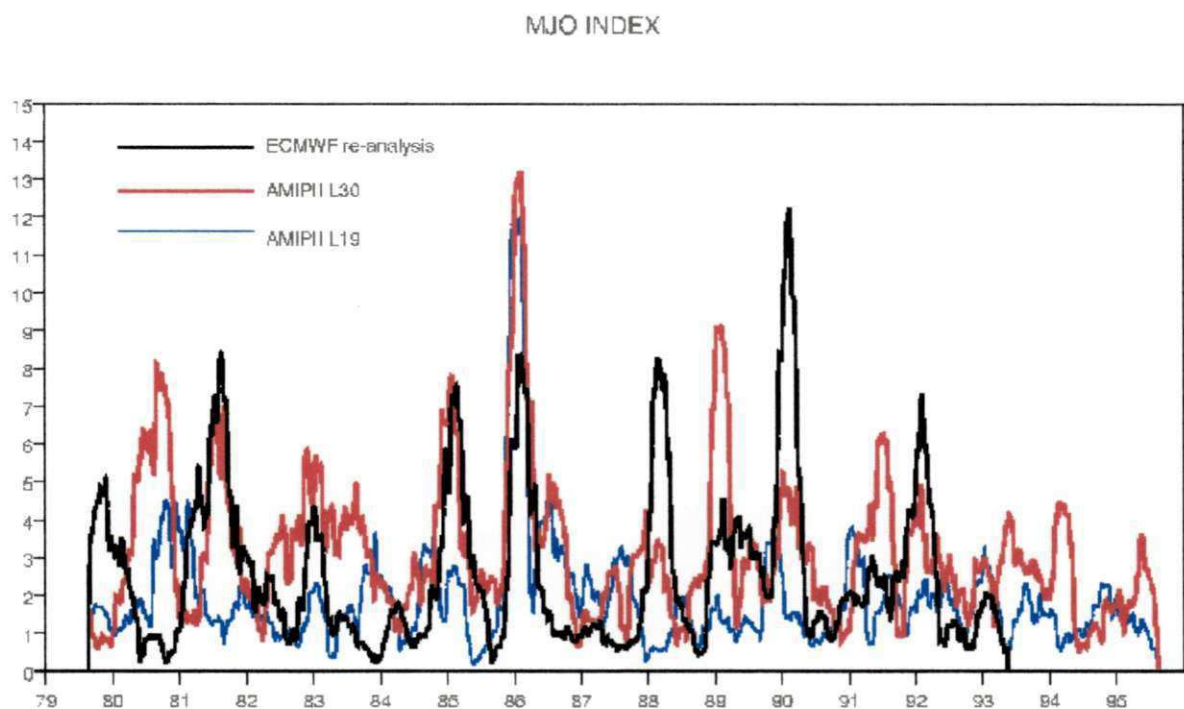


Figura 1.1. Índice das atividades da OMJ das reanálises do ECMWF (linha preta), HADAM3 L19 (linha azul) e HADAM3 L30 (linha vermelha). A intensidade e sazonalidade da OMJ na integração L30 estão relacionados a OMJ observada, embora os picos mais fortes não estejam necessariamente nos mesmos anos. (Fonte: Iness, 2003)

Portanto, esta dissertação tem como meta principal identificar as atividades da OMJ no ano de 1993, ano este em que ocorreu um episódio de El Niño e que as reanálises do ECMWF não foram capazes de visualizar suas atividades. A ferramenta básica a ser utilizada é a técnica de Análise de Componentes Principais. Além disso, pretende-se identificar a atuação da OMJ sobre o Nordeste do Brasil, analisando elementos de meteorológicos tais como vento, pressão e precipitação pois, a estiagem em março, e as chuvas, em abril, de 1993, possivelmente foram decorrentes da OMJ.

## **2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Como já mencionado anteriormente a OMJ é definida como sendo uma oscilação de número de onda 1, com ângulo de fase entre cavado e crista variando de aproximadamente  $110^\circ$ , na fase inicial de maturação a  $230^\circ$  na fase final, que se propaga para leste. Na atuação da fase negativa (cavado) da onda de 30-60 dias sobre os oceanos Índico e Pacífico ocidental a atividade convectiva aumenta na região e na atuação da fase positiva (crista) diminui, este aumento e diminuição da atividade convectiva podem ser observadas em imagens de satélite.

Utilizando dez anos de dados de Radiação de Onda Longa (ROL) emitida para o espaço e circulação global em 250 hPa e análise espectral cruzada, Weickmann et al. (1985) mostraram que as oscilações em escala planetária de 28-72 dias, de ROL e da circulação em 250 hPa, são características estatisticamente significativas em todo o conjunto de dados. As flutuações de ROL de 28-72 são mais facilmente observadas, em imagens de satélite, na região compreendida entre o equador e  $15^\circ\text{S}$ , e da longitude  $60^\circ$  até  $160^\circ\text{E}$  e na vizinhança da Zona de Convergência do Pacífico Sul. Enquanto, a função de corrente mostra flutuações de 28-72 dias estatisticamente significativa nos subtrópicos de ambos os hemisférios e acima desta região no Atlântico Norte.

Knutson & Weickmann (1987) usando dados das análises do modelo de grande escala do NCEP (National Center Environment Predictions - dos Estados Unidos da América) e ROL para os anos de 1979 a 1984 para duas estações distintas, a primeira de novembro a abril e a segunda de maio a outubro, observaram que as características da circulação divergente tropical de grande escala (número de onda um), na alta troposfera, propagando-se para leste ao redor do Globo, nas duas estações, apresentavam uma boa concordância com a propagação para leste da convecção tropical, que foi calculada usando os dados de ROL. Concluíram que as anomalias de convecção são menores sobre a África e a América do Sul do que sobre os Oceanos Índico e Pacífico Oeste. Anomalias de ROL são quase nulas sobre as águas da superfície do mar mais frias, como é o caso do Pacífico Equatorial Leste. Flutuações na convecção das regiões de monções de verão são influenciadas pela onda de grande escala, tipo oscilação de 30-60 dias, que se move para leste.

No final da década de 1960 a análise espectral estava começando a ser utilizada eficazmente para extrair informações de dados de radiossonda de estações extensamente espalhadas. Maruyama (1967, 1968) as usou para descrever as ondas mistas Rossby gravidade na estratosfera equatorial, Wallace & Kousky (1968) usaram para identificar as ondas de Kelvin estratosféricas. Além destes, Yanai et al (1968) e Wallace & Chang (1969) fizeram uso da análise espectral para explicar características de fenômenos de escala sinótica na troposfera tropical. No início da década de 1970 Madden & Julian (1971) observaram oscilações tropicais de 40-50 dias nos campos de pressão atmosférica à superfície, vento zonal e temperatura em vários níveis a partir da análise espectral destas variáveis na Ilha de Canton.

Madden & Julian (1971) utilizaram dados de radiossondagens do NCAR, da Ilha de Canton (2,8°S; 171,7°W) para um período de 10 anos. Depois de realizada a

computação espectral e espectral cruzada das variáveis obtidas nas radiossondagens de Canton, pôde-se perceber uma coerência entre a pressão à superfície, vento zonal e temperaturas em vários níveis em uma grande faixa de tempo de 41 a 53 dias. Os espectros destas variáveis também têm máximos relativos, ou picos, nestes períodos. A pressão à superfície esteve coerente e em fase com o vento zonal em 850 hPa, e coerente e aproximadamente fora de fase (em um décimo de ciclo) com as temperaturas de 700 até 150 hPa. O vento zonal em 850 hPa estava coerente e fora de fase com o vento zonal em 300 e 100 hPa.

Por outro lado, Madden & Julian (1972b) utilizando dados de outras estações além da Ilha de Canton obtiveram picos espectrais na faixa de 40-50 dias entre estações distantes uma das outras. Eles observaram duas bandas de frequência que eram altamente coerentes. Uma com período de 5 a 6 dias e a outra de 12 a 100 dias, com máximos em 40-50 dias. Ainda observaram que existiam diferenças significativas entre os ângulos de fase destas duas faixas de períodos. Para o período de 5-6 dias Balboa seguia Canton (propagação para oeste). Este distúrbio propagando-se para oeste parece ser de escala global, possivelmente onda de Rossby. Enquanto, nas perturbações de períodos mais longos (40-50 dias) Canton seguia Balboa (propagação para leste) e apresentava-se consistente com um distúrbio de número de onda zonal igual a 1.



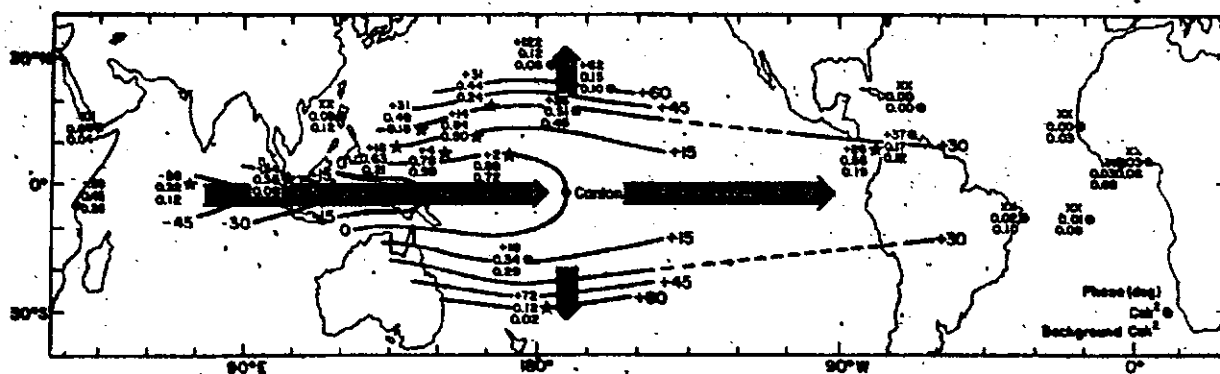


Figura 2.1 - Ângulo de fase médio (graus), coerência quadrada ( $Coh^2$ ) e coerência quadrada conhecida para o intervalo de tempo de aproximadamente 36-50 dias do espectro cruzado entre a pressão na estação da Ilha de Canton e as pressões nas demais estações mostradas no mapa. O modelo de plotagem é apresentado no canto inferior direito. Ângulo de fase positivo significa que a série no tempo segue a Ilha de Canton. As estrelas indicam estações onde a coerência quadrada excedeu uma coerência conhecida suavizada ao nível de 95%. As coerências quadradas médias em Shemya ( $52,8^\circ N$ ,  $174,1^\circ E$ ) e Ilha de Campbell ( $52,6^\circ S$ ,  $169,2^\circ E$ ) (não mostradas) são 0,08 e 0,02, respectivamente. Ambas estão abaixo de suas coerências quadradas conhecidas médias. Os valores em Dar es Salaam ( $0,8^\circ S$ ,  $39,3^\circ E$ ) são de um espectro cruzado com Nauru. As flechas indicam direção de propagação (adaptado de Madden & Julian 1972b) (Fonte: Madden & Julian, 1994).

Na Figura 2.1 extraída de Madden & Julian (1994) são apresentadas as características básicas de atuação e propagação da OMJ. Observam-se atividades da OMJ em toda faixa tropical e sub-tropical, principalmente sobre os oceanos Índico e Pacífico, mas também sobre a América do Sul.

A soma das evidências sugeriu que as oscilações são um resultado do movimento para leste das células de circulação de grande escala orientadas no plano equatorial. A Figura 2.2 é uma representação esquemática da estrutura vertical, do nascimento, desenvolvimento, propagação para leste e dissipação da OMJ. Verifica-se que as atividades convectivas associadas com a OMJ são bastante intensas no Índico e Pacífico Centro-Ocidental e diminuindo no Pacífico Oriental.

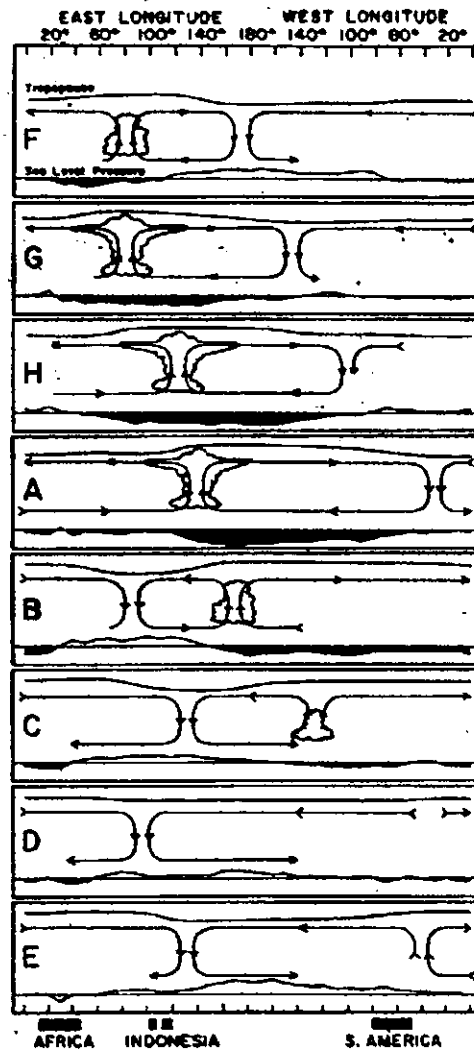


Figura 2.2- Desenho esquemático das variações espaço e tempo (plano zonal) do distúrbio associado com a oscilação de 30-60 dias. As datas são indicadas simbolicamente pelas letras no canto esquerdo de cada gráfico e correspondem com as datas associadas com a oscilação na Ilha de Canton. A letra A refere-se ao tempo em que a baixa pressão estava sobre a Ilha de Canton e a letra E ao tempo em que a alta pressão estava sobre a Ilha de Canton. As outras letras representam tempo intermediário. O distúrbio da pressão média é plotado na parte inferior de cada gráfico com anomalias negativas escurecidas. As células de circulação são baseadas no distúrbio do vento zonal médio. Regiões de aumento da convecção de grande escala são representadas por nuvens cumulus e cumulonimbus. A altura relativa da tropopausa é indicada na parte superior de cada gráfico (tomado de Madden & Julian, 1972b) (Fonte: Madden & Julian, 1994)

Gruber (1974) computou o espectro tempo-espaco de dados de brilho de nuvem obtidos através de satélite para o período de maio até outubro de 1967. Ele encontrou brilhos

máximos relativos se propagando para leste, com um período de 50 dias, para o número de onda zonal um na faixa que vai do equador até 10°N, já em 15°N este máximo não era evidente. Por outro lado, Zangvil (1975) mostrou o movimento de nuvens para leste com um diagrama tempo-longitude ao longo do equador. Suas análises do comprimento de onda, contudo, sugeriram que a configuração espacial estava mais próxima de uma onda número 2 do que de uma número 1. Entretanto, Zangvil (1975) também apresentou espectro espaço-tempo que tem evidências de onda 1 e 2, de 40 dias, com propagação para leste. Ele também observou que durante o verão de (1967) no hemisfério norte a atividade máxima esteve por volta de 5° e 10°N, e durante o inverno (1967/68) estava em torno do equador e 5°S. Isto é consistente com o máximo de atividade de nuvens no período de 40-50 dias localizada na vizinhança da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Weickmann (1983), Weickmann et al. (1985), Knutson et al. (1986), Knutson & Weickmann (1987) e Kiladis & Weickmann (1992) descreveram aspectos globais da oscilação como ela ocorria nos campos de ROL, de Função de Corrente e Potencial de Velocidade em 250 hPa. Eles mostraram uma propagação regular de ROL e Potencial de Velocidade para leste na região equatorial. Em particular, as anomalias de ROL seguem a divergência nos altos níveis e apresentam-se mais forte sobre os oceanos Índico e Pacífico oeste, tornam-se desprezíveis sobre as águas frias do Pacífico leste e Atlântico, e fracas, mas presentes, sobre a América do Sul e África. As anomalias de ROL também se mostraram mais fortes no hemisfério de verão. O vento zonal em 250 hPa propagou-se com uma velocidade de aproximadamente 6m/s de 40° a 160°E e então com 15m/s de 160°E até o Meridiano de Greenwich.

Vale salientar que Gray (1988) e Kuhnel (1989) em trabalhos independentes observaram o deslocamento do pico espectral para um período em torno de 26 dias durante os anos de 1980-85, período em que ocorreu um forte aquecimento das águas do Pacífico Equatorial 1982/83. Estas características são consistentes com sugestões de Waliser et al. (1997) de que a oscilação tende a ter uma frequência mais alta durante anos de águas mais aquecidas ou El Niño - Oscilação Sul (ENOS) (Gray 1988; Kuhnel 1989).

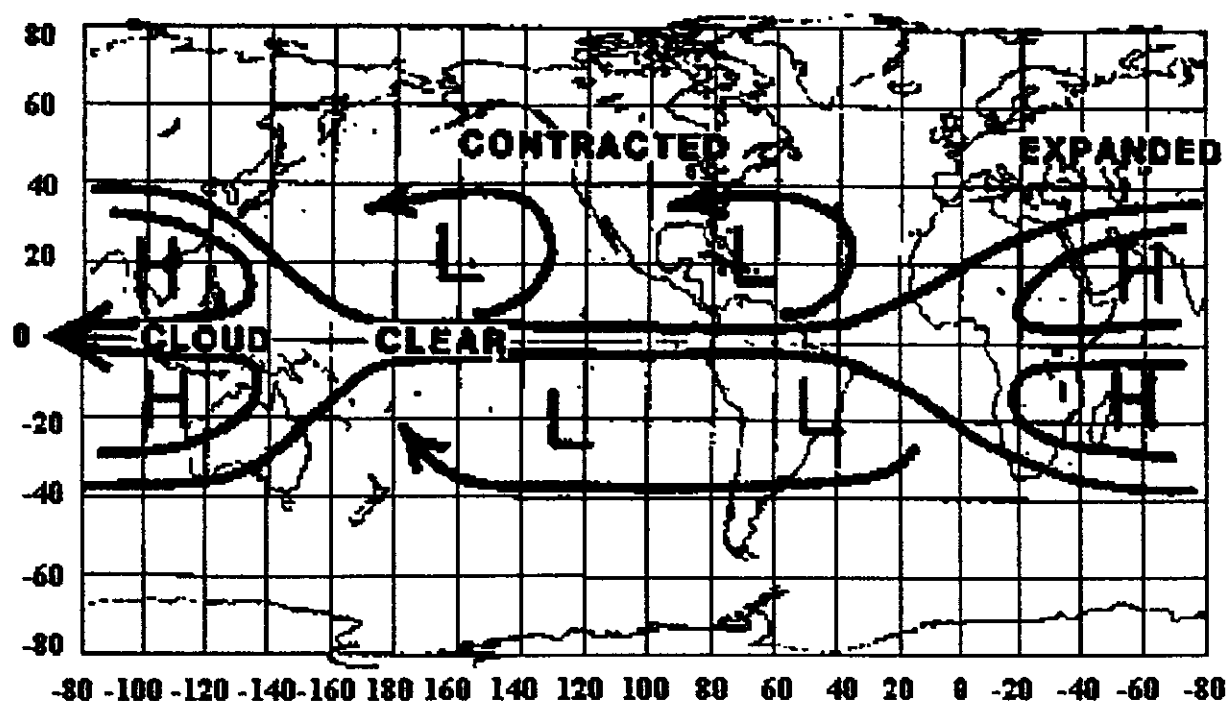


Figura 2.3- Esquema mostrando a relação entre a radiação de onda longa emitida para o espaço como indicado por regiões com nuvens e com céu claro e a circulação em 250 hPa na época em que a nebulosidade é máxima nos Oceanos Índico Oriental e Pacífico Extremo Ocidental (Fonte: Weickmann et al., 1985)

A Figura 2.3 é um esquema obtido de Weickmann et al (1985) para a circulação em 250hPa. Trata-se da estrutura horizontal da atuação da OMJ. Onde se pode observar um par de anticiclones, ao norte e sul do equador, no Hemisfério Oriental e um par de ciclones no

Hemisfério Ocidental. Essas características fazem com que a atuação da OMJ fique mais evidente no Hemisfério Oriental.

Um aspecto importante da OMJ é sua modulação da convecção da monção Indiana durante o verão do Hemisfério Norte. Isto levou Yasunari (1981) a descrever a existência de uma variação sazonal na oscilação, principalmente associada ao seu papel sobre as monções Indiana e Australiana. Porém, outros pesquisadores, a exemplo de Zangvil (1975), Wang & Rui (1990), Weickmann et al. (1985), Knutson et al. (1986) e Knutson & Weickmann (1987) notaram que, em geral, a atividade convectiva prefere o hemisfério de verão e a proximidade da ZCIT, o que de certa forma está menos relacionado com as monções. Entretanto, Madden & Julian (1994) conjecturaram que o período médio da oscilação não tem uma grande variação com a estação do ano, ou seja, a variação sazonal é melhor observada na amplitude que no período médio.

Uma outra característica da oscilação especificamente relacionada ao cisalhamento vertical é a tendência do vento zonal ser coerente e fora de fase entre a baixa e a alta troposfera sobre os oceanos Pacífico Tropical e Índico. Além do que esta característica tem uma interessante variação sazonal (Madden 1986).

As variações sazonais foram interpretadas tais como as que ocorreram em estações nos oceanos Índico e Pacífico oeste, de acordo com resultados da migração sazonal de convecção associada com a ZCIT. A ZCIT está mais ao sul durante o inverno no Hemisfério Norte, e a coerência vertical entre o vento  $u$  é maior em Darwin e em outras estações do Hemisfério Sul nesta época. O oposto também acontece no inverno do Hemisfério Sul.

Junto às variações do estresse do vento sobre o mar da Arábia (Wylie & Hilton 1982) e o oceano Pacífico (Madden 1992), eles observaram que os efeitos da oscilação também são manifestados nos oceanos. Lau & Chan (1985, 1986b) propuseram a interação oceano-atmosfera como uma possível ligação entre a oscilação e o início do El Niño. Krishnamurti et al. (1988) observaram variações na TSM em escala de tempo de 30-50 dias da ordem de 0,5°-1,0°C, com variações mais fortes ocorrendo sobre o oceano Pacífico equatorial oeste e a Baía de Bengala. Eles também estudaram o fluxo de calor sensível e latente entre a atmosfera e o oceano.

Em se tratando do oceano Pacífico, Gill (1980) usando um modelo de soluções simples para uma circulação tropical induzida pelo aquecimento observou uma piscina quente no Pacífico Ocidental, modificando a circulação da atmosfera, produzindo convecção que se propaga para leste.

É oportuno mencionar o estudo realizado por Casarin & Kousky (1986) que foi o pioneiro em mostrar a relação entre a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), na escala intra-sazonal de 30-60 dias. Seguindo as pegadas de Casarin & Kousky (1986), Silva Dias et al. (1988) conjecturaram que os períodos de intensificação da ZCAS poderiam estar associados com uma das fase da OMJ.

Usando funções ortogonais empíricas (EOF) de anomalias de ROL e vento em 250 hPa para a América do Sul, no período de janeiro de 1979 a dezembro de 1991, Kousky & Kayano (1994) observaram características atmosféricas relacionadas com os extremos da Oscilação Sul e a OMJ, principalmente na região Tropical. Kessler (2001) fez uso das análises de EOF do campo de ROL e vento zonal em 250 hPa, durante o episódio do ENOS 1997/98, para investigar a atividade da OMJ no período de El Niño. Concluiu que as duas primeiras

componentes concordavam com o ciclo do ENOS, enquanto as perturbações com frequências da ordem de 30-60 dias estavam coerentes com a terceira componente.

Recentemente, Vitorino (2002) utilizou técnicas de regressão linear e de redes neurais nos campos das reanálises de ROL, pressão reduzida ao nível médio do mar e vorticidade relativa em 250 hPa sobre a América do Sul e adjacências. Concluiu que a previsão das oscilações de ROL na escala de 45 dias para a região da ZCAS, obtidos por redes neurais artificiais, mostram um melhor desempenho que a produzidas pela regressão linear múltipla.

Pelo exposto fica claro que a competição/cooperação entre oceano e atmosfera é significativamente afetada, tanto por eventos com perturbações interanuais como o ENOS, como por flutuações intra-sazonais como a OMJ. Além disto, existem evidências de que o comportamento das atividades da OMJ nos anos de episódios ENOS não é semelhante ao usual, de maneira que ainda merece ser investigada.

### **3 – MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Dados**

Neste estudo foram utilizados dados dos campos diários da taxa de precipitação total ( $\text{Kg.m}^{-2}.\text{s}$ ), da pressão ao nível médio do mar (hPa), do vento zonal em 850 e 200hPa ( $\text{ms}^{-1}$ ), do fluxo de calor latente ( $\text{Wm}^{-2}$ ), da radiação de onda longa emitida para o espaço ( $\text{Wm}^{-2}$ ) e da temperatura do ar em 700 hPa ( $^{\circ}\text{C}$ ) na faixa tropical ( $20^{\circ}\text{S}$  e  $20^{\circ}\text{N}$ ) de todo o Globo ( $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$ ), obtidos a partir dos dados das reanálises do NCAR/NCEP (Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas – National Center Atmospheric Resource – e Centro Nacional de Previsão Ambiental – National Center Environment Predictions - do Estados Unidos da América). Esses dados estão distribuídos em uma malha de pontos de grade de  $2,5^{\circ}\text{X}2,5^{\circ}$ , cobrindo todo o Globo, e estão disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Análise de Fourier

Os coeficientes e amplitudes dos harmônicos das séries das variáveis analisadas foram calculados utilizando o método de Fourier, ou seja, supondo que a variável em questão, aqui referida com  $X(t)$ , pode ser representada de acordo com Bloomfield (1976) pela seguinte série temporal:

$$X(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^m [a_k \cos(w_k t) + b_k \text{sen}(w_k t)] \quad (1)$$

onde,  $X(t)$  é a pressão atmosférica no tempo  $t$ ,  $a_0$  representa o coeficiente harmônico de ordem zero e  $a_k$  e  $b_k$  são os coeficientes de ordem  $k$ ,  $m$  é o número total de harmônicos, em geral, dado pelo inteiro de  $n/2$ ,  $n$  é o número total de dados e  $w_k$  é dado por:

$$w_k = \frac{2\pi k}{n}; \quad k = 1, 2, \dots, n/2 \quad (2)$$

$a_0$ ,  $a_k$  e  $b_k$  são representados por:

$$a_0 = \frac{2}{n} \sum_{t=0}^{n-1} X(t) \quad (3)$$

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{t=0}^{n-1} [X(t) \cos(w_k t)] \quad k = 1, 2, \dots, n/2 \quad (4)$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{t=0}^{n-1} [X(t) \text{sen}(w_k t)] \quad k = 1, 2, \dots, n/2 \quad (5)$$

e a amplitude do  $K$ -ésimo harmônico é dada por:

$$c_k = \frac{1}{2} \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (6)$$

### 3.2.2 Análise Multivariada: Componentes Principais

A metodologia desta pesquisa baseou-se nas técnicas de Análise Multivariada. Considerou-se a Análise Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP) nos modos espacial e temporal para definir os padrões de variabilidade intra-sazonal das seguintes variáveis: pressão atmosférica ao nível médio do mar, vento zonal e meridional, radiação de onda longa e precipitação. Utilizou-se essa técnica porque é um método de redução de dados, tendo como vantagem o fato de que a máxima variância pode ser explicada pela classificação dos autovetores associados aos maiores autovalores da matriz de correlação, ou seja, a amostra de dados originais pode ser analisada a partir de um número pequeno de componentes independentes entre si (ortogonais) (Preisendorfer, 1988).

A partir da matriz de dados normalizada das variáveis em questão,  $X_1, X_2, \dots, X_p$  obtém-se a matriz de correlação  $R$  dada por:

$$R = \frac{1}{n-1} (Z)'(Z) \quad (7)$$

Sendo  $R$  uma matriz simétrica positiva de dimensão  $(k \times k)$ , ela é diagonalizável por uma matriz  $A$ , de mudança de base, denominada de autovetores. A matriz diagonal  $D$  cujos elementos diagonais são os autovalores  $(\lambda)$  de  $R$ , é expressa por:

$$D = A^{-1} R A \quad (8)$$

Por causa da ortogonalidade dos autovetores, a inversa de  $A$  ( $A^{-1}$ ) é igual a sua transposta ( $A^t$ ). Assim, as componentes principais  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores ( $A^t$ ) e a matriz de observações ( $Y$ ), ou seja:

$$Z = A^t Y \quad \text{e} \quad Y = A Z \quad (9)$$

Cada linha de  $Z$  corresponde a uma Componente Principal que forma as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de  $Y$  do  $n$ -ésimo local podem ser calculados por:

$$Y_i = a_{j1}Z_1 + a_{j2}Z_2 + \dots + a_{jk}Z_k + a_{jp}Z_p \quad (10)$$

Cada Componente Principal tem uma porção da variância total dos dados de uma determinada variável, e são ordenadas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de  $a_k$  em  $A$ , dada por:

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_{j,i} Y_j \quad (11)$$

Em geral, o número escolhido de CPs é baseado no critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores à unidade (Garayalde et al., 1986). Entretanto, neste estudo serão escolhidas as seis primeiras CPs. Os fatores comuns são obtidos pela relação entre a matriz dos autovetores ( $A$ ) e a raiz quadrada do autovalor ( $\lambda$ ), ou seja, o primeiro fator comum é obtido pela relação entre o primeiro autovetor ( $a_{11}$ ) e o primeiro autovalor ( $\lambda_1$ ) e assim sucessivamente (Wilks, 1995). A distribuição espacial dos fatores comuns representa a contribuição (peso) destes em relação à variância total do conjunto de dados da variável analisada. As variáveis são normalizadas, logo quanto maior for o peso maior contribuição a variância.

### 3.3 Média Móvel e Correlações Espaciais

Supomos que os valores observados de uma série de  $n$  dias consecutivos de uma variável meteorológica  $Y$  são dados por  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ . A média móvel (corrida), por exemplo, de 5 dias, da variável  $Y$  é tomada da seguinte maneira:  $[Y]_3 = (Y_1 + Y_2 + Y_3 +$

$Y_4 + Y_5)/5$ ;  $[Y]_4 = (Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6)/5$ , e assim sucessivamente até  $[Y]_{n-2} = (Y_{n-4} + Y_{n-3} + Y_{n-2} + Y_{n-1} + Y_n)/5$ . Obviamente verifica-se que as médias corridas de 5 dias filtram oscilações inferiores a 2,3 dias. Naturalmente, pode-se obter séries da variável  $Y$  com média corrida de  $k$  dias tal que oscilações de até  $k-2$  dias são filtradas,  $k$  é um número ímpar inferior a  $n/2 - 1$ .

A equação da análise da correlação ao quadrado ( $r^2$ ) é dada por:

$$r_{k,p}^2 = \frac{\left( \sum_{k=1/01/1993}^{k=31/12/1993} (Y_{k,(0;180)} - Y_{k,p}) \right)}{\sqrt{\sum_{k=1/01/1993}^{k=31/12/1993} Y_{k,(0;180)}^2} \sqrt{\sum_{k=1/01/1993}^{k=31/12/1993} Y_{k,p}^2}} \quad (12)$$

em que  $r_{k,p}^2$  é o quadrado do coeficiente de correlação da variável  $k$  no ponto de grade  $p$   $Y_{k,p}$  é o valor diário da variável  $k$  no ponto de grade  $p$  menos o seu valor médio ao longo do ano de 1993. Os valores da variável  $k$  foram extraídos da faixa tropical (20°N a 20°S) das reanálises do NCEP/NCAR, os quais estão dispostos em uma malha de 2,5° X 2,5° sobre todo globo.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste estudo foram analisados e discutidos os campos das seguintes variáveis: Radiação de Onda Longa – ROL, Fluxo de Calor Latente – FCL, Pressão ao nível médio do mar, Temperatura do ar no nível de 700 hPa, Precipitação (mm/dia) (os dados de precipitação foram obtidos através dos dados diários da taxa de precipitação total), Vento Zonal em 200 hPa e 850 hPa, para os 365 dias do ano de 1993.

### **4.1 – Análise Fatorial em Componentes Principais**

A tabela 1 mostra a contribuição (variância explicada) individual e acumulada das seis primeiras componentes de cada variável. Observa-se que o total acumulado para o fluxo de calor latente explica 37,8% da variância total, enquanto para o ROL explica 88,6%. As componentes 4, 5 e 6 explicam 3,418%; 2,768% e 2,468% para o fluxo de calor latente e 3,241%; 1,351% e 1,038% para o ROL, respectivamente.

Variável/ Variância Explicada	Variância explicada para o 1º Fator (%)	Variância explicada para o 2º Fator (%)	Variância explicada para o 3º Fator (%)	Variância explicada do 4º Fator (%)	Variância explicada para o 5º Fator (%)	Variância explicada para o 6º Fator (%)	Variância dos seis primeiros fatores (%)
FCL	16,614	7,530	4,984	3,418	2,768	2,468	37,782
U em 850 hPa.	18,961	6,082	5,266	4,723	3,295	2,714	41,041
T em 700 hPa	16,375	14,760	4,880	2,667	2,561	2137	43,388
U em 200 hPa	33,000	8,800	5,248	4,739	3,666	3,323	58,775
PNMM	35,979	12,025	10,320	8,009	7,919	2,580	76,832
ROL	52,316	21,869	8,406	3,241	1,351	1,038	88,590

Tabela 1 – Variâncias explicadas por cada um dos seis primeiros fatores, e a variância total explicada pelos seis.

#### 4.1.1 – Análise da Componente Temporal

Com base na Análise Fatorial em Componentes Principais, foram analisados os seis primeiros fatores de cada variável, estes fatores foram calculados para uma faixa latitudinal de 20°S a 20°N em volta de todo o globo (0° a 360°). Os campos das correlações espaciais das seis primeiras componentes estão apresentados no apêndice A1.

O primeiro fator, como pode ser observado em todas as variáveis estudadas, representa o ciclo anual, e à medida que a ordem dos fatores é aumentada, as oscilações de maior frequência vão sendo melhores observadas. Este resultado concorda com Kessler (2001).

Analisando o vento zonal em 850 hPa (Figuras 4.1a, 4.1b e 4.1c), e fazendo um paralelo com o vento zonal em 200 hPa (Figuras 4.2a, 4.2b e 4.2c), pôde ser verificado que nossos resultados coincidem com as características citadas no trabalho de Madden & Julian

(1994): que estes dois parâmetros estão coerentes e fora de fase, apresentando uma configuração baroclínica. Esse padrão é melhor observado para os três primeiros fatores. Porém, as flutuações dos dois primeiros fatores são dominadas pelo ciclo anual, concordando com Knutson & Weickmann (1987), que descreveram que uma das características marcantes da OMJ é o padrão baroclínico no campo do vento. Nas análises do vento em 850 e 200 hPa verifica-se a presença da oscilação de 30-60 dias, especialmente nos fatores de ordem 3, 4 e 5 (Figuras 4.1b, 4.1c, 4.2b e 4.2c), além de outras de períodos menores, de 12-15 dias e de 5-6 dias, mais bem visualizadas para os fatores de ordem 5 e 6 (Figuras 4.1c e 4.2c), oscilações com estas frequências também foram observadas por Madden & Julian (1972b), e eles concluíram que possivelmente se tratavam de perturbações devido às ondas de Rossby. É interessante mencionar que o quinto fator do campo de vento em 850 hPa (Figura 4.1c) é caracterizado por uma marcante flutuação na escala de tempo de 30-60 dias, esta característica também é observada no quinto fator em 200 hPa (Figura 4.2c), mas com menor intensidade. No terceiro fator de ambos (Figuras 4.1b e 4.2b) pode-se observar que para cada pico máximo positivo em 200 hPa temos um pico máximo negativo em 850 hPa.

Na análise da pressão ao nível médio do mar (Figuras. 4.3a, 4.3b e 4.3c) foi possível perceber claramente a coerência e a fase entre a pressão e o vento em 850 hPa, assim como a coerência e a defasagem do ângulo de fase com o vento zonal em 200 hPa, principalmente para o primeiro fator (Figuras 4.1a, 4.2a e 4.3a). Como a pressão, na região tropical, é uma variável em que o ciclo anual não é tão pronunciado, ou seja, apresenta uma amplitude anual relativamente pequena nos trópicos, as oscilações com frequências superiores as estações do ano, intra-sazonais, já são visualizadas na configuração do primeiro fator.

Entretanto, fazendo uma comparação entre o primeiro fator do campo da pressão e o do campo do vento zonal em 850 hPa, observa-se, que de um modo geral, os mesmos estão em fase, com valores positivos do final do outono ao início da primavera (Hemisfério Sul) e negativos fora desse período (Figura 4.1a e 4.3a). Porém, quando é levada a cabo uma comparação, para o primeiro fator, entre a pressão e o vento em 200 hPa observa-se que esses parâmetros são coerentes mas fora de fase (Figuras 4.2a e 4.3a). Usando a técnica da análise de Fourier Madden & Julian (1994) chegaram a resultados semelhantes.

Por outro lado, analisando o segundo fator do campo de pressão percebe-se claramente, nos cem primeiros dias do ano, perturbações com frequência de aproximadamente 20-25 dias (Figura 4.3a), oscilações com frequência dessa ordem foram observadas por Vitorino et al (2002). O terceiro fator (Figura 4.3b) mostra uma tendência de configuração das estações do ano, porém a sua estrutura não está bem definida, fazendo com que as oscilações de aproximadamente 5-6 dias fiquem destacadas, possivelmente decorrente da atuação de ondas de Rossby. Para os fatores de ordem 5 e 6, observa-se que as oscilações com frequências superiores a 15 dias são dominantes (Figura 4.3c), contudo o quinto fator mostra a atuação de oscilações de aproximadamente 20 dias durante o inverno (Hemisfério Sul).

O comportamento temporal para as seis primeiras componentes do campo de ROL é apresentado nas Figuras 4.4a, 4.4b e 4.4c. Observa-se que, para o caso do ROL, ao contrário da pressão ao nível médio do mar, o ciclo anual é bastante significativo, isto porque, nos trópicos o ROL tem uma relação direta com a nebulosidade e conseqüentemente com a precipitação. A série temporal do primeiro fator de ROL, ao longo do ano, é quase uma função seno/coseno (Figura 4.4a). Padrões semelhantes são observados para os fatores de ordem 2 e 3,



e até mesmo para o fator de ordem 4, em que no outono e primavera observam-se valores positivos e negativos no inverno e verão (Figura 4.b). Entretanto, oscilações com frequência mais elevadas que as estações do ano já são verificadas no fator de ordem 4 (Figura 4.4b). No quinto fator uma configuração relacionada com as estações do ano ainda está presente, porém perturbações de maiores frequências já começam a se destacarem, principalmente no inverno (Figura 4.4c). Finalmente, no sexto fator, a partir do final de maio, as oscilações intra-sazonais já são predominantes (Figura 4.4c). De uma maneira geral, as configurações para o campo de ROL não apresentam claramente perturbações em escala de tempo intra-sazonal. Isto possivelmente está relacionado ao fato de que 1993 foi um ano de El Niño, e o estudo do NCEP (2003), que utiliza ROL com uma das variáveis chave para observar as flutuações intra-sazonais, concluíram que as atividades da OMJ são fracas ou ausente em anos de El Niño.

É interessante mencionar que fazendo uma comparação entre ROL e a pressão, apesar das diferenças nas amplitudes do ciclo anual. Observa-se que o primeiro fator apresenta uma configuração fora de fase entre estas variáveis (Figuras 4.3a e 4.4a), padrão semelhante é observado para ROL e o vento zonal em 850 hPa (Figuras 4.1a e 4.4a) e configuração em fase entre ROL e o vento zonal em 200 hPa (Figuras 4.2a e 4.4a). Enquanto, a partir do 2º fator não há um padrão bem definido da coerência entre ROL e as variáveis citadas. Isto ocorre possivelmente devido à resposta de cada variável às oscilações de frequência intra-sazonal.

As Figuras 4.5a, 4.5b e 4.5c mostram as análises da flutuação temporal das seis primeiras componentes principais do campo do fluxo de calor latente, na faixa tropical (20°N-20°S) do globo, no ano de 1993. Assim, como nas outras variáveis observa-se nas componentes 1 e 2 (Figura 4.5a) a presença do ciclo anual, entretanto na segunda componente já é possível

verificar oscilações de frequências relativamente altas. A componente 3 (Figura 4.5b) mostra as flutuações relacionadas com as estações do ano: inverno-verão e outono-primavera, porém atrasadas no tempo, além de oscilações de maiores frequências. A componente 4 (Figura 4.5b) mostra uma configuração da OMJ nos primeiros dias do ano, enquanto a componente 5 (Figura 4.5c) apresenta uma configuração de OMJ durante quase o ano inteiro. Essa configuração é semelhante à do campo de vento em 850 hPa. Esse resultado concorda com a teoria de Emanuel (1987), que tem como base da propagação da OMJ a cooperação convergência de vento-*evaporação*.

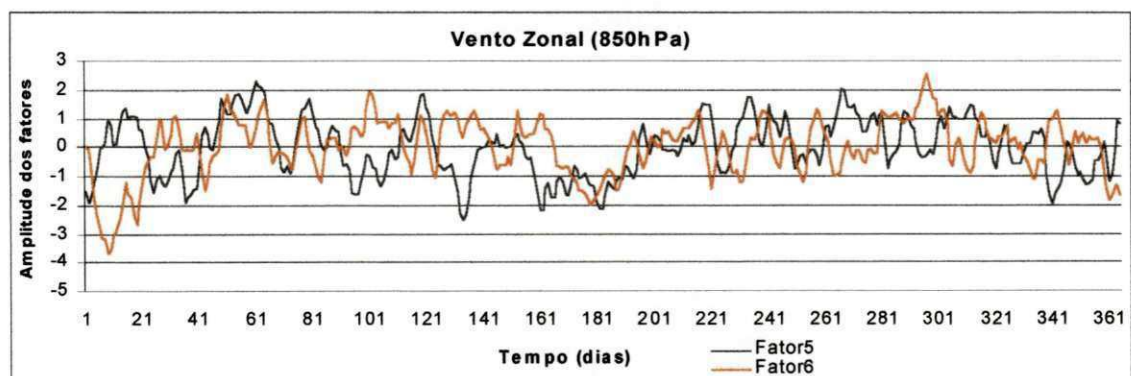
O comportamento temporal dos seis primeiros fatores do campo de temperatura do ar em 700 hPa (Figuras 4.6a, 4.6b e 4.6c) segue um padrão semelhante ao das demais variáveis, ou seja, a flutuação do ciclo anual é claramente observada nos dois primeiros fatores (Figura 4.6a). À medida que a ordem dos fatores vai aumentando são verificadas oscilações com características *intra-sazonais*. As flutuações com frequências de 30-60 dias ou superiores são observadas a partir do terceiro fator (Figuras 4.6b e 4.6c).



(a)

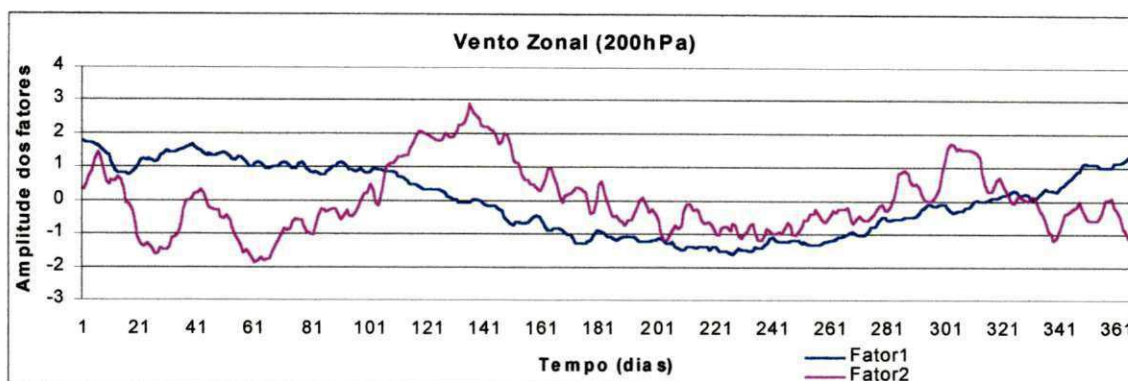


(b)

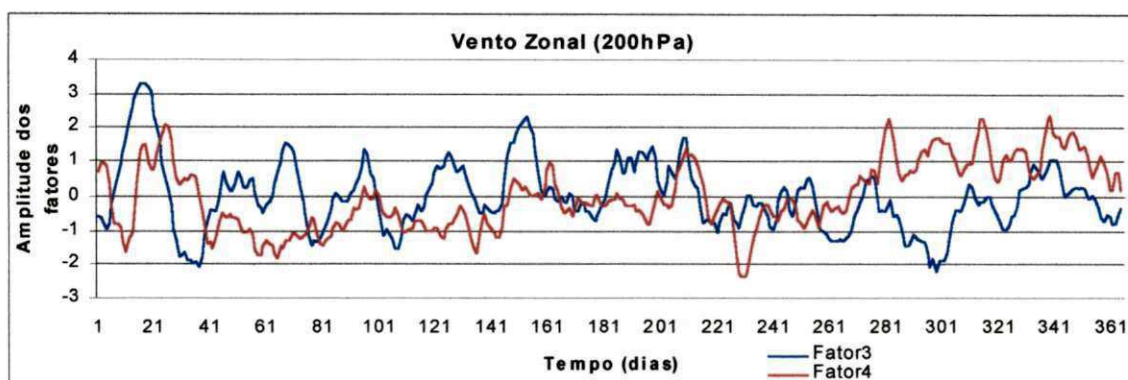


(c)

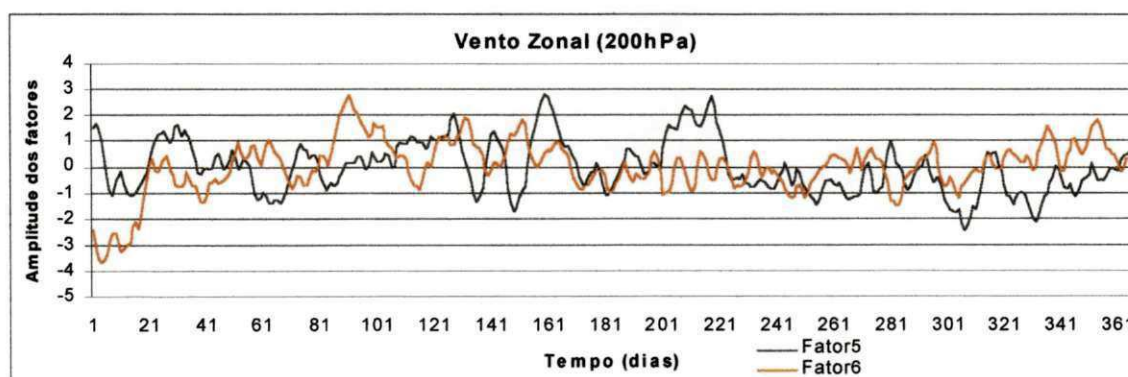
Figura 4.1 – Variação temporal das componentes principais do vento zonal no nível de 850 hPa, correspondem respectivamente a a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator



(a)



(b)



(c)

Figura 4.2 – Variação temporal das componentes principais do vento zonal no nível de 200 hPa, correspondem respectivamente a a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator



(a)



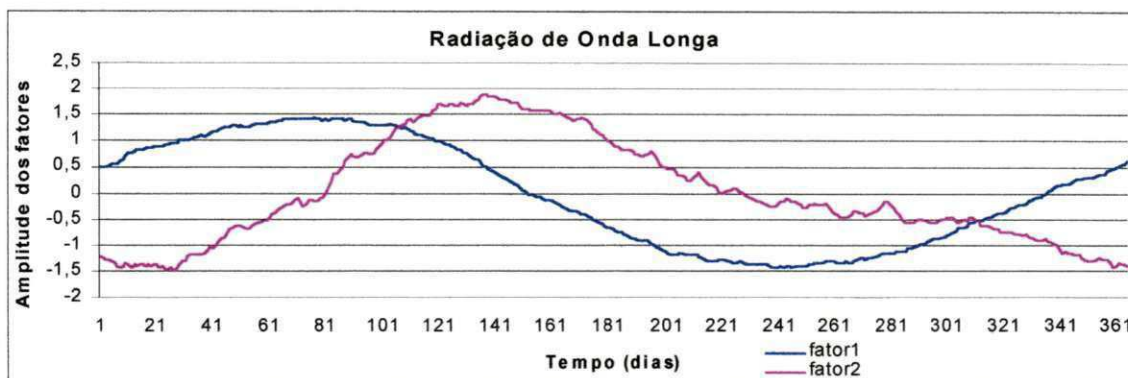
(b)



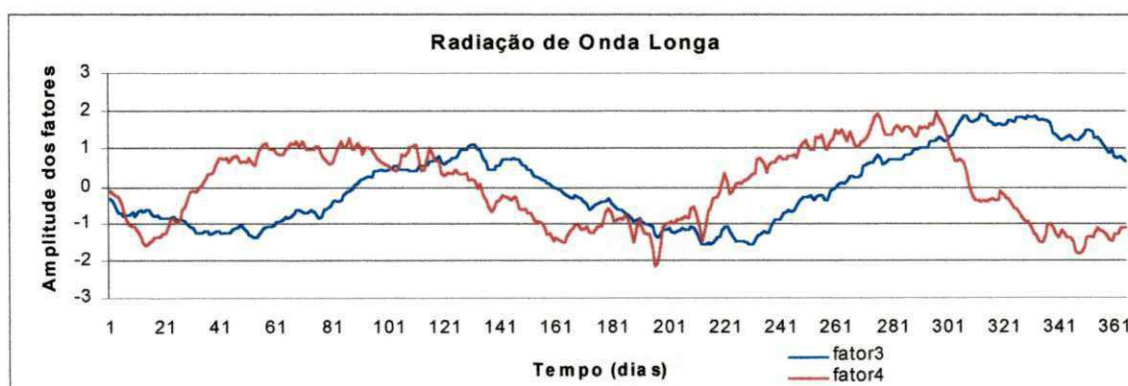
(c)

Figura 4.3 – Variação temporal das componentes principais da pressão ao nível médio do mar, correspondem respectivamente a a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator

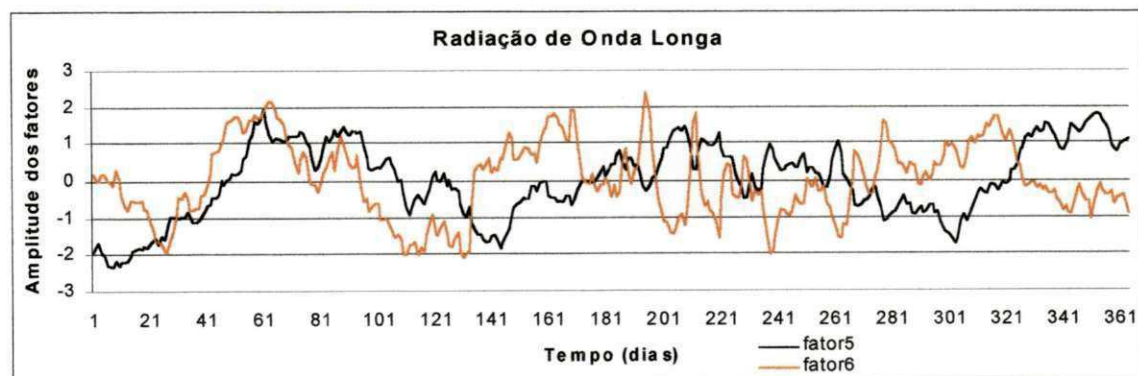




(a)

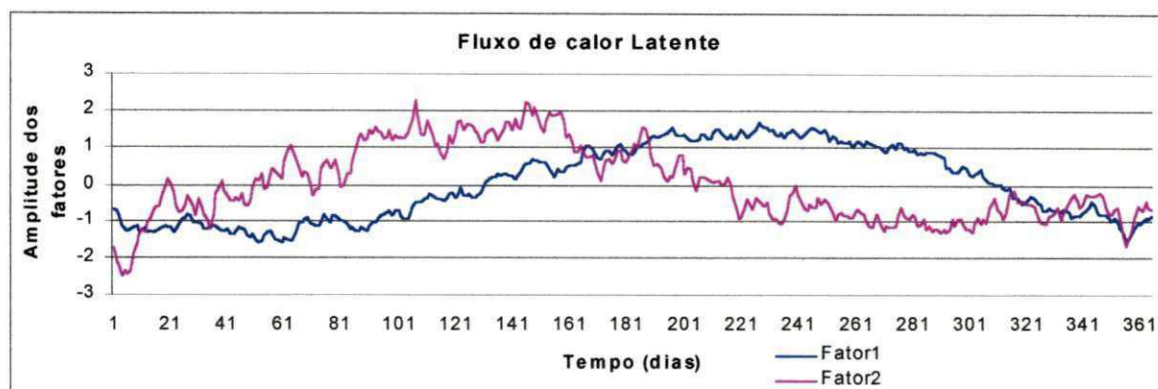


(b)

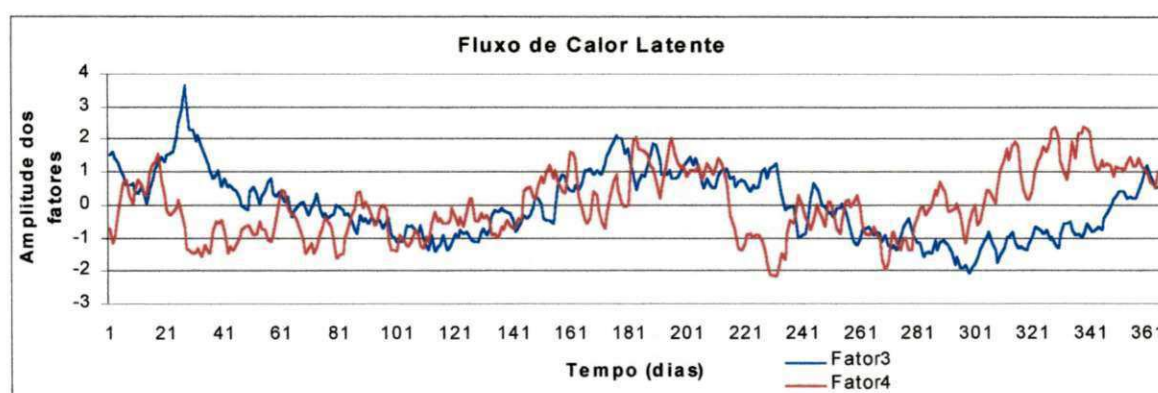


(c)

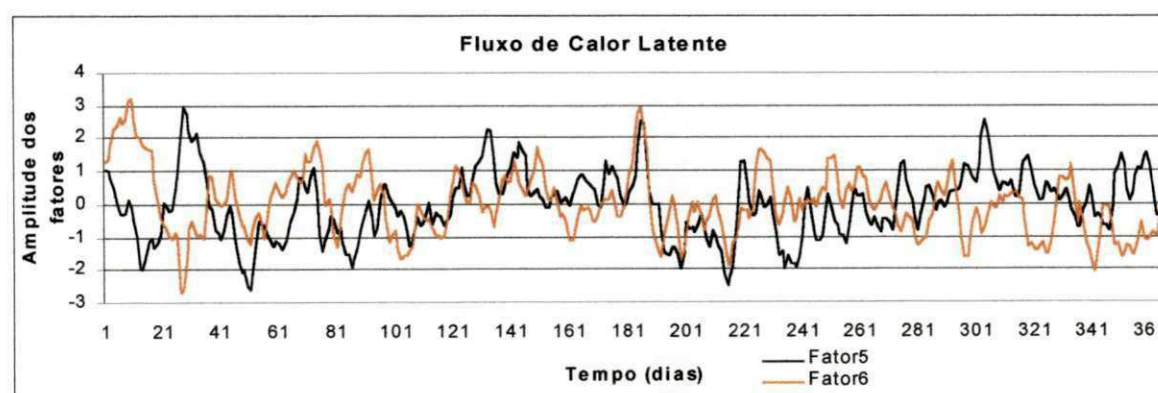
Figura 4.4 – Variação temporal das componentes principais da radiação de onda longa emitida para o espaço, correspondem respectivamente a a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator



(a)

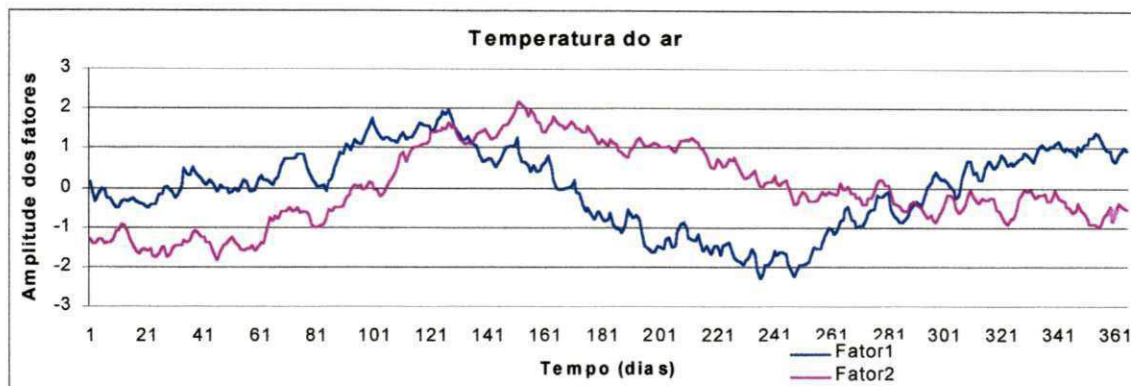


(b)

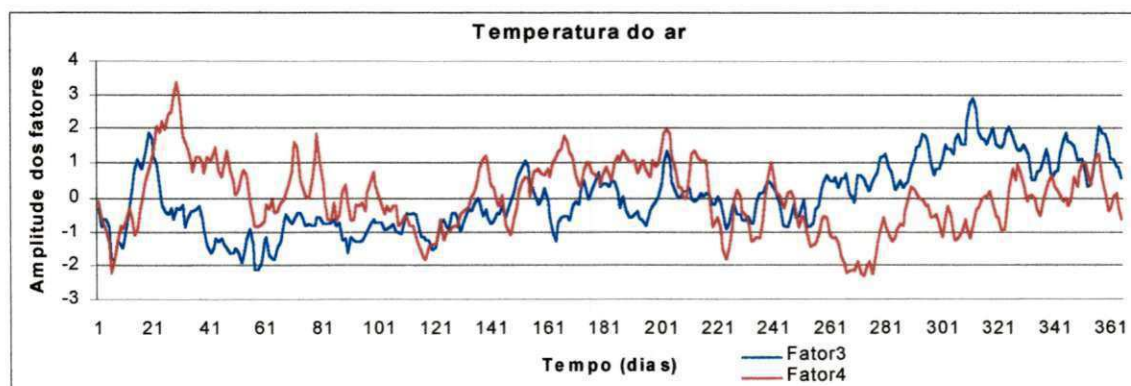


(c)

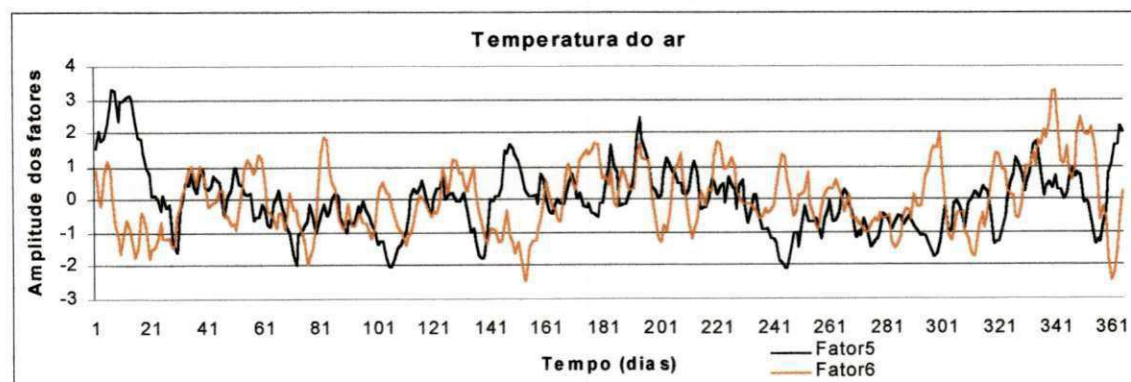
Figura 4.5 – Variação temporal das componentes principais do fluxo de calor latente, correspondem respectivamente a a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator



(a)



(b)



(c)

Figura 4.6 – Variação temporal das componentes principais da temperatura do ar no nível de 700 hPa, correspondem respectivamente a a) primeiro e segundo fator, b) terceiro e quarto fator e c) quinto e sexto fator



#### 4.1.2 – Análise da Componente Espacial

As configurações espaciais dos seis primeiros fatores das variáveis: ROL, pressão ao nível médio do mar, fluxo de calor latente, temperatura do ar em 700 hPa e vento zonal em 850 e 200 hPa, de uma maneira geral, seguem as características observadas nas análises da componente temporal. A seguir serão apresentadas as configurações espaciais dos fatores 1, 3 e 5 das variáveis mencionadas, os campos dos fatores 2, 4 e 6 são apresentados no Apêndice A2. E as correlações temporais das seis primeiras componentes estão grafadas no apêndice A3.

A Figura 4.7 ilustra os campos espaciais dos fatores 1, 3 e 5 de ROL. No primeiro fator observam-se valores predominantemente positivos sobre os Oceanos Índico e Pacífico Centro-Oeste e valores negativos no Atlântico e Pacífico Oriental. O terceiro fator segue aproximadamente um padrão zonal, exceto sobre a África e América do Sul. Enquanto, o fator 5 apresenta uma certa estrutura da OMJ, porém com magnitudes muito próximas de zero, tanto em torno de  $180^\circ$  (valores positivos) quanto em  $100^\circ\text{W}$  (valores negativos (Figura 4.7c). Isto mostra que uma estrutura mais próxima de uma OMJ só foi possível ser observada no quinto fator, porém de forma ainda muito tímida. Entretanto a característica espacial do quinto fator é semelhante a onda da OMJ apresentada na Figura 2.2.

Os campos com as configurações espaciais dos fatores 1, 3 e 5 da pressão ao nível médio do mar são mostrados na Figura 4.8. Para o primeiro fator observa-se uma estrutura de célula de Hadley, o terceiro apresenta um padrão de número de onda dois e o

quinto uma configuração número de onda um, semelhante a OMJ. Um padrão de onda dois foi observado por Zangvil (1975) para a OMJ.

Para o vento zonal em 850 hPa (Figura 4.9) as características espaciais do primeiro fator são de uma estrutura de número de onda dois, porém, não bem definida, o terceiro fator apresenta uma configuração zonal no Pacífico e Índico e meridional na América do Sul e Atlântico, mas também não bem definida (Figuras 4.9a e 4.9b). Enquanto o quinto fator mostra um padrão próximo da OMJ (Figura 4.9c). O vento zonal em 200 hPa apresenta uma estrutura tipo célula de Hadley para o primeiro fator (Figura 4.10a), número de onda um semelhante a OMJ para o terceiro fator (Figura 4.10b) e uma mesma configuração para o quinto fator, porém não bem definida (Figura 4.10c).

A Figura 4.11 apresenta os campos espaciais dos fatores 1, 3 e 5 do fluxo de calor latente observa-se uma estrutura um pouco confusa no primeiro fator (Figura 4.11a), possivelmente devido aos continentes que impediram uma estrutura zonal semelhante a célula de Hadley. O terceiro fator apresenta uma configuração de onda dois, o mesmo ocorrendo para o quinto fator (Figuras 4.11b e 4.11c).

Os campos espaciais dos fatores 1, 3 e 5 da temperatura do ar em 700 hPa são apresentados na Figuras 4.12a, 4.12b e 4.12c, respectivamente. Observa-se, de um modo geral, uma estrutura de onda um para o primeiro fator, este caso está, possivelmente, relacionado ao evento El Niño, pois mostra valores positivos em todo o Pacífico e nas demais áreas valores negativos, exceto ao sul de 10°S na África e América do Sul (Figura 4.12a). O terceiro fator mostra uma configuração número de onda dois (Figura 4.12b), enquanto o quinto um padrão de onda um (Figura 4.12c).

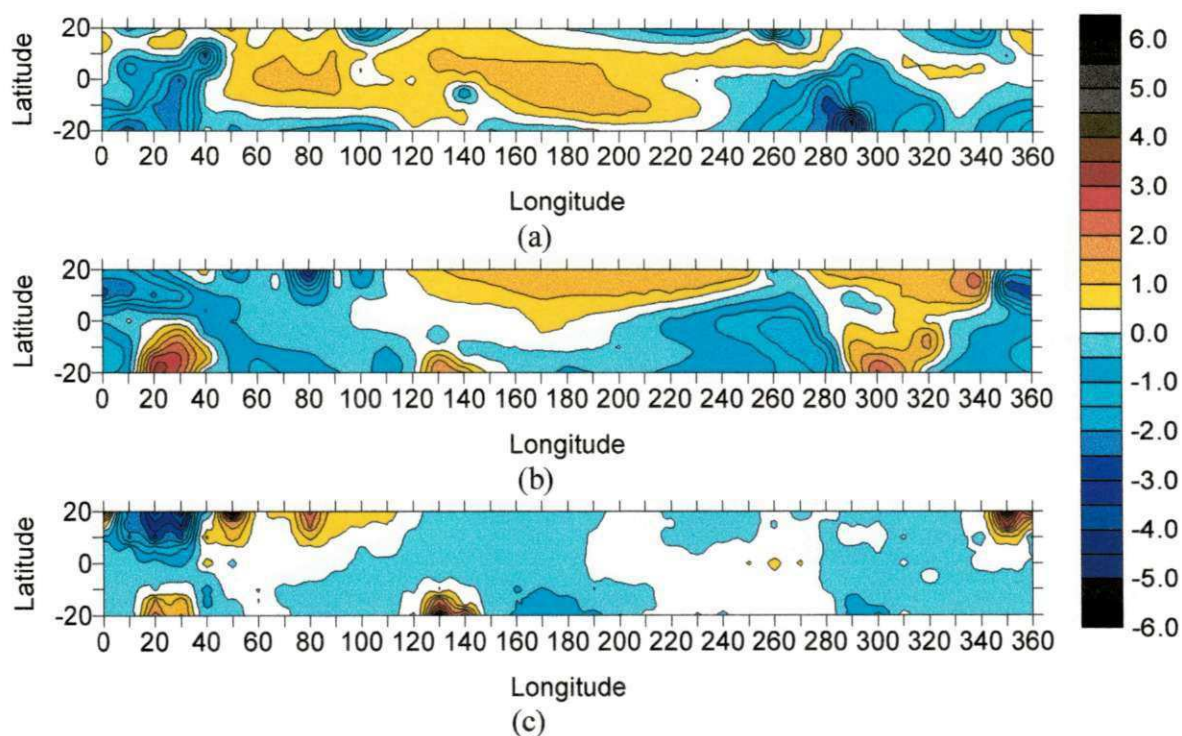


Figura 4.7 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator da Radiação de onda longa

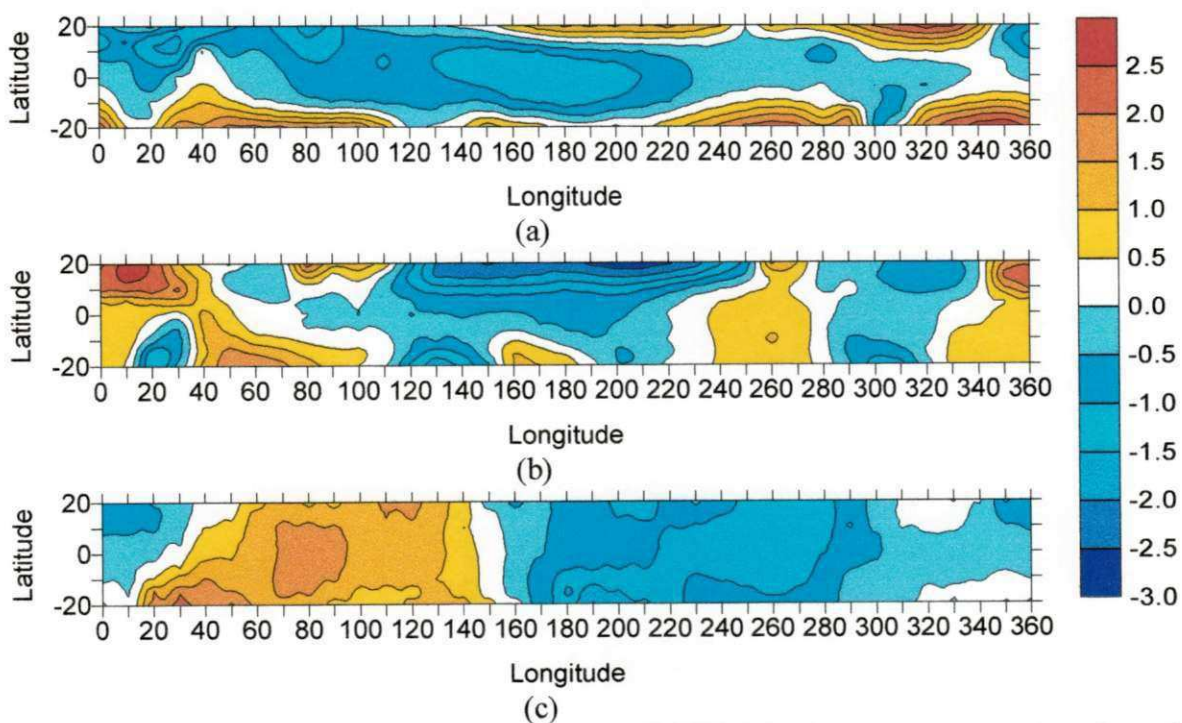


Figura 4.8 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator da Pressão ao nível médio do mar



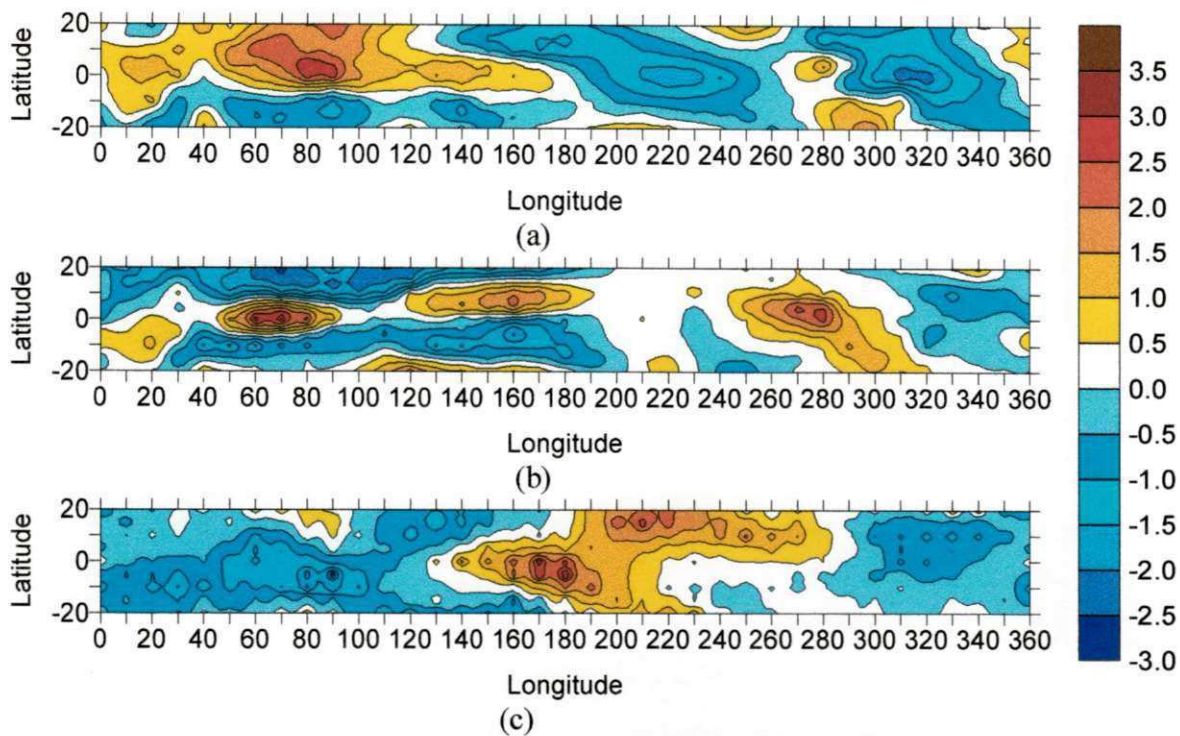


Figura 4.9 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator do vento zonal no nível de 850 hPa

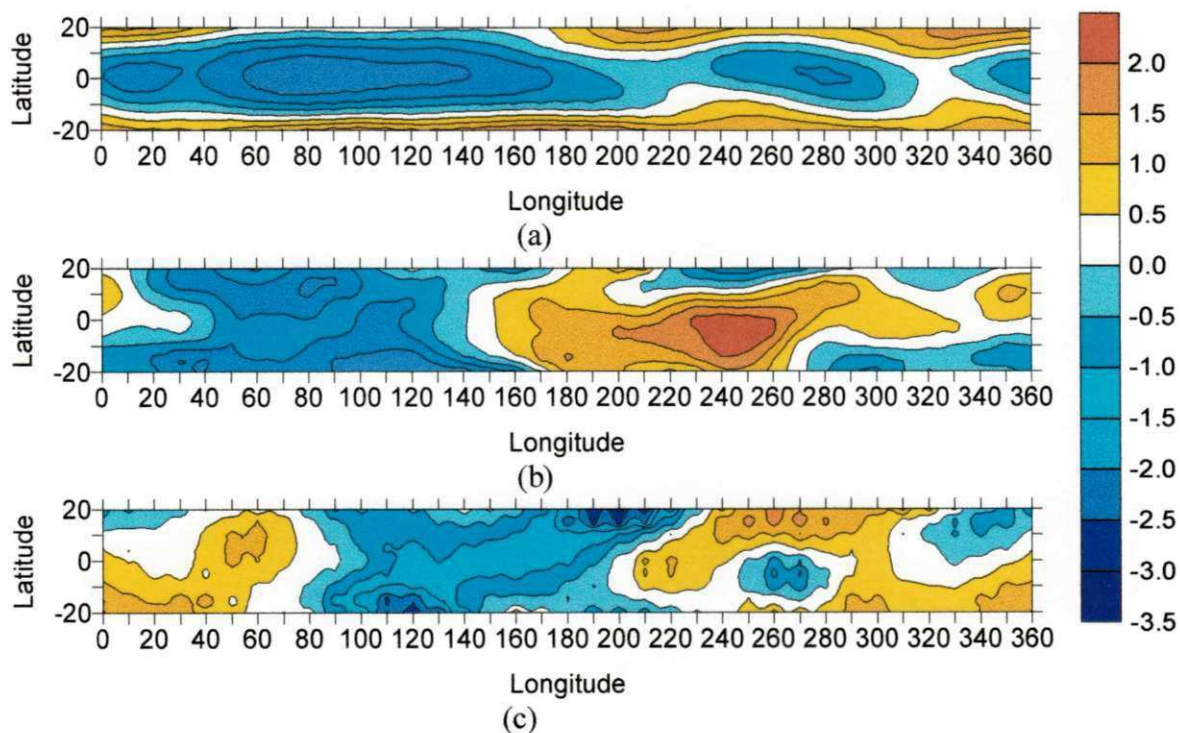


Figura 4.10 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator do vento zonal no nível de 200 hPa

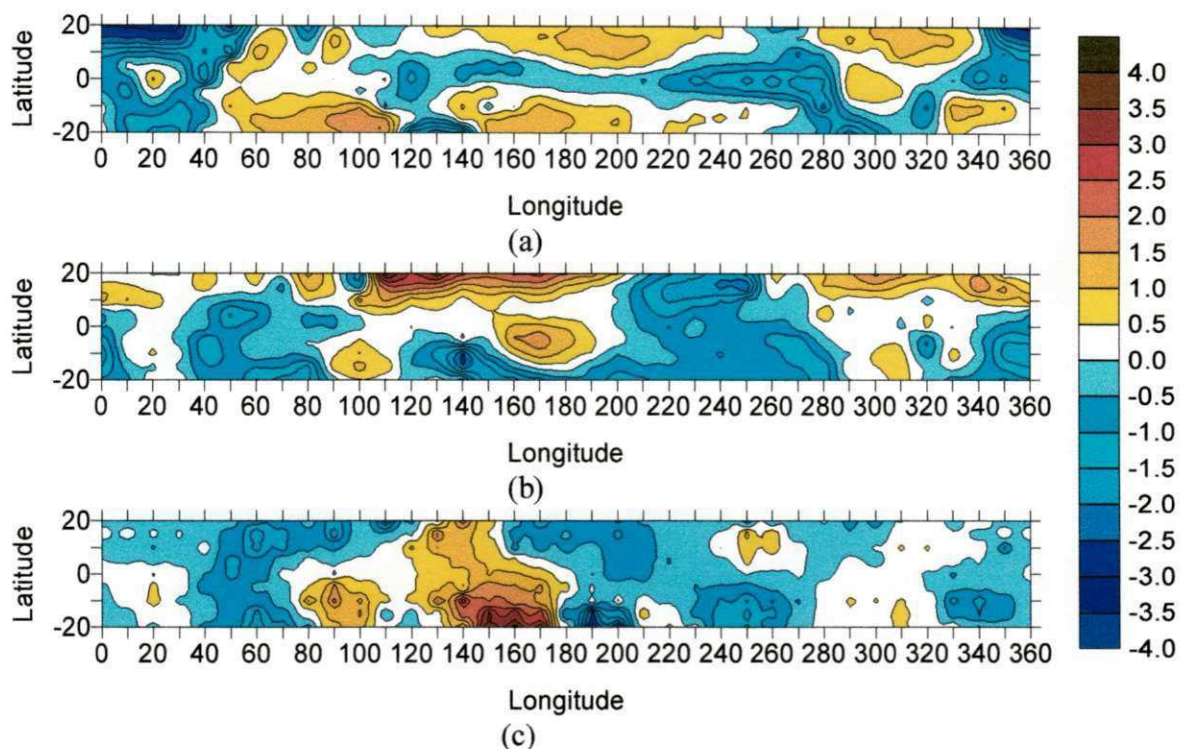


Figura 4.11 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator do fluxo de calor latente

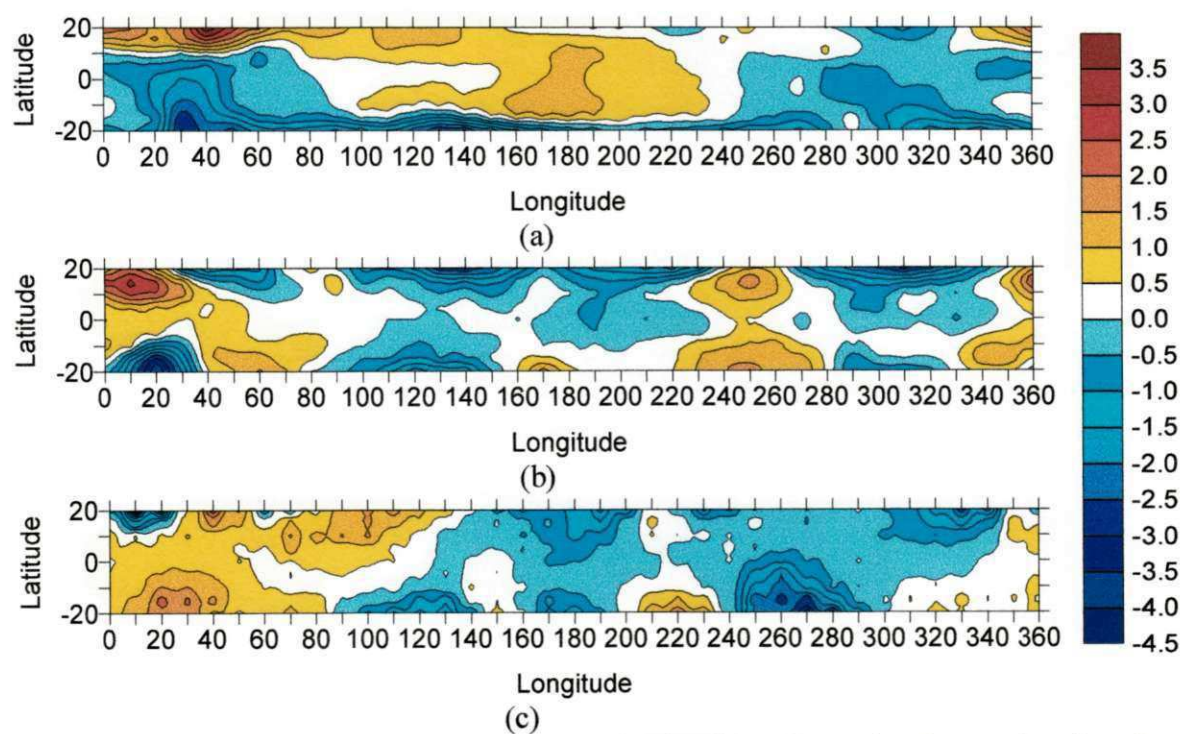


Figura 4.12 – Campos correspondentes ao a) primeiro fator, b)terceiro fator e c) quinto fator da temperatura do ar no nível de 700 hPa



## 4.2 – Propagação temporal da OMJ

Para a realização deste estudo, foi feita uma média no espaço (10°S a 10°N) de cada variável para cada longitude. A partir do resultado dessa média foi elaborada uma média móvel de 5 dias, ao longo de todo ano, com o objetivo de reduzir a quantidade de dados e facilitar a nossa análise, obtendo-se então 361 médias pentadais para cada longitude.

No campo da Pressão (Figura 4.13) pode ser observada uma alternância de núcleos intensos de valores mais elevados de pressão intercalados por regiões de valores mais baixos, se observarmos com atenção a variação temporal entre os núcleos mais intensos, pode-se notar que a mesma encontra-se na faixa de 30-60 dias, o que nos permite observar a Oscilação de Madden & Julian, mas também nos mostra núcleos menos intensos que apresentam oscilações de uma escala de tempo menor, esta configuração foi observada de forma geral em toda a região, mas a faixa longitudinal em que se mostra mais evidente é a de 300° a 340° (20°W a 60°W), ou seja, sobre o Atlântico, Caribe e Nordeste do Brasil, principalmente no primeiro semestre. Estes resultados diferem da modelagem proposta por Innes et al. (2003), mas concorda com as reanálises do ECMWF (Figura 1.1), que mostra a atuação da OMJ apenas no primeiro semestre de 1993, conforme índice de OMJ idealizado por Innes et al. (2003).

No campo do Fluxo de Calor Latente (Figura 4.14) não se tem uma estrutura de oscilação bem configurada. Entretanto, há sinais de uma propagação para leste de núcleos com fluxo de calor latente mais elevados, principalmente nos primeiros dias do ano. É interessante observar que, de uma maneira geral, os maiores valores do fluxo de calor latente encontram-se em torno de 80°E, Índia/Sirilanka/Oceano Índico, e 60°W, América do Sul/Caribe. Por outro

lado, quando se observa o campo da precipitação (Figura 4.15) também se verifica uma propagação para leste dos máximos de precipitação, nos primeiros dias do ano. Entretanto, os máximos de precipitação são observados alguns dias antes dos máximos do fluxo de calor latente, ou seja, a precipitação ocorreu antes da evaporação, principalmente sobre a América do Sul e Índia, o que nos leva a crer que a continentalidade é um fator determinante no comportamento destas duas variáveis, ou seja, o que vai determinar sua estrutura é a sua localização, sobre o oceano ou sobre o continente. Realmente, de um modo geral as configurações do campo do fluxo do calor latente (Figura 4.14) e de precipitação (Figura 4.15) são semelhantes, embora no último ainda consigamos observar oscilações de curtos períodos de tempo.

O campo de ROL (Figura 4.16) não nos diz muito, a não ser, que há regiões que têm uma grande quantidade de radiação de onda longa emitida para o espaço o ano inteiro, e outras o inverso, pequena quantidade durante todo o ano, e pelo que podemos perceber, essas quantidades variaram muito pouco durante o ano de 1993.

Analisando o campo do vento zonal em 850 hPa (Figura 4.17), pôde-se visualizar a oscilação sobre quase todas as longitudes, porém mais nítidas nas faixas de 60°E a 80°E, 160°W a 120°W e 60°W a 20°W, além disso é possível observar que entre as longitudes de 120°E e 160°E o vento zonal passa aproximadamente um semestre com valores positivos e depois muda de direção passando o outro semestre com valores negativos, ou seja deu um giro de 180°, estes meridianos passam exatamente sobre a Austrália. Isto, mostra a atuação marcante do evento El Niño sobre a Austrália.

O vento zonal em 200 hPa (Figura 4.18) mostra bastante coerência com os baixos níveis, apresentando uma oscilação, que, embora, de menor intensidade do que em 850 hPa só não apresenta a inversão na sua direção como ocorre nos baixos níveis. mas o que podemos perceber é que no período em que o vento zonal em 850 hPa era positivo o vento em 200 hPa era negativo e intenso, quando o vento nos baixos níveis era negativo o vento em 200 hPa ainda era negativo, mas bem menos intenso, com valores próximos de 5m/s, ou seja, observa-se uma configuração do campo do vento com características baroclínica. concordando com as conclusões de Madden & Julian (1972b, 1994) e Knutson & Weickmann (1987).

O campo da temperatura do ar em 700hPa (Figura 4.19) nos mostra uma variação mais espacial que temporal, ou seja, os valores da temperatura variam mais fortemente ao longo das longitudes. Porém, no tempo, ainda é possível observar que mesmo nas regiões mais aquecidas (região do oceano Pacífico) existe uma oscilação bem pequena, em torno de 1°C, não mais que isto. Nas regiões mais frias também verificamos a presença destes núcleos com pequenas variações.



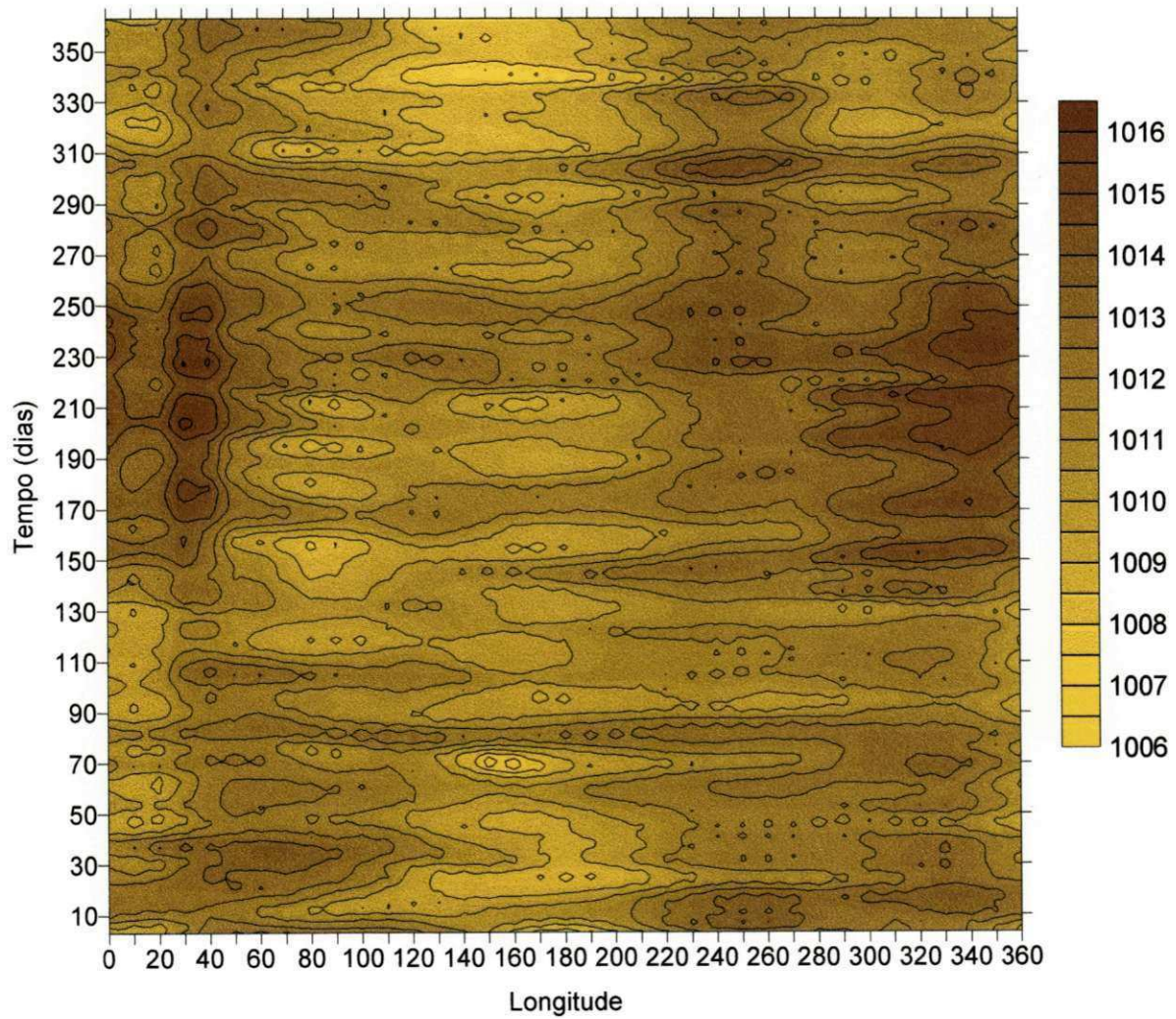


Figura 4.13 – Média móvel em 5 dias da pressão ao nível médio do mar na faixa latitudinal de 10°S a 10°N

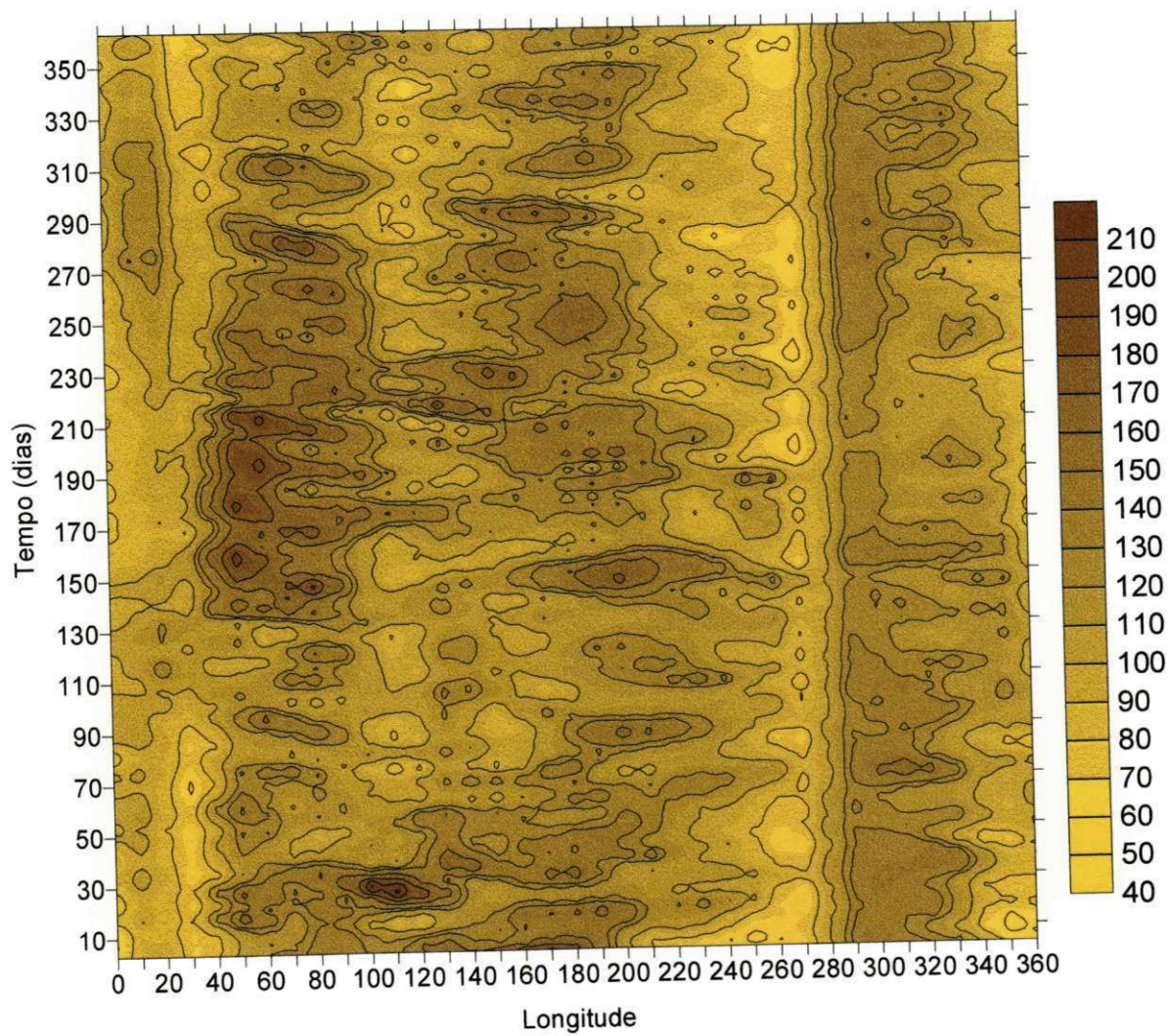


Figura 4.14 – Média móvel em 5 dias do fluxo de calor latente na faixa latitudinal de 10°S a 10°N



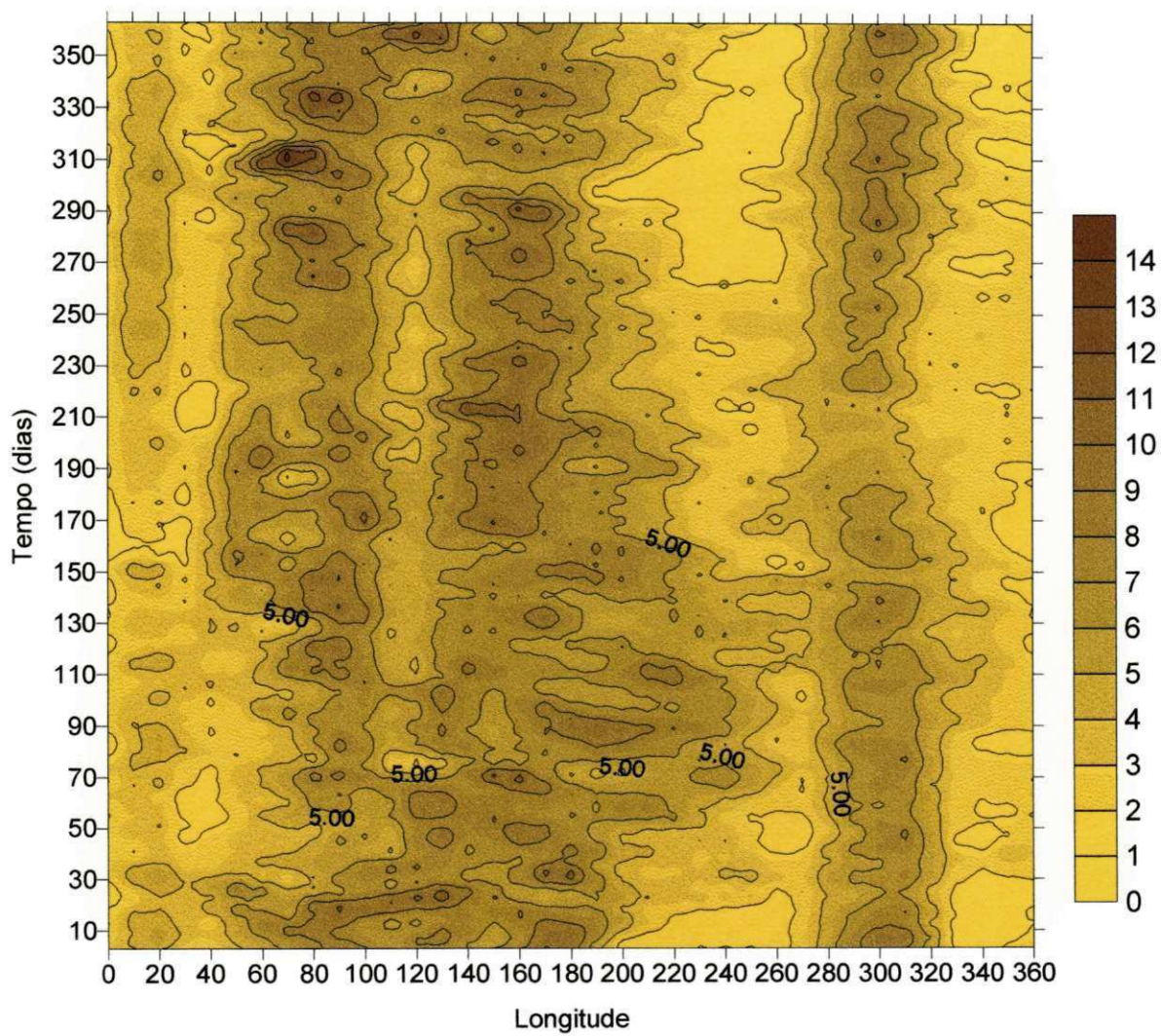


Figura 4.15 – Média móvel em 5 dias da precipitação na faixa latitudinal de 10°S a 10°N

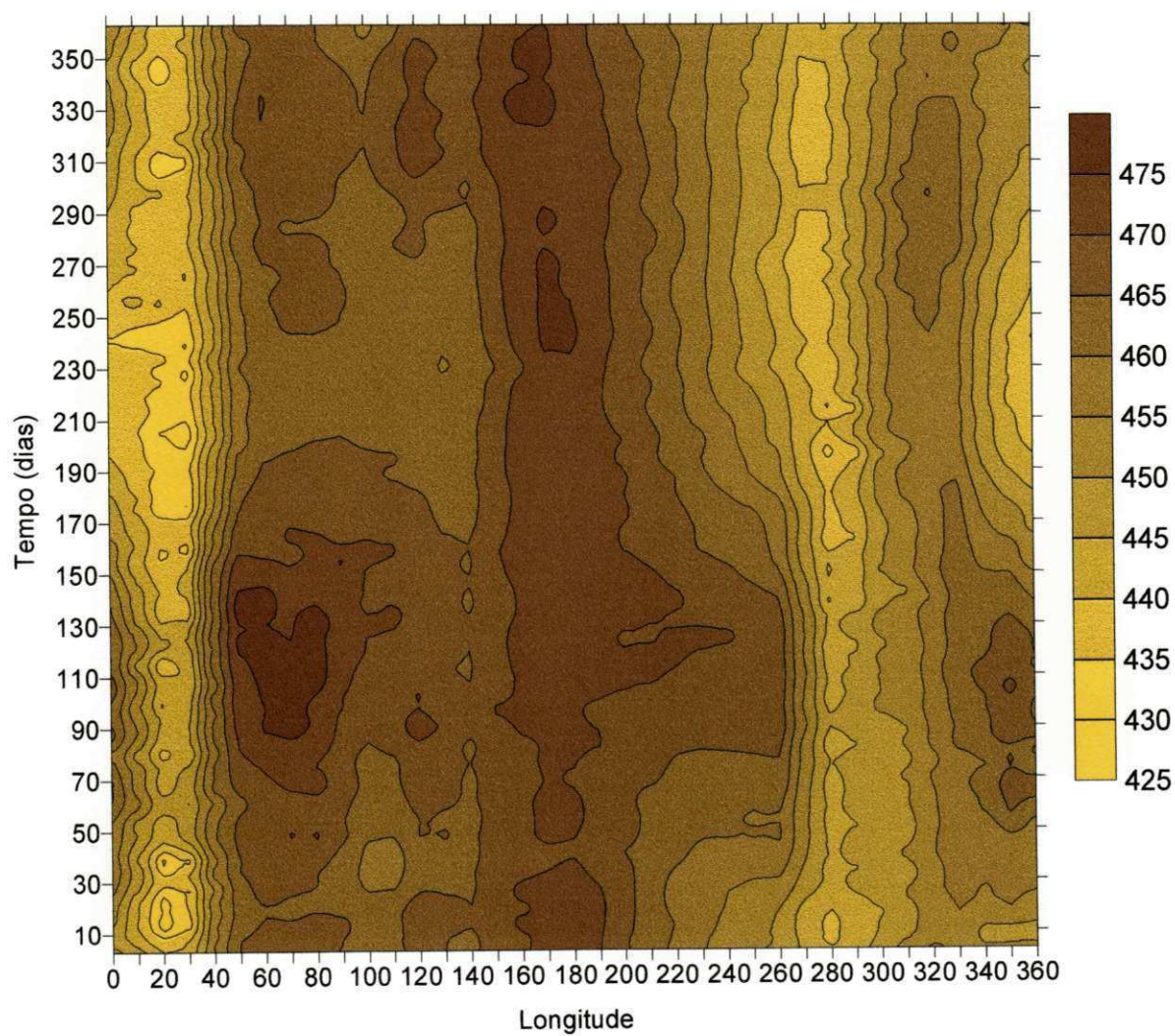


Figura 4.16 – Média móvel em 5 dias da radiação de onda longa emitida para o espaço na faixa latitudinal de 10°S a 10°N



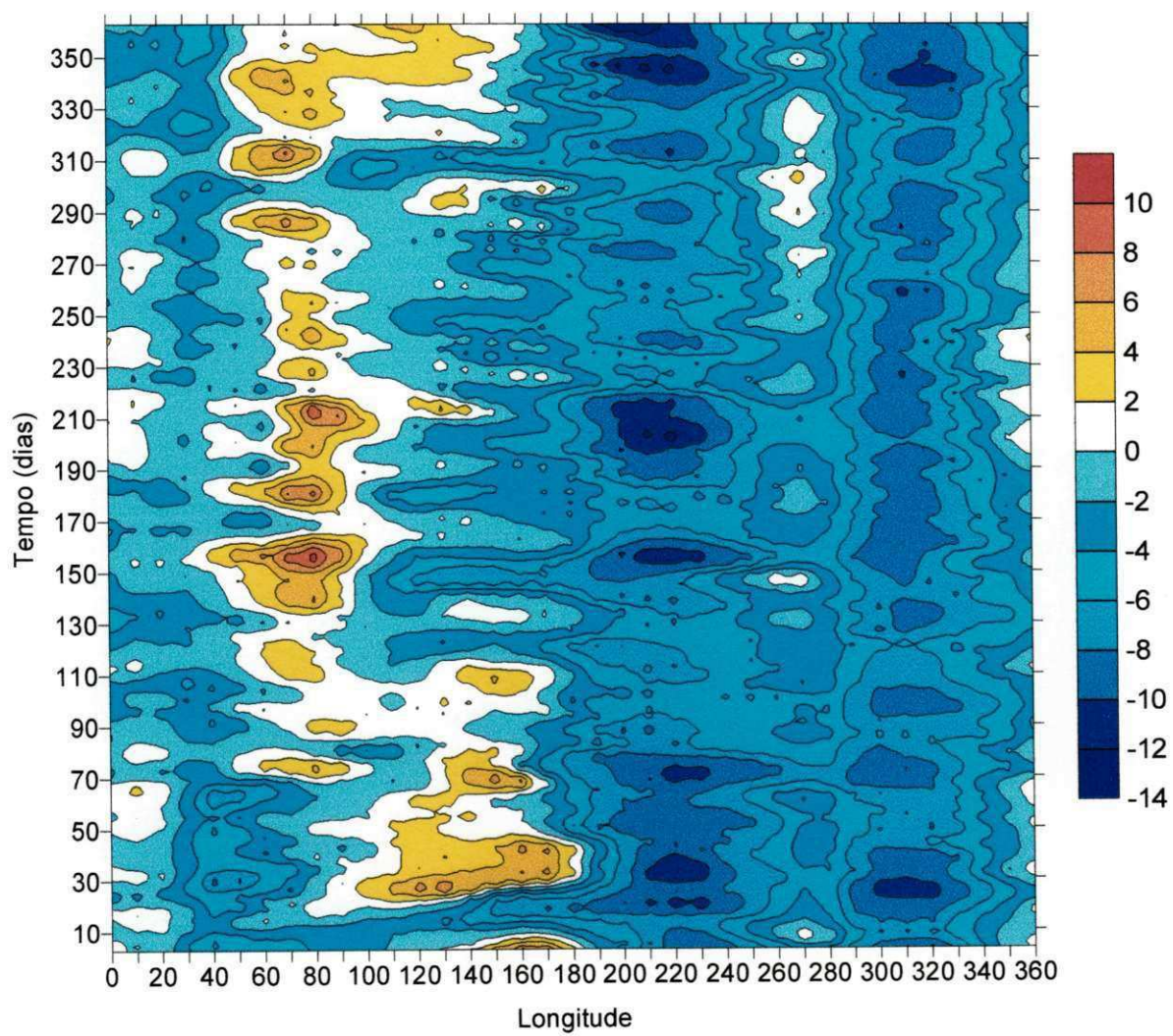


Figura 4.17 – Média móvel em 5 dias do vento zonal no nível de 850 hPa na faixa latitudinal de 10°S a 10°N

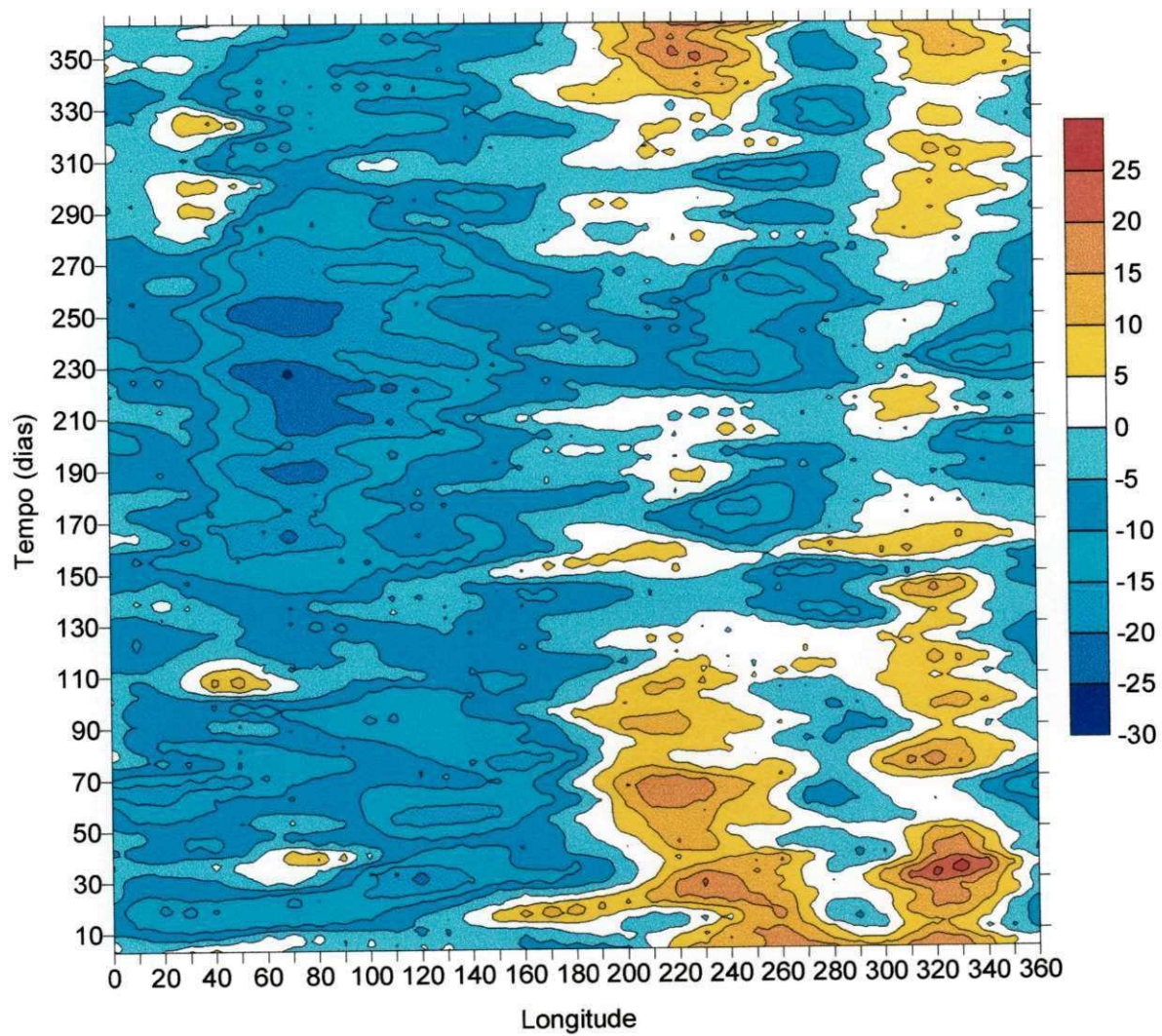


Figura 4.18 – Média móvel em 5 dias do vento zonal no nível de 200 hPa na faixa latitudinal de 10°S a 10°N



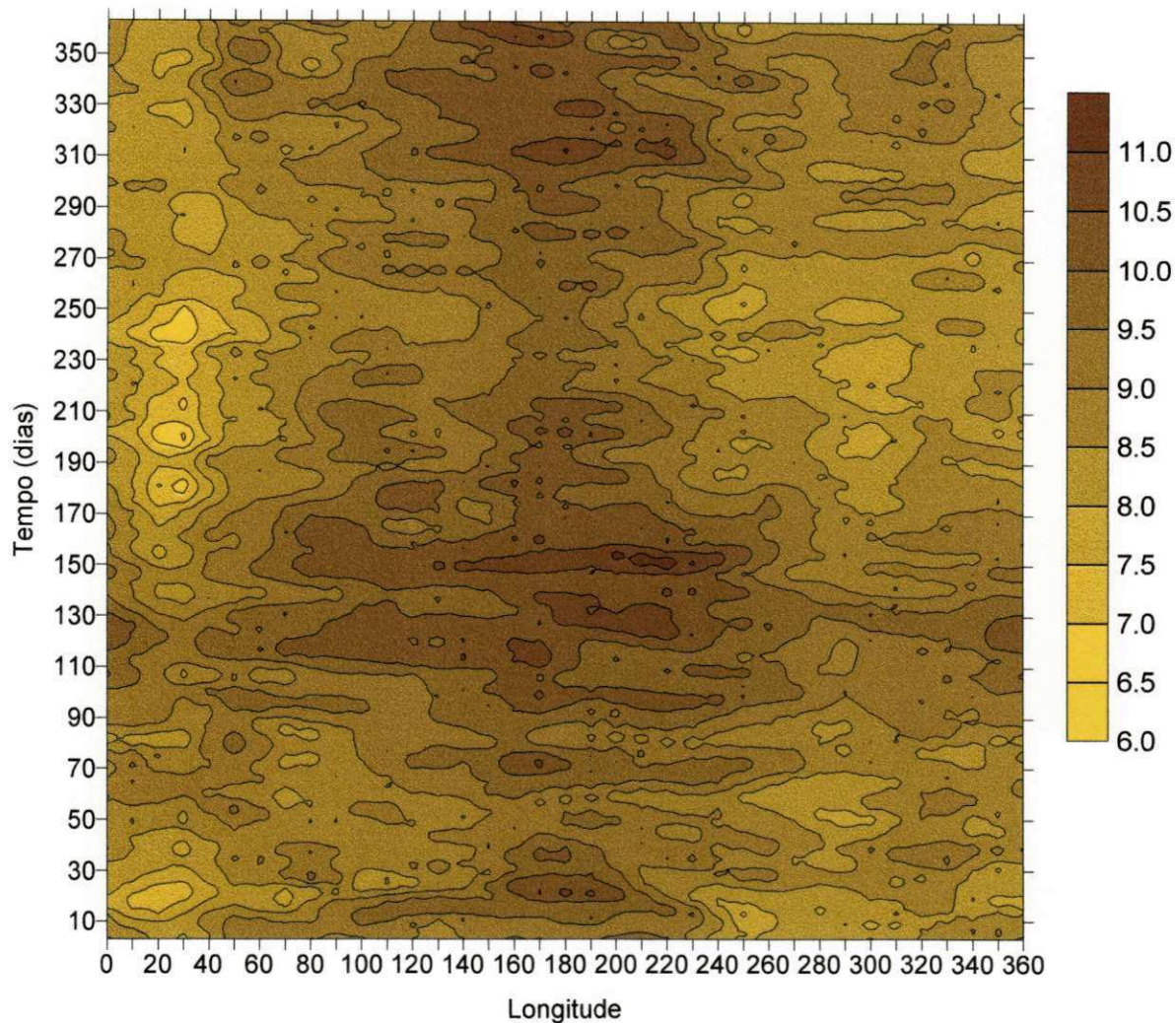


Figura 4.19 – Média móvel em 5 dias da temperatura do ar no nível de 700 hPa na faixa latitudinal de 10°S a 10°N

### 4.3 – Correlações Espaciais

Nesta etapa do trabalho, foi feita uma correlação de todos os pontos de grade da região estudada com o ponto (0° de latitude, 180° de longitude). Este ponto foi escolhido porque no trabalho de Madden & Julian (1972b) a estação meteorológica chave foi a da Ilha de Canton, a qual foi escolhida por estar localizada próximo ao ponto (0°;180°).

No campo de ROL (Figura 4.20) observa-se correlações positivas em quase todo hemisfério norte, com exceção da Índia/Golfo de Bengala e América Central, enquanto em quase todo hemisfério sul verificam-se correlações negativas, com exceção de parte da África e da América do Sul. Esta configuração não é característica da Oscilação de Madden & Julian. Isto porque durante quase todo ano de 1993, em geral, ocorreram anomalias negativas de ROL em boa parte do Hemisfério Norte e anomalias positivas em grande parte do Hemisfério Sul, possivelmente devido à atuação do evento El Niño.

O campo do Fluxo de calor latente (Figura 4.21) apresenta-se praticamente neutro, com correlações muito pequenas, exceto na região próxima ao ponto escolhido, com correlações positivas, e em torno de  $100^{\circ}$ - $130^{\circ}$ W, com correlações negativas, em geral, essas regiões englobam os dois núcleos principais da Oscilação de Madden & Julian (Figura 2.2).

No campo da pressão (Figura 4.22) observa-se que as correlações são mais homogêneas em quase toda a região tropical, com vários núcleos com valores relativamente elevados, e assim como o campo do ROL, não nos permite observar a configuração OMJ, mas isto possivelmente pode ser explicado pelo fato de que o ano em estudo foi um ano de El Niño.

O campo do vento zonal em 850 hPa (Figura 4.23) mostra uma configuração com correlações negativas no Hemisfério Ocidental e um padrão de dipolo no Hemisfério Oriental, com correlações positivas ao sul de  $5^{\circ}$ S e negativas ao norte. Esta configuração está relacionada ao evento El Niño.

O vento zonal no nível de 200 hPa (Figura 4.24) mostra uma configuração com correlações positivas em torno do ponto escolhido e dois núcleos com correlações negativas: um em torno de  $40^{\circ}$ W e o outro em torno de  $70^{\circ}$ E, este padrão não é característico de qualquer



fase da OMJ como mostrado na Figura 2.2 em uma carta individual. Entretanto, quando observa-se pelo menos duas cartas, por exemplo, E e F ou A e B, fases inicial e madura da OMJ, respectivamente, verifica-se um padrão com sinais invertidos entre as longitudes de  $180^\circ$  e  $40^\circ\text{W}$  ou  $180^\circ$  e  $70^\circ\text{E}$ . Essas configurações levam a produção de uma carta de correlação espacial semelhante à da figura 4.24.

A temperatura do ar em 700 hPa (Figura 4.25) também se enquadra entre as variáveis que expressam uma certa homogeneidade na região tropical, com pouquíssimas regiões com correlações negativas, também possivelmente relacionadas ao El Niño.

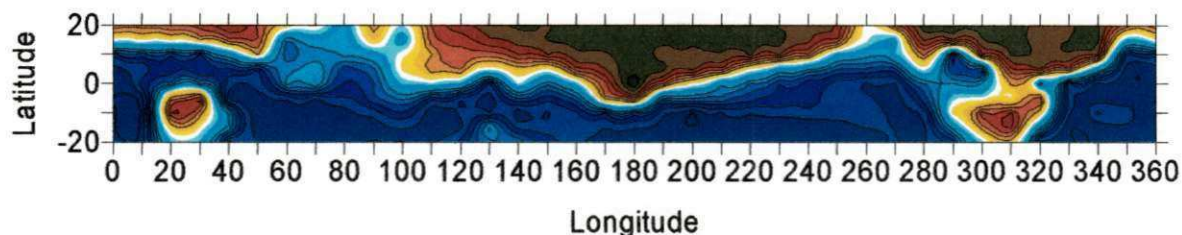


Figura 4.20 – Correlações de todos os pontos situados entre  $20^\circ\text{S}$  e  $20^\circ\text{N}$  com o ponto  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  para a radiação de onda longa emitida para o espaço

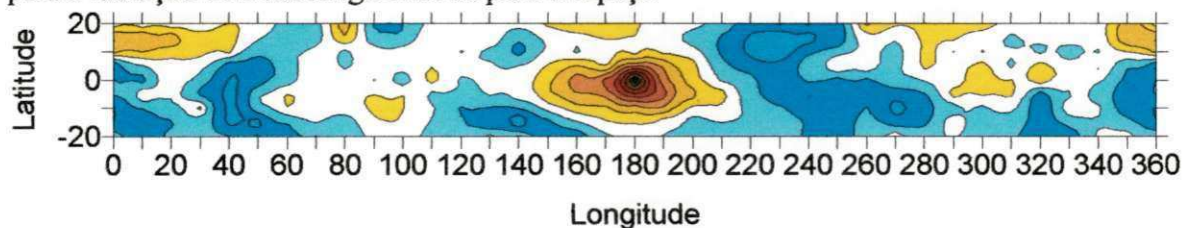


Figura 4.21 – Correlações de todos os pontos situados entre  $20^\circ\text{S}$  e  $20^\circ\text{N}$  com o ponto  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  para o fluxo de calor latente

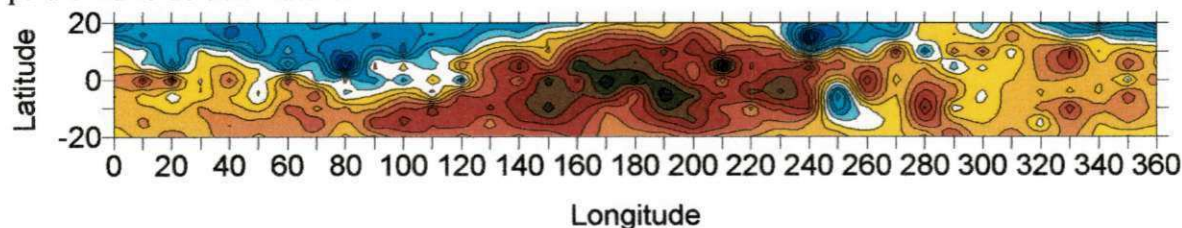


Figura 4.22 – Correlações de todos os pontos situados entre  $20^\circ\text{S}$  e  $20^\circ\text{N}$  com o ponto  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  para a pressão ao nível médio do mar

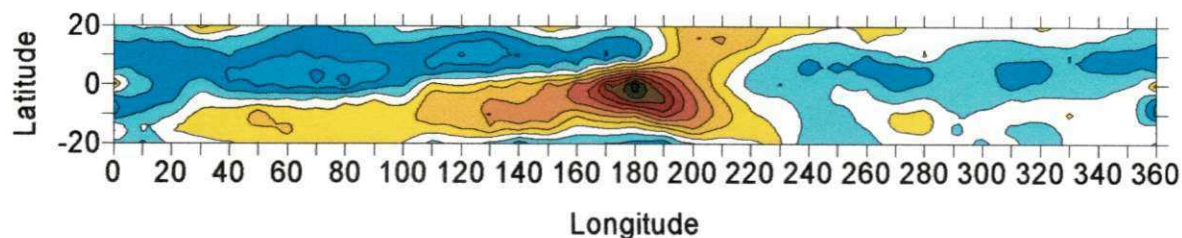


Figura 4.23 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para o vento zonal no nível de 850 hPa

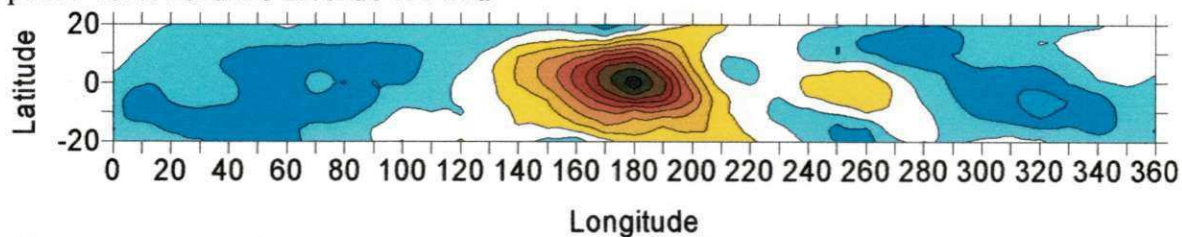


Figura 4.24 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para o vento zonal no nível de 200 hPa

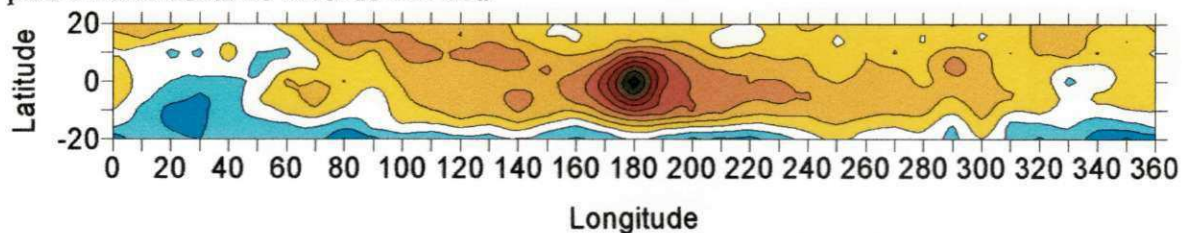
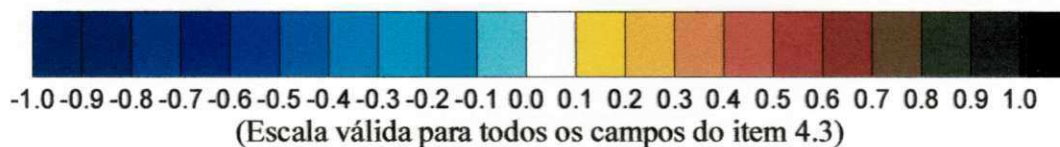


Figura 4.25 – Correlações de todos os pontos situados entre 20°S e 20°N com o ponto 0°, 180° para temperatura do ar no nível de 700 hPa



#### 4.4 – Atuação da OMJ sobre o Nordeste do Brasil no ano de 1993

Antes de descrever a atuação da OMJ sobre o Nordeste do Brasil é salutar mostrar quais foram os sistemas sinóticos que influenciaram a circulação e o clima da região no ano de 1993, nessa descrição foi usada como fonte de dados a Climanálise (janeiro/1993 a dezembro/1993).

Durante o mês de janeiro apenas um sistema frontal atingiu a região nordeste, e a convecção tropical sobre o continente foi organizada apenas uma vez por um sistema frontal. Na maior parte do mês de fevereiro a região esteve sob o efeito de vórtices ciclônicos nos altos níveis (baixas frias), mas a nebulosidade a ela associada pouco afetou a precipitação na região. Não se observou a ZCIT sobre o continente.

No mês de março a atuação dos vórtices favoreceu a ocorrência de precipitação sobre a parte oeste e norte da região, principalmente quando houve associação deste sistema com a ZCIT. Mas o vórtice contribuiu para que a ZCIT não se deslocasse mais para sul.

Também em abril a ZCIT se posicionou mais ao norte e pouco influenciou a região. A nebulosidade e precipitação sobre o nordeste estiveram associadas com a propagação de cavados na alta e média troposfera, bem como à circulação de leste nos baixos níveis.

Em maio a ZCIT não contribuiu para a precipitação no nordeste. As precipitações observadas foram devidas à atuação de um sistema frontal e à circulação marítima, que afetou sua parte leste.

Em junho houve uma ausência de precipitação no semi-árido nordestino, assim como em julho, onde não foi observada atuação de nenhum sistema sinótico, permanecendo as chuvas sobre a região da Zona da Mata, associadas à circulação de leste, a mesma configuração foi observada em agosto e setembro.

Em outubro, observou-se a atuação de um vórtice ciclônico sobre a região, que impediu o deslocamento de sistemas frontais para norte/nordeste, a mesma configuração foi observada em novembro e dezembro.

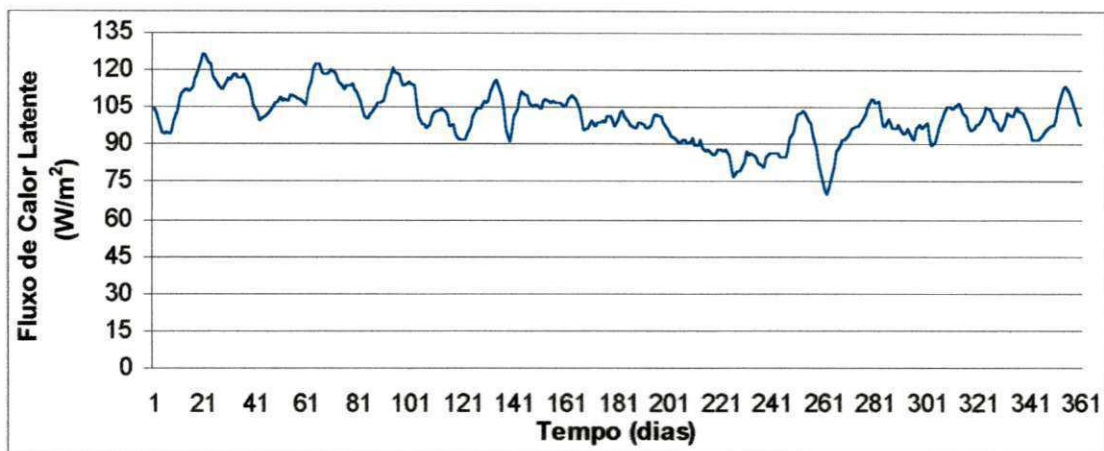
Para a análise da atuação da OMJ foi feita uma média da área que cobre o Nordeste do Brasil, de 45°W a 35°W e de 10°S a 0°, do Fluxo de Calor Latente, Pressão ao Nível Médio do Mar e Radiação de Onda Longa. Após serem obtidos os valores médios diários destes parâmetros, foi feita uma média móvel de 5 dias com o intuito de reduzir as perturbações de escalas de tempo inferiores a 5 dias.

Observando o comportamento do fluxo de calor latente (Fig. 4.26a) pôde-se verificar que o ciclo anual não esteve evidente, percebemos oscilações variando da ordem de 5 dias até 30-60 dias, com uma maior amplitude das flutuações nos períodos de janeiro até a primeira metade de maio e de agosto a dezembro, embora os meses mais frios (segunda metade de maio, junho e julho) também apresentassem oscilações.

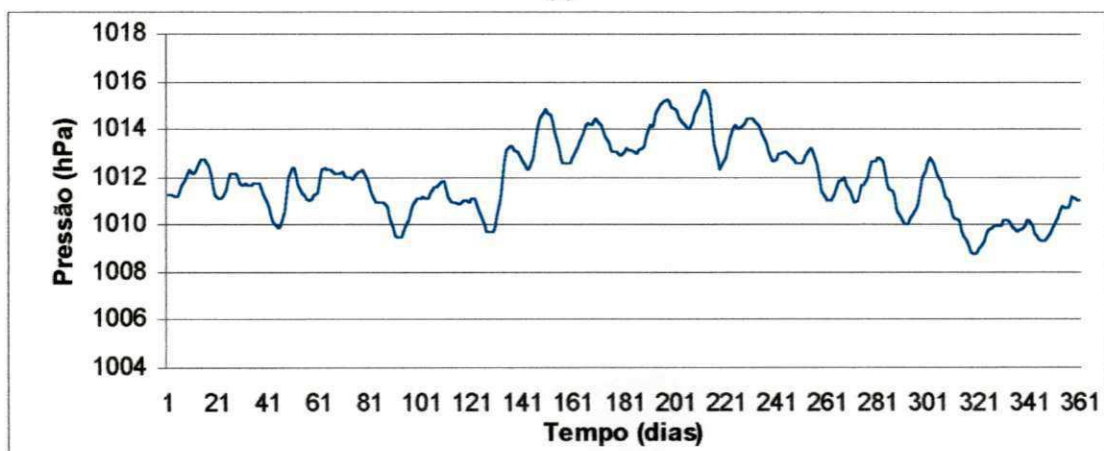
Na pressão ao nível médio do mar (Fig 4.26b) observa-se o ciclo anual relativamente bem definido, com os maiores valores de maio até a metade de setembro e uma redução a partir da segunda metade do mês de setembro até dezembro. Bem como a presença de oscilações da ordem de 10 dias até da ordem da OMJ durante o ano todo, evidenciando a atuação da OMJ sobre o Nordeste do Brasil, até mesmo em um ano de El Niño como foi o caso de 1993, principalmente no início do ano.

A radiação de onda longa (Fig. 4.26c) apresenta uma maior amplitude em suas flutuações no período de janeiro a fevereiro. Em março e abril observa-se uma diminuição nessa amplitude, voltando a ficar mais elevada de maio até o fim do ano. A escala temporal predominante dessas flutuações é da ordem de 5-10 dias.

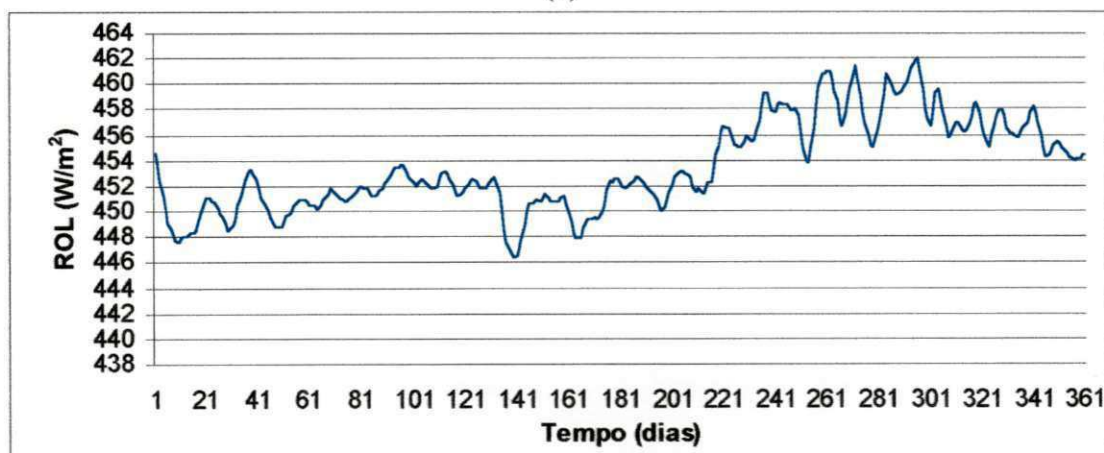




(a)



(b)



(c)

Figura 4.26 – Valores médios de a) Fluxo de calor latente, b) pressão ao nível médio do mar e c) radiação de onda longa emitida para o espaço, para a área do Nordeste do Brasil (situada entre  $45^{\circ}W - 35^{\circ}W$  e  $0^{\circ} - 10^{\circ}S$ )

#### 4.4 – Análise dos parâmetros usando Fourier

Na descoberta das oscilações intra-sazonais Madden & Julian (1971) utilizaram a técnica de análise harmônica de Fourier nos dados de pressão ao nível médio do mar de estações meteorológicas distribuídas por toda faixa tropical do Globo. Portanto, é salutar verificar se essa técnica é capaz de detectar as atividades da OMJ em um ano de El Niño. Objetivando realizar uma análise simples e confiável foram escolhidos quatro pontos equidistantes, sobre o equador, ao redor de todo o globo. Um dos pontos escolhidos foi ( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ) que, em geral, é tomado como ponto de partida para as análises da OMJ, os demais foram ( $0^\circ$ ,  $90^\circ\text{W}$ ) que fica nas Ilhas Galápagos, é uma região de deserto, ( $0^\circ$ ,  $0^\circ$ ) localizado próximo ao Golfo da Guiné e ( $0^\circ$ ,  $90^\circ\text{E}$ ) que fica sobre o oceano Índico. As análises dos harmônicos de Fourier das variáveis usadas neste trabalho serão mostradas a seguir.

A pressão ao nível médio do mar (figura 4.27) de forma geral não apresentou grandes amplitudes em suas perturbações, contudo, ainda foi possível perceber a presença da OMJ, especialmente no ponto ( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ) (figura 4.27c) onde a amplitude da oscilação associada a OMJ atinge aproximadamente 60% da amplitude da perturbação associada ao ciclo anual.

O vento zonal no nível de 850 hPa (figura 4.28) nos permite visualizar melhor os sinais da OMJ, eles estão evidentes em todos os pontos, entretanto, nos pontos ( $0^\circ$ ,  $90^\circ\text{E}$ ) e ( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ) (figuras 4.28b e 4.28c) apresentam amplitudes semelhantes às dos ciclos anuais para esses pontos.

O ciclo anual do ROL (Figura 4.29) mostra-se bem marcante em todos os pontos estudados, logo os sinais da OMJ ficam praticamente imperceptíveis quando

comparados ao mesmo, isto se dá ao fato de que o campo de ROL foi modulado pela presença do El Niño.

A precipitação (figura 4.30) também não exibe grandes amplitudes nas suas perturbações, na figura 4.30a o ciclo anual predomina sobre todas as outras perturbações, na figura 4.30b o sinal da OMJ torna-se mais forte, porém na figura 4.30c a amplitude das perturbações associadas a OMJ e de frequências superiores, como ondas de Rossby, supera a amplitude do ciclo anual.

O fluxo de calor latente (Apêndice A4.1) apresenta a flutuação do ciclo anual como predominante e bem superior às demais, exceto no ponto ( $0^\circ$ ,  $90^\circ\text{E}$ ) onde são observadas as influências das estações do ano, possivelmente de monções, e da OMJ.

A temperatura do ar no nível de 700 hPa (Apêndice A4.2) também mostra a predominância da flutuação do ciclo anual sobre as demais perturbações.

O vento zonal no nível de 200 hPa (Apêndice A4.3) possibilita a visualização da OMJ, mas isto não fica tão evidente nos pontos ( $0^\circ$ ,  $90^\circ\text{E}$ ) e ( $0^\circ$ ,  $90^\circ\text{W}$ ), porque o ciclo anual desempenhou um importante papel nestes pontos.

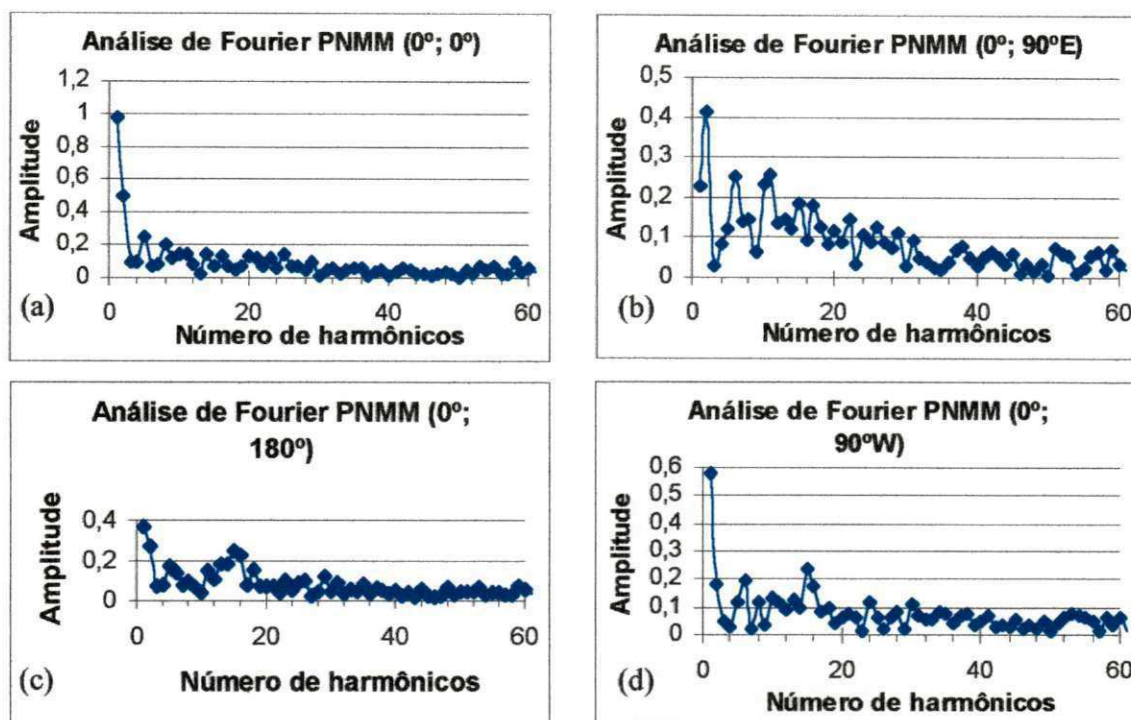


Figura 4.27 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier da pressão ao nível médio do mar: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)

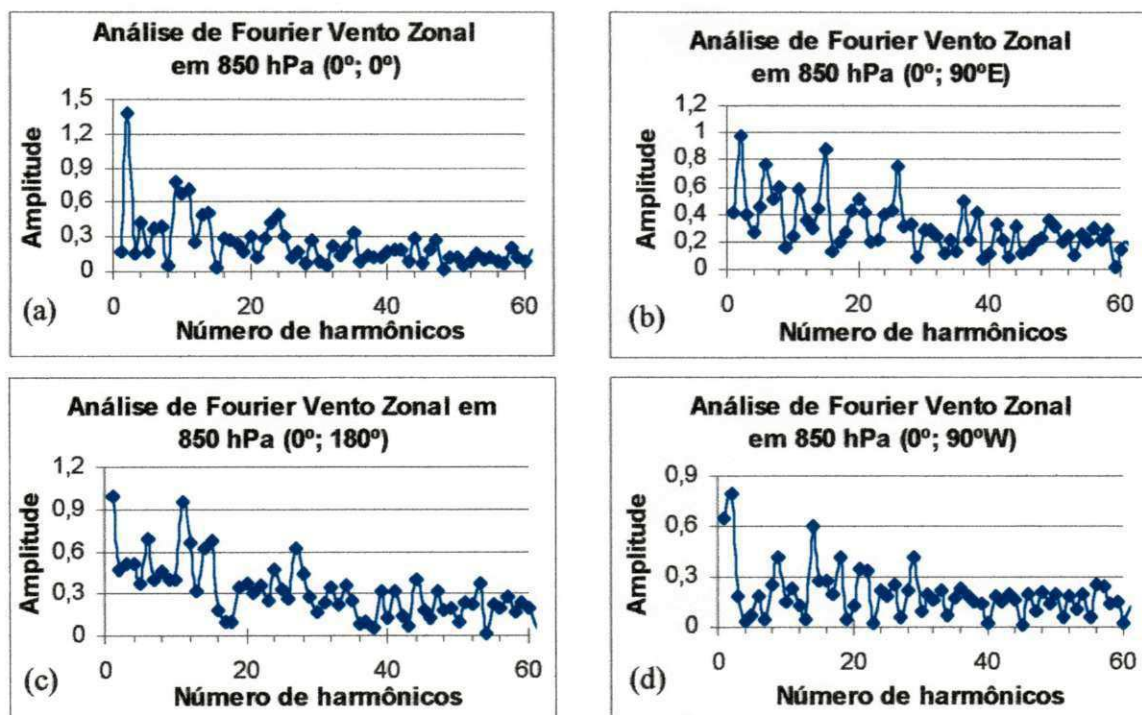


Figura 4.28 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier do Vento Zonal em 850 hPa: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)



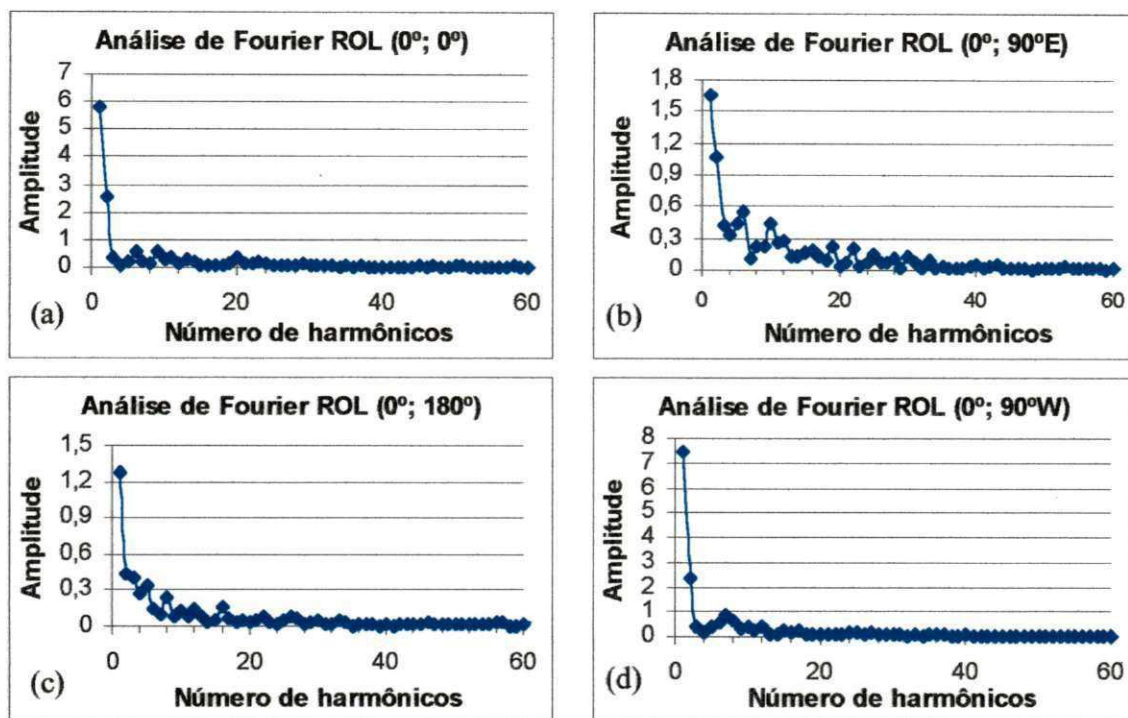


Figura 4.29 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier da radiação de onda longa emitida para o espaço: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)

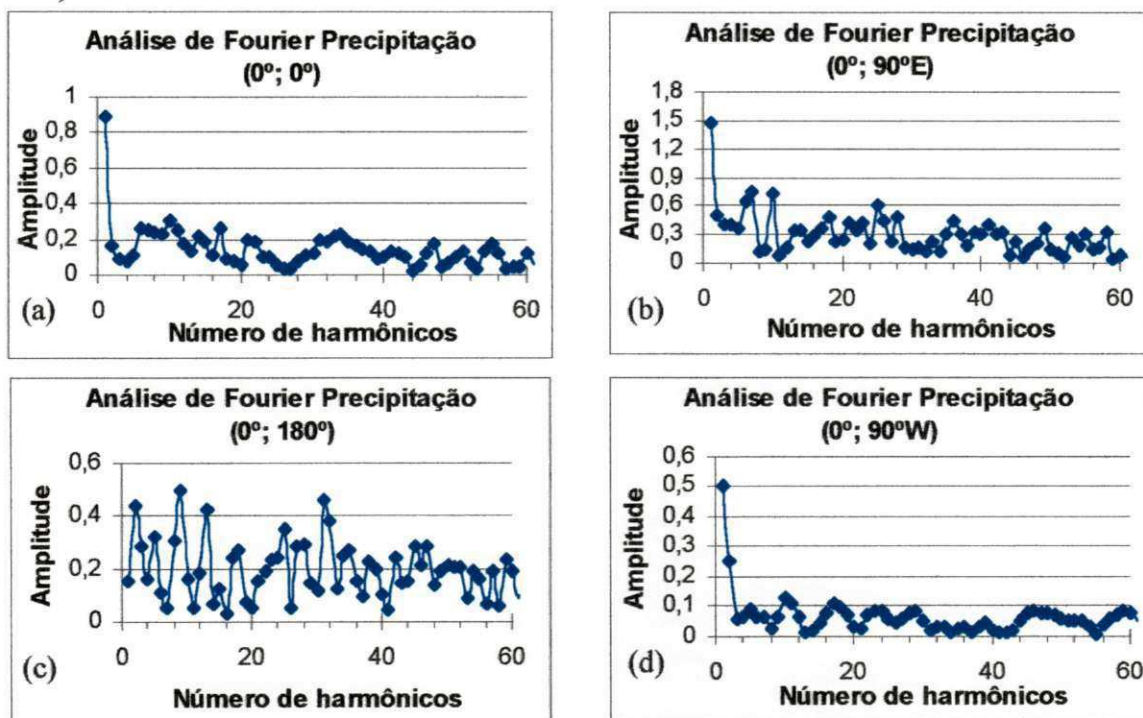


Figura 4.30 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier da precipitação: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)

## **5 – CONCLUSÕES**

A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que, com exceção do campo de ROL, em geral, a técnica de análise de Componentes Principais foi eficaz na identificação das atividades da OMJ no ano de 1993 que foi um ano de um episódio El Niño, período para o qual as atuações da OMJ podem passar despercebidas.

Por outro lado, é importante salientar que as atividades da OMJ foram, de certo modo, mais bem observadas nas componentes quatro e cinco e em alguns campos na três. Estas componentes apresentam valores relativamente baixos das variâncias explicadas. Porém, em anos de El Niño a atuação da OMJ é relativamente fraca. Portanto, as suas atividades contribuem com uma porcentagem relativamente pequena da variância total. Entretanto, a técnica de análise de Componentes Principais mostrou-se, em geral, eficiente na visualização das perturbações produzidas pela OMJ.

Outro resultado interessante, no uso da análise de componentes principais, foi que as configurações das fases da análise do fluxo de calor latente estavam atrasadas (no tempo) em relação às fases dos campos de vento em 850 hPa e 200 hPa e da pressão ao nível médio do mar. Esse resultado reforça a teoria da realimentação vento-evaporação como um indutor da OMJ.

Através das análises das correlações espaciais entre todos os pontos de grade (2,5°X 2,5°) da faixa tropical (20°S a 20°N) de todo o Globo com o ponto (0°, 180°), foi possível perceber que a técnica de correlação linear não é satisfatória para detectar as atividades da OMJ em anos de El Niño.

De posse das análises dos parâmetros no Nordeste do Brasil, pode-se concluir que, à medida que reduzimos a escala de global para a regional, ficaram mais evidentes as oscilações associadas a sistemas de menor escala de tempo, com maior destaque para as perturbações do tipo onda de Rossby e em menor intensidade a Oscilação de Madden e Julian. Além disso, observou-se que perturbações do tipo OMJ atuaram no Nordeste do Brasil durante o ano de 1993.

Com base nos resultados obtidos através da análise de Fourier, percebemos, como nas demais análises, que o campo de ROL não foi muito influenciado pelas atividades da OMJ, ele foi modulado pelo El Niño, enquanto que em todas as fases do nosso estudo foi possível observar a atuação da OMJ nas variáveis como pressão, vento em 850 hPa e 200 hPa, e fluxo de calor latente. Entretanto, essa análise não foi tão eficaz quanto a análise de componentes principais, com exceção do campo de precipitação.

Então fica constatado que é possível observar as atividades da OMJ em um ano de El Niño, embora todas as variáveis exibam amplitudes menores que a normal.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J.R., ROSEN, R.D., JULIAN, P.R. The latitude-height structure of 40-50 day variations in atmospheric angular-momentum. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.40, p. 1584-1591, 1983.

BLOOMFIELD, P. **Fourier Analysis of Time Series: An Introduction**. John Wiley & Sons. New York, 1976, 258p.

CADET, D.L., DANIEL, P., Long-range forecast of the break and active summer monsoons. **Tellus**, v. 40A, p. 133-150, 1988.

CASARIN, D.P.; KOUSKY, V.E. Anomalias de precipitação ao sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p. 83-90, 1986.

DAKSHINARMUTI, J., KESHAVAMURTY, R.N. On oscillations of period around one month in the Indian summer monsoon. **Indian Journal of Meteorology, Hydrology and Geophysics.**, v. 27, p. 201-203, 1976.

EMANUEL, K.A. An Air-Sea Interaction Model of Intraseasonal Oscillations in the Tropics.

**Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 44, n.16, p. 2324-2340, 1987.

FINDLATER, J. A major low-level air current near the Indian Ocean during the northern

Summer. **Quaternary Journal Royal Meteorological Society**, v. 95, p.362-380, 1969.

GARAYALDE, E.J.G.; da SILVA, M.G.A.; TAVARES, A. de SÁ. Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: **Congresso Interamericano de Meteorologia, Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 1986, Brasília,

SBMET, v.1, Anais: 119-124, 1986.

GILL, A. E. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 106, p. 447-463, 1980.

GRAY, B.M. Seasonal frequency variations in the 40-50 day oscillation. **Journal of Climatology**, v.8, p.511-519, 1988.

GRUBER, A. Wavenumber-frequency spectra of satellite-measured brightness in tropics.

**Journal of Atmospheric Sciences**, v.31, p.1675-1680, 1974.

HANSEN, J.; LACIS, A.; RUEDY, R.; SATO, M.; WILSON, H. How sensitive is the world's climate? **National Geographic Research and Exploration**, v.9, p. 143-158, 1993.

HARTMANN, D.L.; MICHELSEN, M.L. Intraseasonal periodicities in Indian rainfall. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.46, p.2838-2862, 1989.

HAYASHI, Y.; GOLDBERGER, D.G. Tropical 40-50 and 25-30 day oscillations appearing in realistic and idealized GFDL climate models and ECMWF dataset. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 50, p. 464-494, 1993.

HENDON, H.H., LIEBMANN, B. A composite study of onset of the Australian summer monsoon. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.47, p.2227-2240, 1990a.

-----; -----, The intraseasonal (30-50 day) oscillation of the Australian summer monsoon. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.47, p. 2909-2923, 1990b.

HOLLAND, G.J. Interannual variability of the Australian Summer monsoon at Darwin-1952-82. **Monthly Weather Review**, v.114, p.594-604, 1986.

INNES, P.; SLINGO, J.; WOOLNOUGH, S. **The Madden-Julian Oscillation in General Circulation Models**. HomePage do Centre for Global Atmospheric Modelling: <http://www.ugamp.nerc.ac.uk/hot/pi/pi.htm>, 2003, 6p.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.; STUDZINSKI, C.D.; DIAS, P.L.S. As Variações Intra-Sazonais da Precipitação no Brasil Durante o Verão de 1989/1990. **Climanálise**, v.5, n.4, p.40-50, 1990.



KESSLER, W. S. EOF representations of the Madden-Julian Oscillation and its connection with ENSO. **Journal of Climate**, v. 14, p. 3055-3061, 2001.

KHALSA, S.J.S., STEINER, E.J. A TOVS dataset for study of the tropical atmosphere. **Journal of Applied Meteorology**, v.27, p.851-862, 1988.

KILADIS, G.; WEICKMANN, K.M. Circulation anomalies associated with tropical correlations during northern winter. **Monthly Weather Review**, v. 120, p. 1900-1923, 1992.

KNUTSON, T.R.; WEICKMANN, K.M. 30-60 Day Atmospheric Oscillations: Composite Life Cycles of Convection and Circulation Anomalies. **Monthly Weather Review**, v.115, n.7, p.1407-1436. 1987.

-----; WEICKMANN, K.M.; KUTZBACH, J.E. Global-scale intraseasonal oscillations of outgoing longwave radiation and 250 mb zonal wind during northern hemisphere summer. **Monthly Weather Review**, v. 114, p. 605-623, 1986.

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.

KRISHNAMURTI, T.N.; OOSTERHOF, D.K.; MEHTA, A.V. Air-sea interaction on the time scale of 30 to 50 days. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 45, p. 1304-1322, 1988.

KUHNEL, I. Spatial and temporal variation in Australia-Indonesian region cloudiness.

**International Journal of Climatology**, v. 9, p. 395-405, 1989.

LAU, K.M.; PENG, L. Origin of Low-Frequency (Intraseasonal) Oscillations in the Tropical

Atmosphere. Part I: Basic Theory. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 44, n.6, p. 950-

972. 1987.

-----; CHAN, P.H. Short-term climate variability and atmospheric teleconnections from  
satellite-observed outgoing longwave radiation simultaneous relationships. **Journal of the**

**Atmospheric Sciences**, v. 40, p. 2735-2750, 1983.

-----; -----. Aspects of the 40-50 day oscillation during northern winter as inferred  
from outgoing longwave radiation. **Monthly Weather Review**, v. 113, p. 1889-1909. 1985.

-----; -----. Aspects of the 40-50 day oscillation during northern summer as  
inferred from outgoing longwave radiation. **Monthly Weather Review**, v. 114, p.1354-1367.  
1986a.

-----; -----.The 40-50 day oscillation and El Niño/Southern Oscillation - A new  
perspective. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 67, p. 533-534. 1986b.

LIEBMANN, B.: HARTMANN, D.L. An observational study of tropical-midlatitude interaction on intraseasonal time scale during winter. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 41, p. 3333-3350, 1984.

LORENC, A.C. The evolution of planetary-scale 200 hPa divergent flow during the FGGE year. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 427-441, 1984.

MCBRIDE, J.L. Satellite-observations of the Southern Hemisphere monsoon during winter MONEX. **Tellus**, v. 35a, p. 189-107. 1983.

MADDEN, R.A. Seasonal variations of the 40-50 day oscillation in the Tropics. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, p. 3138-3158, 1986.

-----, Large intraseasonal variations in wind stress over the tropical Pacific. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, p. 5333-5340

-----; JULIAN, P. R. Description of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.28, p. 702-708, 1971.

-----; -----, Further evidence of global-scale 5-day pressure waves. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 29, p. 1464-1469, 1972a.

-----; -----. Description of global-Scale circulation cells in tropics with a 40-50 day Period. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.29, n.9, p.1109-1123, 1972b.

-----; -----. Observations of the 40-50-Day Tropical Oscillation – A Review. **Monthly Weather Review**. v. 122, n. 5, p. 814-837, 1994.

MALONEY, E.D.; HARTMANN, D.L. Frictional Moisture Convergence in a Composite Lifecycle of the Madden-Julian Oscillation. **Journal of Climate**, v. 11, n. 9, p. 2387-2403, 1998.

MARUYAMA, T. Large-scale disturbances in the equatorial lower stratosphere. **Journal Meteorological Society Japan**, v. 45, p. 391-408, 1967.

----- . Time sequence of power spectra of disturbances in the equatorial lower stratosphere in relation to the quasi-biennial oscillation. **Journal Meteorological Society Japan**, v. 46, p. 327-342, 1968.

MURAKAMI, T. Cloudiness fluctuations during the summer monsoon. **Journal Meteorological Society Japan**, v. 54, p. 175-181. 1976.

----- . Tropical super clusters within intraseasonal variations over the western Pacific. **Journal Meteorological Society Japan**, v.66, p.823-839. 1988.

NCEP, **Monitoring and data-Tropical Intraseasonal Activity frequently asked questions.**

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/intraseasonal/intraseasonal\\_faq.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/intraseasonal/intraseasonal_faq.html), 2003.

PARKER, D.E. Equatorial Kelvin waves at 100 millibars. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.** v. 99, p. 116-129. 1973.

PHILANDER, S.G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation.** Academic Press. San Diego. 1990. 311p.

PREISENDORFER, R. **Principal component analysis in meteorology and oceanography.** Amsterdam: Elsevier, 1988. 425p.

RAGHAVAN, K., SIKKA, D.R., GUJAR, S.V. The influence of cross-equatorial flow over Kenya on the rainfall of western India. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,** v. 101, p. 1003-1004. 1975.

SILVA DIAS, P.L.; CAPLAN, P.; KOUSKY, V.E. As chuvas intensas de fevereiro de 1988. In: **V Congresso Brasileiro de Meteorologia,** Salvador, Sociedade Brasileira de Meteorologia. Rio de Janeiro, 1988.

SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E. Variabilidade intra-sazonal de precipitação sobre o leste do Brasil do Brasil durante o verão de 1999/2000. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v.16, n.2, 187-199, 2001.

VITORINO, M.I.; FERREIRA, N.J.; PRASAD, G.S.S.D. Oscilações intra-sazonais sobre o sudeste brasileiro utilizando-se a análise da transformada de wavelet. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu, 2002.

----- . **Análise das oscilações intra-sazonais sobre a América do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas.** Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

WALISER, D.E.; LAU, K.M.; KIM, J.H. The Influence of Coupled Sea Surface Temperatures on the Madden-Julian Oscillation: A Model Perturbation Experiment. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 54, n.10, p. 1358-1367, 1997.

WALLACE, J.M.; CHANG, C.P. Spectrum analysis of large-scale wave disturbances in the tropical lower troposphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 26, p. 1010-1025, 1969.

-----.: KOUSKY, V.E. Observational evidence of Kelvin waves in the tropical stratosphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 25, p. 900-907, 1968.

WANG, B.; RUI, H. Synoptic climatology of transient tropical intraseasonal convection anomalies. **Meteorological Atmospheric Physical**, v. 44, p. 43-61, 1990.

WEICKMANN, K.M. Intraseasonal circulation and outgoing longwave radiation modes during Northern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 1838-1858, 1983.



-----; LUSSKY, G.R.; KUTZBACH, J.E. Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb stream function during northern. **Monthly Weather Review**, v.113, n.6, p.941-961, 1985.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press. San Diego, p.467. 1995.

WYLIE, D.P., HINTON, B.B. The wind stress patterns over the Indian Ocean during the summer monsoon of 1979. **Journal of Physical Oceanography**, v. 12, p. 186-199, 1982.

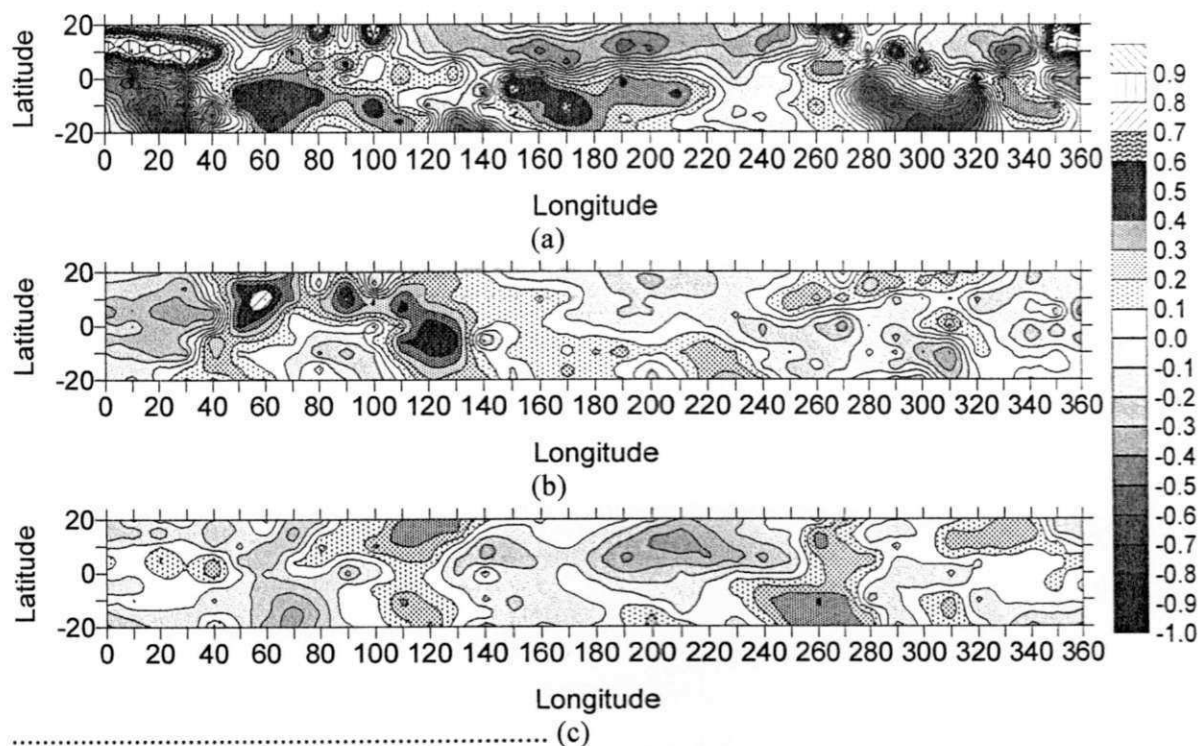
YANAY, M.; NITTA, T.; HAYASHI, Power spectra of large-scale disturbances over the tropical Pacific. **Journal Meteorological Society Japan**, v. 46, p. 308-323, 1968.

YASUNARI, T. Structure of an Indian summer monsoon system with around 40-day period. **Journal Meteorological Society Japan**, v. 59, p. 336-354. 1981.

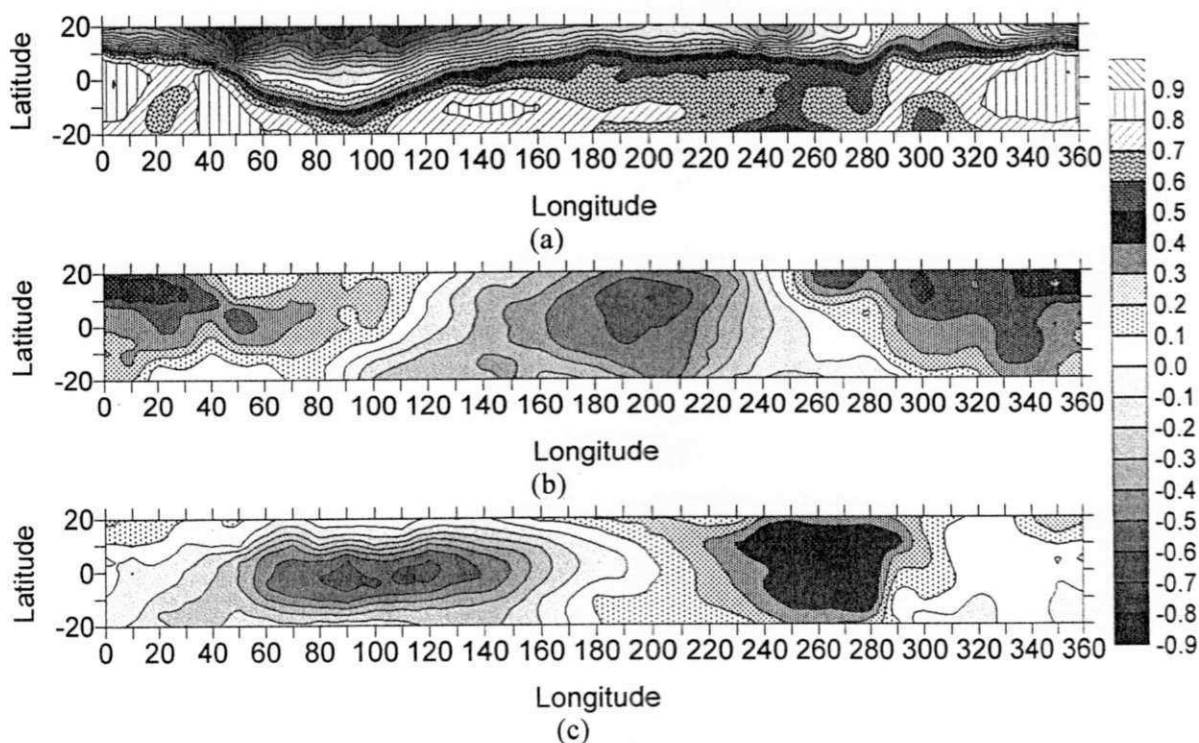
ZANGVIL, A. Temporal and spatial behavior of large-scale disturbances in tropical cloudiness deduced from satellite brightness data. **Monthly Weather Review**, v. 103, p. 904-920, 1975.

# APÊNDICE

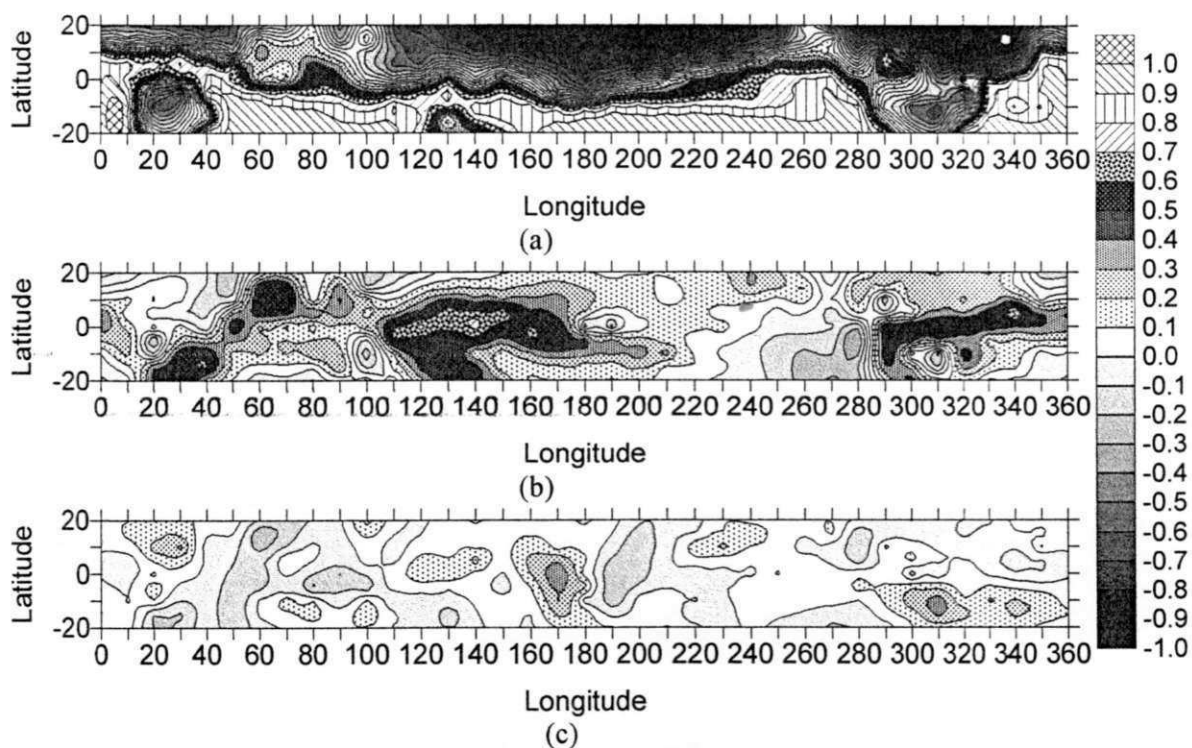
**Apêndice A1 – Correlações espaciais (primeira, terceira e quinta componentes)-**  
(referentes ao item 4.1.1)



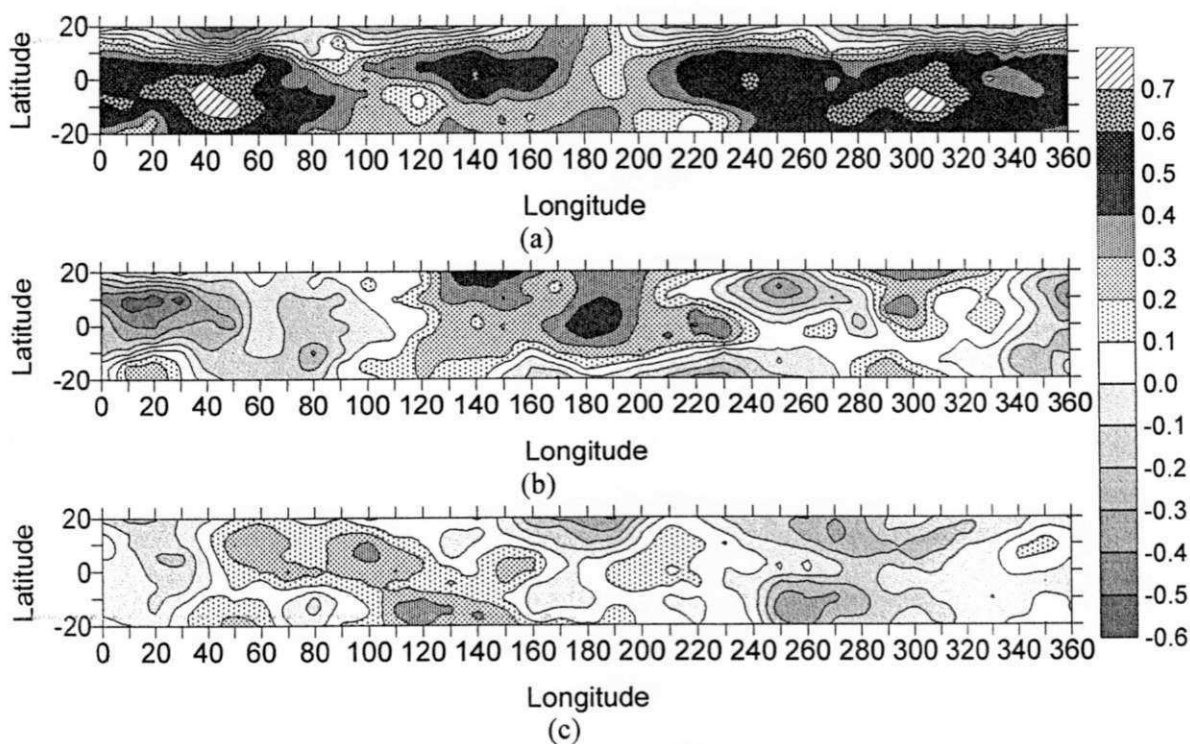
A.1.1 – Correlações espaciais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente do fluxo de calor latente



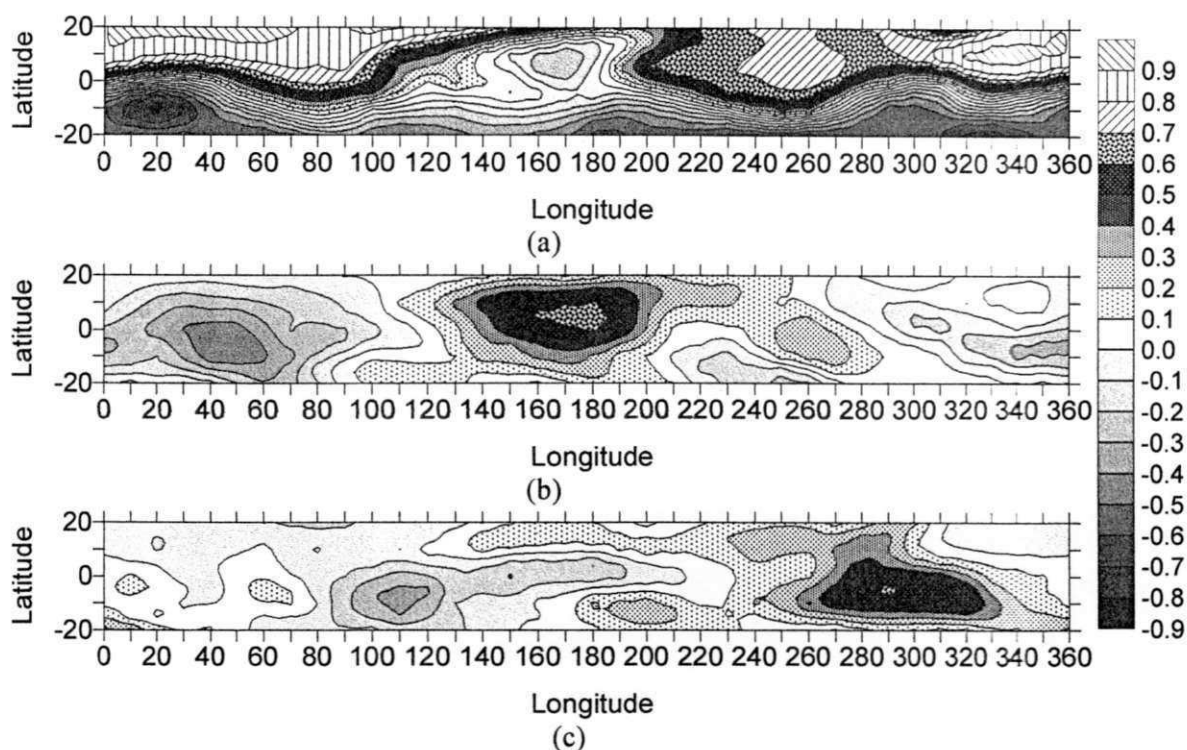
A.1.2 – Correlações espaciais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente da pressão ao nível médio do mar



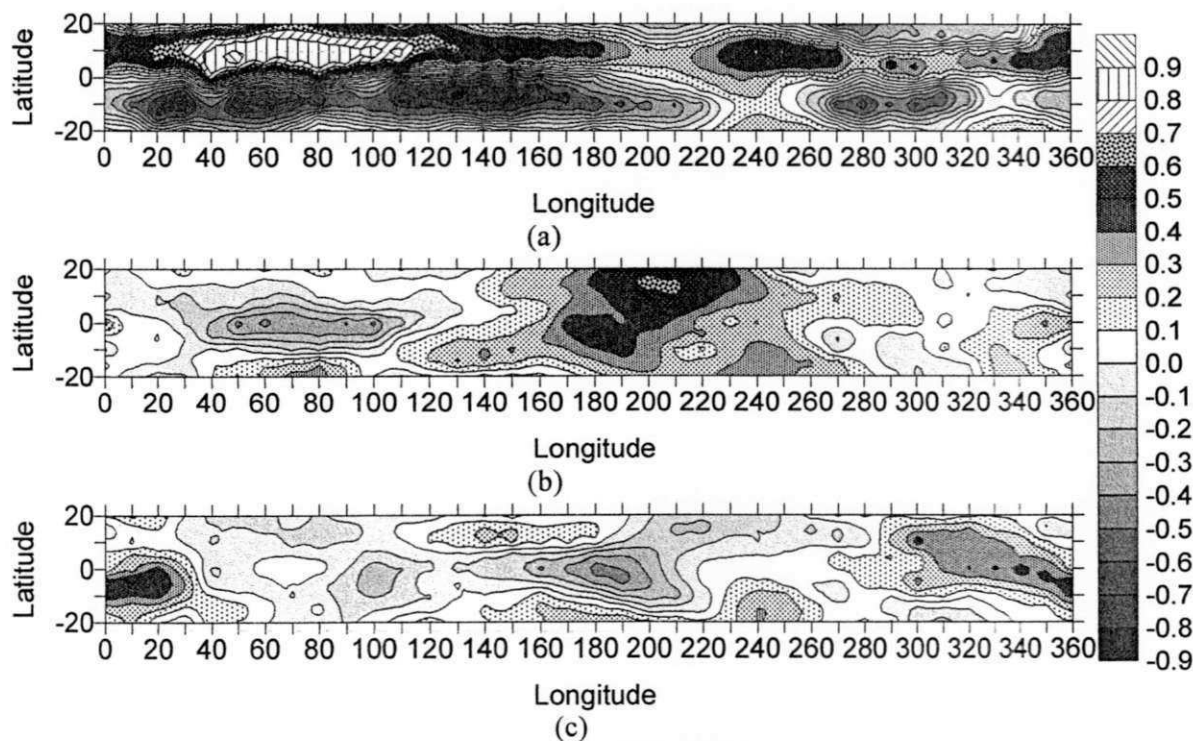
A.1.3 – Correlações espaciais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente da radiação de onda longa emitida para o espaço



A.1.4 – Correlações espaciais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente da temperatura do ar em 700 hPa



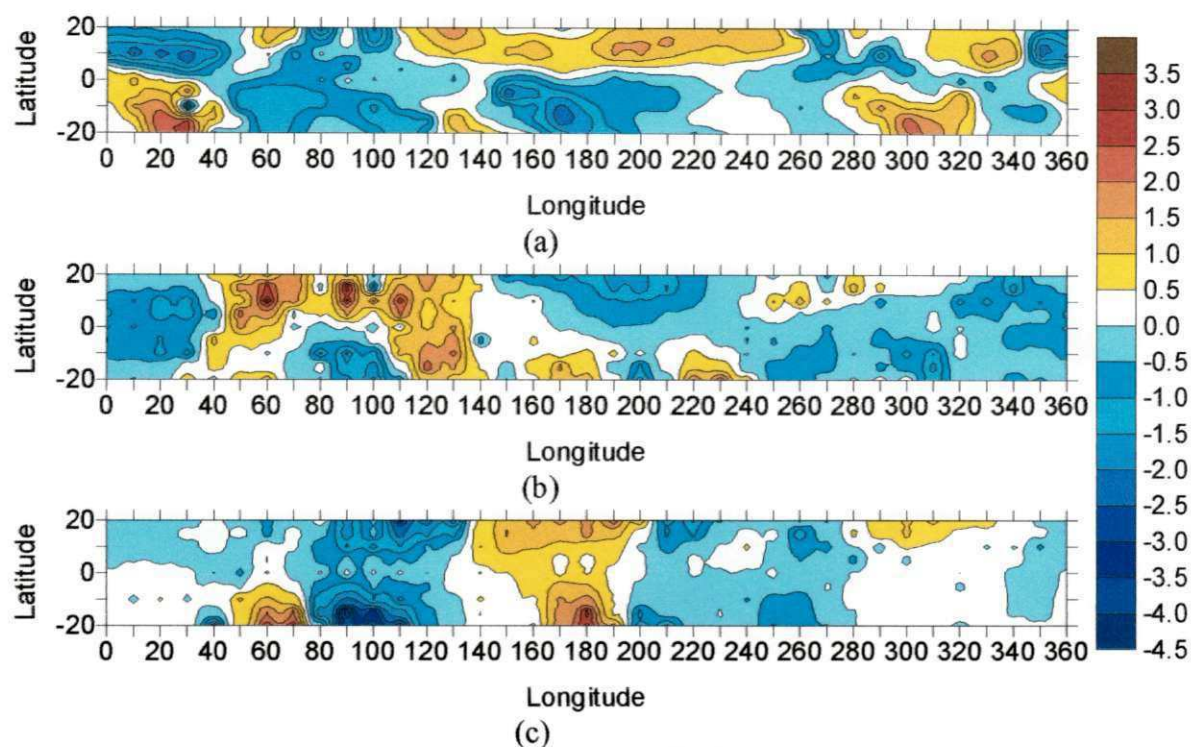
A.1.5 – Correlações espaciais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente do vento zonal em 200 hPa



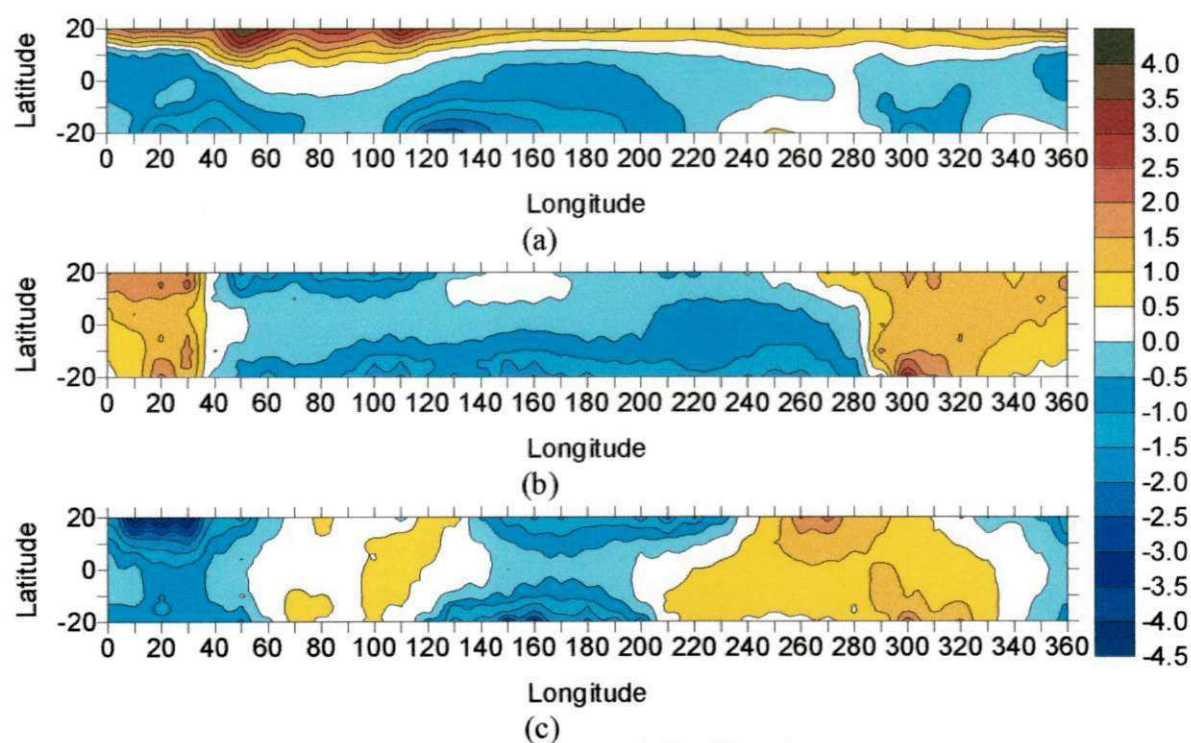
A.1.6 – Correlações espaciais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente do vento zonal em 850 hPa



**Apêndice A2 – segundo, quarto e sexto fatores (complemento do item 4.1.2)**

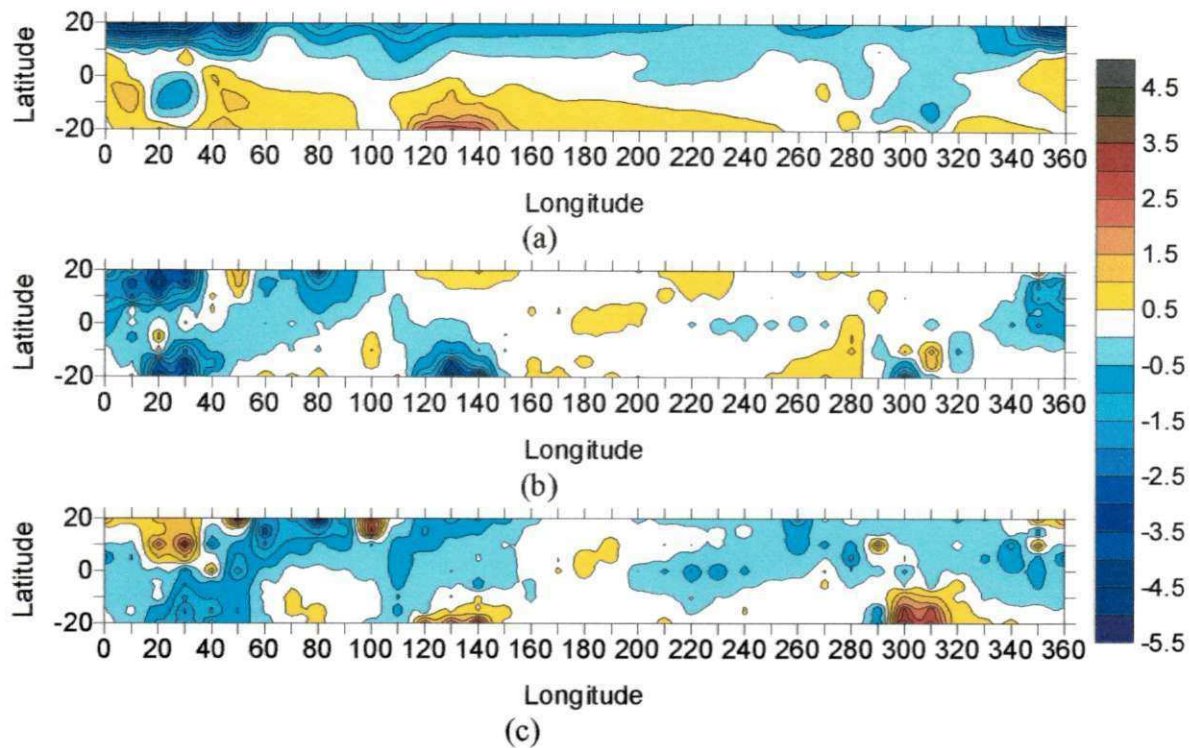


A2.1 – Campos correspondentes ao a) o segundo fator, b) o quarto fator e c) o sexto fator do Fluxo de Calor Latente

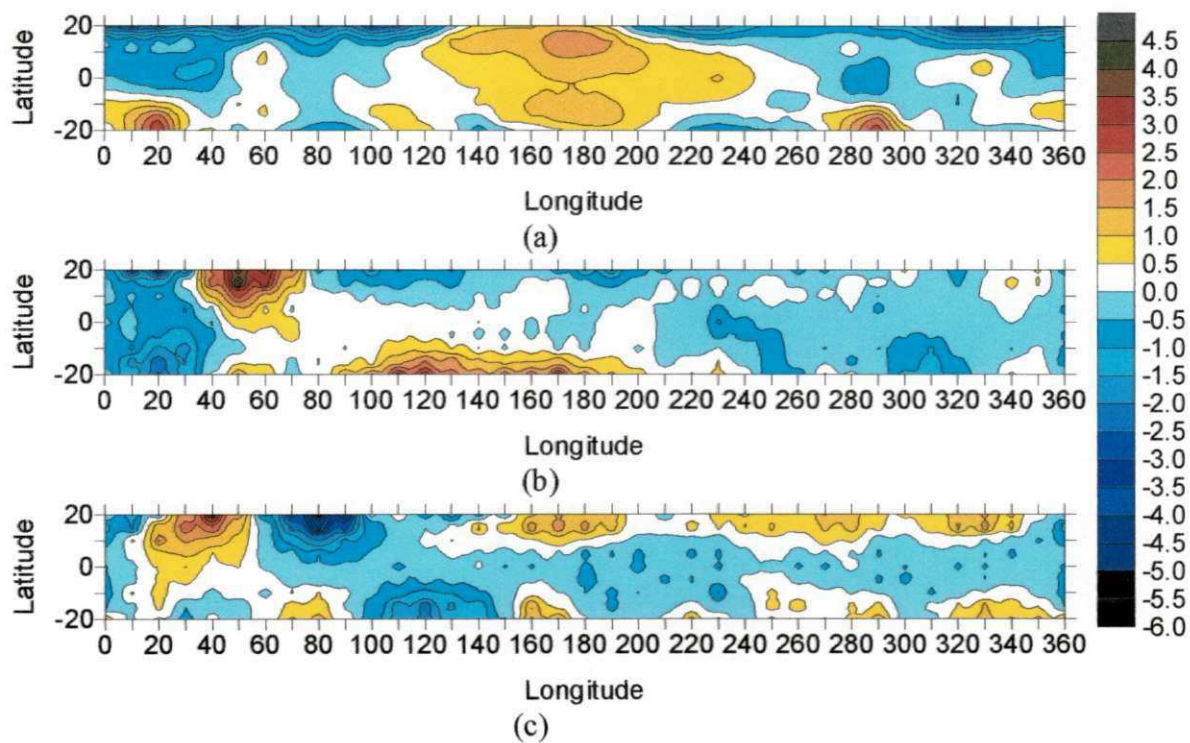


A2.2 – Campos correspondentes ao a) o segundo fator, b) o quarto fator e c) o sexto fator da pressão reduzida ao nível médio do mar

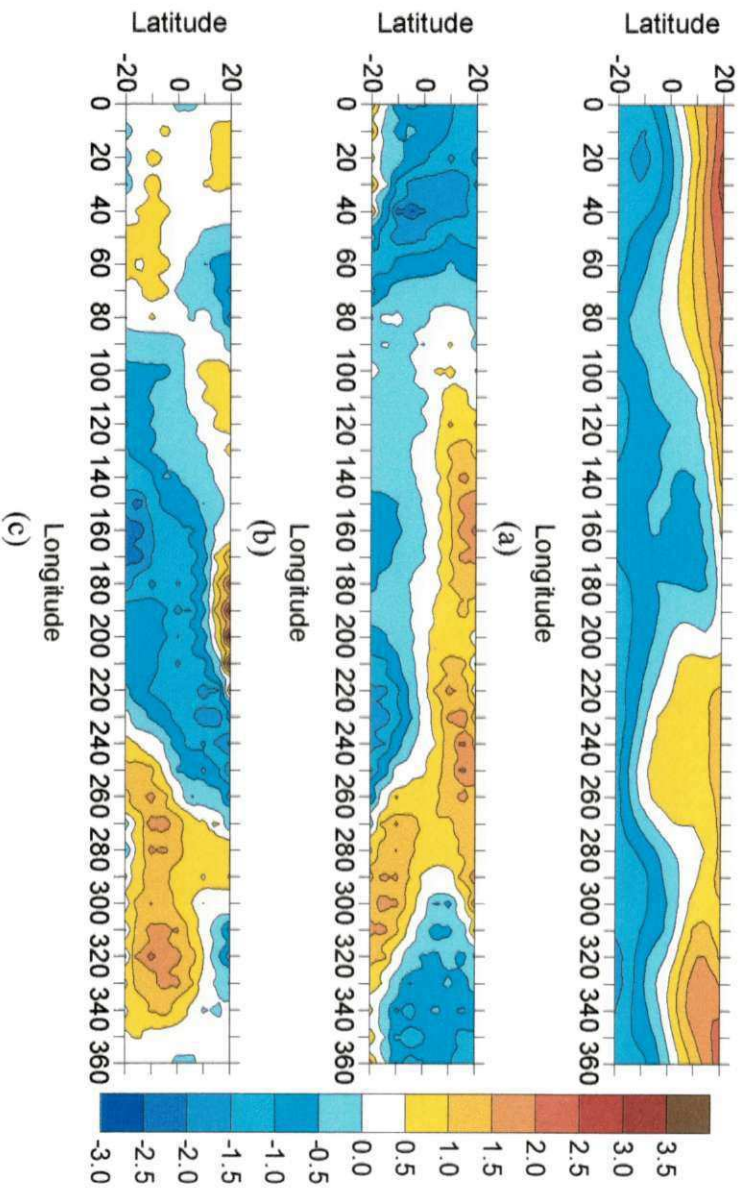




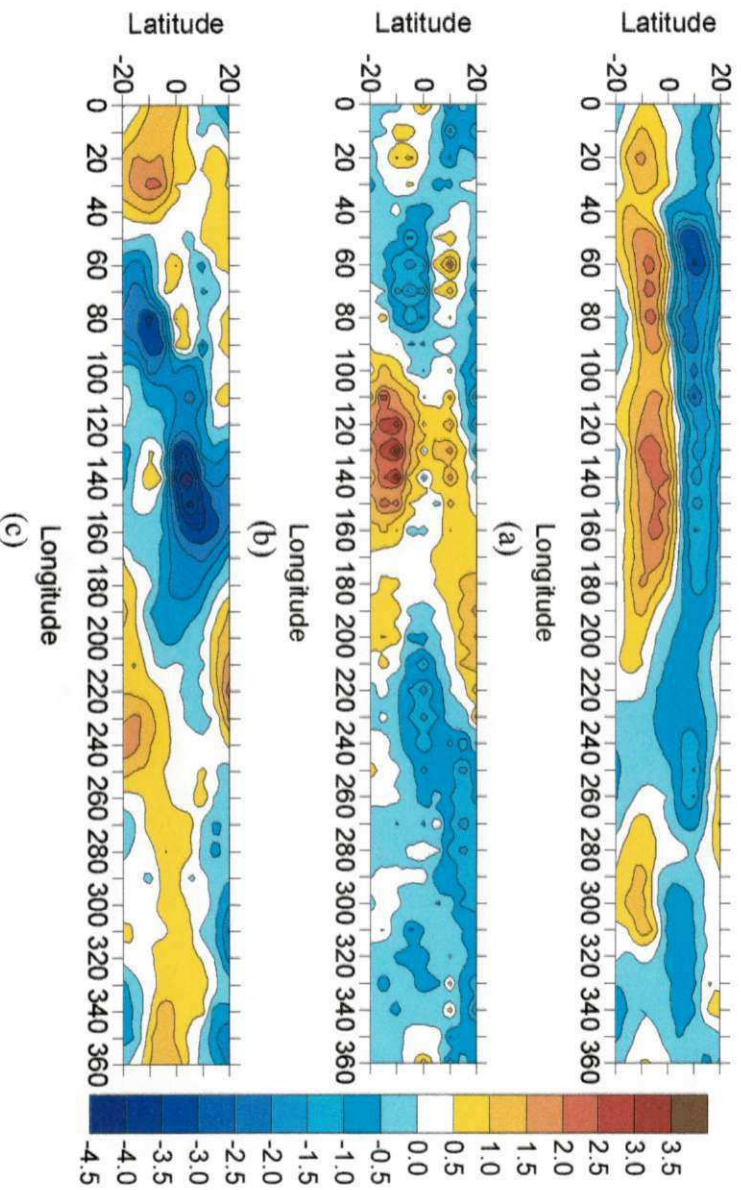
A2.3 – Campos correspondentes ao a) o segundo fator, b) o quarto fator e c) o sexto fator da radiação de onda longa emitida para o espaço



A2.4 – Campos correspondentes ao a) o segundo fator, b) o quarto fator e c) o sexto fator da temperatura no nível de 700 hPa



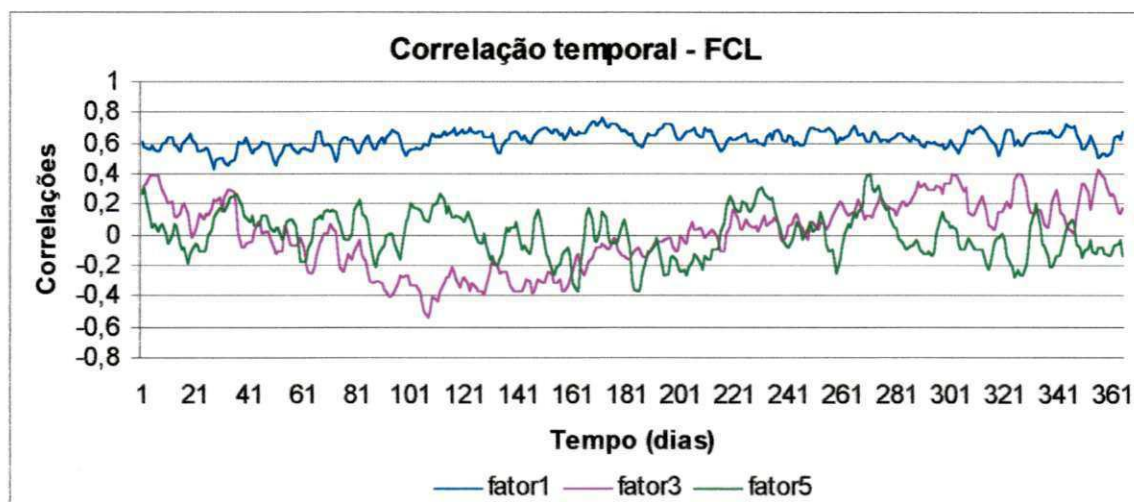
A2.5 – Campos correspondentes ao a) o segundo fator, b) o quarto fator e c) o sexto fator do vento zonal no nível de 200 hPa



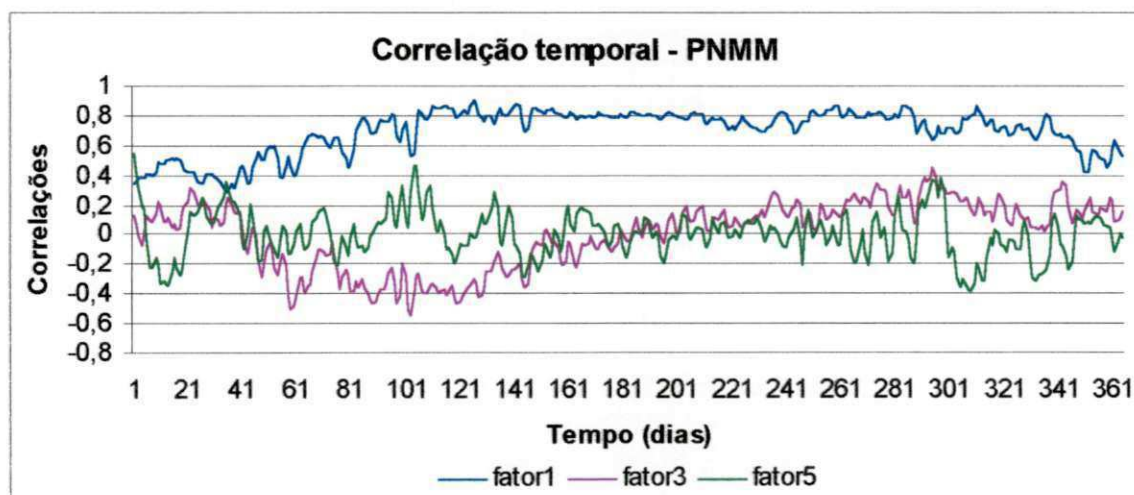
A2.6 – Campos correspondentes ao a) o segundo fator, b) o quarto fator e c) o sexto fator do vento zonal no nível de 850 hPa



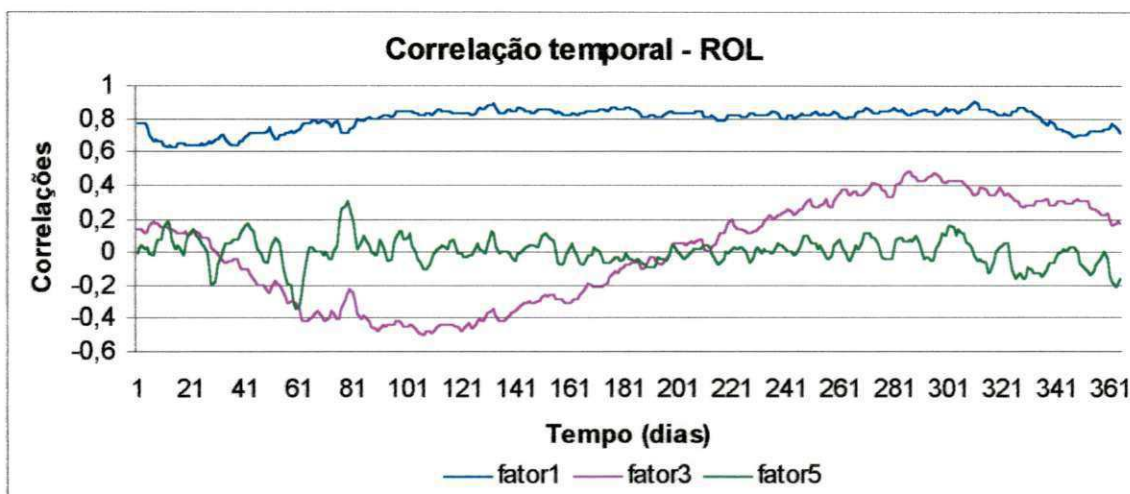
**Apêndice A3** – Correlações temporais (primeira, terceira e quinta componentes)-  
(referentes ao item 4.1.2)



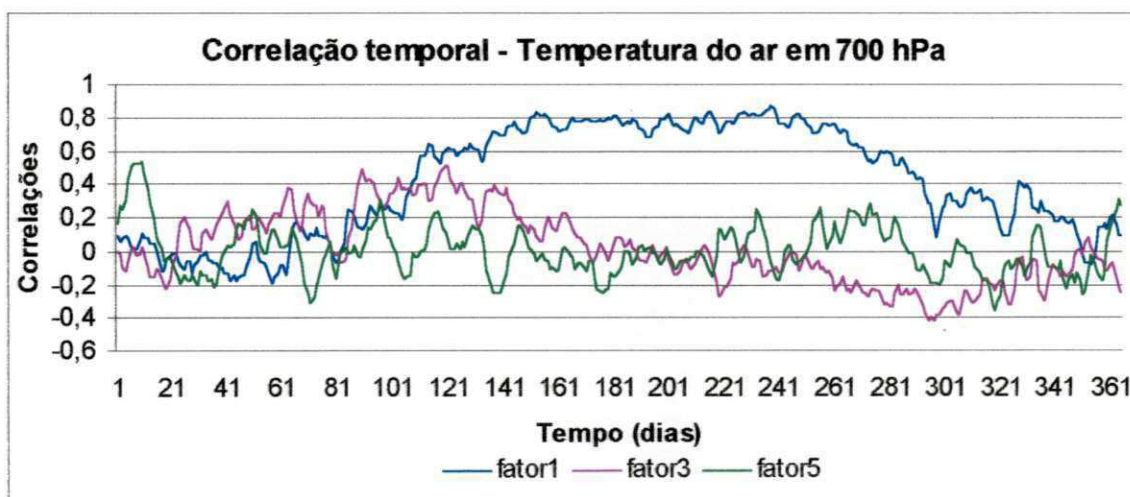
A.3.1 – Correlações temporais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente do fluxo de calor latente



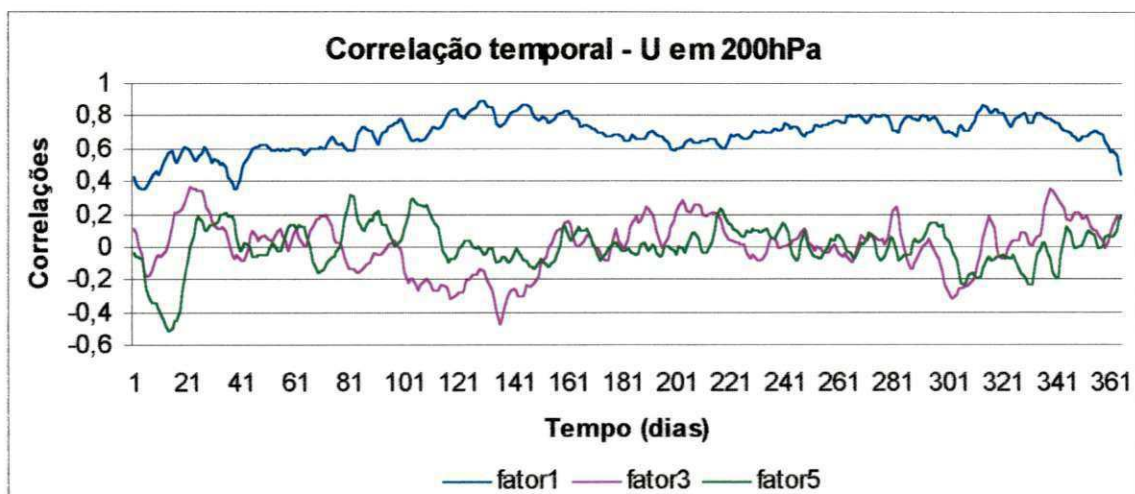
A.3.2 – Correlações temporais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente da pressão ao nível médio do mar



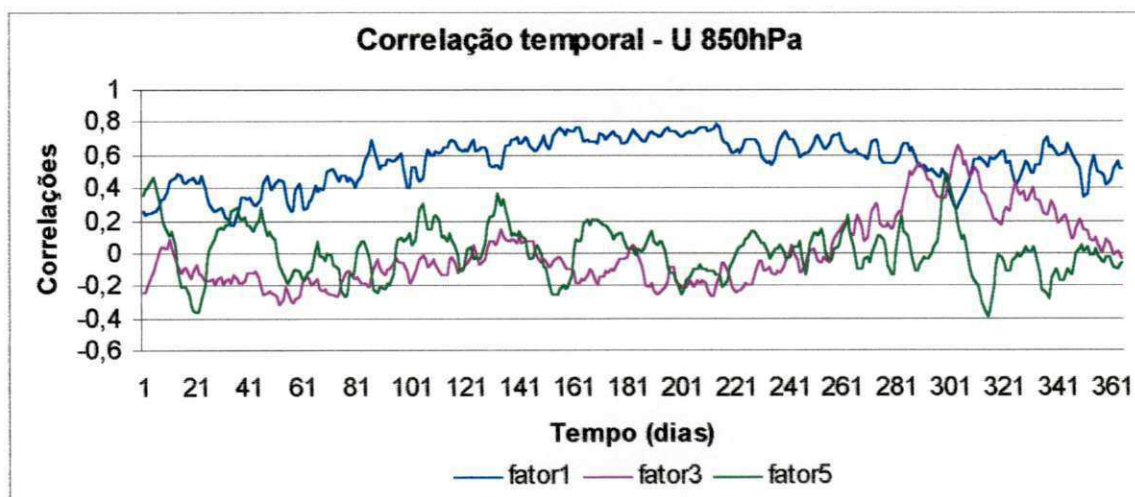
A.3.3 – Correlações temporais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente da radiação de onda longa emitida para o espaço



A.3.4 – Correlações temporais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente da temperatura do ar em 700 hPa

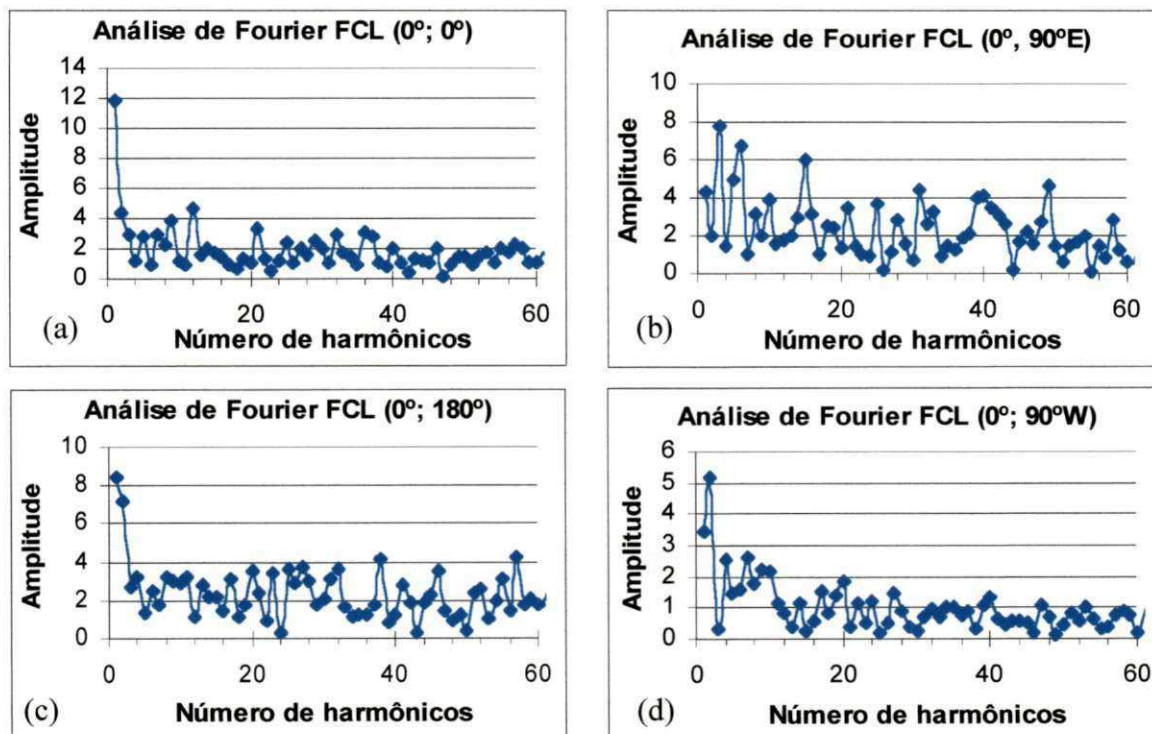


A.3.5 – Correlações temporais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente do vento zonal em 200 hPa



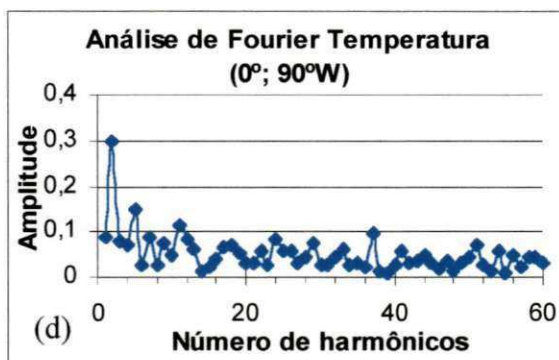
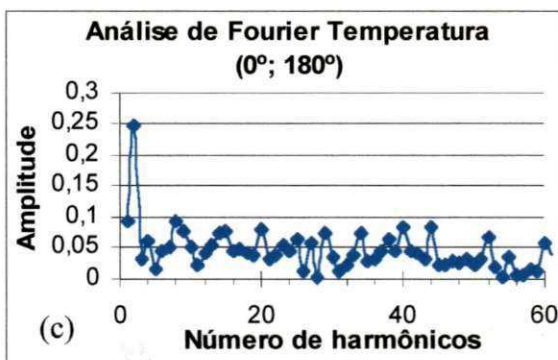
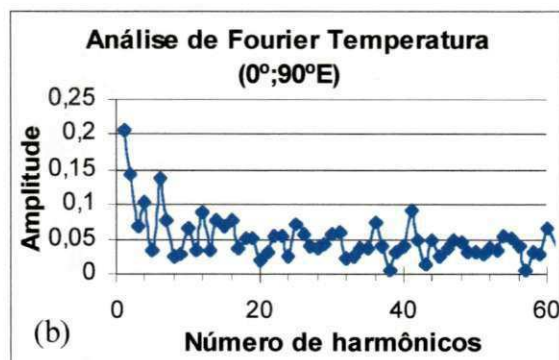
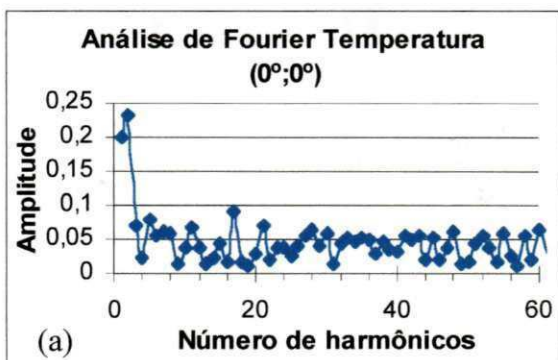
A.3.6 – Correlações temporais da a) primeira, b) terceira e c) quinta componente do vento zonal em hPa

**Apêndice A4** - Análise harmônica dos coeficientes de Fourier para o fluxo de calor latente, temperatura no nível de 700 hPa e vento zonal no nível de 200 hPa (complemento do item 4.5)

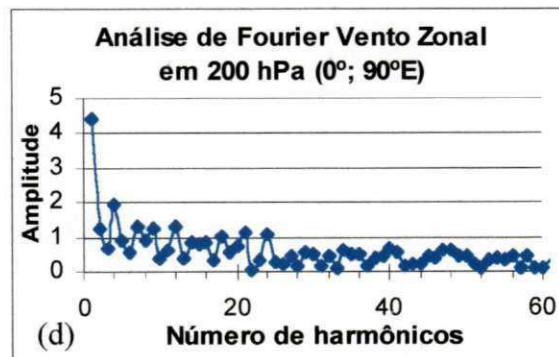
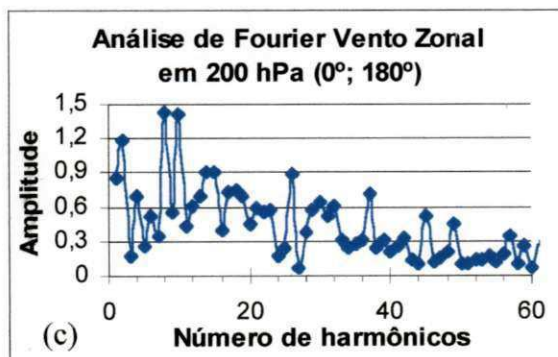
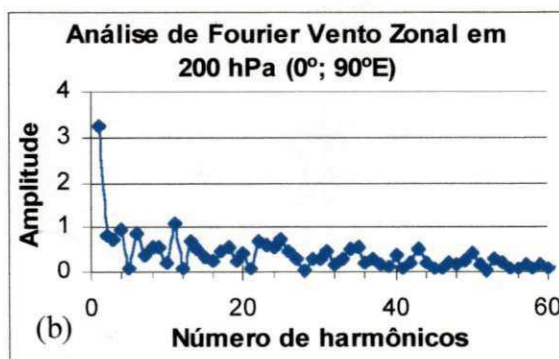
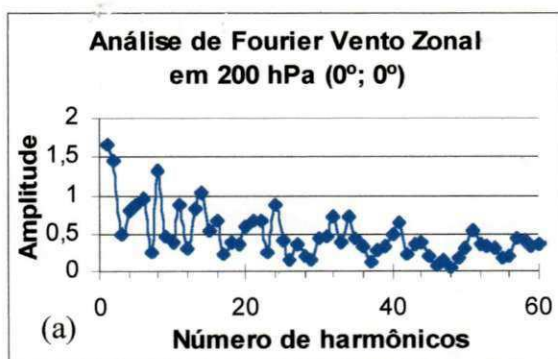


A4.1 – Análise harmônica dos coeficientes de Fourier do fluxo de calor latente: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)





A4.2 – Análise de harmônica dos coeficientes Fourier da temperatura: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)



A4.3 – Análise de harmônica dos coeficientes Fourier do vento zonal no nível de 200 hPa: a) no ponto (0°; 0°), b) no ponto (0°; 90°E), c) no ponto (0°; 180°) e d) no ponto (0°; 90°W)