



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

DOUGLAS BATISTA DA SILVA FERREIRA

**EVENTOS EXTREMOS DA ZONA DE CONVERGÊNCIA
INTERTROPICAL SOBRE O ATLÂNTICO DURANTE O PERÍODO
CHUVOSO DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM-PA
2008**

DOUGLAS BATISTA DA SILVA FERREIRA

**EVENTOS EXTREMOS DA ZONA DE CONVERGÊNCIA
INTERTROPICAL SOBRE O ATLÂNTICO DURANTE O PERÍODO
CHUVOSO DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.
Área de Concentração: Física do Clima.
Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

**BELÉM
2008**

DOUGLAS BATISTA DA SILVA FERREIRA

**EVENTOS EXTREMOS DA ZONA DE CONVERGÊNCIA
INTERTROPICAL SOBRE O ATLÂNTICO DURANTE O PERÍODO
CHUVOSO DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi, Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data da aprovação:

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Maria Aurora Santos da Mota – Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. José Ricardo Santos de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Tércio Ambrizzi - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade de São Paulo

Para *Raimunda Nazaré Silva*

Sandra Nazaré Batista da Silva Ferreira,

Osmar Nascimento Ferreira e

Mário Batista Silva (in memoriam)

A vocês dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço fundamentalmente a Deus por guiar meus passos muitas vezes em um caminho tortuoso e sempre estar olhando por mim nos momentos mais difíceis de minha vida.

Ao Prof. Everaldo Souza por compartilhar seu conhecimento através de uma brilhante orientação, depositando confiança no meu poder de raciocínio e capacidade de desenvolver trabalhos de pesquisa científica. Também por que não dizer pela amizade adquirida ao longo desses curtos anos.

À Thamiris Brandão por catalogar as edições dos jornais “O Liberal” e “Diário do Pará” que necessitei para finalização de minha pesquisa.

Ao Projeto “Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Estado do Pará – RPCH” por conceder bolsa de estudos e estrutura física de trabalho, fazendo com que obtivesse êxito em minha pesquisa.

A agência FAPESPA por me contemplar com uma bolsa de mestrado durante o período de setembro de 2007 até agosto de 2008.

Ao meu pai Osmar Ferreira por abrir meus olhos para o mundo e conseguir me fazer rir, mesmo estando chateado por algum motivo, e ao meu irmão Diogo Ferreira pelo companheirismo e diversão.

À minha mãe Sandra Nazaré pelo apoio incondicional à minha vida acadêmica e pessoal. Por sempre estar disposta a conversar comigo. Demonstrou ser minha base forte. Sem ela não conseguiria chegar aonde cheguei.

À minha querida avó Nazaré Silva, que desde o primeiro dia que resolvi trilhar meu caminho nos estudos, dedicou-se de forma infinitamente amável e dedicada. Ela é diretamente responsável pela pessoa que sou hoje.

À minha namorada Wanessa Azevedo pelo amor, carinho e compreensão nas minhas horas de cansaço físico e mental. Por me acompanhar onde quer que eu vá, se mostrando uma companheira para sempre.

Aos todos meus amigos que me acompanharam desde o início nessa jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais por proporcionar a possibilidade de adquirir mais conhecimento através de professores competentes que ajudaram em minha formação.

Além de todos que contribuíram de alguma forma na realização deste sonho.

**Toda pedra no caminho
Você deve retirar
Numa flor que tem espinhos
Você pode se arranhar
Se o bem e o mal existem
Você pode escolher
É preciso saber viver**

Roberto Carlos e Erasmo Carlos

RESUMO

Este trabalho reporta uma investigação observacional sobre as características climatológicas (período de 1985 a 2007) associadas aos eventos extremos da ZCIT observados sobre o Oceano Atlântico equatorial, procurando estabelecer as influências na variabilidade pluviométrica da Amazônia oriental, durante os meses de fevereiro, março e abril. Tais eventos foram selecionados objetivamente através da análise de Funções Ortogonais Empíricas e os padrões oceano-atmosfera associados aos eventos da ZCIT, bem como seus impactos na precipitação da Amazônia oriental, foram investigados com base em composições mensais. Os resultados evidenciaram algumas diferenças mensais, principalmente no padrão da circulação atmosférica em 200 hPa e na configuração vertical da circulação troposférica meridional associada à célula de Hadley equatorial. Quanto à estrutura dinâmica dos padrões oceano-atmosfera observada nos meses de fevereiro, março e abril, basicamente evidenciou-se que a ZCIT forma-se sobre o Oceano Atlântico equatorial numa região de confluência dos ventos alísios de sudeste e nordeste, coincidente com áreas contendo TSM anormalmente quente, movimento vertical ascendente associado à célula de Hadley, com divergência do vento em altos níveis. Os impactos de tais eventos na variabilidade espacial da precipitação sobre a Amazônia oriental mostrou que os principais estados afetados pela ZCIT são: Amapá, Pará e Maranhão. Adicionalmente, relatam-se alguns impactos sócio-ambientais (enchentes, alagamentos, queda de árvores, proliferação de doenças, entre outros) que ocorreram na região metropolitana de Belém, associados a ocorrência dos eventos extremos da ZCIT selecionados neste trabalho.

Palavras-chave: ZCIT. Atlântico equatorial. Precipitação. Amazônia oriental. Eventos extremos. Impactos sócio-ambientais

ABSTRACT

This work reports an observational analysis of the climatological characteristics (period of 1985-2007) associated with the ITCZ extreme events, observed over the equatorial Atlantic Ocean, establishing its influences on the pluviometric variability over eastern Amazon, during the months of February, March and April. These events were selected objectively through Empirical Orthogonal Functions analysis, and the ocean-atmosphere patterns associated with ITCZ events, as well as, its impacts on eastern Amazon rainfall, were investigated through monthly composites. The results showed some monthly differences in the dynamical pattern related to the 200 hPa atmospheric circulation and configuration of vertical tropospheric motion, associated with the equatorial Hadley cell. Basically, the dynamic structure of the ocean-atmosphere patterns observed in February, March and April, showed that the ITCZ is formed over the equatorial Atlantic Ocean in a region of confluence between northeasterly and southerly winds that is coincident with areas of abnormally hotter SST, upward vertical air motion associated with the Hadley cell, and divergent outflow at high levels. The impacts of such events in the precipitation variability over the eastern Amazon, showed that the states affected by ITCZ are mainly Amapá, Pará and Maranhão. Additionally, it were reported some socio-environmental impacts (floods, falling trees, proliferation of diseases, among others) that occurred in the metropolitan area of Belém, associated with the occurrence of extreme weather events ITCZ selected in this work, associated to the presence of ITCZ over the region.

Key-words: ITCZ, Equatorial Atlantic, Precipitation, Eastern Amazon, Extreme weather events, socio-environmental impacts

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: (a) Localização da Amazônia brasileira dentro da América do Sul, (b) média climatológica anual de precipitação referente ao período de 1978-2007 do CPC/NCEP, média climatológica sazonal da estação de (c) verão e (d) outono. As escalas de cores indicam a intensidade em mm. 15
- Figura 2. (a) Precipitação (mm) para o mês de março de 2007, registrada pelo INMET (Fonte: <http://www.inmet.gov.br>); (b) ilustração do impacto causado pela chuva de 61,8 mm do dia 28 de Março de 2007 na cidade de Belém-PA, quando o Corpo de Bombeiros registrou dez ocorrências de pedidos de socorro de moradores, devido a quedas de árvores, alagamentos de várias ruas e casas residenciais, congestionamentos, acidentes de trânsito, entre outros. 17
- Figura 3. (a) Modelo de circulação meridional da atmosfera em termos globais, (b) esquematização da célula de Hadley na região tropical e formação da banda de nebulosidade convectiva associada à ZCIT. A escala vertical está exagerada nas figuras. 19
- Figura 4. Configuração espacial do padrão nebuloso associado a um episódio da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, durante mês de março. 20
- Figura 5. (a) Localização e distribuição típica das estações (pontos vermelhos) sobre a América do Sul destacando a região Amazônica no quadro a direita. 24
- Figura 6. (a) Padrão espacial climatológico (1974-2006) de ROL para os meses de Janeiro a Maio. (b) Climatologia diária (1974-2006) de ROL para a região da caixa vermelha de Janeiro a Maio, destacando os valores de ROL inferiores a 230 W/m² preenchidos em cinza. 30
- Figura 7. Climatologia de ROL e vento horizontal em 200 hPa (mapas à esquerda), TSM, e vento horizontal em 1000 hPa (mapas à direita) para os meses de fevereiro a abril. A barra de cores indica a intensidade de ROL em W/m² e TSM em °C. 32
- Figura 8. Climatologia de omega (contornos sombreados em cores) e circulação meridional associada a célula de Hadley (vetores) para a o perfil vertical entre de 55°W e 44°W nos meses de fevereiro, março e abril. A escala de cores indica a magnitude de omega em hPa/s. 33

Figura 9. Climatologia de precipitação para os meses de fevereiro a abril. A barra de cores indica a intensidade em mm.	34
Figura 10. Autovetores obtidos pela análise de EOF para o 1° e 2° modo de variabilidade durante os meses de fevereiro. Áreas em cinza representam valores estatisticamente significantes ao nível de 95%.	35
Figura 11. Evolução temporal da componente principal para EOF2 durante os meses de fevereiro (1985 a 2007).	36
Figura 12. Autovetores obtidos pela análise de EOF para o 1° e 2° modo de variabilidade durante os meses de março. Áreas em cinza representam valores estatisticamente significantes ao nível de 95%.	37
Figura 13. Evolução temporal da componente principal para EOF2 durante os meses de março (1985 a 2007).	37
Figura 14. Autovetores obtidos pela análise de EOF para o 1° e 2° modo de variabilidade durante os meses de abril. Áreas em cinza representam valores estatisticamente significantes ao nível de 95%.	38
Figura 15. Evolução temporal da componente principal para EOF2 durante os meses de abril (1985 a 2007).	38
Figura 16. (a) Composições das anomalias de ROL e (b) precipitação correspondentes aos meses de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e precipitação em mm.	43
Figura 17. (a) Composições das anomalias de ROL e (b) precipitação correspondentes aos meses de março. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e precipitação em mm.	44
Figura 18. (a) Composições das anomalias de ROL e (b) precipitação correspondentes aos meses de abril. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e precipitação em mm.	44

Figura 19: Anomalias de ROL (contornos sombreados em cores) e campo de vento horizontal (linhas de corrente) em 200 hPa correspondentes as composições do mês de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2	46
Figura 20: Anomalias de TSM (contornos sombreados em cores) e anomalias do vento horizontal (vetores) em 1000 hPa correspondentes as composições do mês de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de TSM em $^{\circ}C$	47
Figura 21: Corte vertical (altura em níveis de pressão x latitude) associado a célula de Hadley entre $55^{\circ}W$ - $40^{\circ}W$ das anomalias de omega (contornos sombreados em cores) e circulação troposférica meridional correspondente as composições do mês de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de omega em hPa/s.	47
Figura 22: Anomalias de ROL (contornos sombreados em cores) e campo de vento horizontal (linhas de corrente) em 200 hPa correspondentes as composições do mês de março. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2	49
Figura 23: Anomalias de TSM (contornos sombreados em cores) e anomalias do vento horizontal (vetores) em 1000 hPa correspondentes as composições do mês de março. A escala de cores indica a intensidade de TSM em $^{\circ}C$	49
Figura 24: Corte vertical (altura em níveis de pressão x latitude) associado a célula de Hadley entre $55^{\circ}W$ - $40^{\circ}W$ das anomalias de omega (contornos sombreados em cores) e circulação troposférica meridional correspondente as composições do mês de março. A escala de cores indica a intensidade de omega em hPa/s.	50
Figura 25: Anomalias de ROL (contornos sombreados em cores) e campo de vento horizontal (linhas de corrente) em 200 hPa correspondentes as composições do mês de abril. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2	51
Figura 26: Anomalias de TSM (contornos sombreados em cores) e anomalias do vento horizontal (vetores) em 1000 hPa correspondentes as composições do mês de abril. A escala de cores indica a intensidade de TSM em $^{\circ}C$	52
Figura 27: Corte vertical (altura em níveis de pressão x latitude) associado a célula de Hadley entre $55^{\circ}W$ - $40^{\circ}W$ das anomalias de omega (contornos sombreados em cores) e circulação	

troposférica meridional correspondente as composições do mês de abril. A escala de cores indica a intensidade de omega em hPa/s.	52
Figura 28: Alagamento em uma importante via de Belém (PA), impedindo a livre circulação dos veículos..	55
Figura 29: Imagem de impactos causados pelo evento extremo de precipitação em 25 de abril de 2002 derrubando árvores em Belém-PA.....	58
Figura 30: Distribuição da ocorrência dos impactos dos eventos extremos de precipitação nos diversos bairros da cidade de Belém (PA) em porcentagem.	59
Figura 31: Localização dos bairros mais impactados pelas constantes chuvas em Belém (PA), destacando os canais a céu aberto.....	60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Datas de pico, duração do evento e precipitação durante ocorrência dos episódios extremos da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, perdurando por três dias consecutivos ou mais para o mês de fevereiro (1985-2007)..... 40
- Tabela 2: Datas de pico, duração do evento e precipitação durante ocorrência dos episódios extremos da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, perdurando por três dias consecutivos ou mais para o mês de março (1985-2007). 41
- Tabela 3: Datas de pico, duração do evento e precipitação durante ocorrência dos episódios extremos da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, perdurando por três dias consecutivos ou mais para o mês de abril (1985-2007)..... 42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ZCIT.....	19
3.2 MECANISMOS CLIMÁTICOS DE GRANDE ESCALA	20
3.3 IMPACTOS DA CONVECÇÃO E PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA.....	22
4 DADOS E METODOLOGIA	24
4.1 BASE DE DADOS	24
4.2 FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS.....	26
4.3 COMPOSIÇÕES	29
5 RESULTADOS	30
5.1 ÁREA DE ESTUDO E PERÍODO DE ANÁLISE.....	30
5.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....	31
5.3 ESTRUTURA ESPAÇO-TEMPORAL DA ZCIT (1985-2007): ANÁLISE DE EOF.....	35
5.4 COMPOSIÇÕES DE EVENTOS EXTREMOS DA ZCIT	39
5.4.1 Critério de Seleção dos Eventos	39
5.4.2 Convecção Tropical e Precipitação Regional.....	42
5.4.3 Estrutura Dinâmica dos Padrões Oceano-Atmosfera	45
5.5 IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS	53
6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia localiza-se inteiramente dentro dos trópicos da América do Sul e ocupa uma porção considerável do território brasileiro (Figura 1a). A região amazônica é caracterizada pelo seu regime de alta pluviosidade, com uma média anual entre 1400 mm e 3000 mm, conforme mostra a Figura 1b, sendo que os dois máximos principais (precipitação acima de 2000 mm) configuram-se distintamente sobre a porção ocidental e oriental. Analisando a contribuição da precipitação durante os meses da estação de verão (dezembro a fevereiro – DJF), Figura 1c, nota-se que o máximo pluviométrico, entre 800 e 1000 mm, apresenta uma orientação noroeste-sudeste e associa-se primariamente aos padrões atmosféricos quase-estacionários da Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS (FIGUEROA; NOBRE, 1990; SOUZA et al., 2000; SOUZA; AMBRIZZI, 2003; CARVALHO et al., 2004). Por outro lado, a configuração do máximo pluviométrico, entre 800 e 1200 mm, observado durante os meses do outono (março a maio – MAM), Figura 1d, mostra claramente uma banda zonalmente alongada entre os estados do Amazonas, Pará e Amapá. A precipitação deste máximo é induzida principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que alcança sua porção mais austral durante os meses de março/abril (HASTENRATH; LAMB, 1977; NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA et al., 1998; XAVIER et al., 2000; SOUZA et al., 2004).

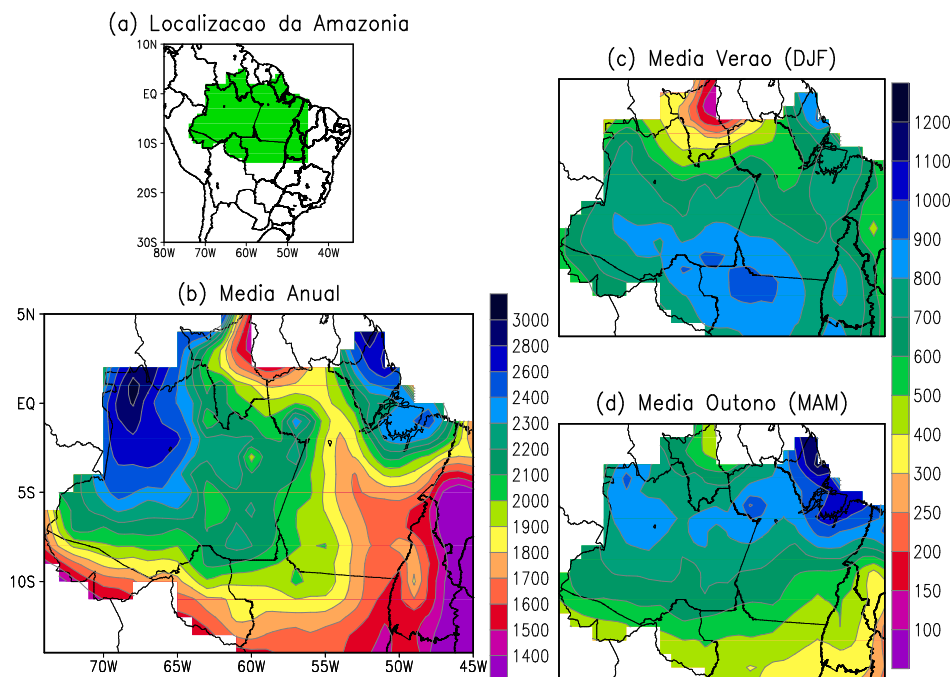


Figura 1: (a) Localização da Amazônia brasileira dentro da América do Sul, (b) média climatológica anual de precipitação referente ao período de 1978-2007 do CPC/NCEP, média climatológica sazonal da estação de (c) verão e (d) outono. As escalas de cores indicam a intensidade em mm.

Portanto, uma análise preliminar da precipitação sazonal de outono (Figura 1d) indica que a manifestação da banda de nebulosidade da ZCIT sobre o Atlântico equatorial torna-se primordial na determinação qualitativa e quantitativa da estação chuvosa sobre a Amazônia oriental, em especial nas regiões do Amapá, Pará e Maranhão.

A ZCIT é parte integrante da circulação geral da atmosfera e forma-se dentro do ramo ascendente da célula de Hadley, na região de confluência dos ventos alísios de nordeste (procedentes do Hemisfério Norte - HN) com os alísios de sudeste (oriundos do Hemisfério Sul - HS), e sua posição coincide aproximadamente com o equador térmico (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Estudos anteriores avaliaram os aspectos diagnósticos da ZCIT, no que concerne a sua modulação na variabilidade pluviométrica do Brasil tropical, entretanto, a maioria dos estudos direcionou as análises para a região do Nordeste Brasileiro (UVO, 1989; SOUZA et al., 1998; XAVIER et al., 2000; COELHO et al., 2004; FERREIRA et al., 2005). Com exceção do estudo observacional conduzido por Souza et al. (2004), não há um estudo climatológico abordando o comportamento da ZCIT e sua influência direta na variabilidade de precipitação da Amazônia. Nesse contexto, o presente trabalho tem como enfoque principal, conduzir uma investigação estatístico-dinâmica sobre os eventos da ZCIT observados sobre o Atlântico equatorial, bem como sua modulação na variabilidade pluviométrica regional do período chuvoso da Amazônia oriental.

Não obstante, sabe-se que episódios da ZCIT estão frequentemente associados a grandes volumes de chuva, os quais podem resultar em potenciais impactos sócio-ambientais, em particular nas cidades sem saneamento básico e com infra-estrutura urbana inadequada a grandes populações.

Assim sendo, episódios de precipitação associados à ZCIT podem efetivamente ser enquadrados como eventos extremos, conforme a intensidade do fenômeno (ocorrência de precipitação de magnitude excepcionalmente acima do normal) e também do tempo de duração do fenômeno (persistência de vários dias chuvosos na mesma região). Tais eventos extremos de precipitação têm inquestionável impacto na economia e no setor social, afetando sobremaneira as diversas atividades humanas, a indústria, produção de alimentos, a saúde, o transporte, podendo até ocasionar impactos no meio-ambiente e também gerar prejuízos à vida humana. Como exemplo de um típico evento extremo da ZCIT, cita-se o ocorrido na cidade de Belém no dia 28 de Março de 2007, quando se registrou precipitação superior a 60 mm na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, resultando em sérios

transtornos à população local, tais como alagamentos, congestionamentos, queda de árvores, etc (Figura 2).

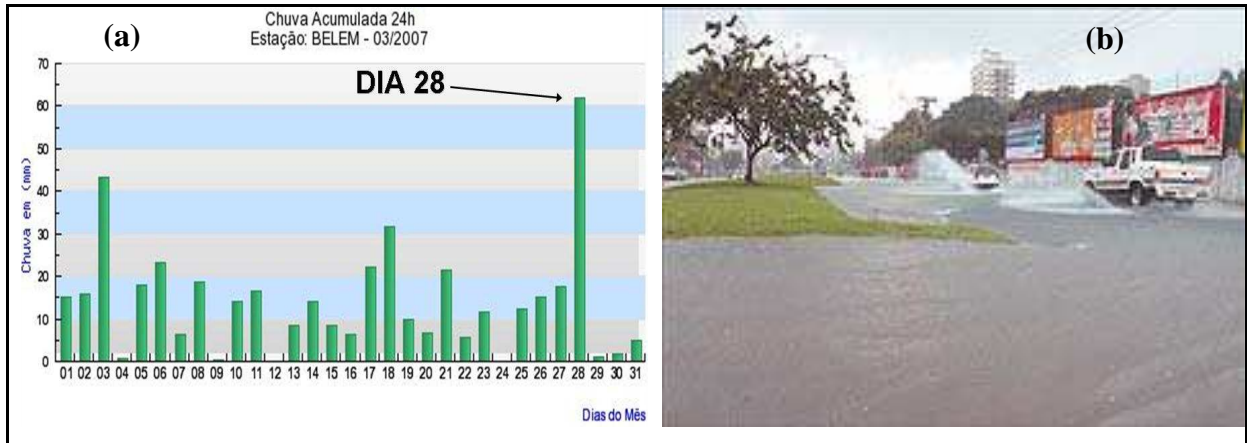


Figura 2. (a) Precipitação (mm) para o mês de março de 2007, registrada pelo INMET (Fonte: <http://www.inmet.gov.br>); (b) ilustração do impacto causado pela chuva de 61,8 mm do dia 28 de Março de 2007 na cidade de Belém-PA, quando o Corpo de Bombeiros registrou dez ocorrências de pedidos de socorro de moradores, devido a quedas de árvores, alagamentos de várias ruas e casas residenciais, congestionamentos, acidentes de trânsito, entre outros.

Fonte: ORM - 2007.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estabelecer as principais características climatológicas, associadas aos eventos extremos diretamente relacionados com episódios da ZCIT sobre o Oceano Atlântico equatorial, com influências na variabilidade espacial e temporal da precipitação regional sobre a Amazônia oriental, durante os meses da estação chuvosa.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar os modos de variabilidade climática associados à convecção tropical na região do Oceano Atlântico equatorial e norte-nordeste da América do Sul, selecionando os episódios extremos associados primordialmente a ZCIT;
2. Caracterizar os padrões oceano-atmosfera associados aos eventos extremos da ZCIT, através de composições mensais;
3. Investigar a variabilidade espacial e temporal da precipitação regional sobre a Amazônia oriental associada aos eventos extremos da ZCIT;
4. Contextualizar os impactos sócio-ambientais dos eventos extremos de chuva em algumas localidades da Amazônia oriental.

Os tópicos de 1 a 3 serão investigados separadamente para cada mês do período chuvoso, com a finalidade de se estabelecer as possíveis diferenças mensais associadas aos padrões oceano-atmosfera que caracterizam a ZCIT Atlântica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ZCIT

Formada principalmente pela confluência dos ventos alísios de nordeste do HN com os ventos alísios de sudeste do HS, a ZCIT faz parte da circulação geral da atmosfera e é dinamicamente definida como uma banda de baixa pressão e convergência dos alísios em baixos níveis dentro do ramo ascendente da célula de Hadley (Figura 3a). A região da ZCIT caracteriza-se pela presença de acentuada instabilidade atmosférica com movimento ascendente sobre toda a troposfera equatorial que induz a formação de nuvens convectivas com grande desenvolvimento vertical (Figura 3b). Conseqüentemente, a ZCIT provoca a ocorrência de precipitação abundante sobre grandes áreas oceânicas e continentais.

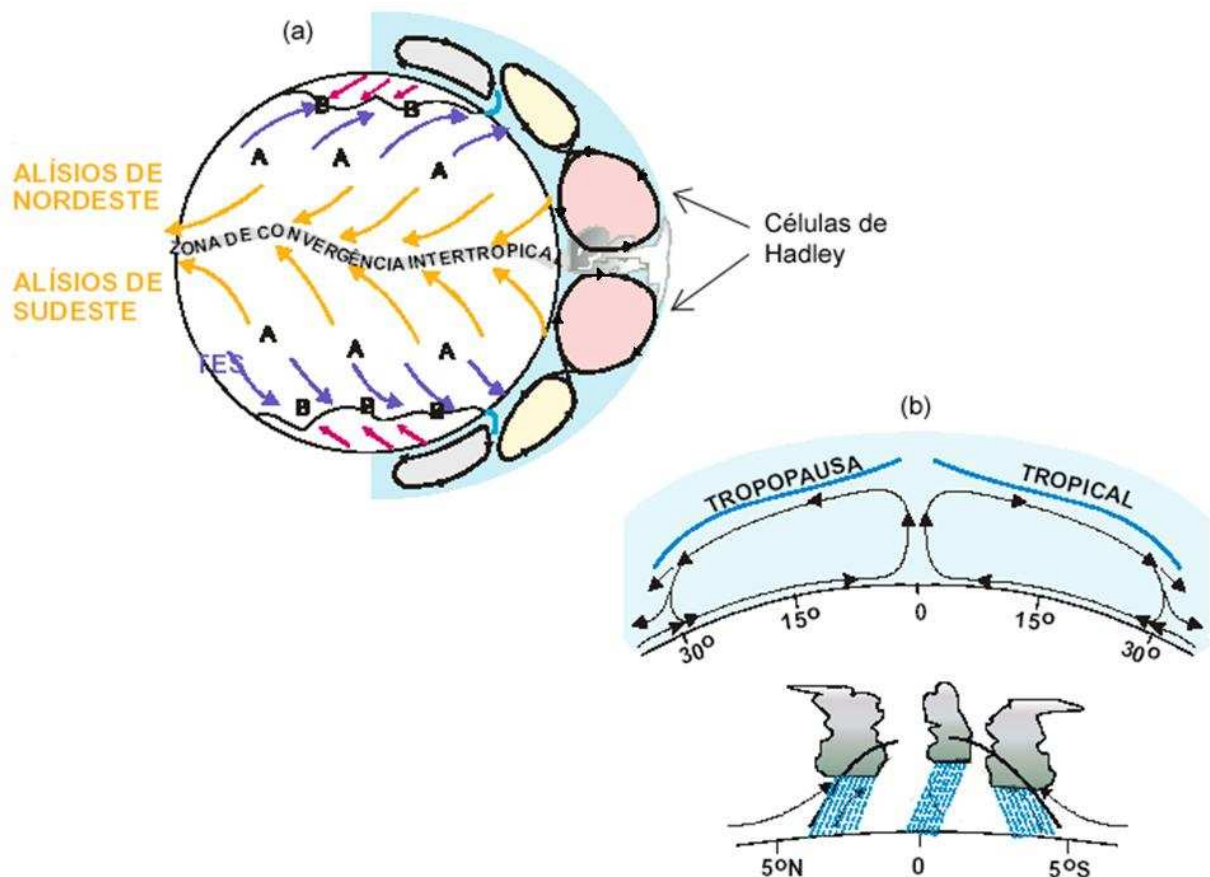


Figura 3. (a) Modelo de circulação meridional da atmosfera em termos globais, (b) esquematização da célula de Hadley na região tropical e formação da banda de nebulosidade convectiva associada à ZCIT. A escala vertical está exagerada nas figuras.

Fonte: Varejão-Silva (2006), p. 301 e 304.

Devido o deslocamento aparente do sol, a posição sazonal da ZCIT é aproximadamente 8°N em agosto/setembro e 1°S em março/abril (UVO, 1989). Outra característica desse sistema é posicionar-se sobre as áreas oceânicas com anomalias de TSM positivas e anomalias negativas de pressão ao nível médio do mar (HASTENRATH, 1991).

Assim, a ZCIT consiste de uma área de convergência em baixos níveis (divergência em altos níveis) na região de fronteira entre o HN e HS, apresentando uma estrutura de nebulosidade convectiva zonalmente alongada sobre o equador. A Figura 4 ilustra um evento típico da ZCIT influenciando as regiões norte/nordeste do Brasil.

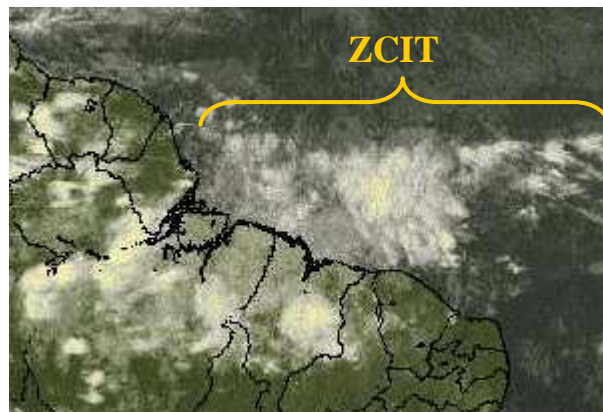


Figura 4. Configuração espacial do padrão nebuloso associado a um episódio da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, durante mês de março.

Fonte: CPTEC/INPE em 30/03/2007 às 01:30 UTC.

3.2 MECANISMOS CLIMÁTICOS DE GRANDE ESCALA

A variabilidade espacial e temporal da precipitação sobre a Amazônia oriental, durante os meses do período chuvoso, é diretamente influenciada pelos mecanismos climáticos de grande escala que ocorrem nos dois oceanos tropicais adjacentes: o Oceano Pacífico equatorial e o Oceano Atlântico tropical. Estes modos desencadeiam interações entre o oceano e a atmosfera e estão relacionados basicamente com:

- Ciclo do El Niño/Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico;
- Padrão de Dipolo ou Fases do Gradiente meridional das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia intertropical do Oceano Atlântico.

O ciclo do ENOS apresenta duas fases extremas conhecidas como El Niño e La Niña. As condições de El Niño associam-se ao aquecimento anômalo em grande-escala nas águas oceânicas sobre o Pacífico equatorial centro-leste, perdurando por pelo menos cinco meses entre o verão e o outono. Inversamente, as condições de La Niña relacionam-se ao resfriamento anormal das águas oceânicas equatoriais sobre a bacia centro-leste (TRENBERTH, 1997).

Sobre a bacia oceânica do Atlântico tropical, durante os meses do outono, o principal mecanismo climático atuante é o conhecido Padrão de Dipolo do Atlântico (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA et al., 1998) ou atualmente denominado de Gradiente de anomalias de TSM no Atlântico intertropical (SOUZA et al., 2004; SOUZA et al., 2005). O Padrão de Dipolo caracteriza-se pela manifestação simultânea de anomalias de TSM configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical. Este padrão térmico inverso gera, conseqüentemente, o aparecimento de um gradiente térmico meridional sobre o Atlântico Equatorial, o qual exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT. O Padrão de Dipolo apresenta duas fases opostas, denominadas de fase do Dipolo positivo e fase do Dipolo negativo. A fase do Dipolo positivo caracteriza-se pela presença simultânea de anomalias positivas/negativas de TSM configurando-se sobre a bacia norte/sul do Oceano Atlântico tropical. A fase do Dipolo negativo apresenta a configuração oposta.

Os resultados das pesquisas climáticas publicadas nas últimas décadas mostraram sólidas evidências de que o efeito combinado (ou seja, a manifestação simultânea) de ambos os mecanismos climáticos presentes no Pacífico e Atlântico interferem diretamente na distribuição da pluviometria regional sobre a Amazônia oriental.

Considerando a concepção do efeito combinado Pacífico + Atlântico, Souza et al. (2005), com base nos tradicionais índices de monitoramento do ENOS e do Gradiente de TSM no Atlântico observados entre 1982-2001, definiram dois contrastantes cenários climáticos caracterizados como Cenário Favorável (FAV) e Cenário Desfavorável (DESFAV) ao regime chuvoso da Amazônia.

O cenário DESFAV caracteriza-se pela manifestação simultânea de El Niño sobre o Pacífico e do gradiente térmico apontando para a bacia norte do Atlântico intertropical (ou dipolo positivo). Inversamente, o cenário FAV caracteriza-se pela ocorrência concomitante de La Niña sobre o Pacífico e do gradiente térmico apontando para a bacia sul do Atlântico intertropical (ou dipolo negativo).

Ambos cenários provocam mudanças significativas nas circulações de Walker e Hadley, de modo que, no cenário DESFAV observa-se a predominância de anomalias de vento descendente (ascendente) na região equatorial que resultam na inibição (intensificação) da ZCIT ao sul do equador, e conseqüentemente, contribuem diretamente para um regime chuvoso predominantemente seco (chuvoso) em grande parte da Amazônia oriental, devido a presença e anomalias negativas (positivas) de precipitação (SOUZA et al., 2000; PEZZI e CAVALCANTI, 2001; SOUZA; AMBRIZZI, 2002; COELHO et al., 2004; SOUZA et al., 2005).

Outro mecanismo dinâmico de grande escala que influencia diretamente os padrões pluviométricos da Amazônia é a Oscilação de Madden-Julian (MADDEN; JULIAN, 1994). Este mecanismo atua dentro da escala intrasazonal e constitui-se num fenômeno de baixa frequência dominante na maior parte da troposfera tropical, caracterizando-se por uma onda atmosférica equatorial com propagação para leste ao longo do equador em um completo ciclo ao redor do globo durando aproximadamente 30-60 dias (MADDEN; JULIAN, 1994), influenciando diretamente na precipitação do Leste da Amazônia (LAM) e Nordeste do Brasil (NEB) (SOUZA; AMBRIZZI, 2006). A variabilidade na posição e nebulosidade da ZCIT pode ser também devido a Oscilação de Madden-Julian ou oscilação 30-60 dias (REPELLI et al., 1998), as quais podem intensificar a atividade convectiva da ZCIT durante a passagem dessa oscilação.

3.3 IMPACTOS DA CONVECÇÃO E PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA

A grande maioria dos estudos observacionais sobre a ZCIT abordou os impactos no clima da região nordeste do Brasil, particularmente na variabilidade pluviométrica da região semi-árida (UVO, 1989; SOUZA et al., 1998; XAVIER et al., 2000; COELHO et al., 2004; FERREIRA et al., 2005).

Coelho et al. (2004) analisaram os padrões de nebulosidade associada à ZCIT em dois anos de contraste com El Niño em 1998 e La Niña em 1999. Verificando a média mensal de ROL para os meses de março e abril de 1998 e de 1999, notaram que no ano de El Niño a convecção associada à ZCIT posicionou-se um pouco mais ao norte, enquanto que no ano de La Niña a convecção esteve um pouco mais ao sul, quando comparada com a climatologia. Quanto à intensidade da convecção, esta se mostrou mais enfraquecida em março de 1998 e em abril de 1999, e mais intensa em março de 1999 e em abril de 1998.

Souza et al. (2004) usaram vinte anos (1982-2001) de dados, provenientes de estações pluviométricas, para investigar a variabilidade da precipitação regional sobre leste da Amazônia/Nordeste do Brasil (EAM/NEB) numa escala de tempo semanal, considerando o contexto do efeito combinado de ambos os modos do ENSO no Pacífico e do Gradiente de TSM interhemisférico no Atlântico. As composições, obtidas para os cenários FAV e DESFAV, mostraram evidências de que variações pluviométricas semanais significativas em escala regional ocorrem sobre o EAM/NEB durante o regime chuvoso de outono, e são primariamente associados aos aspectos dinâmicos da ZCIT sobre o Atlântico.

4 DADOS E METODOLOGIA

4.1 BASE DE DADOS

Os dados de precipitação foram obtidos junto ao *Climate Prediction Center* (CPC) pertencente ao *National Centers for Environmental Predictions* (NCEP), cujo endereço eletrônico é <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. O CPC/NCEP recebe dados meteorológicos rotineiramente através do *Global Telecommunication System* (GTS), gerando produtos úteis para a comunidade científica em geral. Recentemente, foi disponibilizada a base de dados de precipitação diária para a América do Sul, disponível desde o ano de 1978 até os dias atuais, a qual se encontra detalhada em Shi et al. (2000). A precipitação diária é gerada através da interpolação espacial dos dados observados das estações meteorológicas de superfície e PCD's, reportada na codificação SYNOP das 1200UTC. Essas estações são derivadas da rede observacional do INMET, CPTEC, ANEEL, ANA e diversos centros estaduais de meteorologia. Na geração desta base de dados utiliza-se um controle de qualidade e métodos de interpolação espacial descritos detalhadamente em Shi et al. (2000), sendo que alguns resultados sobre a consistência destes dados foram reportados em Carvalho et al. (2004) e Silva et al. (2005). A Figura 5 mostra a localização das estações meteorológicas utilizadas na interpolação dos dados.

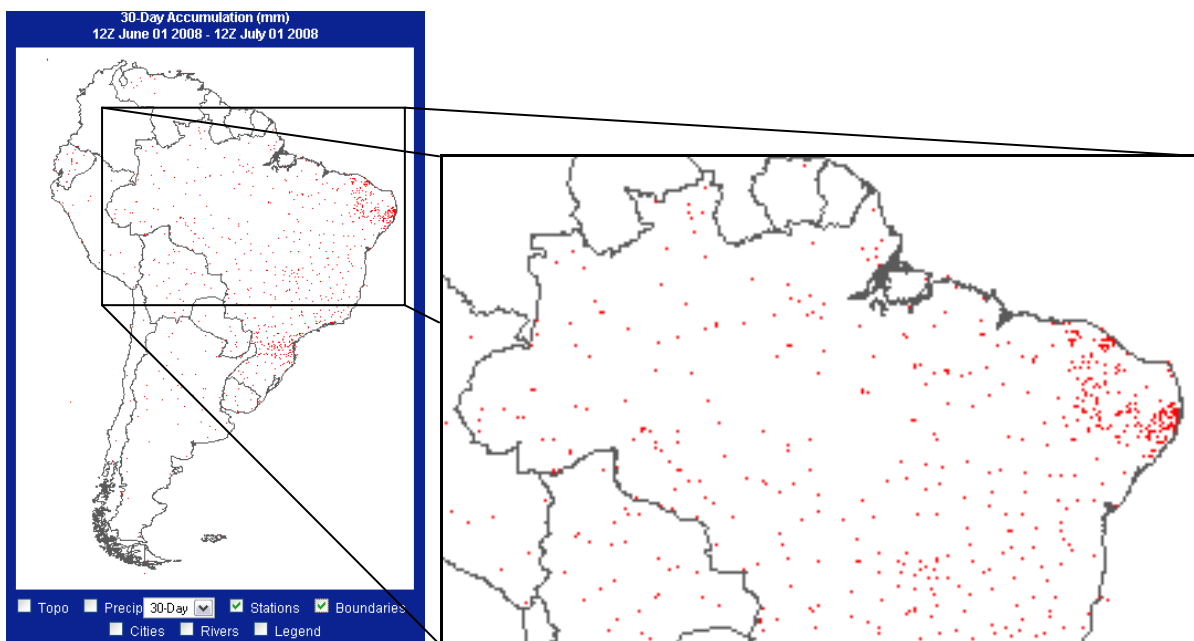


Figura 5. (a) Localização e distribuição típica das estações (pontos vermelhos) sobre a América do Sul destacando a região Amazônica no quadro a direita.

Os dados diários de radiação de onda longa (ROL) derivados dos satélites meteorológicos de órbita polar (LIEBMANN *et al.*, 1996), abrangendo o período de 01 de Junho de 1974 até 31 de dezembro de 2007, totalizando aproximadamente 32 anos de dados, foram utilizados neste trabalho para gerar a caracterização da atividade convectiva tropical. Os dados de ROL encontram-se dispostos numa grade regular com resolução de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de latitude x longitude.

Os dados diários das componentes zonal e meridional do vento e velocidade vertical (ω) (1980-2007) do NCEP/NCAR (KALNAY *et al.*, 1996), gerados através de um consistente sistema de assimilação de dados empregado no modelo de circulação geral (MCG) do NCEP com resolução T62L28 (aproximadamente 210 Km em latitude/longitude e 28 níveis verticais), foram utilizados com a finalidade de estudar a estrutura tridimensional da circulação troposférica na região da ZCIT.

Também foram usados dados de TSM diária (REYNOLDS *et al.*, 2007) adquiridos junto ao CPC/NCEP com o propósito de se investigar os padrões observados sobre a superfície oceânica do Atlântico tropical, sendo que esses dados foram gerados usando interpolação ótima numa grade global com resolução espacial de $0,25^\circ$ em latitude e longitude e estão disponíveis desde janeiro de 1985 até os dias atuais.

Para a análise sócio-ambiental tornou-se necessária a catalogação de notícias em jornais (CAMPOS; MOTA, 2008) com circulação na cidade de Belém, capital do Estado do Pará, sobre os eventos extremos de precipitação associada à ZCIT e seus impactos na Amazônia oriental. Essas informações foram retiradas de reportagens nos jornais “Diário do Pará” e “O Liberal”, os quais possuem saída diária para a população e relatam fatos que acontecem, principalmente, no estado do Pará. Os jornais foram obtidos junto a Biblioteca Arthur Vianna, localizada na Fundação Cultural do Pará Tancredo Neves (CENTUR), fundada em 25 de março de 1871 e que nos dias atuais é uma das mais tradicionais instituições de acesso à informação, à cultura e à educação no Estado do Pará, já que dispõem de um valioso acervo de obras em todas as vertentes literárias, técnicas e didáticas.

Todas as variáveis utilizadas neste trabalho serão estudadas durante o período de 1985 a 2007.

4.2 FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS

A técnica estatística multivariada conhecida como *Funções Ortogonais Empíricas* (EOF; KUTZBACH, 1967) é utilizada neste trabalho no tratamento dos dados de ROL dispostos em pontos de grade, com a finalidade de investigar a natureza espaço-temporal da atividade convectiva tropical na região da ZCIT. Este método permite que a descrição de um campo seja feita por um número relativamente pequeno de funções e coeficientes temporais associados, que explicam a maior fração da variância total do que qualquer outra transformação. Assim sendo, a análise de EOF nos permite investigar os processos geofísicos complexos, como os modos de variabilidade oceano-atmosfera sobre uma determinada região tanto sob o ponto de vista temporal como espacial.

Em resumo, o tratamento matemático da EOF consiste em determinar uma transformação linear T gerada a partir de uma matriz de dados original D , de modo que T retenha a máxima variância de D (Equação 1), onde D possui dimensões $n \times m$ enquanto que T tem dimensões $m \times m$, sendo $m \equiv$ variáveis e $n \equiv$ observações no tempo.

$$\text{var}(DT) = \max \quad (1)$$

Seja Z a matriz de dados transformada, escrita como $Z = DT$, a variância de Z é:

$$\text{var}(Z) = \frac{\sum(Z^2)}{n-1} = \frac{Z'Z}{n-1} = \frac{(DT)'(DT)}{n-1} = \frac{T'D'DT}{n-1} \quad (2)$$

Através da expressão $C = \frac{D'D}{n-1}$ podemos obter a matriz de covariância C dos

dados originais D , de modo que a Equação (1) possa ser re-escrita da seguinte forma:

$$\text{var}(Z) = T'CT = \max \quad (3)$$

Os termos Z' , D' e T' são as matrizes transpostas de Z , D e T respectivamente. Multiplicando T' por T obtemos a matriz identidade I , resulta na condição de ortogonalidade dos elementos da matriz T , ou seja:

$$e_i \cdot e_j = e'_i \cdot e'_j = \begin{cases} 1 & \text{para } i = j \\ 0 & \text{para } i \neq j \end{cases} \quad (4)$$

Considerando uma função $F(T) = T' C T - \lambda (T' T - 1)$, pode-se fazer a maximização do termo $T' C T$ em (3), sendo λ o multiplicador lagrangeano. Derivando parcialmente $\frac{\partial F}{\partial T}$ e igualando o resultado a zero, a fim de se obter a maximização

$F(T) = \text{var}(Z)$, detalham-se os seguintes passos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial T} = 2 C T - 2 \lambda T &\Rightarrow 2 C T - 2 \lambda T = 0 \Rightarrow C T - \lambda T = C I T - \lambda I T \\ (C - \lambda I) T &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

A equação (5) representa um problema clássico de autovalor/autovetor. Para se obter a equação característica e determinar os valores de λ e posteriormente dos elementos de T , considera-se que $|C - \lambda I| = 0$. Na matriz T , os autovetores são representados pelas colunas e_1, e_2, \dots, e_m , interligados aos seus respectivos autovalores $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$, que seguem a ordem decrescente: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$. Ou seja, cada autovetor explica uma porcentagem da variância total, proporcional ao seu autovalor associado. Para este trabalho, utiliza-se a matriz de correlação mostrada na equação (6), onde D^{-1} é a matriz inversa.

$$C^* = \frac{D^{-1} D}{n-1} \quad (6)$$

Contextualizando a formulação matemática aos resultados, cada autovetor representa padrões espaciais (*loadings*) contendo a variância (correlação) maximizada para todo domínio temporal dos dados originais. Para se saber como os padrões espaciais evoluem ao longo do tempo reprojeta-se a matriz de dados original sobre a matriz de autovetores, ou seja: $Z^* = D' T'$. Assim, as linhas da matriz Z^* representam as séries temporais das componentes principais associadas a cada autovetor. Portanto, na análise de EOF, determinam-se os autovetores, autovalores e as componentes principais de uma matriz original D . Cada autovetor nos oferece um campo espacial que possui uma fração maximizada

da variância total determinada pelo seu autovalor associado, sendo que a série temporal das componentes principais (amplitude) fornece como o referido campo espacial evolui no tempo. Uma questão importante nos cálculos de EOF é saber se um determinado modo representa um resultado fisicamente consistente e significativo. Para avaliar isso, utiliza-se o critério objetivo proposto por (North et al. 1982), baseado na seqüência dos autovalores encontrados para cada modo.

Neste trabalho, a análise de EOF foi empregada diretamente nos dados de ROL no domínio espacial de 10°S-10°N e 060°W-00°, englobando a região de atuação da ZCIT sobre o Oceano Atlântico. Esta grade tem resolução de 2,5° x 2,5° em latitude e longitude, sendo sua dimensão de 25 x 13 pontos na direção longitudinal x latitudinal. Os cálculos de EOF foram empregados nas grades contendo as anomalias diárias de ROL considerando separadamente cada mês da estação chuvosa. Por exemplo, computaram-se as anomalias diárias de ROL durante os 31 dias do mês de março entre os anos de 1985 a 2007, totalizando uma série temporal de 31 dias de março × 23 anos = 713 tempos.

A EOF foi calculada para os 10 primeiros modos. Os resultados obtidos são interpretados da seguinte maneira:

- Autovetores → como a EOF foi computada com base na matriz de correlação das anomalias de ROL para cada ponto de grade, os autovetores ou *loadings* representam campos espaciais contendo correlações, as quais podem ser interpretadas como tendo o mesmo sinal das anomalias de ROL. Ou seja, anomalia negativa (positiva) indica a presença de atividade convectiva mais (menos) intensa do que o normal na região da ZCIT;
- Autovalores → coeficientes que servem para indicar se o modo representa um padrão fisicamente consistente;
- Variância explicada → coeficientes que servem para estimar a representação estatística de cada modo em relação aos dados originais;
- Componente principal → coeficientes temporais, os quais expressam como os autovetores evoluem no tempo.

4.3 COMPOSIÇÕES

A técnica de composições é comumente usada para identificar os padrões médios e principais características associadas a um fenômeno climático qualquer. Dependendo dos critérios de seleção do fenômeno, o resultado da composição pode ou não ser significativo, por isso eles devem ser bem fundamentados. A metodologia de composições usada no presente estudo é basicamente para investigar a estrutura dinâmica da circulação atmosférica na região de atuação da ZCIT associada aos episódios de eventos extremos de precipitação observados na Amazônia oriental. Os critérios de seleção destes eventos serão discutidos na seção 5.4.1.

5 RESULTADOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO E PERÍODO DE ANÁLISE

Com a finalidade de investigar a atividade convectiva tropical de grande escala, utilizaremos a grade compreendida meridionalmente entre 10°S e 10°N e zonalmente entre 60°W e 00°, uma vez que essa é a região de atuação da ZCIT. A Figura 6(a) mostra a média climatológica (1974-2006) de ROL para os meses de janeiro a maio, nos quais observam-se valores de ROL indicando máximos de atividade convectiva no setor norte/nordeste do Brasil e uma faixa zonal associada primariamente com a ZCIT sobre o Atlântico equatorial. Fazendo uma média temporal (diária) de ROL na região delimitada em vermelho na Figura 6(a), tem-se a evolução climatológica da atividade convectiva da ZCIT influenciando a Amazônia oriental. Na Figura 6(b), a região preenchida em cinza delimita os valores inferiores a 230 W/m², limiar associado à ocorrência de convecção profunda (KOUSKY, 1988), os quais ocorrem principalmente durante os meses de fevereiro, março e abril. Portanto, como o foco deste trabalho é nos padrões associados diretamente com a ZCIT, as análises observacionais deste trabalho serão baseadas no período de fevereiro, março e abril, sendo que a análise observacional será conduzida individualmente nos referidos meses.

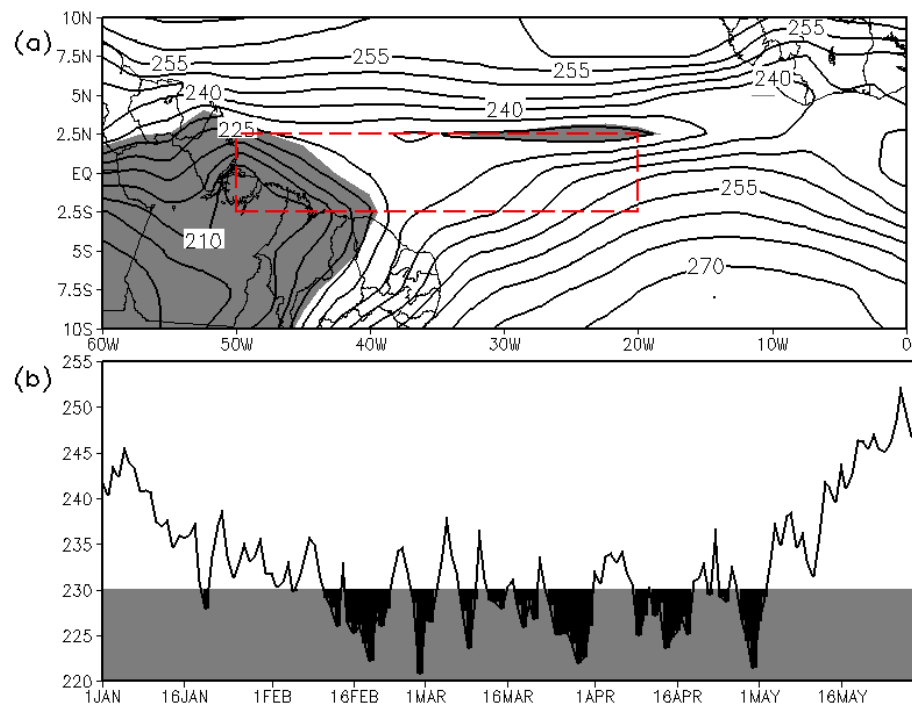


Figura 6. (a) Padrão espacial climatológico (1974-2006) de ROL para os meses de Janeiro a Maio. (b) Climatologia diária (1974-2006) de ROL para a região da caixa vermelha de Janeiro a Maio, destacando os valores de ROL inferiores a 230 W/m² preenchidos em cinza.

5.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Nesta secção, serão discutidos alguns aspectos climatológicos mensais de ROL, TSM, vento em 1000 hPa e 200 hPa, e corte vertical da circulação troposférica meridional associada a célula de Hadley sobre a região de estudo, durante os meses de fevereiro a abril, os quais são ilustrados nas Figuras 7, 8 e 9. A Figura 7 apresenta a climatologia de ROL e vento horizontal em 200 hPa (mapas à esquerda) e de TSM e vento em 1000 hPa (mapas à direita). A Figura 8 mostra o corte vertical da célula de Hadley na região da Amazônia oriental (entre 55°W-44°W), indicado pelo campo de omega e circulação troposférica meridional. A Figura 9 ilustra a distribuição espacial da precipitação observada sobre a Amazônia.

No mês de fevereiro e março, o campo de ROL (Figura 7) observado no interior do Brasil apresenta uma extensa região contendo valores mínimos numa orientação noroeste-sudeste desde o centro-sul da Amazônia, passando pelo centro-oeste e sudeste do Brasil. Essa área de convecção profunda associa-se primariamente a ZCAS. A liberação de calor latente na alta troposfera origina a circulação anticiclônica denominada de Alta da Bolívia (AB), que atua juntamente com o cavado em altos níveis que se forma corrente abaixo sobre o Atlântico adjacente à costa do nordeste do Brasil (Figura 7). O corte vertical da circulação de Hadley mostra valores negativos de omega associados ao ramo ascendente da circulação meridional que atinge toda a troposfera da região situada em latitudes austrais (Figura 8). Em fevereiro, a ZCAS é responsável pelo máximo de precipitação observado na região ocidental da Amazônia, principalmente nos estados do Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e sudoeste do Pará (Figura 9). Em março e abril os padrões associados à faixa convectiva da ZCAS, AB e o cavado na alta troposfera mostram sinais de atenuação com deslocamento da convecção de grande escala em direção ao equador.

Uma faixa zonal de atividade convectiva relativa à ZCIT em fevereiro, posicionada próxima ao equador sobre o Atlântico equatorial, adjacente ao litoral do Amapá e Pará, pode ser visualizada na Figura 7. Esta região de convecção da ZCIT associa-se a presença de águas oceânicas quentes (TSM acima de 27,5°C) ao longo da faixa equatorial do Oceano Atlântico e convergência dos ventos alísios em baixos níveis (Figura 7). Associado a convergência em baixos níveis e com a intensificação da TSM para valores de 28°C em março e 28,5°C em abril, a ZCIT migra para a sua posição mais austral, atingindo grande parte da Amazônia oriental (Amapá, Pará, Maranhão). Esses padrões climatológicos são consistentes com a configuração da célula de Hadley que fica mais restrita a região equatorial,

centrada entre 5°S e 2,5°S (Figura 8). Na configuração espacial da precipitação climatológica percebe-se claramente a modulação da ZCIT sobre o regime chuvoso da Amazônia oriental. Em fevereiro, os máximos de chuva restringem-se a faixa leste do Amapá e Pará, em março nota-se a expansão e intensificação dos máximos pluviométricos cobrindo a maior parte da região, quando verifica-se o pico da estação chuvosa, e em abril os máximos começam a migrar de volta ao equador, devido a subida da ZCIT em direção ao Hemisfério Norte (HN).

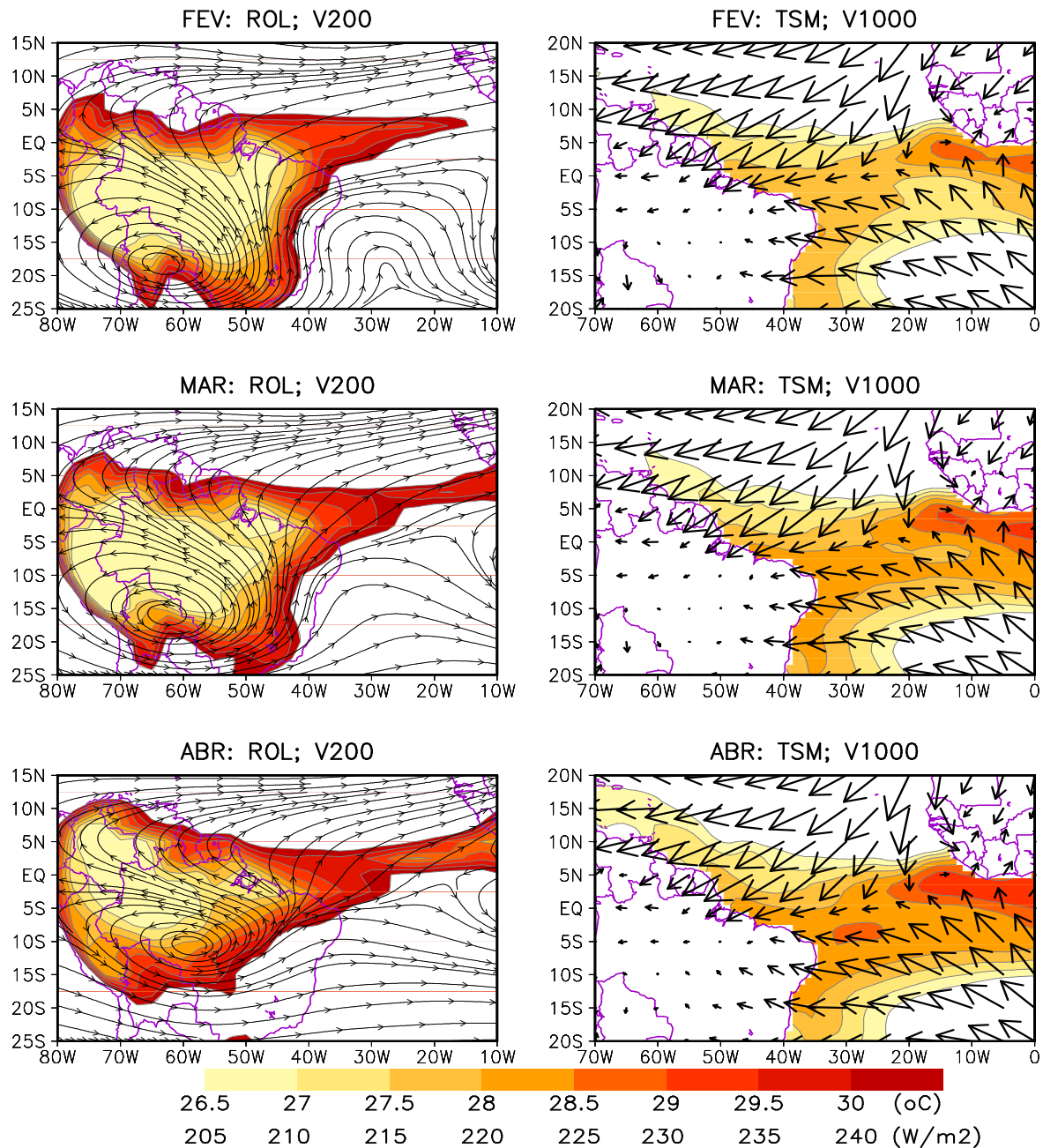


Figura 7. Climatologia de ROL e vento horizontal em 200 hPa (mapas à esquerda), TSM, e vento horizontal em 1000 hPa (mapas à direita) para os meses de fevereiro a abril. A barra de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e TSM em $^{\circ}C$.

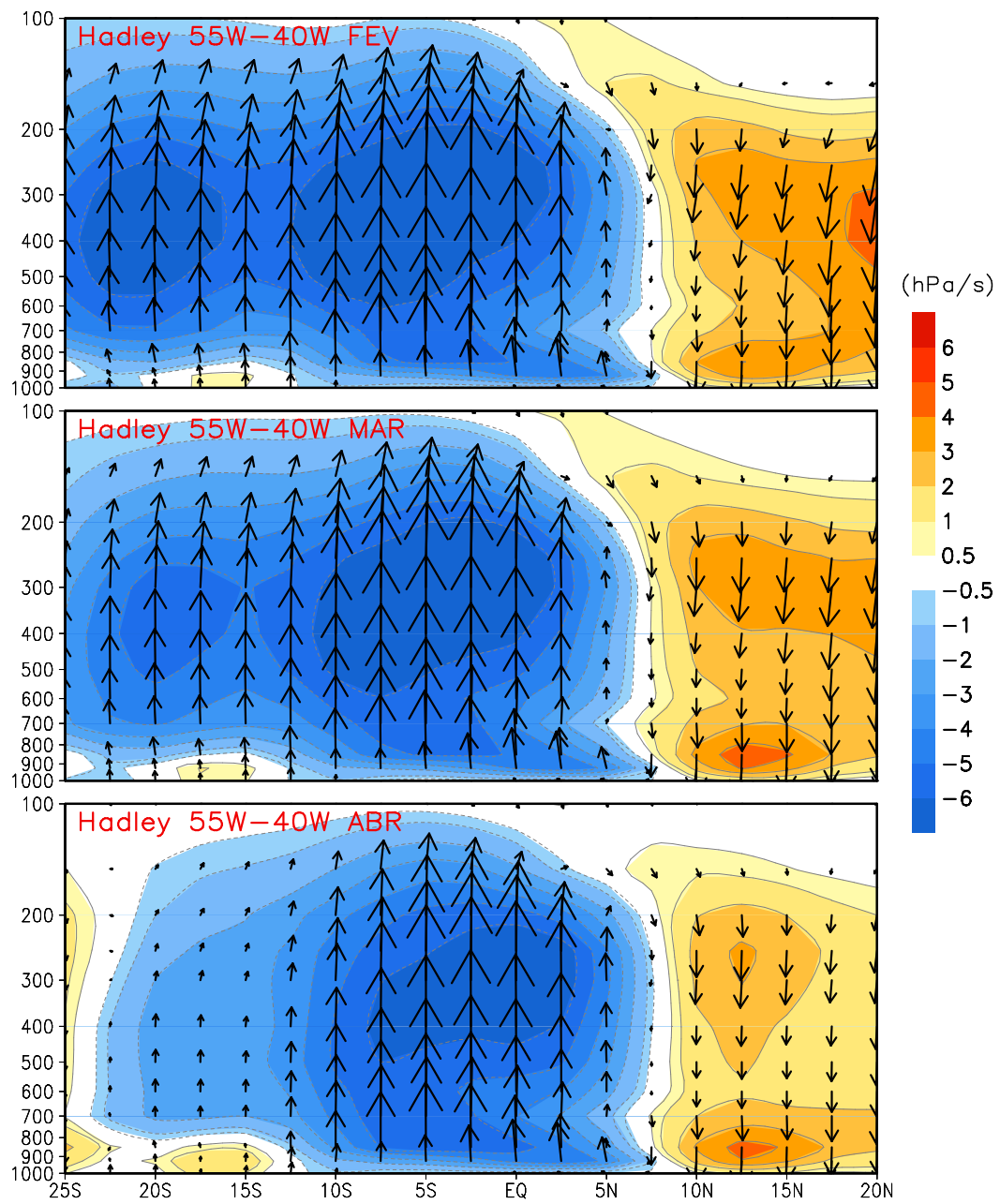


Figura 8. Climatologia de omega (contornos sombreados em cores) e circulação troposférica meridional associada a célula de Hadley (vetores) para o perfil vertical entre as longitudes de 55°W e 44°W nos meses de fevereiro, março e abril. A escala de cores indica a magnitude de omega em hPa/s.

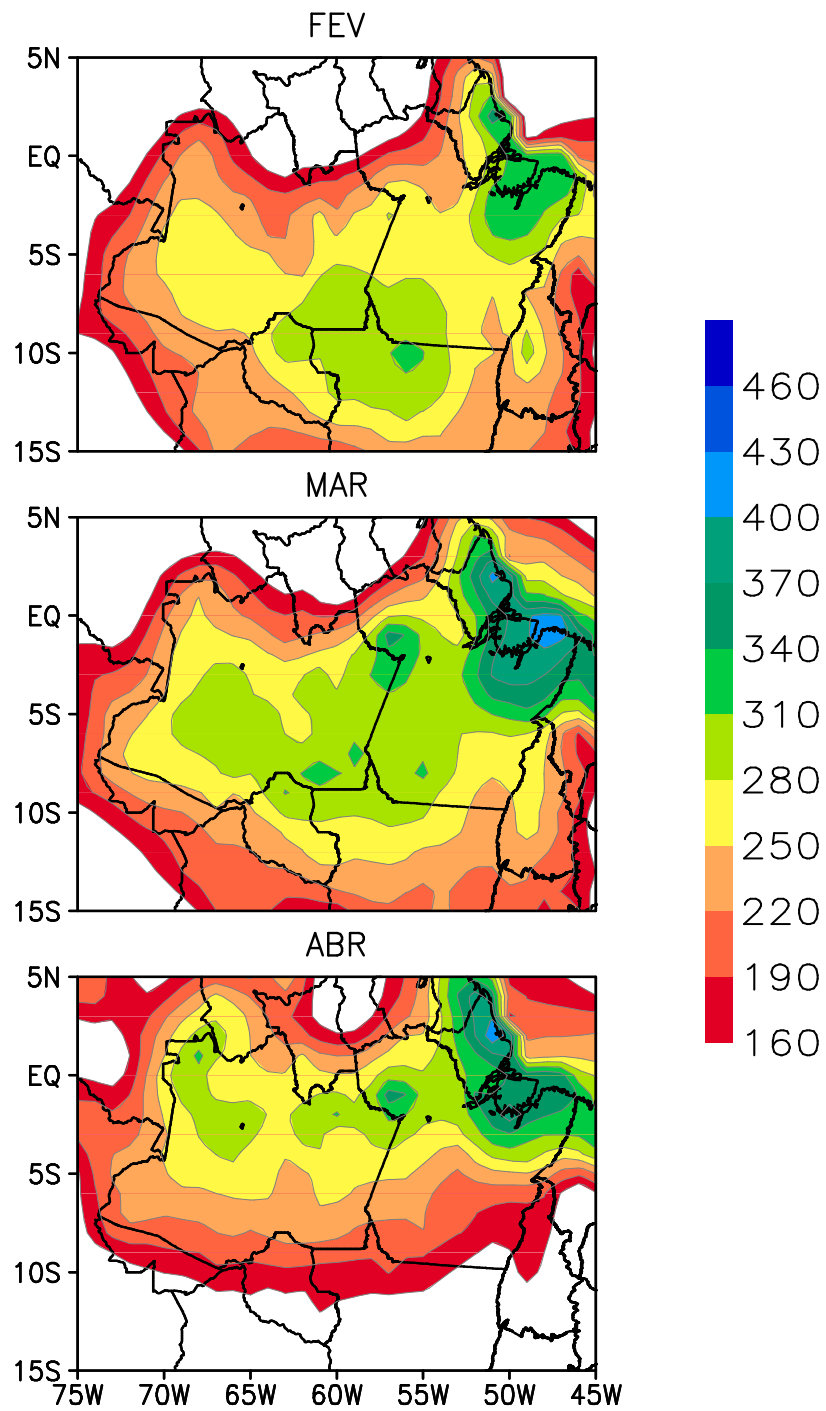


Figura 9. Climatologia de precipitação para os meses de fevereiro a abril. A barra de cores indica a intensidade em mm.

5.3 ESTRUTURA ESPAÇO-TEMPORAL DA ZCIT (1985-2007): ANÁLISE DE EOF

Esta secção apresenta os resultados da análise de EOF aplicada nas anomalias de ROL, a qual foi feita separadamente para cada mês entre fevereiro a abril, com a finalidade de se estabelecer objetivamente o modo de variabilidade climática associado à ZCIT.

A Figura 10 mostra os resultados da EOF para o mês de fevereiro, nos quais observa-se que ambos os modos apresentam configurações distintas no padrão espacial dos autovetores ou *loadings*. No primeiro modo (EOF1), com variância explicada de 10,3%, praticamente toda a região apresenta *loadings* negativos, padrão no qual a caracterização da ZCIT não está bem definida. Em contrapartida, no segundo modo (EOF2), variância explicada de 8,9%, a região contendo *loadings* positivos entre 0,4 e 0,6 com significância estatística (região sombreada em cinza), apresenta uma faixa inclinada sobre o Atlântico equatorial norte, influenciando a região norte do Brasil. A Figura 11 mostra a série temporal das componentes principais (CPs) associado a EOF2, sendo que CPs negativas correspondem a *loadings* negativos naquela região do Atlântico equatorial norte, ou seja, anomalias negativas de ROL. Portanto, os resultados da EOF revelam que o modo principal associado à ZCIT sobre o Atlântico apareceu na EOF2.

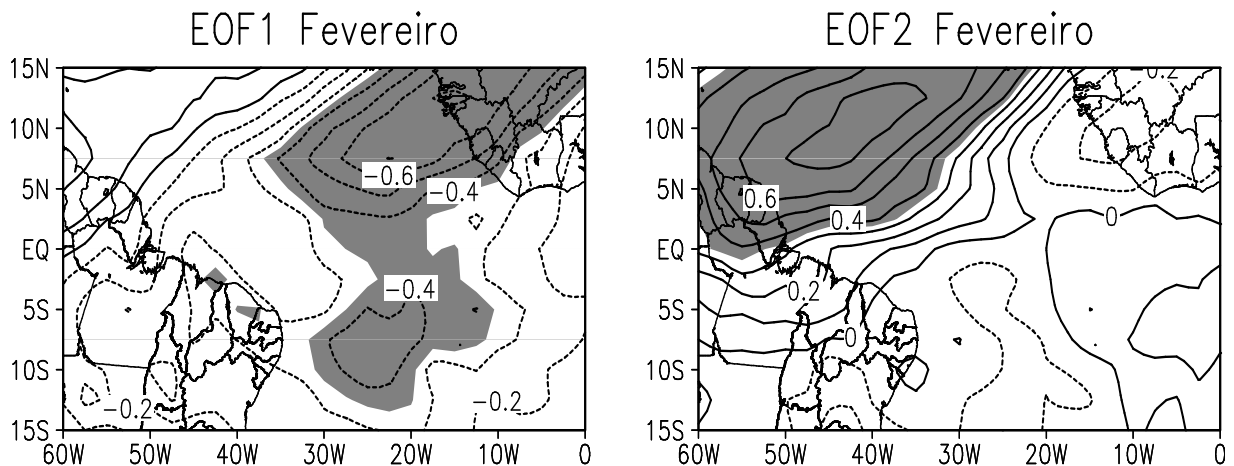


Figura 10. Autovetores obtidos pela análise de EOF para o 1° e 2° modo de variabilidade durante os meses de fevereiro. Áreas em cinza representam valores estatisticamente significantes ao nível de 95%.

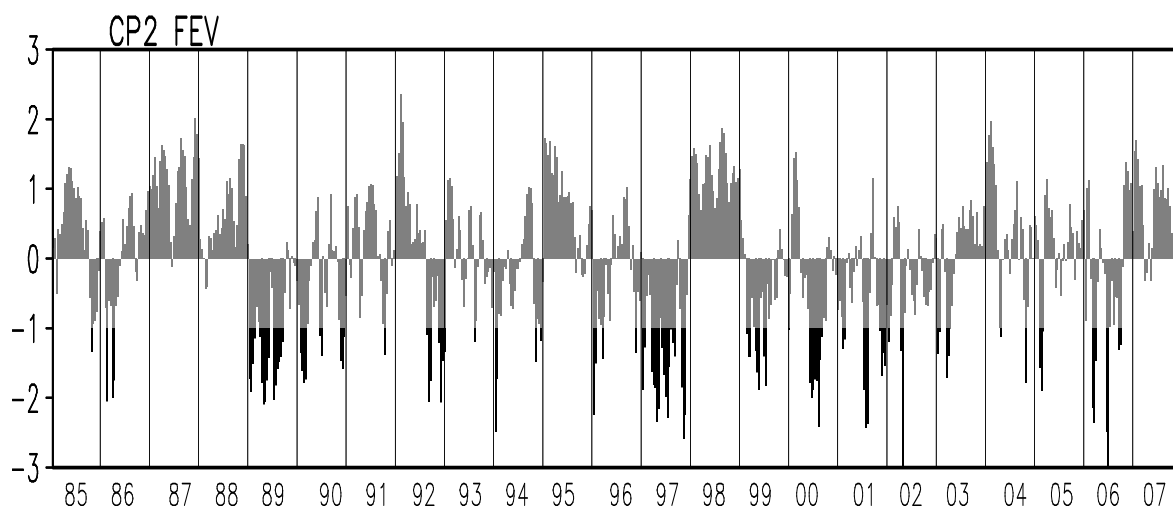


Figura 11. Evolução temporal da componente principal para EOF2 durante os meses de fevereiro (1985 a 2007).

Para o mês de março, os resultados da aplicação da EOF nos dados diários das anomalias de ROL são mostrados na Figura 12. Tanto no primeiro (EOF1) como no segundo modo (EOF2), os quais possuem respectivamente 9,3% e 7,0% da variância explicada, observa-se uma região contendo *loadings* negativos posicionados numa faixa zonal sobre o Oceano Atlântico equatorial, incluindo o setor norte da Amazônia oriental (Pará e Amapá), cuja configuração espacial associa-se à atuação da ZCIT sobre o Atlântico. Na EOF1 também aparece um máximo de *loadings* negativos no Atlântico sul, indicando a possível relação da ZCIT com outros sistemas meteorológicos. Entretanto, a EOF2 aparece mais isoladamente no Atlântico equatorial, pois nota-se a predominância de *loadings* negativos em comparação com o observado no Atlântico sul, no qual os padrões de anomalias de ROL tendem a aumentar (*loadings* positivos). Essa configuração denota que a ZCIT é o principal sistema meteorológico causador de precipitação na região da Amazônia oriental para o segundo modo de EOF durante o mês de março. Portanto, considera-se a EOF2 como o modo dominante (principal) de variabilidade que está diretamente relacionado com a ZCIT funcionando como o principal sistema meteorológico indutor de chuva na região do Atlântico equatorial incluindo grande parte da Amazônia oriental (particularmente, os estados do Pará e Amapá). A Figura 13 mostra a série temporal da CP associado a EOF2, sendo que CPs positivos indicam a ocorrência de anomalia de ROL negativo (convecção anormalmente realçada) sobre a ZCIT no Atlântico equatorial.

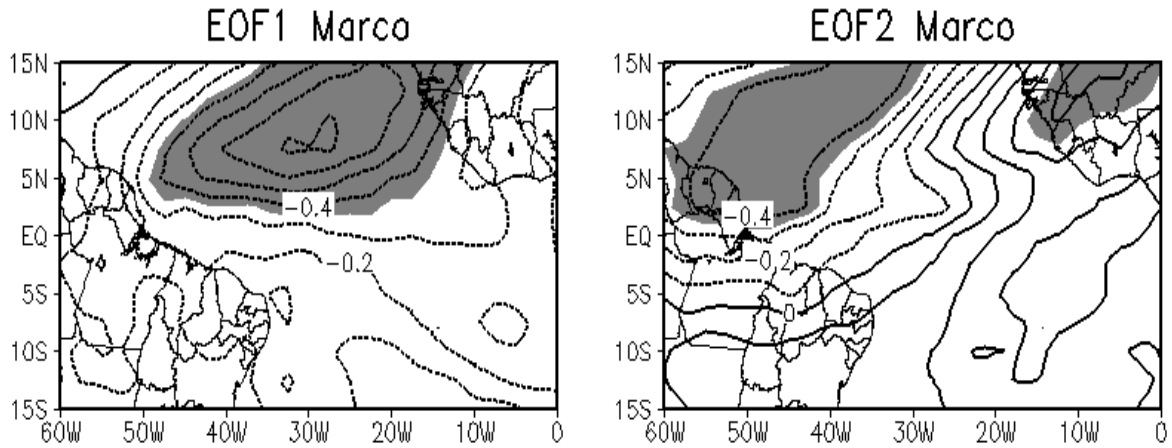


Figura 12. Autovetores obtidos pela análise de EOF para o 1° e 2° modo de variabilidade durante os meses de março. Áreas em cinza representam valores estatisticamente significantes ao nível de 95%.

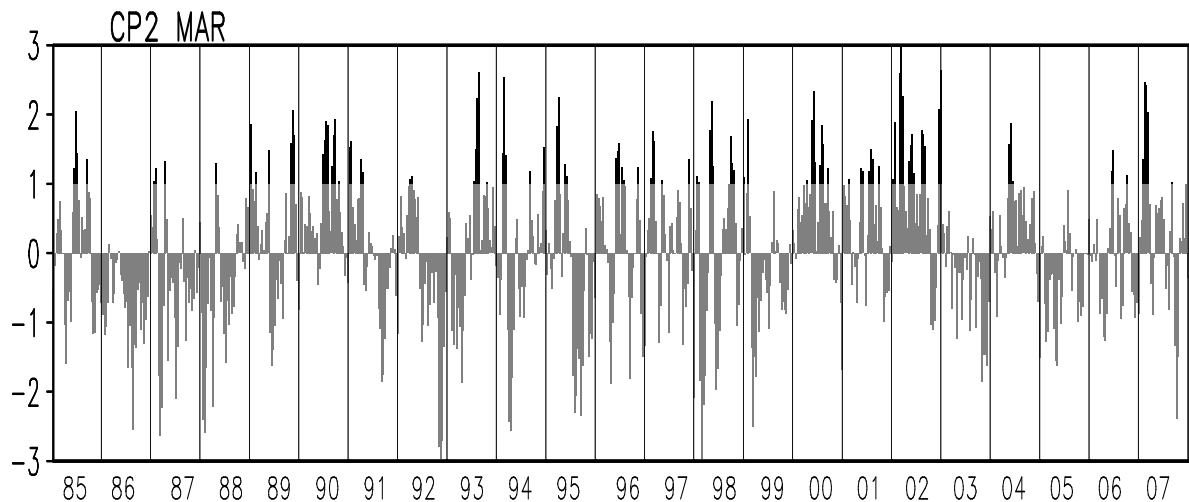


Figura 13. Evolução temporal da componente principal para EOF2 durante os meses de março (1985 a 2007).

A aplicação da técnica estatística de EOF resultou para os meses de abril *loadings* positivos em quase toda a grade no primeiro modo, com variância explicada de 8,6%. Por outro lado, no segundo modo de EOF, variância explicada de 7,3%, nota-se a caracterização de uma área em tons de cinza contendo *loadings* negativos em torno da faixa equatorial próximos da região de 50°W a 20°W. Essa configuração espacial apresenta o segundo modo de variabilidade como o modo dominante da ZCIT no Oceano Atlântico durante o mês de abril para o período de estudo, como mostra a Figura 14. Quanto a série das componentes principais para o segundo modo, verifica-se na Figura 15 a sua evolução ao longo dos anos de 1985 até 2007, mostrando grande variabilidade temporal, com destaque para as CPs positivas

que associam-se a *loadings* negativos, ou seja, anomalias negativas de ROL indicando convecção profunda na região da ZCIT.

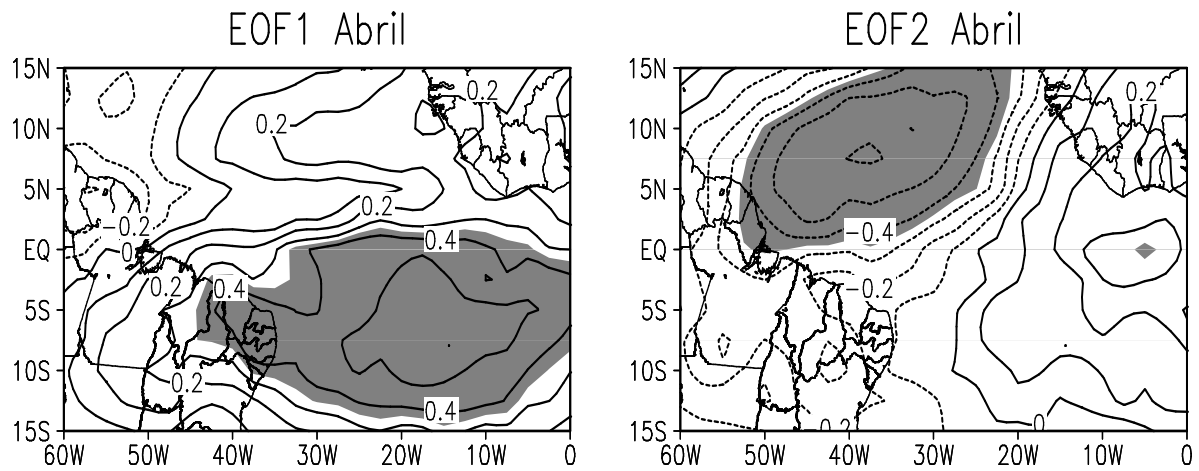


Figura 14. Autovetores obtidos pela análise de EOF para o 1° e 2° modo de variabilidade durante os meses de abril. Áreas em cinza representam valores estatisticamente significantes ao nível de 95%.

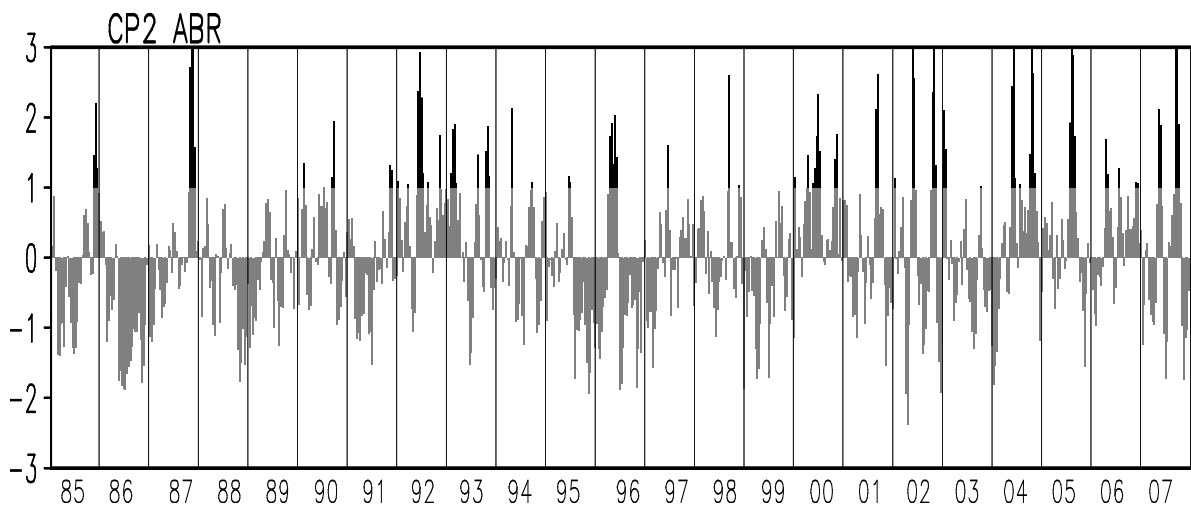


Figura 15. Evolução temporal da componente principal para EOF2 durante os meses de abril (1985 a 2007).

5.4 COMPOSIÇÕES DE EVENTOS EXTREMOS DA ZCIT

Nesta seção apresentam-se os resultados das composições dos eventos da ZCIT com a finalidade de se analisar a estrutura dinâmica da circulação atmosférica, convecção tropical e os impactos na precipitação da Amazônia.

5.4.1 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DOS EVENTOS

Conforme discussão dos resultados da EOF apresentados na seção anterior, evidenciou-se que o modo dominante da ZCIT apareceu no segundo modo para os meses de fevereiro, março e abril. Assim sendo, utilizaram-se os resultados da EOF2 e as séries temporais da respectiva CP na definição do critério de seleção de episódios da ZCIT.

Logo, utilizou-se como critério objetivo de seleção dos eventos de ocorrência da ZCIT aqueles que apresentaram valores das CPs maiores do que +1 desvio padrão, persistindo por mais do que 3 dias consecutivos (Figuras 13 e 15; ver CPs destacadas em preto). Este critério aplica-se para os eventos observados nos meses de março e abril.

Para fevereiro, os eventos que apresentaram CPs menores do que -1 desvio padrão (Figura 11, ver CPs destacadas em preto) foram definidos como episódios da ZCIT.

Neste trabalho, tais eventos são definidos como eventos extremos considerando a sua duração temporal.

Na Tabela 1 enumeram-se os eventos de ocorrência da ZCIT com base nos critérios mencionados acima. Denomina-se de *dia 0* o dia (data) em que o valor da CP é máximo durante a sequência de dias contendo atividade convectiva profunda relacionada à ZCIT.

De posse das datas dos eventos selecionados, foram gerados os mapas de composições das anomalias de ROL, precipitação, vento nos baixos e altos níveis, TSM, circulação meridional e omega associada a célula de Hadley. Essas composições ilustram a estrutura dinâmica da ZCIT, bem como a caracterização da atividade convectiva tropical e a configuração espacial da precipitação observada sobre a Amazônia oriental. Para o mês de fevereiro foram registrados 18 eventos, para o mês de março também 18 eventos e para o mês de abril foram notificados 12 eventos extremos persistindo por 3 dias consecutivos ou mais, conforme Tabela 1. Portanto, nas sub-seções seguintes os mapas das composições mensais referem-se a média dos eventos da ZCIT listados na Tabela 1, 2 e 3. Observa-se que, para os

três meses, durante a ocorrência dos eventos extremos de precipitação, o valor acumulado geralmente ultrapassa os 20 mm, correspondente a aproximadamente 89% do total de eventos. Ou seja, mesmo quando se analisa episódios extremos relacionados à sua duração, podemos afirmar que eles também estão associados a altos volumes pluviométricos. Em alguns casos como em 17 de fevereiro de 2000, 25 de fevereiro de 2001 e 24 de abril de 2004 foram registrados 117,37 mm, 110,26 mm e 100,46 mm, respectivamente, sendo que no primeiro caso o acumulado ocorreu em 8 dias e os outros dois casos em somente 4 dias.

Tabela 1: Datas de pico, duração do evento e precipitação durante ocorrência dos episódios extremos da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, perdurando por três dias consecutivos ou mais para o mês de fevereiro (1985-2007).

Anos	Datas de pico dos eventos extremos em fevereiro	Duração do evento	Precipitação durante o evento
1985	***	***	***
1986	***	***	***
1987	***	***	***
1988	***	***	***
1989	<i>Dia 2</i>	<i>4 dias</i>	<i>57,06 mm</i>
	<i>Dia 9</i>	<i>6 dias</i>	<i>85,60 mm</i>
	<i>Dia 15</i>	<i>6 dias</i>	<i>65,92 mm</i>
1990	<i>Dia 4</i>	<i>4 dias</i>	<i>65,10 mm</i>
	<i>Dia 26</i>	<i>3 dias</i>	<i>54,24 mm</i>
1991	***	***	***
1992	<i>Dia 19</i>	<i>3 dias</i>	<i>26,02 mm</i>
	<i>Dia 26</i>	<i>4 dias</i>	<i>21,73 mm</i>
1993	***	***	***
1994	***	***	***
1995	***	***	***
1996	***	***	***
1997	<i>Dia 9</i>	<i>5 dias</i>	<i>38,86 mm</i>
	<i>Dia 15</i>	<i>8 dias</i>	<i>63,39 mm</i>
	<i>Dia 24</i>	<i>3 dias</i>	<i>15,27 mm</i>
1998	***	***	***
1999	<i>Dia 5</i>	<i>3 dias</i>	<i>62,21 mm</i>
	<i>Dia 11</i>	<i>3 dias</i>	<i>17,86 mm</i>
2000	<i>Dia 17</i>	<i>8 dias</i>	<i>117,37 mm</i>
2001	<i>Dia 16</i>	<i>3 dias</i>	<i>31,09 mm</i>
	<i>Dia 25</i>	<i>4 dias</i>	<i>110,26 mm</i>
2002	***	***	***
2003	<i>Dia 6</i>	<i>3 dias</i>	<i>33,24 mm</i>
2004	***	***	***
2005	<i>Dia 4</i>	<i>3 dias</i>	<i>5,01 mm</i>
2006	<i>Dia 6</i>	<i>3 dias</i>	<i>31,70 mm</i>
2007	***	***	***

Tabela 2: Datas de pico, duração do evento e precipitação durante ocorrência dos episódios extremos da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, perdurando por três dias consecutivos ou mais para o mês de março (1985-2007).

Anos	Datas de pico dos eventos extremos em março	Duração do evento	Precipitação durante o evento
1985	<i>Dia 15</i>	<i>3 dias</i>	<i>45,92 mm</i>
1986	***	***	***
1987	***	***	***
1988	***	***	***
1989	<i>Dia 27</i>	<i>3 dias</i>	<i>29,86 mm</i>
1990	<i>Dia 17</i>	<i>4 dias</i>	<i>18,43 mm</i>
	<i>Dia 23</i>	<i>3 dias</i>	<i>42,08 mm</i>
1991	***	***	***
1992	***	***	***
1993	<i>Dia 20</i>	<i>4 dias</i>	<i>55,05 mm</i>
1994	<i>Dia 5</i>	<i>3 dias</i>	<i>96,55 mm</i>
1995	***	***	***
1996	<i>Dia 15</i>	<i>3 dias</i>	<i>33,61 mm</i>
1997	<i>Dia 5</i>	<i>3 dias</i>	<i>24,19 mm</i>
1998	<i>Dia 11</i>	<i>3 dias</i>	<i>26,67 mm</i>
	<i>Dia 23</i>	<i>4 dias</i>	<i>53,71 mm</i>
1999	***	***	***
2000	<i>Dia 13</i>	<i>3 dias</i>	<i>65,15 mm</i>
	<i>Dia 18</i>	<i>3 dias</i>	<i>58,27 mm</i>
2001	<i>Dia 18</i>	<i>3 dias</i>	<i>24,25 mm</i>
2002	<i>Dia 6</i>	<i>3 dias</i>	<i>16,06 mm</i>
	<i>Dia 13</i>	<i>4 dias</i>	<i>73,80 mm</i>
	<i>Dia 19</i>	<i>3 dias</i>	<i>21,78 mm</i>
2003	***	***	***
2004	<i>Dia 13</i>	<i>3 dias</i>	<i>46,45 mm</i>
2005	***	***	***
2006	***	***	***
2007	<i>Dia 4</i>	<i>4 dias</i>	<i>71,52 mm</i>

Tabela 3: Datas de pico, duração do evento e precipitação durante ocorrência dos episódios extremos da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, perdurando por três dias consecutivos ou mais para o mês de abril (1985-2007).

Anos	Datas de pico dos eventos extremos em abril	Duração do evento	Precipitação durante o evento
1985	<i>Dia 28</i>	<i>3 dias</i>	<i>67,90 mm</i>
1986	***	***	***
1987	<i>Dia 26</i>	<i>4 dias</i>	<i>43,67 mm</i>
1988	***	***	***
1989	***	***	***
1990	***	***	***
1991	***	***	***
1992	<i>Dia 14</i>	<i>4 dias</i>	<i>34,53 mm</i>
1993	<i>Dia 5</i>	<i>4 dias</i>	<i>33,94 mm</i>
	<i>Dia 25</i>	<i>3 dias</i>	<i>24,40 mm</i>
1994	***	***	***
1995	***	***	***
1996	<i>Dia 12</i>	<i>5 dias</i>	<i>54,24 mm</i>
1997	***	***	***
1998	***	***	***
1999	***	***	***
2000	<i>Dia 15</i>	<i>5 dias</i>	<i>62,19 mm</i>
	***	***	***
2001	***	***	***
2002	<i>Dia 25</i>	<i>3 dias</i>	<i>38,30 mm</i>
2003	***	***	***
2004	<i>Dia 13</i>	<i>3 dias</i>	<i>45,13 mm</i>
	<i>Dia 24</i>	<i>4 dias</i>	<i>100,46 mm</i>
2005	<i>Dia 18</i>	<i>4 dias</i>	<i>66,25 mm</i>
2006	***	***	***
2007	<i>Dia 22</i>	<i>3 dias</i>	<i>47,15 mm</i>

5.4.2 CONVECÇÃO TROPICAL E PRECIPITAÇÃO REGIONAL

O critério de selecionar eventos persistindo por mais do que 3 dias consecutivos foi utilizado para identificar situações extremas de pluviosidade, associadas ao tempo de duração, podendo assim, nos oferecer uma melhor análise de uma característica marcante das chuvas decorrentes da atuação da ZCIT durante os meses de fevereiro, março e abril, que é a persistência de precipitação.

A Figura 16 mostra as composições correspondentes ao mês de fevereiro. Na Figura 16(a), que mostra a composição das anomalias de ROL, evidencia-se a configuração de atividade convectiva anormalmente realçada (anomalias negativas de ROL na região em tons de azul), na qual se pode inferir a posição da ZCIT sobre o Oceano Atlântico equatorial. Essa

configuração confirma o setor norte do Pará, parte do Maranhão e o Estado do Amapá como as principais regiões continentais afetadas pelas chuvas decorrentes da ZCIT, durante os meses de fevereiro. A composição das anomalias de precipitação mostra algumas regiões dentro da Amazônia oriental influenciadas pelas chuvas associadas à ZCIT. Praticamente todo o Estado do Pará, a exceção da parte sul/sudeste, mostra áreas contendo anomalias positivas, bem como todo o Estado do Amapá e parte do Maranhão. Algumas áreas contêm anomalias de até 7 mm, como é o caso da fronteira do Pará com o Amazonas.

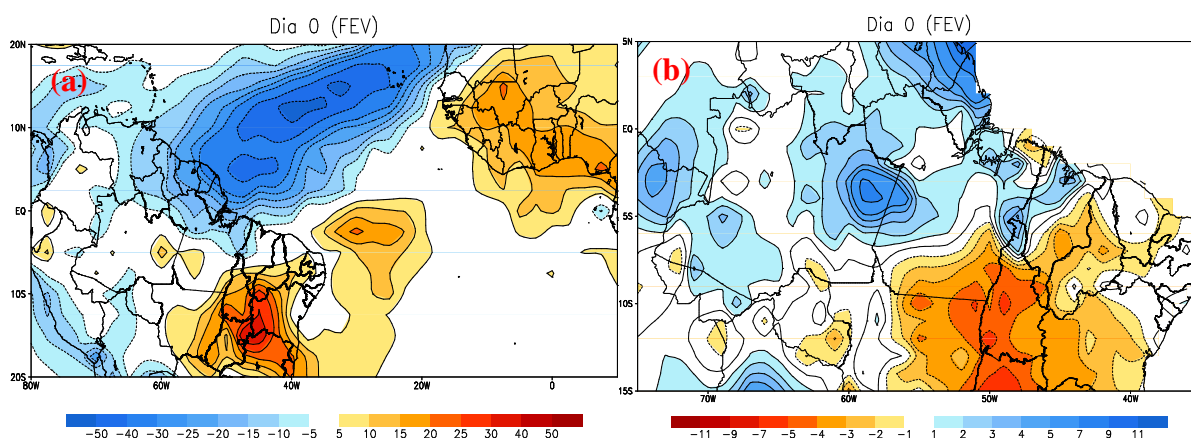


Figura 16. (a) Composições das anomalias de ROL e (b) precipitação correspondentes aos meses de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e precipitação em mm.

A Figura 17 mostra as composições correspondentes ao mês de março. A Figura 17(a) evidencia o posicionamento da ZCIT sobre o Atlântico equatorial, indicado pela presença das anomalias negativas de ROL. Na Amazônia, as regiões influenciadas por esse sistema meteorológico são os estados do Amapá e norte/noroeste/nordeste do Pará, além de Roraima e parte do Maranhão. No que diz respeito às anomalias positivas de ROL, ou seja, ausência de convecção pode-se afirmar que a intensidade chega a valores máximos de até 20 W/m^2 de anomalias em Rondônia, Goiás e nordeste do Mato Grosso. Analisando a Figura 17(b), observam-se anomalias positivas de precipitação, que são consistentes aos padrões de ROL anomalmente negativos, configurando-se sobre os estados do Amapá e Pará, incluindo a Ilha de Marajó, além do noroeste paraense. Já as anomalias negativas de precipitação são observadas em maior intensidade no sudeste do Pará, Tocantins e parte norte/leste do Mato Grosso, indicando déficit pluviométrico nessas regiões.

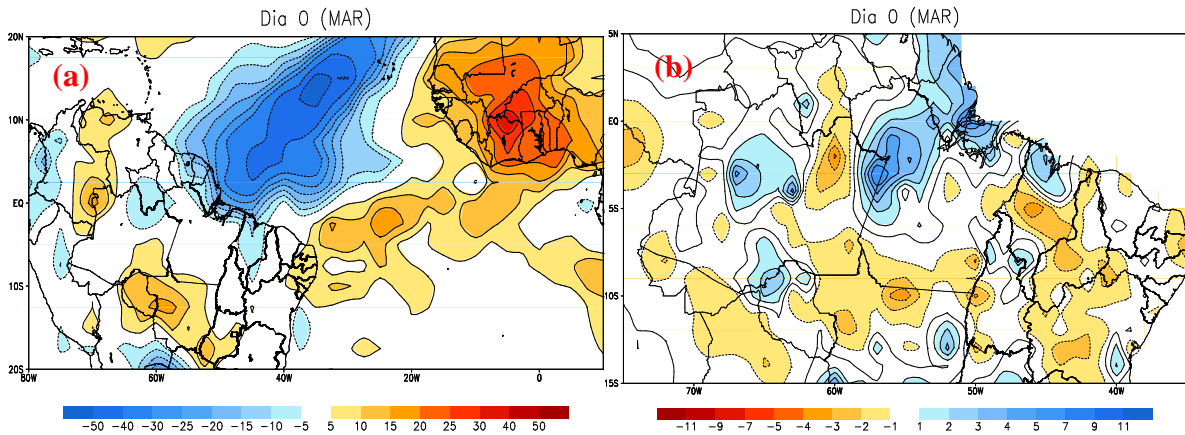


Figura 17. (a) Composições das anomalias de ROL e (b) precipitação correspondentes aos meses de março. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e precipitação em mm.

A Figura 18 mostra as composições correspondentes ao mês de abril. Neste mês, observa-se que o campo de ROL (Figura 18a) apresenta anomalias negativas, ou seja, atividade convectiva associada à ZCIT em quase todo o Oceano Atlântico equatorial. Desta vez, observam-se regiões contendo convecção tropical profunda em grande parte do Brasil tropical que inclui a Amazônia e Nordeste Brasileiro. Associado a atuação da ZCIT, observa-se a ocorrência de anomalias positivas de precipitação (Figura 18b), principalmente nos estados do Amapá, Pará e Maranhão, além do Tocantins, onde a intensidade das anomalias chega a 7 mm.

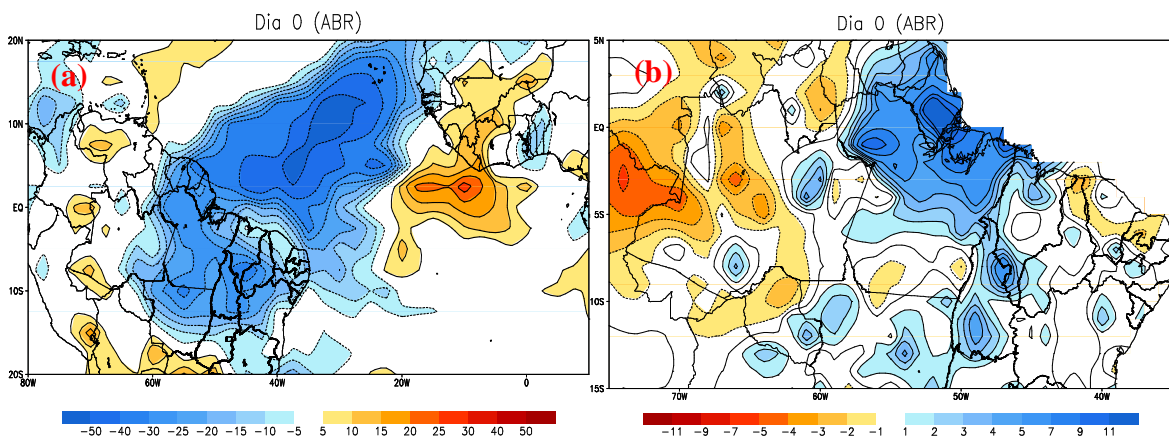


Figura 18. (a) Composições das anomalias de ROL e (b) precipitação correspondentes aos meses de abril. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 e precipitação em mm.

5.4.3 ESTRUTURA DINÂMICA DOS PADRÕES OCEANO-ATMOSFERA

As Figuras 19, 20 e 21 ilustram a estrutura dinâmica dos padrões atmosféricos e oceânicos associados aos eventos extremos da ZCIT, correspondentes as composições observacionais do mês de fevereiro.

O campo de vento horizontal em altos níveis (linhas de corrente em 200 hPa na Figura 19) mostra a configuração associada a AB com seu centro em torno de $20^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}$ (levemente deslocada para o sul de sua posição normal), ocorrendo em conjunto com o cavado de ar superior que apresenta-se de maneira inclinada sobre o nordeste brasileiro (Bahia). Entre a AB e o cavado observa-se forte supressão de atividade convectiva tropical, indicada pela presença de anomalias positivas de ROL (contornos sombreados em cores na Figura 19), principalmente sobre a região do Tocantins, oeste da Bahia norte de Goiás e de Minas Gerais. Sobre a região do Atlântico equatorial verifica-se atividade convectiva anormalmente acima do normal, indicada pela manifestação das anomalias negativas de ROL, devido a atuação da ZCIT que posiciona-se de maneira inclinada entre o Atlântico e a Amazônia oriental. Essa região de convecção da ZCIT ocorre na área de divergência do vento em 200 hPa.

Analisando a configuração das anomalias do vento em baixos níveis (vetores da Figura 20), observa-se que no Atlântico equatorial sul predominam anomalias de vento do quadrante sudeste, que indica a presença de ventos alísios (vindo do Atlântico sul) mais intensos do que o normal. O campo de vento mostra ainda a presença de anomalias do quadrante sul/sudoeste adentrando a região intertropical do Atlântico que coincide com a região contendo anomalias positivas de TSM (contornos sombreados em cores da Figura 20) sobre a bacia oceânica equatorial norte. Isto significa que as regiões de TSMs quentes associam-se a ventos alísios de nordeste (vindos do Atlântico norte) mais fracos do que o normal, particularmente na região situada entre $0^{\circ}\text{-}15^{\circ}\text{W}/0^{\circ}\text{-}15^{\circ}\text{N}$, próximo a costa Africana. Observa-se ainda que a bacia oceânica equatorial no lado oeste, ao norte da América do Sul, é dominada pela presença de anomalias de vento do quadrante nordeste, indicando nessa região ventos alísios de nordeste anormalmente mais intensos. Portanto, a região de confluência dos ventos alísios de sudeste e nordeste ocorre sobre o Atlântico equatorial norte numa região contendo TSM anormalmente quente, a qual é coincidente e consistente com o posicionamento da área de convecção profunda da ZCIT.

A configuração da circulação troposférica meridional associada à célula de Hadley (Figura 21) sobre a região da Amazônia oriental e Atlântico norte (média entre 55°W-40°W) é consistente com os padrões mencionados anteriormente. Associado a região contendo anomalias negativas de ROL (Figura 19), convecção profunda intensificada na ZCIT, verifica-se a predominância de omega negativo (contornos sombreados em cores na Figura 21) e anomalias de vento ascendente sobre toda a troposfera entre aproximadamente 2,5°S e 10°N. Inversamente, na região entre 20°S e 10°S nos médios e altos níveis da troposfera (500 e 100 hPa) predomina uma área de omega positivo e anomalias de vento descendentes que também são coincidentes com a região contendo anomalias positivas de ROL (inibição da convecção profunda). Portanto, basicamente, a estrutura da ZCIT sobre o Atlântico equatorial norte consiste de convergência em baixos níveis associado a presença de TSMs quentes, movimento vertical ascendente, com divergência do vento em altos níveis e movimento vertical subsidente em latitudes subtropicais que inibem a atividade convectiva.

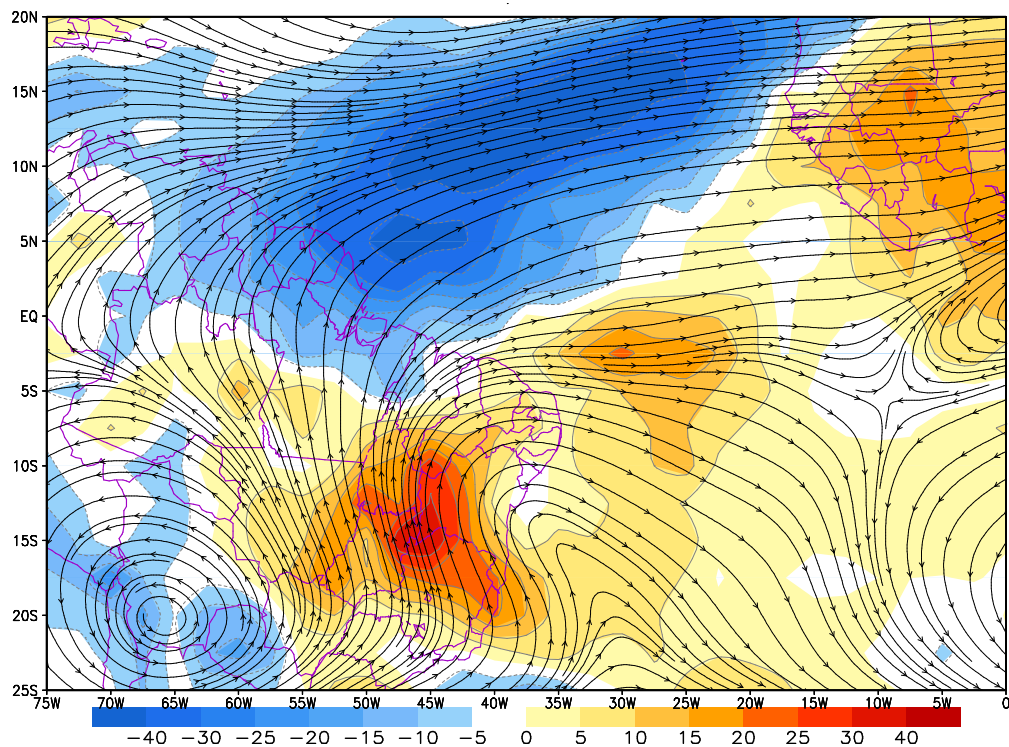


Figura 19: Anomalias de ROL (contornos sombreados em cores) e campo de vento horizontal (linhas de corrente) em 200 hPa correspondentes as composições do mês de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 .

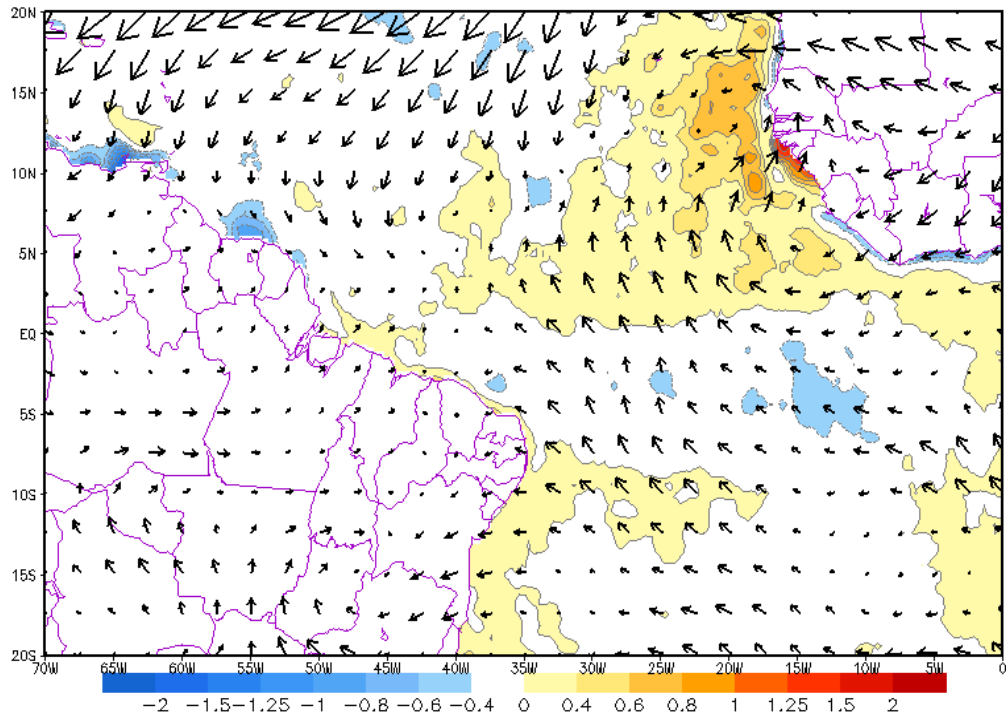


Figura 20: Anomalias de TSM (contornos sombreados em cores) e anomalias do vento horizontal (vetores) em 1000 hPa correspondentes as composições do mês de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de TSM em °C.

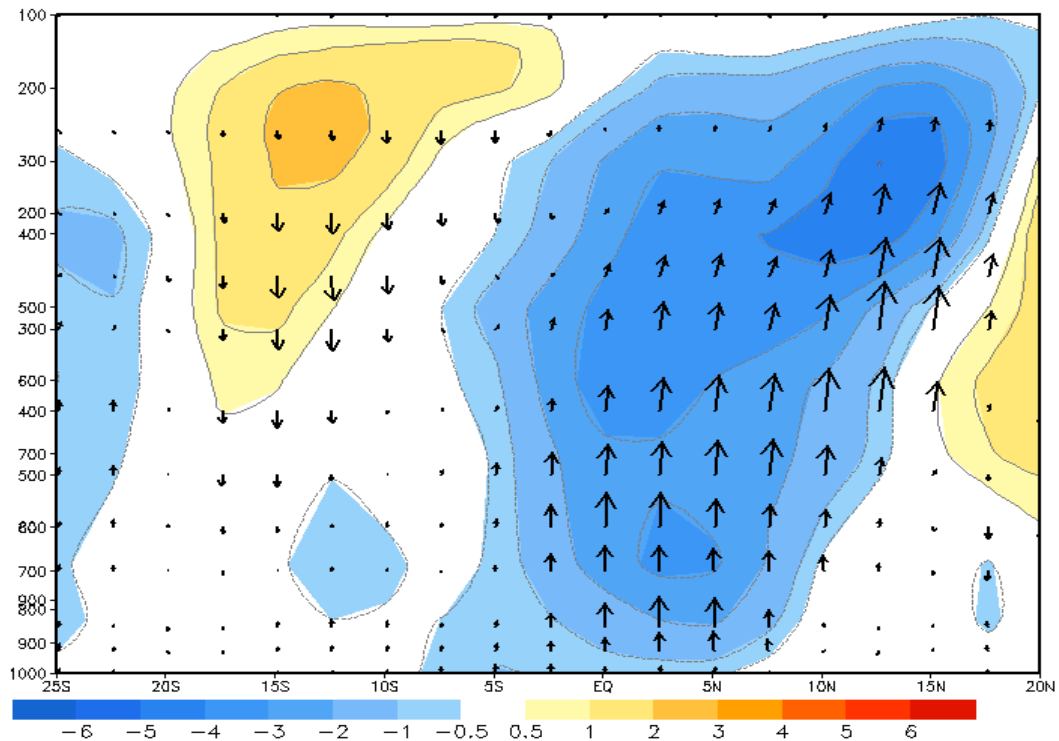


Figura 21: Corte vertical (altura em níveis de pressão x latitude) associado a célula de Hadley entre 55°W-40°W das anomalias de omega (contornos sombreados em cores) e circulação troposférica meridional correspondente as composições do mês de fevereiro. A escala de cores indica a intensidade de omega em hPa/s.

As Figuras 22, 23 e 24 ilustram a estrutura dinâmica dos padrões atmosféricos e oceânicos associados aos eventos extremos da ZCIT, correspondentes as composições observacionais do mês de março.

As linhas de corrente em 200 hPa (Figura 22) mostram a configuração associada a AB com seu centro em torno de $15^{\circ}\text{S}/70^{\circ}\text{W}$ (levemente deslocada para o sul e para oeste de sua posição normal). A configuração do cavado a leste da AB encontra-se aparentemente desconectado, com sua posição deslocada para leste sobre o Oceano Atlântico adjacente ao litoral do nordeste brasileiro (Figura 22). A presença das anomalias positivas de ROL (contornos sombreados em cores na Figura 22) ocorre sobre a Amazônia ocidental (Rondônia e oeste do Mato Grosso) e sobre o nordeste (do Ceará a Sergipe) e também sobre o Atlântico equatorial sul. Na região do Atlântico equatorial norte que também inclui a faixa leste litorânea da Amazônia oriental (Amapá e Pará) observa-se atividade convectiva anormalmente acima do normal, indicada pela manifestação das anomalias negativas de ROL, associada primariamente a atuação da ZCIT (Figura 22).

As anomalias do vento em baixos níveis (vetores da Figura 23) evidenciam o predomínio de anomalias de vento do quadrante sudeste sobre o Atlântico equatorial sul, indicando ventos alísios (vindo do Atlântico sul) mais intensos do que o normal. Coincidente com a região contendo anomalias positivas de TSM (contornos sombreados em cores da Figura 24) sobre a bacia oceânica equatorial norte, principalmente na área adjacente a costa do África, observa-se a presença de anomalias do vento no quadrante sul/sudoeste adentrando a região intertropical do Atlântico, indicando que regiões de TSMs quentes associam-se a ventos alísios de nordeste (vindos do Atlântico norte) mais fracos do que o normal, principalmente na porção oriental do Atlântico equatorial norte. Sobre porção ocidental da bacia oceânica equatorial ao norte da América do Sul, verificam-se anomalias de vento do quadrante nordeste, indicando ventos alísios de nordeste anormalmente mais intensos nessa região. Assim sendo, a região de confluência dos ventos alísios de sudeste e nordeste manifesta-se sobre o Atlântico equatorial norte na região com TSM anormalmente quente que coincide consistentemente com a atuação da atividade convectiva profunda associada a ZCIT.

O padrão da circulação troposférica meridional associada à célula de Hadley indica a presença de uma região contendo omega negativo (contornos sombreados em cores na Figura 25) e anomalias de vento ascendente (vetores na Figura 25) ocorrendo sobre toda a troposfera entre $2,5^{\circ}\text{S}$ e 10°N . Esse ramo ascendente da célula de Hadley é coincidente com a região contendo anomalias negativas de ROL associada à ZCIT. Por continuidade de massa, aparecem duas áreas contendo omega positivo com movimento anormalmente subsidente

sobre o Atlântico norte e sobre o sul da Amazônia entre 15°S-5°S que é coincidente com a presença das anomalias positivas de ROL, ou seja, área com inibição da convecção tropical.

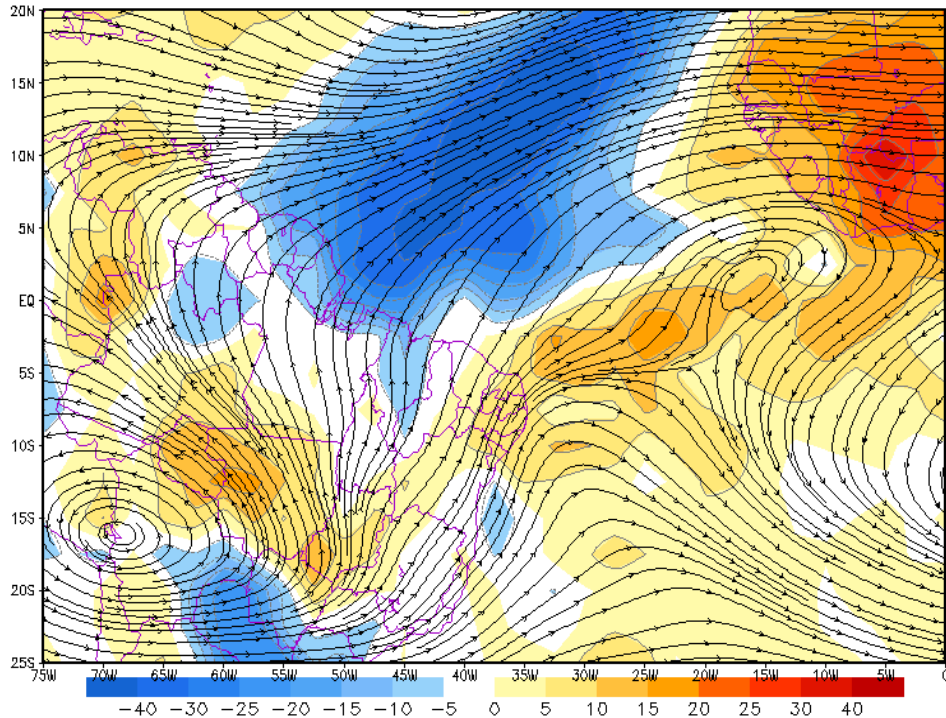


Figura 22: Anomalias de ROL (contornos sombreados em cores) e campo de vento horizontal (linhas de corrente) em 200 hPa correspondentes as composições do mês de março. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 .

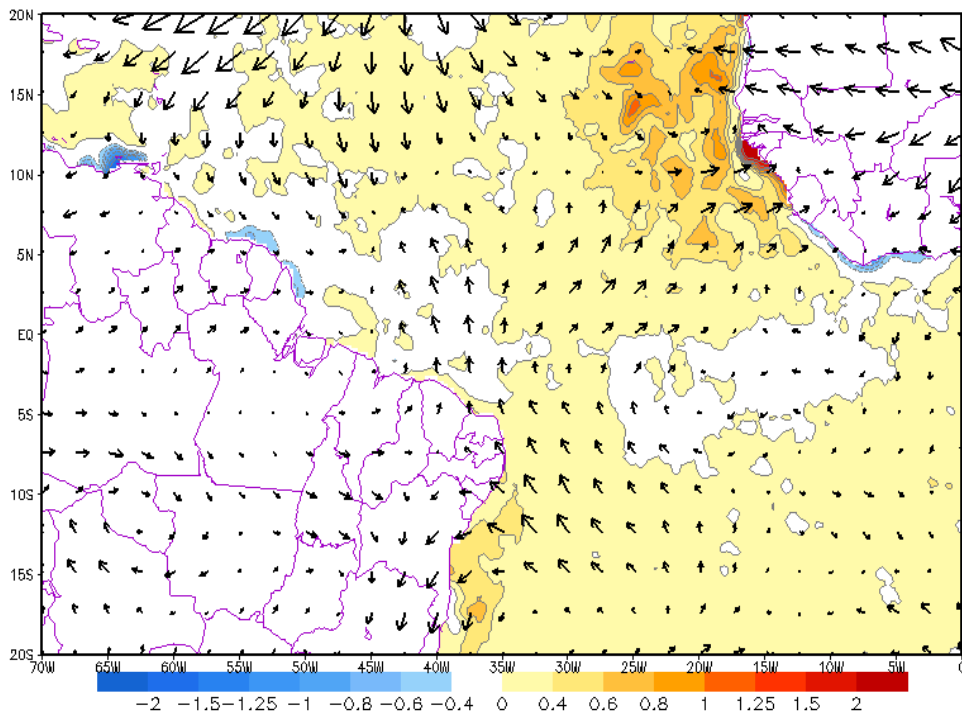


Figura 23: Anomalias de TSM (contornos sombreados em cores) e anomalias do vento horizontal (vetores) em 1000 hPa correspondentes as composições do mês de março. A escala de cores indica a intensidade de TSM em $^{\circ}C$.

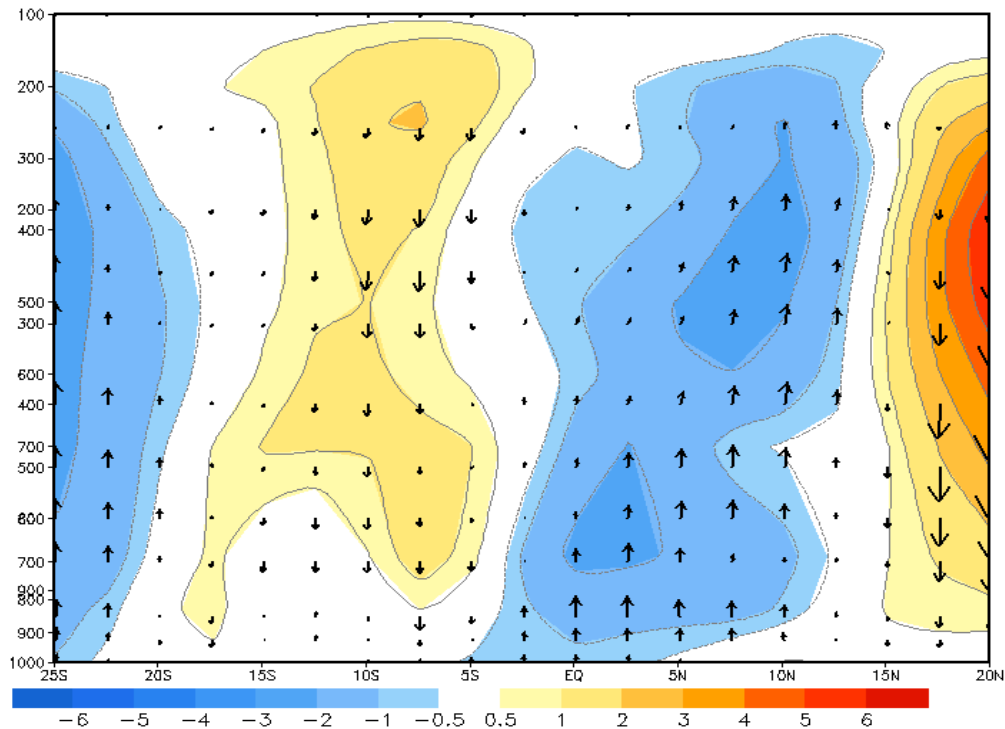


Figura 24: Corte vertical (altura em níveis de pressão x latitude) associado a célula de Hadley entre 55°W-40°W das anomalias de omega (contornos sombreados em cores) e circulação troposférica meridional correspondente as composições do mês de março. A escala de cores indica a intensidade de omega em hPa/s.

As Figuras 25, 26 e 27 ilustram a estrutura dinâmica dos padrões atmosféricos e oceânicos associados aos eventos extremos da ZCIT, correspondentes as composições observacionais do mês de abril.

O campo de vento em altos níveis (linhas de corrente em 200 hPa na Figura 25) mostra a ausência da circulação atmosférica associada a AB e ao cavado de ar superior. Associado a presença de convecção profunda anormalmente acima do normal, anomalias negativas de ROL (contornos sombreados em cores na Figura 26), verifica-se uma região de divergência em ar superior sobre a região da Amazônia oriental. Essa região de divergência também se estende sobre o Atlântico equatorial na região de atuação da ZCIT.

Em baixos níveis, a intensidade das anomalias de vento (vetores da Figura 26) e de TSM (contornos sombreados em cores da Figura 26) são menores em comparação aos padrões de março e fevereiro, e mostram o predomínio de anomalias de vento do quadrante nordeste sobre a região contendo TSM anormalmente quente (anomalias positivas) sobre grande parte da bacia do Atlântico equatorial norte.

A configuração da circulação troposférica meridional associada à célula de Hadley indica a presença de duas regiões contendo omega negativo (contornos sombreados

em cores na Figura 27) e anomalias de vento ascendente (vetores na Figura 27), uma sobre a porção equatorial entre 5°S e 10°N, e outra sobre o sul da Amazônia entre 15°S-10°S. Essas regiões de movimento ascendente são consistentes com a região contendo anomalias negativas de ROL associada à atividade convectiva da ZCIT intensificada sobre o Atlântico e sobre grande parte da Amazônia.

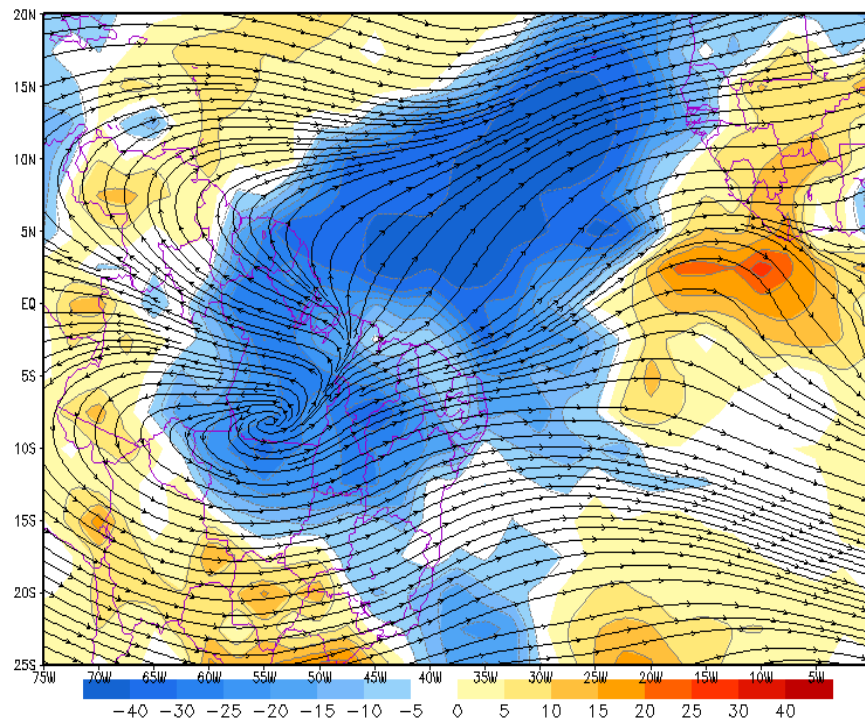


Figura 25: Anomalias de ROL (contornos sombreados em cores) e campo de vento horizontal (linhas de corrente) em 200 hPa correspondentes às composições do mês de abril. A escala de cores indica a intensidade de ROL em W/m^2 .

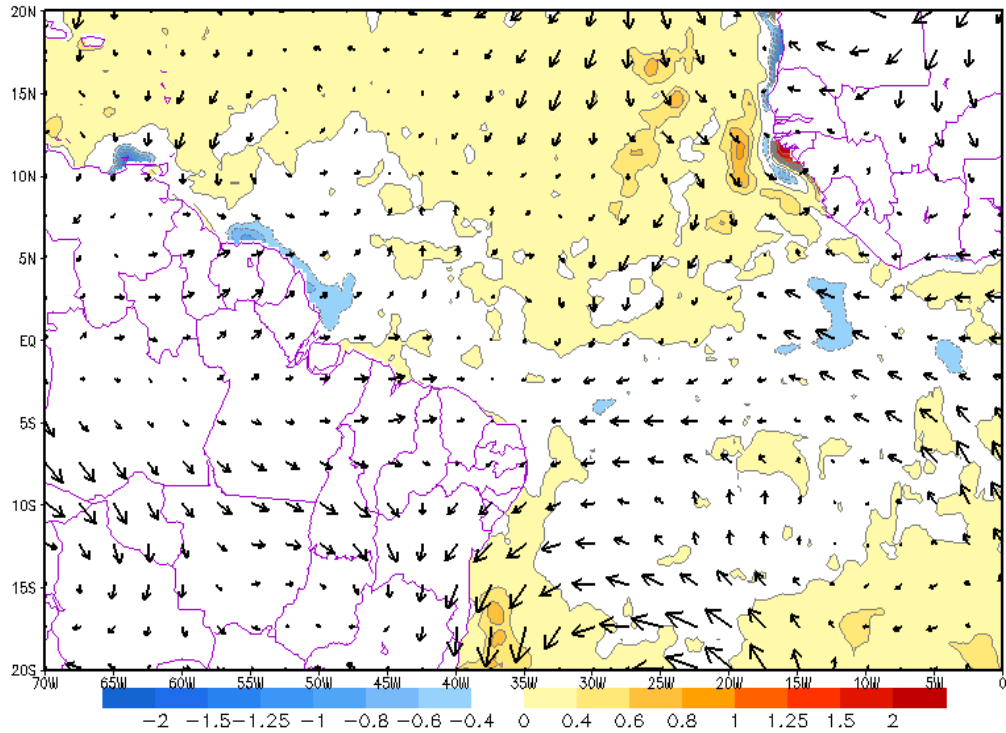


Figura 26: Anomalias de TSM (contornos sombreados em cores) e anomalias do vento horizontal (vetores) em 1000 hPa correspondentes as composições do mês de abril. A escala de cores indica a intensidade de TSM em °C.

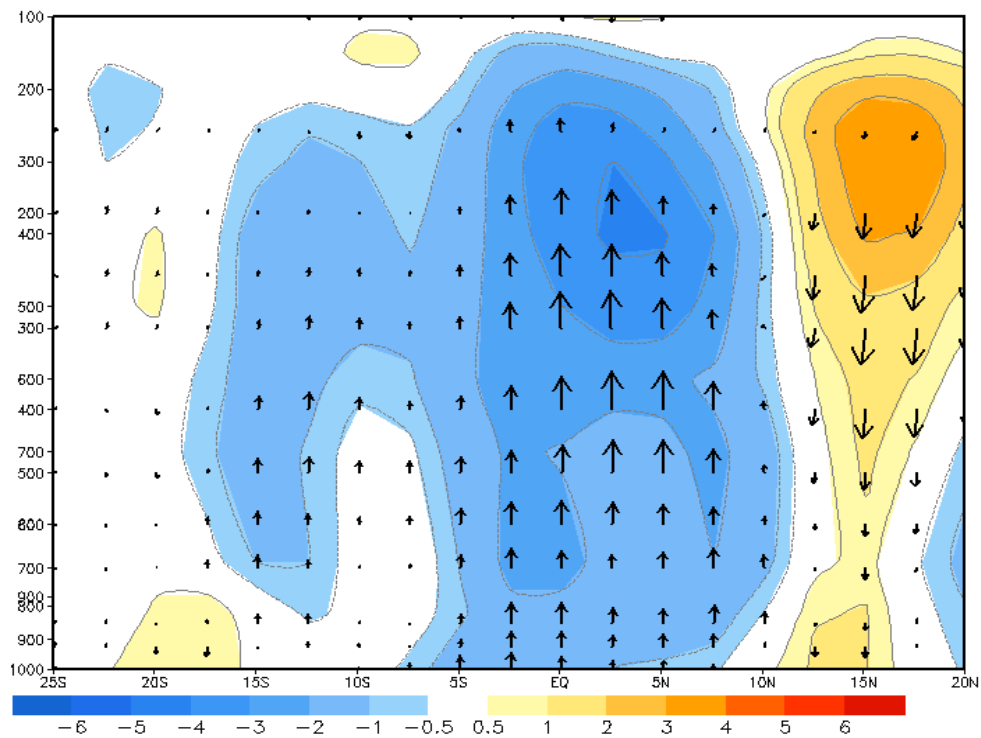


Figura 27: Corte vertical (altura em níveis de pressão x latitude) associado a célula de Hadley entre 55°W-40°W das anomalias de omega (contornos sombreados em cores) e circulação troposférica meridional correspondente as composições do mês de abril. A escala de cores indica a intensidade de omega em hPa/s.

5.5 IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS

O cotidiano nas grandes e médias cidades situadas na região tropical é diretamente influenciado por eventos de chuvas convectivas, que associadas às condições de infraestrutura inadequadas, podem acarretar sérios impactos sócio-econômicos e ambientais. Falta de saneamento básico, coleta irregular de lixo, ausência de um programa eficiente de reciclagem, sistema de esgotos precários, canais a céu aberto são algumas realidades presentes nos principais municípios da Amazônia oriental. Esses problemas sócio-ambientais são confrontados quando há ocorrência de eventos extremos de precipitação, no caso deste trabalho, eventos associados à ZCIT que geralmente vêm acompanhados de grande volume pluviométrico, sendo que em alguns casos a duração chega a ser de vários dias (ver número de eventos a cada ano na Tabela 1).

Nesta seção, apresenta-se uma análise dos impactos decorrentes de chuvas fortes, como enchentes, descargas elétricas, quedas de árvores e assuntos afins publicados em edições passadas (1985 a 2007) dos jornais “O Liberal” e “Diário do Pará”, ambos de circulação em todo o Estado do Pará, investigando qualitativamente os danos na infraestrutura urbana, na saúde (proliferação de doenças, devido à maior proliferação de insetos hospedeiros), prejuízos ao meio ambiente (queda de árvores devido à ação do vento), entre outros. Vale ressaltar que em alguns anos, nos quais foram observados eventos extremos da ZCIT, não houve catalogação de impactos, sendo inviável a análise durante os períodos que não forem citados ao longo do texto. Deste modo, citam-se somente textos extraídos de jornais de datas aproximadas aos eventos de pico (*dia 0*), arrolando impactos causados pelas chuvas nas datas destacadas na Tabela 1, que mostra as datas de ocorrências de eventos extremos da ZCIT persistindo por três dias consecutivos ou mais.

Na semana do dia 26 de abril de 1987 o jornal “Diário do Pará” documentou a notícia de que um temporal derrubara uma árvore no Bosque Rodrigues Alves na cidade de Belém, inclusive arrebentando os fios de energia elétrica e telefone que passavam próximo a trajetória da grande árvore. Nesta ocasião, outras árvores também foram afetadas pela forte chuva que caía durante a semana.

No início do mês de fevereiro do ano de 1989 o jornal “O Liberal” reportou por vários dias consecutivos notícias com o seguinte caráter: “Os tetos desabam – 04/02”, “Chuva em quase todos os dias do mês de fevereiro – 05/02”, ou ainda “Chuvas causam grandes estragos em toda a cidade – 19/02”. As frases retrataram a realidade do mês de fevereiro de 1989, no qual o 2º Distrito de Meteorologia (2º DISME) divulgou o “Alerta de Fevereiro”

sobre as condições climáticas da região amazônica para a ocorrência de chuvas mais intensas e frequentes, que se alternaram em algumas localidades com chuvisco intermitente perdurando por vários dias consecutivos em municípios como Soure, Bragança, Marapanim, Abaetetuba e Salinópolis. Seguindo a Tabela 2, no mês seguinte, mais precisamente no dia 27 de março, notificou-se outro evento extremo, que de acordo o jornal “O Liberal” de 30 de março de 1989, moradores pediam o fim das enchentes. Devido a ausência de saneamento na área, a água do sistema de esgotos (planejado com o escoamento voltado em direção à rua) passou a ocasionar o aumento das ocorrências de enchentes. Relatos de moradores contavam que a água chegou a alcançar meio metro de altura, afetando várias vilas. Além disso, houve prejuízos incalculáveis, já que poucas casas ficaram livres das enchentes.

Em meados de fevereiro de 1990, duas datas de evento extremo foram registradas, sendo que uma notícia marcou a condição climática preponderante na região nordeste do Pará: uma chuva ocorreu na cidade de Belém, transformando uma das principais avenidas em um verdadeiro rio. Na época do acontecido, na Avenida Visconde de Souza Franco foi impedido de se realizar um evento que deveria acontecer no fim do dia em Belém.

No município de Marabá, em 21 de fevereiro do ano de 1992 a cheia do rio Tocantins desabrigou mais de três mil pessoas, as águas atingiram no dia 20 o nível de 13 metros, sendo que o nível da cota de alerta definido pela Defesa Civil do Estado é de 10 metros. O prefeito declarou estado de emergência no município. No mesmo período, em Belém, a chuva quase arrasta uma casa no bairro de Canudos, deixando os moradores preocupados. No dia anterior, “O Liberal” deu provas do estrago causado pelo evento de 19 de fevereiro, mostrando fotos do temporal que abriu uma estimativa de mil buracos na grande Belém. Segundo o secretário municipal de saneamento “... foi a pior chuva dos últimos 20 anos”. Menos de dois meses após esse evento, na primeira quinzena de abril um temporal inundou a cidade e derrubou casas no bairro da Campina em Belém. Os transtornos foram grandes, sobretudo nas baixadas, onde na época viviam cerca de 450 mil pessoas. “Alagou tudo, o prejuízo é incalculável” disse Pedro Carneiro, morador da baixada José Leal Martins, localizada no bairro do Marco. Nas baixadas das Ruas Domingos Marreiros, Conceição, 14 de Março e Quintino Bocaiúva, todas em Belém, sempre que chove é assim: as ruas ficam intransitáveis porque os canais transbordam e as casas são invadidas por água fétida, e segundo o chefe do 2º DISME, o meteorologista José Raimundo Abreu de Sousa, no Pará esses eventos de chuva intensa são causados pela ZCIT.

No ano de 1993, o segundo decêndio de março foi caracterizado por inúmeros episódios de chuva, culminando com um evento extremo no dia 20. Em reportagem de “O

Liberal” de 12 de março, uma casa em Belém chegou a desabar após violenta chuva. No primeiro decêndio do mesmo mês, porém em 1994, uma cena comum mostra uma rua de Belém alagada depois de alguns dias seguidos de chuva (Figura 28), que se iniciara no dia 4 e perdurara até o dia 6, deixando vários pontos da cidade sem energia elétrica.



Figura 28: Alagamento em uma importante via de Belém (PA), impedindo a livre circulação dos veículos. Fonte: <http://www.diariodopara.com.br>.

Dentro da Amazônia oriental, o nordeste paraense também sofre pela ação de chuvas intensas e duradouras, um exemplo disso foram os fatos que precederam o evento do dia 15 de março de 1996, no qual podemos citar em reportagem do dia 13, caos que vão desde o trânsito às comunicações em Belém, até uma escola no bairro da Condor “foi a fundo” na hora da chuva, o nível da água chegou a meio metro de altura danificando patrimônios da escola e impedindo a realização de aulas. No dia seguinte, a chuva não cessou castigando os belenenses durante as 24 horas, as conseqüências foram engarrafamentos de duas horas em movimentadas avenidas, ventos fortes derrubaram árvores em Icoaraci, distrito de Belém, além de inúmeros transtornos para a sociedade. Nas proximidades município de Vila Mãe do Rio, em 14 de abril de 1996, a BR-010 foi interditada devido desabamento de um aterro em uma das cabeceiras da ponte sobre o rio Jaurá. O motivo foi a força da chuva que atingiu parte do Estado do Pará, compreendendo desde Dom Eliseu até Belém. No dia 15 do mesmo mês e ano, “O Liberal” destaca como uma das principais manchetes a chuva que ameaça o município de Monte Alegre. De acordo com o jornal a galeria de drenagem a céu aberto construída em 1993 pelo 8º Batalhão de Engenharia e Construção para conter a erosão pluvial em Monte Alegre não resistiu à força das chuvas que têm castigado o município e desabou, com risco ainda de novos desmoronamentos.

Para o mês de fevereiro de 1997 foram reportados três dias com eventos extremos de precipitação para a Amazônia oriental, são eles: 09, 15 e 24. Porém pouco se tem documentado sobre essa seqüência de datas chuvosas, uma das poucas notícias é mais uma queda de árvore em decorrência da forte chuva na capital paraense, na ocasião, uma

mangueira na Avenida Gentil Bittencourt em Belém caiu sobre um carro estacionado, por sorte, sem vítimas fatais. Em alguns pontos da cidade o nível da água ocupou quase toda a rua, obrigando os carros a subirem nas calçadas e no canteiro central devido ao grande volume d'água. Moradores do edifício José Vicente Cruz ficaram temerosos com os fortes ventos, pois na região as árvores balançavam como se fossem desabar. A ventania destelhou casas em toda a cidade atingindo a velocidade de 15 m/s (≈ 54 km/h), segundo o meteorologista Sebastião Moutinho do 2º DISME.

No início do mês de março de 1997, o município de Marabá sofreu com as chuvas que associada a cheia dos rios Tocantins e Itacaiúnas desabrigaram 1500 pessoas. Segundo “O Liberal”, a inundação que se repete anualmente, agravada pelas chuvas fortes na região desabrigaram cerca de 300 famílias. Já em Belém, as chuvas continuam causando contratempo, nas áreas próximas aos canais, muita gente ficou ilhada, o tráfego fluiu de forma difícil e representou um risco a mais para quem teve de enfrentar o temporal. Entre os dias 5 e 11 de fevereiro de 1999, as condições de tempo em Belém resumem-se a dias chuvosos, dessa vez o problema foi a saúde da população belenense, pois o número de casos de rotavírus aumentou em 10%, disse o médico Paulo Amoras para o jornal “O Liberal”. Segundo ele, “... sempre que o tempo muda, as viroses costumam aparecer com mais frequência, trazendo vários tipos de doenças. As que envolvem os distúrbios das vias respiratórias são as mais comuns, mas o sistema digestivo também costuma sofrer nessas situações”.

Ao ingressar no ano 2000 as notícias persistem: fevereiro, março e abril sendo impactados pelas fortes chuvas associadas à ZCIT. Em 23 de fevereiro uma importante via no centro de Belém, a Avenida Tamandaré, teve seu canal transbordado mais uma vez após chuva que perdurou por vários dias. A água invadiu casas e estabelecimentos comerciais, dando prejuízo para as pessoas que viviam próximas ao local. Já em março, pontos críticos de Belém foram alagados depois de seguidos temporais em meados do mês, o resultado da longa duração desses eventos foi: uma casa destruída e dificuldades no trânsito. De acordo com “O Liberal”, o desabamento de uma residência na Alcindo Cacela, causando ferimentos em uma pessoa e o incêndio em uma embarcação no Iate Clube foram as principais ocorrências registradas em consequência do temporal que desabou na cidade. No jornal de 16 de abril, dia seguinte de um evento extremo, a notícia “Chuva impiedosa castiga a cidade” é estampada na capa de “O Liberal”, na ocasião, a maioria dos bairros de Belém ficou literalmente debaixo d'água, ruas amanheceram alagadas, canais transbordaram, carros atolaram e muita gente perdeu tudo o que tinha com a invasão das águas.

A partir da segunda metade de fevereiro de 2001 foram computados dois dias com eventos extremos, no período entre essas datas, mais precisamente no dia 20 de fevereiro um grave acidente aconteceu matando uma pessoa e ferindo outra no distrito de Outeiro em Belém. A vítima fatal, juntamente com seu sobrinho de cinco anos de idade, estava apanhando frutas no terreno de sua residência enquanto chovia e foi atingido por volta das 13h30min por uma descarga elétrica que o deixou com o corpo totalmente carbonizado, morrendo instantaneamente. O sobrinho da vítima foi internado no hospital com queimaduras de segundo grau nas costas e nas pernas. Já no 2º decêndio de março, o número de dias com chuva aliado a episódios de lua cheia provocaram um fenômeno no qual a Baía do Guajará transborda atingindo as ruas mais baixas da velha Belém. O nível da baía aumentou cerca de três metros e meio, com isso, as redes de esgoto ficaram obstruídas, bueiros e canais de captação a céu aberto foram inundados. A chuva fina, característica da ZCIT, durou por quase uma semana, com pequenos intervalos de estiagem.

Em abril de 2002, “O Liberal” mostrou que o Corpo de Bombeiros da cidade de Belém teve trabalho extra, atendendo nove ocorrências em virtude da chuva que caiu na madrugada do dia 25 e só cessando pela parte da manhã. Segundo o Centro Integrado de Operações (CIOP), o Corpo de Bombeiros foi chamado para atender três quedas de árvores em via pública (Figura 29), mas a maior queixa da população, no entanto, foram os que tiveram suas casas inundadas. Ao todo sete residências precisaram dos Bombeiros entre outras coisas, para ajudar na remoção de móveis e procedimentos de segurança quanto à rede de energia elétrica.

Já em 2004, logo após o pico do evento extremo no dia 13 de março, foi reportado no jornal “Diário do Pará” um desabamento na igreja do Rosário, devido más condições externas do prédio, que foram agravadas nos últimos dias com as chuvas intensas. Na esquina da Avenida Antônio Baena com a Avenida Almirante Barroso, área freqüentada por muitos veículos na cidade de Belém, um alagamento tomou conta de quase toda a extensão do cruzamento, inclusive deixando um carro atolado em um bueiro. No mesmo dia, no município de Marabá, uma tempestade assustou os moradores, descargas elétricas, ventos fortes e grande aguaceiro deixaram estragos por toda a parte. No mês seguinte, entre os dias 13 e 24 de abril, jornais ilustram mais uma igreja que desaba com a força da chuva e uma escola alagada em virtude de chuvas duradouras.



Figura 29: Imagem de impactos causados pelo evento extremo de precipitação em 25 de abril de 2002 derrubando árvores em Belém-PA. Fonte: <http://www.diariodopara.com.br>.

Em fevereiro de 2005, Belém teve mais um prédio com risco de desabamento devido a ação de um temporal que caiu no dia 4. Além disso, associado ao temporal, um vendaval ocasionou inúmeros transtornos e prejuízos à população. Em 20 de abril, as notícias estampadas no jornal “O Liberal”: “Chuva alaga a cidade (...) mais de quatro horas de chuva causou um verdadeiro caos no trânsito”, “Eletrodomésticos boiaram no bairro do Marco”, “Moradores da Avenida Visconde de Inhaúma fazem protesto, pois sete casas foram alagadas”. Segundo o chefe do 2ºDISME, José Raimundo Abreu de Sousa, a chuva que caiu em Belém no dia 24 foi a maior dos últimos 100 anos, fazendo com que o acumulado mensal chegasse a 200 mm acima da normal climatológica. Foram 17 horas de chuva quase ininterrupta, pelo menos 47 pessoas a pediram socorro ao Corpo de Bombeiros. A maioria era para a retirada da água que invadiu casas.

Em 2006 somente um evento extremo foi selecionado entre os meses de atuação da ZCIT, no dia 6 de fevereiro “O Liberal” registrou duas notícias dos impactos da chuva na Amazônia oriental: “Chuva tumultua vida em Belém (...) com a chuva e falta de energia, o trânsito complica” e “Temporal castiga periferia, três dias intensos de chuva durante a noite deixaram 32 famílias desabrigadas em Parauapebas”.

Finalmente em 2007, diversas notícias acerca dos estragos provocados pela chuva foram documentadas pela mídia escrita paraense, principalmente no mês de abril, dentre elas podemos citar 20 metros de um muro na Avenida Júlio César em Belém que desabou com a chuva de quase 100 mm que ocorreu no dia 22. O mês de abril de 2007 pode ser resumido por cheias, alagamentos, enchentes e trovoadas em toda a região metropolitana de Belém e municípios do nordeste paraense e Amazônia oriental.

Baseado na observação dos dados reportados pelos jornais, ilustra-se graficamente a distribuição dos impactos por bairros em decorrência dos eventos extremos de precipitação

na cidade de Belém (Figura 30). Os bairros do Marco, Pedreira, Batista Campos e Cremação são os mais impactados e propícios aos alagamentos e enchentes devido às chuvas intensas relacionadas à ZCIT, durante os meses de fevereiro, março e abril. Vale ressaltar que essas áreas estão localizadas nas partes mais baixas de Belém e tem canais a céu aberto (Figura 28), o que inevitavelmente deixa o cenário mais propício às enchentes e alagamentos com impactos mais proeminentes. Sabe-se que a cidade de Belém está assentada sobre áreas cujas altitudes variam entre 7 m e 14 m, ou seja apresenta um relevo baixo e plano, dividido em áreas de várzea e terra firme. A partir da Figura 30 e 31, podemos concluir que os bairros localizados nas partes mais baixas da cidade, associados às proximidades aos canais a céu aberto, mostram-se mais diretamente impactados pelas fortes e constantes chuvas durante os meses de fevereiro, março e abril, influenciados principalmente pela atuação da ZCIT e aglomerados que se desprendem desse sistema de grande escala. Além disso, a falta de preparo da população que vive nas adjacências desses canais, no que diz respeito à educação ambiental contribui consideravelmente no agravamento das enchentes e alagamentos, já que corriqueiramente é observado nos canais a céu aberto verdadeiros reservatórios de lixo, impedindo a livre circulação da água do esgoto e também das chuvas.

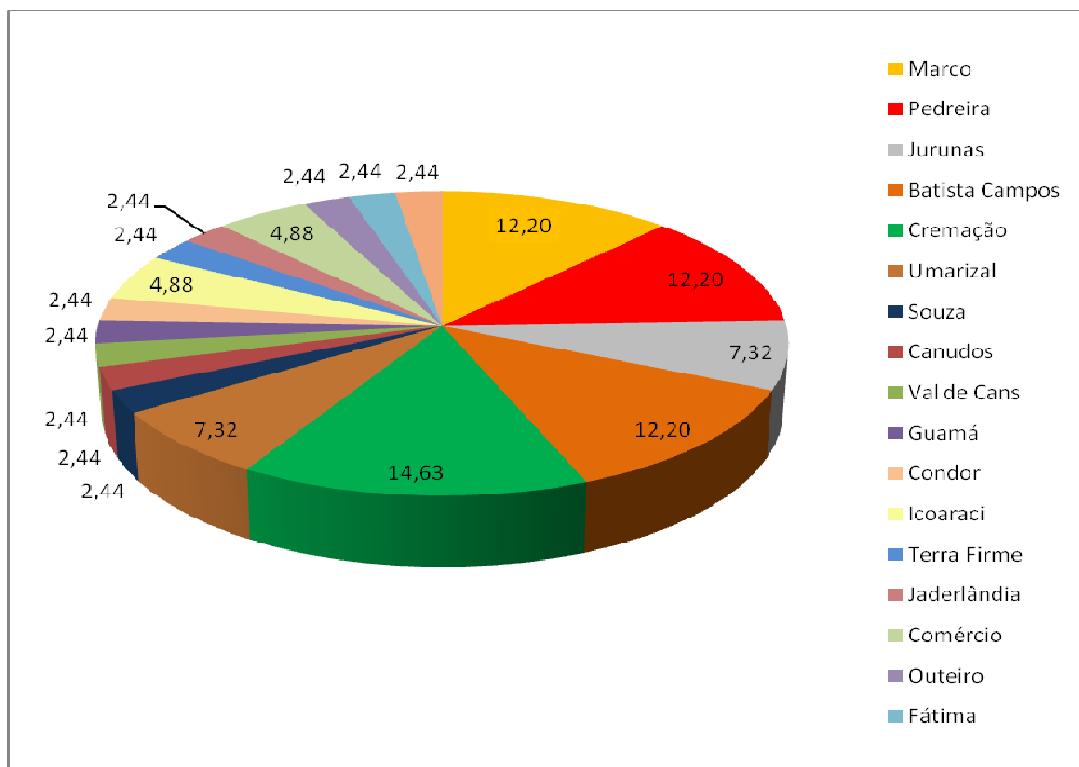


Figura 30: Distribuição da ocorrência dos impactos dos eventos extremos de precipitação nos diversos bairros da cidade de Belém (PA) em porcentagem.



Figura 31: Localização dos bairros mais impactados pelas constantes chuvas em Belém (PA), destacando os canais a céu aberto.
 Fonte: Google Earth - 2008.

Desta forma, fatos como esses supracitados ratificam os impactos que a chuva proveniente da ZCIT causa na sociedade e no meio ambiente na região de estudo, sendo que, para minimizar os efeitos naturais da variabilidade pluviométrica na população torna-se necessária mais atenção das autoridades competentes para esse problema que todos os anos atrapalham a vida de habitantes das áreas mais propícias aos alagamentos.

6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Foram usados 23 anos (1985-2007) de uma base de dados diários de ROL, TSM, precipitação, omega, além de vento zonal e meridional, cada um com seu propósito dentro do objetivo de investigar as características climatológicas associadas aos eventos extremos da ZCIT observados sobre o Oceano Atlântico equatorial. Procurou-se estabelecer as influências na variabilidade pluviométrica da Amazônia oriental, durante os meses de fevereiro, março e abril, os quais representam os meses de maior atuação da ZCIT na região de estudo.

Uma forte justificativa da realização deste trabalho é a carência de publicações relatando a influência da ZCIT sobre o clima da Amazônia, sendo que a maioria enfoca os impactos na região Nordeste do Brasil. Esse fator foi preponderante para escolha desse tema.

Os resultados da análise de EOF empregada nas anomalias diárias de ROL separadamente para os meses de fevereiro, março e abril, evidenciaram que o modo climático dominante relacionado diretamente com a ZCIT aparece no segundo modo, EOF2 (Figuras 10 a 15). Posteriormente, baseado no padrão espacial dos autovetores e na sequência temporal das componentes principais, definiu-se um critério objetivo para selecionar os eventos extremos da ZCIT persistindo por três dias consecutivos ou mais. Tais episódios foram considerados como eventos extremos concernentes a duração do fenômeno. Durante a ocorrência desses eventos, o valor acumulado geralmente ultrapassa os 20 mm (aproximadamente 89% dos casos), deste modo, podemos afirmar que eles também estão associados a altos volumes pluviométricos, tanto para fevereiro, março e abril.

Em seguida, de posse das composições de precipitação e ROL, observou-se que ambas as variáveis ratificam bem a configuração espacial da ZCIT no Oceano Atlântico equatorial, já que a convecção indicada pelas anomalias negativas de ROL é notada nos três meses sobre os Estados do Amapá, e parte norte do Pará e Maranhão. No que diz respeito à composição de precipitação, as áreas influenciadas acompanham o posicionamento das anomalias negativas de ROL e, conseqüentemente, a ZCIT.

Quanto à estrutura dinâmica dos padrões oceano-atmosfera observada nos meses de fevereiro, março e abril, basicamente evidenciou-se que a ZCIT forma-se no Oceano Atlântico equatorial numa região de confluência dos ventos alísios de sudeste e nordeste, coincidente com áreas contendo TSM anormalmente quente, movimento vertical ascendente do ar associado à célula de Hadley, com divergência do vento em altos níveis.

Relacionando a ocorrência dos eventos extremos da ZCIT aos impactos sócio-ambientais concluiu-se que em Belém, as principais áreas afetadas pelas fortes e constantes

chuvas associadas à atividade convectiva são os bairros localizados nas regiões mais baixas e próximas de canais a céu aberto, onde na ocasião de chuvas persistentes ocorre o transbordamento dos mesmos e assim, favorecendo o alagamento de ruas, casas e estabelecimentos comerciais, a proliferação de doenças agravadas nas épocas chuvosas, entre outros aspectos que causam transtornos à vida da população. Entre os bairros mais impactados podemos citar a Cremação, o Marco, a Pedreira e Batista Campos, que após o levantamento de informações de danos causados pelas chuvas foram os mais mencionados pelas reportagens.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, T. L. O. B.; MOTA, M. A. S. Eventos de precipitação extrema ocorridos em Belém durante os anos de 1987, 1988, 1989, 1990: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo **Anais...** São Paulo, SP: SBMET, 2008.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Persistence, Form, Extreme Precipitation and Relationships with Intraseasonal Activity. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.
- COELHO, M. S.; GAN, M. A.; CONFORTE, J. C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 23-34, 2004.
- FERREIRA, N. S.; ALVES J. M. B; SOUZA, E. B. LOCZCIT - Um procedimento numérico para localização do eixo central da Zona de Convergência Intertropical no Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 159-164, 2005.
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, p. 36-45, 1990.
- HASTENRATH, S. **Climate Dynamics of the Tropics**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. 488 p.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, n.435, p.77-92, 1977.
- HASTENRATH, S.; LAMB, P. **Climatic atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific Oceans**. Wisconsin: University of Wisconsin Press, 1977. 117p.
- KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 77, p.437-471, 1996.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, 1988.
- KUTZBACH, J. E. Empirical eigenvectors of SLP, surface temperature and precipitation composites over North America. **J. Appl. Meteorol.**, v. 6, p. 791-801, 1967.
- LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v. 77: p. 1275-1277, 1996.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R.. Observations of the 40-50 day tropical oscillation – A review. **Monthly Weather Review.**, v. 122, n. 5, p. 814-837, 1994.
- MOURA, A. D., SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 38, p. 2653-2675, 1981.

NOBRE P.; SHUKLA, J. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **J. Climate**, v. 9: p. 2464-2479, 1996.

NORTH, G. R.; BELL, T. L.; CALAHAN, R. F.; MOENG, F. J. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. **Monthly Weather Review**. 110: 699-706, 1982.

ORM – Organizações Rômulo Maiorana: Disponível em <http://www.orm.com.br>. Acessado em 29/03/2007.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The Relative Importance of ENSO and Tropical Atlantic Sea Surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 205-212, 2001.

REPELLI, C. A. et al. O episódio de chuvas intensas no nordeste brasileiro no final de março/1997: influência das oscilações 30-60 dias. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.13, n.1, p 09-18, 1998.

REYNOLDS, T. SMITH, C. LIU, D. CHELTON, K. CASEY, M. SCHLAX. Daily High-resolution Blended Analyses for Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, 2007.

SHI, W. R. W. HIGGINS, E. YAROSH, V. E. KOUSKY. The annual cycle and variability of precipitation in Brazil. NCEP/Climate Prediction Center. **U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE**, NOAA/NWS, ATLAS n. 9. 2000.

SILVA, V., V. KOUSKY, W. SHI, W. HIGGINS. Improved CPC Gridded Historical Daily Precipitation Analyses Over Brazil. In: 30th Annual Climate Diagnostics & Prediction Workshop. **The Pennsylvania State University** - USA, October 24-28, P3.16, 2005.

SOUZA, E. B.; ALVES, J.M.B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do Nordeste Brasileiro em associação aos eventos do Padrão de Dipolo observados sobre o Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 13(2): p. 45-56, 1998.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T.. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulations. **Atmosfera**, Mexico, v. 15, n. 2, p. 105-120, 2002.

SOUZA, E. B., T. AMBRIZZI. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

SOUZA, E. B., T. AMBRIZZI. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, v. 1, 2003 [Disponível online em www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/artcien2.shtml].

SOUZA, E. B, KAYANO, M. T., AMBRIZZI T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 81: p. 177–191, 2005.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19(2): p. 113–122, 2004.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

TRENBERTH K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 78, p. 2771-2777, 1997.

UVO, C. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 1989. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 1989.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Pernambuco, 2006. Versão Digital 2.

XAVIER, T. Ma. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. S.; DIAS, M. A. F. S. A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27-43, 2000.