



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

RÔMULO AUGUSTO JUCÁ OLIVEIRA

**ANÁLISES DE DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE NO NORDESTE
BRASILEIRO E AMAZÔNIA ATRAVÉS DAS REANÁLISES DO MODELO
REGIONAL ETA E ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

250

**BELÉM-PARÁ
2008**



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

RÔMULO AUGUSTO JUCÁ OLIVEIRA

ANÁLISES DE DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE NO NORDESTE
BRASILEIRO E AMAZÔNIA ATRAVÉS DAS REANÁLISES DO MODELO REGIONAL
ETA E ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado
ao curso de Meteorologia para a obtenção de
Grau de Bacharel em Meteorologia pela
Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Meteorologia por Satélite
Orientador: Prof. Dr. Galdino Viana Mota

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM
2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

- Oliveira, Rômulo Augusto Jucá
- O48a Análises de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste Brasileiro e Amazônia através das reanálises do modelo regional ETA e estimativas de precipitação. / Rômulo Augusto Jucá Oliveira. – 2008
58 f. : il.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Segundo Semestre de 2008.
Orientador, Galdino Viana Mota.
1. Estimativa de precipitação-TRMM. 2. Distúrbios ondulatórios de Leste. 3. Reanálises ETA. 4. Nordeste Brasileiro. 5. Amazônia. I. Universidade Federal do Pará. II. Mota, Galdino Viana, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.5772811

ANÁLISES DE DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE NO
NORDESTE BRASILEIRO E AMAZÔNIA ATRAVÉS DAS REANÁLISES
DO MODELO REGIONAL ETA E ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO

RÔMULO AUGUSTO JUCÁ OLIVEIRA

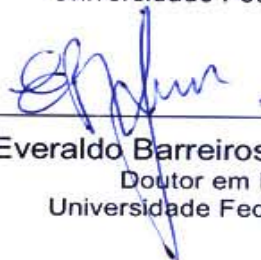
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Meteorologia do Instituto de
Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará
(UFPA), como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Meteorologia.

Defendido e Aprovado em 18 / 12 / 2008

Pela Comissão Examinadora.



Prof. Galdino Viana Mota – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



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



Prof.ª Midori Makino
Doutora em Ciência Matemática
Universidade Federal do Pará



Prof. Paulo Fernando de Souza Souza
Mestre em Meteorologia Dinâmica
Diretor da Faculdade de Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Primeiramente dedico a Deus, pois sem ele, nada seria possível. Aos meus pais, em especial ao meu pai Medimar Alencar Oliveira, que sempre me deu forças e orientações nas horas certas em que precisei e a todos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pois sem ELE, nada disso seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Galdino Viana Mota, primeiramente pela amizade e todo o apoio, paciência e disposição na orientação deste e anteriores trabalhos que realizei, desde a minha entrada no Laboratório de Meteorologia Sinótica e pelas suas valiosas informações e sugestões, que levarei pra toda vida.

Ao Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro, pela amizade, incentivo, apoio e toda confiança, dados a mim desde o início e até mesmo antes de minha graduação.

Aos membros da banca avaliadora deste Trabalho de Conclusão de Curso pelas valiosas sugestões (Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza e Prof^a Dr^a Midori Makino).

Ao meus pais e educadores: Prof. Medimar Oliveira, Prof^a. Socorro Jucá e Prof^a. Márcia Nobre, juntamente com toda minha família, que sempre depositaram toda confiança em mim e nunca deixaram de acreditar em meu potencial.

Aos amigos e colegas do curso, por terem compartilhado comigo momentos inesquecíveis de aprendizado, companheirismo e descontração, em especial: José Júnior, Thiago Sepeda, Victor Franco, Francesco Martorano, Rafael Ferreira, Adriano Souza, Meriane Taques, Priscila Anjos, Viviane Sá, Roberta Ribeiro, Silvia Garcês, Monik Albuquerque, Andressa Lima, Vânia Franco, Alexandra Tavares, Patrícia Malcher, Luciana Sousa, Ionara Siqueira, Jackeline Charchar, Aline Gatinho, Luis Cláudio, Rodrigo Nielson e outros.

Aos amigos: Wanderson Raoni (irmão), Rômulo Gemaque, Tiago Leite, Izabel Almeida, Joseana Santos, Ingrid Barreto e Flávio Pereira, pelas grandes conversas, “saídas” e vários momentos de descontração, pois sem isso não haveria gás em vários momentos de minha graduação.

Às amigas do Laboratório de Sinótica: Nilzele Gomes e Venize Teixeira, pelo grande apoio com suas informações, dadas a todos os momentos e pelos vários momentos de descontração, tornando sempre o ambiente agradável.

Ao MS em meteorologia Mauro Mendonça, pelo grande auxílio com suas informações e dicas, dadas sempre em boas horas.

Ao Programa PROINT 2005/2006 e 2006/2007 da UFPA pela concessão da bolsa de iniciação acadêmica e doação de computadores para o Laboratório de Sinótica.

Ao Projeto RPCH – Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará pela oportunidade de poder contribuir com suas Reuniões Mensais e pela doação de computadores para o Laboratório de Sinótica.

Ao UNIDATA Programa de Premiação de Equipamentos da Comunidade UNIDATA da *University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)* através da *National Science Foundation (NSF)* - USA e ao Programa METEOFORUM pelo apoio nos projetos educacionais na América Latina e pela doação de computadores para o Laboratório de Sinótica.

Aos professores da Faculdade de Meteorologia da UFPA, em especial: Maria do Carmo, Midori Makino, Dimitrie Nechet, Everaldo Souza, José Carvalho, Danilo Filho e Antônio Lola, José Ricardo, Paulo Souza e todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o final desta jornada.

*Não se pode ir atrás de objetivos fáceis.
É preciso buscar o que só se pode ser alcançado por
meio dos maiores esforços.
(Albert Einstein)*

RESUMO

A complexidade do clima da Região Nordeste do Brasil (NEB) e Amazônica é observada pela atuação e interação de diversos sistemas atmosféricos, tais como Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Linhas de Instabilidade (LIs), Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs) e sistemas convectivos isolados. Dentre estes, os DOLs são de extrema importância, por provocarem alterações bruscas das condições sinóticas, principalmente na componente meridional do vento, tendo, como consequência, uma umidificação da camada, aumento de nebulosidade e precipitação. O objetivo deste trabalho é investigar a atuação de DOLs sobre o NEB e Amazônia, durante os trimestres junho-julho-agosto de 2000 a 2004, através das Re-análises do modelo regional ETA e estimativas de precipitação provenientes do satélite TRMM. Observou-se que os DOLs são mais evidentes nas latitudes mais boreais, quando comparados com as latitudes austrais dos trópicos e no NEB e que os trimestres JJA de 2000 e 2004 obtiveram destaque, por apresentarem anomalias positivas de precipitação sobre grande parte das Regiões NEB e Amazônia (principalmente sob a área costeira com o Atlântico).

Palavras Chave: Distúrbios Ondulatórios de Leste. Reanálises ETA. Estimativa de Precipitação-TRMM. Nordeste Brasileiro, Amazônia

ABSTRACT

The complexity of Northeast Brazil climate (NEB) and Amazon is observed by the action and interaction of various atmospheric systems, such as, East Waves Disturbances (DOLs), the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), Squall Lines (SC), the High Levels Cyclonic Vortices (UTCV) and isolated convective systems. Among these, the DOLs are very important, to cause abrupt changes of synoptic conditions, mainly of the southern wind (v), having as consequence humidification of a layer of increased cloudiness and precipitation. The objective of this study was to investigate the DOLs action of the NEB and Amazon, during the June-July-August period from 2000 to 2004, through the ETA regional model Reanalysis and rainfall estimatives from the TRMM satellite. It was observed that the DOLs are more evident in the more boreal latitudes, when compared with the southern latitudes of the tropics and the NEB, the JJA period from 2000 to 2004 is highlighted, for presenting rainfall positive anomalies over large parts of the NEB and Amazon Regions (especially under the Atlantic coastal area).

Key - Words: East Waves Disturbances. ETA Reanalysis. Estimated Rainfall-TRMM. Northeast Brazil, Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 01 - Regiões onde são observados ou há um indicativo de distúrbios propagando-se para oeste. 18
- FIGURA 02 - Modelo conceitual de DOL para o HN. Em linha sólida e apresentam-se as linhas de corrente em 4500 m; enquanto em tracejado, as isóbaras em superfície. 19
- FIGURA 03 - Modelo conceitual de DOL para o HS: a) Isóbaras e escoamento em superfície; b) Estrutura vertical, formação de nuvens e atividade convectiva. 20
- FIGURA 04 - Comprimentos de onda associados a correlações que indicam as trajetórias de propagação dos DOLs. Os maiores comprimentos de onda indicam as trajetórias. 23
- FIGURA 05 - Distribuição anual da precipitação na Amazônia em mm/ano. 26
- FIGURA 06 - Distribuição sazonal da precipitação na Amazônia em mm/3meses. (a) dezembro-janeiro-fevereiro, (b) março-abril-maio, (c) junho-julho-agosto e (d) setembro-outubro-novembro. 28
- FIGURA 07 - Esquema do sinal do vento em ondas de leste para os hemisférios norte e sul. 33
- FIGURA 08 - Distribuição média da precipitação sobre o NEB e Amazônia, para os meses de JUNHO (a), JULHO (b) e AGOSTO (c), através do 3A25 do período de janeiro de 1998 a agosto de 2008. 35
- FIGURA 09 - Média do numero de ocorrência de Distúrbios Ondulatórios de Leste nas latitudes 10° N, 5° N, 0°, 5° S e 10° S, para os meses JUNHO-JULHO-AGOSTO de 2000 a 2004, , no nível de 700 hPa, a partir das Re-análises do Modelo ETA. 39
- FIGURA 10 - Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento ($m\ s^{-1}$) (a), da Radiação de Onda Longa ($W.m^{-2}$) (b) e da Água Precipitável ($Kg.m^{-2}$) (c), na latitude de 10° S, no nível de 700 hPa do mês de junho de 2002. As regiões sombreadas no Diagrama da componente meridional do vento, representam os valores positivos e as linhas destacadas, que unem as isolinhas de zero, indicam a propagação das ondas. 40

FIGURA 11 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 5° S e no mês de junho de 2001.	41
FIGURA 12 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 0° e no mês de julho de 2001.	42
FIGURA 13 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 5° N e no mês de julho de 2002.	43
FIGURA 14 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 10° N e no mês de agosto de 2001.	44
FIGURA 15 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 10° N e no mês de agosto de 2004.	45
FIGURA 16 - Diferença da Precipitação estimada pelo PR (3A25) para o NEB e Amazônia, referente aos meses de JUNHO (a), JULHO (b) e AGOSTO (c) de 2000 com relação a média de 1998 a 2008.	47
FIGURA 17 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2001.	48
FIGURA 18 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2002.	49
FIGURA 19 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2003.	50
FIGURA 20 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2004.	51

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	América do Sul
AT	Atlântico Tropical
ATN	Atlântico Tropical Norte
CNB	Costa Norte do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Clima
DJF	dezembro-janeiro-fevereiro
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DOLs	Distúrbios Ondulatórios de Leste
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
JJA	junho-julho-agosto
LIs	Linhas de Instabilidade
MA	Maranhão
MAM	março-abril-maio
MJO	Oscilação de Madden-Julian
N-NE	Norte-Nordeste
NCEP/NCAR	National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research
NMC	National Meteorological Center
NE	Nordeste

NEB	Nordeste Brasileiro
NW-SE	Noroeste- Sudeste
PCs	Perturbações Convectivas
PR	Precipitation Radar
PTO	Pacífico Tropical Oeste
PSAS	Physical-space Statistical Analysis System
ROL	Radiação de Onda Longa
ROLE	Radiação de Onda Longa Emergente
SE	Sudeste
SE-NW	Sudeste-Noroeste
SON	setembro-outubro-novembro
TMI	TRMM Microwave Imager
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VCANs	Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
VIRS	Visible and Infrared Radiometer System
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE (DOLs).....	17
2.2	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS REGIÕES NEB E AMAZÔNIA.....	24
2.2.1	Nordeste Brasileiro (NEB)	24
2.2.2	Amazônia	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	DADOS.....	29
3.1.1	Reanálises do Modelo numérico Regional ETA	29
3.1.2	Estimativa de precipitação do Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)	30
3.1.2.1	Algoritmo 3A25	30
3.2	METODOLOGIA.....	31
3.2.1	Identificação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste	32
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	34
4.1	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ESTIMADA PELO 3A25 PARA O TRIMESTRE JJA.....	34
4.2	DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE (DOLS).....	36
4.3	OCORRÊNCIA DE DOL'S E ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO.....	46
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, pelas suas dimensões continentais, possui uma diversificação climática bem ampla, influenciada pela sua configuração geográfica, sua significativa extensão costeira, seu relevo e a dinâmica das massas de ar sobre seu território. Este último fator assume grande importância, pois atua diretamente sobre as temperaturas e os índices pluviométricos nas diferentes regiões do País.

O Nordeste Brasileiro (NEB) e a Região Amazônica possuem uma área conjunta em torno de 60 % do território Brasileiro. Estão localizadas, aproximadamente, entre as latitudes de 5° N e 18° S e as longitudes 35° W e 74° W.

O clima apresenta-se muito complexo nessas regiões, pois envolvem a influência de vários sistemas atmosférico, tais como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Linhas de Instabilidade (LIs) e Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs). Entre estes sistemas, os DOLs são de extrema importância, por provocarem alterações das condições sinóticas, principalmente na componente meridional do vento, tendo, como conseqüência, uma umidificação da camada, aumento de nebulosidade e precipitação. Além disso, os DOLs podem intensificar os sistemas meteorológicos de perturbação convectivas (BARBOSA, 2005), tais como as Linhas de Instabilidade que se propagam para o interior da Amazônia, ou ainda podem associar-se com a ocorrência de tempestades tropicais ou mesmo furações na parte norte do Atlântico Equatorial (COOK et al., 2004).

Desde que foram descobertas por Dunn (1940) e descritas no modelo idealizado por Riehl (1945), as Ondas de Leste do Atlântico Norte foram relacionados a nebulosidade convectiva, e por conseguinte com a precipitação tropical, o que mostra a relevância do estudo destes distúrbios.

A precipitação, componente aéreo do ciclo hidrológico, é o principal elemento meteorológico nos trópicos. Tendo isso em vista, é importante o conhecimento da sua distribuição e variabilidade no NEB e Amazônia; sendo de suma importância para o melhor entendimento dos sistemas locais, de meso e grande escala que atingem as regiões. No entanto, o conhecimento acurado da distribuição espaço-temporal da precipitação em uma região é totalmente dependente de uma densa rede de

pluviômetros. Porém, isto ainda não é completamente observado, quer seja pela inacessibilidade às vastas áreas da região ou pelo imenso custo da instalação e manutenção de radares meteorológicos para descrever detalhadamente a distribuição espaço-temporal da precipitação na Amazônia.

Alternativamente são utilizados, a fim de descrever o perfil da precipitação na América do Sul, dados estimados por satélites meteorológicos (NEGRI e ADLER, 2002; MOTA, 2002; MOTA, 2003; GOMES, MOTA e ARTAXO, 2006). O uso de dados provenientes de satélites meteorológicos para a estimativa da precipitação, identificação e caracterização de sistemas precipitantes proporciona importante contribuição no entendimento da distribuição e variação, e.g., dos aerossóis e da convecção tropical – parâmetros inerentes ao complexo sistema biosfera-atmosfera (MORAES et al., 2006; ARTAXO et al., 2006; SILVA DIAS, 2006). Além disso, as estimativas de precipitação através de satélites podem servir como uma ferramenta favorável na substituição de falhas no conjunto de dados de chuva medida que são utilizados como dados de entrada em modelos numéricos meteorológicos.

Este trabalho tem como objetivo identificar, analisar e determinar subjetivamente os parâmetros básicos dos padrões ondulatórios de leste, que mais afetam o NEB e Região Amazônica, durante os trimestres junho-julho-agosto de 2000 a 2004, e relacionar os distúrbios com a precipitação estimada por satélite durante este período.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE (DOLs)

Sabe-se que nos trópicos existem mais distúrbios meteorológicos de pequena escala do que nas outras latitudes e isso deve-se às mudanças na estrutura do sistema de ventos (RIEHL, 1965).

Na região equatorial ocorre a predominância de ventos de leste em baixos níveis, conhecidos como ventos alísios, e de oeste em altos níveis (NIEUWOLT, 1978). Os ventos alísios apresentam duas características marcantes: persistência e intensidade. Essas características indicam que, em grande escala, o escoamento médio em baixos níveis explica grande parte do campo de vento observado num dado instante. Existem, no entanto, desvios em relação à média, os quais representam os sistemas sinóticos da região tropical. Esses sistemas modificam as condições de tempo ao longo de sua trajetória. A sua principal fonte de energia parece ser a liberação de calor latente através de processos de convecção profunda, visto que os gradientes meridionais de temperatura são pequenos quando comparados com as latitudes médias (MOTA, 1997). Os DOLs ocasionam perturbações nos campos de vento e de pressão e apresentam um deslocamento característico de leste para oeste, no mesmo sentido dos ventos alísios.

Segundo Berry et al. (1945), estes distúrbios ocorrem em diversas partes dos trópicos (FIGURA 01), sendo que estudos extensivos têm sido realizados no Atlântico Tropical Norte (ATN), no Caribe e na região do Pacífico Tropical Oeste (PTO).

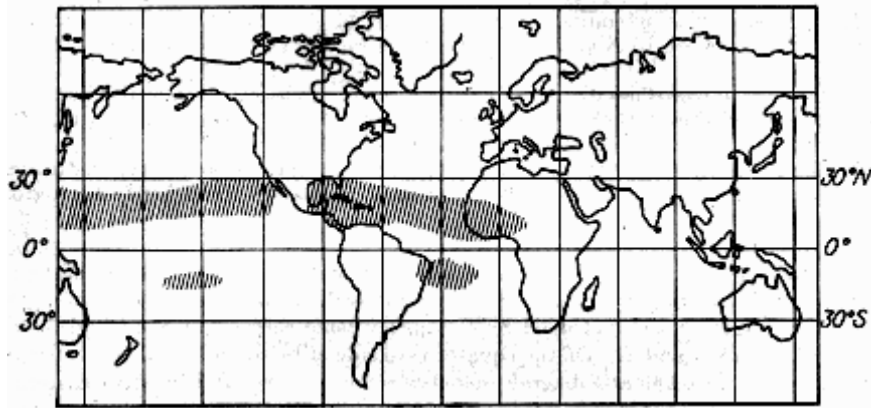


Fig. 01 - Regiões onde são observados ou há um indicativo de distúrbios propagando-se para oeste.

Fonte: Adaptada de Berry et al. (1945).

Historicamente, Dunn (1940) foi um dos pioneiros na identificação dos DOLs. Ao observar uma série de isalóbaras positivas e negativas sobre a região do Caribe, pôde constatar que a intensidade da convecção variava com a passagem sucessiva destes centros isalobáricos em superfície sobre algumas ilhas da região tropical. Posteriormente, Riehl (1945) observou que as mudanças na direção do vento acompanhavam as dos centros isalobáricos, onde obteve as seguintes características dos DOLs: período de 3-4 dias, comprimento de onda horizontal de 2000-3000 km, velocidade de fase de cerca de 6° longitude por dia, e estrutura horizontal e vertical conforme mostrado na FIGURA 02. Em superfície, ocorre um cavado orientado no sentido Sudoeste-Nordeste. A leste do cavado ocorre convergência de ar, formação de nuvens e convecção; a oeste, divergência, inibição da convecção e bom tempo. Os DOLs se inclinam verticalmente para leste (o eixo do cavado em níveis médios se encontra à leste do eixo em superfície).

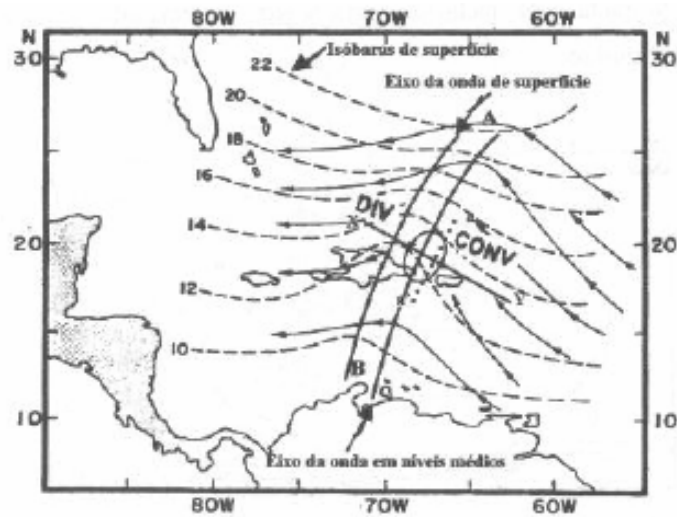


Fig. 02 – Modelo conceitual de DOL para o Hemisfério Norte (HN). Em linha sólida apresentam-se as linhas de corrente em 4500 m; enquanto em tracejado, as isóbaras em superfície.
Fonte: Adaptada de Riehl (1945).

Desde então, os DOLs têm sido estudados, utilizando-se diversas metodologias. Embora ocorram em diversas partes da região tropical, os DOLs são mais freqüentes no Hemisfério Norte (HN). Devido a isso, maior atenção tem sido dada às regiões do Oceano Pacífico Oeste, Mar do Caribe, oeste da África e Oceano Atlântico Leste. Entretanto, nas últimas décadas, alguns trabalhos têm focado a região do Atlântico Tropical Sul, próximo à costa do Brasil (NEIVA, 1975; YAMAZAKI e RAO, 1977; KAGANO, 1979; DE FELICE et al. 1990; CHAN, 1990; ESPINOZA, 1996; MOTA, 1997, COUTINHO, 2001; DIEDHIYOU et al., 2001, BARBOSA, 2005).

A FIGURA 03 mostra o padrão típico de um DOL para a Ilha de Ascensão, localizada no Hemisfério Sul (HS) (HALL, 1989). Em superfície, ocorre um cavado orientado no sentido Sudeste-Noroeste (SE-NW) (eixo da onda) conforme ilustrado na FIGURA 03-a. Verticalmente, esse cavado se inclina para oeste, no mesmo sentido de propagação do DOL. Os padrões de nebulosidade, atividade convectiva e precipitação são maiores na região do cavado à superfície. Durante a passagem de DOL ocorre mudança do sinal da componente meridional do vento (v) em baixos níveis: antes da passagem do cavado possui a componente meridional positiva, isto é, vento fluindo de sul para norte e após a passagem do cavado o vento muda de norte para sul. Verifica-se que o eixo do cavado apresenta uma inclinação para oeste semelhante a direção de propagação dos distúrbio. Observa-se que a inclinação do eixo do cavado apresenta-se

com uma inclinação para leste (HN) e para oeste (HS) em virtude do sistema de ventos alísios. A FIGURA 03-b mostra que a atividade convectiva e as nuvens estão situadas próximo ao eixo do cavado, entretanto, pode-se observar que a ocorrência de maior precipitação e maior desenvolvimento vertical das nuvens estão sobre o eixo da depressão. A passagem deste distúrbio apresenta uma duração de 5 a 10 dias.

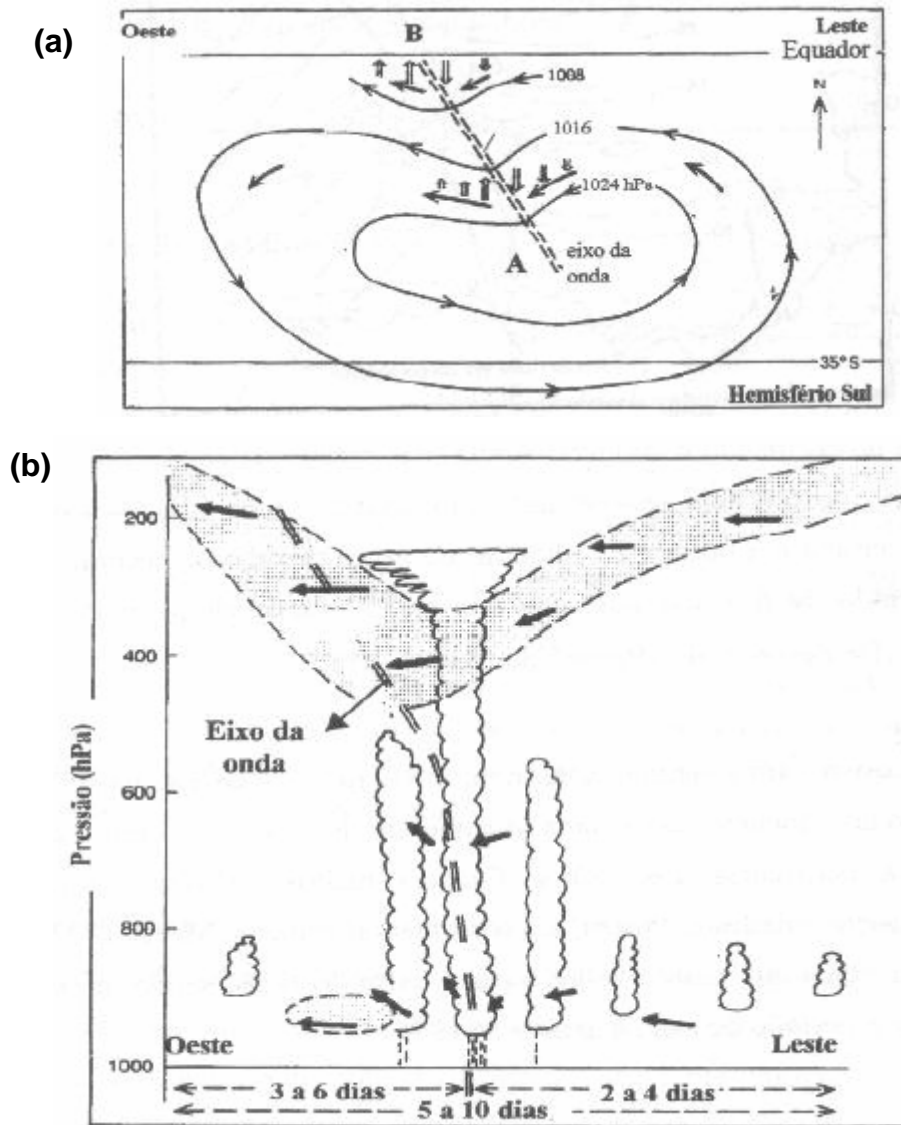


Fig. 03 – Modelo conceitual de DOL para o HS: a) Isóbaras e escoamento em superfície; b) Estrutura vertical, formação de nuvens e atividade convectiva.

Fonte: Adaptada de Hall (1989).

Existe ampla evidência observacional de que os DOL atuam na costa Norte-Nordeste (N-NE) do Brasil durante quase todo o ano. Utilizando imagens de satélites Yamazaki e Rao (1977) observaram aglomerados de nuvens propagando-se sobre o Oceano Atlântico Tropical (AT), no sentido de leste para oeste, durante o inverno austral com uma velocidade média de propagação de 10 m s^{-1} e comprimento de onda em torno de 4000 km.

Com dados das reanálises do *National Meteorological Center* (NMC) e de radiossondagens da região do Oceano Atlântico Equatorial Sul e da costa do Nordeste Brasileiro (NEB), Neiva (1975) verificou a propagação de distúrbios de leste para oeste com uma periodicidade de 4-6 dias, comprimento de onda de 6000 km e uma velocidade de fase de 11° longitude por dia.

Chan (1990), utilizando análises do NMC, através de diagramas de Hovmöller e dados de satélite, concluiu que a ação do DOL se faz presente durante todo o ano de 1979, sobre a costa N-NE da América do Sul (AS). Sendo que nos meses de março a maio os distúrbios se propagam com velocidade de fase de $9,5 \text{ ms}^{-1}$ e comprimento de onda de 3300 km, enquanto que nos meses de junho a agosto, a velocidade foi de 15 ms^{-1} e o comprimento de onda de 5200 Km.

Machado et al. (1996) realizaram estudo sobre as flutuações de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) sobre a América do Sul, e os resultados mostram que a variabilidade interdiurna apresenta uma contribuição significativa dos DOLs. O espectro de potência de ROLE na costa do NEB mostra um pico de potência em 4-5 dias que pode caracterizar a presença dos DOLs.

Mota (1997), utilizando-se das análises do NMC, estudou a influência dos DOLs no NEB no período de junho a agosto de 1994 (período que ocorreram anomalias positivas de precipitação). Observou que os DOLs locomoveram-se desde a África e atingiram a costa do NEB. As características médias das ondas estimadas foram: período de 4 dias, velocidade de fase de 10 ms^{-1} e comprimento de onda de 3200 km, entre as latitudes de 0° a 10° S .

Coutinho (2001), utilizando-se de dados de radiossondagens de Alcântara (MA), verificou a passagem de DOL durante o ano todo com uma periodicidade de 3-10 dias.

Pina (2001) estudou o comportamento de variáveis meteorológicas como temperatura, precipitação, umidade relativa do ar em ecossistemas de florestas, manguezal e pastagem no mês de setembro de 2000. Verificou que um sistema atmosférico de meso e grande escala atuaram nos ecossistemas dentre os quais os DOLs contribuíram para um aumento significativo da precipitação durante o período estudado. Distúrbios ondulatórios e ondas de gravidade interna seriam dois possíveis mecanismos de formação dessas LIs continentais no leste da Amazônia (COHEN e GANDU, 2002)

Em síntese, esses estudos observacionais indicam a presença de DOL na costa NEB, e que os DOLs possuem um período de 3-10 dias, comprimento de onda de 3000-6000 km e velocidade de fase em torno de 10 m s⁻¹.

Diedhiou et al. (2001) classificaram os DOLs ocorridos no oeste da África em dois grupos. No primeiro, os DOLs apresentam as seguintes características: periodicidade de 3-5 dias ocorrem com maior frequência na estação chuvosa, comprimento de onda de 2000-4000 km e velocidade de cerca de 8 ms⁻¹. No segundo, os DOLs apresentam-se com uma periodicidade de 6-9 dias ocorrem com maior frequência nas estações de transição, velocidade de cerca de 16 ms⁻¹ e comprimento de onda de 4000-6000 km. A existência de dois regimes de ocorrência de DOL, mostram que há uma clara separação entre estes dois grupos. Diedhiou et al. (2001) investigaram a ação dos DOLs sobre o Oceano Atlântico e a América do Sul com dados das Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR). Os resultados mostraram que, na região do Oceano Atlântico, existem duas trajetórias de propagação dos DOLs (FIGURA 04). De outubro a março, essas trajetórias mostram-se bem definidas em ambos os hemisférios, de forma simétrica em relação ao Equador; enquanto que de abril a setembro, não há uma clara separação entre estas.

Segundo Barbosa (2005), que estudou a interação das Perturbações Convectivas (PCs) iniciadas na Costa Norte do Brasil (CNB) com os DOLs, obteve como um dos resultados: Dada uma PC na CNB, iniciada por fatores locais (aquecimento solar e brisa marítima), se a convecção é intensificada por alguma forçante de grande escala (ZCIT, DOL, etc.), então a PC ganha grande extensão

horizontal e se propaga continente adentro. Essa hipótese foi testada em relação à influência da ação de DOL na propagação de PC continente adentro. Para tal, dividiram-se as seqüências de PCs em 3 categorias: **confinadas** (pontuais e não-pontuais curtas), **não-confinadas** (não-pontuais longas) e **ausência de PC**.

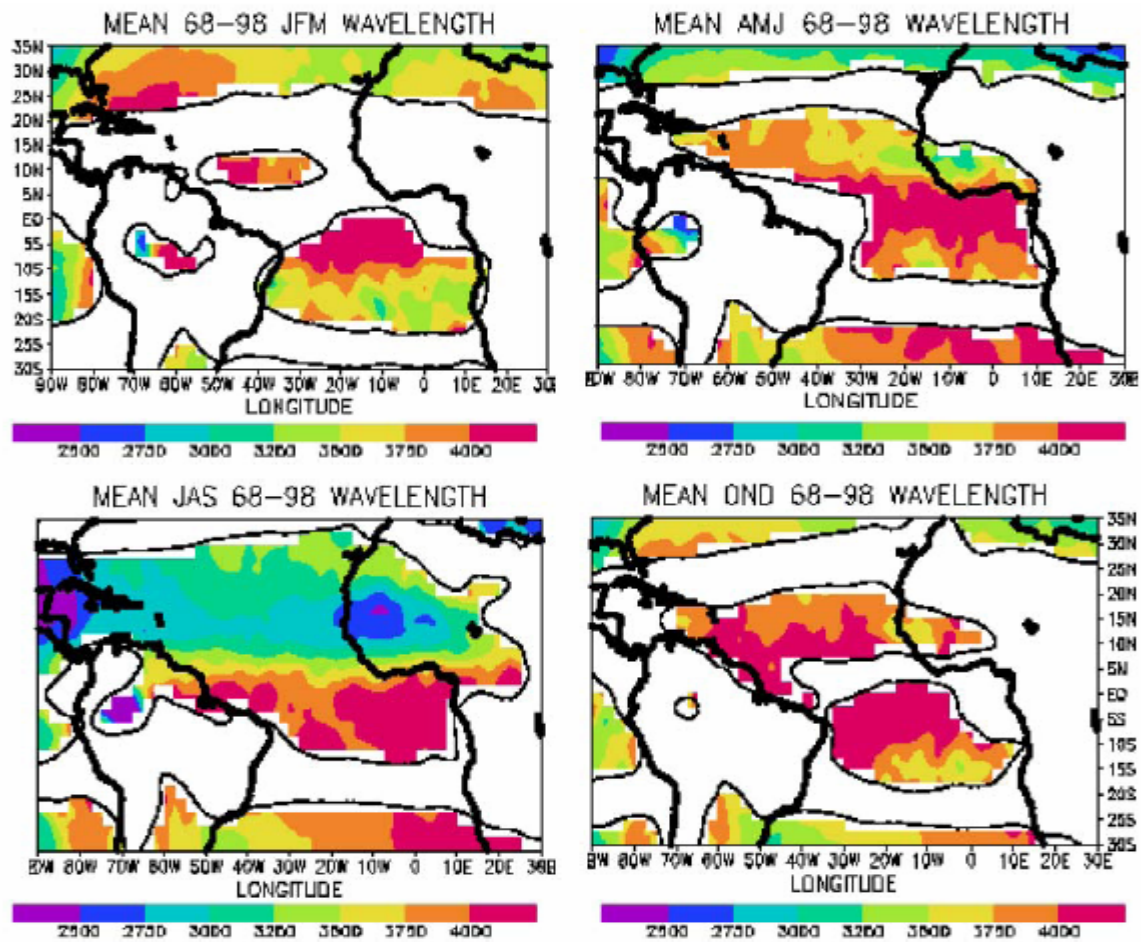


Fig. 04 – Comprimentos de onda associados a correlações que indicam as trajetórias de propagação dos DOLs. Os maiores comprimentos de onda indicam as trajetórias.

Fonte: Diedhiou et al.(2001).

2.2 – DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS REGIÕES NEB E AMAZÔNIA

2.2.1 – Nordeste Brasileiro (NEB)

A variabilidade espacial e temporal da precipitação no NEB é muito alta. As áreas da costa leste recebem um total de precipitação anual de 1600 mm, enquanto que em muitas estações do interior, o total anual é da ordem de 500 a 750 mm (KOUSKY e CHU, 1978). Ocorrem tanto secas severas na região como também chuvas intensas durante certos períodos, que causam problemas diversos na agricultura, na economia, urbanização etc.

A posição latitudinal da ZCIT no Atlântico Equatorial é o provável fator mais importante nas causas da variabilidade da estação chuvosa, principalmente na porção mais setentrional da região (HASTENRATH, 1984).

Outros aspectos sinóticos importantes que influenciam a precipitação no NEB são:

- a) as linhas de instabilidade associadas com a brisa marítima (CAVALCANTI, 1982);
- b) a incursão de sistemas frontais provenientes das altas latitudes austrais (KOUSKY, 1979);
- c) vórtices ciclônicos de altos níveis (KOUSKY e GAN, 1981).

Através de dados de precipitação do período de 1914-1983, Rao et al. (1993) determinaram os períodos da estação chuvosa e seca do setor leste do NEB, sendo que a principal estação chuvosa ocorre de abril até julho, contribuindo com 60% da precipitação anual.

Também, tem-se observado elevadas taxas de precipitação numa estreita região no leste do NEB, que caracterizam a estação chuvosa nesta região no inverno austral (HSU e WALLACE, 1976; LIMA, 1991). Muitas vezes esses episódios têm sido classificados como “chuvas intensas”, que causam inundações em algumas cidades da região, sem que tenha sido observado algum dos sistemas sinóticos supracitados. Este fato tem chamado a atenção, suscitando a idéia de que outros fenômenos

meteorológicos precisam ser investigados, tais como os distúrbios na corrente zonal de leste ou Ondas de Leste.

2.2.2 – Amazônia

Um dos fatores que influenciam diretamente a precipitação na Amazônia são os diversos sistemas meteorológicos que a atingem. Molion (1987) mostra que as circulações de meso e grande escala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que as organizam, promovem a precipitação naquela área. Os mecanismos que provocam chuva na Amazônia podem ser agrupados em três tipos:

- a) Convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga escala favoráveis;
- b) LIs originadas na costa N-NE da América do Sul; e
- c) Aglomerados convectivos de mesoescala, associados com a penetração de sistemas frontais nas Regiões Sul, Centro Oeste e Sudeste do Brasil interagindo com a Região Amazônica.

Figuerola e Nobre (1990) utilizaram séries temporais de precipitação proveniente de 226 estações pluviométricas provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e do então Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Seus resultados mostram uma variação entre 1500 mm/ano a 3500 mm/ano dentro da Região Amazônica. No período de dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) observa-se, no sul e oeste da região, elevadas taxas de chuva (cerca de 300 mm/mês). Em março-abril-maio (MAM) os centros de máxima precipitação localizam-se no setor norte da região (nordeste e noroeste) e junho-julho-agosto (JJA) é o período menos chuvoso em grande parte da região, entretanto, no nordeste da Amazônia a chuva ainda chega a 250 mm/mês. E setembro-outubro-novembro (SON) pode ser considerado o período de transição, o qual os valores de precipitação começam a aumentar, principalmente no setor sul e oeste (ver FIGURA 05 e FIGURA 06 a-d).

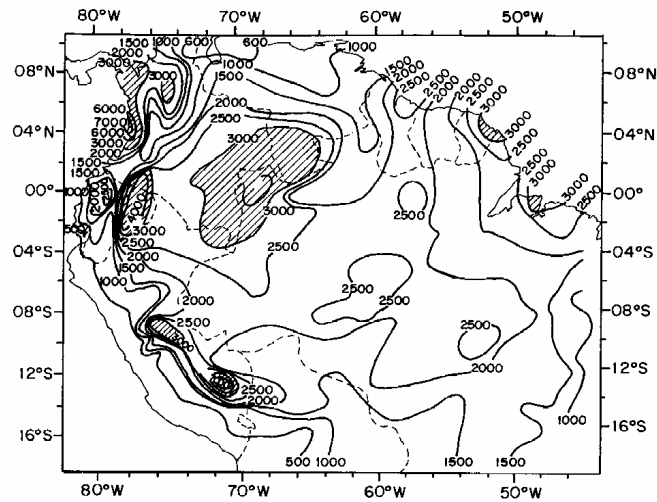


Fig. 05 - Distribuição anual da precipitação na Amazônia em mm/ano.
Fonte: Figueroa e Nobre (1990).

A distribuição espacial da precipitação possui uma marcha anual bem definida e influenciada principalmente pelo deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Este sistema de escala planetária definido como uma zona de confluência dos ventos alísios de nordeste (NE) e de sudeste (SE) no Oceano Atlântico é um dos principais sistemas meteorológicos causador de chuva na Região Amazônica. (RAO e HADA, 1990).

Na escala intrasazonal a Oscilação de Madden-Julian (MJO) é o principal mecanismo modulador de precipitação na Amazônia Oriental. A MJO é definida como uma onda de escala planetária que se propaga para leste com máxima atividade na região equatorial; esta oscilação ocorre num período de 30 a 70 dias, e estão associadas com os máximos de precipitação durante a estação chuvosa no leste da Amazônia (SOUZA e AMBRIZZI, 2006).

Outro sistema meteorológico que influencia o regime de precipitação na Amazônia é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é definida como uma zona de confluência na baixa troposfera na América do Sul orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), com uma faixa de nebulosidade que se estende do noroeste da Amazônia ao Oceano Atlântico (KODAMA, 1992). Este sistema surge no final da primavera do Hemisfério Sul, devido a presença de convecção associada a constante penetração de sistemas frontais (OLIVEIRA, 1986; KOUSKY, 1988).

Ao estudar o clima e a circulação na Região Amazônica, através de radiossondagens de Belém e Manaus, Kagano (1979) sugere que oscilações no campo de vento com periodicidade de 3 a 5 dias, nos baixos níveis, relacionam-se com as ondas de leste que afetam esta região.

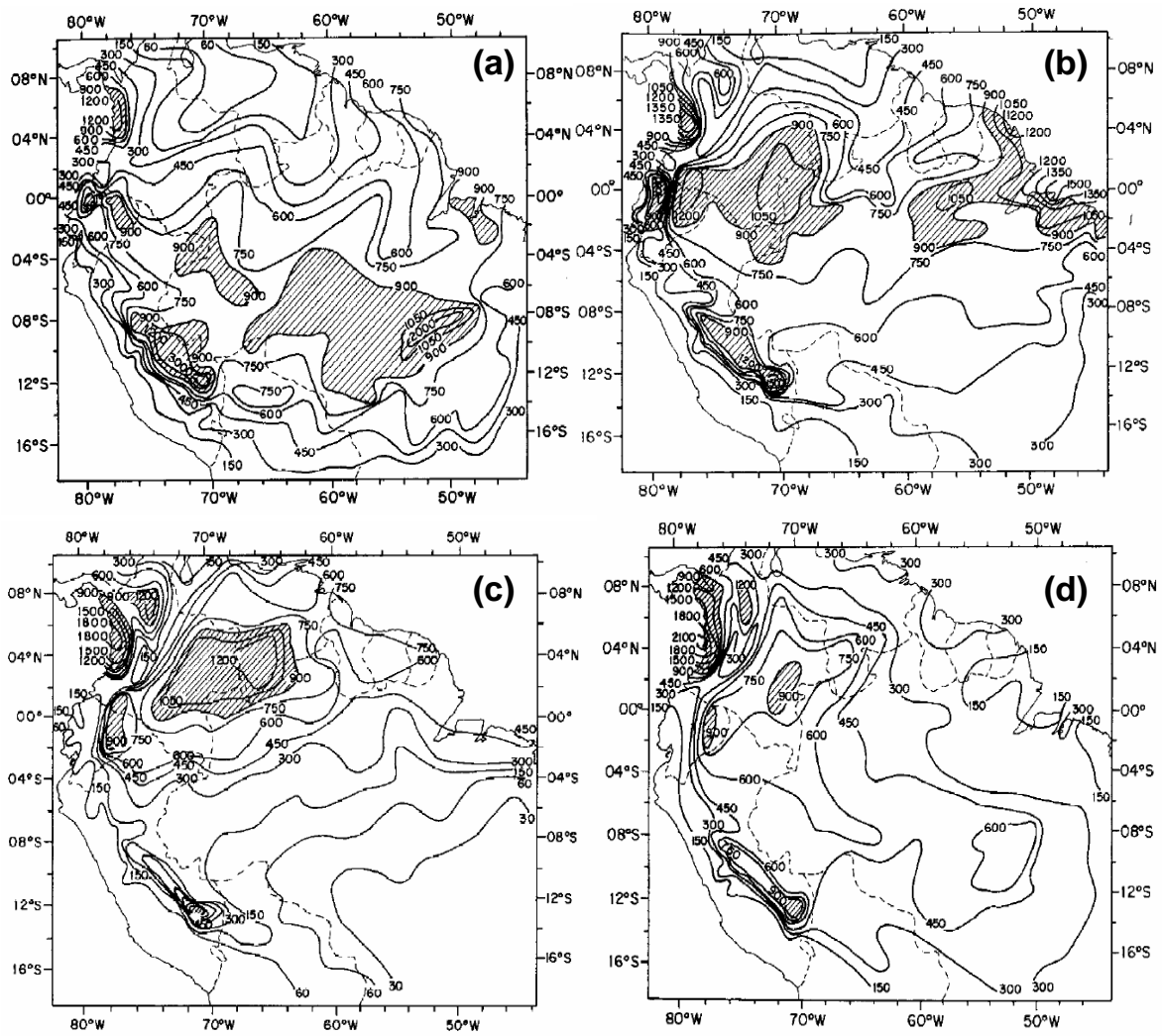


Fig. 06 - Distribuição sazonal da precipitação na Amazônia em mm/3meses. (a) dezembro-janeiro-fevereiro, (b) março-abril-maio, (c) junho-julho-agosto e (d) setembro-outubro-novembro. Fonte: Figueria e Nobre (1990).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DADOS

Neste trabalho são utilizados dados das Reanálises do Modelo numérico Regional ETA, obtidos do Centro de Previsão do Tempo e Clima (CPTEC) do INPE. Estes dados cobrem o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2004 e possuem uma resolução temporal de 6 horas e espacial de 40 km. Também foram utilizadas as médias mensais de precipitação estimada pelo *Precipitation Radar* (PR) do Satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), disponível para a banda de latitude 40° N-S com resolução temporal de 1 (um) mês e espacial de 0,5° de latitude e longitude, desde dezembro de 1997 até o presente.

3.1.1 Reanálises do Modelo numérico Regional Eta

O trabalho, intitulado "Reanálise Regional sobre a América do Sul", foi resultado da combinação de previsões diárias de curto prazo reprocessadas, em alta resolução temporal e espacial, e de dados reais observados referentes ao período de 2000 a 2004. Um dos principais objetivos deste trabalho foi suprir a demanda de inúmeros projetos de pesquisa por dados meteorológicos nem sempre disponíveis por falta de uma rede de observação mais completa cobrindo o país e o continente sul-americano (ARAVÉQUIA et al., 2008).

Para a geração deste conjunto de dados, ou "reanálises", utilizou-se o modelo regional ETA, do CPTEC/INPE, com resolução de 40 quilômetros quadrados, com dados gerados a cada 6 horas e em perfis verticais superiores a 25 quilômetros de altitude e o sistema de assimilação de dados PSAS (Physical-space Statistical Analysis System).

3.1.2 Estimativa de precipitação do Satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM)

No ano de 1997, os EUA juntamente com o Japão lançaram um satélite denominado TRMM, com a finalidade de medir a precipitação e a sua variação na região tropical com uma órbita de baixa inclinação e altitude. Estima-se que três quartos do calor da atmosfera seja obtido por meio do calor latente associado com a precipitação, e estima-se que dois terços da precipitação global observada está localizada na região tropical, o que demonstra a importância destas variáveis (Machado et al., 2000). Os principais sensores a bordo do TRMM relacionados com a estimativa da precipitação são: TRMM Microwave Imager (TMI), Precipitation Radar (PR) e Visible and Infrared Radiometer System (VIRS) (TRMM, 2004).

3.1.2.1 Algoritmo 3A25

O algoritmo 3A25 produz dados médios mensais da taxa de chuva em superfície, perfil vertical de chuva, fração de chuva convectiva e estratiforme, máxima refletividade da banda brilhante e outros parâmetros relacionados, provenientes do radar. O PR, radar construído pelo Japão, é o primeiro radar a bordo de um satélite. As principais informações obtidas são: a intensidade e distribuição da chuva e o seu tipo (convectiva ou estratiforme). Possui uma resolução espacial de 4 km no nadir e de 250 m na vertical, operando na frequência de 13,8 GHz. Uma das características mais importantes do PR é a sua eficiência na determinação de perfis verticais da chuva e neve acima da superfície, em uma altura média de 20 km. Este sensor detecta razoavelmente taxas leves de chuva, da ordem de $0,7 \text{ mm}^{-1}$ (TRMM, 2004). A resolução espacial do algoritmo é de $5^\circ \times 5^\circ$ e $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude. Neste trabalho são utilizadas somente as estimativas com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude, pois esta maior resolução proporcionará uma melhor visualização da distribuição da precipitação em microrregiões das regiões estudadas.

3.2 METODOLOGIA

Asnani (1993) atribui as dificuldades em compreender-se plenamente as ondas de leste a três fatores básicos:

- 1) os distúrbios de leste não apresentarem forte intensidade em comparação com outras perturbações dos trópicos, dificultando sua identificação nas cartas sinóticas;
- 2) a ausência de uma estrutura uniforme entre os distúrbios de leste de um lugar para outro; e
- 3) a escassez de dados meteorológicos, especialmente no hemisfério sul que possui a maior parte da sua região tropical coberta pelos oceanos.

Apesar das dificuldades mencionadas acima, têm-se voltado a atenção para essa região do globo na investigação dos diversos fenômenos atmosféricos através da utilização, por exemplo, de dados derivados de satélites, que podem fornecer uma medida indireta de diversas variáveis meteorológicas; e também as análises globais em pontos de grade produzidos pelos centros mundiais de previsão do tempo. Estas informações têm, deveras, contribuído substancialmente nos estudos meteorológicos em todo globo juntamente com os dados atmosféricos convencionais.

Neste estudo será investigada a atuação de distúrbios ondulatórios de leste na Região Nordeste do Brasil e Amazônia. Primeiramente será realizada a identificação das ondas para que sejam apresentadas as suas possíveis relações com a precipitação estimada por satélite. A identificação e a determinação dos parâmetros básicos das ondas foram realizadas por meio de diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (v) no nível de 700 hPa, da Radiação de Onda Longa (ROL) e Água Precipitável.

3.2.1 Identificação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste

A identificação dos distúrbios foi realizada por meio de análise da componente meridional do vento no nível de 700 hPa, durante os meses de junho-julho-agosto (JJA) através da confecção de diagramas de Hovmöller nas latitudes de 10° S, 5° S, 0°, 5° N e 10° N, todos entre as longitudes de 26° W e 80° W, para os meses de junho a agosto de 2000 a 2004. Os Diagramas de Hovmöller são seções bi-dimensionais do tempo versus longitude, no caso da componente meridional do vento em determinado nível e latitude, sendo então possível identificar as ondas separadamente e determinar sua progressão para oeste com o tempo. Os eixos dos cavados e das cristas das ondas são identificados pelas isolinhas de zero da componente meridional do vento. Os parâmetros básicos das ondas são estimados visualmente nestes diagramas, no qual a velocidade de propagação (c), medida em graus de longitude por tempo, é obtida pela inclinação das isolinhas; o período médio das ondas (t) é obtido pelo quociente entre o intervalo de tempo decorrido da passagem consecutiva das ondas na longitude de 40°W pelo número de distúrbios. Neste caso foram excluídos os intervalos em que não houveram oscilações no campo de vento e/ou estas foram muito pequenas. O comprimento da onda (L) foi determinado através da relação $L=ct$, no qual assume-se a hipótese que as ondas que deslocam-se numa determinada latitude são do tipo não-dispersivas.

A alternância entre valores positivos e negativos da componente meridional do vento, através dos diagramas de Hovmöller, nas cinco latitudes consideradas. Por isso, adicionalmente foram realizados os diagramas de Hovmöller de Radiação de Onda Longa (ROL) e Água Precipitável, referentes aos meses em destaque.

Em virtude dos padrões oscilatórios apresentarem-se de forma desorganizada e não linear nas suas trajetórias, adotou-se o critério de escolher somente os distúrbios, através das isopleias de zero da componente meridional, entre as longitudes de 30°W a 50°W.

A análise do diagrama de Hovmöller para o HN e HS, verificou-se a mudança de sinal da componente meridional do vento, ou seja, para o HN, quando o vento meridional é de norte, vento negativo, muda para positivo, vento meridional de sul, é

identificada a passagem da crista e a mudança do vento de sul (positivo) para o norte (negativo) é identificada a passagem do cavado. No HS, ocorre o inverso, identifica-se a crista, quando ocorre a troca do vento meridional de sul (positivo) para norte (negativo) e a passagem do cavado quando há a troca do vento meridional de norte para de sul, ou seja, de negativo para positivo, conforme é indicado na FIGURA 07.

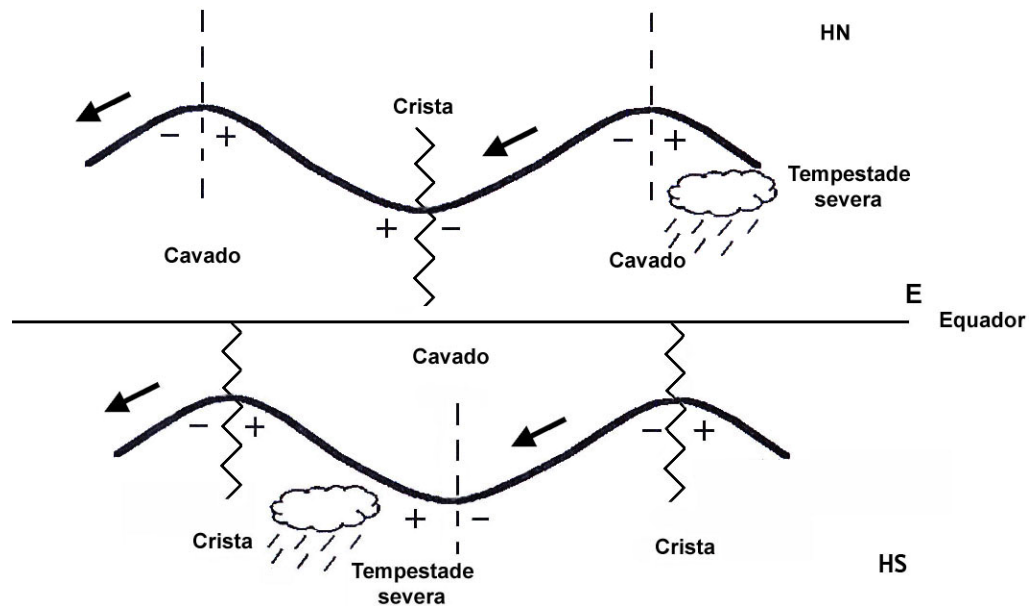


Fig. 07 – Esquema do sinal do vento em ondas de leste para os hemisférios norte e sul.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 PRECIPITAÇÃO MÉDIA ESTIMADA PELO 3A25 PARA O TRIMESTRE JJA

No trimestre junho-julho-agosto, período em que a ZCIT situa-se na sua posição mais ao norte, é considerado como período menos chuvoso na maior parte das Regiões NEB e Amazônia (FIGURA 08). No passar dos meses, observa-se que há uma diminuição da precipitação média sob as regiões, principalmente sob o NEB.

Entretanto, sobre a Região Amazônica, existem regiões em que a precipitação apresenta índices significativos (cerca de 150 mm/mês), como na Ilha do Marajó relacionados com a formação de Lis (COHEN, SILVA DIAS e NOBRE, 1995). Sobre o NEB, para JUNHO, é possível observar-se valores médios em torno de 60 a 180 mm, sob o litoral nordeste com o Atlântico (FIGURA 8a). Diminuindo para valores entre 60 a 120 mm no mês de JULHO (FIGURA 08-b). Em AGOSTO esses valores médios próximo a costa nordeste com o Atlântico não ultrapassam 60 mm (FIGURA 08-c).

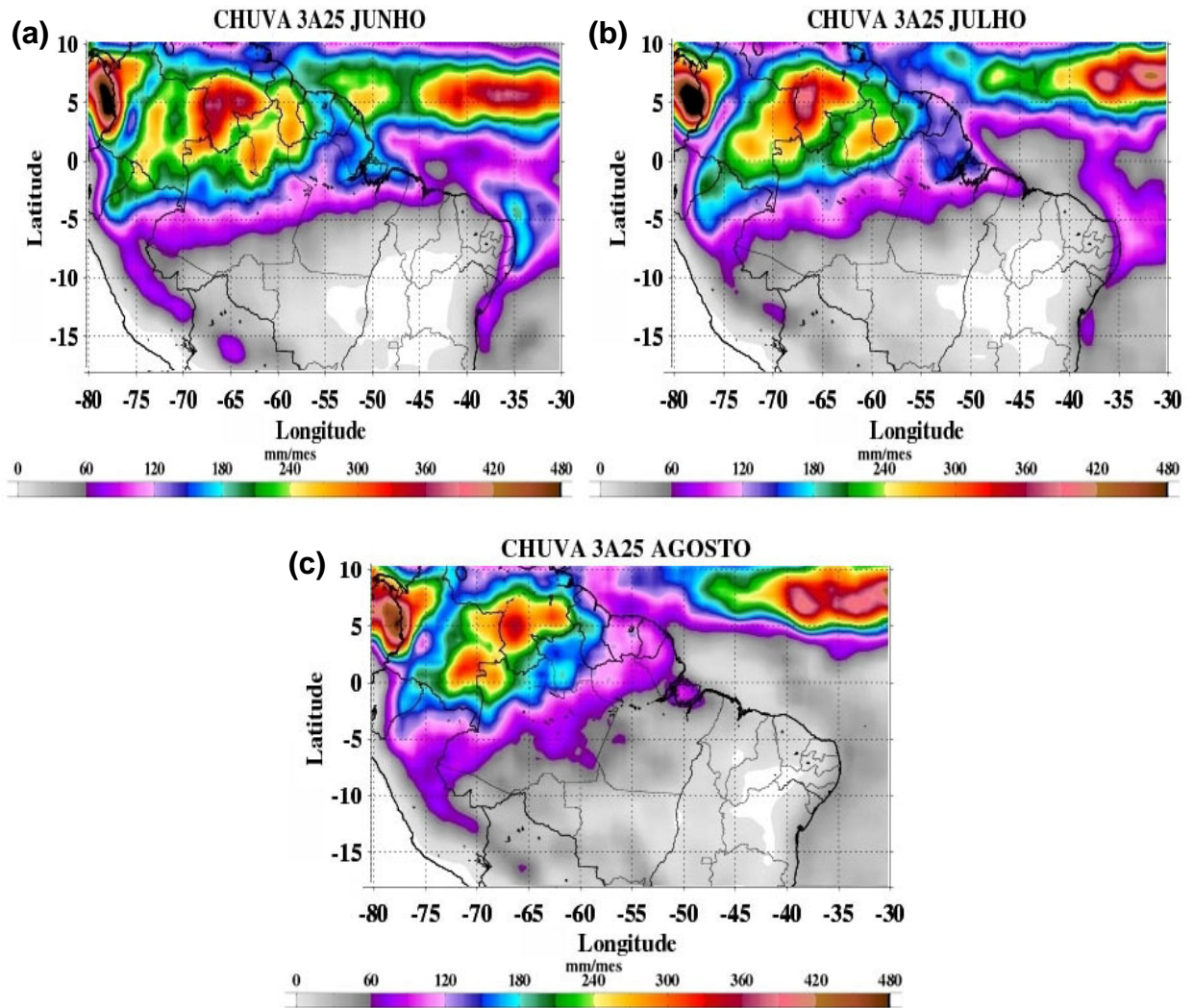


Fig. 08 - Distribuição média da precipitação sobre o NEB e Amazônia, para os meses de JUNHO (a), JULHO (b) e AGOSTO (c), através do 3A25 do período de janeiro de 1998 a agosto de 2008.

4.2 DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE (DOLS)

Os distúrbios tipo onda que deslocam-se para oeste são observados em toda a faixa tropical do globo. Porém, a estrutura da onda de leste depende da estrutura da corrente zonal. Visto que a estrutura dos alísios é diferente de região para região e também varia de intensidade e de direção a cada época do ano, é de se esperar que estes distúrbios apresentem características singulares em cada região. De fato, esta é considerada uma das grandes dificuldades na plena compreensão das ondas de leste. Portanto, é importante conhecer os campos médios do período em que os distúrbios estão embebidos.

A partir da FIGURA 09, que representa a média do número de ocorrências de DOLs por latitude, com relação a média de JJA, pôde-se observar que em 10° N a média encontra-se entre 10 e 11; em 5° N essa média decai para, aproximadamente, 9,5; no Equador (0°) a média fica em torno de 8,5; já nas latitudes 5° S e 10° S são encontrados valores próximos a 7,2. Em quase todas as latitudes o mês de JUNHO se destaca, apresentando sua média acima da média de JJA, exceto para a latitude de 0° , apresentando-se quase que igual a média, em torno de 8,5. O inverso ocorre com o mês de JULHO, que apresentou-se sempre abaixo da média de JJA, também com exceção da latitude de 0° com valores bem próximos ao da média. O mês de AGOSTO apresentou-se abaixo da média nas latitudes 10° N e 5° N e acima da média em 0° , 5° S e 10° S.

As FIGURAS 10 a 15 apresentam, os diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (v) no nível de 700 hPa (a), ROL (b) e Água Precipitável (c), nas latitudes 10° S, 5° S, 0° , 5° N e 10° N, na seguinte ordem, todos entre as longitudes de 26° W e 80° W. A partir destas, confirma-se a predominância e melhor visualização das alternâncias entre os valores positivos e negativos da componente meridional do vento em latitudes mais a Norte (boreais) do que latitudes mais ao Sul (austrais). E também, as ondas que se deslocaram mais a Norte tinham maior velocidade de fase e período médio que aquelas no Equador e nas latitudes mais ao sul, em virtude de se usar a relação para ondas não dispersivas, o comprimento de onda é mais longo nos distúrbios na faixa equatorial.

Nota-se que os diagramas de Hovmöller de ROL não apresentam um padrão de alternância de maiores e menores valores bem definidos. Com relação aos diagrama de Hovmöller da Água Precipitável, nota-se um padrão semelhante ao da componente v , com bastante alternâncias de valores.

Na latitude 10° S, o mês que mais se destacou foi JUNHO de 2002 (FIGURA 10), onde é possível identificar a presença de 6 DOLs, entre as longitudes 30 e 50° W, não tão bem definidos, porém, alguns com valores positivos da componente v do vento chegando até 10 m/s (FIGURA 10-a). Observa-se que na passagem de alguns, há uma diminuição nos valores de ROL, chegando até 220 $W.m^{-2}$, onde a predominância está entre 300 e 320 $W.m^{-2}$ (FIGURA 10-b); com valores altos de Água Precipitável, próximos a 40 $Kg.m^{-2}$, onde é possível se observar bem mais valores próximos a 30 $Kg.m^{-2}$ (FIGURA 10-c), indicando presença de bastante nebulosidade durante a passagem destes DOLs. Nota-se que entre 75° e 80° W há uma predominância de valores negativos da componente meridional do vento, diminuição nos valores de ROL e também uma diminuição da água precipitável sobre estas regiões no decorrer do período, devido o efeito da topografia desta região, pois são áreas bastante elevadas.

Em 5° S, identificou-se, aproximadamente, 7 DOLs que atingem as longitudes entre 30 e 50° W, no mês de JUNHO de 2001 (FIGURA 11), tido como mês destaque, na latitude, observa-se que o padrão de alternância da componente v do vento não se altera muito, com relação a latitude de 10° S, chegando até 12 m/s em um dos casos (FIGURA 11-a); com valores de ROL reduzido até por volta de 200 a 220 $W.m^{-2}$ (FIGURA 11-b) e com água precipitável até 50 $Kg.m^{-2}$ (FIGURA 11-c). Observa-se os efeitos da topografia em torno de 80° W.

Na latitude 0° , torna-se notável a melhor visualização das alternâncias no diagrama da componente v do vento no nível de 700 hPa, como mostra o mês de JULHO de 2001 (FIGURA 12), que apresenta a presença de 9 distúrbios de leste, atuando entre as longitudes 30 e 50° W. O Distúrbio mais evidente acontece por volta do dia 11 do mês, com aproximadamente 10 m/s da componente v do vento. (FIGURA 12-a); apresentando uma redução dos valores de ROL em até 220 $W.m^{-2}$ (FIGURA 12-b) apresentando um padrão semelhante ao da Água Precipitável do mês, porém

contrário, com aumento de até 55 Kg.m^{-2} (FIGURA 12-c). Novamente as regiões elevadas aparecem em torno de 75° e 80° W .

Em 5° N (FIGURA 13), são encontradas cerca de 7 Distúrbios de Leste bem definidos, no mês de JULHO de 2002. Dentre estes, 2 se destacam, o primeiro no dia 6 e o segundo por volta do dia 13, ambos apresentado cerca de 10 m/s (FIGURA 13-a), com ROL reduzido a cerca de 220 W.m^{-2} (FIGURA 13-b) e água precipitável ultrapassando 55 Kg.m^{-2} (FIGURA 13-c). Nesta latitude, observa-se bem mais influências da topografia, principalmente entre 60° e 65° W e novamente em torno de 75° W .

Para 10° N (FIGURAS 14 e 15), houve destaques de dois meses, AGOSTO de 2001 e 2004, com cerca de 9 e 10 DOLs bem definidos entre 30 e 50° W . Nesta latitude os valores de ROL, juntamente com os da Água Precipitável, parecem acompanhar bem mais as alternâncias ocorridas no diagrama da componente v do vento do que em outras latitudes mais a Sul. Observa-se uma extensa área com influência da topografia entre 65° e 75° W .

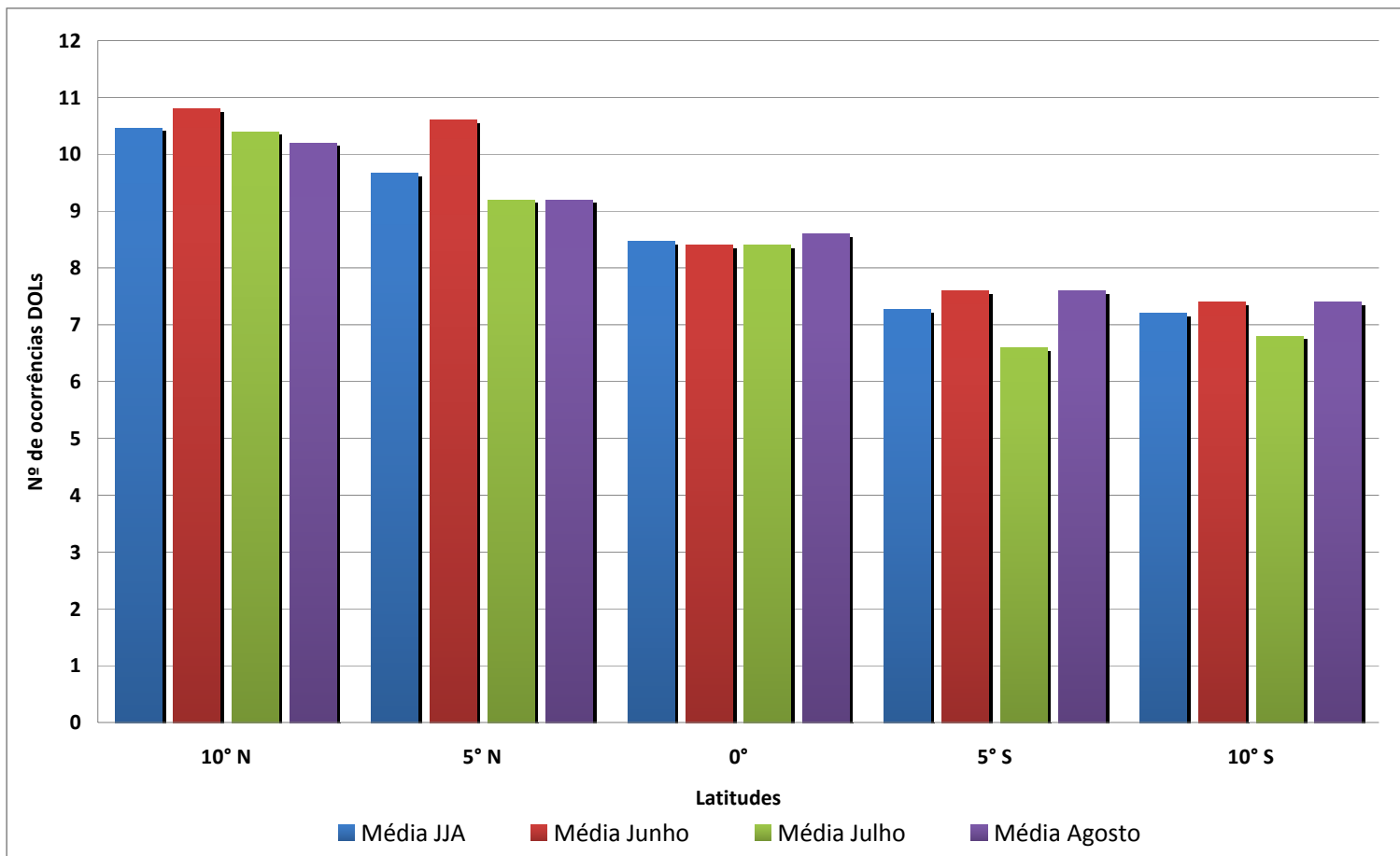


Fig. 09 – Média do número de ocorrência de Distúrbios Ondulatórios de Leste nas latitudes 10° N, 5° N, 0°, 5° S e 10° S, para os meses JUNHO-JULHO-AGOSTO de 2000 a 2004, no nível de 700 hPa, a partir das Re-análises do Modelo ETA.

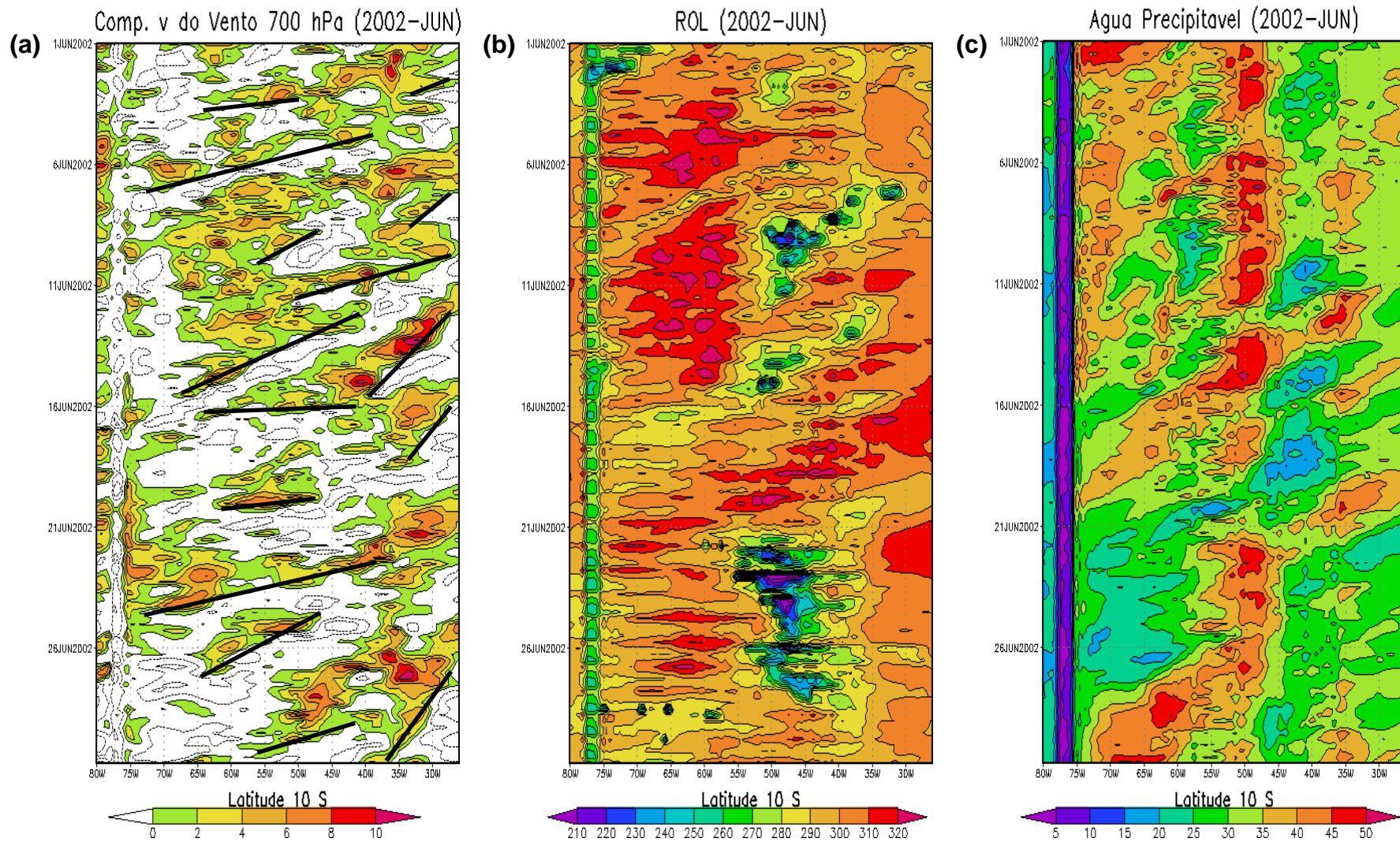
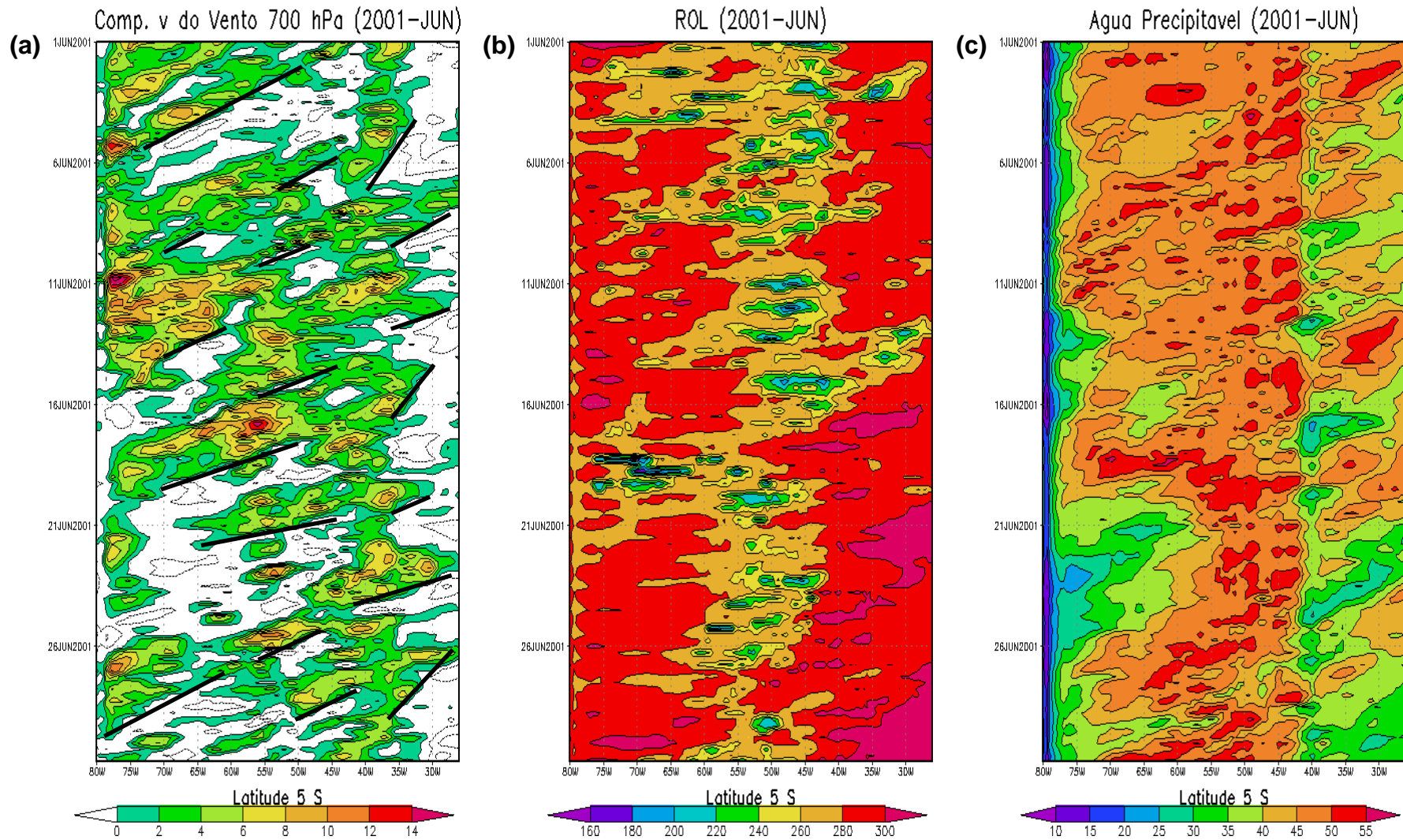


Fig. 10 - Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m s^{-1}) (a), da Radiação de Onda Longa (W.m^{-2}) (b) e da Água Precipitável (Kg.m^{-2}) (c), na latitude de 10°S , no nível de 700 hPa do mês de **junho de 2002**. As regiões sombreadas no Diagrama da componente meridional do vento, representam os valores positivos e as linhas destacadas, que unem as isolinhas de zero, indicam a propagação das ondas.



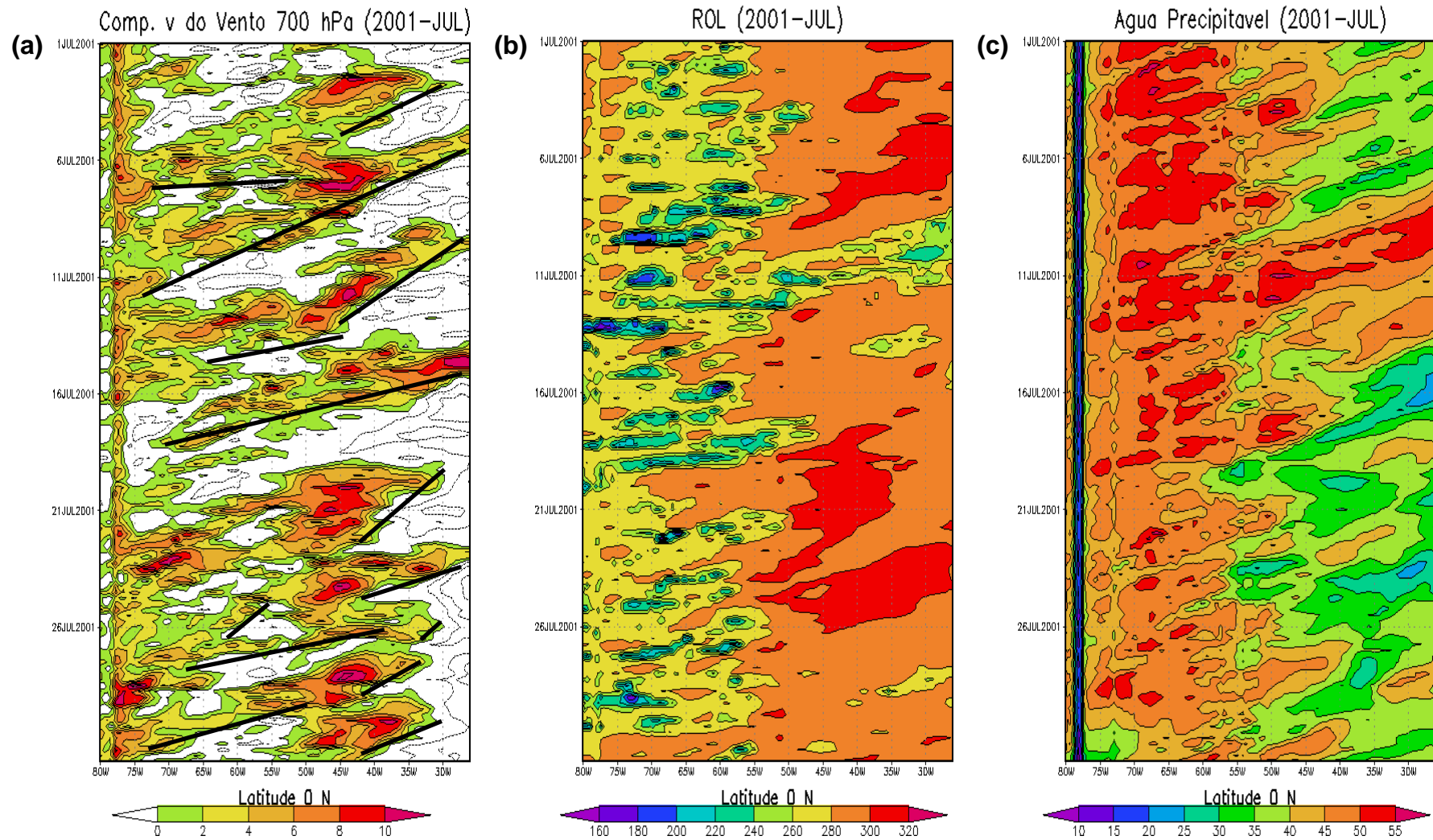


Fig. 12 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 0° e no mês de julho de 2001.

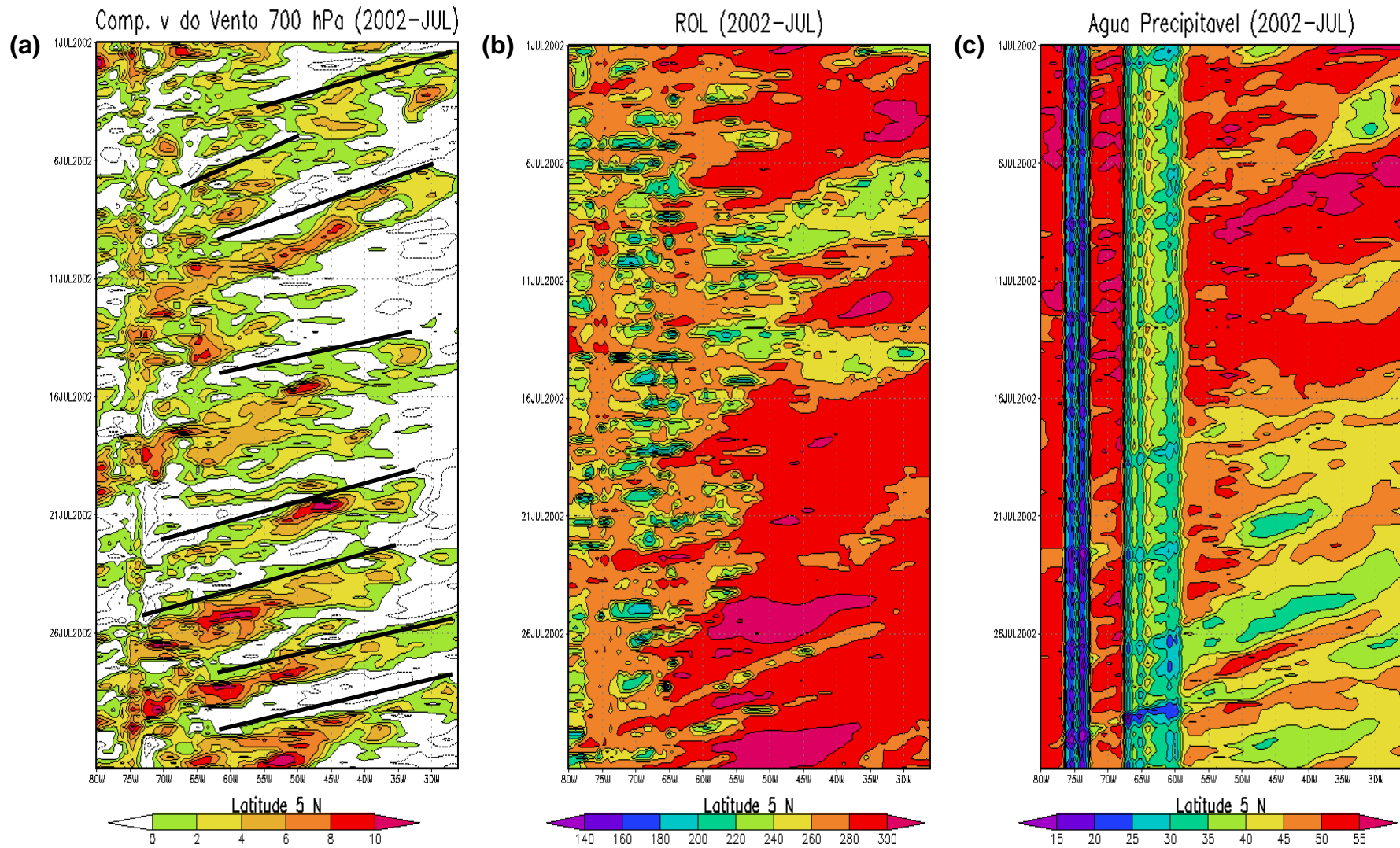


Fig. 13 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 5° N e no mês de julho de 2002.

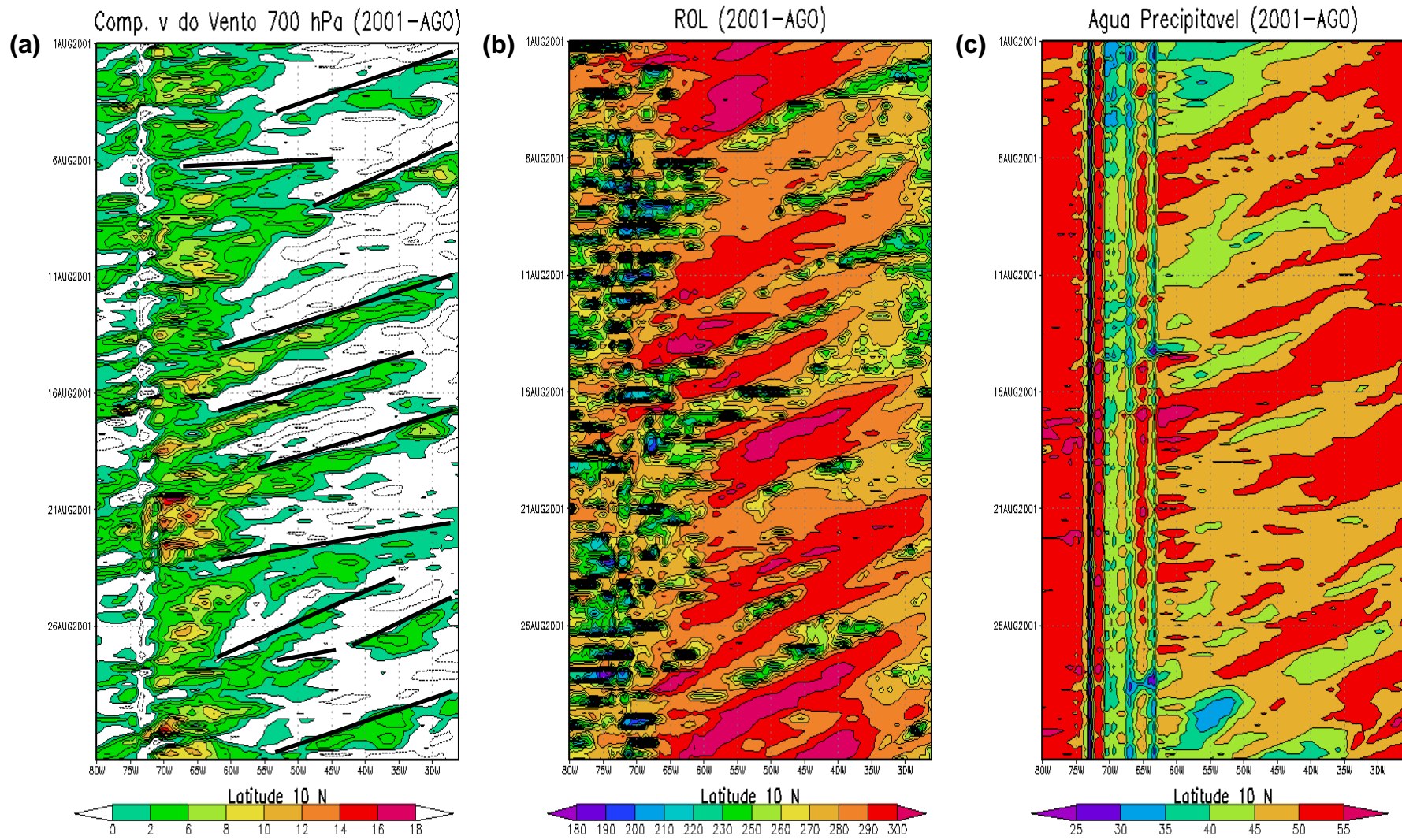


Fig. 14 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 10° N e no mês de agosto de 2001.

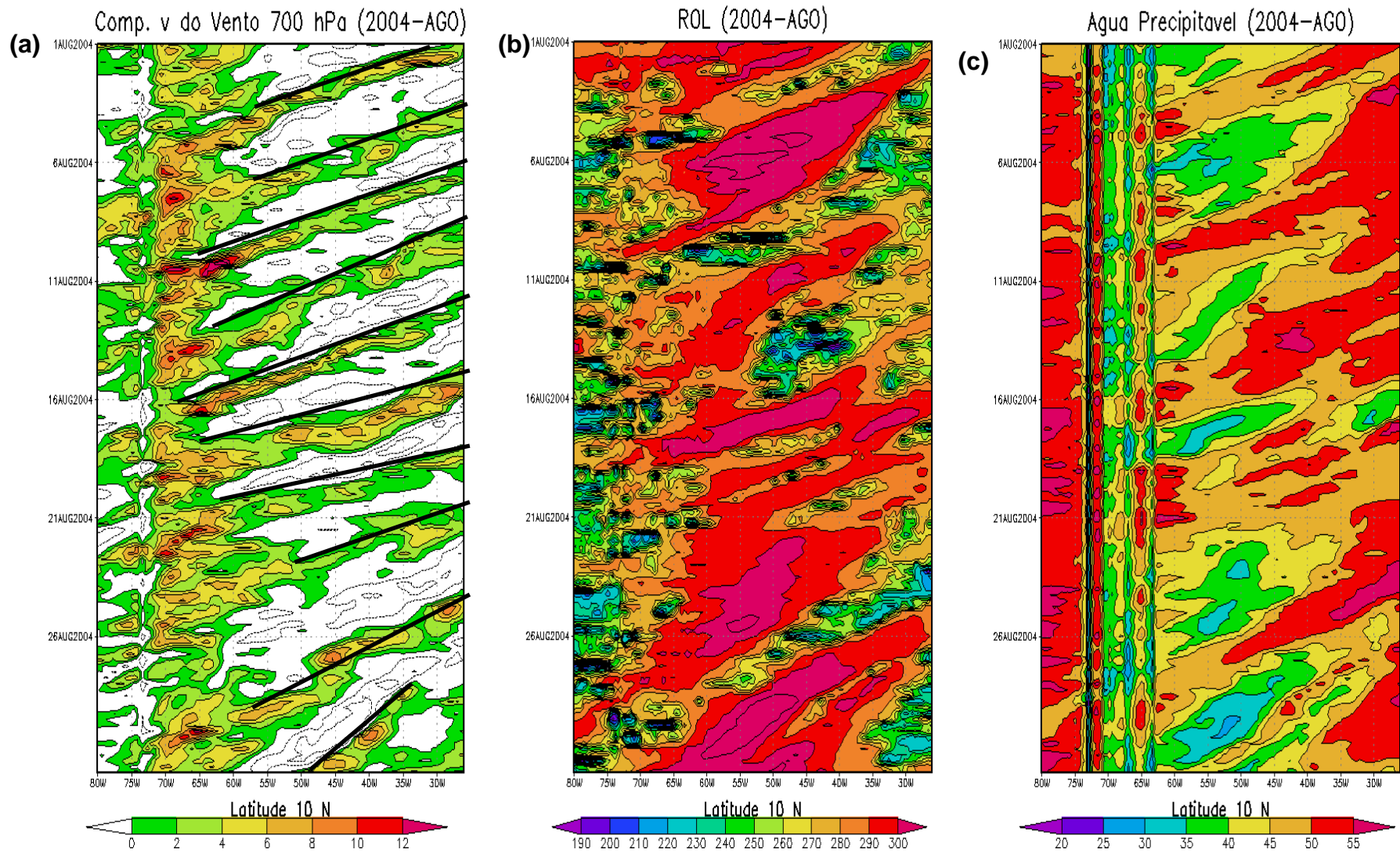


Fig. 15 - Como na FIGURA 10, exceto que na latitude de 10° N e no mês de agosto de 2004.

4.3 OCORRÊNCIA DE DOLS E ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO

A passagem dos DOLs influenciam a precipitação da região, conforme mostra a Figura 3.

Alguns autores, como Hall (1989) e Mota (1997), afirmaram que os DOLs causam precipitação na região durante a passagem destes distúrbios, provocando, ocasionalmente, altos índices.

As FIGURAS 16 a 20 representam a Diferença da Precipitação estimada pelo PR (3A25) dos trimestres JUNHO (a), JULHO (b) e AGOSTO (c) de 2000 e 2004 com relação a média de 1998 a 2008. Dentre estes, os que mais se destacaram por apresentar nos três meses anomalias positiva de precipitação sobre grande parte das Regiões NEB e Amazônia (principalmente sob a área costeira com o Atlântico). Os trimestres JJA do ano de 2000 (FIGURA 16) e 2004 (FIGURA 20), com valores em torno de 60 mm acima da média, chegando até 120 mm sob algumas subregiões, destacando o mês de JULHO de 2004, no qual obteve-se uma anomalia positiva de precipitação ultrapassando 240 mm, sob a Ilha do Marajó com o Amapá (0° de latitude com 50° W de longitude), visto na Figura 20-b. Nos demais anos, isoladamente, são encontradas, sob as Regiões NEB e Amazônia, anomalias positivas no mês de JUNHO de 2001, principalmente sob a costa do Oceano entre Amapá e Ilha do Marajó, sendo mais expressivo sob o Foz do Rio Amazonas (ver FIGURA 17-a). Em JULHO de 2002 encontra-se um núcleo com anomalia positiva de precipitação, por volta de 120 mm, aproximadamente, em 5° S, costa do NEB com o Atlântico. Também são encontrados valores positivos de anomalia de precipitação em JULHO de 2003, sob o Noroeste do Maranhão com o Nordeste e Centro do Pará, com valores de anomalia em torno de 90 mm (FIGURA 19-b).

Tais anomalias positivas, sob as Regiões NEB e Amazônia durante este período (JJA), podem estar associadas a atuação de DOLs sob estas latitudes. Visto que os sistemas DOLs podem intensificar os sistemas meteorológicos de perturbação convectivas (BARBOSA, 2005), tais como as Linhas de Instabilidades que se propagam para o interior da Amazônia, ou ainda associar-se com a ocorrência de tempestades tropicais ou mesmo furacões na parte norte do Atlântico Equatorial (COOK et al., 2004).

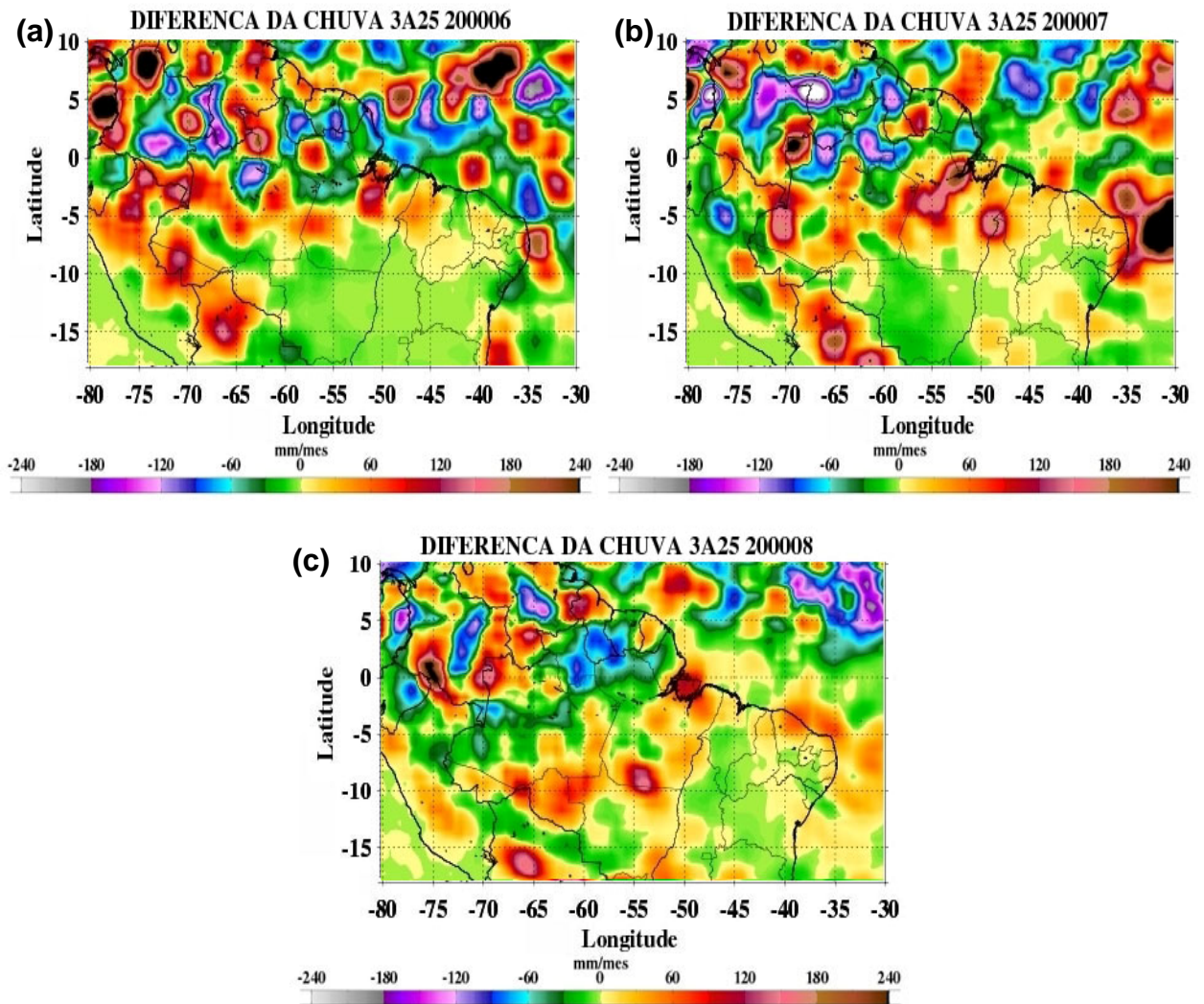


Fig. 16 - Diferença da Precipitação estimada pelo PR (3A25) para o NEB e Amazônia, referente aos meses de JUNHO (a), JULHO (b) e AGOSTO (c) de 2000 com relação a média de 1998 a 2008.

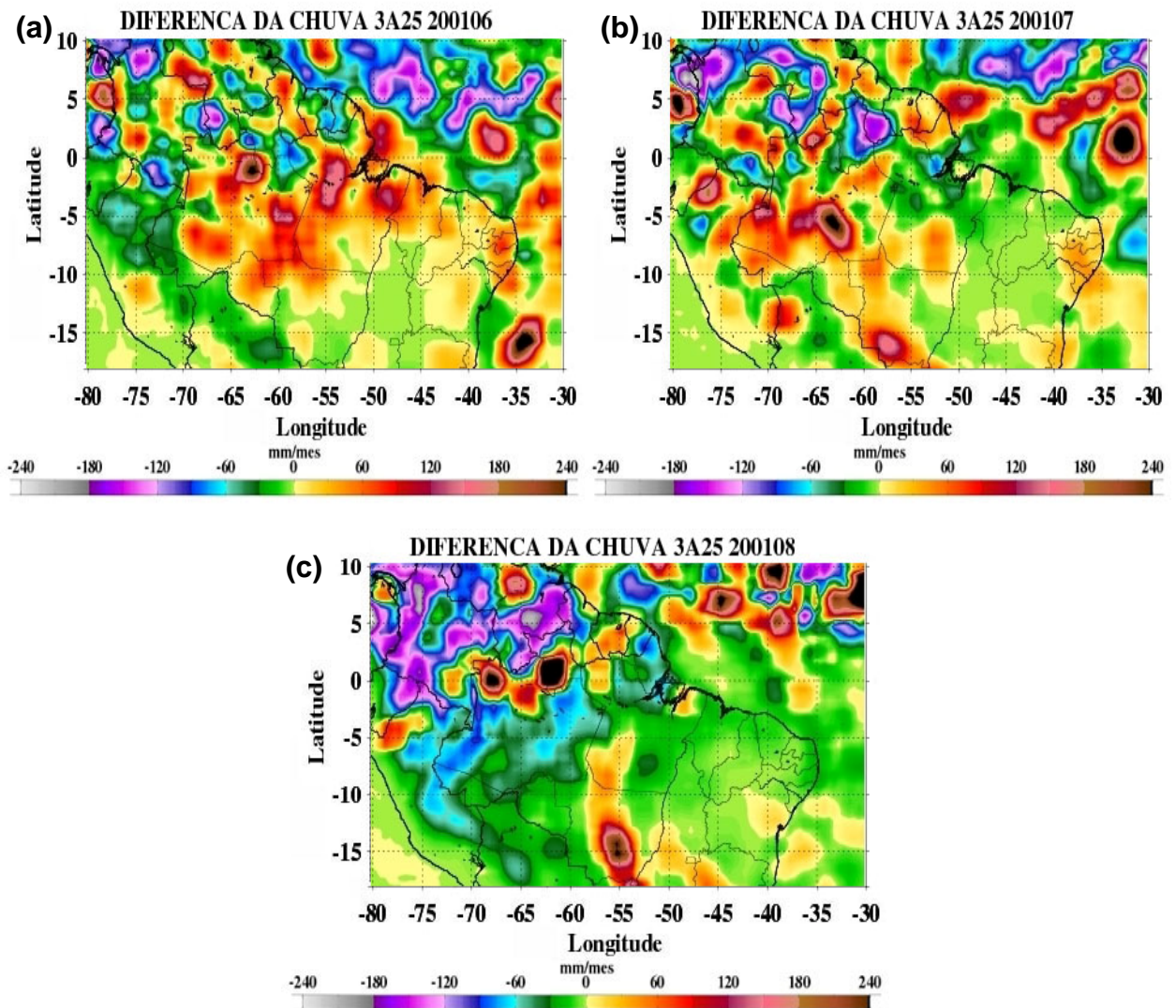


Fig. 17 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2001.

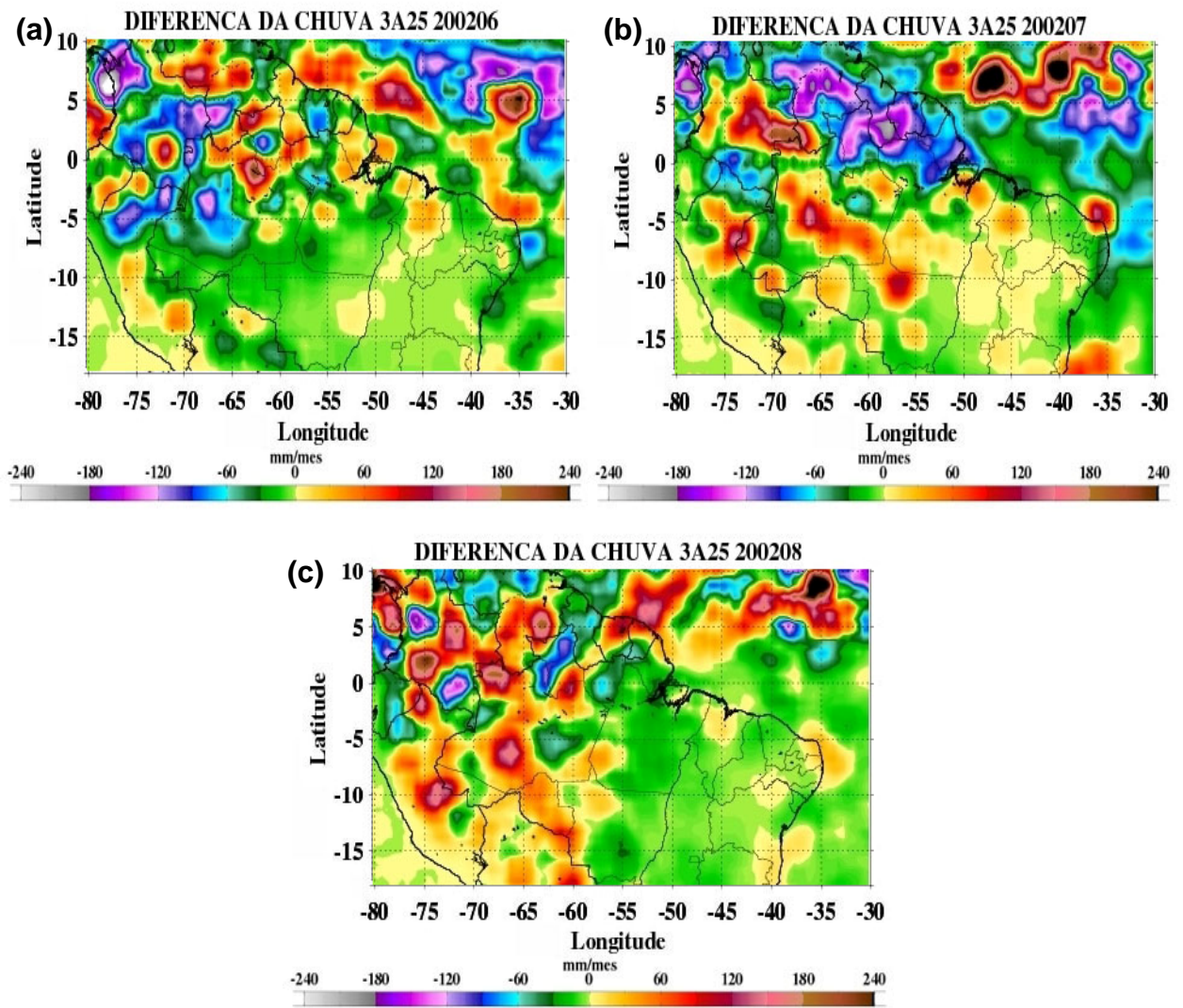


Fig. 18 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2002.

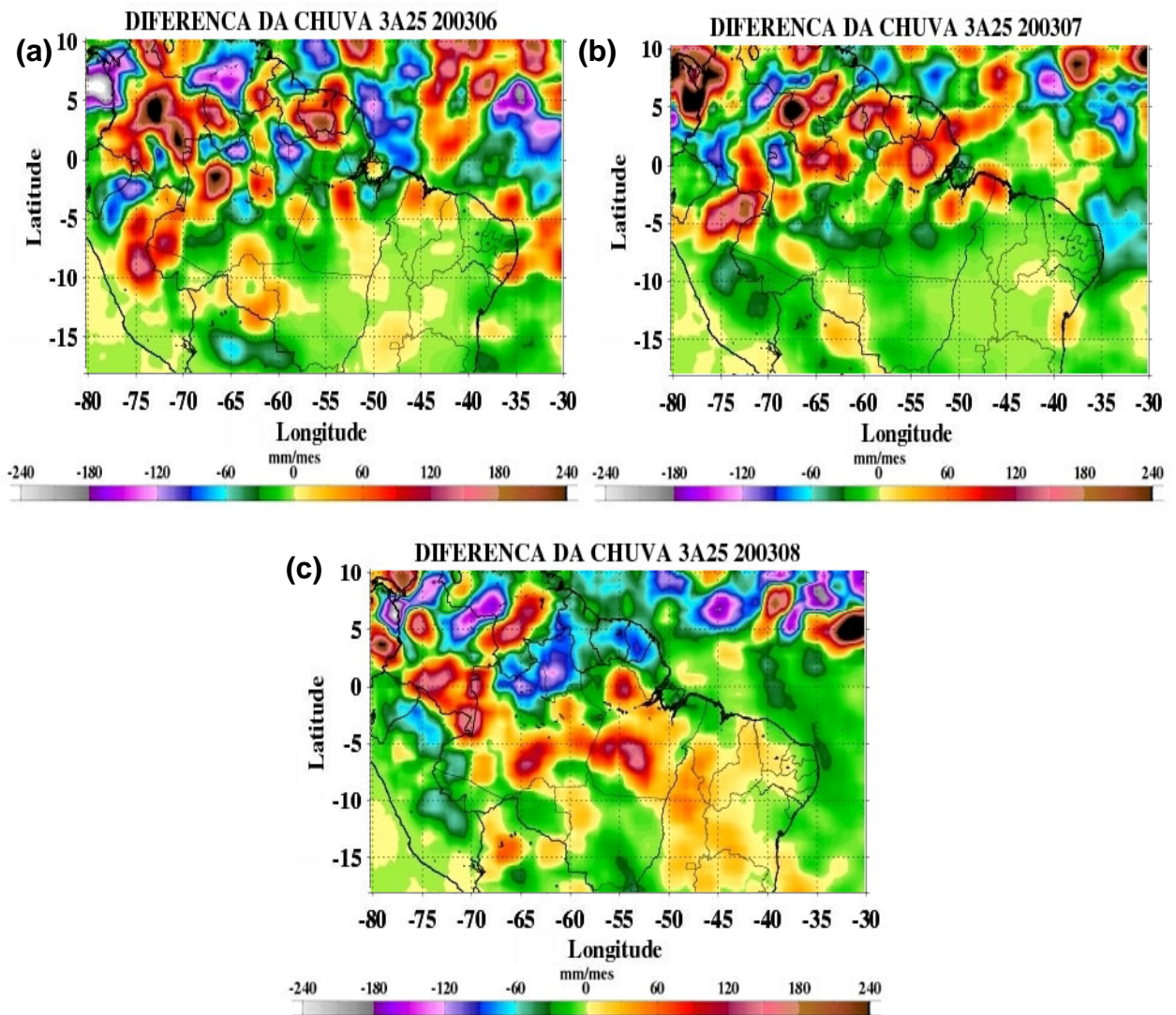


Fig. 19 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2003.

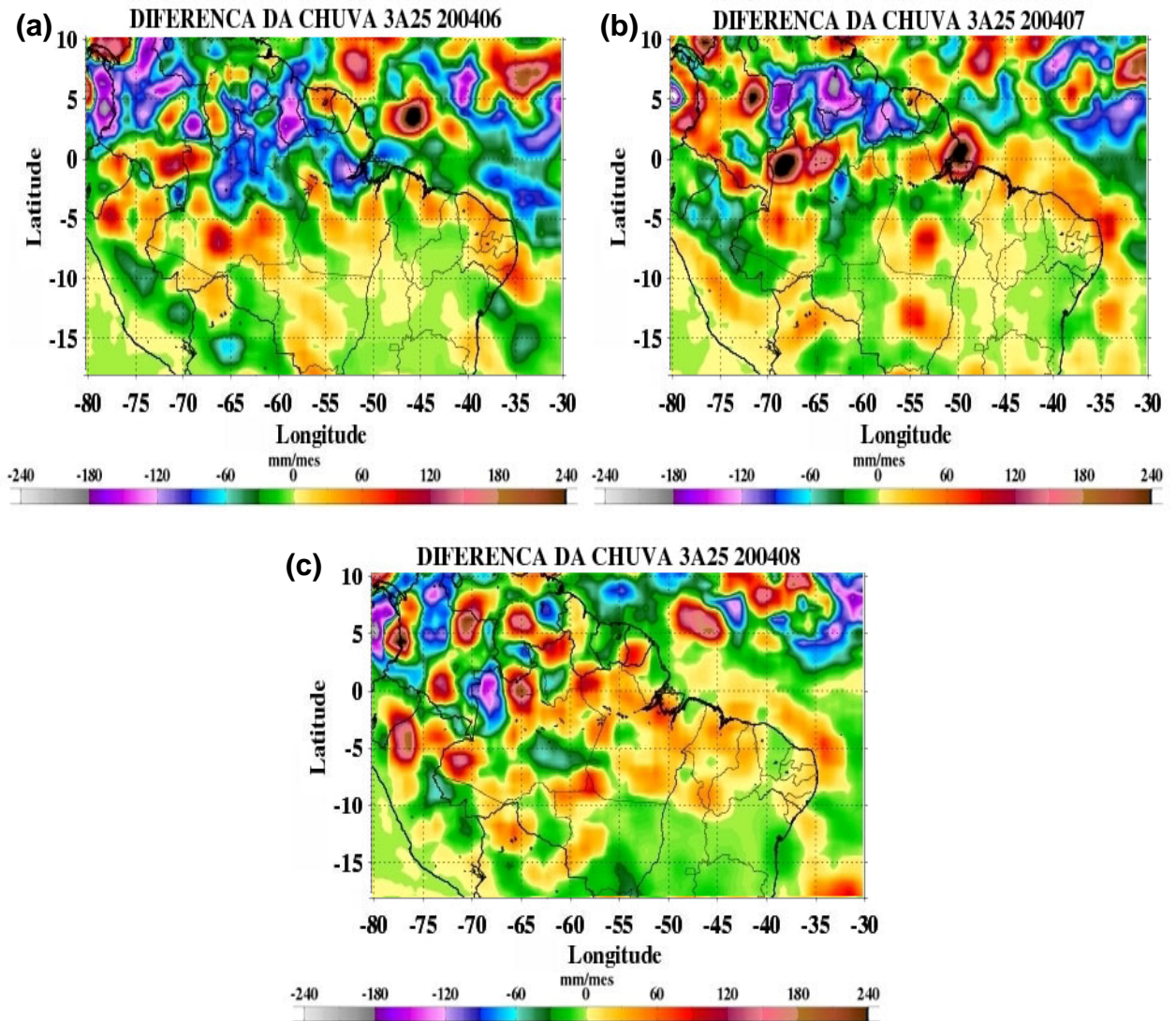


Fig. 20 - Como na FIGURA 16, exceto que para o ano de 2004.

5 CONCLUSÃO

Os altos valores de precipitação registrados na Região Nordeste do Brasil e Amazônia, durante os invernos austral de 2000 a 2004, levaram à investigação dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Tropical Sul que atingiram o leste e norte da América do Sul.

A utilização das re-análises do modelo ETA em pontos de grade espaçados horizontalmente de $0,4^\circ \times 0,4^\circ$ de latitude e longitude. Observou-se a presença de distúrbios ondulatórios de leste que estavam possivelmente relacionados com as precipitações na faixa leste e norte do NEB. Porém, estes distúrbios não se apresentaram tão intensos como em outras regiões tropicais do globo. Essa diferença pode ser, em parte, devida as diferenças nos campos básicos em que os distúrbios estão embebidos.

Os diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento no nível de 700 hPa foram utilizados para a identificação dos distúrbios de leste e também para a caracterização dos seus parâmetros básicos. Onde as oscilações apresentaram-se bastante intensas durante o período investigado. Também observou-se que as amplitudes dos distúrbios diminuía do equador em direção às latitudes austrais.

Os diagramas de ROL não apresentam um padrão de alternância bem definido, ou seja, não há tanta alternância, comparado ao da componente v do vento. Já com relação a Água Precipitável, nota-se um padrão semelhante ao da componente v , com bastante alternâncias de valores.

A intensidade dos sistemas de nuvens relacionados com os distúrbios ondulatórios nos ventos de leste que atingem o NEB possui uma característica diferente daqueles descritos em outras regiões dos trópicos, que ocorrem nos verões boreais e relacionam-se com o cavado equatorial. A variação da nebulosidade observada na ZCIT é normalmente associada com ondas equatoriais que propagam-se para oeste junto com a ZCIT, que encontra-se totalmente no hemisfério norte durante o inverno do HS, portanto, não afetando diretamente a precipitação no NEB.

Observou-se que os DOLs são mais evidentes nas latitudes mais boreais, quando comparados com as latitudes austrais dos trópicos e no NEB, conforme Mota,

1997. No entanto, o sinal de propagação de DOLs também é observado sobre a região amazônica, especialmente durante o inverno austral de 2004, em que foram observadas anomalias positivas de precipitação em algumas regiões da Amazônia, como por exemplo, sobre a região de Belém nos meses de junho a agosto de 2004. A análise dos diagramas de Hovmöller mostrou que, nos invernos austrais do período estudado e na latitude de 5° S, houve propagação de aproximadamente 20 distúrbios por trimestre e período aproximado de 4 dias, mais evidentes no Nível de 700 hPa, similares aos resultados encontrados por Mota (1997), para os meses de JUNHO, JULHO e AGOSTO de 1994.

Os anos que obtiveram destaque, por apresentar nos três meses anomalias positivas de precipitação sobre grande parte das Regiões NEB e Amazônia (principalmente sob a área costeira com o Atlântico), foram os trimestres JJA do ano de 2000 e 2004, com valores variando em torno de 60 mm até 120 mm acima da média sob algumas subregiões, dentre estes, o mês que mais se destacou foi JULHO de 2004, que a precipitação ultrapassou 240 mm, sob a Ilha do Marajó com o Amapá (0° de latitude com 50° W de longitude).

É importante ressaltar a necessidade de estudos mais completos a respeito dos DOLs, a fim de se obter um melhor entendimento da sua atuação, período de maior intensidade e suas interações com sistemas de outras escalas. Isso é importante para um melhor conhecimento de suas conseqüências na produção de chuva e relâmpagos extremos em determinadas regiões da faixa norte e nordeste da América do Sul.

Portanto, sugere-se que, dependendo do horário em que as ondas atingem o continente, pode haver um acoplamento com a brisa marítima ou com a brisa terrestre, que aumentam a convergência nos baixos níveis na costa levando a formação de profunda convecção e formação e intensificação de linhas de instabilidade costeiras. Assim como também as circulações relacionadas com as ondas de leste podem interagir com as brisas de vale ou de montanha da região, que podem influir nos processos convectivos.

REFERÊNCIAS

- ARAVÉQUIA, J. A.; HERDIES, D. L.; SAPUCCI, L. F.; de SOUZA, R. V. A.; FERREIRA, S. H. S.; de GONÇALVES, L. G. G. Reanálise Regional 2000-2004 sobre a América do Sul com o modelo RPSAS/ETA: Descrição do experimento e dos produtos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.32, n.1, p. 71-77, abr. 2008.
- ARTAXO, P.; et al. Efeitos climáticos de artículas e aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 21, n. 3a, p. 168-189, dez. 2006.
- ASNANI, G.C. *Tropical meteorology*. India: Noble Printers PVT. Ltd. PUNE, 1993. 2v.,
- BARBOSA, R.L. *Interação das perturbações convectivas iniciadas na costa Norte do Brasil com Distúrbios Ondulatórios de Leste*. São José dos Campos. 2005. 81 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
- BERRY JR., F. A., E. BOLLAY E N. R. BEERS, 1945: *Handbook of meteorology*. New York: McGraw-Hill, 1068p.
- CAVALCANTI, I.F.A. 1982. Alguns aspectos da circulação da atmosfera próximo à América do Sul e interações com a região Antártica. São José dos Campos, INPE. (INPE-3308-PRE/618).
- CHAN, C.S. *Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul*. São José dos Campos. 134p. (INPE-5222-TDL/437). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.
- COHEN, J. C. P.; GANDU, A. W. *Linha de instabilidade continental na Amazônia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2002, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.CD.
- COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.F.; NOBRE, C.A. *Aspectos climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia*. Boletim Climanálise, v. 4, n. 11, p. 34–2, 1989.
- COOK, K.H.; PATRICOLA, C.M.; VIZI, E.K. Easterly Waves in the tropical *Atlântic: climatology and variability*. Monthly Weather Review (submetido), 2004.
- COUTINHO, E.C. *Estudo das características atmosféricas na região do Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (CLA)*. São José dos Campos. 2001. 141p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

DE FELICE, P.; VILTARD, A.; MONKAM, D.; OUSS, C. Characteristics of North African 6-9 day waves during summer 1981. *Monthly Weather Review*, v.118, n.12, p. 2624–2633, 1990.

DIEDHIOU, A.S.; JANICOT, A.; VILTARD, A.; DE FELICE, P. Compositive patterns of the easterly waves disturbances over West África na tropical Atlantic: a climatology from 1979–1995 NCEP/NCAR Reanalyses. *Climate Dynamics*, v. 18, n. 3–4, p. 241–253, 2001.

DUNN, G.E. Cyclogenesis in the tropical atlantic. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.21, n.6, p.215-229, June. 1940.

ESPINOSA, E.S. *Distúrbios nos ventos de leste no atlântico tropical. São José dos Campos*. 127p. (INPE-6347-TDI/598). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. *Climanálise*, São José dos Campos, v. 5, n.6 p. 36-44, Jun. 1990.

GOMES, N. V.; MOTA, G. V.; ARTAXO, P. *Estudo comparativo das anomalias de precipitação durante eventos extremos de El Nino Oscilação Sul e Seca na Amazônia 2005 através do algoritmo GPI*. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, nov., 2006.

GOMES, N. V. *Estudo comparativo da distribuição espaço-temporal da precipitação na Amazônia Oriental*. Belém. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências-UFPA, 2008.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the Tropical Atlantic sector. *Monthly Weather Review*. Vol. 112, p. 1097-1107, 1984.

HALL, B.A. Westward moving disturbances in the South Atlantic coinciding with heavy rainfall events at Ascension Island. *The Meteorological Magazine*, v. 118, n. 1405, p. 175–181, 1989.

KAGANO, M.T. *Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossondagem (1968-1976) de Manaus e Belém*. 1979. 103 p. (INPE–1559–TDL/013). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1979.

KODAMA, Y. M. Large -scale common features of sub-tropical precipitations zone (The Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Tokyo, v. 70, p. 813-835, Ago.1992.

- KOUSKY, V. E., 1979, "Frontal influences on Northeast Brazil", *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1140-1153.
- KOUSKY, V. E., 1988: *Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector*. *Rev. Bras. Meteo.*, 3, 217-231.
- KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. *J. Meteor. Soc. Japan*, 56, 457-465. 1978.
- KOUSKY, V. E.; GAN, A. *Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic* , *Tellus*, 33, 538-551. 1981
- LIMA, M. C. *Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil*. São José dos Campos, 1991. 222p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.
- MACHADO, L.A.T.; GUEDES, R.L.; ALVES; M.A.S. Características estruturais de sistemas convectivos e forçantes da convecção na América do Sul observados por satélites. *Climanálise 10 anos, CPTEC/INPE*, Cachoeira Paulista. 1996, p. 110–122.
- MACHADO, L.A.T. The Amazon energy budget using the ABLE-2b and FluAmazon data. *Journal of Atmospheric Sciences*. v. 57, pp. 3131- 3144, 2000.
- MARTINS, A. C. S. *Avaliação da condição meteorológica associada às Ondas de Leste durante o experimento DESMATA*. 2001. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia)– Universidade Federal do Pará. Belém, 2002.
- MOLION, L. C. B., 1987: Climatologia dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2, 107-117.
- MORAES, O. L. L.; et. al. LBA and meteorology- an introduction. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 21, n. 3a, p. I-III, dez. 2006.
- MOTA, G.V. *Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro*. São Paulo. 92p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Astronômico e Geofísico-USP, 1997.
- MOTA, G. V *Rainfall estimates over South America*, Utah: University of Utah, 2002. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - University of Utah, Utah, 2002.
- MOTA, G. V *Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over South America*. Utah: University of Utah, 2003. 201 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), - University of Utah, Utah, 2003.

NEGRI, A. J.; ADLER, R. F. A TRMM-calibrated infrared rainfall algorithm applied over Brazil. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 107, n. D20, p 8048 – 8058, Ago. 2002

NEIVA, E.J.F. *An investigation of wave-type disturbances over the tropical southatlantic. California*. 58p. (T551.551.3). Dissertação (Master's of Science in Meteorology) - Naval Postgraduate School, 1975.

NIEUWOLT, S. *Tropical climatology*. New York: John Wiley & Sons, 1978. 207p.

OLIVEIRA, A. S. *Interações entre sistemas na América do sul e convecção na Amazônia*. 1986. 246 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE – 4008-TDL/239, São José dos Campos, 1986.

PINA, C. O. *Estudo da variabilidade da precipitação no mês de setembro de 2000 em ambiente de manguezal, pastagem e floresta*. 2001. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia)– Universidade Federal do Pará. Belém, 2001.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with Southern oscillations. *Theoretical and Applied Climatology*, New York, v. 42, p.81-91, Jun. 1990.

RAO, V. B.; LIMA, M. C. D.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. *J. of Climate*, 6, 1754-1763. 1993.

HSU, F., E J. M. WALLACE, The Global Distribution of the Annual and Semiannual Cycles in Precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 1093-1101. 1976.

RIEHL, H. *Waves in the easterlies and polar front in the tropics*. Chicago: Chicago University, Department of Meteorology, 1945. 79p.

_____. *Meteorologia tropical*. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança, 1965. 426p.

SILVA, C. M. S. *Distribuição sazonal dos distúrbios ondulatórios de Leste junto ao litoral Atlântico da Amazônia*. 2002. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002.

SILVA DIAS, M. A. F., Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 21, n. 3a, p.190-199, dez. 2006.

SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. *International Journal of Climatology* DOI: 10.1002/joc.1331, 2006.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorology Society of Japan*, v. 55, n.2, p. 205–207, 1977.

RE-ANÁLISES do modelo regional ETA : dados meteorológicos de 2000 a 2004.
Disponíveis em: <<http://www.fatorgis.com.br/vernoticia.asp?cod=1344>> Acesso em: 28 nov. 2008.