



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE METEOROLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IVAN BITAR FIUZA DE MELLO

**OCORRÊNCIA DE UMA CÉLULA CONVECTIVA DURANTE A CAMPANHA DO
PROJETO CHUVA EM BELÉM**

BELÉM – PARÁ
FEVEREIRO – 2013

IVAN BITAR FIUZA DE MELLO

**OCORRÊNCIA DE UMA CÉLULA CONVECTIVA DURANTE A CAMPANHA DO
PROJETO CHUVA EM BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
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

Orientadora: Prof. Julia Clarinda Paiva Cohen

BELÉM – PARÁ
FEVEREIRO – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M527o Mello, Ivan Bitar Fiuza de
Ocorrência de uma célula convectiva durante a campanha do
Projeto Chuva em Belém/ Ivan Bitar Fiuza de Mello; Orientador:
Julia Clarinda Paiva Cohen – 2013

44f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em meteorologia)
– Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade
de Meteorologia, Belém, 2013.

1. Tempestades - Belém (PA). 2. Projeto Chuva. 3. Simulações
numéricas. 4. Supercélulas. 5. Sistemas convectivos de mesoescala.
I. Cohen, Julia Clarinda Paiva, *orient.* II. Universidade Federal do
Pará. III. Título.

CDD 22ª ed.: 551.55098115

IVAN BITAR FIUZA DE MELLO

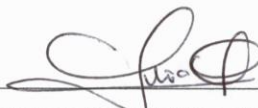
**OCORRÊNCIA DE UMA CÉLULA CONVECTIVA DURANTE A CAMPANHA
DO PROJETO CHUVA EM BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à 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.

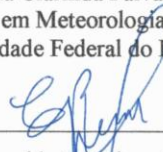
Aprovado em 15/02/2013.

Conceito: EXCELENTE

Banca examinadora:



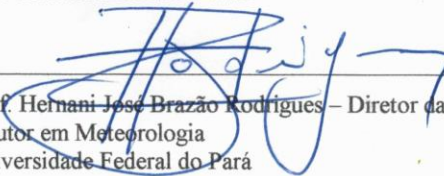
Prof. Julia Clarinda Paiva Cohen – Orientadora
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



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



Prof. Dimitrie Nechet – Membro
Especialista em Meteorologia Tropical
Universidade Federal do Pará



Prof. Hernani José Brazão Rodrigues – Diretor da Faculdade
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



“Dedico esta monografia à minha família, em especial aos meus pais, pelo seu eterno apoio, carinho e incentivo, sempre ajudando-me a pensar positivamente e com espírito de ir à luta e a não desistir de meus objetivos e sonhos nos momentos de adversidades, ensinando-me que a vida dá muitas voltas àqueles que a fazem por merecer”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre esteve ao meu lado me guiando, me protegendo e me levando para caminhos que só ele compreende que será melhor para a minha vida e para a minha pessoa, mostrando-me que todos nós temos um propósito e devemos confiar nos planos que Ele nos concede, por mais que não seja o que queremos ou o que achamos que seria o melhor para nós, acreditando que, no fim, algo de bom sempre estará guardado.

Agradeço especialmente aos meus pais, por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos de tristeza, angústia, alegria, felicidade e superação, por sempre me levarem a pensar para frente, olhar para o futuro e saber que somos capazes na medida em que fazemos por merecer e confiamos que o tempo pode curar as mágoas e decepções e poderá nos fazer fortes como pessoas e um dia nos trazer o que jamais imaginávamos que poderíamos receber.

À minha família, por sempre me apoiar e torcer pelo meu sucesso profissional.

À minha irmã Juliana Bitar e ao meu cunhado Rogério Lionzo, por estarem sempre preocupados com o meu sucesso.

Ao meu grande amigo e irmão Guilherme Kuze, que sempre esteve ao meu lado me incentivando e me apoiando.

À minha professora e orientadora Júlia Cohen, pelo seu exemplo, carisma e gentileza, que não faltou na elaboração deste trabalho e por me ter proporcionado uma enorme oportunidade de ingressar na iniciação científica, sempre disposta a me auxiliar e impulsionar a seguir minha trajetória profissional.

Aos demais professores da Faculdade de Meteorologia e do Instituto de Geociências, pelos ensinamentos durante o curso.

À Universidade Federal do Pará, onde encontrei a oportunidade para o passo inicial de minha jornada acadêmica, que pretendo seguir ao longo de minha vida.

Ao professor e educador Dimitrie Nechet, que sempre esteve à disposição em me orientar, educar e fazer enxergar que o tempo nos faz crescer e é a resposta para muitas de nossas dúvidas e questionamentos, por sempre me explicar e fazer entender as minhas maiores dúvidas, induzindo-me a entender as mais diversas questões que existem em nosso ramo profissional.

À professora Midori Makino, pela sua disposição, gentileza em sempre me orientar e estar disponível para me ajudar.

À minha grande amiga e colega Elaine Barreto, pelo seu companheirismo nos momentos difíceis e complicados, mostrando-me o verdadeiro valor da amizade e da ajuda mútua.

Ao meu colega Maurício Moura, pela sua gentileza e disposição em me auxiliar neste trabalho final de conclusão de curso.





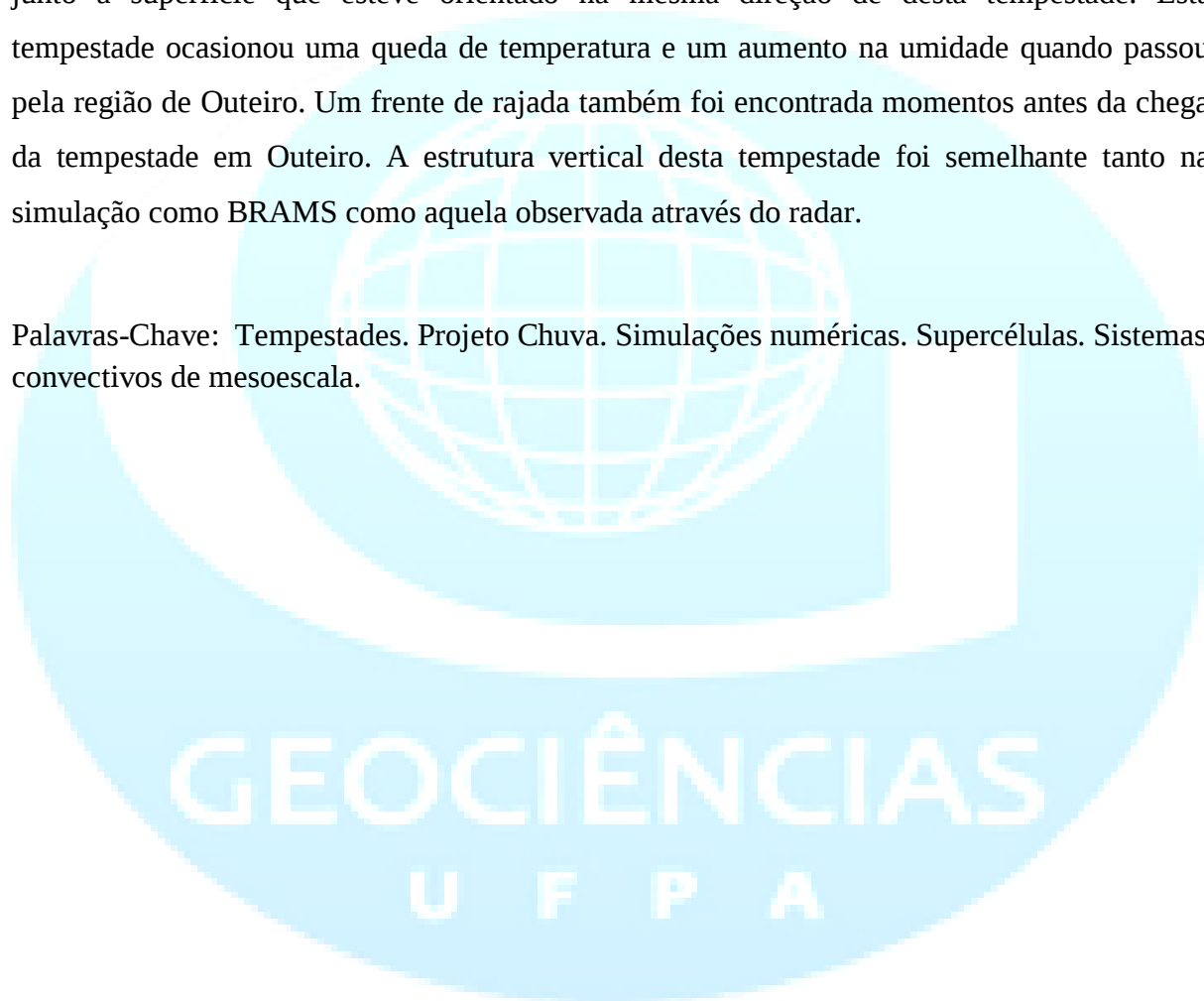
*“Não se preocupe, não tenha
pressa, o que é seu encontrará
um caminho para chegar até
você, Deus não demora, ele
capricha.”*

Caio F. Abreu

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise meteorológica do desenvolvimento de uma tempestade severa que ocorreu durante a tarde do dia 7 de Junho de 2011, originada no noroeste do estado do Maranhão que propagou até a cidade de Belém do Pará, na ocasião em que estava em curso a Campanha do Projeto Chuva. Também foi realizada uma simulação numérica com o modelo BRAMS. Através da reanálises do NCEP observou-se um centro de máximo vento junto a superfície que esteve orientado na mesma direção de desta tempestade. Esta tempestade ocasionou uma queda de temperatura e um aumento na umidade quando passou pela região de Outeiro. Um frente de rajada também foi encontrada momentos antes da chegada da tempestade em Outeiro. A estrutura vertical desta tempestade foi semelhante tanto na simulação como BRAMS como aquela observada através do radar.

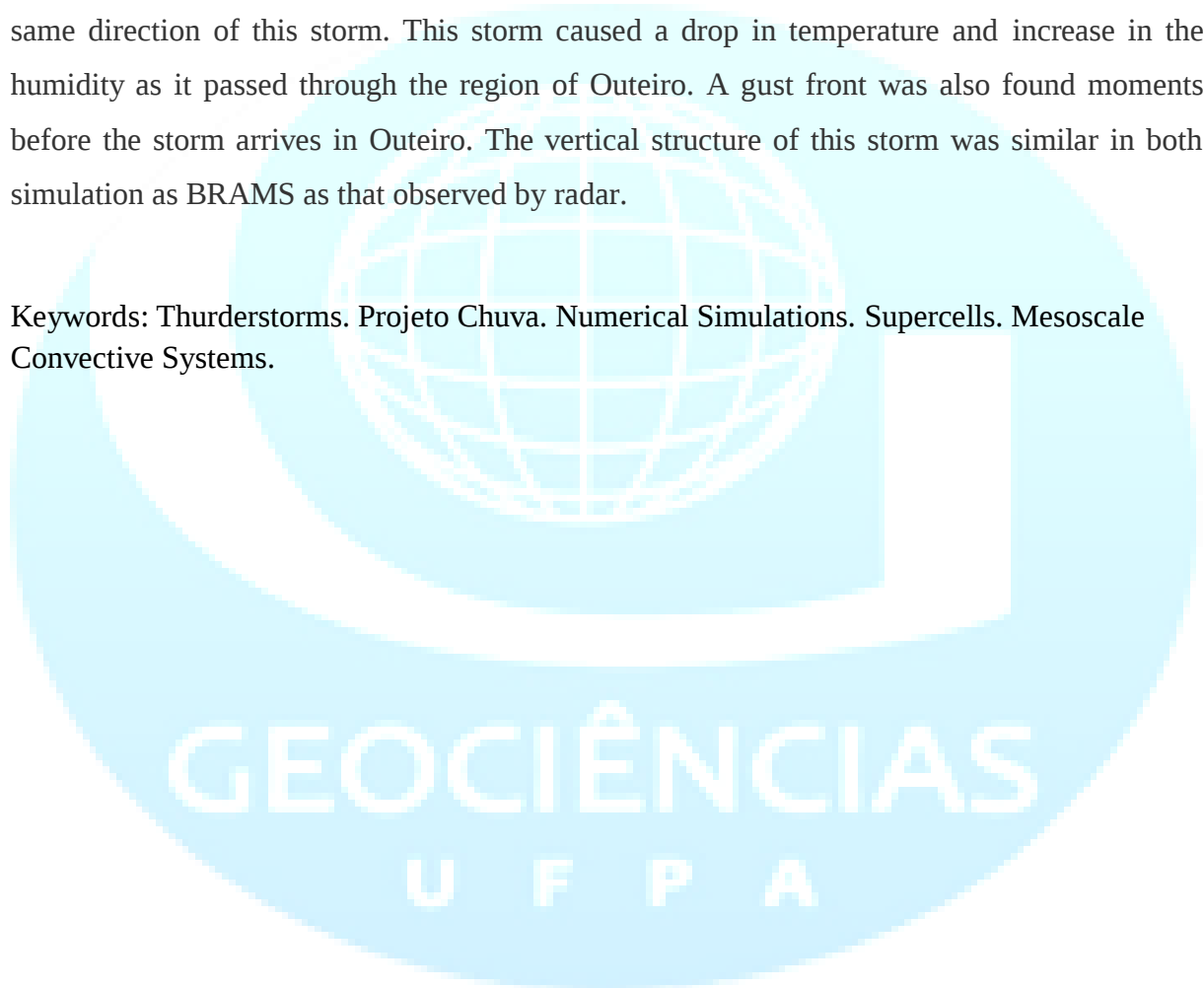
Palavras-Chave: Tempestades. Projeto Chuva. Simulações numéricas. Supercélulas. Sistemas convectivos de mesoescala.



ABSTRACT

This paper presents a meteorological analysis of the development of a severe storm that occurred during the afternoon of June 7, 2011, originated in the northwestern state of Maranhão that spreaded to the city of Belém do Pará, at the time Projeto Chuva was in progress. It was also performed a numerical simulation with BRAMS model. Through NCEP reanalysis a maximum center wind was observed along the surface that was oriented in the same direction of this storm. This storm caused a drop in temperature and increase in the humidity as it passed through the region of Outeiro. A gust front was also found moments before the storm arrives in Outeiro. The vertical structure of this storm was similar in both simulation as BRAMS as that observed by radar.

Keywords: Thunderstorms. Projeto Chuva. Numerical Simulations. Supercells. Mesoscale Convective Systems.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquemática estrutural de uma nuvem num sistema convectivo médio em seus estágios de formação, maturação e dissipação, ilustrando terminologia usada em um texto	18
Figura 2 - Esquema de multicélulas	21
Figura 3 - Localização dos instrumentos e equipamentos meteorológicos usados durante o Projeto Chuva na região metropolitana de Belém do Pará	24
Figura 4 - Ciclo de vida da célula convectiva desde sua formação no estado do Maranhão até sua dissipação na região do Marajó	27
Figura 5 - Imagem do radar banda X as 20:14 UTC	30
Figura 6 - Escoamento do vento em 925 hPa e isotacas (linhas) em diferentes estágios da célula convectiva: (a) Antes (12 UTC 07 de junho de 2011); (b) Durante (18 UTC 07 de junho de 2011); (c) Após (00 UTC 08 de junho de 2011)	31
Figura 7 - Taxa da precipitação estimada pelos disdrômetro parsível, joss e por pluviômetros instalados em sítio de Outeiro durante a passagem da célula convectiva	32
Figura 8 - Comportamento da (a) temperatura e umidade relativa e (b) do vento durante a passagem da convecção em Outeiro	34
Figura 9 - Perfil vertical antes (7 junho de 2011 as 18 UTC) e depois (8 junho de 2011 as 00 UTC) da passagem da tempestade em Belém: (a) Componente zonal do vento; (b) Componente meridional do vento; (c) temperatura do ar; (d) umidade relativa	37
Figura 10 - Vento horizontal (m/s) no nível de 24.4 metros e taxa de chuva obtida através da microfísica de nuvem (mm/h): (a) no início da formação da célula convectiva (07 de junho de 2011 as 18UTC). (b) Desenvolvimento da célula convectiva sobre a região de Belém (07 de junho de 2011 as 23:30 UTC)	37
Figura 11 - Range Height Indicator da célula convectiva se aproximando do radar na UFPA no dia 07 de junho de 2011 às 20:30 UTC	38
Figura 12 - Perfil vertical do vento horizontal (m/s) e vertical multiplicado por 10 (vetor) e razão de mistura da nuvem (g/kg) na latitude de 1.889°S no 07 de junho de 2011 as 23:30 UTC	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SCM – Sistema Convectivo de Mesoescala

CCM – Complexo Convectivo de mesoescala

LI – Linhas de Instabilidade

CB – Cumulonimbus

BOS – Sistemas na bacia

COS – Sistemas ao longo da costa

LOS – Sistemas locais

RAMS – Regional Atmospheric Model System (Sistema regional de modelagem atmosférica)

BRAMS – Brazilian Regional Atmospheric Model System (Sistema brasileiro de modelagem atmosférica regional)

USGS – United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

NCEP – National Centers for Environmental Prediction (Centros Nacionais de previsão ambiental)

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

CPTEC – Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos

UTC – Coordinated Universal Time (Tempo Universal Coordenado)

UFPA – Universidade Federal do Pará

ABLE – 2b – Atmospheric Boundary Layer Experiment 2b (Experimento da Camada Limite Atmosférica 2b)

LBA – Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia (Experimento de grande escala da Biosfera e Atmosfera na Amazônia)

MASTER IAG USP – Master do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

GOES-12 – Geostationary Satellite-12 (Satélite Geoestacionário-12)

TSM – Temperatura da superfície do mar

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (Administração nacional de oceano e atmosfera)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CLASSIFICAÇÃO E ASPECTOS FÍSICOS DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA	17
2.2 ANÁLISES E CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS AMAZÔNICOS	19
2.3 ASPECTOS E DEFINIÇÃO DA CHUVA CONVECTIVA	20
2.4 PREVISÃO DE TEMPO DE CURTO PRAZO	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 ÁREA DE ESTUDO	23
3.2 MATERIAL	23
3.3 SIMULAÇÃO NUMÉRICA	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 CICLO DE VIDA DA TEMPESTADE	26
4.2 AMBIENTE DE GRANDE ESCALA	31
4.3 IMPACTO DA TEMPESTADE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM	36
4.4 SIMULAÇÃO NUMÉRICA	38
4.4.1 Estrutura Horizontal	38
4.4.2 Estrutura Vertical	39

5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42



1 INTRODUÇÃO

A Amazônia está localizada em uma região de clima quente e úmido onde os ventos em superfície possuem pouca intensidade (TUCCI,1997). Além disso, esta região apresenta uma variabilidade sazonal e intra-regional da chuva, com os maiores valores pluviométricos chegando a 3000 mm anualmente na costa do estado do Pará e de 3500 a 4000 mm na região noroeste do estado do Amazonas e sudeste da Colômbia (FIGUEROA; NOBRE, 1990). Os menores valores pluviométricos se encontram nas regiões noroeste e sul do estado do Pará e sudeste do estado do Amazonas, com uma média de 2500 mm por ano. A instabilidade atmosférica constante, decorrente da grande disponibilidade de calor, umidade e energia, cria condições atmosféricas ideais para a formação de tempestades severas, em diferentes escalas, como sistemas convectivos de mesoescala (YOSHIDA, 2002). Sistemas convectivos de mesoescala (SCM) são classificados em três sub-escalas: meso- α (200-2000 km); meso- β (20-200 km) e meso- γ (2-20 km) (ORLANSKI,1975).

Supercélulas são sistemas convectivos profundos, formados a partir da diferença de temperatura e pressão existente entre duas massas de ar. O período de formação dessas células ocorre, vida de regra, no final do período da tarde, horário em que a atmosfera se encontra mais instável, com turbulência atmosférica e a presença de nuvens com grande desenvolvimento vertical (CB). As supercélulas apresentam, como característica, o fato de serem nuvens isoladas de outros sistemas, cuja base se estende até as proximidades da superfície, presença de frentes de rajadas e de nuvens mamatus, intensas zonas de precipitação e mudança na direção de escoamento do vento predominante na região em que o sistema severo está atuando. Análises e estudos sugerem que esses sistemas podem ser classificados como SCM, por possuírem características físicas e visuais de um mesociclone em baixos níveis. (DAVIES-JONES, 1986).

Para se estudar e entender a dinâmica dos sistemas convectivos de mesoescala, na região Amazônica, as primeiras campanhas experimentais de mesoescala foram realizadas nos anos 1980, a exemplo do ABLE-2b, que, além da rede de coleta de dados na escala da bacia amazônica, também contou com a instalação de uma rede de mesoescala na região de Manaus (HARISS, 1988). Com a chegada do projeto LBA, campanhas de mesoescala foram conduzidas em várias regiões da bacia amazônica (SILVA DIAS, 2002, 2004, FITZJARRALD, 2008), proporcionando a elucidação de vários aspectos dos fenômenos de

mesoescala. Contudo, muito ainda há de se avançar na compreensão da física interna de uma tempestade, e o Projeto Chuva (<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/br/>) vem possibilitar que questões ainda em aberto sobre o tema, no Brasil, possam ser melhor entendidas.

Durante os dias 30 de Maio a 2 de Julho de 2011, foi realizada uma campanha do Projeto Chuva em Belém do Pará, quando foram observados vários sistemas convectivos, como as Linhas de Instabilidade, convecção isolada e tempestades severas, a exemplo da selecionada para o presente estudo. Assim, ganha sentido o objetivo deste trabalho: analisar a formação e propagação de um sistema convectivo de mesoescala que se formou no noroeste do estado do Maranhão e se propagou para oeste, adentrando no estado do Pará, com sua máxima atividade registrada sobre a cidade de Belém, para posterior dissipação na Ilha do Marajó.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a formação, desenvolvimento e dissipação de sistema convectivo de mesoescala que se formou no estado do Maranhão e atingiu a cidade de Belém do Pará durante a campanha do Projeto Chuva.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar e analisar o ciclo de vida do sistema, sua formação, desenvolvimento e dissipação.
- Avaliar o impacto da chegada do sistema convectivo na região de Belém valendo-se dos dados coletados durante o Projeto Chuva.
- Analisar a estrutura tridimensional da célula convectiva em questão.

1.3 JUSTIFICATIVA

Entender a formação, a estrutura e a física de sistemas atmosféricos é essencial para auxiliar a previsão de tempo em grandes metrópoles onde a concentração populacional é

demograficamente significativa. Quando se tem uma previsão de tempo acurada, ocorre uma maior possibilidade de se evitar perdas de vidas e diminuição de danos de ordem material.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Abaixo são apresentados os elementos teóricos sobre sistemas convectivos de mesoescala, incluindo os aspectos dinâmicos dos sistemas convectivos atuantes na Amazônia.

2.1 CLASSIFICAÇÃO E ASPECTOS FÍSICOS DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

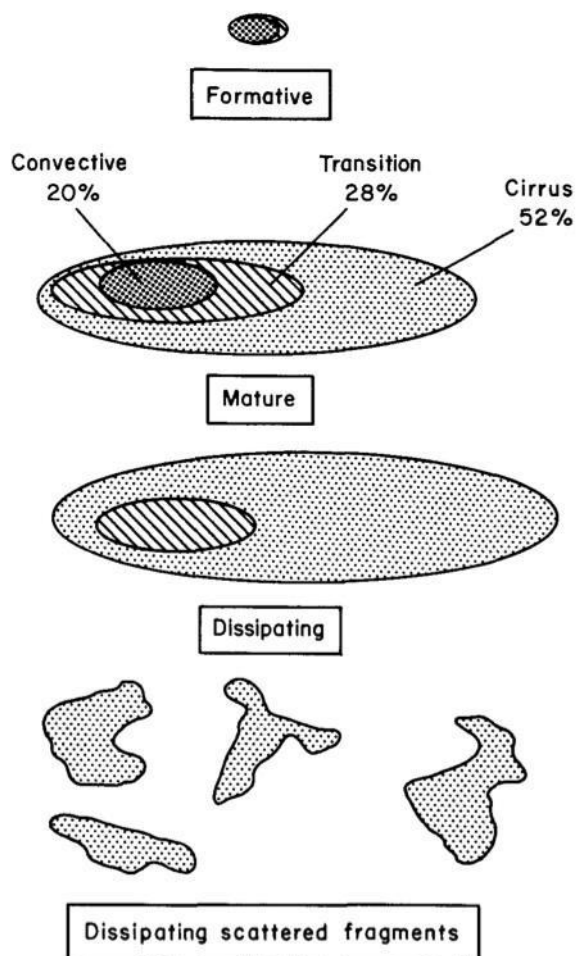
No final da década de 1960 e início da década de 70, FRANK (1970) e MARTIN ; SUOMI (1972) definiram os Sistemas Convectivos de mesoescala (SCM) de regiões tropicais através de estudos feitos por meio de imagens de satélite no canal do infravermelho. MADDUX (1980), em complemento, os definiu nas regiões extratropicais, durante seus estudos nos Estados Unidos. SCM têm como característica apresentar áreas de intensa precipitação, trovoadas, vento forte e granizo, sendo os principais sistemas responsáveis pela maior parte das chuvas no verão, em regiões tropicais (VELASCO; FRITSCH, 1987, VILA, 2004). SCM possuem três estágios em seu ciclo de vida: a fase de formação, a de desenvolvimento e a de dissipação (FIGURA 1). A formação de um sistema atmosférico, do tipo aglomerados convectivos de mesoescala, ocorre a partir da formação de uma célula convectiva comum, quando existe uma diferença de aquecimento entre duas áreas ou superfícies, mecanismo predominante para a formação desses sistemas. Dessa forma, a formação desses aglomerados convectivos se inicia quando uma parcela de ar quente sobe se resfria e expande. Tendo como condição uma atmosfera muito instável a partir de mecanismos atmosféricos de levantamento e disponibilidade de calor e energia, essa parcela continuará o seu desenvolvimento e expansão na vertical, gerando uma nuvem do tipo cumulonimbus (CB). Com os mecanismos favoráveis à continuação de desenvolvimento dessa nuvem, outras parcelas de ar vão se agregando e formando aglomerados de nuvens convectivas, com conseqüente formação de um sistema de tempestades, classificando-se como um SCM assim que seu diâmetro alcança uma escala de 2 km (ORLANSKI, 1975).

Esses sistemas podem possuir diferentes denominações segundo sua organização, forma e geometria (HOUZE; MACHADO; ROSSOW, 1993). Os sistemas convectivos de mesoescala podem ser classificados em: Complexos Convectivos de mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidade (LI) e Sistemas Convectivos de mesoescala (SCM) (MADDUX, 1980). Os

CCM têm como característica possuir uma forma circular bem definida e são classificados a partir de sua dimensão em SCM meso- α (200-2000 km). As LI possuem a característica de serem aglomerados de nuvens convectivas em formato de extensas linhas e são classificadas a partir de sua dimensão em SCM meso- β (20-200 km) e os aglomerados ou SCM possuem como característica um padrão de sistemas com organização irregular e desorganizada e são classificados como SCM meso- γ (2-20 km) (SILVA DIAS, 1987).

Figura 1- Estrutura esquemática de uma nuvem num sistema convectivo médio em seus estágios de formação, maturação e dissipação, ilustrando terminologia usada em um texto.

Schematic of Convective System Life Stages



Fonte: (MACHADO; ROSSOW, 1993).

2.2 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS AMAZÔNICOS

Dentre os principais sistemas convectivos de mesoescala nas regiões tropicais, têm-se os sistemas multicelulares em formato de linhas de nuvens profundas do tipo CB, as linhas de instabilidade tropicais (LI) e os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) ou aglomerados convectivos profundos, caracterizados por serem supercélulas com deslocamento irregular ou estacionário.

O desenvolvimento de SCM tropicais depende de complexos mecanismos atmosféricos e condições para a sua formação (COTTON; ANTHERS, 1989). Em grande escala, as condições ideais para a formação desses sistemas dependem de suas características termodinâmicas e dinâmicas iniciais, circulações de mesoescala provenientes de variações no gradiente de temperatura e forçantes verticais e horizontais orográficas ou geográficas (LONGO, 2003). Na escala da convecção profunda estão os processos físicos da instabilidade local influente no estágio de instabilização do sistema em formação.

Em 1990, o Amazonian Boundary Layer Experiment (ABLE) foi realizado com o intuito de estudar os sistemas convectivos de mesoescala tropicais atuantes e a variabilidade pluviométrica na região amazônica durante a estação chuvosa na região. Nesse experimento, observou-se que as LI e os SCM são os principais sistemas atmosféricos de mesoescala moduladores da precipitação na Amazônia durante o período chuvoso. Esses sistemas provêm do efeito de aquecimento local, brisas marítimas e terrestres e da interação com a grande escala. Os SCM foram classificados, considerando-se seu diâmetro, geometria, tempo de vida e formação, em 3 tipos de sistemas: os sistemas ao longo da costa (COS); os sistemas na bacia (BOS) e os sistemas locais (LOS) (GRECO, 1990).

Os sistemas ao longo da costa (COS) são as linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa do norte do Brasil e adentram no continente. Possuem uma extensão de cerca de 3500 km, formando-se entre 14 e 19 horas UTC, com duração de 20 horas a 1 dia.

Os sistemas na bacia (BOS) são aglomerados ou sistemas convectivos de mesoescala tropicais, que possuem uma área de 10^3 a 10^5 km^2 , formando-se no período vespertino com uma duração entre 6 e 12 horas.

Os sistemas locais (LOS) são aglomerados ou sistemas convectivos de mesoescala tropicais com duração de até 1 hora e com uma dimensão de 10^3 km^2 .

2.3 ASPECTOS E DEFINIÇÃO DA CHUVA CONVECTIVA

A variabilidade temporal e espacial do regime de chuvas na Amazônia decorre, em sua grande parte, da atuação dos Sistemas Convectivos de Mesoescalas (SCM) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MOTA, 2003).

Ambos os sistemas são modeladores das chuvas convectivas causadas através da diferença de aquecimento entre camadas de ar próximas à superfície. A elevação dessas camadas de ar quente e úmido para níveis mais altos da atmosfera e seu consequente resfriamento por meio de processos termodinâmicos gera a produção de nuvens que, ao encontrarem condições favoráveis à sua intensificação, se expandem, originando, após outras condições atmosféricas de instabilidade, nuvens produtoras de chuvas convectivas. A formação de sistemas de tempestade depende da quantidade de umidade presente, da energia disponível, do grau de instabilidade da atmosfera e de um mecanismo de levantamento de parcelas de ar da baixa troposfera. A variação vertical do vento define a dimensão espacial do sistema (COTTON, 1990). O ciclo de vida de uma célula convectiva é compreendido em três fases: a fase de cumulus, de maturação e de dissipação (FIGURA 2), segundo estudos já realizados (LUTGENS; TARBUCK, 1982).

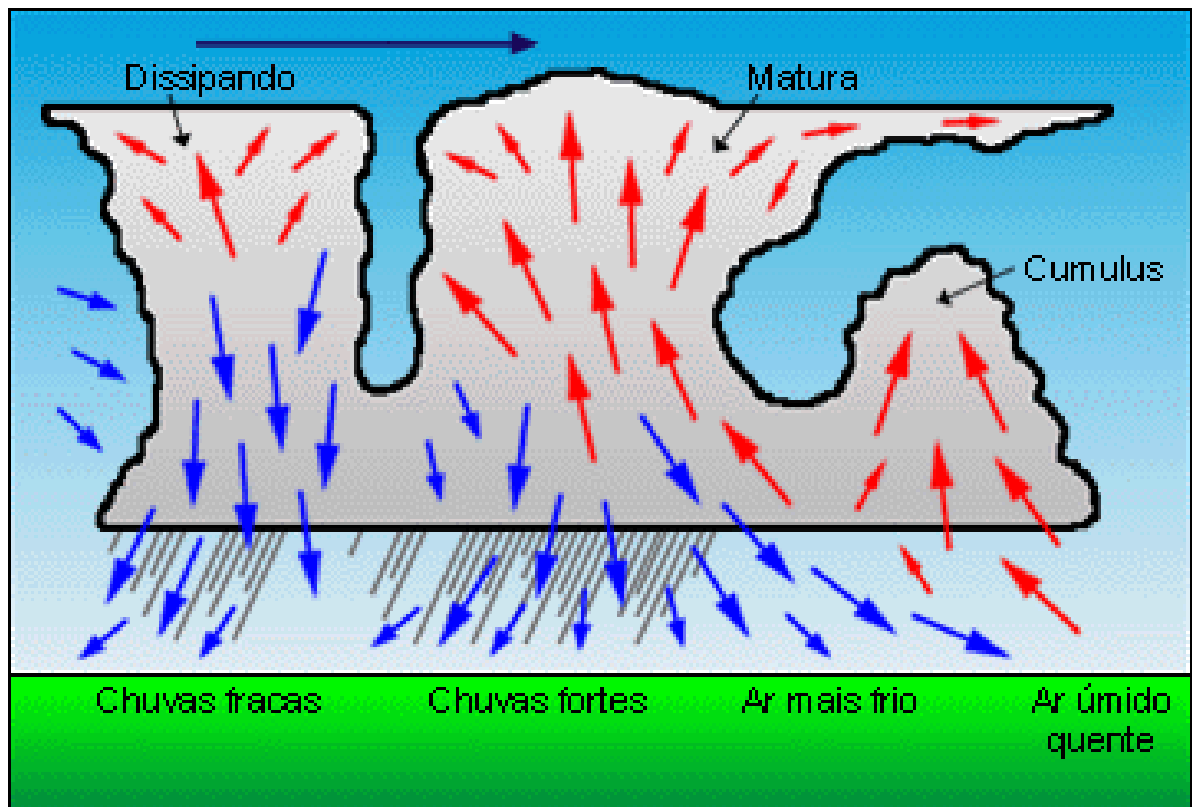
No estágio inicial ou fase cumulus, a subida do ar quente e úmido carregando umidade para níveis mais altos aumenta o grau de instabilidade da atmosfera e os movimentos na vertical. A partir desse movimento, nuvens cumulus congestus se formam.

No estágio intermediário ou de maturação, parcelas de ar quente e úmido se resfriam e condensam, formando cristais de gelo nos níveis superiores das nuvens cumuliformes em desenvolvimento. As gotículas de água presentes na nuvem aumentam o seu tamanho ao se juntarem a gotículas menores, gerando a expansão vertical do sistema. A instabilidade presente no interior da nuvem produz intensas correntes descendentes e ascendentes que trazem o ar quente para altos níveis e o ar frio para níveis mais baixos. Com essa estrutura, a nuvem se caracteriza por possuir uma extensa região em que diversos núcleos de forte precipitação e ventos intensos se interligam com outros núcleos de precipitação fraca (LONGO, 2003).

No estágio final ou de dissipação, as gotículas da nuvem diminuem o seu processo de agregamento com outras gotículas, a partir da perda de calor latente e energia, enfraquecendo as correntes de ar ascendentes e descendentes responsáveis pelo transporte do ar carregado de umidade para outros níveis. As correntes ascendentes elevam as parcelas em ascensão a níveis mais altos, gerando o aspecto de nuvens-torres. Ao final, a ação convectiva diminui e a

temperatura de brilho do topo das nuvens, nas imagens de satélite no canal infravermelho, muda de tom (MACHADO, 1998). As forçantes verticais da nuvem desaceleram, dissipando o sistema, que perde a característica de uma nuvem bigorna.

Figura 2 - Esquema de multicélulas.



Fonte: MASTER IAG/USP(2013)

2.4 PREVISÃO DE TEMPO DE CURTO PRAZO

A previsão do tempo se baseia nos dados observados de hora em hora nas estações automáticas e convencionais, imagens de satélite e radar e os resultados de simulações com modelos atmosféricos.

As informações obtidas por meio de modelos numéricos não são totalmente suficientes para determinar como, de fato, a atmosfera realmente se comportará e, em razão disso, o uso de imagens de satélite e radar para a previsão do tempo a curto prazo são essenciais para se obter melhores resultados. O uso do radar meteorológico é fundamental no uso desse tipo de previsão, podendo ser muito útil para prever fenômenos que ocorrem em menores escalas e períodos de tempo mais curtos.

Na previsão de tempo a curto prazo é essencial definir quais aspectos dinâmicos existem para a continuação da convecção na atmosfera e a formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical. Analisando-se esses elementos, constatou-se que a desestabilização exercida pela grande escala foi a principal resposta para a atividade convectiva profunda, e não a atividade convectiva existente no local de formação do sistema (SILVA DIAS, 1987). O resfriamento da alta atmosfera, assim como a grande disponibilidade de umidade e calor na baixa atmosfera foram condições dinâmicas essenciais para a instabilização atmosférica.

O conhecimento da dinâmica e da física, presentes na atmosfera, são importantes ferramentas para se entender como os sistemas atmosféricos são formados e se desenvolvem, usando-se como informação a análise de dados coletados em modelos numéricos, imagens de satélite e imagens de radar. A previsão de tempo a curto prazo se torna mais eficiente quando se agregam às informações meteorológicas o conhecimento da dinâmica da atmosfera e as simulações numéricas feitas por supercomputadores, com disponibilização de diagnósticos e prognósticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Definição e caracterização do material e das ferramentas utilizados para o estudo da célula convectiva que passou pela região amazônica quando o Projeto Chuva esteve em operação na cidade de Belém do Pará.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi determinada para se observar e analisar o deslocamento de sistemas convectivos de mesoescala sobre a região metropolitana de Belém (lat 01° 28' 22" S, lon 048° 30' 53" W) e arredores com o objetivo de se conhecer melhor a estrutura e geometria desses sistemas durante a campanha do Projeto Chuva.

3.2 MATERIAL

A Figura 3 mostra a localização dos instrumentos instalados pelo Projeto Chuva na região metropolitana de Belém. No sítio experimental do Outeiro, foram obtidos dados de temperatura, umidade e vento, dados de pluviômetros e de disdrômetros sendo utilizados com o objetivo de analisar o impacto da passagem desta tempestade no mesmo espaço.

No aeroporto de Belém, naquela oportunidade, foram lançadas quatro radiossondas nos horários das 00, 06, 12, e 18 UTC, durante todo o período da campanha. A radiossonda lançada às 18 UTC do dia 7 de junho representa a condição atmosférica antes da chegada da tempestade em Belém, enquanto aquela lançada às 00 UTC, do dia 8 de junho, mostra o ambiente após a passagem da tempestade.

Imagens do satélite GOES-12 foram utilizadas para analisar o ciclo de vida da tempestade desde a sua formação na região noroeste do Maranhão até o momento em que a mesma atingiu a cidade de Belém. Quando este sistema alcançou a região de Belém, utilizou-seos dados do radar de dupla polarização banda X, instalado na UFPA, que permitiu uma análise mais detalhada da tempestade, tanto na horizontal como na vertical.

As reanálises do NCEP também foram utilizadas para investigar o ambiente de grande escala onde se desenvolveu este sistema convectivo.

Figura 3 - Localização dos instrumentos e equipamentos meteorológicos utilizados durante o Projeto Chuva, na região metropolitana de Belém do Pará.



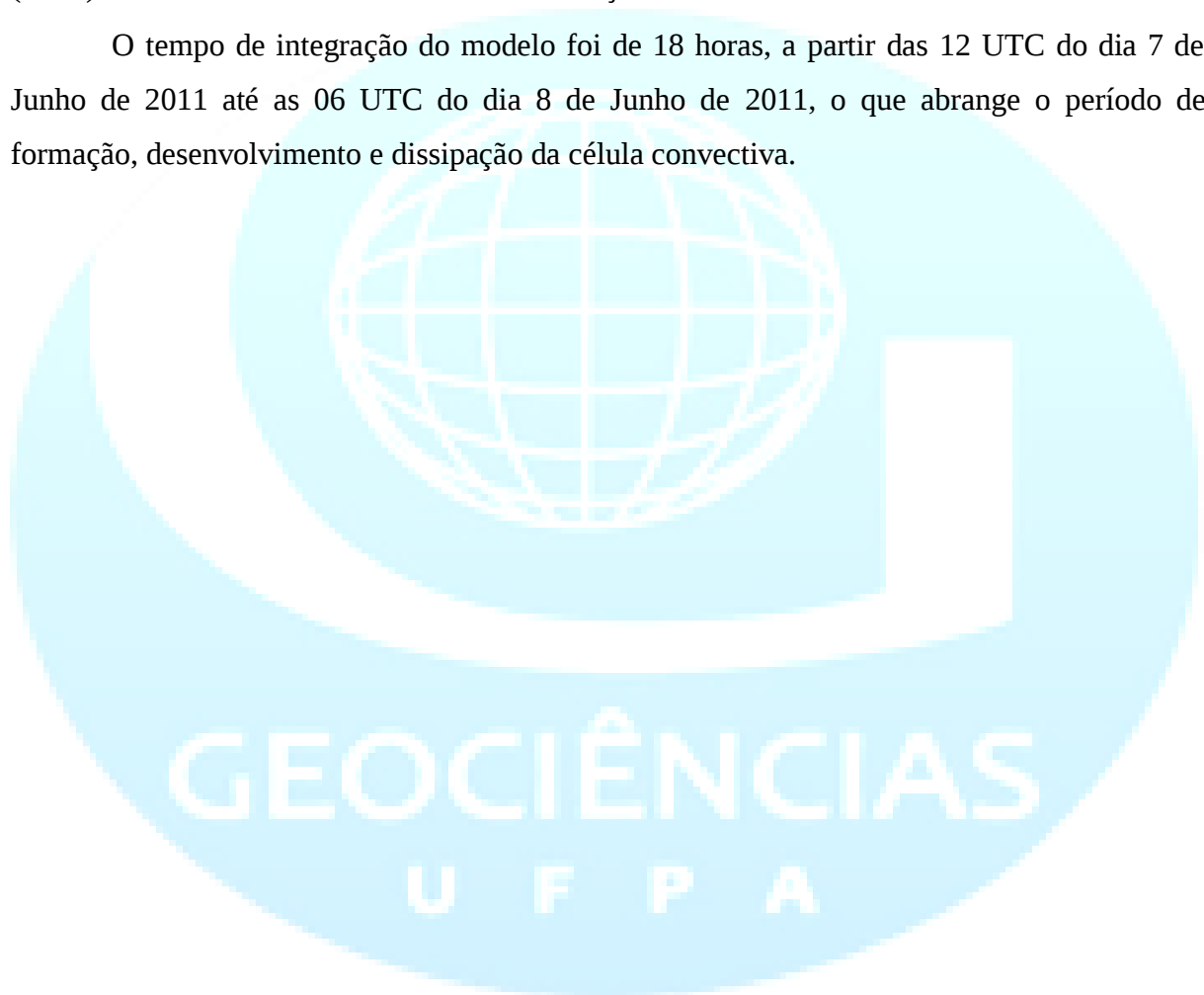
3.3 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Buscando verificar seu ciclo de vida e estrutura da tempestade sob análise estariam sendo capturados através de um modelo de mesoescala, utilizou-se modelo BRAMS, que é a versão brasileira do Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) (PIELKE, 1992 e COTTON, 2003). O BRAMS é um modelo tridimensional que consiste de um conjunto de equações prognósticas, incluindo dinâmica, termodinâmica e microfísica de hidrometeoros, as quais são resolvidas numericamente usando-se esquema de diferenças finitas. Esse modelo contém interações com vários submodelos que simulam as trocas de calor e água nas interfaces solo-vegetação-atmosfera (WALKO, 2000); processos turbulentos na camada de superfície (LOUIS, 1979), processos na camada limite turbulenta (MELLOR; YAMADA, 1982); transferência de radiação térmica e solar e suas interações com hidrometeoros (HARRINGTON, 1997); e microfísica de nuvem e precipitação (WALKO, 2000).

A simulação desta tempestade foi desenvolvida utilizando-se uma grade, cuja resolução horizontal foi de 9 km, com uma matriz de 135x99x40 pontos. Na vertical foram considerados 27 níveis da atmosfera, sendo o primeiro igual a 50 metros e os próximos aumentados por um fator de 1.1, sempre em relação ao nível anterior, até atingir 1000 m e então se manter constante até o topo do modelo.

As reanálises do NCEP, dados de vegetação do INPE, dados de topografia global do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e dados de temperatura de superfície do mar (TSM) da NOAA foram utilizados como condição de contorno e inicial do modelo.

O tempo de integração do modelo foi de 18 horas, a partir das 12 UTC do dia 7 de Junho de 2011 até as 06 UTC do dia 8 de Junho de 2011, o que abrange o período de formação, desenvolvimento e dissipação da célula convectiva.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

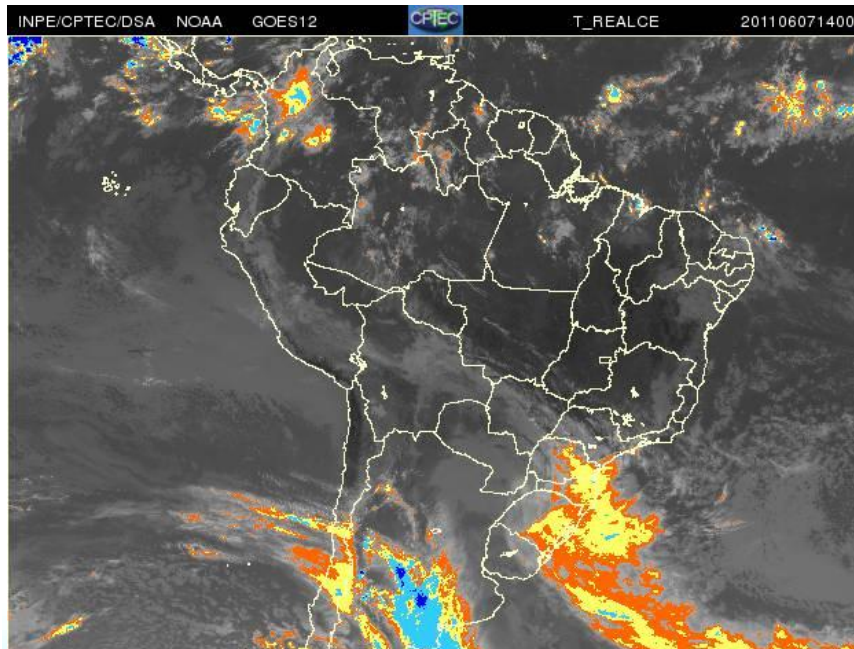
Abaixo são apresentados os resultados observacionais e, em seguida, aqueles obtidos coma simulação do modelo BRAMS.

4.1 CICLO DE VIDA DA TEMPESTADE

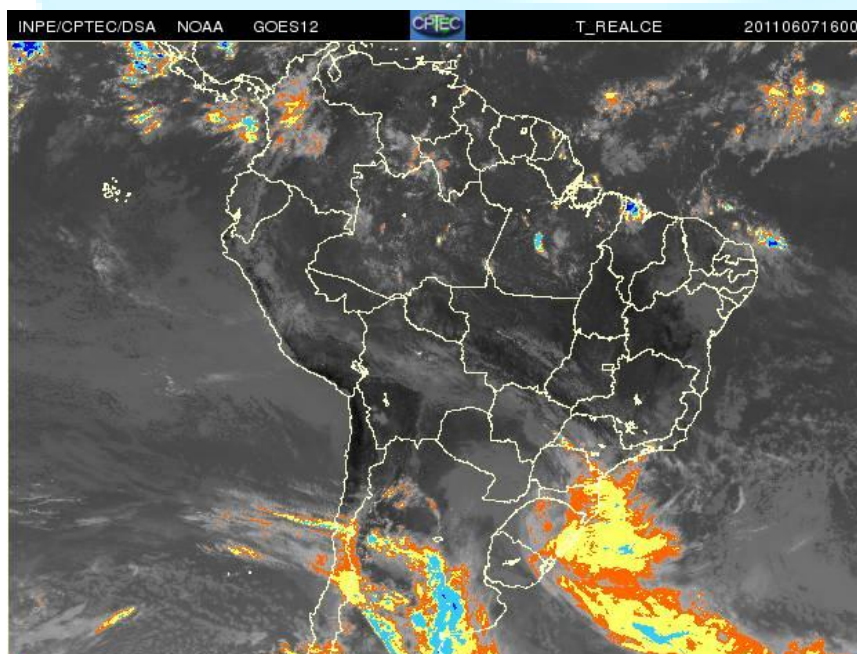
A Figura 4 mostra o ciclo de vida da tempestade desde a sua formação até a sua dissipação. Este sistema convectivo formou-se na costa oeste estado do Maranhão às 14 UTC do dia 7 de junho de 2011 (Figura 4a), duas horas mais tarde observa-se a intensificação desta convecção que se propagou para oeste, ao longo da costa, atingindo a região de Belém por volta das 20 UTC do mesmo dia (Figura 4d). A chegada dessa célula convectiva na região de Belém causou forte chuva, com alagamento, derrubada de estruclas de outdoors e de árvores, dentre outros transtornos. Esta tempestade continuou sua propagação atingindo a Ilha do Marajó às 23:30 UTC, onde ocorreu sua dissipação (Figura 4e).

Figura 4 - Ciclo de vida da célula convectiva desde a sua formação, no estado do Maranhão, até sua dissipação, na região do Marajó: **(a)** (14 UTC 07 de junho de 2011); **(b)** (16 UTC 07 de junho de 2011); **(c)** (18 UTC 07 de junho de junho de 2011); **(d)** (20 UTC 07 de junho de 2011); **(e)** (22 UTC 07 de junho de 2011); **(f)** (23:30 UTC 07 de junho de 2011).

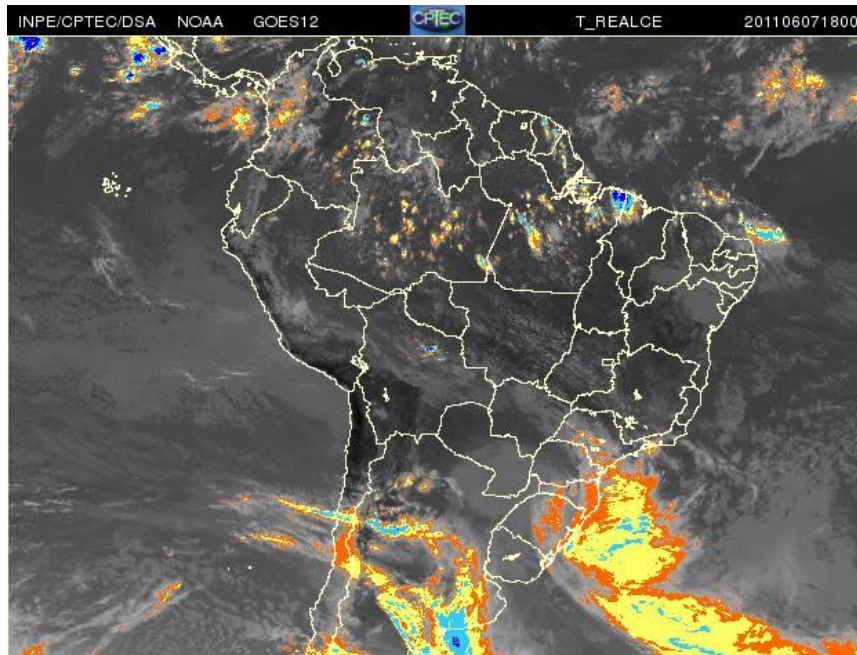
a)



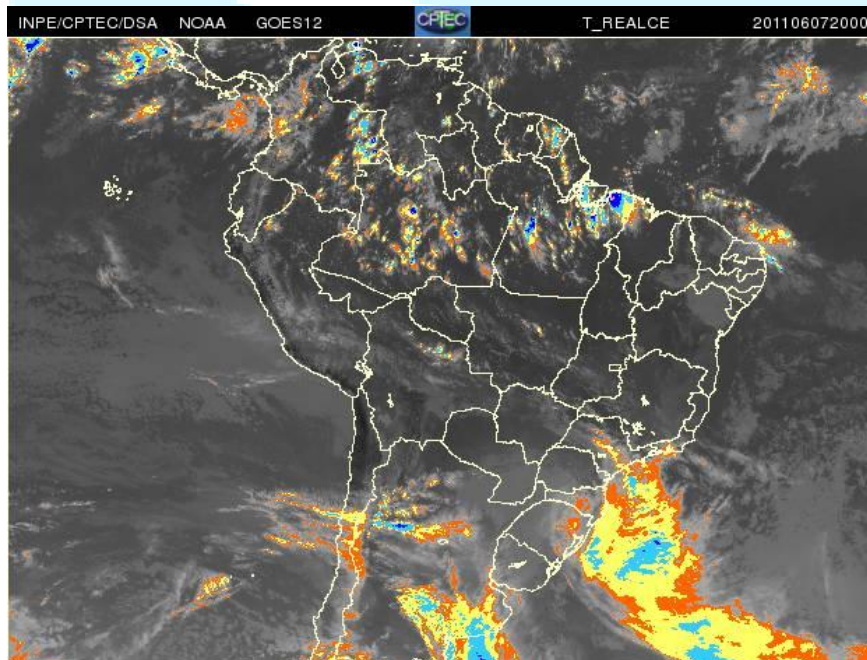
b)



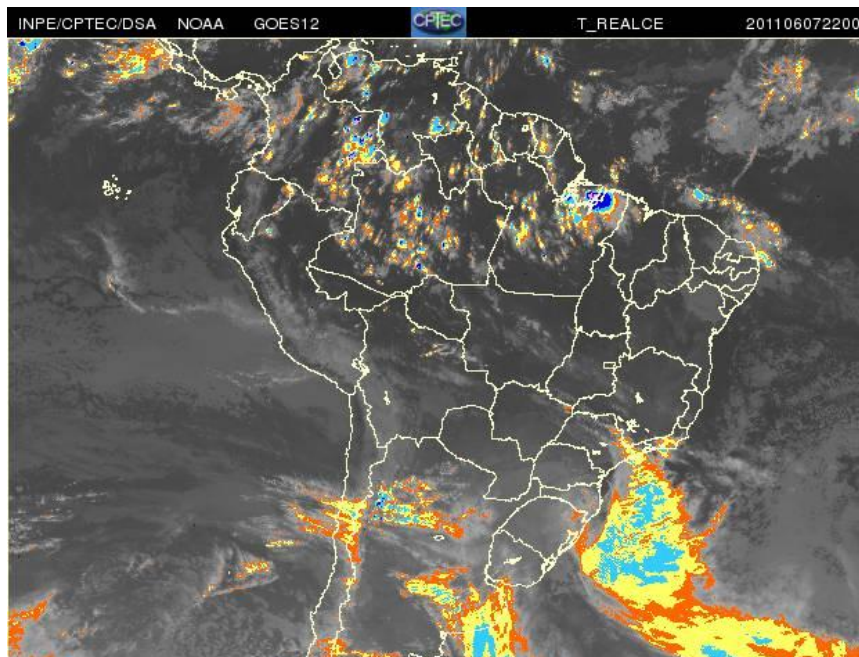
c)



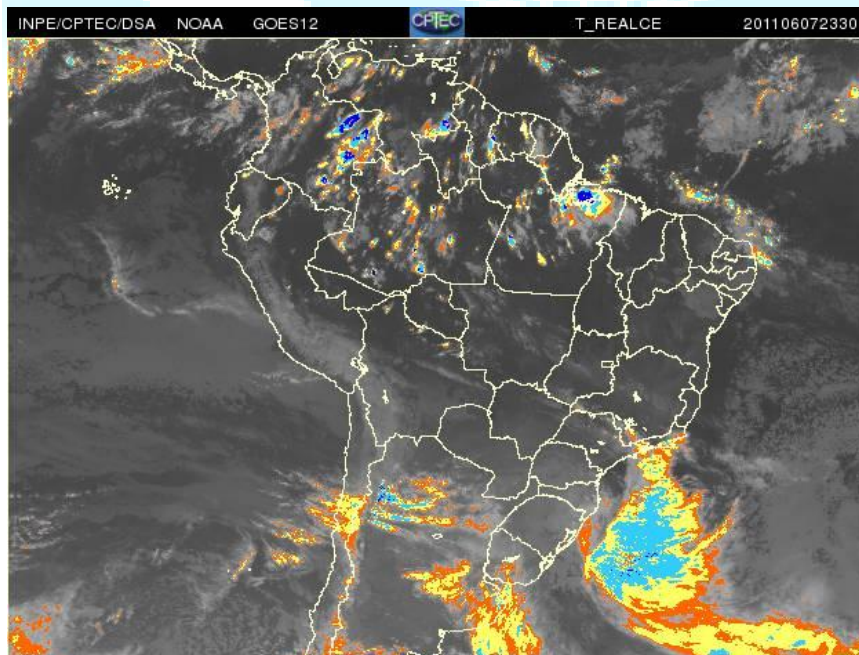
d)



e)



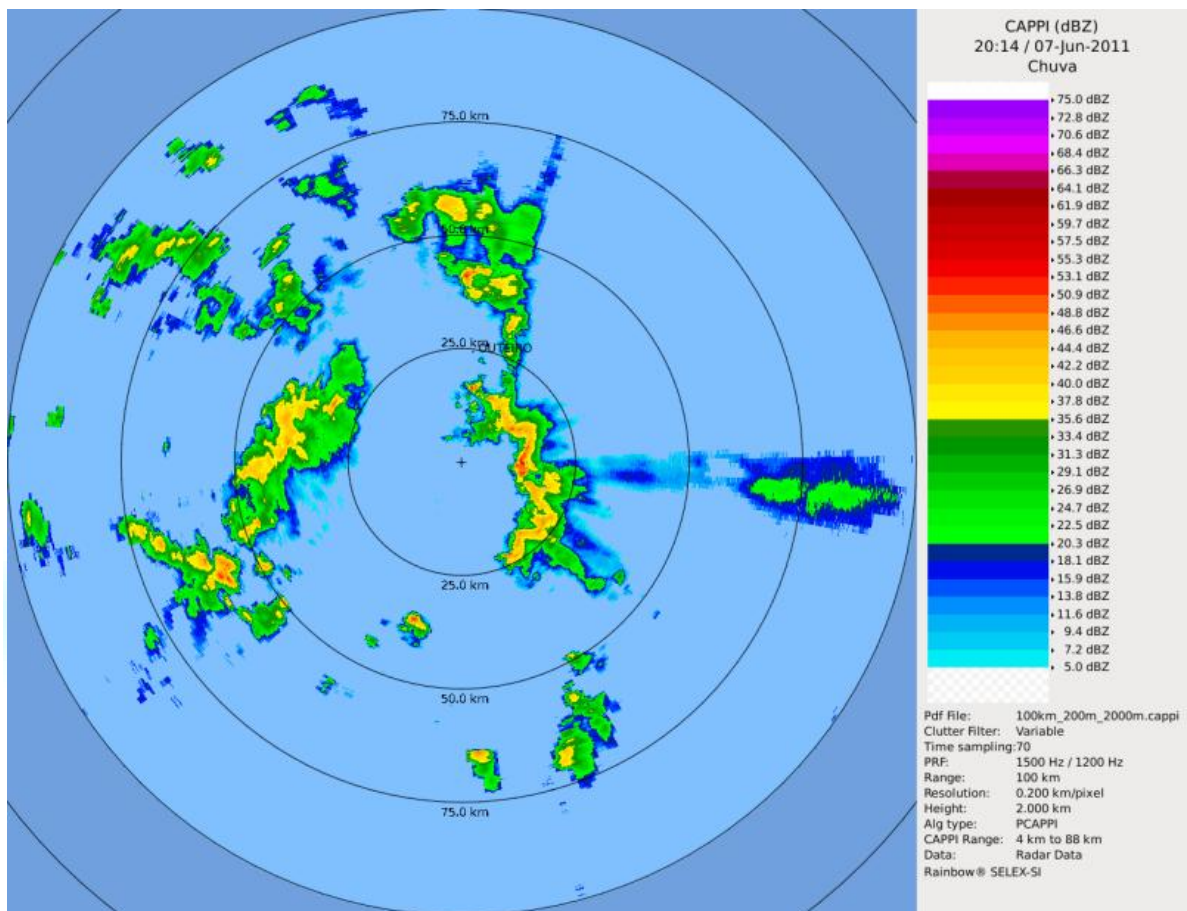
f)



Fonte: INPE-CPTEC-DAS (2013)

A Figura 5, abaixo, mostra a refletividade em dBZ do radar de dupla polarização banda X quando o sistema convectivo estava na região de Belém, às 20:14 UTC do dia 7 de Junho de 2011.

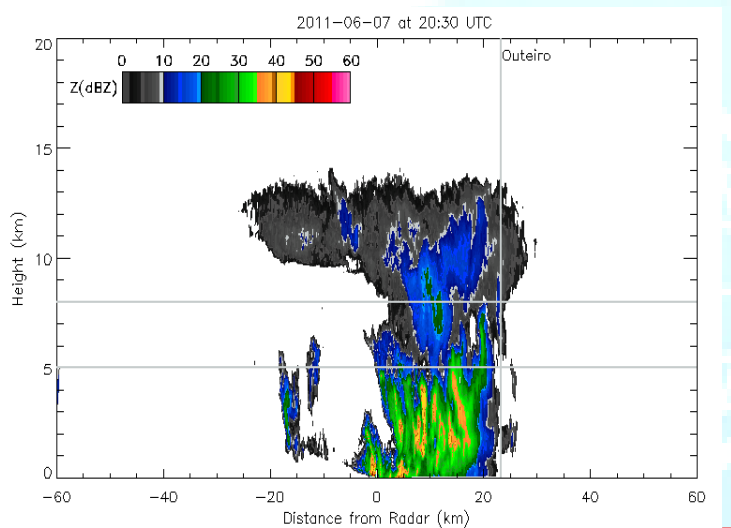
Figura 5 - Imagem do radar banda X as 20:14 UTC.



Fonte: INPE/CPTEC (2013)

A Figura 6, seguinte, apresenta o perfil vertical da tempestade as 20:30 UTC do dia 7 de Junho de 2011, sobre a cidade de Belém. Nota-se que o topo da tempestade atingiu um desenvolvimento vertical de até os 13 km de altitude. As regiões de maior refletividade se encontravam no interior da tempestade entre a superfície e os primeiros 5 km de altitude, próximas a 40 dbZ, indicando as regiões de atividade mais intensa do sistema.

Figura 6 - Range Height Indicator da célula convectiva se aproximando do radar na UFPA no dia 07 de junho de 2011, às 20h30 UTC.



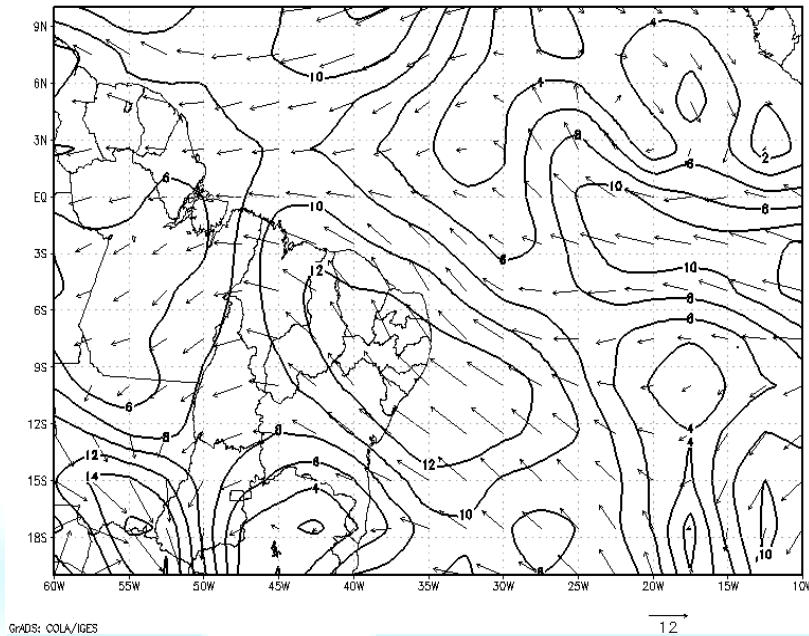
Fonte : INPE/CPTEC (2013)

4.2 AMBIENTE DE GRANDE ESCALA

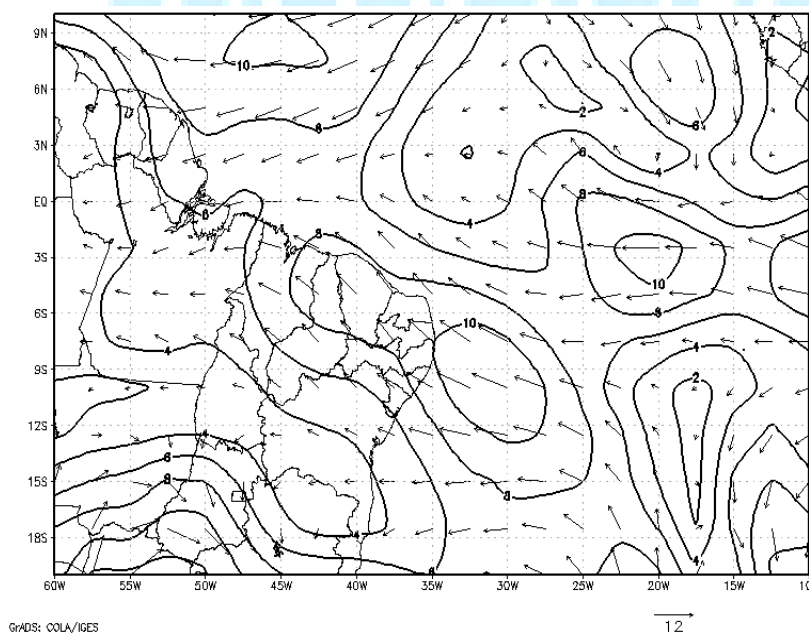
A Figura 7 mostra o escoamento do vento no nível de 925 hPa, obtido através das reanálises do NCEP, desde as 12 UTC dia 7 de Junho de 2011 até as 00 UTC do dia 8 de Junho de 2011. Nota-se um centro de máxima velocidade do vento, cuja orientação foi de sudeste-noroeste ao longo da costa. No horário das 18 UTC, quando a tempestade estava em um de seus picos de atividade, observa-se uma maior intensidade no escoamento do vento, quando comparada ao horário antes da formação e após o período em que esta tempestade estava se dissipando. É possível que este escoamento de sudeste tenha promovido a propagação desta tempestade desde o Maranhão até a região de Belém.

Figura 7 - Escoamento do vento em 925 hPa e isotacas (linhas) em diferentes estágios da célula convectiva: (a) **Antes** (12 UTC 07 de junho de 2011); (b) **Durante** (18 UTC 07 de junho de 2011); (c) **Após** (00 UTC 08 de junho de 2011).

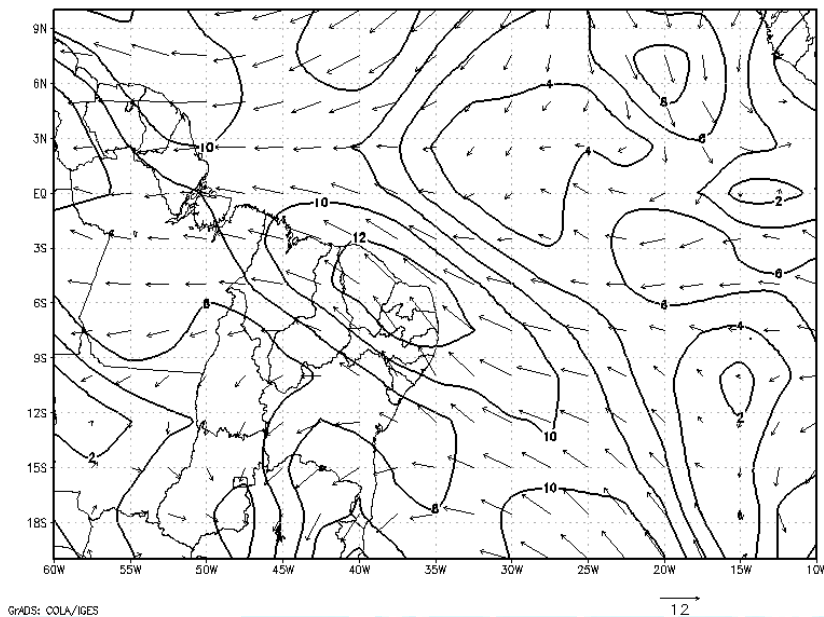
(a) Antes - 12 UTC 07 de junho de 2011



(b) Durante - 18 UTC 07 de junho de 2011



(c) Após - 00 UTC 08 de junho de 2011



A Figura 8a mostra o comportamento do vento zonal antes e depois da passagem da tempestade sobre a região de Belém, quando se observam dois jatos de leste, sendo o primeiro a 500 metros e o segundo a 7 km de altura. Em ambos os jatos, observa-se a intensificação dos mesmos após a passagem da tempestade, cabendo ressaltar que essa diferença é relativamente pequena para o jato localizado em 7 km. O vento meridional em baixos níveis mostrou-se de sul antes da passagem da tempestade por Belém, tendo mudando para a direção nordeste após ultrapassar a capital paraense (Figura 8b). A temperatura do ar mostra resfriamento do ar com a passagem da tempestade, principalmente junto à superfície. O perfil da umidade relativa do ar mostra queda de umidade com a passagem da tempestade em baixos níveis.

Figura 8 - (a) Componente zonal do vento; (b) Componente meridional do vento; (c) temperatura do ar; (d) umidade relativa, antes (7 junho de 2011 as 18 UTC) e depois (8 junho de 2011 as 00UTC) da passagem da tempestade em Belém.

Figura 8a - Perfil do vento zonal através de dados de radiossonda

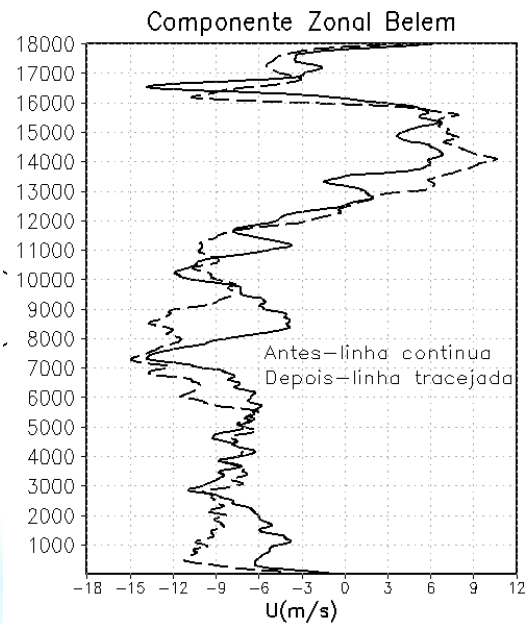


Figura 8b - Perfil do vento meridional através de dados de radiossonda

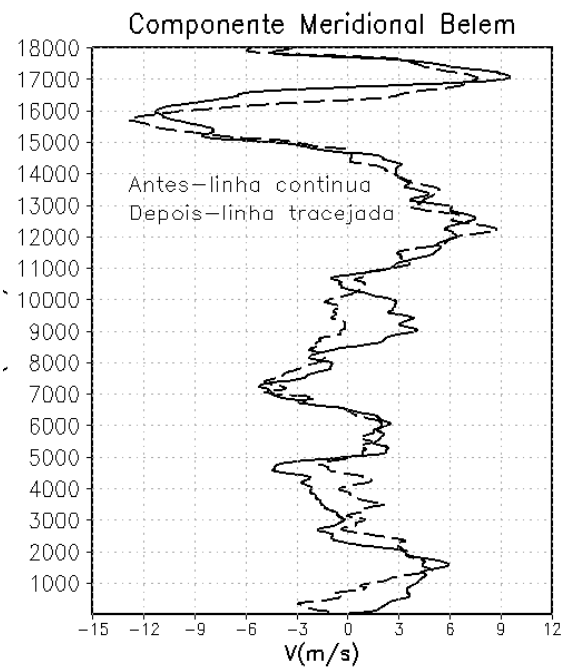


Figura 8c - Perfil da temperatura do ar através de dados de radiossonda

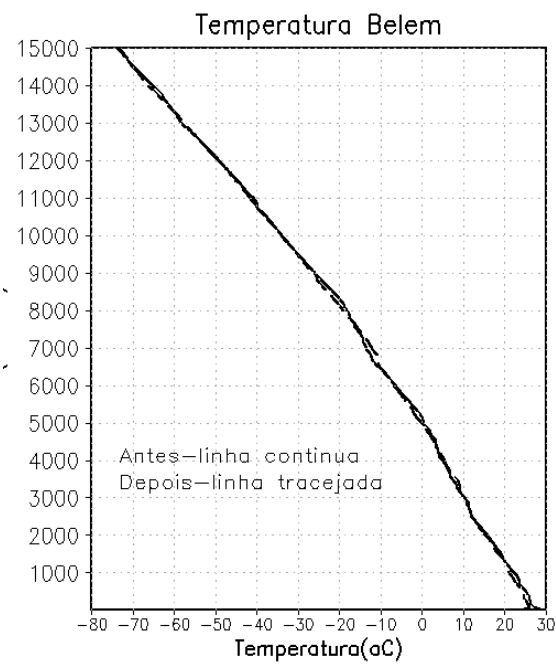
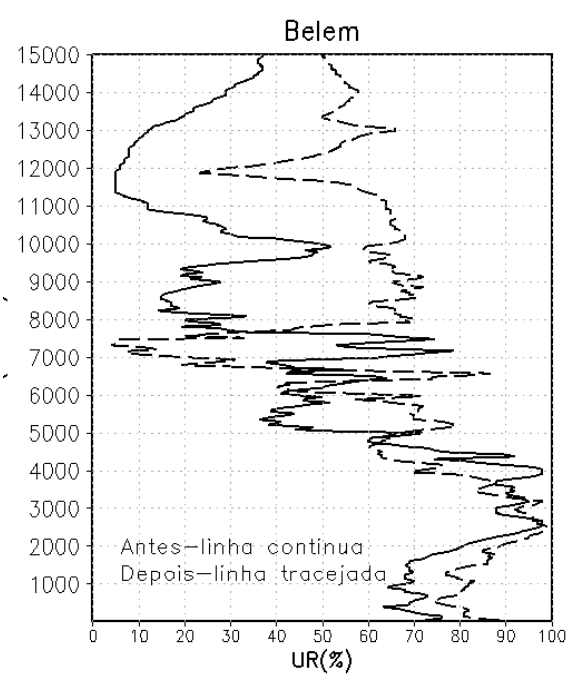


Figura 8d - Perfil da umidade relativa do ar através de dados de radiossonda

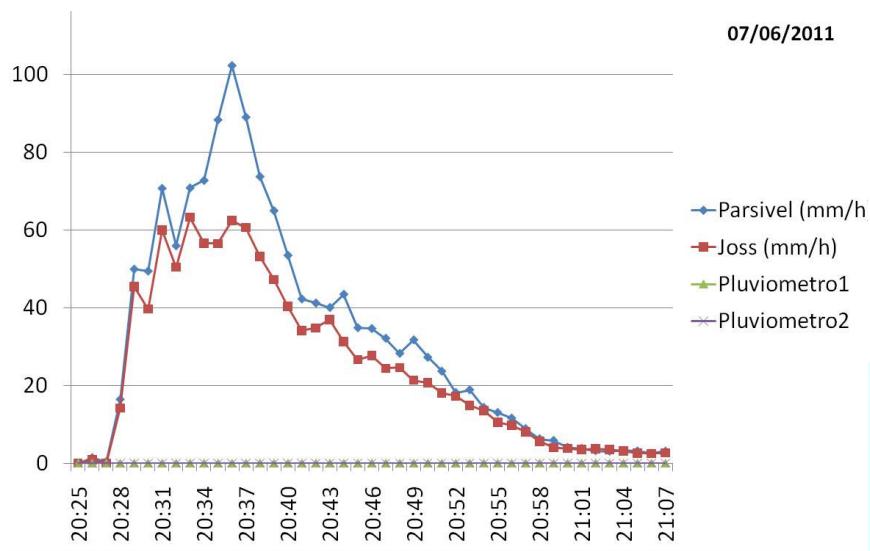


4.3 IMPACTO DA TEMPESTADE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

A taxa de precipitação estimada pelos disdrômetros Parsivel e Joss foi de até 100 mm/h e 60 mm/h, respectivamente, caracterizando a chegada da tempestade na região de Belémem torno das 20:30 UTC (Figura 9). Neste dia, os pluviômetros instalados em Outeiro não gravaram os dados. Verifica-se, também, que a passagem deste sistema convectivo em Outeiro provocou uma queda da temperatura da ordem de 4°C e na umidade do ar de aproximadamente 5%, indicando que a chegada desta tempestade sobre o local ocasionou o resfriamento e o aumento da umidade relativa do ar junto à superfície (Figura 10).

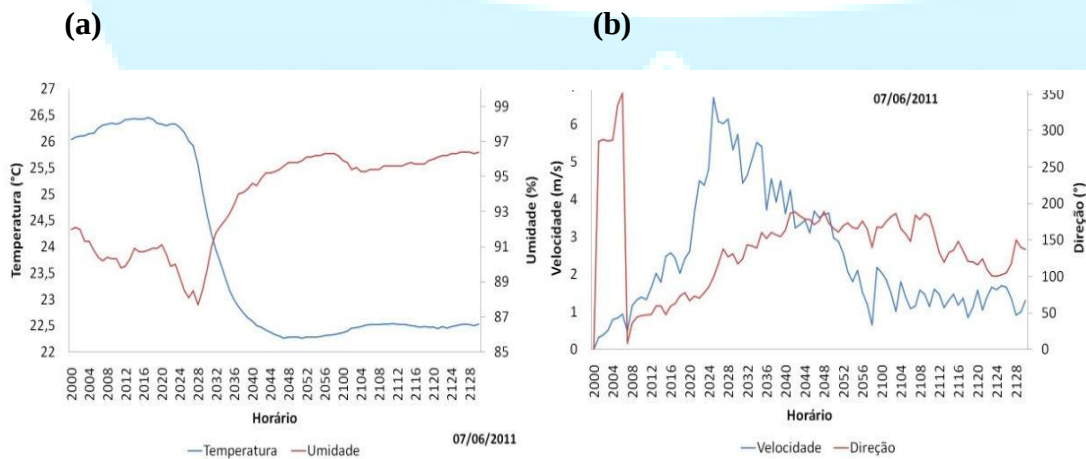
A distribuição da velocidade do vento mostra uma frente de rajada que antecedeu a chegada da tempestade e cuja origem estaria associada às correntes descendentes que trazem o ar mais frio e seco dos níveis acima. (Figura 10b). A passagem desta tempestade também promoveu uma mudança na direção do vento que, antes da passagem, tinha uma componente predominante de norte, passando a ser de sul após a passagem na região de Outeiro.

Figura 9 - Taxa da precipitação estimada pelos disdrômetro parsivel, joss e por pluviômetros instalados no sítio de Outeiro durante a passagem da célula convectiva.



Fonte: INPE/CPTEC (2013)

Figura 10 – (a) Comportamento da temperatura e umidade relativa e (b) do vento durante a passagem da convecção em Outeiro.



Fonte: INPE/CPTEC (2013)

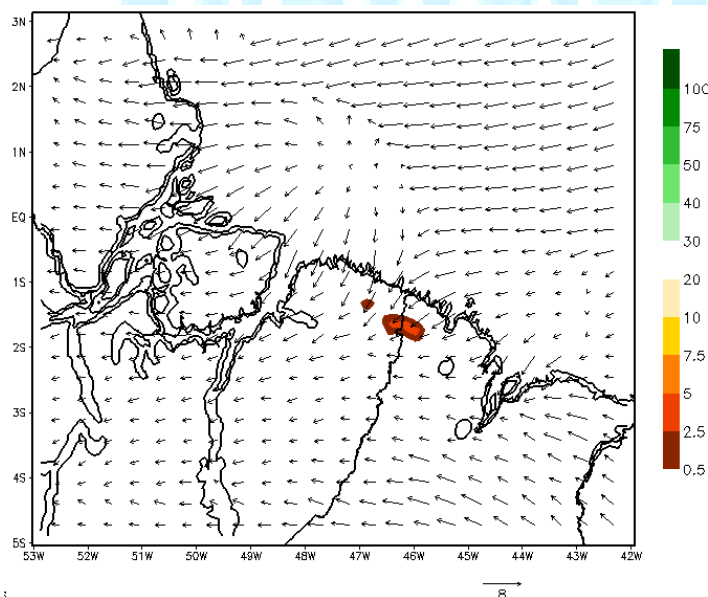
4.4 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

4.4.1 Estrutura Horizontal

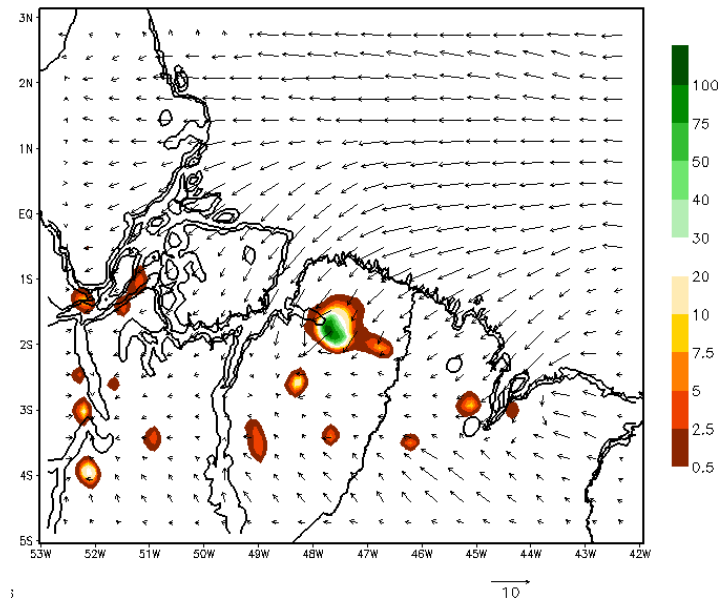
A Figura 11 apresenta a taxa de precipitação e o vento no nível de 76,8 metros de altura, quando o sistema estava chegando na região de Belém, às 23:30 UTC. Observa-se que a simulação numérica capturou o desenvolvimento da tempestade desde a sua formação, no Maranhão, até sua dissipação no estado do Pará, sendo que sua chegada à região de Belém ocorreu com três horas de atraso em relação ao observado. O vento foi predominantemente de nordeste ao longo da costa paraense, entrando rio adentro através do lado leste da ilha do Marajó. Chama a atenção a taxa de precipitação gerada quando a convecção estava na região de Belém, da ordem de 100 mm/h, isto é, comparável ao encontrado pelo disdrômetro Parsivel (Figura 9).

Figura 11 - Vento horizontal (m/s) no nível de 24.4 metros e taxa de chuva obtida através da microfísica de nuvem (mm/h): (a) no início da formação da célula convectiva (07 de junho de 2011 às 18 UTC). (b) Desenvolvimento da célula convectiva sobre a região de Belém (07 de junho de 2011 às 23:30 UTC).

(a) 07 de junho de 2011 às 18:00 UTC



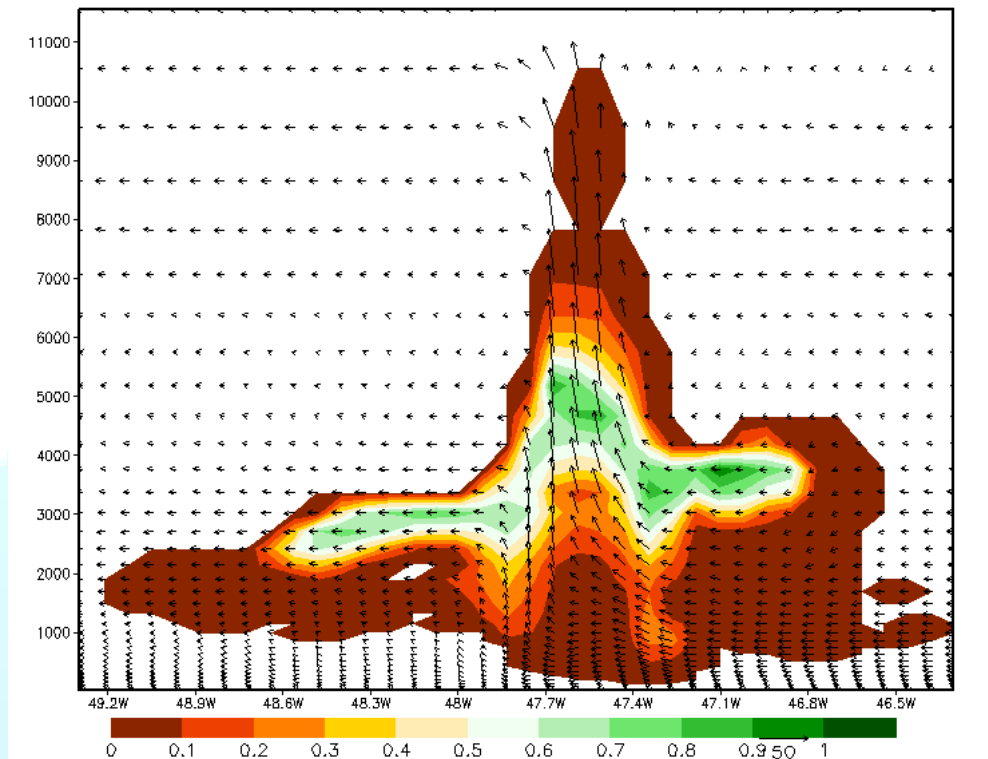
(b) 07 de junho de 2011 as 23:30 UTC



4.4.2 Estrutura Vertical

A Figura 12 mostra o perfil vertical do condensado e do vento zonal, com o vento vertical encontrado através do BRAMS. Aqui se observa a estrutura da tempestade semelhante àquela observada no radar (Figura 6). O topo da tempestade atingiu 10 km, enquanto que o observado foi de 13 km. Por outro lado, observa-se que a região mais ativa desse sistema esteve localizada até o nível de 5 km, como observado nos dados do radar (Figura 6).

Figura 12 - Perfil vertical do vento horizontal (m/s) e vertical multiplicado por 10 (vetor) e razão de mistura da nuvem (g/kg) na latitude de 01.889°S no 07 de junho de 2011, às 23:30 UTC.



GEOCIÊNCIAS
U F P A

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi estudar o desenvolvimento de uma tempestade que se originou na região noroeste do estado do Maranhão e se propagou para oeste, até atingir a cidade de Belém do Pará. Este estudo foi baseado nos dados coletados durante a campanha do Projeto Chuva, em Belém, e nos resultados de uma simulação com o modelo BRAMS, apresentando como principais conclusões o seguinte:

- O escoamento de grande escala mostrou um centro de máxima velocidade do vento sobre o nordeste brasileiro, cuja direção foi sudeste-nordeste, coincidente com a direção de propagação da célula convectiva formada no Maranhão, que atingiu a região de Belém como uma tempestade severa, causando significativos estragos materiais à população da capital paraense.
- A passagem dessa tempestade na área experimental do Projeto Chuva permitiu mostrar a queda de temperatura e aumento da umidade, aquela associada às correntes verticais descendentes que trazem o ar mais frio e seco dos níveis médios.
- A simulação numérica dessa tempestade mostrou-se compatível aos resultados observados, destacando-se taxa de chuva intensa, máxima intensidade da tempestade localizada até o nível de 5 km, queda da temperatura e aumento da umidade do ar com a passagem da tempestade em Belém. Portanto, ainda que a resolução horizontal desta simulação tenha sido de 9 km, foi possível acompanhar o desenvolvimento desta célula convectiva, da mesma forma que a taxa de chuva gerada pelo modelo esteve próximo ao observado pelos disdrômetros.
- Constatou-se que a tempestade estudada revelou-se uma supercélula, uma vez que suas características físicas e dinâmicas preencheram os principais requisitos típicos dessa classificação: tempestade isolada, presença de nuvens mamatus, fortes correntes de rajadas, zonas de intensa precipitação e mudança na direção do vento predominante.

REFERÊNCIAS

- CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. *Influências da circulação da escala sinótica na circulação da brisa marítima na costa N-NE da América do Sul*. 1982. (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, (INPE-2573-PRE/221), São José dos Campos, 1982.
- COTTON, W.R. *Storms*. Colorado: Aster Press, 153p. v.1. Geophysical Science Series, 1990.
- COTTON, W. R. RAMS. Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v.82, p.5–29. 2003.
- COTTON, W. R.; ANTHES, R.A. *Storm and cloud dynamics*. San Diego: Academic Press, 1989. 883 p.
- DAVIES, J. *Tornado dynamics. Thunderstorm morphology and dynamics*. 2a ed, Ed.E.Kessler, University of Oklahoma Press, 1986. 197-236.
- FIGUEROA, S.N; NOBRE, C.A. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise*, v.5, n.6, p. 36-45. 1990.
- FITZJARRALD, D. R.; R. K. SAKAI.; O. L. L. MORAES.; R. C. de OLIVEIRA.; O. C. ACEVEDO.; M. J. COHEN.; T. BELDINI. Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *Journal of Geophysical Research G: Biogeosciences*, v.114, p.1, 2008.
- GRECO, S.; SWAP, R.; GARSTANG, M.; ULANSKI, S.; SHIPHOM, M.; HARRIS, R.C.GRECO, S.; SCALA, J.; HALVERSON, J.; MASSIE JR, H.L.; GARSTAN, M. Amazon coastal squall lines. part II: heat and moisture transports. *Monthly Weather Review*, v.122, n.4, p.623-635. 1994.
- HARRINGTON, J. Y. *The effects of radiative and microphysical processes on simulated warm and transition season Arctic stratus*, Colorado State University, 1997.
- HARRIS, R. C. The Amazon Boundary Layer Experiment (ABLE 2A). Dry season. *J. Geophys. Res.*, v.93, p.1351-1360. 1988.
- HOUZE, R.A. Mesoscale convective systems. In: HOUZE RA. *Cloud Dynamics*. [S.l.]: Academic Press Inc, 1993. .v, 53, p. 334-404.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE/CPTEC). *Boletim Meteorológico*. Disponível em: <http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/belem/br/relatorio.html>. 2013. Acesso em 02.02.2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE/CPTEC). Comportamento da temperatura. Disponível em: <http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/belem/br/relatorio.html>. Acesso em 10.01.2013.
- LONGO, M. *Balanço de vorticidade horizontal associado a um sistema convectivo de Meso-escala na Amazônia*. 2003. p.5. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, USP, SP, 2003.

LOUIS, J. F. A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere, *Boundary-Layer Meteorology*, v.17, p.187–202. 1979.

MASTER IAG/USP. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br>>. Acesso em 02.02.2013.

MACHADO, L.A.T.; ROSSOW, W.B. Structural radiative and characteristics of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, v.121, n.12, p. 3234-3260. 1993.

MACHADO, L. A. T. et. al. Life cycles variations of mesoscale convective systems over the Americas. *Monthly Weather Review*, v. 128, n.6, p. 1630-1654. 1998.

MADDOX, R.A. Mesoscale convective complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 61, n. 14, p. 1374-1387. 1980.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. A Hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v.31, p.1791–1806, 1974.

MOTA, G. V. *Characteristics of Rainfall and Precipitation Features Defined by the Tropical Rainfall Measuring Mission over South America*. Tese de Doutorado. Department of Meteorology, University of Utah, Utah, EUA, p.215, 2003.

OLIVEIRA, L. L.; NEVES, D. G.; CUNHA, A. C.; JESUS, E. S.; AMANAJÁS, J. C.; MARQUES, A. D. Análise da precipitação pluviométrica e do número de dias com chuva em Calçoene localizado no Setor costeiro do Amapá. In: WORKSHOP ECOLAB, 8., 2007, Macapá-AP. *Boletim de Resumos Expandidos*, Macapá-AP, 2007.

ORLANSKI, I. A Rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.56, n. 5, p.527-530. 1975.

PIELKE, R. A. A Comprehensive meteorological modeling system—RAMS. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v.49, p.69–91. 1992.

SILVA, M. S. *Características da precipitação na Amazônia utilizando dados de Superfície e do Satélite TRMM*. 2003. 79f. Dissertação (Mestrado) - CCEN/UFAL, Depto. de Meteorologia, 2003.

SILVA DIAS, M.A.F. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p. 133-150. 1987.

SILVA DIAS, M. A. F. A Case study of Convective Organization into Precipitating Lines on Southwest Amazon during the WETAMC and TRMM-LBA. *Journal of Geophysical Research*, v.107, p.8078. 2002.

TALBOT, R.; ANDREAE, M.O.; ARTAXO, P. Rainfall and surface kinematic condition over central Amazonia during ABLE-2B. *Journal of Geophysical Research*, v.95, n.D10, p.17001-17014. 1990.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre - RS, Editora da Universidade/ABRH, 1997. 450 p.

VELASCO, I.; FRITSCH, J.M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal Geophysical Research*, n.92, p. 9591-9613. 1987.

VILA, D.A. *Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre Sudamerica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada (Rainy mesoscale convective systems over South America: Life cycle and the associated large scale environment)*. 132 f. Tese (Doctorado en Meteorología) - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 2004.

WALKO, R. L. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. *Journal of Applied meteorology*, v.39, p.931–944, 2000.

WALKO, R. L.; COTTON, W. R.; FEINGOLD, G.; STEVES, B. Efficient computation of vapor and heat diffusion between hydrometeors in a numerical model. *Atmospheric research*, v.53, p. 1-3, p.171–183. 2000.

YOSHIDA, M. C. *Estudo de células convectivas em Rondônia durante o experimento WETAMC-LBA/TRMM*. 2002. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia) -INPE 16238 -TDI/1554, SP, 2002.

