



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANA CLÁUDIA SILVA AZEVEDO**

**ESTUDO DE CASO EVENTO EXTREMO DE PRECIPITAÇÃO OCORRIDO NO  
ESTADO DE RONDÔNIA DIA 17 DE OUTUBRO DE 2002**

**Nº: 283**

**BELÉM-PA**

**2010**

**ANA CLÁUDIA SILVA AZEVEDO**

**ESTUDO DE CASO EVENTO EXTREMO DE PRECIPITAÇÃO OCORRIDO NO  
ESTADO DE RONDÔNIA DIA 17 DE OUTUBRO DE 2002**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado a Faculdade de Meteorologista do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.  
Orientador: Prof. José Danilo Costa Souza Filho

**BELÉM-PA**

2010

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

---

994e      Azevedo, Ana Cláudia Silva  
            Estudo de caso evento extremo de precipitação ocorrido no  
            Estado de Rondônia dia 17 de outubro de 2002 / Ana Cláudia Silva  
            Azevedo; Orientador: José Danilo Costa Souza Filho – 2010  
            33 f. : il.

            Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
            Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de  
            Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período  
            de 2010.

            1. Precipitação. 2. Índices de instabilidade. 3. Sistema frontal.  
            I. Souza Filho, José Danilo Costa, *orient.* II. Universidade Federal  
            do Pará. III. Título.

CDD 20° ed.: 551.5772

BELEM-PA

2010

---

**ANA CLÁUDIA SILVA AZEVEDO**


**ESTUDO DE CASO EVENTO EXTREMO DE PRECIPITAÇÃO OCORRIDO NO  
ESTADO DE RONDÔNIA DIA 17 DE OUTUBRO DE 2002**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado a Faculdade de Meteorologista do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

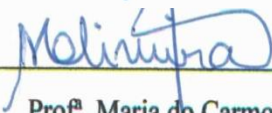
Conceito: \_\_\_\_\_

Banca examinadora:



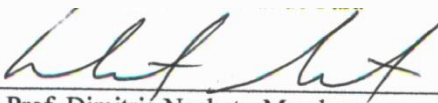
---

Prof. José Danilo Souza Filho - Orientador  
Mestre em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Maria do Carmo Felipe de Oliveira - Membro  
Mestre em Meteorologia Agrícola  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Dimitrié Nechet - Membro  
Especialista em Meteorologia Tropical  
Universidade Federal do Pará

Dedico a meu pai e minha mãe, meus  
grandes incentivadores.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por estar sempre ao meu lado me guiando em todos os momentos da minha vida e pela a oportunidade que me deu para adquirir mais conhecimento. Ele é o meu refugio e fortaleza.

Aos meus pais, Rozimiro Azevedo e Darlene Azevedo por todo o apoio e compreensão durante esta jornada, por estarem ao meu lado dando ensinamentos valiosos e toda lutar por minha educação.

Ao meu orientador e professor, Danilo Filho, pela a sua ajuda e compreensão em momentos difíceis, apoio, paciência, incentivo e importantes ensinamentos.

Aos meus familiares e amigos, assim como meus irmãos Danielle e Rosivan, por estarem sempre prontos a me ajudar no que for preciso e ao Messias pela sua paciência e incentivo.

A todos os professores do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Pará, que muito contribuíram para minha formação, em especial o professor Dimitrie Nechet pela sua sempre boa vontade nas horas de grandes dúvidas.

A todas as amizades conquistadas ao longo do curso de Meteorologia, em especial a minha turma de 2007 e a Amanda Nascimento, Letícia Rodrigues e Pâmela Áliva pelo companheirismo e amizade sincera.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

Foi utilizados dados do projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) para o estado de Rondônia, região Norte do Brasil no município de Ji Paraná na Lat.  $10^{\circ} 76' S$ , Long.  $062^{\circ} 36' W$  em Alt. 292 m, local do experimento, no sudeste da Amazônia, realizado para o dia 17/10/2002. Para o estudo de caso foram coletados dados meteorológicos de superfície e altitude como pressão, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, precipitação, índices de estabilidade da atmosfera, imagens de satélite e radiossonda. O sistema frontal que atingiu a área do experimento no dia 17/10/2002 favoreceu a formação de nuvens convectivas, variação da temperatura e umidade relativa e uma forte precipitação, em uma curta duração. Os índices de instabilidade das sondagens das 1800UTC e 2100UTC mostraram, com antecedência, a probabilidade de ocorrência de Complexos Convectivos de Mesoescala. As imagens de satélite mostraram, com clareza, o sistema frontal sobre a região, 10 minutos antes do evento de precipitação, que ocorreu entre 16:30 e 17:10 hora local, com um total de 31,4 mm ocorreram rajadas de ventos de  $13,2 \text{ m s}^{-1}$ . A pressão subiu e desceu em 30 minutos, com amplitude de 3,6 hPa. Entre 16:00 e 16:40 hora local, a amplitude da temperatura foi de  $8,9^{\circ} C$ , terminando com resfriamento. Isso mostrou a dinâmica atmosférica da área em estudo (município de Ji Paraná) a ação de um sistema frontal, na formação de Complexos de Mesoescala.

Palavras Chaves: Precipitação. Índices de instabilidade. Sistema frontal

## ABSTRACT

It was used data from the LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere in the Amazonian) for the state of Rondônia, North area of Brazil at district of Ji Paraná at Lat.  $10^{\circ} 76' S$ , Long.  $062^{\circ} 36' W$  and Alt. 292 m, place of the experiment, in the Southwest of the Amazonian, accomplished for the 17/10/2002. Study case meteorological data of surface and altitude were collected as pressure, temperature of the atmosphere, satellite images and radiosonde. The frontal system that reached the area of the experiment on the 17/10/2002 favored the formation of convective clouds, variation of the temperature and relative humidity and a strong precipitation, in a short duration. The indexes of instability of the surveys of 1800UTC and 2100UTC showed, in advance, the probability of occurrence of Mesoscale Convective Complex. Images of satellite showed, with clarity, the front system on the area, 10 minutes before the precipitation event, that happened between 16:30 and 17:10 local time, with a total of 31,4 mm happened bursts of winds of 3,6 hPa. Between 16:00 and 16:40 local time, the width of the temperature was of 8,9 °C, finishing with cooling. That showed the atmospheric dynamics of the area in study (at Ji Paraná district) the action of a front system, in the formation of Mesoscale Convective Complex.

Key words: Precipitation. Instability Index. Frontal System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01-	Mapa do estado de Rondônia com a localização do município de Ji Paraná	18
FIGURA 02-	Precipitação horária (2a) e Umidade relativa do ar (2b) para o dia 17/10/02	23
FIGURA 03-	Variação da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) na superfície no dia 17/10/02	24
FIGURA 04-	Variação da Pressão ao NMM na superfície no dia 17/10/02	25
FIGURA 05-	Comportamento da Velocidade (5a) e da Direção do vento (5b)	26
FIGURA 06-	Seqüência de imagens do satélite meteorológico GOES-8, do dia 17/10/02, as 18:10(a), 19:39(b), 20:39(c) e 21:10(d)	28
FIGURA 07-	Perfil da temperatura do ar e da temperatura do ponto de orvalho para o dia 17/10/02 as 1800(UTC) (a) e 2100(UTC) (b)	30
FIGURA 08-	Perfil vertical da temperatura $\theta$ , $\theta_e$ e $\theta_{es}$ para o dia 17/10/02 as 1800(UTC) (a) e 2100(UTC) (b)	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS- América do Sul

CAPE- Energia Potencial Convectiva Disponível

Cb- Cumulonimbus

CCM- Complexo Convectivo de Mesoescala

CPTEC- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CT- Cross-Total

°C- Graus Celsius

g/Kg- Grama por quilograma

GOES-8- Geostationary Operational Environmental Satellites

ht- Hora Local

hPa- Unidade de pressão em HectoPascal

INPE- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

K- Índice K (Método de Whiting)

K- Graus kelvin

Kt- nós

LBA- Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

LI- Linhas de Instabilidade

m- Metros

mm- Milímetro de chuva ( $1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2$ )

m. s<sup>-1</sup>- metro por segundo

N- Norte

NCL- Nível de Condensação por Levantamento

NE- Nível de equilíbrio

NMM- Nível Médio do Mar

PRP- Precipitação

P- Pressão atmosférica

R- Razão de mistura (g/kg)

*r<sub>s</sub>*- Razão de mistura saturada (g/kg)

SCM- Sistema Convectivo de Mesoescala

S- Sul

TT- Índice Total-Totals

T<sub>L</sub>- Temperatura no Nível de Condensação por Levantamento

$T_k$ - Temperatura absoluta (K)

T- Temperatura

$T_d$ - Temperatura do Ponto de Orvalho

UFPA- Universidade Federal do Pará

UR- Umidade Relativa

UTC- Hora Universal Coordenada

VT- Vertical Total

W- Oeste

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2	DADOS.....	19
3.3	METODOLOGIA.....	19
3.3.1	<b>Descrição dos Índices de Instabilidade</b> .....	18
3.3.2	<b>Cálculo de Parâmetros e Índices Termodinâmicos</b> .....	21
3.3.3	<b>Determinação da Estabilidade nas Sondagens</b> .....	22
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	23
4.1	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE SUPERFÍCIE.....	23
4.1.1	<b>Precipitação e Umidade Relativa do ar</b> .....	23
4.1.2	<b>Temperatura do ar</b> .....	24
4.1.3	<b>Pressão Atmosférica</b> .....	24
4.1.4	<b>Velocidade e Direção do vento</b> .....	25
4.2	ANÁLISE DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	26
4.3	RESULTADOS DOS ÍNDICES DE ESTABILIDADE.....	29
4.4	ANÁLISE DA SEÇÃO VERTICAL DA ATMOSFERA.....	29
4.4.1	<b>Temperatura do ar e Temperatura do Ponto de Orvalho</b> .....	29
4.4.2	<b>Temperatura Potencial(<math>\theta</math>), potencial equivalente(<math>\theta_e</math>) e equivalente saturada(<math>\theta_{es}</math>)</b> .....	30
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	32
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33

## 1 INTRODUÇÃO

A região Tropical em especial a Amazônia é conhecida como região quente e úmida, porem, estas condições, muitas vezes são alteradas por influências de fatores de grande escala, fazendo com que alguns parâmetros meteorológicos sofram acentuadas variações.

A Atmosfera Tropical descansa sobre uma superfície adjacente quente, que favorece o aquecimento de suas camadas mais baixas, produzindo assim, altas taxas de variação vertical de Temperatura.

Esta região esta caracterizada por altas temperaturas e elevados índices pluviométricos, onde as altas temperaturas estão associadas à intensa radiação solar incidente que favorece a acentuada convecção. Devido esta intensa atividade convectiva na região, faz com que a Amazônia não possua as estações do ano bem definidas, mas sim uma época chuvosa (novembro a abril), regionalmente chamada de período chuvoso e outra época seca (maio a outubro), regionalmente chamada de período menos chuvoso.

Os fatores mais importantes na formação desta convecção que ocorre na região Tropical de um modo geral são: Balanço instável, alta taxa de umidade, orografia do local, e a convergência do vento, quando há combinação desses fatores, a instabilidade de intensidade variada da origem a vários tipos de convecção.

Os principais sistemas meteorológicos atuantes na Amazônia que podem causar possíveis condições de tempo severo são: o encontro dos alísios provenientes das altas subtropicais, as penetrações de sistemas frontais, as linhas de instabilidade, e as manifestações de tempo de meso-escala que comumente se origina devido o aquecimento diferencial da superfície terrestre (LUCAS, E. W. M, 2004).

Segundo Cohen, (1989); os principais sistemas responsáveis por ocorrência de precipitações intensas na Região Norte do Brasil são as linhas de instabilidade e os aglomerados convectivos. Diversas pesquisas têm sido realizadas para prever e estudar os sistemas que em muitos casos não são detectados pelos métodos convencionais de analise e previsão do tempo e ainda não são bem conhecidas as suas características formadoras.

Os Complexos Convectivos necessitam de uma determinada quantidade de energia disponível, para que ocorra a convecção. Alguns índices foram desenvolvidos para se medir a suscetibilidade de um perfil de temperatura e umidade. Um desses índices é o CAPE (Energia Potencial Convectiva Disponível), que pode ser obtido por uma integral vertical, sendo um bom parâmetro de medida da instabilidade vertical.

Este trabalho tem como objetivo descrever a variação de alguns elementos de superfície, avaliar os índices de instabilidade e realizar a descrição termodinâmica da atmosfera quando da aproximação de uma célula convectiva que se formou no município de Ji-Paraná no Estado de Rondônia no dia 17 de outubro de 2002, para compreender a dinâmica da atmosfera, uma vez que além das análises a cerca das características da atmosfera, deve-se levar em consideração, os episódios extremos de estiagem, enchentes, vendavais e etc., para melhores resultados do estudo de caso.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e que apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, possuem formas variadas (HOUZE, 1993). Podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares. As definições são baseadas sobre características observáveis em imagens de satélite (MADDOX et al. 1983) devido às grandes escalas possíveis de serem cobertas desde os satélites.

Segundo Maddox (1980), os CCMs são definidos como sendo um conjunto de nuvens cumulonimbus (Cb) frias e espessas que apresentam forma circular e crescimento vertical num intervalo de tempo entre 6 a 12 horas e associam-se a eventos com precipitação intensa e fortes rajadas de vento (SILVA DIAS, 1996).

Eventos extremos acontecem em todo o Brasil, sendo que os registros de episódios são tão variados que abrange de estiagens até as enchentes, tempestades que geram fortes vendavais, precipitação de granizo e tornados. (HERRMANN, 2001; KOBAYAMA et al., 2006).

Os CCMs foram reconhecidos inicialmente na região central dos Estados Unidos. No entanto, muitos estudos surgiram em várias regiões do planeta relatando a ocorrência desses sistemas, inclusive em latitudes médias na América do Sul (AS). Ainda hoje, apesar dos avanços na meteorologia, os CCMs são de difícil previsibilidade, já que os eventos não estão associados a nenhum tipo de sistema meteorológico, como frentes frias ou linhas de instabilidade. Sua gênese e desenvolvimento são resultantes da umidade disponível na atmosfera, em baixos níveis; da circulação do ar superior, em altos níveis; e da circulação local (MADDOX, 1980).

A grande maioria dos trabalhos que abordaram os aspectos de formação de CCM (Complexo Convectivo de Mesoescala), em particular sobre a América de Sul, foi direcionada àqueles que, comumente, se observa no Norte da Argentina, Paraguai e no sul do Brasil (DUQUIA; SILVA DIAS, 1994; GUEDES, 1985; MACHADO et al., 1994; SCOLAR; FIGUEIREDO, 1990). Esses pesquisadores observaram que os CCM's subtropicais ocorrem, preferencialmente, durante os meses de primavera e verão no Hemisfério Sul, formando-se no período noturno, com ciclo de vida de 10 a 20 horas.

A evolução e manutenção dos CCMs ainda não são bem conhecidas, principalmente os aspectos dinâmicos da atmosfera associados a este sistema. O formato circular dos CCMs, segundo Maddox (1980) indica a predominância de circulações de mesoescala convectivamente geradas e segundo Cotton et al. (1989) e Rocha (1992) seria o resultado da presença de uma região onde a vorticidade é ciclônica em baixos níveis, e anticiclônica em altos níveis.

Molion (1987) estudou as circulações de macro e meso-escala e os processos dinâmicos que atuam na região Amazônica e promovem precipitação nesta região. O autor classificou estes mecanismos em grupos: (a) convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de grande escala favorável; (b) linhas de instabilidade originadas na costa norte-nordeste do litoral do Atlântico; (c) aglomerados convectivos de grande e mesoescala, associado com a penetração de sistemas frontais da região sul-sudeste do Brasil que interagem com a região.

Os principais sistemas meteorológicos atuantes na Amazônia que podem causar possíveis condições de tempo severo são: o encontro dos alísios provenientes das altas subtropicais, as penetrações de sistemas frontais, as linhas de instabilidade, e as manifestações de tempo de meso-escala que comumente se origina devido o aquecimento diferencial da superfície terrestre.

Segundo Cohen, (1989); os principais sistemas responsáveis por ocorrência de precipitações intensas na Região Norte do Brasil são as linhas de instabilidade e os aglomerados convectivos. Diversas pesquisas têm sido realizadas para prever e estudar os sistemas que em muitos casos não são detectados pelos métodos convencionais de análise e previsão do tempo e ainda não são bem conhecidas as suas características formadoras.

Segundo Ludlam (1966) a convecção é iniciada quando há quantidade suficiente de umidade, mecanismo dinâmico de levantamento de parcelas e fonte de energia inicial (aquecimento gerado devido a radiação). A quantidade de núcleos de condensação e a fonte de energia juntas corresponde a forçante termodinâmica, e o mecanismo dinâmico de levantamento de parcelas é a forçante mecânica.

A forçante termodinâmica requer uma escala temporal de horas para a formação de nuvens precipitante. Isto é, o aquecimento devido à radiação durante o dia produz instabilidade próximo a superfície, que com a grande quantidade de umidade presente na região, forma nuvens convectivas e a chuva ocorre no período da tarde ou início da noite. A

forçante mecânica (dinâmica) pode produzir convecção úmida e precipitação independente do estado termodinâmico da atmosfera, onde o ambiente pode até mesmo estar estável, pois o mecanismo dinâmico levanta as parcelas de ar que atingem o nível de condensação (base da nuvem) formando as nuvens precipitantes, e isso pode ocorrer num curto espaço de tempo (MOTA; NOBRE, 2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Rondônia fica na região Norte do Brasil, localizada a  $010^{\circ} 76' S$  de latitude, e  $062^{\circ} 36' W$  de longitude e altitude de 292 m. O município de Ji Paraná (Fig. 01) local onde foi coletado os dados utilizados neste trabalho está localizado na porção centro-leste do estado, localiza-se a uma latitude  $10^{\circ} 53' 07'' S$  e a uma longitude  $61^{\circ} 57' 06'' W$ , e altitude de 170 m. O estado de Rondônia tem um clima equatorial quente e úmido. As penetrações de massas de ar polar na região durante os meses de maio a outubro são comuns e, provoca uma queda significativa na temperatura, fenômeno este conhecido como friagem.



Figura 1- Mapa do estado de Rondônia com a localização do município de Ji Paraná  
Fonte: Mapas (2010).

### 3.2 DADOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados durante o experimento de campo do projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia).

Os dados de superfície, temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade do vento que foram coletados em uma estação automática em intervalos de 1 minuto, a uma altura de 2,5 m do solo para o dia 17 de outubro de 2002, dia em que foi observada a ocorrência de um evento de tempo severo na região. Para identificação e descrição dos sistemas sinóticos que atuaram no dia do estudo, foram utilizadas imagens do Satélite Meteorológico GOES – 8, no canal infravermelho nos seguintes horários: 18:10, 19:39, 20:39, 21:00 UTC

Foram utilizados dados de radiossondagens, realizadas as 18 e 21:00 UTC no dia 17 de Outubro de 2002, para determinarmos o grau de instabilidade da atmosfera através dos índices de instabilidade e do perfil termodinâmico para o dia em estudo.

### 3.3 METODOLOGIA

#### 3.3.1 Descrição dos Índices de Instabilidade

##### *Índice K (Método de Whiting)*

Muitos pesquisadores têm demonstrado não só empiricamente, mas também fisicamente a importância dos parâmetros relativos ao estudo das trovoadas. O índice K representa uma medida do potencial de tempestades baseado na taxa vertical de variação de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida. O cálculo do Índice K é dado pela seguinte expressão:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

em que:

$(T_{850} - T_{500})$  é o lapse - rate da temperatura entre 850 e 500 hpa.

$Td_{850}$  é a umidade da camada mais baixa, medida pela temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa.

$(T700 - Td700)$  é a extensão vertical da camada úmida, indiretamente mostrada pela depressão psicrométrica em 700 hPa.

O índice  $K$  é número adimensional e é utilizado para o cálculo de trovoadas de massa de ar, este índice atinge valores máximos quando a taxa de variação vertical de temperatura é instável e com alto teor de umidade até o nível de 700 hPa. Para valores maiores que 25, a relação entre o índice e a frequência de tempestade é aproximadamente linear.

O valor de  $K$  que indicam este índice obedece à tabela abaixo.

Tabela (1) – Valores do Índice  $K$  (*Método de Whiting*)

<b>K</b>	<b>condições Atmosféricas</b>
20 – 30	formação de Cb's isolados
25 – 30	formação de Cb's muito esparsos
30 – 35	formação de Cb's esparsos
35 – 40	formação de Cb's numerosos

### ***O índice Total-Totals (TT)***

É utilizado para identificar áreas potenciais com desenvolvimento de tempestades. É o resultado da soma dos índices convectivos Cross-Total (CT) e Vertical Total (VT).

$$TT = CT + VT$$

Assim como o índice  $K$ , a maior limitação do índice  $TT$  é a dependência da umidade em 850 hPa, pois a umidade em baixos níveis pode estar abaixo dessa superfície. Quando a massa de ar é quente e úmida, esses índices dão interpretações semelhantes, mas quando o ar é mais frio e seco o  $TT$  tem melhores resultados por dar um peso maior à presença de ar frio em níveis médios.  $TT$  é calculado com a temperatura no nível de 850 hPa mais a temperatura do ponto de orvalho no nível de 850 hPa menos duas vezes a temperatura no nível de 500 hPa.

$$TOTAL = (TD850 - T500) + (T850 - T500) = T850 + TD850 - 2T500$$

Os valores do índice  $TT$  para convecção são apresentados na tabela:

Tabela 2. Probabilidade de formação tormentas com o Índice  $TT$ .

$TT$	Atividade convectiva
< 44	potencial fraco
44 até 50	tormentas moderadas
50 até 55	tormentas fortes
50 > 55	tormentas muito fortes

### 3.3.2 Cálculos de Parâmetros e Índices Termodinâmicos

Para análise do comportamento termodinâmico da atmosfera foram utilizadas as equações propostas por Betts (1973) e posteriormente modificada por Bolton (1980) para o cálculo dos parâmetros de temperatura potencial ( $\theta$ ), temperatura potencial equivalente ( $\theta_e$ ) e temperatura potencial equivalente saturada ( $\theta_{es}$ ), os quais são definidos a seguir (SOUZA, D. C, 2007).

A temperatura potencial ( $\theta$ ) é a temperatura que uma parcela de ar teria se fosse levada adiabaticamente seca até o nível de 1000 hPa. A equação para o cálculo e dada a seguir:

$$\theta = T_K (1000 / P)^{(0.2854 (1 - 0.28 \times 10^{-3} r))}$$

em que:

$T_K$  é a temperatura do ar em (K).

$r$  é a razão de mistura (g/kg).

$P$  é a pressão atmosférica em hPa.

A temperatura potencial equivalente ( $\theta_e$ ) é a temperatura que uma parcela de ar teria se toda sua umidade fosse condensada por um processo pseudo-adiabático e depois levada adiabaticamente seca até o nível de 1000 hPa. A equação para este cálculo e dada a seguir:

$$\theta_e = \theta \exp (3.376 / T_1 - 0.00254) (r (1 + 0.81 \times 10^{-3} r))$$

em que:

$T_l$  é a temperatura do NCL

A temperatura potencial equivalente saturada ( $\theta_{es}$ ) assume que a parcela no nível que se encontra já esteja saturada, sendo necessário levá-la adiabaticamente seca até o nível de 1000 hPa. A equação para este cálculo é dada a seguir:

$$\theta_{es} = \theta \exp(2.64 r_s / T_K)$$

em que:

$r_s$  é a razão de mistura saturada.

O Nível de Condensação por Levantamento (NCL) é a altura onde a parcela torna-se saturada quando elevada adiabaticamente, a partir do qual pode se formar nuvens.

### 3.3.3 Determinação da Estabilidade nas Sondagens

Uma teoria simples para avaliação de estabilidade na atmosfera é o conhecimento do “método da parcela”. Neste método considera-se que a temperatura de uma parcela varia adiabaticamente conforme é deslocada verticalmente a certa altura de sua posição original. Se, após o deslocamento vertical a parcela tem uma temperatura  $\theta_e$  maior que a temperatura do ambiente  $\theta_{es}$ , significa que a parcela está menos densa (mais quente) e será acelerada para cima, logo a atmosfera estará instável. Entretanto se a parcela após seu deslocamento tem uma temperatura menor que a atmosfera, significa que está mais densa (mais fria) e será desacelerada, tendendo a descer. Na análise de um perfil vertical de temperaturas potenciais, pode-se verificar a estabilidade potencial da atmosfera, e desta forma a possibilidade da formação de nuvens precipitantes. O NCL (Nível de Condensação por Levantamento), que se considera a altura da base de formação de nuvens, é o nível de equilíbrio da parcela (NE), também se considera como o topo da nuvem e a partir deste ponto a temperatura da parcela volta a ser menor do que a do ambiente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – ANÁLISES DAS VARIÁVEIS DE SUPERFÍCIE

Serão analisados nesta seção os parâmetros meteorológicos de superfície para o dia 17 de Outubro de 2002, dia em que foi registrado caso de tempo severo em quase todo o estado de Rondônia. Os parâmetros de superfície, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, pressão, direção e velocidade do vento apresentam um comportamento característico, quando da aproximação e atuação de sistemas convectivos.

#### 4.1.1 Precipitação e umidade relativa do ar

Na Figura 2 mostra a precipitação acumulada e a umidade relativa do ar para o dia em estudo. Foi registrado 31,4 mm de precipitação entre os horários de 16:30 e 17:10 ht (figura 2a). A intensidade da precipitação caracteriza chuva do tipo pancada proveniente de uma nuvem do tipo cumulonimbus.

O comportamento da umidade relativa do ar (figura 2b) mostra com clareza a aproximação do sistema, com um aumento brusco de UR. As 16:11 ht, dezenove minutos antes da precipitação, a UR era de 57,7 % e subiu para 85,5 %.

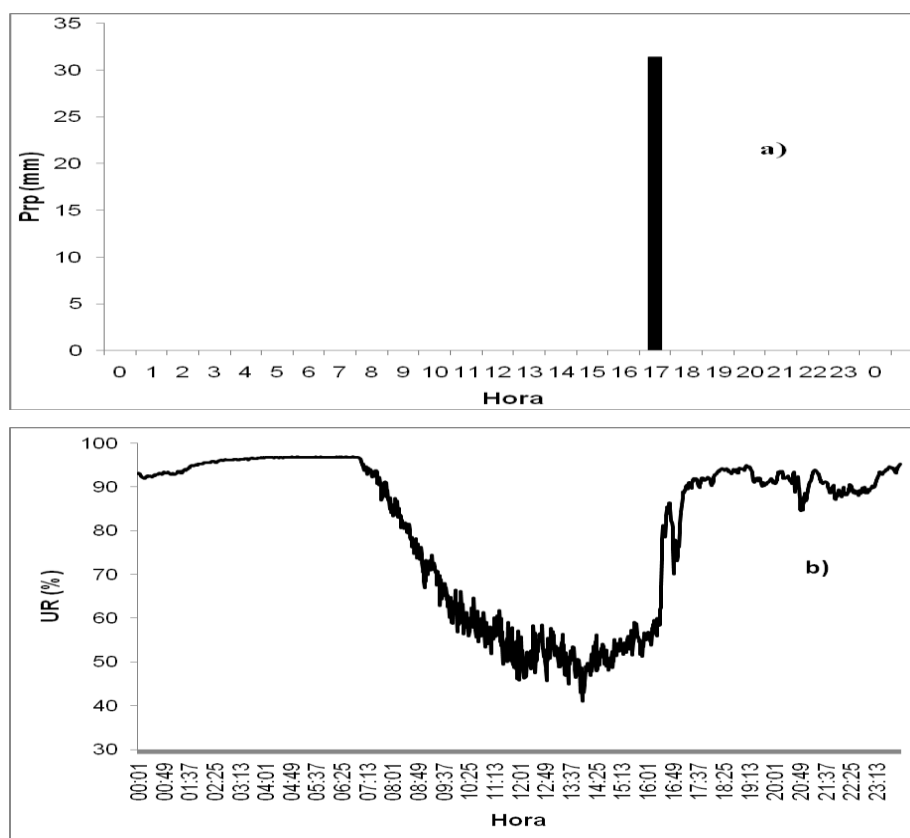


Figura 2 – Precipitação horária (2a) e umidade relativa do ar (2b) para o dia 17 de outubro de 2002.

### 4.1.2 Temperatura do ar

Verificou-se para dia em estudo que nas primeiras horas do dia que a temperatura do ar (figura 3) começa a decair e que pela manhã ela se eleva gradualmente atingindo o valor máximo de 34,2 °C as 13:50 hl. No período da tarde observa-se uma queda brusca de temperatura entre as 16 e 16:40 hl, como amplitude de 8,9 °C. Esse resfriamento foi causado pela corrente descendente e indica a aproximação do sistema convectivo.

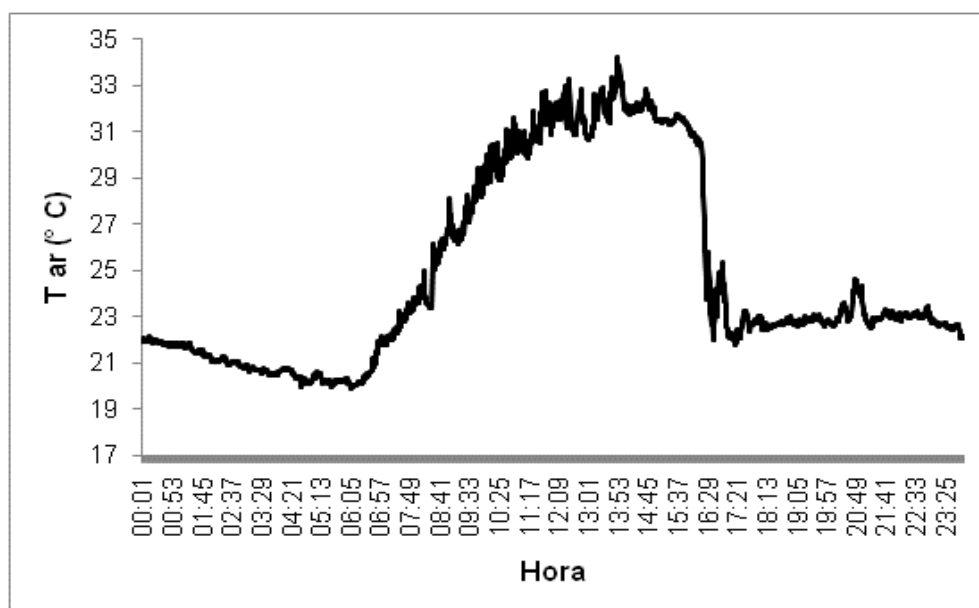


Fig.3 Variação da temperatura do ar (°C) na Superfície no dia 17/10/02.

### 4.1.3 Pressão Atmosférica

A figura 4 mostra o comportamento da pressão atmosférica para o dia em estudo. Observa-se uma queda acentuada entre os horários de 15:10 e 16:15 hl, com amplitude de 3,6 hPa, e subindo logo em seguida. Essa variação de pressão se deu minutos antes de ocorrer a precipitação.

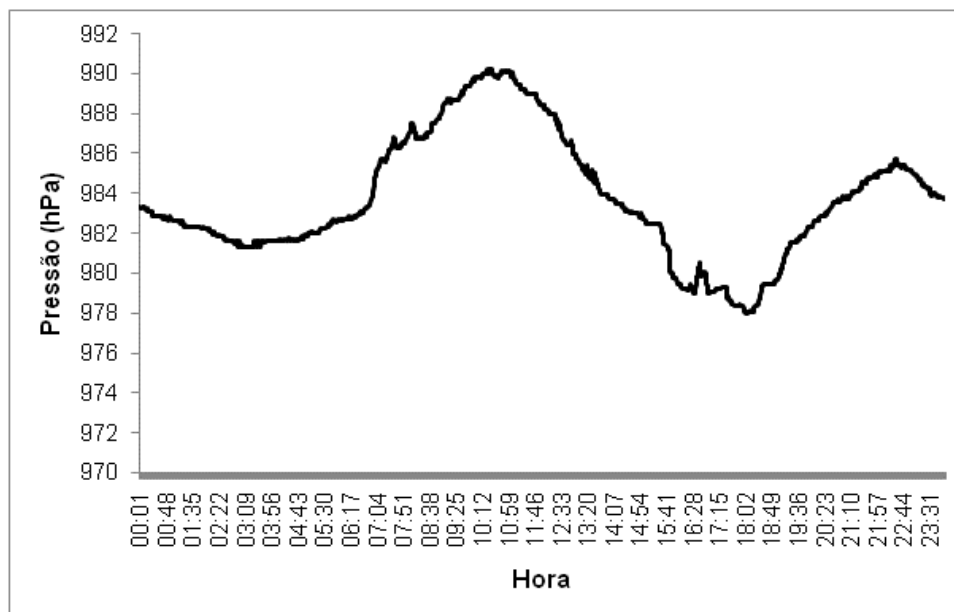


Fig.4 Variação da Pressão ao NMN na Superfície no dia 17/10/2002.

#### 4.4.4 Velocidade e Direção do vento

Foram analisados dados de vento (direção e intensidade), onde observa-se variação na direção do vento (Fig. 5b) de  $282^\circ$  para  $30^\circ$  18 minutos antes de ocorrer a precipitação. A Fig. 5a mostra a velocidade do vento em superfície. As 16:20 ht, 10 minutos antes de ocorrer a precipitação, a velocidade do vento passou de  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  para  $13,2 \text{ m s}^{-1}$  registrando rajadas de vento na região.

O comportamento dos parâmetros de superfície, precipitação, umidade relativa do ar, temperatura, pressão, direção e velocidade do vento indicam com clareza a aproximação e a atuação do sistema convectivo ocorrido no dia 17 de outubro de 2010.

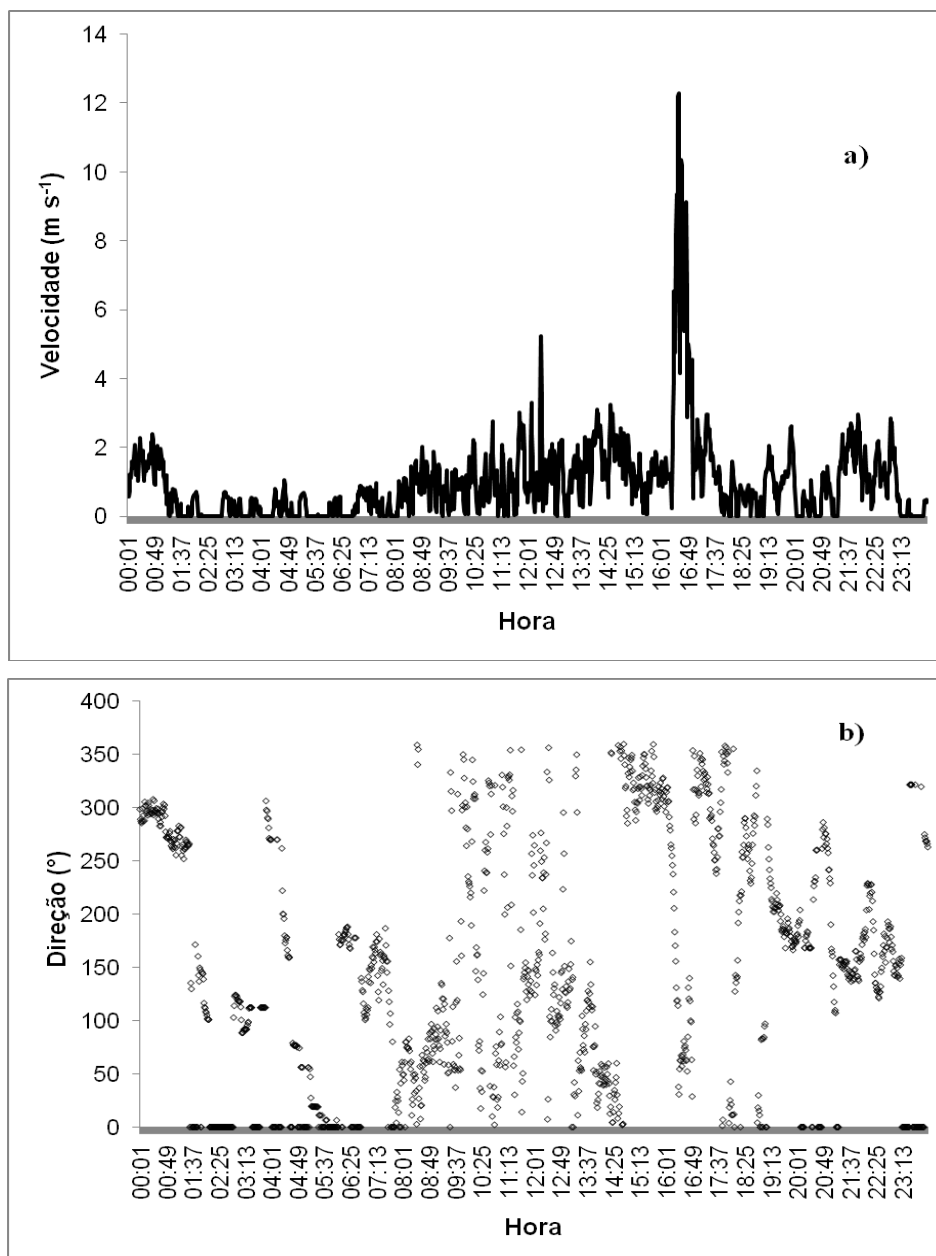


Figura 5 – Comportamento da velocidade (5a) e da direção do vento (5b).

#### 4.2 ANÁLISES DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Foram analisadas imagens de satélite meteorológico GOES-8, no canal infravermelho fornecidas pelo CPTEC para o dia 17/10/2002 às 18:10, 19:39, 20:39 e 21:10 UTC (figura 6), abrangendo a América do Sul. Observa-se a atuação de um sistema frontal no sudeste do Brasil, e sua banda frontal se estendendo até o oeste do Amazonas, atingindo o estado de Rondônia. O sistema frontal, quando alcança essas regiões do Brasil, interage com a convecção natural da região amazônica e tornando a região ainda mais instável.

A imagem das 18:10 UTC (figura 6a) já mostrava formação de células convectivas sobre a região oeste e sudoeste do estado de Rondônia, e as 19:39 UTC (figura 6b) mostrava células convectivas em desenvolvimento e se deslocando para o sul do estado, as 20:39 UTC (figura 6c) essas células se intensificaram aumentando a quantidade de aglomerados, devido o forte aquecimento da superfície e a atuação do sistema frontal. Neste horário foi registrada precipitação intensa na área de estudo, onde foram coletados os dados de superfície e de radiossondagem. Diante das imagens de satélite podemos ver que o sistema frontal presente sobre o sudeste do Brasil influenciou na ocorrência deste sistema meteorológico sobre o norte do país no estado de Rondônia

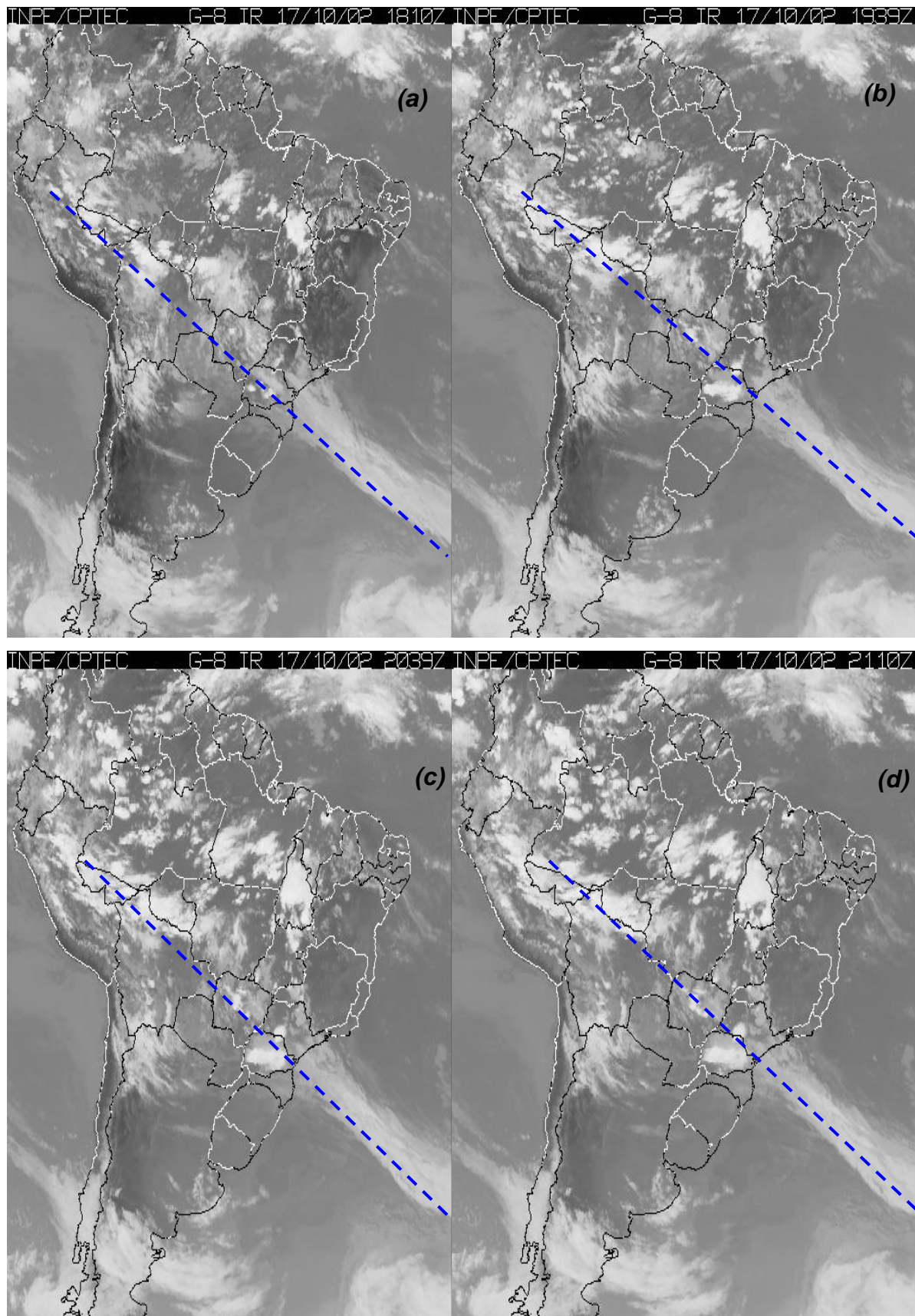


Fig.6. Sequências de imagens do satélite meteorológico GOES-8, do dia 17/10/02, as 18:10 (a), 19:39 (b), 20:39 (c) e 21:10 (d).Fonte: INPE/CPTEC

### 4.3 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE ESTABILIDADE

Índice K (método de Whiting) – Utilizado para o cálculo de trovoadas de massa de ar apresentou as 18:00 UTC o valor de 30,6 o que indica a formação de Cb's esparsos. E as 21:00 UTC apresentou o valor de 38,8 que indica a formação de Cb's numerosos, conforme valores do índice K indicado na Tab.1

O índice Total-Totals (TT) - É utilizado para identificar potenciais áreas com desenvolvimento de tormentas convectivas apresentou as 18:00 UTC o valor de 39,9 que indica potencial fraco, e as 21:00 UTC o valor de 45,4 que indica tempestade moderada, conforme valores do índice indicados na Tab.2.

### 4.4 ANÁLISES DA SEÇÃO VERTICAL DA ATMOSFERA

Com base nas radiossondagens para o dia 17/10/02 das 18:00 e 21:00 UTC, referente ao dia de ocorrência do evento, foram plotadas e analisadas a seção vertical da atmosfera as variáveis meteorológicas: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, temperatura Potencial ( $\theta$ ), Temperatura Potencial Equivalente ( $\theta_e$ ) e Temperatura Potencial Equivalente Saturada ( $\theta_{es}$ ).

#### 4.4.1 Temperatura do ar e Temperatura do ponto de orvalho

Na análise do perfil vertical de T e Td (Fig. 7a) para o de 17/10/2002 às 18:00 UTC (14:00 hl), pode se verificar que as linhas da temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho em 4000 m em torno de 300 hPa estão bem afastadas que indica que há pouca umidade demonstrando que a atmosfera está seca. Mas verificou-se também que em superfície as linhas estavam mais próximas indicando que a atmosfera estava um pouco úmida, o que proporciona a formação de nuvens com potencial fraco, ou seja, pouco densas.

Através do perfil vertical de T e Td (Fig. 7b) do dia 17/10/2002 as 21:00 UTC 17:00 hl, a proximidade de T e Td pode se afirmar que atmosfera estava bastante úmida em baixos níveis e também que houve uma inversão de temperatura em torno de 5000 m entre 600 e 500 hPa, e em altos níveis pode se verificar que em torno de 15000 m aproximadamente 100 hPa as

linhas e T e Td estão bastantes afastadas demonstrando pouca umidade.

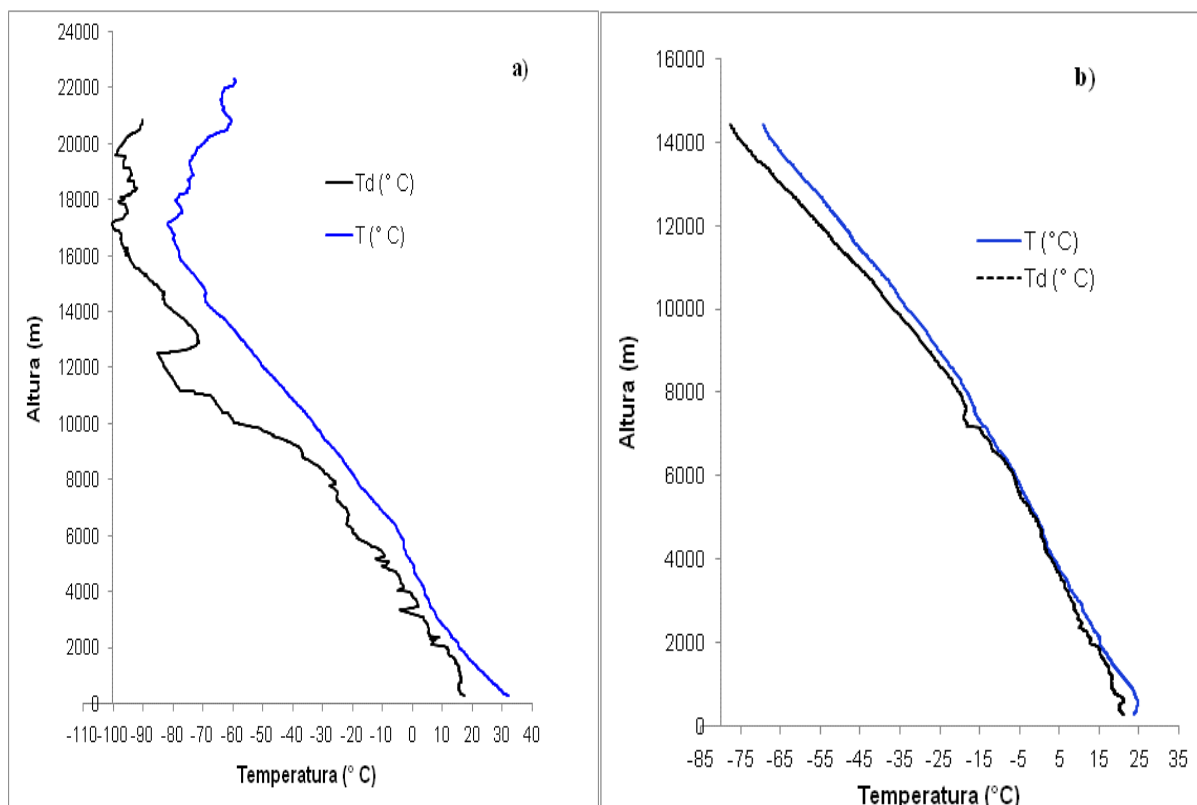


Figura 7 - Perfil da temperatura do ar e da temperatura do ponto de orvalho para o dia 17/10/2002 as 1800 UTC (a) e 2100 UTC (b).

#### 4.4.2 Temperatura potencial ( $\theta$ ), potencial equivalente ( $\theta_e$ ) e equivalente saturada ( $\theta_{es}$ ).

A figura 8 mostra a análise do perfil vertical das temperaturas potencial, potencial equivalente ( $\theta_e$ ) e potencial equivalente saturada ( $\theta_{es}$ ) para o dia em estudo as 18:00 UTC (Fig. 8a), observou-se que a temperatura potencial equivalente estava maior que a temperatura que a envolve, significando que a parcela estava menos densa (mais quente) e sendo acelerada para cima, logo a atmosfera estava instável. A sondagem também apresenta grande área de instabilidade, (área positiva grande) com o NCL em torno de 750 hPa e NE em torno de 500 hPa. , a umidade atmosférica próxima a superfície estava acima de 41 %, com valor médio da razão de mistura em torno de 13 g/kg. Esta quantidade elevada de vapor d'água presente na atmosfera proporciona a formação de cúmulos com pouco desenvolvimento vertical, nas camadas inferiores da troposfera.

A Figura 8b mostra o perfil das temperaturas potenciais para sondagem realizada no

dia 17/10/2002 às 21:00 UTC, analisando os parâmetros termodinâmicos  $\theta$ ,  $\theta_e$  e  $\theta_{es}$  observou-se que a temperatura potencial equivalente estava maior que a temperatura que a envolve, significando que a parcela estava menos densa (mais quente) e sendo acelerada para cima, logo a atmosfera estava instável. Sendo que o NCL(Nível de Condensação por Levantamento) está em torno de 700 hPa e NE(Nível de Equilíbrio) em torno de 350 (hPa) a umidade atmosférica próxima a superfície estava acima de 86 %, com valor médio da razão de mistura em torno de 16,3 g/kg. Esta quantidade elevada de vapor d'água presente na atmosfera proporciona a formação de cúmulos com grande desenvolvimento vertical, nas camadas inferiores da troposfera.

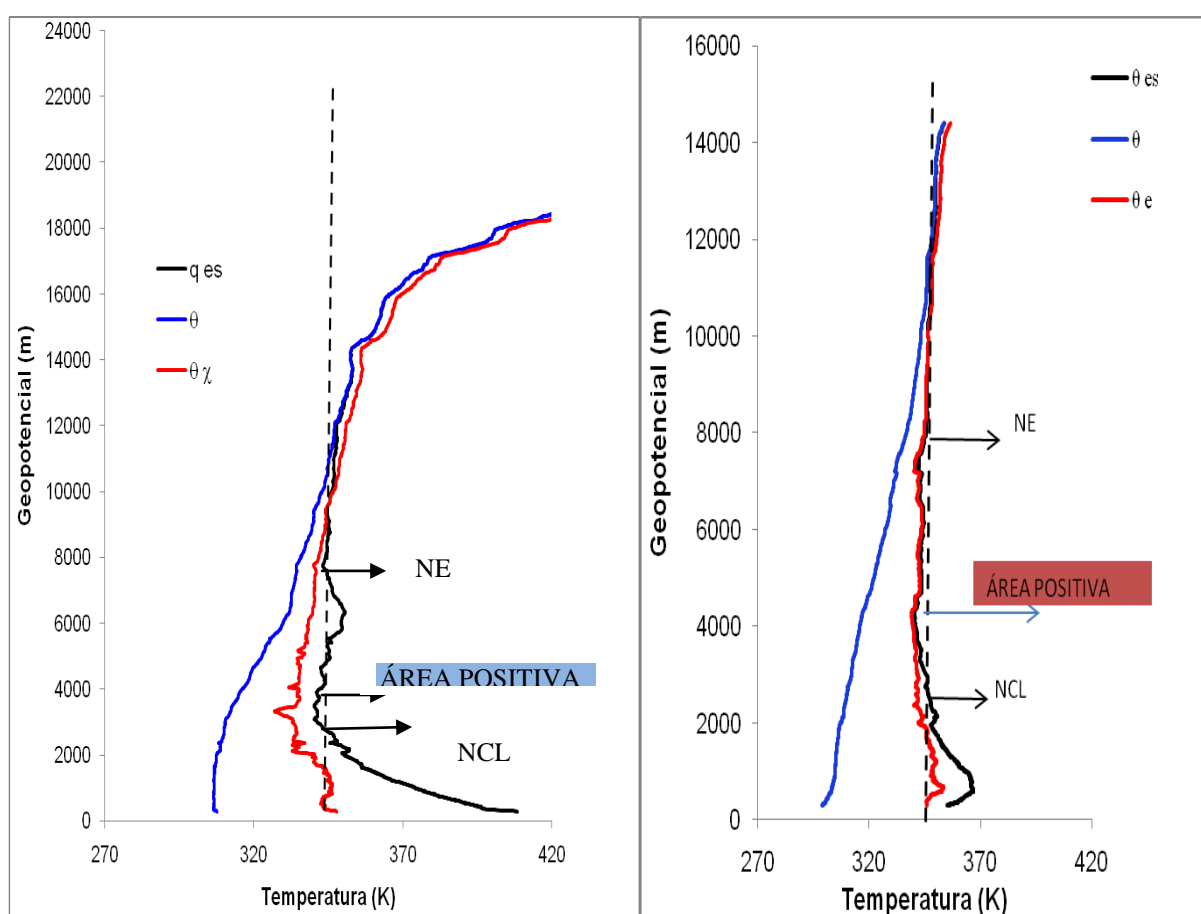


Figura 8 - Perfil vertical da temperatura  $\theta$ ,  $\theta_e$  e  $\theta_{es}$  para o dia 17/10/2002 as 1800 UTC (a) e 2100 UTC (b).

## 5 CONCLUSÃO

Procurando entender o comportamento das variáveis meteorológicas diante da atuação de Complexos convectivos de mesoescala, foi realizado um estudo de caso de tempo severo sobre o estado de Rondônia no município de Ji Paraná no dia 17/10/02, durante um experimento do Projeto LBA, através de dados de radiossonda, superfície e imagens de Satélite.

A análise dos dados em superfície mostra que as variáveis meteorológicas estudadas neste trabalho estavam favorecendo a formação de nuvens convectivas, pois, durante a presença do sistema a temperatura do ar que estava alta diminuiu, a pressão subiu de forma brusca, houve intensificação do vento devido a corrente descendente do ar, a umidade teve um aumento, mostrando a saturação do ar e diante de todos os fatores ocorreu precipitação de curta duração intensa na região.

Os índices de estabilidade na sondagem das 18:00 e 2100 UTC, uma hora antes e depois da atuação do sistema, de um modo geral já indicavam a possibilidade da ocorrência de Trovoada para o dia do evento e áreas com potencial de desenvolvimento convectivo, indicando a forte atividade convectiva presente na região.

As imagens de satélite mostram a presença de um sistema frontal na região sul e sudeste do Brasil, que influenciou na formação de nuvens convectivas, provocando precipitação sobre o estado.

Na análise dos parâmetros termodinâmicos  $\theta$ ,  $\theta_e$  e  $\theta_{es}$ , para antes e depois do evento mostraram que antes a atmosfera estava instável durante o dia estudado, onde o NCL ficou em torno de 750 hPa e que o NE cerca de 500 hPa e que depois, o NCL ficou em torno de 700 hPa e que o NE cerca de 350 hPa, devido ao elevado ciclo de formação de nuvens convectivas, relacionado ao aquecimento diferencial local e à grande quantidade de vapor d'água existente na região.

## REFERÊNCIAS

- COHEN, J. C. P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. 1989. 121f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, maio de 1989 (INPE- 4865 TDL/376).
- COTTON, W. R.; LIN, M. S.; MCANELLY, R. L.; TREMBACK, C. J. A composite model of mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, n. 117, p. 765- 783. 1989.
- DUQUIA, C. G.; SILVA DIAS, M. A. F. Complexo convectivo de mesoescala: um estudo de caso para o oeste do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, 1994. 2, 610-612.
- LUCAS, E. W. M: **Estudo de caso de tempo severo ocorrido em Belém- PA no dia 02 de Abril de 2002**. 2004. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) Universidade Federal do Pará.
- GUEDES, R.L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a Região Central da América do Sul**. 1985. 89f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Meteorologia/USP, São Paulo, 1985.
- HERRMANN, M. L. P. **Levantamento dos desastres naturais causados pelas adversidades climáticas no Estado de Santa Catarina – período de 1980 a 2000**. Florianópolis: IOESC, 2001. 89 p.
- HOUZE JR, R. A. Mesoscale convective systems. In: HOUZE Jr, R. A. (ed.) **Cloud Dynamics**. San Diego, Calif. Academic Press, Inc., v. 53, p. 334-404. 1993.
- LUDLAM, F. H. Cumulus and cumulonimbus convection. **Tellus**, v.18, p. 687 – 698. 1966.
- MADDOX, R. A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in Meteorological data. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1108-1121. 1980.
- MADDOX, R. A. Large scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes. **Mon. Wea. Rev.**, v. 111, n.7, p. 1475-1493. 1983.
- MAPAS. 2010. Disponível em: <<http://www.google.com.br/images>>. Acesso em 12/12/2010
- MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismo de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, p. 107 – 117. 1987
- MACHADO, L. A. T.; GUEDES, R. L.; SILVEIRA, J. M.B.; Waltz, R. C. ; ALVES M. A. S. 1994. Ciclo de vida de sistemas convectivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais**, Belo Horizonte, SBMET, 1994. p.323-326

MOTA, M. A. S.; NOBRE C. Relação da variabilidade da energia potencial convectiva disponível (CAPE) com a precipitação e a alta da Bolívia durante a campanha Wet – AM/LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n. 3b, 132-143. 2006

ROCHA, R. P. **Simulação numérica de sistemas convectivos de mesoescala sobre a Américoado Sul**. 1992. 93f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Meteorologia, IAG/USP, 1992.

SCOLAR, J.; FIQUEIREDO, J.C. Análise das condições sinóticas associadas a formação de Complexos Convectivos de Mesoescala. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., 1990, Salvador. **Anais...** Salvador, SBMET, 1990. p. 455-461.

SILVA DIAS, M. A. F. Complexos convectivos de mesoescala sobre a Região Sul do Brasil. **Climanálise Especial**, n. 1, p. 173-179. 1996.

SOUZA, D. C. de **Estudo observacional do papel da convecção no Leste da Amazônia: relação entre as variáveis termodinâmicas e a precipitação convectiva**. 2007. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal do Pará, 2007.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Florianópolis – SC: Ed. Organic Trading. 2006. v. 1. 124 p.





