



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14049-TDI/1064**

**ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA LIMITE  
CONVECTIVA EM ÁREA DE PASTAGEM, DURANTE O  
PERÍODO DE TRANSIÇÃO ENTRE A ESTAÇÃO SECA E  
CHUVOSA NA AMAZÔNIA (Experimento RACCI-LBA/Rondônia)**

Luiz André Rodrigues dos Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo  
Dr. Gilberto Fernando Fisch, aprovada em 5 de abril de 2005.

INPE  
São José dos Campos  
2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

551.551.2

Santos, L. A. R.

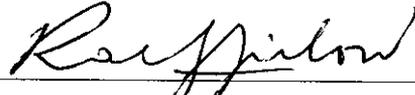
Análise e Caracterização da Camada Limite Convectiva em Área de Pastagem, durante o Período de Transição entre a Estação Seca e Chuvosa na Amazônia (Experimento RACCI-LBA/Rondônia) / Luiz André Rodrigues dos Santos. - São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.

118 p.; - (INPE-14049-TDI/1064)

1.Camada Limite. 2.Aerossóis. 3.Precipitação.  
4.Estrutura Termodinâmica. 5.Microclima. I. Título

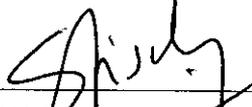
Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Mestre em  
Meteorologia

Dr. Ralf Gielow



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Gilberto Fernando Fisch



Orientador(a) / IAEICTA / SJCampos - SP

Dra. Margarete Oliveira Domingues



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Osvaldo Machado Rodrigues Cabral



Convidado(a) / EMBRAPA / Jaguariuna - SP

Aluno (a): Luiz André Rodrigues dos Santos

São José dos Campos, 05 de abril de 2005



*“O segredo de progredir é começar. O segredo de começar é dividir as tarefas árduas e complicadas em tarefas pequenas e fáceis de executar, e depois começar pela primeira.”*

MARK TWAIN



*A meus pais,  
WILSON e  
NEREIDA SANTOS.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

À Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

À Divisão de Clima e Meio Ambiente pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Ralf, Dra. Margareth e Dr. Osvaldo, pelas sugestões para o melhoramento deste trabalho.

Aos amigos do laboratório Danielle, Mateus, Paulo, Reinaldo, Sylvia, Solange, James e Alessandro, pela amizade e companheirismo demonstrados.

Ao orientador Prof. Dr. Gilberto Fisch pela orientação, apoio e paciência na realização deste trabalho, além do conhecimento e oportunidade de trabalho em uma nova área.

À minha querida Tatiane Felinto, pelo amor e compreensão além da paciência e apoio nas horas de maior dificuldade.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo e por me motivarem à conclusão de Mestrado.

Agradeço a Deus por tudo que tenho e pelas amizades feitas nesta etapa da vida.



## RESUMO

A Camada Limite Convectiva (CLC) em área de pastagem na Amazônia foi estudada através da observação da sua estrutura durante a transição do período seco para o chuvoso com dados do experimento RaCCI. Por meio de estudos de caso, é feita uma análise dos dias com e sem a presença de aerossóis e também, com e sem a presença de eventos de chuvas. Para estas análises são utilizados os dados de superfície e radissonagens feitas em Ouro Preto D'Oeste – RO durante os meses de setembro (Fase I) e outubro (Fase II) de 2002. Os resultados demonstraram que a Fase I apresentou 45% menos precipitação, sendo assim ligeiramente mais quente e mais seca com as maiores amplitudes de temperatura do solo. A CLC na Fase I foi 370m mais alta, 0,4K mais quente e 10% mais seca do que a Fase II, caracterizando-se assim, mais turbulenta e conseqüentemente mais convectiva. A Fase II obteve menor taxa de decaimento às 20:00HL e 04:00HL. Através de uma comparação dos métodos de estimativa da altura da CLC, verifica-se que o Método do Número de Richardson e o Método dos Perfis apresentam coeficientes de correlação ( $r^2$ ) iguais à 0,85 e 0,97, para as Fases I e II, respectivamente, enquanto que o Método das Parcelas apresentou baixos valores de 0,31 e 0,14 para a Fase II, quando comparado com os outros dois métodos. Nos estudos de caso verifica-se que em dias com eventos de chuva, a CLC das 17:00 HL sofreu um forte resfriamento, além de um aumento de 2 g/kg de umidade específica dentro da camada, com uma significativa redução de sua altura, perdendo suas características típicas de CLC. A presença de aerossóis fez com que houvesse um resfriamento da camada nos níveis mais próximos à superfície e um aquecimento no nível de 700m.



**ANALYSIS AND CHARACTERISTICS OF THE CONVECTIVE  
BOUNDARY LAYER IN PASTURE AREAS, DURING THE TRANSITION OF  
DRY TO WET PERIOD IN AMAZONIA  
(RACCI-LBA EXPERIMENT)**

**ABSTRACT**

The Convective Boundary Layer (CBL) in Amazonia was studied by the observation of its structure during the transition from the dry to the wet period. Case studies were also analyzed for days with and without aerosols and, also, with and without rain events. The data-set used was meteorological surface data and radiosoundings at Ouro Preto D'Oeste – RO during September (Phase I) and October (Phase II), 2002. The results showed that the Phase I presented 45% less precipitation, thus slightly drier and with the greater soil temperature variations. The CBL during Phase I was 370 m higher, 0,4 K warmer and 10% drier, consequently more convective and turbulent. Three different methods were compared to determinate the CBL height. The best correlations occurred between the Profile Method and the Richardson Method, with regression coefficients  $r^2$  equal 0.85 and 0.97 for Phases I and II, respectively, while the Parcel Method did not present good correlations when compared with the other methods. Days with rain events presented a great decrease of the CBL at 17:00 LT with an increase of humidity about  $2\text{g kg}^{-1}$  in the layer, thus loosing its CBL characteristics. Days with high aerosols concentrations showed a CBL slightly cooler at surface and a warmer layer at the level of 700 m.



## SUMÁRIO

Pág.

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE SÍMBOLOS**

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>27</b>
2.1 – Aspectos Gerais .....	27
2.2 – Estrutura da Camada Limite Planetária .....	28
2.2.1 – Camada Limite Superficial (CLS) .....	29
2.2.2 – Camada Limite Convectiva (CLC) .....	29
2.2.3 – Camada Residual (CR) .....	30
2.2.4 - Camada Limite Noturna .....	31
2.3 – Resultados Anteriores Obtidos em Rondônia .....	31
<b>CAPÍTULO 3 – DADOS E METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
3.1 – Dados .....	35
3.1.1 – Localização .....	35
3.1.2 – Dados de Altitude .....	37
3.1.3 - Dados de Superfície .....	40
3.2 - Climatologia da Região .....	42
3.3 - Metodologia .....	47
3.3.1 - Análise da Estrutura Termodinâmica da CLC .....	47
3.3.1.1 – Método Subjetivo do Perfil de $\theta$ e $q$ .....	50
3.3.1.2 – Métodos Objetivos .....	51
3.3.2 Análise dos Elementos Meteorológicos de Superfície .....	53

<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
4.1. Análise dos Elementos Climáticos de Superfície .....	55
4.2. Variação dos Parâmetros Médios no Interior da Camada Limite Convectiva .....	64
4.3. Análise Termodinâmica da Atmosfera .....	71
4.4. Comparação dos Métodos de Estimativa da Altura da CLC .....	76
4.5. Análise dos Estudos de Caso da Estrutura da CLC em Dias com e sem a Presença de Aerossóis e Precipitação .....	82
4.5.1. Análise do dia 23/9 (Caso 1) .....	82
4.5.2 – Análise para o dia 28/9 (Caso 2).....	87
4.5.3 – Análise para o dia 17/10 (Caso 3).....	93
4.5.4 – Análise para o dia 23/10 (Caso 4).....	98
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>107</b>
<b>APÊNDICE A - TEMPERATURA E UMIDADE NA CLC</b> .....	<b>111</b>
<b>APÊNDICE B - EVOLUÇÃO DIÁRIA DA RADIAÇÃO SOLAR</b> .....	<b>113</b>
<b>APÊNDICE C - BOLETINS DE ANÁLISE E PREVISÃO DO TEMPO</b> .....	<b>115</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 – Evolução Diária da Camada Limite Convectiva .....	29
3.1 – Localização da Fazenda Nossa Senhora .....	36
3.2 – Foto do sítio experimental .....	36
3.3 – Radiossonda RS80-15G, utilizada na sondagem de ar superior .....	38
3.4 – Imagem do Radar meteorológico da TECTELCOM instalado próximo a Fazenda Nossa Senhora .....	42
3.5 – Total mensal (a) e anomalia de precipitação (b) para setembro de 2002 e total mensal (c) e anomalia de precipitação (d) em outubro de 2002 .....	44
3.6 – Temperatura máxima (a), Anomalia de temperatura máxima (b), Temperatura mínima (c) e a Anomalia de temperatura mínima, para setembro de 2002 .....	45
3.7 – Temperatura máxima (a) Anomalia de temperatura máxima (b), Temperatura mínima (c) e a Anomalia de temperatura mínima, para outubro de 2002 .....	46
3.8 – Representação ideal do Método Subjetivo do perfil de $\theta$ .....	51
3.9 – Representação ideal do Método das Parcelas .....	52
4.1 – Variação Diária da Precipitação para as Fases I (a) e II (b) .....	56
4.2 – Variação Diária da Concentração de Aerossóis para as Fases I e II .....	57
4.3 – Valores médios horários da radiação solar incidente durante as Fases I (a) e II (b) ...	59
4.4 – Valores médios horários da temperatura do ar para as Fases I (a) e II (b) .....	60
4.5 – Valores médios horários da umidade relativa do ar para as Fases I(a) e II(b) .....	61
4.6 – Valores médios horários da temperatura do solo para as Fases I (a) e II (b) .....	62

4.7 – Valores médios horários da velocidade do vento para as Fases I (a) e II (b).....	63
4.8 – Evolução temporal na CLC da temperatura potencial média (a) e da umidade específica média (b).....	67
4.9 – Evolução temporal média da altura da Camada Limite Convectiva para as Fases I e II.....	68
4.10 – Variação diária do fluxo de calor sensível para as Fases I (a) e II (b).....	68
4.11 – Evolução temporal média da CR para as Fases I e II.....	71
4.12 – Evolução temporal do CAPE para as I (a) e II (b).....	74
4.13 – Evolução temporal do CIN para as Fases I (a) e II (b) .....	75
4.14 – Evolução temporal de w para as Fases I (a) e II (b) .....	76
4.15 – Comparação, das alturas da CLC, entre o Método da Parcela, o Método do Número de Richardson e o Método Subjetivo, Para a Fase I .....	80
4.16 – Comparação, das alturas da CLC, entre o Método da Parcela, o Método do Número de Richardson e o Método Subjetivo, para a Fase II .....	81
4.17 – Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 23/9 .....	84
4.18 – Concentração de aerossóis para o dia 23/9 .....	85
4.19 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 23/9 .....	85
4.20 – Perfil de temperatura potencial (a) e razão de mistura (b) para o dia 23/9.....	86
4.21 – Forma da área do CAPE para o dia 23/09 às 14:00 HL .....	87
4.22 – Precipitação horária para o dia 28/9 .....	90
4.23 – Concentração de aerossóis para o dia 28/9 .....	90
4.24 – Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 28/9 .....	91
4.25 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 28/9 .....	91
4.26 – Perfil de temperatura potencial (a) e razão de mistura (b) para o dia 28/9.....	92
4.27 – Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 17/10 .....	95
4.28 – Concentração de aerossóis para o dia 17/10 .....	95

4.29 – Precipitação horária para o dia 17/10 .....	96
4.30 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 17/10 .....	96
4.31 – Perfil de temperatura potencial (a) e umidade específica (b) para o dia 17/10 .....	97
4.32 – Imagens de um CAPPI a 3 Km para os horários das 17:00 (a), 16:00 (b) e 15:00 (c) HL do dia 17/10.....	98
4.33 – Concentração de aerossóis para o dia 23/10 .....	100
4.34 – Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 23/10 .....	101
4.35 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 23/10 .....	101
4.36 – Perfil de temperatura potencial (a) e razão de mistura (b) para o dia 23/10.....	102



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 – Tabela de controle de radiossondagens do projeto LBA – Rondônia setembro/ outubro de 2002 (FNSA) .....	39
3.2 – Especificações técnicas dos elementos climáticos de superfície .....	41
4.1 – Características Médias da CLC para as Fases I e II.....	64
4.2 – Alturas médias da CLC das 17:00 HL e alturas médias da CR das 20:00 HL e das 04:00 HL.....	70
4.3 – Parâmetros Termodinâmicos (CAPE, CIN, w) da Atmosfera para as Fases I e II .....	73
4.4 – Altura Média da CLC calculada por diferentes métodos e diferentes horários para a Fase I.....	78
4.5 – Altura Média da CLC calculada por diferentes métodos e diferentes horários para a Fase II.....	79
6 – Tabela dos valores médios de $\theta$ e q no interior da Camada Limite Convectiva .....	111
7 – Tabela dos valores da razão entre a radiação solar na superfície (RS) e a radiação solar no topo da atmosfera ( $RS_{EXTRA}$ ).....	113



## LISTA DE SÍMBOLOS

### *Latinos*

$g$	Aceleração da gravidade ( $\text{m s}^{-2}$ )
$h$	Altura da Camada Limite Convectiva (m)
$H$	Fluxo de Calor Sensível ( $\text{W m}^{-2}$ )
$p$	Pressão (hPa)
$p_i$	Nível de pressão inicial da parcela (hPa)
$q$	Umidade específica ( $\text{g kg}^{-1}$ )
$R_d$	Constante dos gases para o ar seco ( $287,054 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
	Número de Richardson
<b>Ri</b>	
$R_n$	Saldo de radiação ( $\text{W m}^{-2}$ )
$T$	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ve}$	Temperatura virtual do ambiente (K)
$T_{vp}$	Temperatura virtual da parcela (K)
$U$	Umidade (%)
$v_1$	Vento na base da Camada Limite Convectiva ( $\text{m s}^{-1}$ )
$v_2$	Vento no topo da Camada Limite Convectiva ( $\text{m s}^{-1}$ )
$w$	Água precipitável (mm)
$z$	Altura (m)
$z_s$	Nível atmosférico definido (m)

### *Gregos*

$\frac{\partial\theta}{\partial z}$	Varição da temperatura potencial com a altura ( $\text{K.m}^{-1}$ )
$\theta$	Temperatura potencial (K)



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRACOS	Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study
AL	Atmosfera Livre
AMC	Atmospheric Mesoscale Campaign
CAPE	Energia Potencial Disponível para Convecção
CIN	Energia para a Inibição da Convecção
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLC	Camada Limite Conveciva
CLE	Camada Limite Estável
CLN	Camada Limite Noturna
CLP	Camada Limite Planetária
CLS	Camada Limite Superficial
CR	Camada Residual
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FNSA	Fazenda Nossa Senhora da Aparecida
GPS	Global Positioning System
HL	Hora Local
LBA	Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
NCC	Nível de Condensação Convectiva
NCL	Nível de Condensação por Levantamento
RACCI	Interações entre Radiação, Nuvens e Clima na Amazônia na Transição entre as Estações Seca e Chuvosa
RBLE	Rondonia Boundary Layer Experiment
RO	Rondônia
UTC	Universal Time Coordinate
WETAMC	Atmospheric Meso-scale Campaign in the Wet Season

ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZE	Zona de Entranhamento

## INTRODUÇÃO

A Amazônia, caracterizada pela alta quantidade de recursos naturais e por sua grande biodiversidade, tanto de espécies animais quanto vegetais, tem sido alvo de ocupação da ação humana. O grande desmatamento das áreas de floresta tropical amazônica tem como exemplo a extração de madeira e a substituição dessas áreas naturais por pastagens e/ou áreas agrícolas, sendo que essas trocas geram efeitos no clima regional e global (Nobre et al., 1991).

A substituição de grandes áreas de cobertura vegetal natural por pastagens acaba modificando as interações do sistema solo-planta-atmosfera. Desmatando extensas áreas pode-se esperar mudanças nos sistemas atmosféricos que causam variações no tempo, as quais, quando perduram por um longo período, provocam mudanças no clima (ABRACOS, 1994).

Devido a essas evidências, a comunidade científica vem se preocupando cada vez mais com a Amazônia e as conseqüências que o desmatamento pode provocar aos climas regional e global. Por esse motivo, Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) vem sendo utilizados para a simulação dos impactos climáticos. Sabe-se que os MCGAs são poderosas ferramentas para o estudo das variações do clima. Nobre et al. (1991), estudaram o efeito da deflorestação na Amazônia e concluíram que há um aumento da temperatura de 1° a 3 °C, além de uma redução de 20 a 40% na evapotranspiração e de 20-30% na precipitação. A redução espacial e temporal da precipitação implica que os casos de desflorestamento estão associados com grandes períodos de seca.

Porém, para que haja um aperfeiçoamento desses modelos e uma conseqüente melhora dos resultados e previsões, é necessário, além de uma parametrização mais adequada, um entendimento mais detalhado das interações dos mecanismos dinâmicos e

termodinâmicos, e ainda, aqueles associados com a Camada Limite Atmosférica - CLA ( Rocha, 1992 ).

A modificação na cobertura vegetal provoca alterações no balanço de energia e, conseqüentemente, modifica toda a Camada Limite Atmosférica (CLA). Uma das principais funções da CLA é efetuar troca de energia, de massa e de momentum, entre a superfície e a baixa atmosfera. Com a substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal ocorrem modificações neste processo de interação superfície-atmosfera (Souza e Lyra, 2001). No caso da Amazônia, grande parte de sua área já sofreu um processo permanente de troca, com a substituição de áreas de floresta por áreas de pastagens ou culturas agrícolas, onde este desmatamento corresponde a 20% do total desmatado no planeta, sendo que a taxa de desmatamento anual aumentou de uma média de 17.340 km<sup>2</sup>, nos anos 90, para 25.400 km<sup>2</sup> em 2002 (Thomas e Margulis, 2004).

A região Amazônica tem sido palco de importantes estudos de campo cujos resultados têm contribuído para estudos sobre a parametrização dos modelos de pequena, meso e grande escala. Dentro desses projetos destacam-se o ABRACOS - Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study (1990 -1995), o RBLE - Rondonia Boundary Layer Experiment (1992 -1994), e o WETAMC – Atmospheric Meso-scale Campaign in the Wet Season que faz parte do LBA – Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazônia (1996), que teve como objetivos o entendimento do acoplamento dos processos que ocorrem entre a atmosfera e a biosfera durante o período chuvoso na Amazônia, além de determinar os balanços de calor, vapor d'água, CO<sub>2</sub> e gases traço (Silva Dias et al., 2002).

Para a América do Sul em geral, e em particular para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, a Amazônia representa uma importante fonte de umidade atmosférica associadas aos recursos hídricos na estação chuvosa, assim como uma grande fonte de material particulado e de gases traços originados da queima de biomassa, na estação seca, com implicações diretas na qualidade do ar e indiretas no clima regional. Um dos objetivos

do projeto AMC (Atmospheric Mesoscale Campaign), inserido no contexto do projeto LBA (<http://www.lba.iag.usp.br/>), foi avaliar o efeito da queima da biomassa durante o fim da estação seca, nos balanços de energia na atmosfera e na superfície, tanto em áreas de floresta quanto sobre regiões desflorestadas. Além disso, deseja-se também avaliar seus efeitos nos processos convectivos que provocam o início da estação chuvosa, nas características das nuvens e nas chuvas durante esta transição.

O presente trabalho tem como objetivo conceituar e avaliar o comportamento da Camada Limite Convectiva (CLC) em áreas de pastagem, para o período de transição entre as estações seca e chuvosa, durante a campanha do projeto RACCI - Radiation, Cloud, and Climate Interactions in the Amazon during the DRYTO-WET Transition Season/LBA (Interações entre a Radiação, Nuvens e Clima na Amazônia), realizada de setembro a novembro de 2002, além de realizar um estudo de caso, a fim de entender e caracterizar a estrutura e o comportamento da CLC antes, durante e depois da ocorrência de chuvas locais e caracterizar a CLC para situações com e sem a presença de aerossóis, provocada por queimadas locais.



## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Aspectos Gerais

Para que possam ser realizados estudos sobre a atmosfera, muitas vezes é apropriado dividi-la em camadas, facilitando assim o entendimento dos diversos processos físicos e químicos existentes nas mesmas. A troposfera pode ser dividida em duas partes: a primeira é a parte mais baixa, próxima à superfície, denominada de Camada Limite Atmosférica (CLA) ou Camada Limite Planetária (CLP), com características predominantemente turbulentas. A segunda parte é denominada de Atmosfera Livre (AL), que é dominada por processos meteorológicos associados aos sistemas atmosféricos de larga escala. A CLP possui um papel muito importante em nossas vidas, pois é nesta parte da atmosfera em que o Homem vive e desenvolve a maioria de suas atividades (Stull, 1988).

Segundo Stull (1988), esta camada (CLP) responde às forçantes da superfície, com uma escala de tempo de aproximadamente 1 hora ou menos e apresenta, também, uma escala de altura da ordem de aproximadamente 1 km. Estas forçantes incluem o arrasto friccional, a evaporação e a transpiração, a transferência de calor, a emissão de poluentes e a modificação do escoamento induzido pela superfície.

A maior parte das interações entre a atmosfera e a biosfera ocorre dentro da CLP (Kielme et al., 1995). De acordo com Fisch (1996), esta camada é definida como sendo a resposta do acoplamento de um mosaico de diferentes tipos de vegetação com a atmosfera, podendo seus valores característicos serem boas estimativas de fluxo médio sob sua área de influência.

O ciclo diário da radiação solar é um dos principais fatores responsáveis pela estrutura da CLP de um determinado local, pois ela é fonte primária de energia para toda a atmosfera. Grande parte desta radiação é absorvida pela superfície e devolvida para o restante da atmosfera através de processos de transferência de energia (radiação, convecção e condução de calor) ocorridos dentro desta camada.

O estudo da CLA compreende a análise da Camada Limite Convectiva (CLC) e da Camada Limite Noturna (CLN), correspondendo, respectivamente, aos períodos diurno e noturno. A CLC é governada principalmente pela turbulência térmica, que é a ascensão das parcelas de ar quente. A turbulência mecânica ajuda, adicionalmente, o desenvolvimento dessa camada, fazendo com que ela se torne relativamente mais profunda em extensão vertical. Dessa forma, a CLC é fortemente responsável pelo desenvolvimento convectivo local (Stull, 1988). A CLN é basicamente governada pela turbulência mecânica e, por apresentar características estáveis, tende a não se desenvolver verticalmente. A CLN não será objeto de estudo deste trabalho.

## **2.2 Estrutura da Camada Limite Planetária**

A Camada Limite Planetária possui diferentes características ao longo de sua extensão e pode ser dividida em várias partes, como segue:

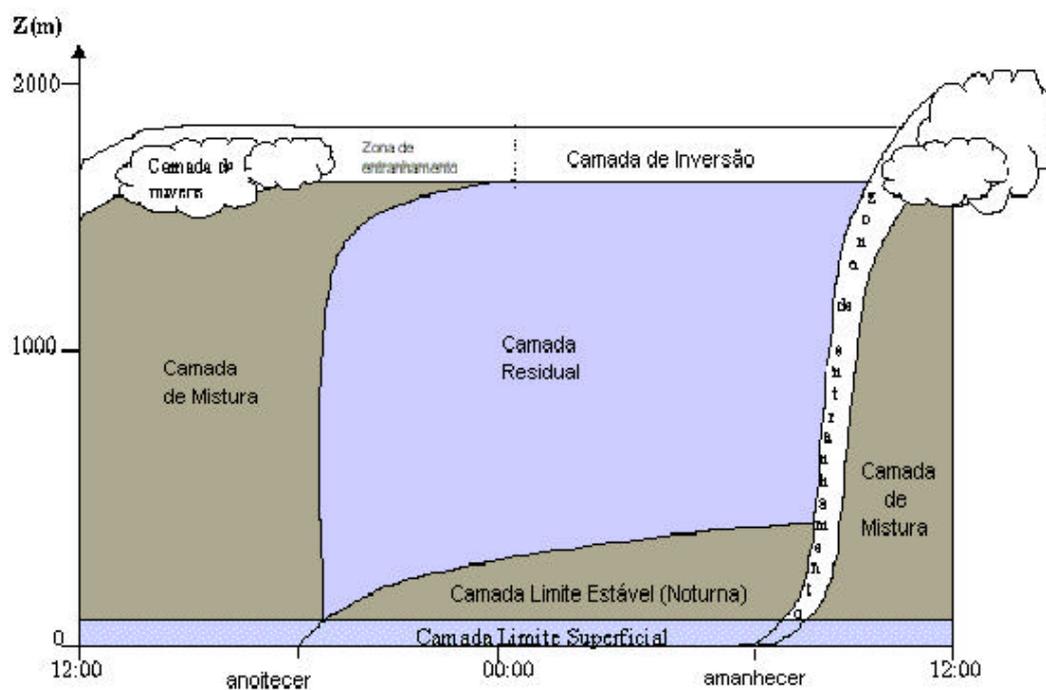


FIGURA 2.1 – Evolução Diária da Camada Limite Convectiva.

FONTE: Adaptada de Stull (1988).

### 2.2.1 Camada Limite Superficial (CLS):

Esta é a camada que fica em contato com a superfície e pode variar desde poucos milímetros a poucas dezenas de metros. Esta região fica na base da camada limite, onde os fluxos turbulentos variam menos que 10% de sua magnitude. Nesta camada, os primeiros centímetros, desde o solo, recebem o nome de micro-camada ou camada interfacial, onde o transporte molecular é mais importante do que o transporte turbulento (Stull, 1988).

### 2.2.2 Camada Limite Convectiva (CLC):

A camada limite convectiva estende-se até aproximadamente 1 a 2 km de altura, onde a viscosidade não apresenta grande importância. Esta camada caracteriza-se também pela

presença de perfis verticais aproximadamente constantes com a altura de algumas variáveis, como temperatura potencial e umidade específica, e em alguns casos, de vento que apresenta turbulência intensa. As principais fontes convectivas responsáveis pela mistura desta camada são correntes ascendentes de ar quente (térmicas), que combinadas com a flutuabilidade positiva, ascendem da superfície até atingir seu nível de equilíbrio, sendo a turbulência térmica o mecanismo dominante (Stull, 1988).

O topo desta camada é estável e serve como um tampão, impedindo a subida das térmicas e contendo assim o domínio da turbulência. A região do topo da camada é chamada de Zona de Entranhamento (ZE), onde existe um empuxo negativo, fazendo com que as térmicas, que ascendem verticalmente com o empuxo positivo, voltem à CLC, porém com um ar quente e seco, sendo este processo denominado de “entranhamento” ou “penetração convectiva” (Fisch, 1996).

### **2.2.3 Camada Residual (CR):**

Após a inversão do fluxo de calor sensível, o balanço de radiação torna-se negativo, e a CLP não apresenta mais a influência dos processos turbulentos que ocorrem durante o dia. Surge neste momento, a partir da superfície, uma camada de inversão conhecida como camada limite noturna (CLN), causando um desacoplamento entre a superfície e a camada de mistura acima dela. A camada que fica logo acima desta CLN, recebe o nome de Camada Residual (CR), pelo fato de ainda conservar as mesmas características da CLP desenvolvida durante o dia (Stull, 1988), mas não mais ativa, pois a turbulência térmica já cessou.

Aproximadamente cerca de meia hora antes do pôr do sol, as termas associadas à turbulência térmica, que são responsáveis pela mistura na Camada de Mistura (CM), deixam de atuar. A CR resultante é neutramente estratificada e a turbulência existente apresenta intensidade praticamente igual em todas as direções, com taxas de dispersão iguais tanto na horizontal quanto na vertical.

#### **2.2.4 Camada Limite Noturna:**

Com o decorrer da noite a parte inferior da CR é transformada, pelo seu contato com o solo, em uma Camada Limite Noturna (CLN). A estabilidade estratificada da CLN ocorre fortemente à noite, porém não exclusivamente, devido ao resfriamento da superfície pela emissão de ondas longas para o espaço. Esta emissão de radiação para o espaço faz com que cesse o desenvolvimento da CLC e dê início a formação da CLN.

A turbulência nesta camada é inexistente ou muito fraca. A CLC possui um topo bem definido, ao contrário da CLN, que possui um topo mal definido, que mistura-se suavemente com a camada residual adjacente. Enquanto que o topo da CLC é definido como a base da camada estável, o topo da CLN é definido como o topo da camada estável por isso, a CLN também pode ser definida como Camada Limite Estável (CLE). Garratt (1992) encontrou que à noite sob condições de céu claro e vento calmo sobre o continente, a CLN pode atingir uma altura de aproximadamente 200 a 300 m.

### **2.3 Resultados Anteriores Obtidos em Rondônia**

Fisch (1996), definiu que a CLC, para a região de Ji-Paraná-RO, apresenta-se bem mais desenvolvida e com maior mistura vertical em áreas de pastagem (2000-2200 m) do que em regiões de floresta (1000-1200 m), pois o aquecimento da superfície é mais intenso, contribuindo assim com um aumento de energia disponível para os processos convectivos. Souza e Lyra (2001) citam que a camada de mistura na área de pastagem para a região de Ji-Paraná, RO é mais turbulenta que a camada de mistura para a área de floresta, com uma profundidade média de 66% mais espessa, sendo que a altura máxima encontrada às 17:00 HL foi aproximadamente 86% mais espessa.

Moura et al. (2001) analisaram os resultados do projeto ABRACOS, verificando que a variabilidade interanual da radiação solar global é muito pequena, e que a diferença entre floresta e pastagem é de 2%, com médias anuais de  $17,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e  $16,8 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

$^2.\text{dia}^{-1}$ , respectivamente.. Durante a estação chuvosa a pastagem, considerando as médias mensais, apresentou valores mais altos (3,5%) de radiação incidente e, durante a estação seca, valores mais baixos (6,9%), quando comparado com a floresta. Moura et al. (2001) explicam esse fato de duas maneiras: a primeira, como sendo resposta às queimadas locais, aumentando assim a concentração de material particulado na atmosfera, e em resposta causando um aumento da espessura ótica e a segunda, devido ao aumento da nebulosidade sobre a pastagem durante a estação seca, devido ao forte fluxo de calor sensível, fazendo com que haja um crescimento mais rápido da camada limite, e mantendo assim um período mais prolongado de nebulosidade.

Souza e Lyra (2002), com dados do projeto RBLE - Rondônia Boundary Layer Experiment, observaram que a pastagem sempre manteve-se mais quente e menos úmida do que a floresta, sendo que nos dias mais secos a floresta apresentou um percentual de 58,6% a mais de umidade, quando comparada com a área de pastagem. A CLC apresentou-se, em média, sempre mais alta, chegando a valores de 2172 m na pastagem, contra valores de 1168 m na floresta às 17:00 HL. Ainda, como resultados, Souza e Lyra (2001) apresentam uma evolução temporal da temperatura potencial, da velocidade do vento e da umidade específica, verificando que a taxa de aquecimento na pastagem é cerca de 3 vezes mais alta do que na floresta, a velocidade do vento dentro da CLC atinge um máximo às 11:00 HL para ambos os sítios, a umidade na pastagem também apresenta um máximo às 11:00 HL e decresce até o final da tarde. Através destes resultados, Souza e Lyra (2001) concluíram que a CLC foi mais convectiva, mais turbulenta e 86% mais espessa às 17:00 HL, 2,7 K mais quente e  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$  mais seca na pastagem do que na floresta.

Silva Dias et al. (2002) analisando os principais resultados do projeto WETAMC, citam que o total da precipitação para a Fazenda Nossa Senhora da Aparecida foi de 266 mm para o mês de janeiro e 468 mm em fevereiro. Os dados de precipitação mostram uma clara preferência do máximo de precipitação entre as 12:00 e 16:00 HL e, às vezes, às 18:00 HL, sendo que o máximo mais freqüente ocorre no fim da tarde. A mais forte inversão térmica associada com o regime de janeiro inibiu a formação de nuvens, como

foi verificado. As poucas nuvens que se formaram precisam de uma corrente ascendente muito forte, capaz de romper a inversão.

Ainda seguindo Silva Dias et al. (2002), os resultados da estação seca mostram que o fluxo de calor para dentro do solo alcança valores de  $10 \text{ W m}^{-2}$  e de  $50 \text{ W m}^{-2}$  na floresta e pastagem, respectivamente. O balanço de energia mostra o papel dominante do saldo de radiação ( $R_n$ ) no fluxo de calor latente, tanto na floresta quanto na pastagem, cujas razões de Bowen foram de 0,32 e 0,20, respectivamente. A evaporação na floresta foi de  $0,6 \text{ mm dia}^{-1}$  maior do que na pastagem, o que é explicado pelo alto valor do  $R_n$  e pequena quantidade de calor sensível. O ciclo diário do balanço de energia possui diferenças entre o período da manhã e o da tarde, sendo  $R_n$  maior na floresta durante o período da manhã. Por outro lado, durante a tarde, a pastagem possui os maiores valores. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de nuvens na floresta pela parte da tarde.

Betts et al. (2002) estudou o ciclo diurno de temperatura, umidade, temperatura potencial equivalente e os fluxos de calor, além da estrutura da camada limite, para a área de pastagem, durante a estação chuvosa. Durante o regime de vento de janeiro (estação chuvosa), a evolução diária da razão de mistura mostra que o fluxo de vapor d'água através da base das nuvens, excede a grande evaporação da superfície. Durante o dia, a razão de Bowen para a área de pastagem é de aproximadamente 0,4 e apresenta uma redução de aproximadamente 0,1 durante o regime de fevereiro (mais chuvoso). Tipicamente à tarde, as correntes de ar descendentes, provenientes de bandas convectivas de precipitação e associadas a “*downrafts*”, transformam a camada limite. A redução da temperatura potencial na camada limite, devido aos sistemas convectivos, é similar para os dois regimes (janeiro e fevereiro), sendo de 4-5 K, mas o resfriamento da camada limite, durante fevereiro, é reduzido devido à sub-camada de nuvens estar mais baixa que a média.

Andreae et al. (2004) utilizando os dados do SMOCC (Smoke, Aerosols, Clouds, Rainfall and Climate), de setembro a novembro de 2002, verificaram que em atmosferas

com altas concentrações de aerossóis, condições não muito instáveis podem se desenvolver para convecções profundas e para intensas tempestades com ocorrência de granizo. Os resultados mostraram que os aerossóis foram responsáveis por uma diminuição, da radiação solar incidente, de  $-62,5 \text{ W m}^{-2}$ , na média sazonal. Os autores concluíram ainda, que a presença elevada de aerossóis pode reduzir a quantidade da precipitação regional e sugerem que os aerossóis possuem um importante papel na determinação da dinâmica, microfísica e eletrificação das nuvens, sendo que são estas propriedades que diferenciam a convecção continental da marítima.

Fisch et al. (2004) citam que para a região de Ji-Paraná-RO, o fluxo de calor sobre a pastagem é muito alto, fazendo com que a camada limite, para esta área, seja em torno de 600 m mais profunda do que em áreas de floresta. Os autores acharam valores, de altura, para a pastagem em torno de 1650 m, enquanto que na floresta essa altura ficou em torno de 1100 m, durante a estação chuvosa, sendo que durante a estação seca, a altura da CLC fica em torno de 1000 m, tanto para áreas de floresta quanto para a pastagem. Fazendo uma comparação entre a estação seca e a chuvosa, pode se definir a CLC sobre pastagem, como sendo mais quente e seca durante o período seco, sendo que durante o período chuvoso, tanto a temperatura quanto a umidade do ar, são similares para os dois sítios. Com relação ao crescimento da CLC, sobre áreas de pastagem é evidenciada sua ligação com as características da superfície, ou seja, menor quantidade de água no solo, fazendo com que haja maior quantidade de energia disponível para o aquecimento do ar, enquanto que em áreas de floresta esta energia disponível para o aquecimento do ar é menor, uma vez que esta área possui uma maior evapotranspiração.

## CAPÍTULO 3

### DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1 Dados

##### 3.1.1 Localização

A Amazônia Brasileira possui uma área de 5.032.925 km<sup>2</sup> e é formada pelos estados do Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Acre, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins e Amapá. O estado de Rondônia compreende uma área em torno de 243.000 km<sup>2</sup>, sendo que grandes áreas de floresta do estado já foram transformadas em áreas de pastagens e desmatadas.

Na região de Ji-Paraná - RO encontram-se áreas de floresta e de pastagem, suficientemente grandes para desenvolver seus próprios microclimas, e pelo fato dessas áreas coexistirem próximas umas das outras, a região foi alvo de vários projetos e pesquisas (Fisch et al., 1995). A partir do dia 15 de setembro a 30 de outubro de 2002, foi realizada uma campanha de coleta de dados durante a transição entre as estações seca e chuvosa no Sudoeste da Amazônia, pelo projeto denominado **RaCCI - Radiation, Cloud, and Climate Interactions in the Amazon during the DRYTO-WET Transition Season/LBA** (Interações entre Radiação, Nuvens e Clima na Amazônia na Transição entre as Estações Seca e Chuvosa). Este projeto é uma cooperação multi-institucional e multi-disciplinar, financiada pela FAPESP.

O conjunto de dados utilizado neste trabalho foi obtido no sítio de pastagem, localizado na fazenda Nossa Senhora Aparecida, no município de Ouro Preto do Oeste, RO a 10° 46'S de latitude e 62° 20'W de longitude, com uma altitude de 293 metros acima do nível do mar, na região de Ji-Paraná. O sítio está centrado numa área de 50 km de raio, quase que totalmente desmatada. A vegetação é composta de gramíneas do tipo



### 3.1.2 Dados de Altitude

Os dados de altitude foram obtidos através de radiossondagens, que é um tipo de sondagem das camadas superiores da atmosfera (até 30 km), e consiste em um conjunto de equipamentos devidamente organizados dentro de uma pequena caixa sendo lançado da superfície acoplado a um balão meteorológico. As radiossondagens fornecem informações de altitude (m), temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade específica ( $\text{g kg}^{-1}$ ), pressão atmosférica (hPa), direção (graus) e velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ).

As sondagens meteorológicas foram realizadas através do equipamento de radiossondagem modelo Digicora (MW12) da Vaisala (Finlândia). A sonda RS80-15G (Figura 3.2) possui um termistor (TERMOCAP) com a finalidade de medir a temperatura do ar com uma precisão de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , um capacitor eletrônico (HUMICAP) para medir a umidade relativa do ar com uma precisão de 1 %, uma cápsula barométrica (BAROCAP) para medir a pressão atmosférica do ar com uma resolução de  $0,1$  hPa. Os sinais emitidos pela sonda possuem uma amostragem de  $0,5$  Hz e são compactados a cada 2 s. As informações do vento, referentes a direção e velocidade, são obtidas através do sistema do cálculo do vento pelo Global Positioning System - GPS, usando frequências de transmissão entre 400 e 406 MHz (Fisch et al., 1999).

Paralelamente eram realizadas medidas à superfície da temperatura do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, para a calibração das sondas. Foram medidos também os fluxos de radiação e de energia próximos ao local da radiossondagem, para completar as análises.



FIGURA 3.3 – Radiossonda RS80-15G, utilizada na sondagem de ar superior.  
FONTE: [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com).

A Tabela 3.1 mostra os horários, e os dias em que as sondagens foram realizadas na Fazenda Nossa Senhora da Aparecida, bem como o total de sondagens para o período de 12 de setembro a 03 de novembro de 2002.

TABELA 3.1 - Tabela de controle de radiossondagens do projeto LBA – Rondônia setembro/outubro de 2002 (FNNSA).

DIA	22:00 HL	04:00 HL	08:00 HL	11:00HL	14:00 HL	17 :00 HL	Total
12/9	--	--	OK		--		1
13/9	--	--	*		--		1
14/9	--	--	OK		--		1
15/9	--	--	X		--		0
16/9	--	--	OK		--		1
17/9	OK	--	OK		--		2
18/9	OK	X	OK	OK	OK	OK	5
19/9	OK	OK	OK	X	OK	*	5
20/9	OK	OK	OK	X	OK	OK	5
21/9	OK	OK	OK	X	*	OK	5
22/9	OK	OK	OK	X	OK	OK	5
23/9	OK	OK	OK	X	OK	OK	5
24/9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
25/9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
26/9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
27/9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
28/9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
29/9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
30/9	OK	--	OK		OK		3
1/10	OK	--	OK		OK		3
2/10	OK	--	OK		OK		3
3/10	OK	--	OK		OK		3
4/10	OK	--	OK		OK		3
5/10	OK	--	OK		OK		3
6/10	OK	--	OK		OK		3
7/10	OK	--	OK		OK		3
8/10	OK	--	OK		OK		3
9/10	OK	--	OK		OK		3
10/10	OK	--	OK		OK		3
11/10	OK	--	OK		OK		3
12/10	OK	--	OK		*		3
13/10	OK	--	OK		OK		3
14/10	OK	--	OK		OK		3
15/10	*	--	OK	OK	OK	OK	5
16/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
17/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
18/10	OK	OK	OK	OK	OK	*	6
19/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
20/10	*	OK	X	X	OK	OK	4
21/10	OK	OK	OK	OK	OK	*	6
22/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
23/10	OK	OK	OK	OK	OK	*	6
24/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
25/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
26/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
27/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
28/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
29/10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	6
30/10	OK	OK	*		--		3
31/10	OK		X		--		1
01/11	X		OK		--		1
02/11	OK		OK		OK		3
03/11	OK		OK		--		2
<b>SUBTOTAL</b>	<b>47</b>	<b>26</b>	<b>50</b>	<b>21</b>	<b>43</b>	<b>27</b>	<b>214</b>

Legendas: OK: No horário houve sondagem. OK: dados correspondentes as FasesI e FasesII  
 -- : Ausência de sondagem. X : Sondagem não realizada. \*: sondagem incompleta

### 3.1.3 Dados de Superfície

Os dados de superfície, tais como temperatura e umidade do ar; temperatura do solo; velocidade do vento, precipitação e fluxos de radiação, foram coletados através de três estações automáticas localizadas na área de estudo, com a resolução temporal de 1 minuto. Os dados do fluxo de calor sensível (H) foram obtidos pela técnica de correlação de vórtices e por problemas técnicos não houveram medidas de calor latente (LE). Um conjunto de dados consolidados (EMS consolidada) foi criado, a partir das três estações existentes, contendo os dados mais confiáveis de cada estação. A Tabela 3.2 detalha os instrumentos utilizados para a medição destas variáveis.

Todos os dados que compõe a EMS consolidada passaram por um controle de qualidade da seguinte forma:

- 1) Eliminação de casos inverossímeis (abaixo ou acima de valores extremos aceitáveis);
- 2) Eliminação de séries cuja correspondente normalizada, considerando-se a hora do dia, apresentasse elevado índice de correlação com o tempo;
- 3) Eliminação de casos espúrios. Casos espúrios são definidos como cujo valor normalizado está fora de  $[-A; A]$  (A normalmente é 3), e cujos vizinhos, em média, estejam dentro de um intervalo  $[-B; B]$  (B normalmente é 2,4);
- 4) Eliminação de séries cuja amplitude do ciclo diurno médio seja muito elevada.

Estes dados foram extraídos da “home page” do projeto LBA ([www.lba.iag.usp.br](http://www.lba.iag.usp.br)) e são considerados os dados oficiais dos elementos climáticos de superfície.

Os dados de aerossóis foram cedidos por Artaxo Netto, pesquisador do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, responsável pelos dados obtidos durante o experimento RACCI-LBA. Estes dados correspondem as medidas de concentração de aerossóis e foram medidos através do instrumento TEOM monitor para concentração de material particulado de 2.5 (PM 2.5) com uma resolução de tempo de 5 minutos.

TABELA 3.2 – Especificações técnicas dos elementos climáticos de superfície.

<b>Variáveis Meteorológicas</b>	<b>Instrumeto utilizado marca(modelo)</b>	<b>Unidade</b>	<b>Altura</b>
Radiação de onda curta incidente	Piranômetro Kipp & Zonen, (CM21)	W/m <sup>2</sup>	6,5 m
Temperatura do ar	Termômetro Vaissala (HMP35A), Resistores PT 100	°C	8,3 m
Umidade do ar	Higrômetro Vaissala (HMP35A)	%	8,3 m
Velocidade do vento	Anemômetros Vector A100R	m/s	9,3 m
Direção do vento	Anemoscópio Vector (W200P)	graus	9 m
Precipitação	Pluviômetro EM ARG-100	mm	0,5 m
Temperatura do solo	Termômetros de solo Campbell	°C	-0.1 m

Para se obter um melhor entendimento da CLC nos estudos de caso, foram utilizadas imagens de um radar meteorológico da TECTELCOM, que é um radar Doppler S-Band (2.7-3 GHz) e que foi instalado próximo à área de estudo (62° 41'W e 28° 92'S, a uma altura de 440 m acima do nível do mar). As imagens são de um CAPPI 3 km mostrando a refletividade em dBZ.



FIGURA 3.4 – Imagem do Radar meteorológico da TECTELCOM instalado próximo a Fazenda Nossa Senhora.

FONTE: [www.lba.iag.usp.br](http://www.lba.iag.usp.br).

### 3.2 Climatologia da Região

Para caracterizar a climatologia da região de Ji-Paraná, Ferreira Costa et al. (1998) analisaram as médias mensais de precipitação e de temperatura do ar, obtidos durante o período de 1982 a 1996, a partir de uma estação climatológica principal localizada em Ouro Preto D'Oeste, distante, cerca de 10 km, da área de pastagem. Dentre os resultados obtidos, encontra-se uma forte sazonalidade na distribuição da precipitação, com o período chuvoso (novembro-abril) apresentando totais mensais acima de  $200 \text{ mm mês}^{-1}$ . A estação menos chuvosa estende-se de Maio a Outubro, com um período de poucas chuvas (estiagem) entre Junho e Agosto, com um total mensal menor que  $20 \text{ mm mês}^{-1}$ . A temperatura do ar, para o mesmo período, mostra também uma forte sazonalidade,

sendo Outubro o mês mais quente, com temperatura média de 25,6 °C. O mês mais frio é Julho, com temperatura média próxima a 22,7 °C.

A Figura 3.5 mostra o total e a anomalia de precipitação para os meses de setembro e outubro de 2002, respectivamente. Nota-se que o total de precipitação para o mês de setembro ficou em torno de 50-100 mm (a), enquanto que durante o mês de outubro, época em que ocorre o início a estação chuvosa, o total de precipitação teve um aumento de aproximadamente 50 % com relação ao mês anterior (c). Já com relação à climatologia da região, o mês de setembro apresentou uma precipitação ligeiramente acima da normal (b), enquanto que para o mês de outubro a precipitação apresentou uma anomalia negativa, como pode ser visto na Figura 3.5(d).

As Figuras 3.6a e 3.7a mostram que a temperatura máxima tanto para o mês de setembro quanto para o mês de outubro ficou entre 32 e 34 °C, com suas respectivas anomalias bem próximas a zero (3.6b e 3.7b), enquanto que as temperaturas mínimas (3.6c e 3.7c) encontraram-se com valores entre 16 e 20 °C, também para os dois meses, juntamente com suas anomalias próximas a zero (3.6d e 3.7d).

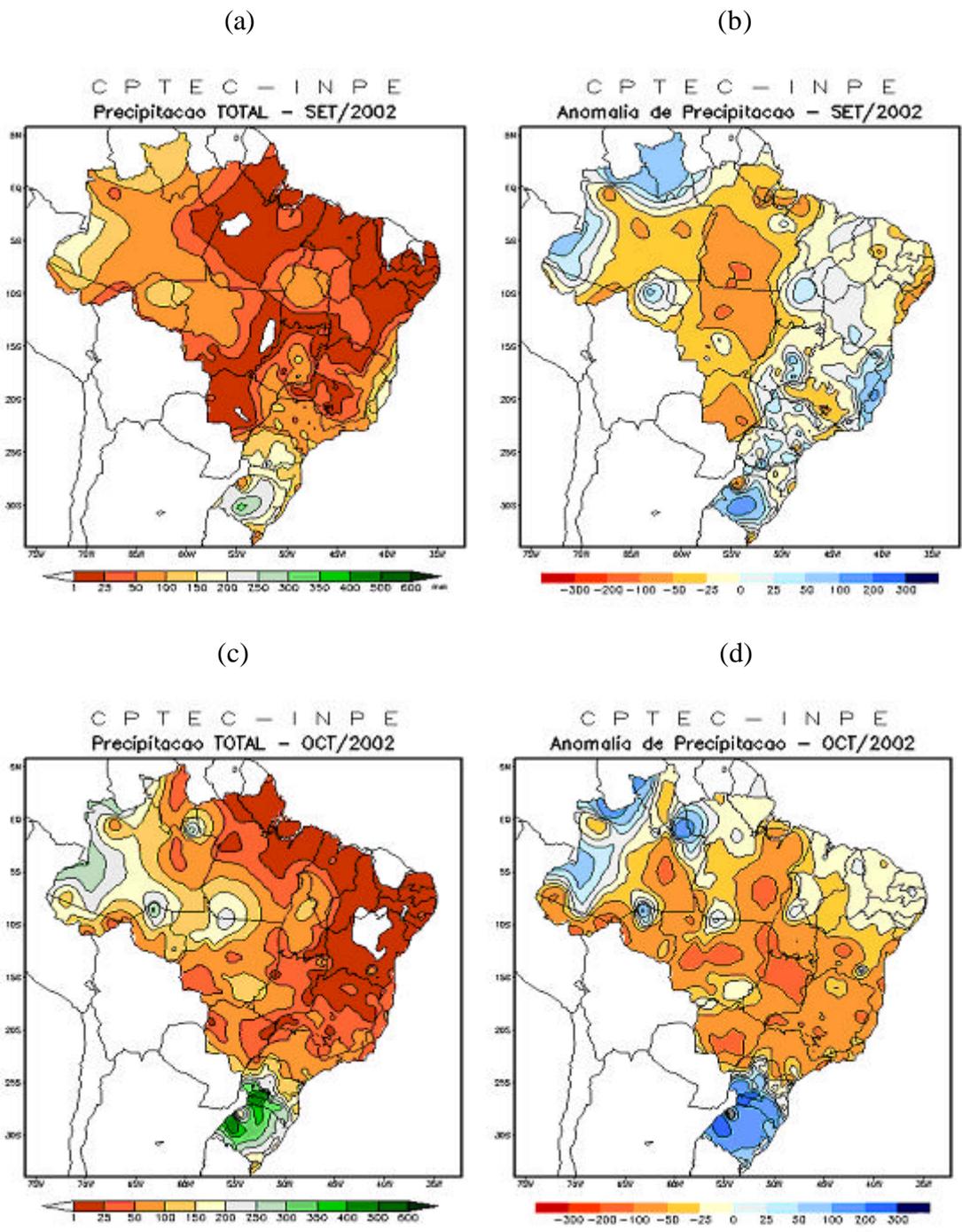


FIGURA 3.5 – Total mensal (a) e anomalia de precipitação (b) para setembro de 2002 e total mensal (c) e anomalia de precipitação (d) em outubro de 2002.  
 FONTE: [www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor\\_brasil.shtml](http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_brasil.shtml).

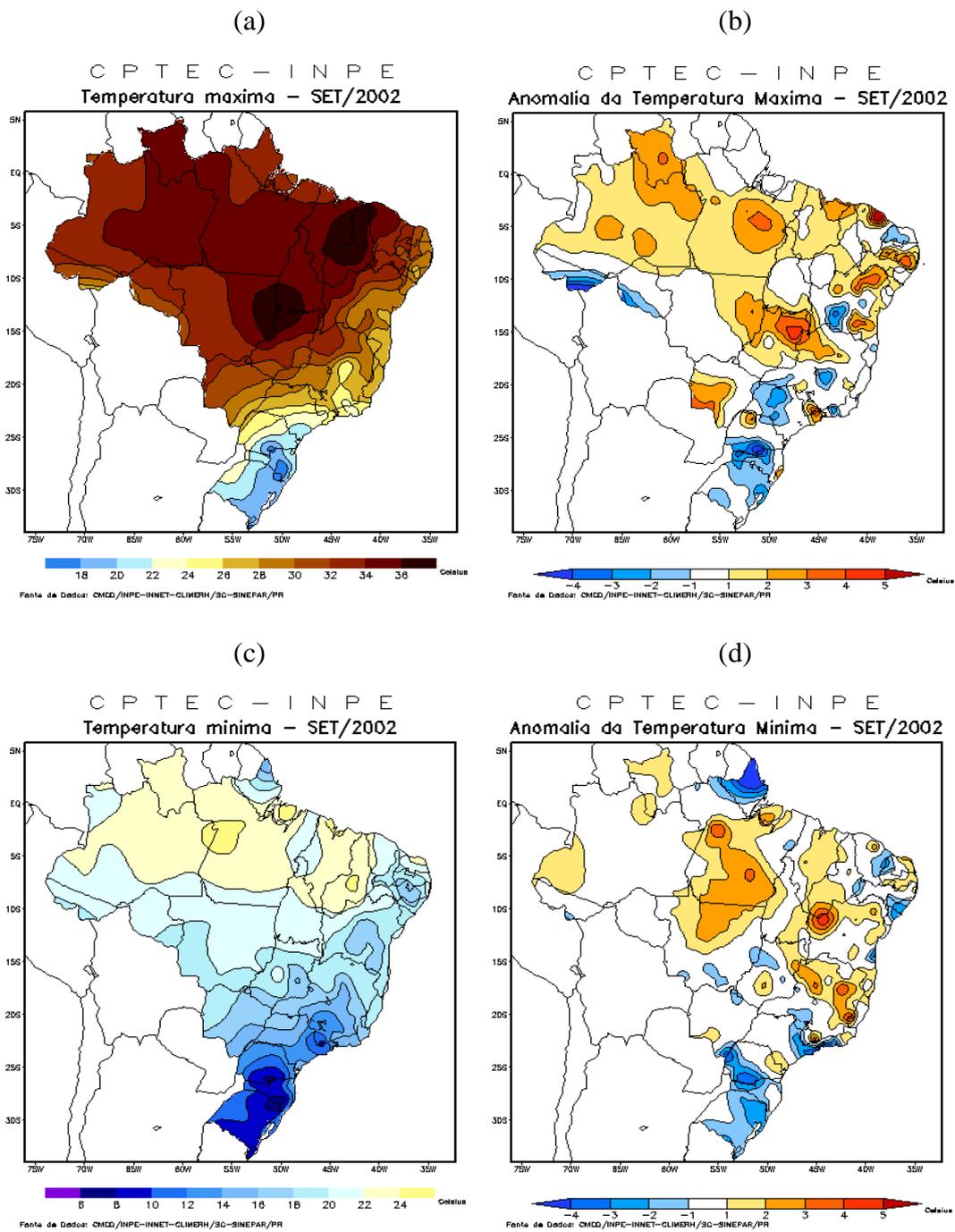


FIGURA 3.6 – Temperatura máxima (a), Anomalia de temperatura máxima (b), Temperatura mínima (c) e a Anomalia de temperatura mínima, para setembro de 2002.

FONTE: [www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor\\_brasil.shtml](http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_brasil.shtml).

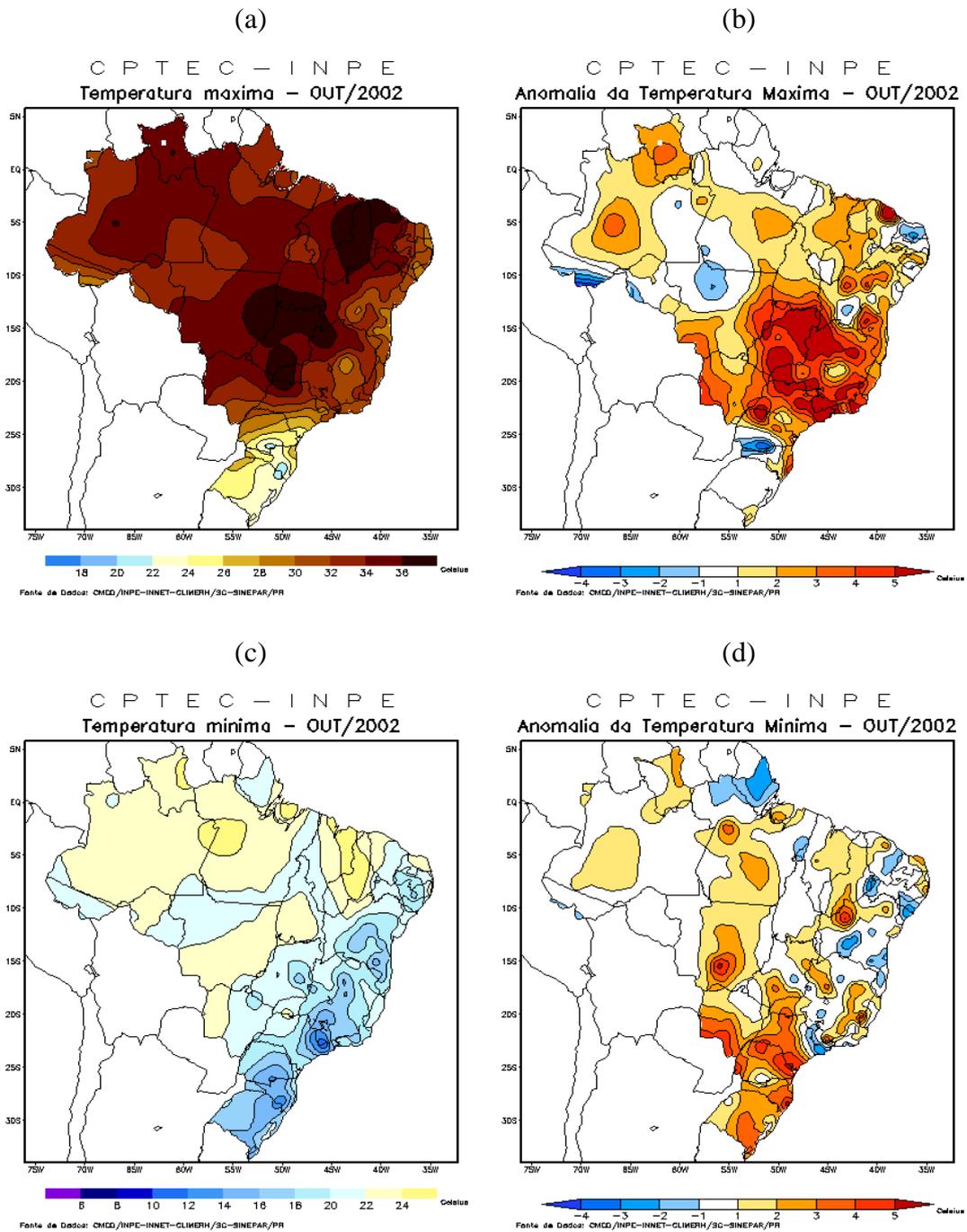


FIGURA 3.7 – Temperatura máxima (a) Anomalia de temperatura máxima (b), Temperatura mínima (c) e a Anomalia de temperatura mínima, para outubro de 2002.

FONTE: [www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor\\_brasil.shtml](http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_brasil.shtml).

### 3.3 Metodologia

Através dos dados obtidos das radiossondagens foram feitas análises da estrutura da Camada Limite Convectiva para o período de transição entre as estações seca e chuvosa, assim como estudos de casos para verificar o comportamento da CLC em situações interessantes (estudos de caso), tais como: antes, durante e depois da ocorrência de chuvas locais e também de caracterização da CLC para situações com e sem a presença de aerossóis, originados de queimadas locais.

Seibert et al.(2000) definem a altura da camada limite como sendo a altura da camada adjacente ao solo, onde os poluentes ou qualquer outro constituinte emitido para esta camada, ou entranhado nela, é dispersado e misturado verticalmente pela convecção ou pela turbulência mecânica com uma escala de tempo inferior a uma hora.

#### 3.3.1 Análise da Estrutura Termodinâmica da CLC

O estudo termodinâmico da CLC foi realizado para o período de coleta de dados, dividido em fase I – período seco (17 a 30 de setembro) e fase II – período chuvoso (15 a 30 de outubro), respectivamente, utilizando as sondagens feitas nos horários das 08, 11, 14 e 17 HL.

A análise da estabilidade da atmosfera foi feita pela variação da temperatura potencial à atmosfera seca, conforme a seguir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial\theta}{\partial z} > 0 &\Rightarrow \textit{estabilidade}; \\ \frac{\partial\theta}{\partial z} = 0 &\Rightarrow \textit{neutralidade}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} < 0 \Rightarrow \text{instabilidade} .$$

Alguns parâmetros termodinâmicos são importantes para o estudo da atmosfera. Através deles podemos quantificar ou estimar o vapor d'água, a energia potencial disponível no sistema, a altura em que se podem formar nuvens e fornecer assim, informações necessárias para a análise da estrutura termodinâmica da atmosfera, tais como:

**Energia Potencial Disponível para a Convecção (CAPE)** – é a energia potencial disponível para os processos convectivos e formação de nuvens, sendo que esta energia é resultante do aquecimento (insolação à superfície, liberação de calor latente de condensação) ou ascensão forçada através da convergência, de vento, efeitos orográficos, etc. Tipicamente o valor de CAPE é da ordem de  $1000 \text{ J kg}^{-1}$  para uma atmosfera tropical (Manual de Análise do Diagrama Skew-T Log-P, 1969). O CAPE é o trabalho realizado por uma força de flutuabilidade na parcela em ascensão através de uma atmosfera adiabaticamente úmida e, pode ser representada por:

$$CAPE = \int_{LFC}^{LNB} (T_{vp} - T_{ve}) R_d d(\ln p); \quad (\text{J kg}^{-1}) \quad (2)$$

no qual  $R_d$  é a constante dos gases para o ar seco;  $T_{vp}$  e  $T_{ve}$  são, respectivamente as temperaturas virtuais da parcela e do ambiente para uma pressão  $p$ ; e  $LFC$  e  $LNB$  são os níveis de convecção livre e flutuabilidade neutra, respectivamente (Williams e Rennó, 1993).

**Energia para a Inibição da Convecção (CIN)** – é a energia para a inibição de convecção sendo que, normalmente, o ar não está saturado e, para atingir a saturação, ele precisa de um deslocamento vertical, ou seja, a parcela de ar precisa ascender verticalmente para começar a saturar, até atingir o nível de convecção livre. Para que este processo ocorra é exigido da parcela uma energia extra, chamada de CIN. Se o CIN tem valor alto, a profundidade das nuvens não se desenvolve muito, mesmo que o valor do CAPE seja positivo. Caso o valor do CIN seja baixo, isto significa condições favoráveis para o desenvolvimento de convecção. Esta energia pode ser calculada por:

$$CIN = \int_{p_i}^{LFC} (T_{vp} - T_{ve}) R_d d(\ln p) ; \quad (\text{J kg}^{-1}) \quad (3)$$

no qual  $p_i$  (hPa) é o nível de pressão na superfície (Williams e Rennó, 1993).

**Água Precipitável ( $w$ )** – é a quantidade integrada de vapor d'água contida em um ambiente que pode estar correlacionada com a possível água de chuva. O conteúdo de água precipitável também pode ser representado pela altura da lâmina d'água que se formaria na superfície, expressa em cm (Iribarne e Godson, 1973). Esta informação é uma boa indicação da quantidade de precipitação que poderá ocorrer em um determinado local, dependendo das condições atmosféricas. O conteúdo de água precipitável é expressa por:

$$w = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} q(p) dp ; \quad (4)$$

no qual  $w$  é expresso em mm,  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m s}^{-2}$ ) e  $p_1$  e  $p_2$  são os níveis de pressão (hPa).

A convecção da atmosfera, as propriedades termodinâmicas de nuvens convectivas e as características da estabilidade são muitas vezes obtidas através da plotagem, em um diagrama termodinâmico, de variáveis climáticas como pressão, temperatura e umidade, a partir de uma radiossondagem.

**Nível de Condensação Convectiva (NCC)** – é a altura das nuvens (tipicamente cumuliformes) que são ou poderiam ser produzidas por convecção térmica, ou seja, somente pelo aquecimento da superfície. O **Nível de Condensação por Levantamento (NCL)** é a altura na qual a parcela de ar, que ascende pela adiábata seca, torna-se saturada, sendo que neste nível pode se formar qualquer tipo de nuvem baixa. Muitas vezes estes níveis coincidem (Manual de Análise do Diagrama Skew-T Log-P, 1969).

Para calcular a *altura da CLC* (**h**) existem vários métodos, sendo que para este trabalho utilizam-se diferentes métodos, a partir de perfis de variáveis meteorológicas, obtidas através de radiossondagens. A seguir descrevem-se estes métodos nos Itens 3.3.1.1 e 3.3.1.2.

### **3.3.1.1 Método Subjetivo do perfil de $q$ e $q$**

Os perfis de temperatura e de umidade específica, na baixa atmosfera, são usados para uma estimativa subjetiva de  $h$ . Sob condições convectivas, esta altura é comumente identificada com a base de uma elevada camada de inversão ou estável, também como a altura de uma redução na umidade específica do ar, que geralmente é acompanhada pelo cisalhamento do vento.

Stull (1988) reporta que dentro da CLC, as propriedades da temperatura potencial ( $\theta$ ) e umidade específica ( $q$ ) são bem misturadas, permanecendo quase que constantes com a altura ( $z$ ) e, ao atingirem a camada de inversão, o gradiente dessas propriedades apresentam uma forte inclinação, deixando assim de ser constantes. Ao atingir esta camada estável, determina-se a camada de inversão, sendo que a altura da CLC corresponde à base desta camada no primeiro ponto onde o perfil da temperatura aumenta e o perfil da umidade específica decresce rapidamente, com a altura, por pelo menos três pontos consecutivos. O ponto mais baixo é adotado como a altura da CLC. Quando este critério para a estimativa da altura da CLC não é estabelecido em ambos os perfis de temperatura potencial e de umidade específica, opta-se pelo perfil de  $\theta$ , pois sabe-se que em uma sondagem podem existir mais erros com o sensor de umidade do que com o sensor de temperatura. Este método está esquematizado na Figura 3.8.

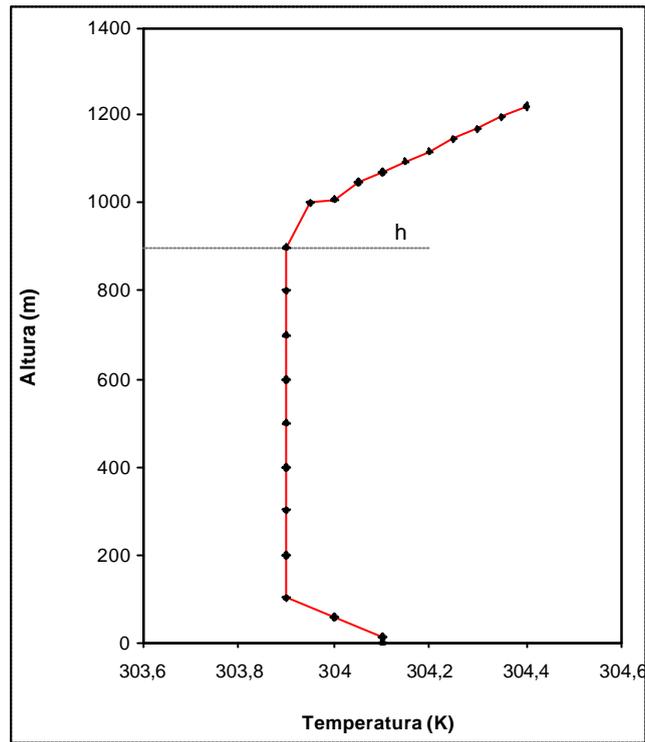


FIGURA 3.8 – Representação ideal do Método Subjetivo do perfil de  $\theta$ .

FONTE: Adaptada de Stull (1988).

### 3.3.1.2 Métodos Objetivos

Alguns métodos objetivos foram desenvolvidos para simplificar e homogeneizar a estimativa de  $h$  em condições convectivas. A idéia básica do “método das parcelas” é a de seguir a adiabática seca, começando a partir da superfície com a temperatura média (suposta temperatura máxima), até a intersecção com o perfil de temperatura, como representado na Figura 3.6. Isto determina  $h$  como sendo um nível de equilíbrio de um hipotético crescimento de parcelas do ar, representando uma térmica. Seibert et al. (2000) citam que a altura encontrada pelo método das parcelas não é fortemente correlacionada com as concentrações de gases traço observadas.

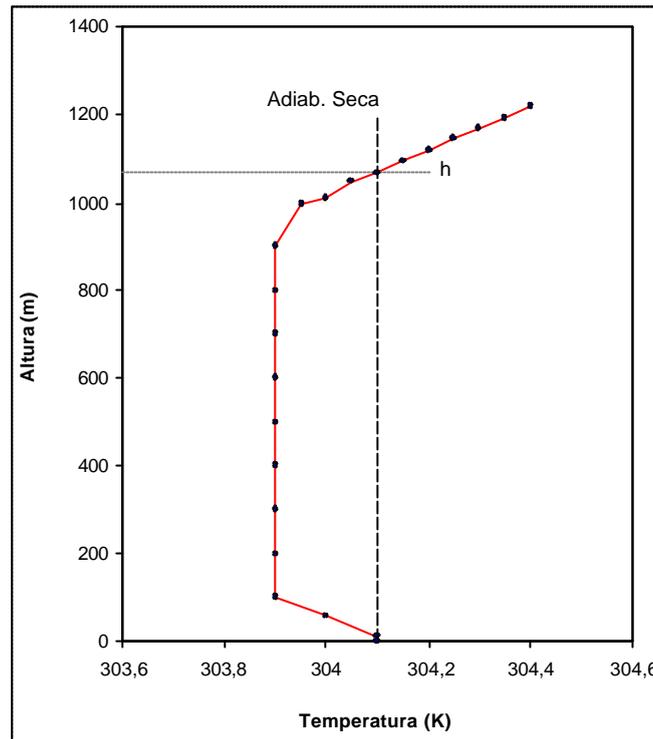


FIGURA 3.9 – Representação ideal do Método das Parcelas.

FONTE: Adaptada de Seibert et al. (2002).

Uma boa aproximação de  $h$  é utilizando o Método do Número de Richardson ( $Ri$ ), o qual difere muito na escolha do nível para a temperatura próximo a superfície, a parametrização da produção de cisalhamento pela turbulência na camada superficial, e a consideração de uma temperatura excessiva, sob condições convectivas.

Para estimar a altura de uma camada limite turbulenta pelo método do número de  $Ri$ , utilizou-se a seguinte equação (Vogelezang e Holtslag, 1996):

$$R_i = \frac{g}{\mathbf{q}} \left( \frac{\left( \frac{\mathbf{q}_2 - \mathbf{q}_1}{z_2 - z_1} \right)}{\left( \frac{(v_2 - v_1)^2}{(z_2 - z_1)^2} \right)} \right); \quad (5)$$

no qual,  $q$  corresponde a temperatura potencial média da camada,  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são as temperaturas na base e no topo da camada,  $\mathbf{v}_1$  e  $\mathbf{v}_2$  é o vento na base e no topo da camada,  $\mathbf{z}_1$  e  $\mathbf{z}_2$  é a altura da base e do topo da camada e  $\mathbf{g}$  é a aceleração da gravidade.

### **3.3.2 Análise dos Elementos Meteorológicos de Superfície**

Foram feitas séries temporais horárias dos elementos meteorológicos de superfície para as fases I e II, a partir de dados coletados através de estações automáticas de superfície. Calcularam-se as médias horárias dos seguintes elementos meteorológicos: temperatura do ar; umidade do ar; velocidade do vento; temperatura do solo, radiação solar além da precipitação acumulada de 1 hora, a fim de que pudesse ser feita uma análise diária (ciclo diário) dos elementos meteorológicos de superfície para ambas as fases do experimento.

Além disso foram analisados os boletins de previsão e análise do tempo, feitos durante todo o experimento. Esses boletins informavam as condições de tempo, sendo que eram analisadas as saídas do modelo Global do NCEP e CPTEC, além de imagens de radar e de satélites. As análises destes boletins foram utilizadas nos estudos de casos.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

A partir dos resultados encontrados podemos dividir este Capítulo em duas partes, sendo a primeira sobre a análise do comportamento das variáveis meteorológicas de superfície, tais como: temperatura e umidade do ar, pressão, velocidade do vento, precipitação e as características médias da CLC durante o período estudado, além de verificar as associações da CLC com as mesmas. A segunda parte deste Capítulo se resume a verificar individualmente, através de estudos de caso, a influência de aerossóis e chuvas intensas na estrutura termodinâmica da CLC durante a fase de coleta de dados do projeto RACCI.

#### 4.1 Análise dos Elementos Climáticos de Superfície

Como era de se esperar, pela climatologia da precipitação, as Figuras 4.1 (a) e (b) mostram que a Fase I manteve-se quase toda sem precipitação, com exceção dos dias 27/9 (30 mm) e 28/9 (32 mm), ou seja, só a partir do final do mês de setembro começa a haver precipitação na região, dando início à estação chuvosa. Durante a Fase II, ocorreu um total de 117 mm, cerca de 44,5% a mais de chuva do que na Fase I, chegando a ocorrer aproximadamente 37 mm no dia 17/10. Se forem considerados apenas os eventos com precipitação superior a 5 mm dia<sup>-1</sup> pode-se dizer que, durante a Fase II, ocorreram cinco eventos de precipitação, contra apenas dois eventos durante a Fase I.

Na Figura 4.2, quando se comparam as Fases I e II, observa-se que durante a Fase I, onde há uma ausência de precipitação, a concentração de aerossóis na atmosfera, provenientes de queimadas locais que são comuns nesta época do ano, é bem mais elevada, com valores entre 4000 e 10000 ng m<sup>-3</sup>, sendo que estes valores vão

diminuindo, consideravelmente, até o final da Fase II, com valores menores que  $2000 \text{ ngm}^{-3}$ . É nítida a redução de aerossóis no dia 29/9, em virtude das chuvas dos dias 27 e 28/9. Isto pode ser explicado pelo fato de que a chuva limpa a atmosfera (pelos mecanismos de “rain-out” e “wash-out”), trazendo consigo a poluição nela existente; porém, este processo leva algum tempo.

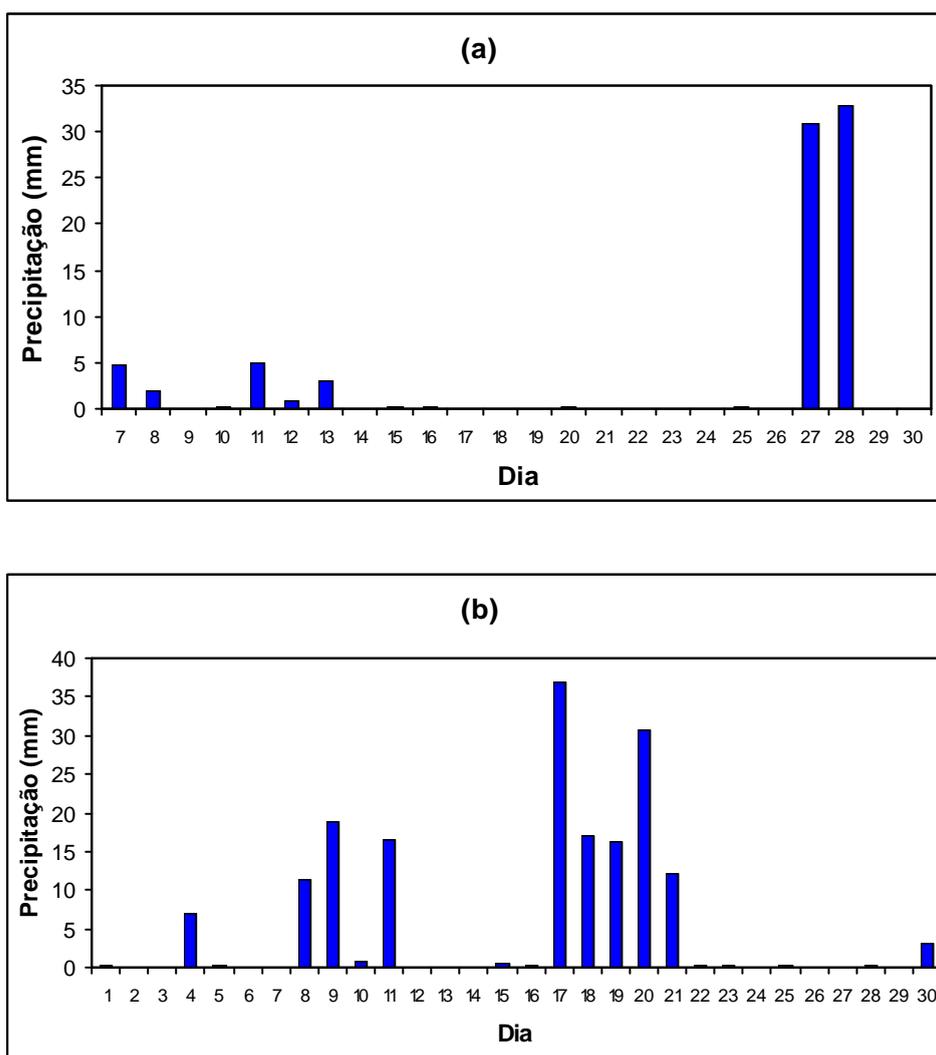


FIGURA 4.1 – Variação Diária da Precipitação para as Fases I (a) e II (b).

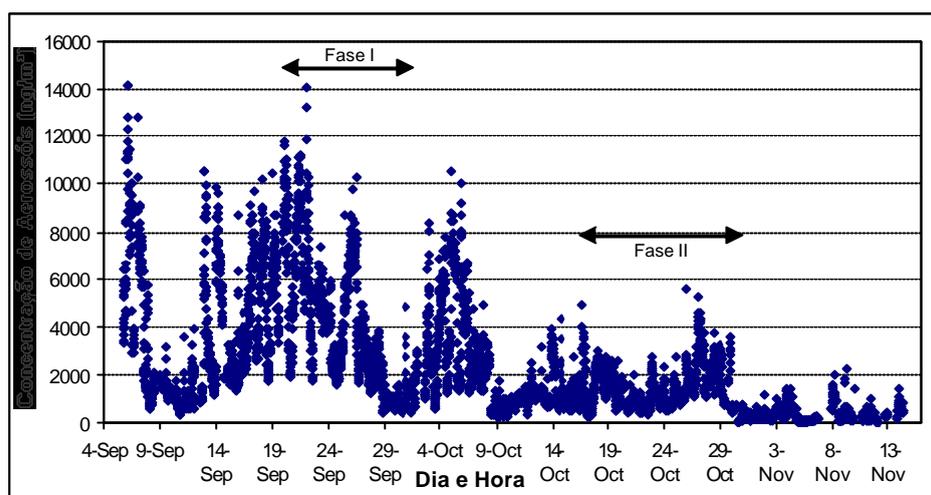


FIGURA 4.2 – Variação Diária da Concentração de Aerossóis para as Fases I e II.

FONTE: [www.lba.iag.usp.br/dados](http://www.lba.iag.usp.br/dados).

Na Figura 4.3, que mostra a variabilidade diária da radiação solar incidente na Fase I (a) e Fase II (b), nota-se que a radiação manteve-se mais elevada durante a Fase II, pois durante a Fase I a maior quantidade de aerossóis presentes na atmosfera provocou uma menor incidência de radiação à superfície. Isto fica mais claro durante a Fase I quando se observa que o máximo de radiação ocorreu no dia 29/9 ( $960 \text{ W m}^{-2}$ ) sendo que este dia apresentou uma quantidade bem menor de aerossóis, uma vez que nos dias 27/9 e 28/9 ocorreram eventos de precipitação. Durante a Fase II pode-se observar que as máximas diárias sempre foram próximas aos  $900 \text{ W m}^{-2}$ , com exceção dos dias com precipitação, que se estenderam desde o dia 17/10 até o dia 21/10. A radiação solar atingiu seu valor máximo, durante a Fase II, no dia 27/10, com  $999 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto que o dia com menor radiação foi 30/10, em que houve precipitação, com uma máxima diária próxima aos  $500 \text{ W m}^{-2}$ . Apesar da radiação incidente no topo da atmosfera ( $RS_{\text{EXTRA}}$ ) ser maior durante a Fase II, determinou-se a razão entre a radiação incidente na superfície (RS) e  $RS_{\text{EXTRA}}$ , a fim de se eliminar o efeito do deslocamento do sol; porém, os resultados (Apêndice B) não mostraram variações significativas a de uma fase para outra.

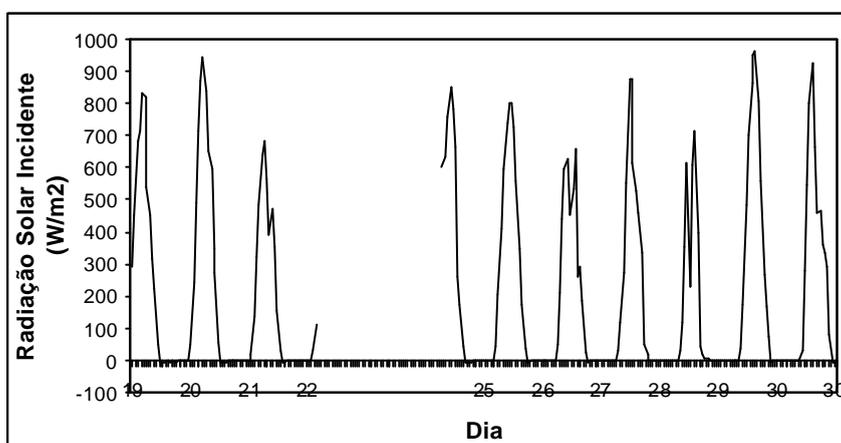
A Figura 4.4 mostra a variabilidade diária da temperatura do ar para as Fases I e II do experimento RACCI/LBA, sendo que durante a Fase I é interessante observar que o final da estação seca apresenta uma média de 26,3 °C para o período, tendo atingido um máximo de 35,5 °C no dia 20/9 e um mínimo de 19,1 °C no dia 25/9, além de apresentar uma amplitude máxima de 15 °C, nos dias 20 e 25/9, coincidindo com os dias de valores extremos da Fase I. Além disso, a temperatura apresenta uma leve tendência negativa. Já durante a Fase II, caracterizada pelo início da estação chuvosa, a temperatura do ar apresentou-se menos elevada, sendo cerca de 0,3 °C mais fria, na média, e com amplitudes diárias menores do que aquelas encontradas na Fase I, ficando esta amplitude em torno de 12,5 °C; porém, o ciclo diário da temperatura do ar durante a Fase II apresenta uma leve tendência de aumento da temperatura, ocasionada pela aproximação do verão da América do Sul.

Com relação à umidade do ar, a Fase I apresentou uma média de 75%, porém com uma tendência positiva e, em consequência ao início da estação chuvosa, houve um aumento de umidade, permanecendo com uma média de 80% para a Fase II, apesar de apresentar uma tendência negativa, que pode ser explicada pela redução da precipitação no final deste período, como pode ser verificado na Figura 4.5. Durante a Fase I, os valores mínimos mantiveram-se entre 35 e 45 %, enquanto que na Fase II estes valores ficaram próximos dos 50% de umidade.

A temperatura do solo na profundidade de 0,1 m, manteve-se praticamente a mesma para os dois períodos, com médias de 27,4 °C e 27,3 °C para a Fase I e II respectivamente, sendo que a maior temperatura registrada foi de 46,1 °C no dia 20/09 contra 39,7 °C no dia 27/10 durante a Fase II, e a menor foi de 13,8 °C contra 15,9 °C nos dias 25/9 e 17/10 respectivamente, conforme mostra a Figura 4.6. A amplitude máxima da temperatura do solo durante a Fase I atingiu 30 °C, enquanto que na Fase II esta amplitude não passou de 25 °C.

Também, para variação temporal da velocidade do vento, pode-se observar que os valores se mantiveram quase iguais, com uma ligeira diminuição de  $0,1 \text{ m s}^{-1}$  para o período chuvoso apresentando médias de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$  e  $1,4 \text{ m s}^{-1}$  para as Fases I e II, respectivamente. Os valores máximos encontrados foram de  $6,2 \text{ m s}^{-1}$ , no dia 17/09 e  $9,1 \text{ m s}^{-1}$ , no dia 15/10, de acordo com a Figura 4.5. Apesar dos valores máximos, ambos os dias não apresentaram eventos de precipitação, porém, no dia 28/09, que foi um dia em que houve precipitação, a velocidade do vento chegou a  $5 \text{ m s}^{-1}$ . Durante a Fase II, os dias 20 e 21/10 apresentaram precipitação e as velocidades chegaram a 5 e  $8 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente, conforme mostra a Figura 4.7.

(a)



(b)

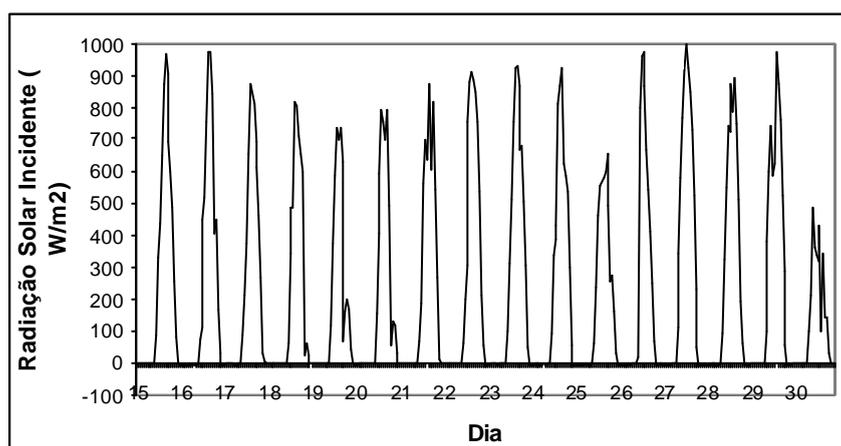


FIGURA 4.3 – Valores médios horários da radiação solar incidente durante as Fases I (a) e II (b).

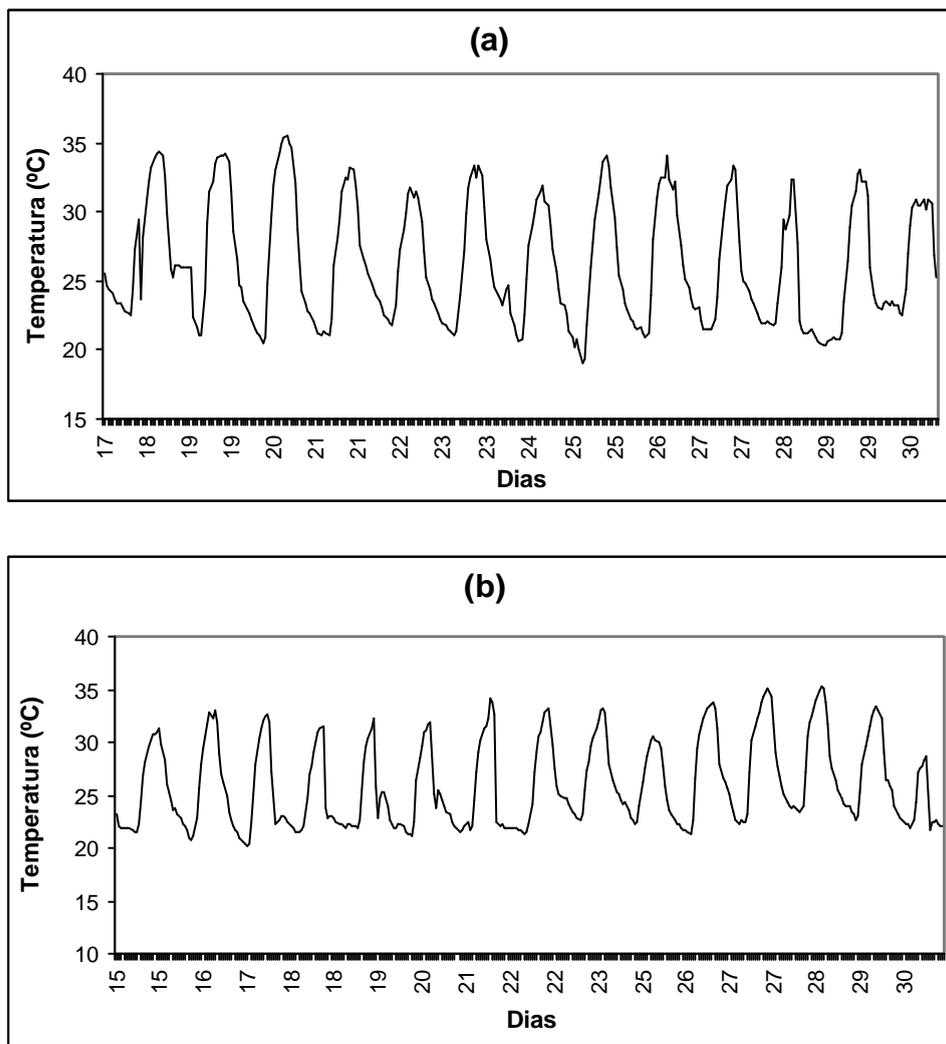


FIGURA 4.4 – Valores médios horários da temperatura do ar para as Fases I (a) e II (b).

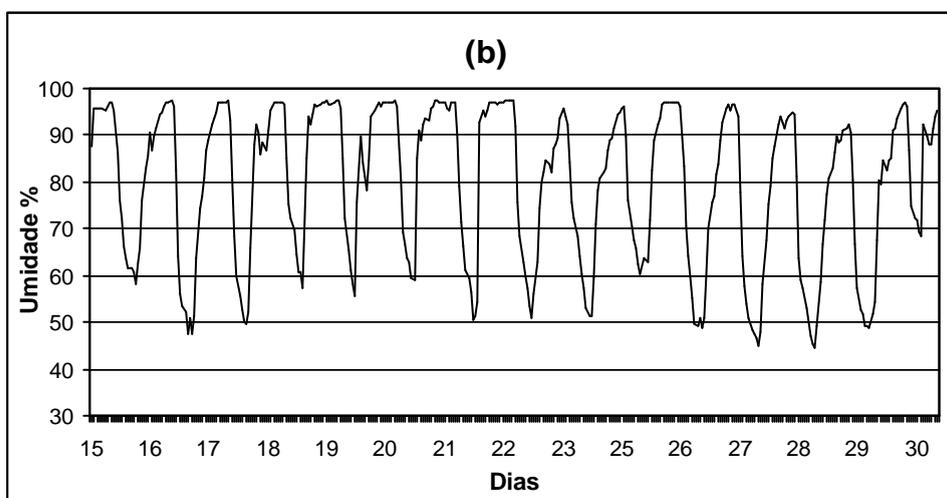
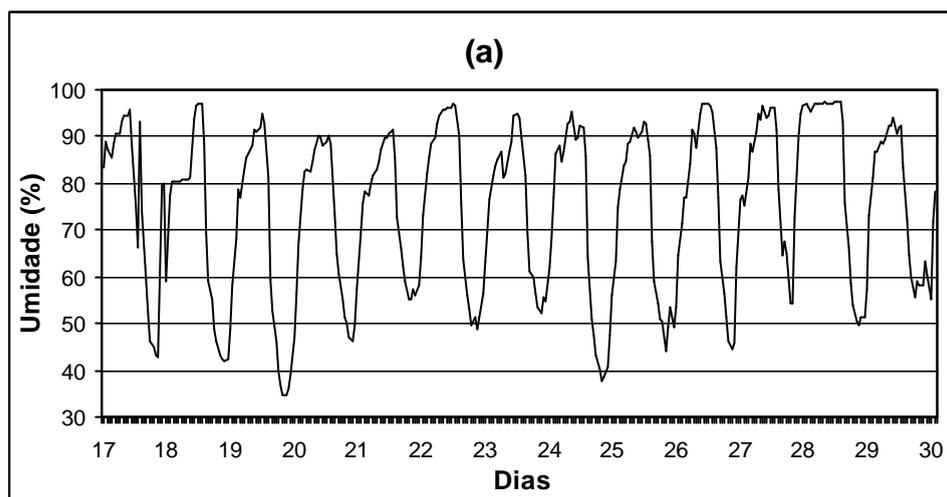


FIGURA 4.5 – Valores médios horários da umidade relativa do ar para as Fases I(a) e II(b).

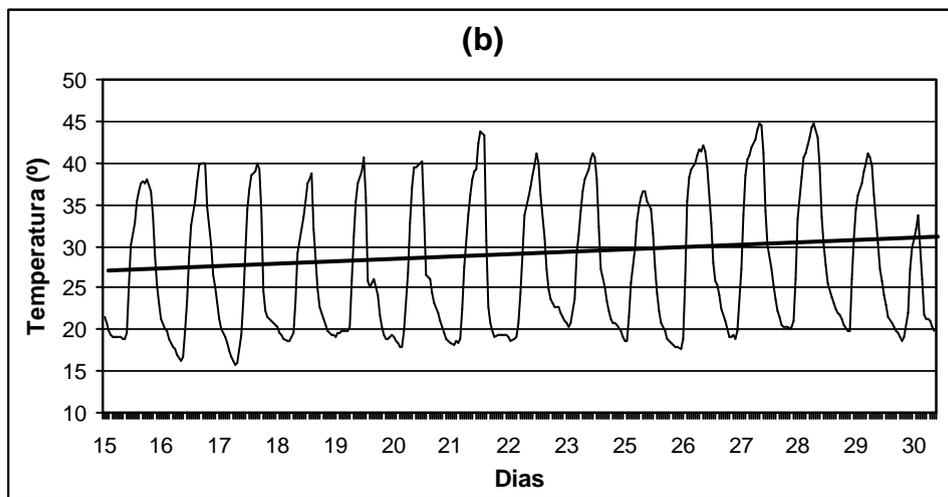
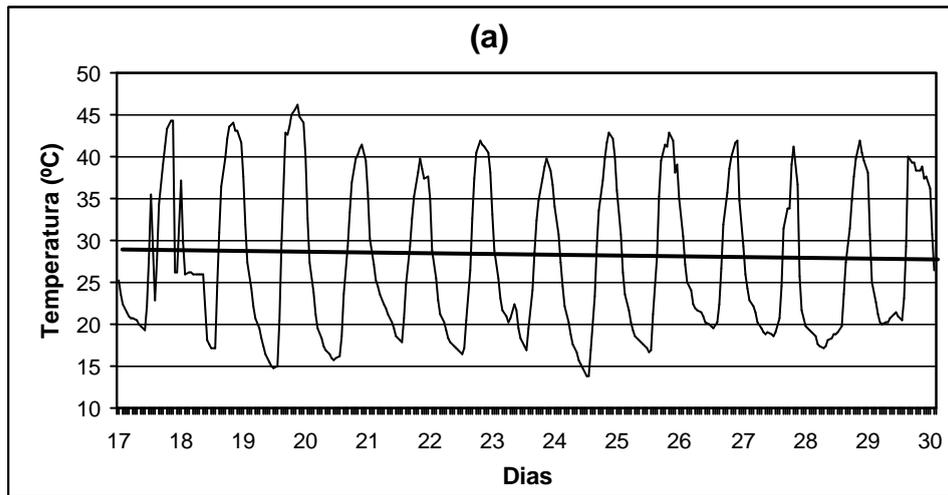


FIGURA 4.6 – Valores médios horários da temperatura do solo para as Fases I (a) e II (b).

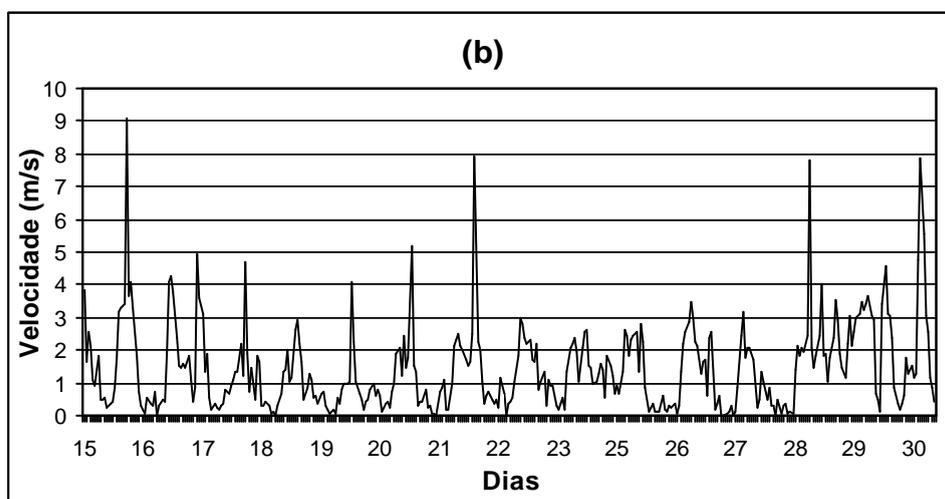
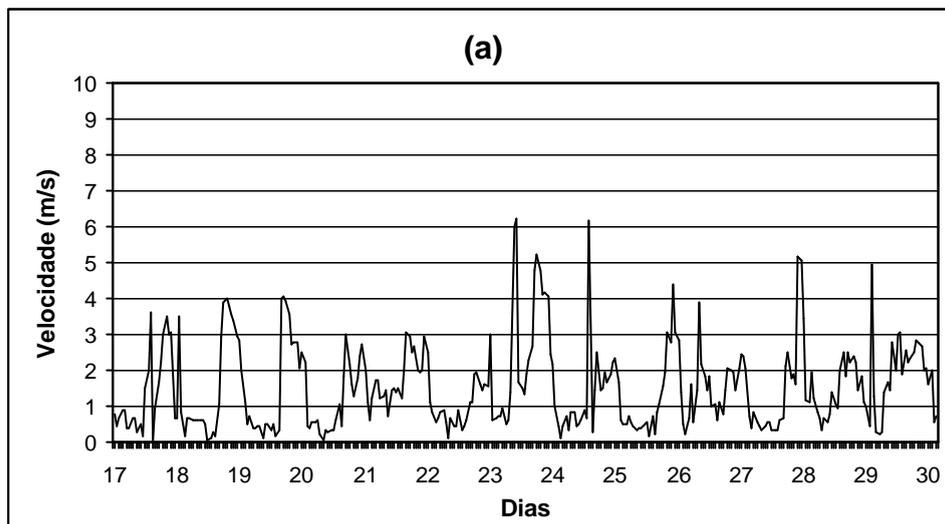


FIGURA 4.7 – Valores médios horários da velocidade do vento para as Fases I (a) e II (b).

## 4.2 Variação dos Parâmetros Médios no Interior da Camada Limite Convectiva

A Tabela 4.1 mostra os valores médios de variáveis termodinâmicas da CLC para todos os dias das Fases I e II, no horário das 17:00 HL, sendo que  $h_{\theta}$  e  $h_q$  foram obtidos através dos perfis de  $\theta$  e  $q$ , respectivamente, conforme descrito na metodologia. Este método foi adotado para o cálculo das alturas da CLC pelo fato de ser mais direto e depender apenas dos dados da radiossondagem. O horário das 17 HL foi utilizado por representar o máximo crescimento da CLC (Fisch et al., 2004).

TABELA 4.1. – Características Médias da CLC para as Fases I e II.

<b>FI</b>	<b><math>h_{\theta}</math></b>	<b><math>h_q</math></b>	<b><math>\theta</math></b>	<b><math>q</math></b>	<b>FII</b>	<b><math>h_{\theta}</math></b>	<b><math>h_q</math></b>	<b><math>\theta</math></b>	<b><math>q</math></b>
<b>Dia</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(K)</b>	<b>(g/kg)</b>	<b>Dia</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(K)</b>	<b>(g/kg)</b>
<b>18/09</b>	1760	1320	307,3	12,2	<b>15/10</b>	1120	1050	304,3	14,0
<b>19/09</b>	--	--	--	--	<b>16/10</b>	1630	1500	306,7	11,5
<b>20/09</b>	2240	2270	308,6	10,7	<b>17/10</b>	*	670	*	15,6
<b>21/09</b>	1780	1270	307,0	12,0	<b>18/10</b>	980	*	304,2	*
<b>22/09</b>	1550	1200	305,8	14,0	<b>19/10</b>	*	1050	*	14,1
<b>23/09</b>	1700	1610	306,7	13,5	<b>20/10</b>	1030	1000	304,3	14,6
<b>24/09</b>	1280	1250	305,3	12,7	<b>21/10</b>	1730	1760	306,9	14,5
<b>25/09</b>	1840	1790	307,0	11,5	<b>22/10</b>	1340	1320	306,2	13,9
<b>26/09</b>	1560	1510	307,4	11,9	<b>23/10</b>	1380	1370	307,0	13,0
<b>27/09</b>	1530	1510	306,2	12,8	<b>24/10</b>	1480	1500	306,9	13,0

(continua)



Com relação ao ciclo diurno de umidade específica, a diferença de uma fase para outra é mais nítida, onde pode-se observar um aumento de  $0,7 \text{ g kg}^{-1}$  de um período para outro, mostrando médias de  $12,8 \text{ g kg}^{-1}$  para a Fase I e  $13,5 \text{ g kg}^{-1}$  para a Fase II. Esta diferença, apesar de pequena, representa uma CLC cerca de 10% mais úmida. A evolução diurna da umidade específica é apresentada na Figura 4.8(a). Com relação às médias horárias da umidade específica, pode-se notar que ela apresenta seu máximo às 08:00 HL e é praticamente igual para os dois períodos estudados neste horário, apresentando uma significativa redução até as 14:00 HL, aumentando até as 17:00 HL, porém mantendo-se sempre mais elevada para a Fase II.

Apesar de um pequeno período de estudo, de 13 dias na Fase I e 15 dias na Fase II, pode-se dizer que estes valores estão de acordo com os valores encontrados na análise das variáveis da superfície, uma vez que a temperatura da superfície manteve-se mais elevada na Fase I e, em resposta direta às forçantes da superfície, a CLC manteve-se mais aquecida e mais elevada na estação seca (Fase I) e, ao contrário, mais fria e úmida durante a estação chuvosa (Fase II).

Conforme mostra a Figura 4.9, as maiores taxas de crescimento da CLC ocorreram entre os horários das 08:00 e 11:00 HL nas duas fases do experimento, sendo essas taxas iguais a  $4,8$  e  $4,0 \text{ cm s}^{-1}$  para as Fases I e II, respectivamente, atingindo alturas superiores a 1000 m às 11:00 HL. Após este horário (11:00 HL) a CLC cresce mais lentamente (cerca de  $3,6 \text{ cm s}^{-1}$  para a Fase I e  $2,1 \text{ cm s}^{-1}$  para a Fase II) entre 11:00 e 14:00 HL, e possui um comportamento quase estacionário após as 14:00 HL, com um crescimento pequeno de  $0,5 \text{ cm s}^{-1}$  para a Fase I e chegando até a diminuir ( $-0,2 \text{ cm s}^{-1}$ ) durante a Fase II. Este comportamento foi observado anteriormente (Fisch et al., 2004).

Na Figura 4.10 mostra o fluxo de calor sensível (H) para as Fases I (a) e II (b), observando-se que quase todos os dias da Fase I apresentaram valores máximos maiores que  $200 \text{ W m}^{-2}$ , com exceção do dia 28/9, em que houve uma forte precipitação (Figura

4.1a), proporcionando um aumento de calor latente, e conseqüentemente, uma redução dos valores de  $H$ . Para a Fase II, verificou-se que nenhum dia apresentou valores de  $H$  superiores a  $250 \text{ W m}^2$ , uma vez que esta fase foi mais chuvosa (Figura 4.1b).

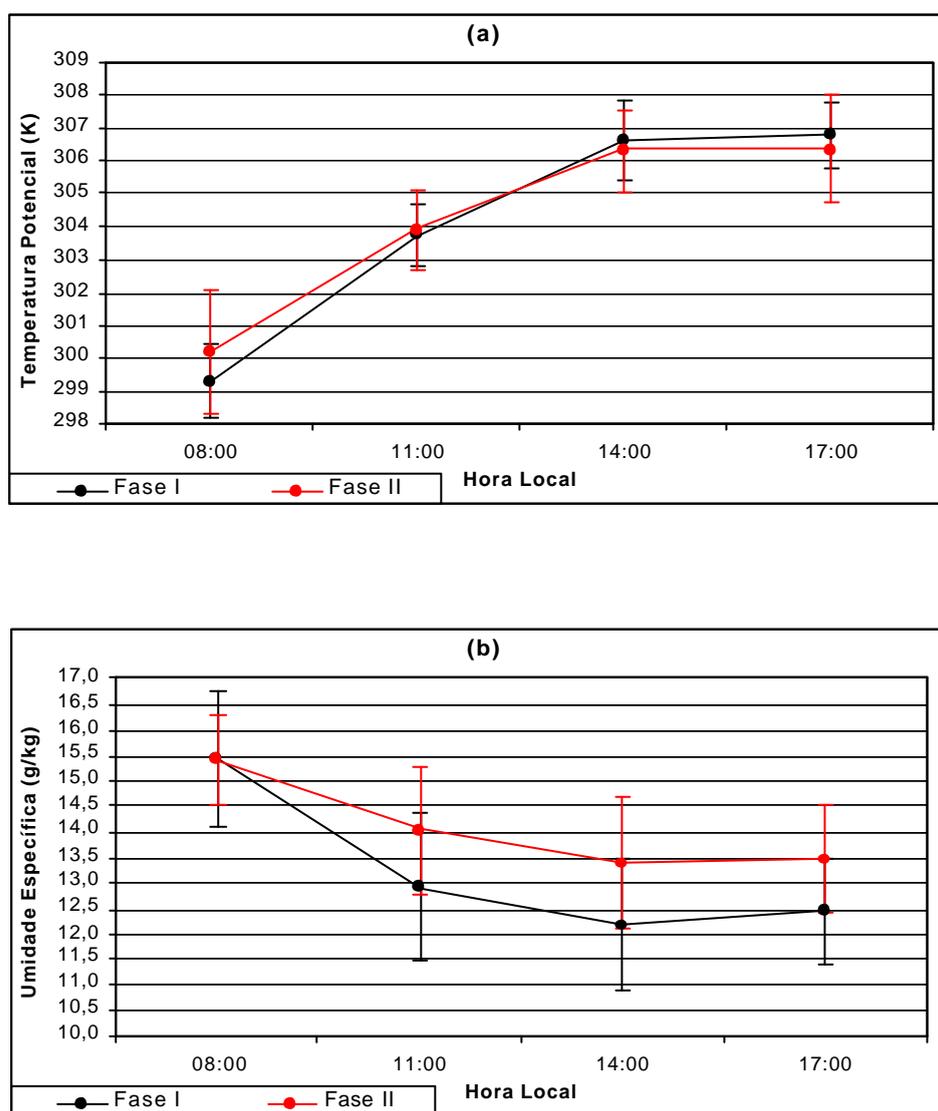


FIGURA 4.8. - Evolução temporal na CLC da (a) temperatura potencial média e da (b) umidade específica média, em que as barras verticais correspondem ao desvio padrão.

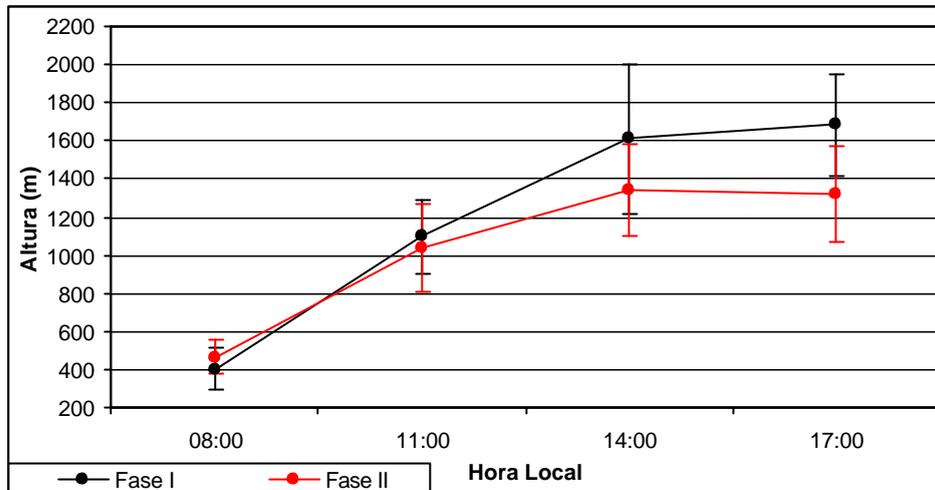


FIGURA 4.9 – Evolução temporal média da altura da Camada Limite Convectiva para as Fases I e II, em que as barras verticais correspondem ao desvio padrão.

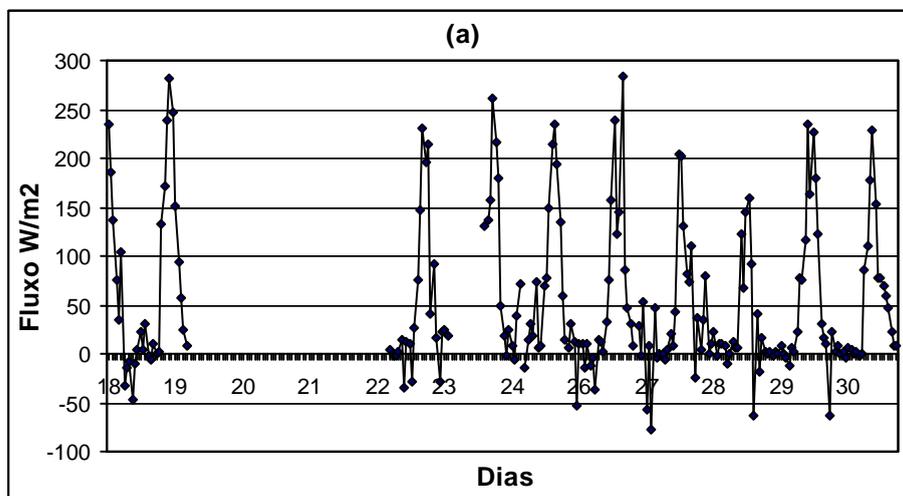


FIGURA 4.10 – Variação diária do fluxo de calor sensível para as Fases I (a) e II (b).

(continua)

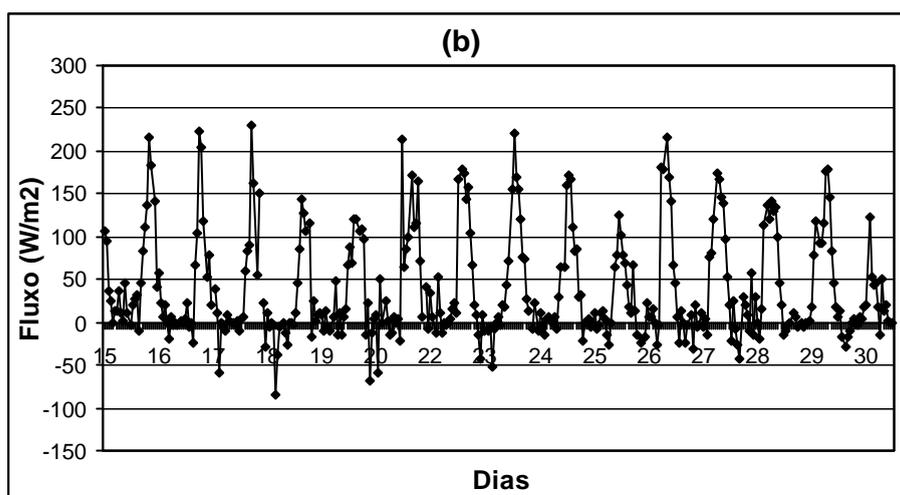


FIGURA 4.10 – Conclusão.

Com a finalidade de verificar como a CLC se comporta após as 17:00 HL, determinou-se a altura da Camada Residual (CR) para todos os dias das Fases I e II para os horários das 20:00 HL e 04:00 HL, sendo que estes valores são mostrados na Tabela 4.2. Pode-se verificar que, durante a Fase I, tanto para as 04:00 HL quanto para às 20:00 HL, em média, a CR decresce linearmente com uma taxa de  $3,0 \text{ cm s}^{-1}$ , e durante a Fase II a taxa de decaimento da camada, em média, é mais lenta das 17:00 HL às 20:00 HL ficando em torno de  $2,2 \text{ cm s}^{-1}$ , com esta taxa diminuindo ainda mais durante a madrugada, passando para  $1,2 \text{ cm s}^{-1}$ , das 20:00 HL para as 04:00 HL.

Na Figura 4.11, que mostra a altura média da CLC às 17:00 HL e as alturas médias da CR das 20:00 HL e das 04:00 HL, observa-se que durante a fase com maior concentração de aerossóis (Fase I), as alturas médias diminuem mais rapidamente, passando de 1690 m às 17:00 HL para 1290 m e 910 m, às 20:00 HL e às 04:00 HL, respectivamente. Porém, a Fase I apresentou os maiores desvios, chegando a 450 m às 20:00 HL. Já durante a Fase II, em que houve as menores alturas médias da CLC, também apresentou menores valores de alturas da CR, sendo que estes valores passaram de 1320 m às 17:00 HL para 1070 m e 860 m às 20:00 HL e 04:00 HL, respectivamente; o maior desvio encontrado para esta fase foi de aproximadamente 350 m às 20:00 HL.

TABELA 4.2 – Alturas médias da CLC das 17:00 HL e alturas médias da CR das 20:00 HL e das 04:00 HL.

Alturas (m) para a Fase I				Alturas (m) para a Fase II			
Dias	17:00	20:00	04:00	Dias	17:00	20:00	04:00
18/set	1755	1020	--	15/out	1115	1030	
19/set	--	1600	760	16/out	1627	760	820
20/set	2240	1025	1100	17/out	*	1635	434
21/set	1780	1640	1485	18/out	979	*	990
22/set	1550	705	1200	19/out		--	760
23/set	1700	1810	1485	20/out	1027	750	*
24/set	1280	957	480	21/out	1730	620	767
25/set	1840	1770	475	22/out	1337	760	1700
26/set	1560	1865	590	23/out	1377	1535	*
27/set	1530	1050	750	24/out	1483	--	960
28/set	*	*	730	25/out	1017	870	510
29/set	1640	720	*	26/out	1230	1230	*
<b>Média</b>	<b>1690</b>	<b>1290</b>	<b>910</b>	27/out	1279	950	1020
<b>DP</b>	<b>252</b>	<b>450</b>	<b>386</b>	28/out	1659	1190	745
				29/out	1325	1530	745
				<b>Média</b>	<b>1320</b>	<b>1070</b>	<b>860</b>
				<b>DP</b>	<b>251</b>	<b>349</b>	<b>333</b>

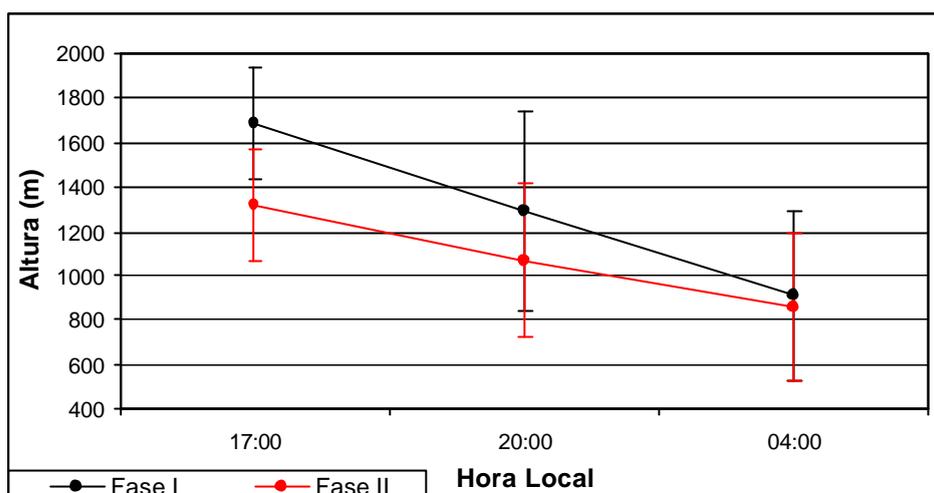


FIGURA 4.11 – Evolução temporal média da CR para as Fases I e II.

### 4.3 Análise Termodinâmica da Atmosfera

Realizou-se um estudo termodinâmico da atmosfera para o período estudado, onde foram calculados os valores de CAPE ( $\text{J kg}^{-1}$ ), CIN ( $\text{J kg}^{-1}$ ) e  $w$  (cm) para os horários das 08:00, 11:00, 14:00 e 17:00 HL, sendo que os seus valores encontram-se na Tabela 4.3.

Pode-se dizer que a Energia Potencial Disponível para Convecção (CAPE), em média, manteve-se elevada tanto para a estação seca quanto para a chuvosa, apresentando algumas diferenças nas médias horárias, sendo que, se para os horários das 08:00 e 17:00 HL a CAPE foi maior na Fase I do que na Fase II, com médias de 2491 e 3221  $\text{J kg}^{-1}$  contra 2262 e 2864  $\text{J kg}^{-1}$ , respectivamente, o contrário ocorrem para os demais horários, permanecendo a Fase II com maiores valores, chegando a 4779  $\text{J kg}^{-1}$  no dia 22/10 às 11:00 HL, observando-se que os desvios para a Fase I foram maiores e ficaram em torno de 890  $\text{J kg}^{-1}$ , enquanto que para a Fase II estes valores foram próximos a 740  $\text{J kg}^{-1}$ .

Para os horários das 08:00, 11:00 e 14:00 HL nota-se que os valores médios de CIN são maiores na Fase I do que na Fase II, e isso se reflete na precipitação, pois apesar da Fase I apresentar um alto valor de CAPE, ela também apresenta valores mais elevados de energia para inibição de convecção. Assim como com o CAPE, o desvio padrão para a Fase I também foi maior, com um valor de  $48 \text{ J kg}^{-1}$  e  $38 \text{ J kg}^{-1}$  para a Fase II. Analisando-se dias de chuva, como os dias 28/9 e 17/10, percebe-se que, antes da precipitação há uma redução no valor de CIN, diminuindo de  $10 \text{ J kg}^{-1}$  às 11:00 HL para  $3 \text{ J kg}^{-1}$  às 14:00 HL, no dia 28/9, e de  $5 \text{ J kg}^{-1}$  às 14:00 HL para  $1 \text{ J kg}^{-1}$  às 17:00 HL, no dia 17/10.

Como já era de se esperar, o conteúdo de água precipitável ( $w$ ) presente na atmosfera foi, em média, maior durante a Fase II e em todos os horários. Isto se deve ao fato da estação chuvosa já estar iniciando durante este período. Percebe-se ainda um ligeiro aumento no valor de  $w$  durante o final da Fase I, coincidindo com a transição da estação seca para a chuvosa e decorrente das chuvas dos dias 27 e 28/9. Os desvios apresentaram uma ligeira diferença permanecendo 0,4 cm e 0,3 cm para as Fases I e II, respectivamente.

De acordo com a Tabela 4.3, podemos tomar como exemplo de um dia com chuva, o dia 28/9. Verifica-se um aumento no CAPE, de aproximadamente  $1500 \text{ J kg}^{-1}$ , das 11:00 para as 14:00 HL, e uma redução do CIN para quase zero ( $3 \text{ J kg}^{-1}$ ), coincidindo com o início de uma precipitação de quase 32 mm. Nota-se ainda que às 11:00 HL o conteúdo de água precipitável foi o maior ocorrido durante a Fase I.

TABELA 4.3 – Parâmetros Termodinâmicos (CAPE, CIN, w) da Atmosfera para as Fases I e II.

Dia	Hora Local	CAPE (Jkg <sup>-1</sup> )	CIN (Jkg <sup>-1</sup> )	w (cm)	Dia	Hora Local	CAPE (Jkg <sup>-1</sup> )	CIN (Jkg <sup>-1</sup> )	w (cm)
18/set	08:00	1827	100	2,69	15/out	08:00	1447	48	3,98
	11:00	2077	28	2,77		11:00	882	27	2,3
	14:00	3452	0	3,08		14:00	1550	29	3,88
	17:00	2456	0	3,45		17:00	2857	24	3,89
19/set	08:00	1827	100	269	16/out	08:00	1124	211	3,97
	11:00					11:00			
	14:00	3581	2	2,59		14:00	2799	23	3,78
	17:00					17:00	2093	35	3,83
20/set	08:00	3515	192	4,05	17/out	08:00	2093	35	3,83
	11:00					11:00			
	14:00	2214	0	2,94		14:00	2827	5	3,53
	17:00	4883	0	3,75		17:00	3343	1	4,51
21/set	08:00	1986	33	2,72	18/out	08:00	2461	8	3,88
	11:00					11:00	2850	19	3,92
	14:00					14:00			
	17:00	2446	18	2,75		17:00			
22/set	08:00	3776	1	3,44	19/out	08:00	2001	86	3,72
	11:00					11:00	1975	24	3,78
	14:00	3391	11	3,5		14:00	2587	12	4,03
	17:00	2893	23	3,08		17:00	2749	24	3,89
23/set	08:00	3185	38	3,33	20/out	08:00			
	11:00					11:00			
	14:00	4099	8	3,5		14:00	3440	2	4,02
	17:00	3730	8	3,58		17:00	3466	17	4,18
24/set	08:00	2716	19	3,37	21/out	08:00	1855	35	3,61
	11:00	2264	27	3,39		11:00	2141	15	3,59
	14:00	2136	48	3,28		14:00	3234	8	3,8
	17:00	1990	83	3,35		17:00			
25/set	08:00	1797	108	3,11	22/out	08:00	2841	11	3,94
	11:00	1287	149	3,03		11:00	4779	17	4,53
	14:00	1839	38	3,18		14:00	2480	13	3,69
	17:00	2417	21	3,12		17:00	3056	3	3,74
26/set	08:00	2895	8	3,18	23/out	08:00	2855	27	4,07
	11:00	4191	0	3,07		11:00	2996	15	3,78
	14:00	3059	0	3,65		14:00	2802	4	3,78
	17:00	3147	3	3,3		17:00			
27/set	08:00	1993	19	3,85	24/out	08:00	3131	5	3,38
	11:00	1321	142	3,84		11:00	2174	29	3,38
	14:00	1973	12	3,89		14:00	3780	4	3,54
	17:00	3885	0	4,07		17:00	3221	8	3,55
28/set	08:00	2821	15	4,04	25/out	08:00	2868	35	3,85
	11:00	2287	10	4,08		11:00	2577	39	3,78
	14:00	3797	3	3,38		14:00	2828	37	3,7
	17:00					17:00	2093	108	3,71
29/set	08:00	1549	57	3,49	26/out	08:00	2045	138	3,75
	11:00	1478	102	3,4		11:00	3448	14	3,72
	14:00	2834	33	3,47		14:00			
	17:00	3584	0	3,7		17:00	2069	32	3,69
30/set	08:00				27/out	08:00	2568	28	3,4
	11:00					11:00	2888	27	3,55
	14:00	1807	87	3,68		14:00	3322	7	3,53
	17:00					17:00	3448	8	3,68
					28/out	11:00	4022	10	3,25
						14:00	3114	4	3,46
						17:00	3252	4	3,44
					29/out	08:00	1551	57	3,48
						11:00	1887	97	3,63
						14:00	2225	35	3,75
						17:00	2717	22	3,69

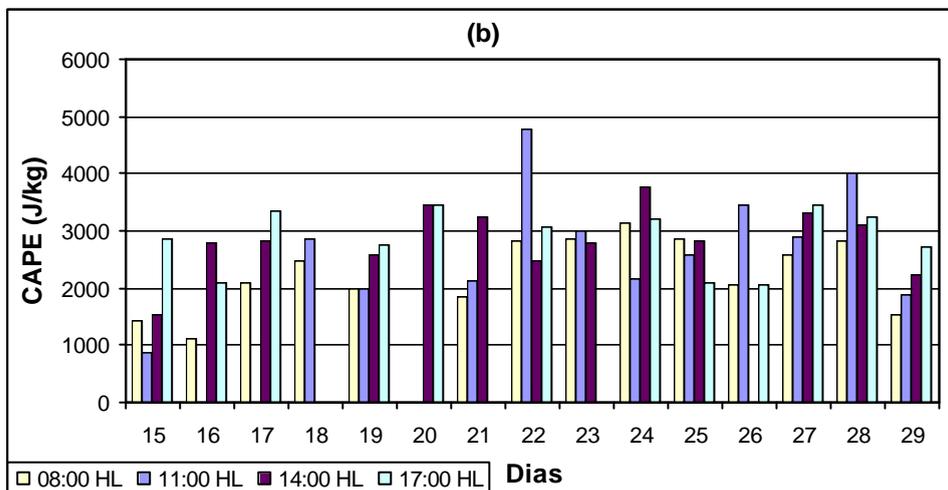
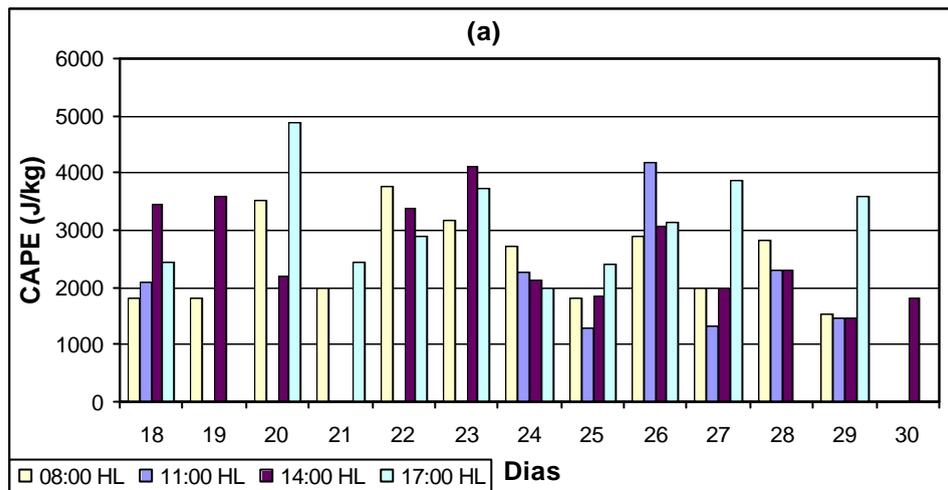


FIGURA 4.12 – Evolução temporal do CAPE para as Fases I (a) e II (b).

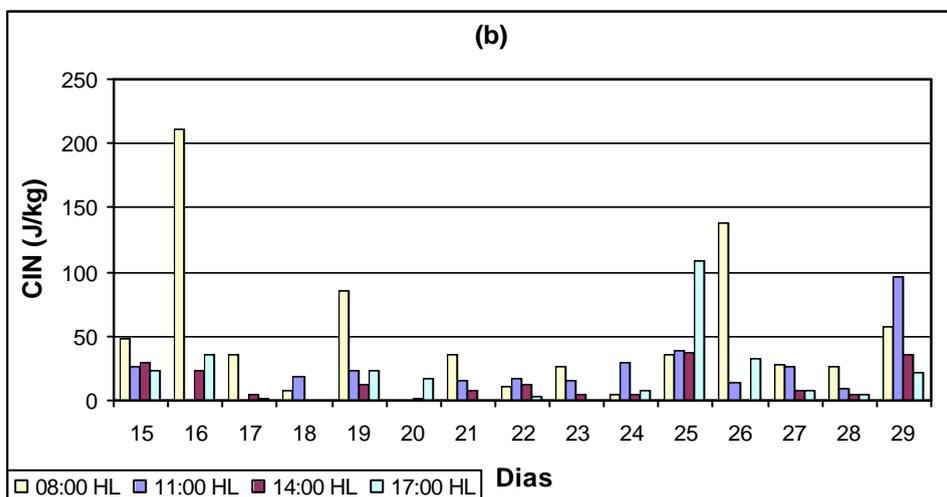
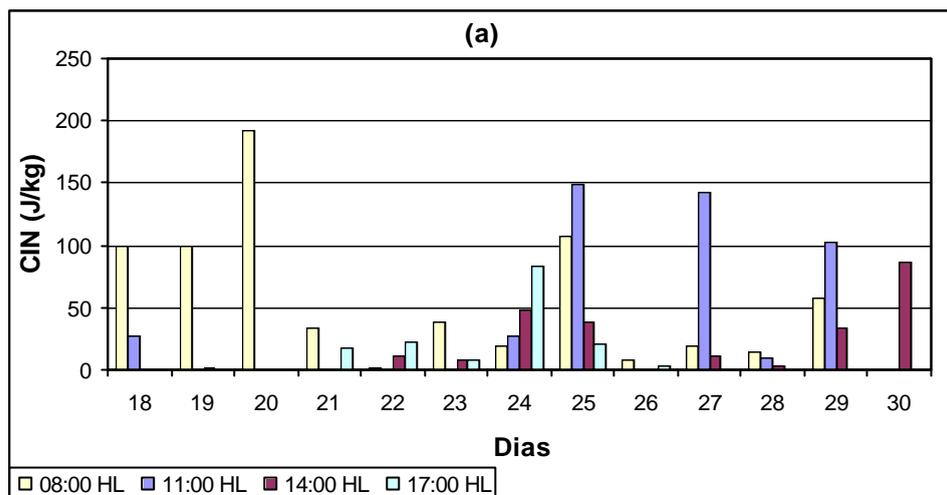


FIGURA 4.13 – Evolução temporal do CIN para as Fases I (a) e II (b).

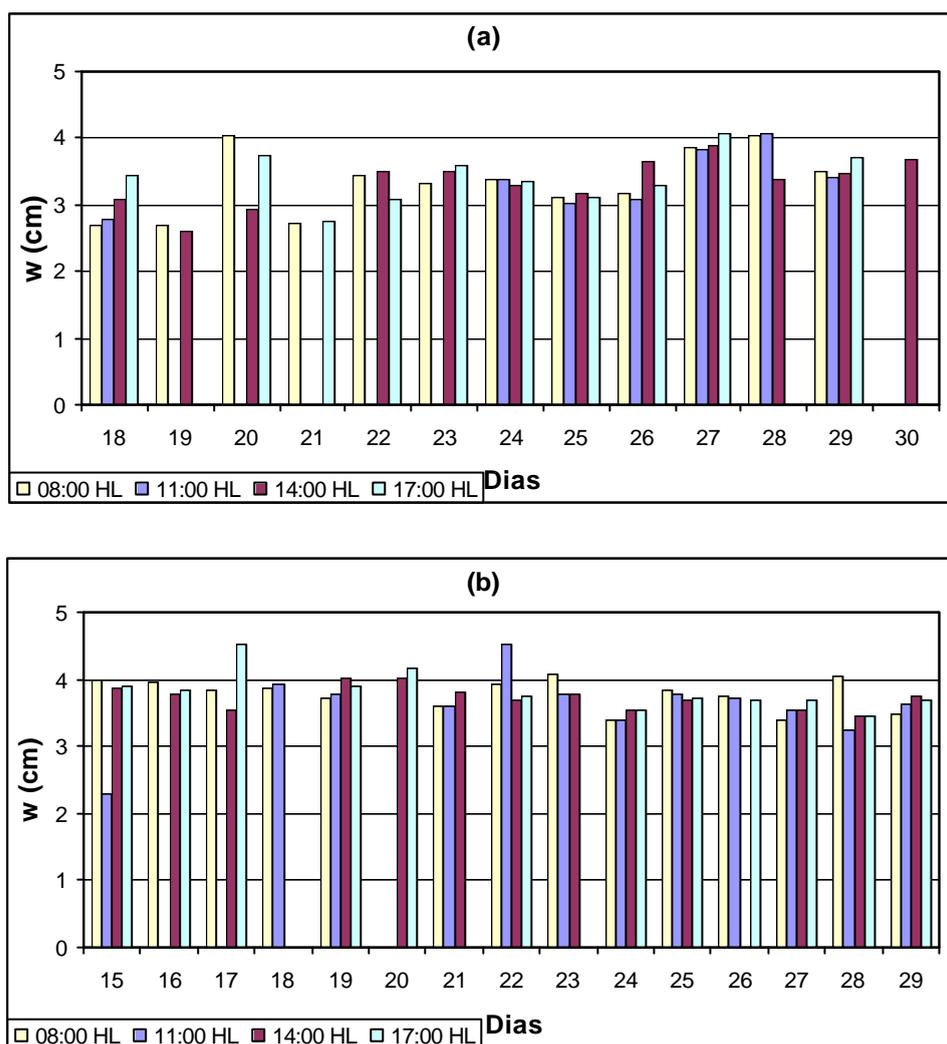


FIGURA 4.14 – Evolução temporal de  $w$  para as Fases I (a) e II (b).

#### 4.4 Comparação dos Métodos de Estimativa da Altura da CLC

Para este trabalho, foram escolhidos três métodos para a determinação da altura da CLC, com o objetivo de se fazer uma comparação entre eles. Os escolhidos foram dois métodos objetivos (Método da Parcela e o Método do Número de Richardson) e um método subjetivo, através dos perfis de temperatura potencial e razão de mistura. Estes métodos foram descritos no Capítulo 3.

Através desses métodos foi possível calcular e comparar a altura da camada limite em quatro horários diferentes, às 08:00 HL, 11:00 HL, 14:00 HL e às 17:00 HL, tanto para a Fase I quanto para a Fase II, conforme as Tabelas 4.4 e 4.5, respectivamente.

Para a Fase I pode-se observar que os métodos do Número de Richardson e do Perfil tiveram valores médios bem próximos, porém sempre com as alturas médias calculadas pelo primeiro método menores que as calculadas pelo segundo. Isto pode ser visto através do valor de coeficiente de regressão ( $r^2$ ), que foi mais elevado na comparação destes dois métodos, chegando a um valor de 0,85. No entanto, o método das Parcelas foi o que apresentou as alturas mais diferentes, quando comparadas com as dos outros dois métodos, mantendo quase sempre alturas médias cerca de 25% mais elevadas nos horários das 08:00 HL e 14:00 HL; durante o horário das 17:00 HL, a altura média da CLC permaneceu cerca de 4% menor do que a obtida com os outros dois métodos, como se pode observar na Figura 4.15. Os valores de  $r^2$  foram mais baixos nas comparações do Método das Parcelas com os métodos do Perfil e do Número de Richardson, atingindo valores de 0,62 e 0,69, respectivamente.

De acordo com a Figura 4.16 verifica-se que durante a Fase II, os métodos do Número de Richardson e o do Perfil, quando comparados, apresentam uma similaridade de valores muito grande ( $r^2 = 0,97$ ), apresentando, em média, uma diferença de 30 m apenas, o que concorda com os valores encontrados durante a Fase I. Como ocorreu na Fase I, o método das Parcelas também não apresentou valores coincidentes com os valores encontrados pelos outros dois métodos, sendo que, durante os horários das 08:00 HL e 14:00 HL, o método das parcelas apresentou alturas aproximadamente 15% mais altas que os métodos de Richardson e do Perfil e, durante os demais horários, apresentou alturas de cerca de 30% mais elevadas. Na comparação entre o Método das Parcelas com o Método do Perfil e do Número de Richardson os valores de  $r^2$  foram ainda mais baixos, com valores iguais a 0,31 e 0,14, respectivamente.

TABELA 4.4 – Altura Média da CLC calculada por diferentes métodos e diferentes horários para a Fase I.

Método das Parcelas					Método do Número de Richardson					Método dos Perfis				
	Alturas (m)					Alturas (m)					Alturas (m)			
Dias	08:00	11:00	14:00	17:00	Dias	08:00	11:00	14:00	17:00	Dias	08:00	11:00	14:00	17:00
18/set	**	**	2369	1359	18	**	1193	**	**	18/set	335	1305	2143	1755
19/set	**	--	2097	--	19	328	--	1975	--	19/set	376	--	1992	--
20/set	**	--	2386	2089	20	292	--	**	2045	20/set	292	--	2362	2237
21/set	**	--	**	**	21	346	--	--	1730	21/set	356	--	--	1776
22/set	580	--	1982	1095	22	634	--	1584	1546	22/set	662	--	1626	1546
23/set	496	--	1863	1511	23	331	--	1523	1667	23/set	467	--	1523	1702
24/set	539	934	1155	1473	24	413	889	915	1257	24/set	422	895	991	1277
25/set	341	879	1929	1813	25	**	967	1510	1585	25/set	331	974	1532	1837
26/set	455	1846	1944	1827	26	335	1306	1693	1517	26/set	344	1357	1693	1558
27/set	426	945	1626	2156	27	356	908	1498	1761	27/set	363	908	1517	1526
28/set	474	667	1815	736	28	318	918	1340	1298	28/set	326	*	1427	*
29/set	563	1034	1521	1714	29	371	906	1354	1615	29/set	379	1140	1362	1640
30/set	741	--	1029	--	30	574	--	1145	--	30/set	584	--	1145	--
Média	513	1051	1968	1595	Média	391	1012	1454	1602	Média	403	1097	1609	1685
Desv Pad	113	409	421	439	Desv Pad	111	161	291	227	Desv Pad	108	195	395	266

-- → Ausência de sondagem

\* → Dias com chuva

\*\* → Erros nos cálculos das estimativas de h

TABELA 4.5 – Altura Média da CLC calculada por diferentes métodos e diferentes horários para a Fase II.

Método das Parcelas					Método do Número de Richardson					Método dos Perfis				
	Alturas (m)					Alturas (m)					Alturas (m)			
Dias	12:00	15:00	18:00	21:00	Dias	12:00	15:00	18:00	21:00	Dias	12:00	15:00	18:00	21:00
15/out	553	1102	1211	1294	15	490	1002	1160	1074	15/out	499	1011	1170	1115
16/out	752	1043	1929	2016	16	328	714	1436	1584	16/out	359	780	1446	1627
17/out	563	1235	1720	1498	17	348	1009	1621	1531	17/out	354	979	1661	*
18/out	459	1531	1302	1187	18	508	1078	1168	1569	18/out	508	1088	1214	979
19/out	538	1315	1502	506	19	438	1120	1619	1098	19/out	438	1120	*	*
20/out	--	--	1087	--	20	--	--	1542	1017	20/out	--	--	988	1027
21/out	820	1729	2243	1905	21	**	1112	**	1673	21/out	450	1112	1396	1730
22/out	650	1131	1817	1701	22	384	891	972	1391	22/out	384	882	1003	1337
23/out	843	1134	1121	1493	23	394	970	1032	1377	23/out	394	980	1055	1377
24/out	734	1227	2016	1908	24	499	794	1440	1473	24/out	499	794	1440	1483
25/out	731	1221	1700	1793	25	465	723	1276	1008	25/out	484	731	1276	1017
26/out	726	2087	2254	1693	26	467	1252	1538	1230	26/out	439	1293	1517	1230
27/out	563	1324	2479	2221	27	445	1184	1464	1279	27/out	445	1113	1475	1279
28/out	717	1310	1930	2110	28	717	1543	1412	1659	28/out	694	1614	1393	1659
29/out	669	1398	2557	1785	29	579	1098	**	1444	29/out	560	1005	1772	1325
<b>Média</b>	<b>645</b>	<b>1320</b>	<b>1791</b>	<b>1573</b>	<b>Média</b>	<b>466</b>	<b>1035</b>	<b>1360</b>	<b>1361</b>	<b>Média</b>	<b>465</b>	<b>1036</b>	<b>1343</b>	<b>1322</b>
<b>Desv Pad</b>	<b>115</b>	<b>280</b>	<b>477</b>	<b>442</b>	<b>Desv Pad</b>	<b>102</b>	<b>220</b>	<b>218</b>	<b>231</b>	<b>Desv Pad</b>	<b>89</b>	<b>227</b>	<b>238</b>	<b>251</b>

-- → Ausência de sondagem

\* → Dias com chuva

\*\* → Erros nos cálculos das estimativas de h

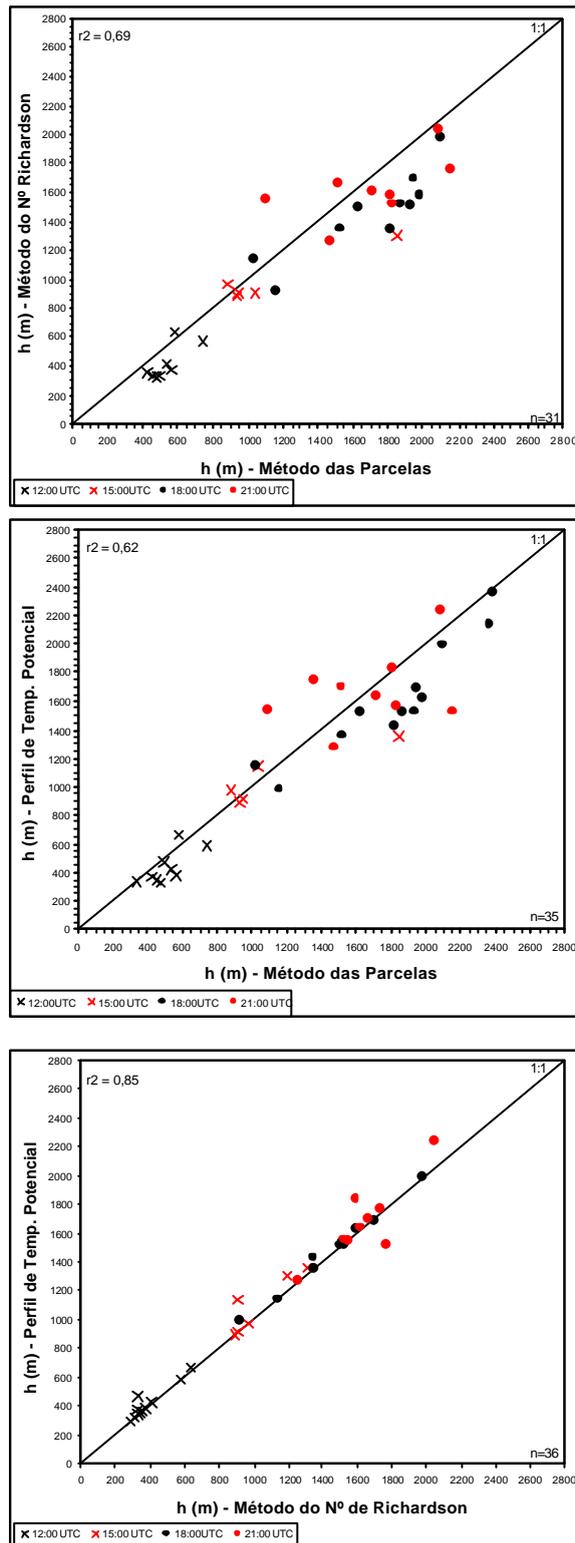


FIGURA 4.15 - Comparação, das alturas da CLC, entre o Método da Parcela, o Método do Número de Richardson e o Método Subjetivo, para a Fase I.

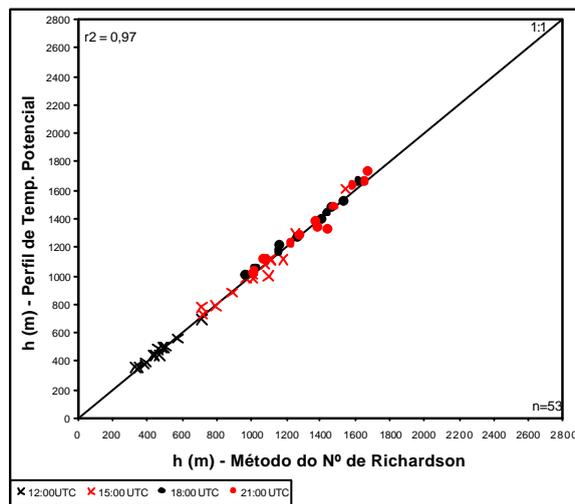
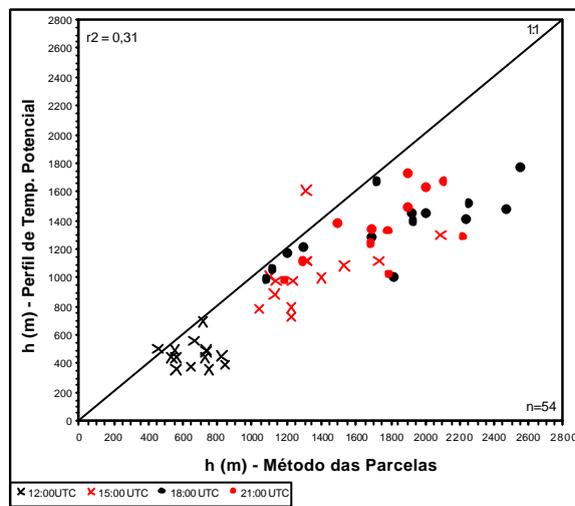
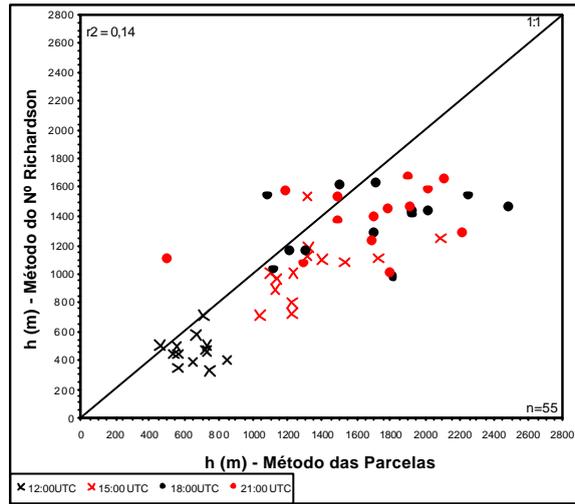


FIGURA 4.16 - Comparação, das alturas da CLC, entre o Método da Parcela, o Método do Número de Richardson e o Método Subjetivo, para a Fase II.

## **4.5 Análise dos Estudos de Caso da Estrutura da CLC em Dias com e sem a Presença de Aerossóis e Precipitação**

Para estas análises foram selecionados quatro dias com características distintas de concentração de aerossóis e precipitação, sendo eles: o dia 23/9 (caso 1), que apresentou uma concentração alta de aerossóis e nenhuma precipitação; o dia 28/9 (caso 2), com uma alta concentração de aerossóis e bastante precipitação, o dia 17/10 (caso 3), apresentando concentração baixa de aerossóis e muita precipitação, e o dia 24/10 (caso 4) com pouca concentração de aerossóis e nenhuma precipitação. O objetivo destas análises é o de se obter uma idéia da influência dos aerossóis e da precipitação na determinação da estrutura da CLC.

### **4.5.1 Análise do Dia 23/9 (Caso 1)**

O dia 23/9 (Caso 1) foi selecionado por ter sido um dia em que a concentração de aerossóis apresentou-se bastante elevada (Figura 4.2), mostrando a influência dos aerossóis na estrutura da CLC para condições atmosféricas de altas concentrações e nenhuma precipitação.

A Figura 4.17 mostra a variação horária da temperatura do ar e da umidade específica para o dia 23/9 e, através dela, percebe-se que a temperatura do ar alcança seu mínimo de 21,1 °C às 5:00 HL e seu máximo de 33,3 °C às 12:00 e 14:00 HL, o que coincide com os valores extremos de umidade, um máximo de 97,1 % às 5:00 HL e um mínimo de 49 % às 14:00 HL. Na Figura 4.18, que mostra os valores horários da concentração de aerossóis na atmosfera, verifica-se que o dia 23/9 já apresenta valores elevados desde a madrugada até atingir um máximo de 6055 ng m<sup>3</sup> às 13:00 HL e sofrendo posteriormente uma considerável diminuição. Devido à alta presença de aerossóis, a quantidade de radiação solar incidente à superfície sofre uma queda, fazendo com que a

temperatura tenha uma redução, às 13:00 HL, que coincide com o valor máximo da concentração de aerossóis para este dia.

A Figura 4.19 mostra os valores do fluxo de calor sensível para o dia 23/9, no qual atingem seu máximo às 12:00 HL, chegando a um valor próximo a  $230 \text{ W m}^2$  e reduzindo-se para  $41 \text{ W m}^2$  após as 14:00 HL, devido à diminuição da radiação solar neste horário.

Analisando os perfis de temperatura potencial e umidade específica nas Figuras 4.20 (a) e (b) respectivamente, para os horários das 08:00, 14:00 e 17:00 HL, levando-se em conta que a sondagem das 11:00 HL foi perdida, observa-se que a CLC, às 08:00 HL, para o dia 23/9, já se apresentava bem desenvolvida, com uma altura de 467 m, com valores médios de 300,4 K e  $15,8 \text{ g kg}^{-1}$  às 08:00 HL, sendo que ela se desenvolve até 1523 m com um aumento dos valores médios internos desta camada para 306,9 K e  $13,2 \text{ g kg}^{-1}$  às 14:00 HL. Após este horário (17:00 HL) a CLC aumenta para 1702 m, porém com uma taxa de crescimento menor, cerca de  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ . Observa-se ainda que das 14:00 HL para as 17:00 HL há um resfriamento da camada de 61,2 K até aproximadamente 700 m de altura, sendo que a partir desta altura a camada sofre um aquecimento de 40,6 K, o que pode ser explicado pela presença de aerossóis, provocando um aquecimento da camada no nível em que os aerossóis se fazem presentes e resfriando a CLC nos níveis mais próximos à superfície. Os valores médios de temperatura e umidade dentro da camada se mantêm quase constantes com relação à transição das 14:00 HL para as 17:00 HL, permanecendo com médias de 306,7 K e  $13,5 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, o que se deve à forte turbulência atmosférica que promove a mistura vertical. Pode-se dizer que todos os valores descritos acima ficam próximos às médias destes parâmetros encontradas para estes horários durante a Fase I, que é caracterizada como uma época de bastante aerossóis e pouca precipitação.

Com relação aos aspectos termodinâmicos para estes horários, pode-se dizer que a atmosfera encontrava-se com muita energia para convecção apresentando valores de

CAPE, relativamente altos, de  $3185 \text{ J kg}^{-1}$  às 08:00 HL, aumentando para  $4099 \text{ J kg}^{-1}$  às 14:00 HL e diminuindo ligeiramente para  $3730 \text{ J kg}^{-1}$  às 17:00 HL. Os valores de CIN ficam em torno de  $38 \text{ J kg}^{-1}$ , para as 08:00 HL, caindo para  $8 \text{ J kg}^{-1}$  às 14:00 HL e permanecendo assim até as 17:00 HL. Analisando os valores de água precipitável, para os mesmos horários, observa-se que estes encontram-se bem próximos, variando de 3,33 cm às 08:00 HL para 3,58 cm às 17:00 HL. Isto acontece, provavelmente, pela pouca variação de umidade durante a Fase I.

O Boletim de Análise e Previsão do Tempo (Apêndice C) mostrou que com a chegada de um sistema frontal no dia 19/09, no sul do Brasil, deu-se início ao desenvolvimento de convecções, associadas a este sistema. No dia 23/09 este sistema acabou interagindo com um Complexo Convectivo de Mesoescala, através de um Jato de Baixos Níveis formado ao longo dos Andes durante a noite, provocando chuvas na parte Nordeste de Rondônia. Fazendo-se uma análise do formato da área do CAPE, proposto por Williams (1995), pode-se dizer que para o dia 23/09 esta área corresponde a áreas de sondagens feitas próximas a sistemas convectivos de mesoescala, apresentando pequenas áreas de CIN, conforme a Figura 4.21.

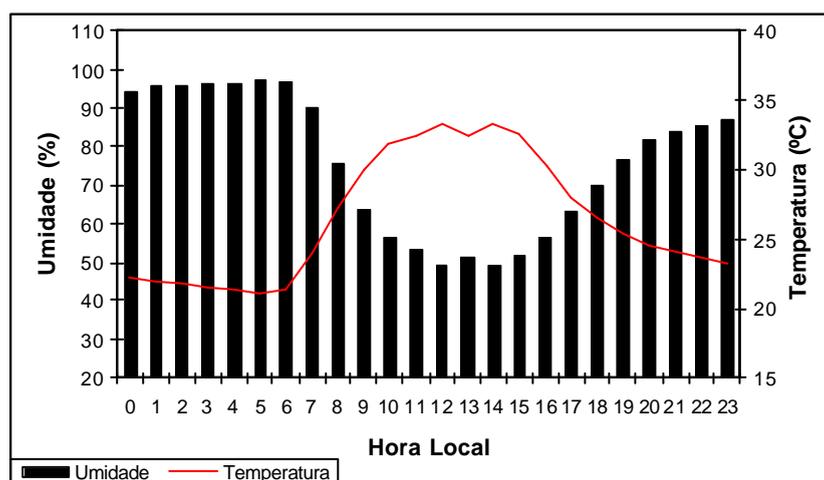


FIGURA 4.17 - Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 23/9.

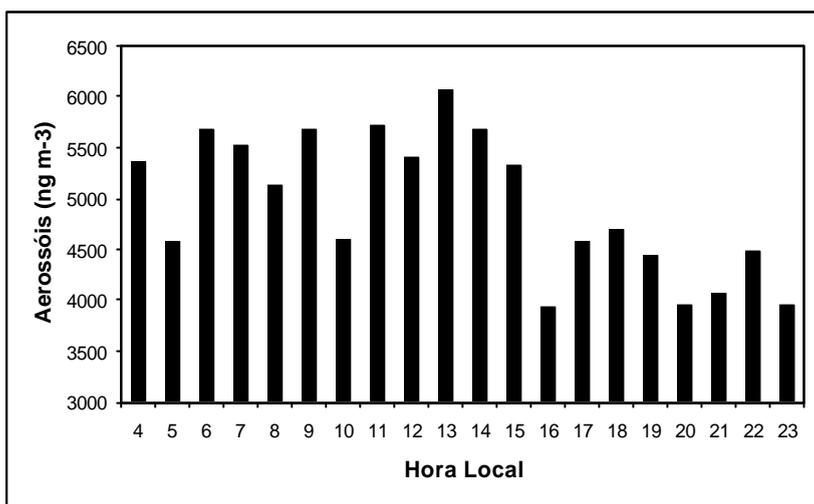


FIGURA 4.18 - Concentração de aerossóis para o dia 23/9.

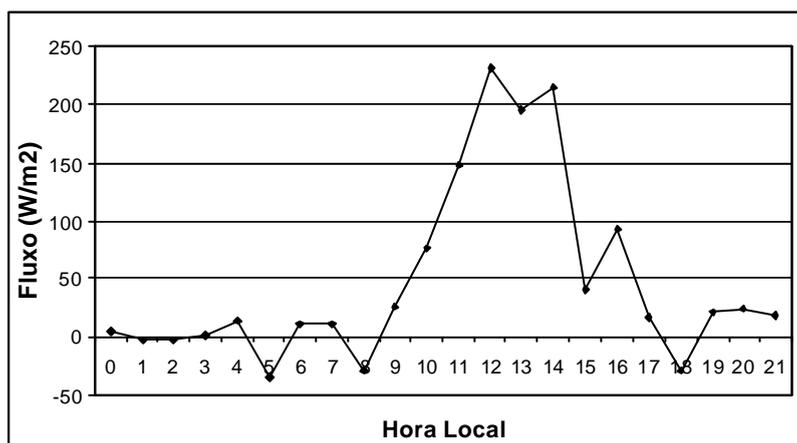


FIGURA 4.19 - Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 23/9.

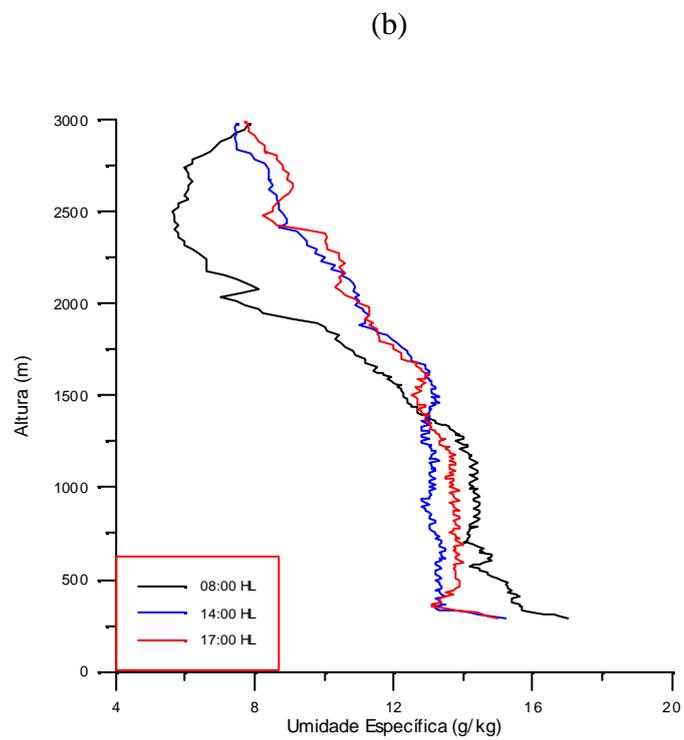
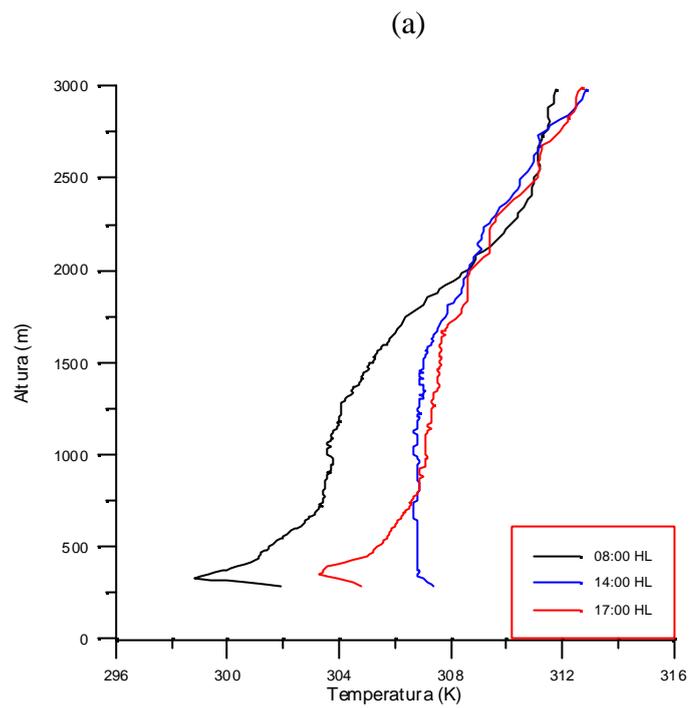


FIGURA 4.20 - Perfil de temperatura potencial (a) e razão de mistura (b) para o dia 23/9.

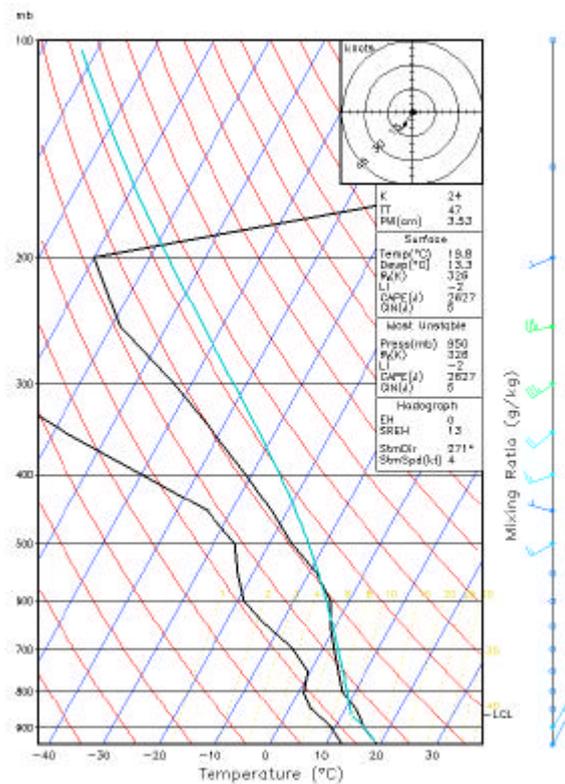


FIGURA 4.21 – Forma da área do CAPE para o dia 23/09 às 14:00 HL.

#### 4.5.2 Análise para o Dia 28/9 (Caso 2)

Com o objetivo de se obter informações sobre a influência da precipitação e dos aerossóis na determinação da estrutura da CLC, foi selecionado o dia 28/9, que apresentou uma concentração de aerossóis bem elevada e também uma intensa precipitação (Figuras 4.22 e 4.23).

A Figura 4.24 mostra a precipitação horária acumulada, onde observa-se que às 14:00 HL houve uma precipitação de 23,3 mm, estendendo-se até as 17:00 HL porém com

menor intensidade, permanecendo sempre abaixo dos 5 mm por hora. O total de precipitação foi de 32,8 mm.

Pode-se dizer que o dia 28/9 apresentou uma concentração de aerossóis mais baixa do que os outros dias da Fase I, provavelmente em decorrência da chuva do dia 27/9 (31 mm). Esta diminuição da concentração de aerossóis, após a ocorrência de chuvas, pode ser claramente vista na Figura 4.23, que mostra a concentração horária de aerossóis na atmosfera para o dia 28/9. Nota-se que antes da ocorrência de chuva, a concentração de aerossóis manteve-se sempre próximo dos 2000 ng m<sup>-3</sup>, chegando a um máximo de 3543 ng m<sup>-3</sup> às 08:00 HL; porém, logo após o início da chuva (14:00 HL) esses valores começaram a decrescer significativamente para valores em torno de 600 ng m<sup>-3</sup> e, somente às 23:00 HL, a concentração de aerossóis volta a passar dos 1000 ng m<sup>-3</sup>.

Como mostra a Figura 4.24, podemos observar o comportamento horário da temperatura e umidade do ar, sendo que a temperatura atingiu seu máximo (32,4 °C) às 12:00 HL e permaneceu quase que constante (decréscimo de apenas 0,1 °C) até às 13:00 HL, ou seja, a temperatura atingiu seu máximo próximo ao horário da precipitação (14:00 HL). Após as 14:00 HL, a temperatura decresceu significativamente até atingir seu mínimo (20,5 °C) às 23:00 HL. A umidade teve um comportamento contrário ao da temperatura, atingindo seu mínimo às 12:00 e 13:00 HL (54%), aumentando após o início da chuva, permanecendo, a partir daí, com altos valores dentro da faixa de 95-97%.

A Figura 4.25 mostra que o fluxo de calor sensível manteve-se baixo durante as primeiras horas do dia, apenas se elevando após as 10:00 HL, chegando a um valor máximo às 13:00 HL (160 W m<sup>-2</sup>) e decaindo após o início da precipitação, atingindo um valor negativo de -64 W m<sup>-2</sup> às 15:00 HL.

De acordo com a Figura 4.26(a) e (b), que mostra os perfis de temperatura potencial e umidade específica para os horários das 08:00, 11:00, 14:00 e 17:00 HL, nota-se o

desenvolvimento da CLC a partir das 08:00 HL, passando de 326 m para 835 m às 11:00 HL e atingindo depois o valor de 1427 m às 14:00 HL, havendo sempre um aquecimento da camada, com seus valores médios passando de 298,7 K (às 08:00 HL) para 305,8 K às 14:00 HL, dentro da camada, conforme a Figura 4.26(a). Após o início da chuva, percebe-se um resfriamento da camada, além da perda das características de uma CLC típica. A sondagem das 17:00 HL, que tipicamente representa a CLC mais elevada e misturada verticalmente, apresenta uma estrutura de CLN, com um forte resfriamento de 217,9 K. Com relação a Figura 4.26(b), verifica-se uma diminuição da umidade específica, dentro da CLC, desde às 08:00 HL até às 14:00 HL, com seu valores passando de 17,7 g kg<sup>-1</sup> às 08:00 HL para 14,6 e 13,5 g kg<sup>-1</sup>, às 11:00 e 14:00 HL, respectivamente. Através do perfil de  $\theta$  não é possível notar-se claramente o que ocorreu com a estrutura da CLC, porém é possível se observar uma redução do topo da CLC de quase 675 m, além de um aumento de umidade na camada de 2 g kg<sup>-1</sup>, conforme a Figura 4.26(b).

Os valores termodinâmicos da atmosfera (Tabela 4.2) mostram que o dia 28/9 apresentou-se com valores elevados de CAPE desde às 08:00 HL passando de 2821 J kg<sup>-1</sup> para 2287 J kg<sup>-1</sup> às 11:00 HL e chegando ao valor de 3797 J kg<sup>-1</sup>, antes do início da chuva, às 14:00 HL. Os valores de CIN diminuíram de 15 J kg<sup>-1</sup> às 08:00 HL para 10 J kg<sup>-1</sup> às 11:00 HL, ficando ainda mais baixo às 14:00 HL (3 J kg<sup>-1</sup>). Os valores de água precipitável contida na atmosfera manteve-se em torno dos 4 cm das 08:00 HL até as 11:00 HL, diminuindo para 3,38 cm durante o início da precipitação.

De acordo com o Boletim de Análise e Previsão do Tempo, o dia 28/9 apresentou a formação de sistemas convectivos de mesoescala que se formaram, e se deslocaram de leste para o oeste de Rondônia provocando chuvas intensas com descargas elétricas na parte central de Rondônia inclusive na área de pastagem (Apêndice C). As áreas do CAPE para os horários das 08:00 HL, 11:00 HL e 14:00 HL tiveram formas semelhantes as descritas no dia 23/09.

Infelizmente as imagens de radar meteorológico foram perdidas, pois houve uma pane técnica do radar desde o dia 27/9, somente tornando-se operacional novamente no início de outubro. Com isso os dois únicos dias da Fase I em que houve chuvas significativas, ficaram sem as imagens de radar meteorológico.

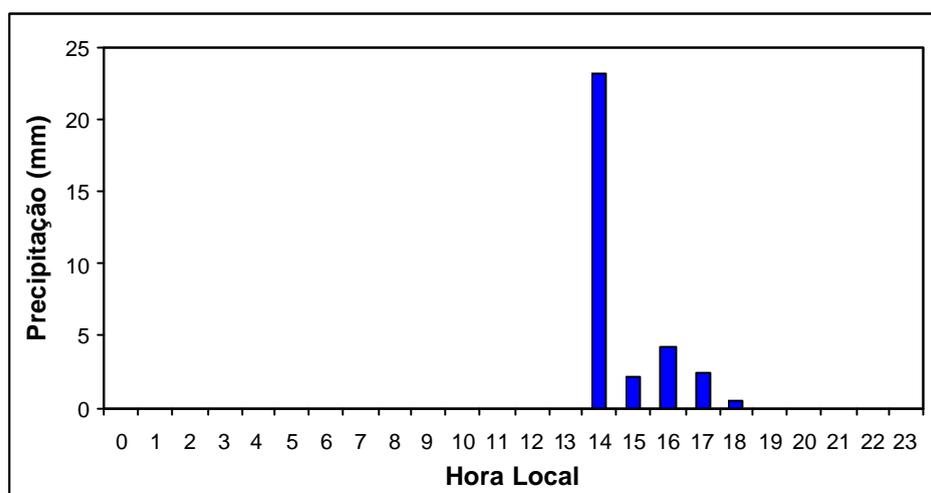


FIGURA 4.22 – Precipitação horária para o dia 28/9.

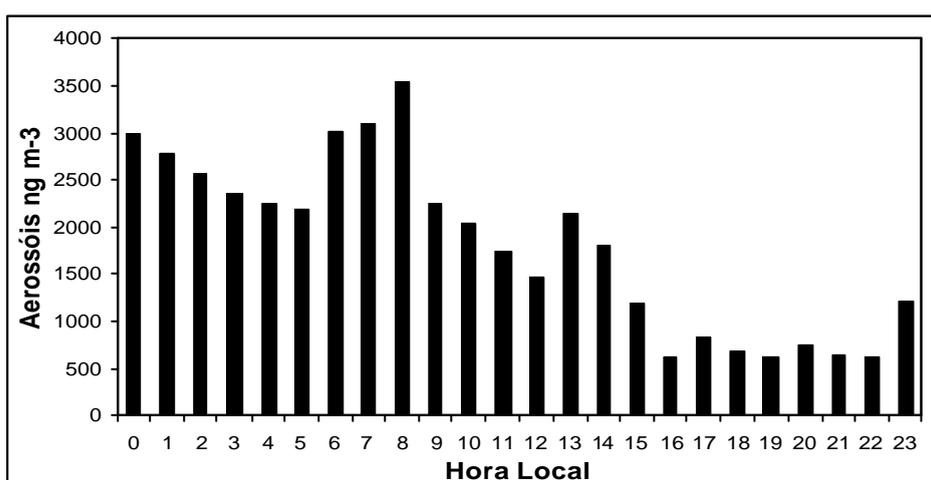


FIGURA 4.23 – Concentração de aerossóis para o dia 28/9.

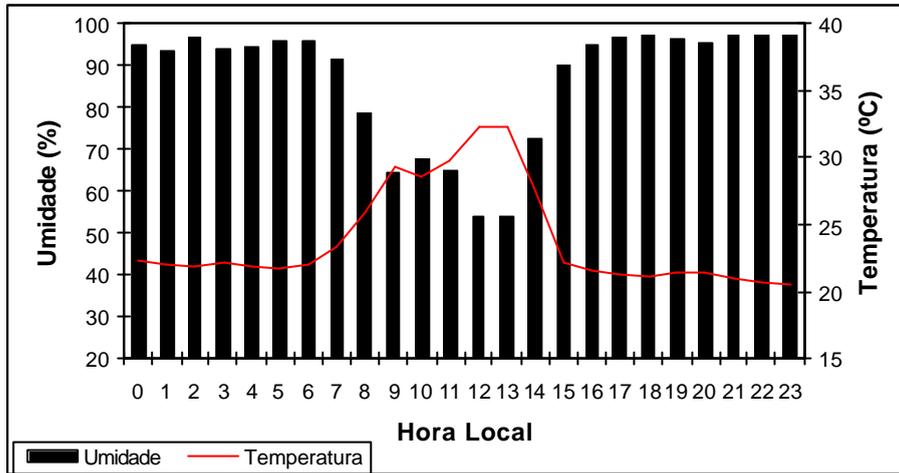


FIGURA 4.24 - Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 28/9.

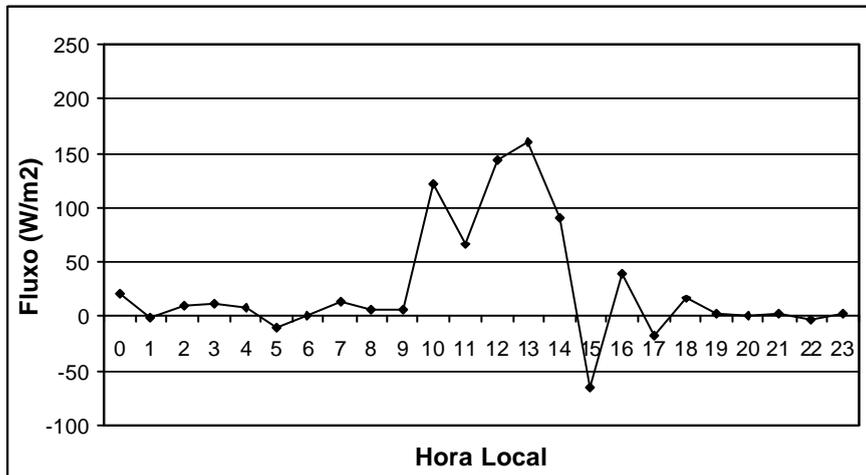


FIGURA 4.25 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 28/9.

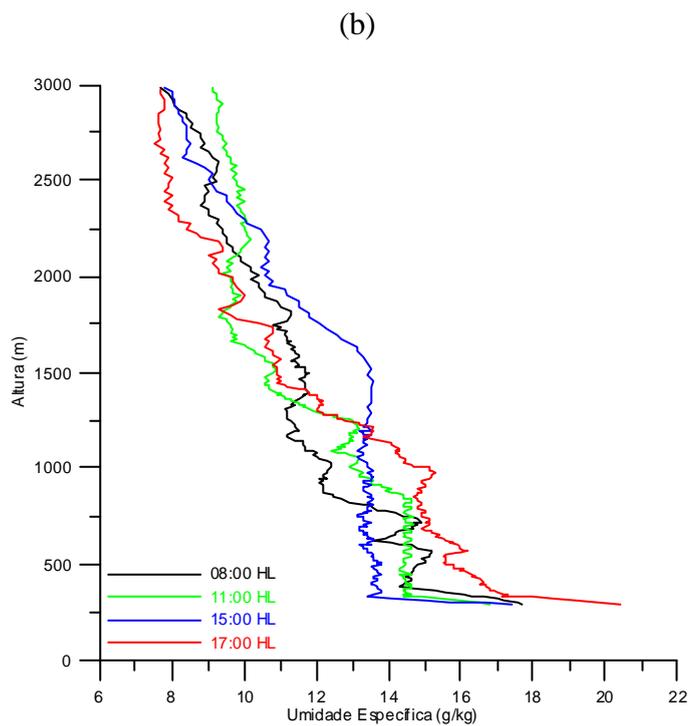
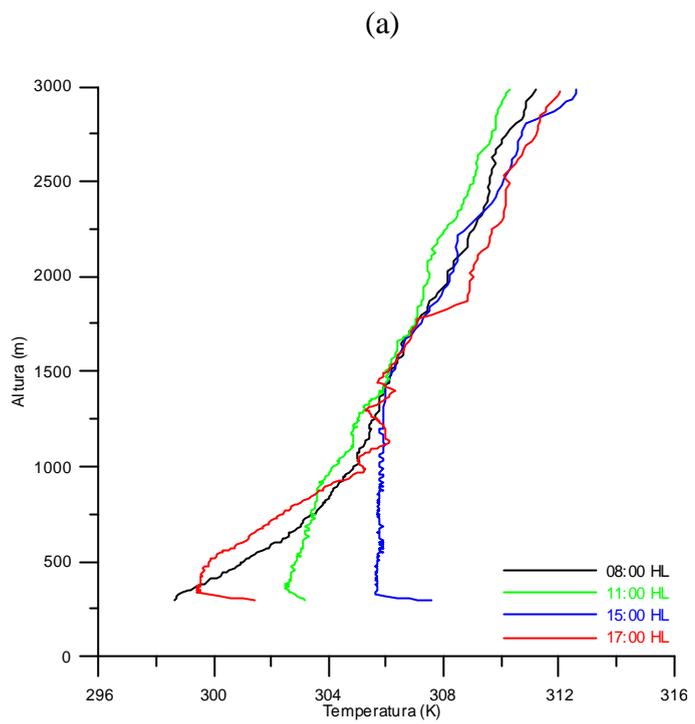


FIGURA 4.26 - Perfil de temperatura potencial (a) e razão de mistura (b) para o dia 28/9.

### 4.5.3 Análise para o Dia 17/10 (Caso 3)

O dia 17/10 foi selecionado por ter sido um dia que apresentou uma baixa concentração de aerossóis, com uma média diária de  $1209 \text{ ng m}^{-3}$  e uma precipitação de 36,8 mm, podendo assim descrever o comportamento da CLC para o caso de uma atmosfera com pouco aerossol e com precipitação.

De acordo com a Figura 4.27 nota-se que a temperatura atinge seu máximo às 15:00 HL ( $32,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ), ou seja, uma hora antes do início da precipitação (Figura 4.29), e a partir deste momento, decresce até as 17:00 HL ( $22,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e permanecendo estável posteriormente. A umidade apresentou um comportamento contrário ao da temperatura, atingindo um máximo às 3:00 HL (97%) e permanecendo assim até às 6:00 HL, atingindo seu valor mínimo às 15:00 HL (50%), aumentando significativamente após para um valor em torno de 87%.

A Figura 4.28 mostra a concentração de aerossóis na atmosfera durante o dia 17/10, sendo que pode-se dizer que durante toda a madrugada a concentração foi muito baixa, atingindo um valor mínimo de  $310 \text{ ng m}^{-3}$  às 4:00 HL, aumentando a partir das 10:00 HL ( $627 \text{ ng m}^{-3}$ ) até atingir um valor de  $2607 \text{ ng m}^{-3}$ . A concentração de aerossóis não sofreu uma queda significativa após a chuva; ao contrário, ela voltou a aumentar após as 17:00 HL provavelmente porque a chuva não se estendeu por muito tempo, durando apenas das 16:30 HL às 17:20 HL.

Assim como no Caso 2, a Figura 4.30 mostra o fluxo de calor sensível apresentando valores próximos a zero durante o início do dia, atingindo seu máximo ( $224 \text{ W m}^{-2}$ ) às 11:00 HL e reduzindo após este horário, sendo que um pouco antes da chuva este valor passou para  $53 \text{ W m}^{-2}$  às 14:00 HL e decaiu durante o resto do dia.

De acordo com a Figura 4.31 (a), que mostra o perfil de temperatura potencial para os horários das 11:00, 14:00 e 17:00 HL, respectivamente, verifica-se que a CLC desenvolve-se rapidamente de um valor de 354 m às 08:00 HL para 979 m às 11:00 HL com uma taxa de crescimento de  $4,3 \text{ cm s}^{-1}$  e apresentando uma camada bem misturada, permanecendo assim até as 14:00 HL onde a CLC atinge uma altura de 1661 m (com uma taxa de  $4,7 \text{ cm s}^{-1}$ ). A partir deste momento o perfil de temperatura não mais se apresenta constante dentro da CLC, e nota-se um forte resfriamento da camada de 408,3 K, o que se deve ao fato de que às 16:00 HL houve uma precipitação de 35,4 mm e este evento se estendeu até as 17:00 HL apresentando uma precipitação acumulada de 1,4 mm (Figura 4.29). Apesar de não ser possível uma boa observação da estrutura da CLC às 17:00 HL, através do perfil de temperatura potencial, é possível observar, na Figura 4.31(b), que houve uma redução da CLC para 670 m, além de um aumento considerável de umidade dentro da camada, passando de  $11,6 \text{ g kg}^{-1}$  às 14:00 HL para  $15,6 \text{ g kg}^{-1}$  às 17:00 HL, ou seja, um aumento de  $4 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os valores de CAPE mostram que a energia sobe de  $2093 \text{ J kg}^{-1}$  às 08:00 HL para  $2827 \text{ J kg}^{-1}$  às 14:00 HL e, durante a precipitação, esse valor aumentou para  $3343 \text{ J kg}^{-1}$ , enquanto que os valores de CIN passaram de 35 às 08:00 HL para 5 e 1 às 14:00 e 17:00 HL, respectivamente (Tabela 4.3). Com relação ao conteúdo de água precipitável, observa-se que este parâmetro sofre uma pequena diminuição um pouco antes da precipitação e aumenta durante a chuva, passando de 3,83 cm às 08:00 HL para 3,53 cm e 4,51 cm às 14:00 e às 17:00 HL, respectivamente.

No dia 17/10 o Boletim de Análise e Previsão do Tempo (Apêndice C) fala sobre a presença de convergência de umidade em baixos níveis que provocou precipitação sobre a área de pastagem com células verticais e de curta duração. Assim, como no Caso 1, a área do CAPE para os horários das 08:00 HL, 14:00 HL e 17:00 HL apresentou padrões do formato para radiossondagens próximas a sistemas convectivos de mesoescala.

A partir das imagens de radar (Figura 4.32), pode-se verificar a passagem de uma célula convectiva sobre a Fazenda Nossa Senhora, das 15:00 às 17:00 HL, o que foi comprovado com a precipitação (Figura 4.29). As imagens são de um CAPPI (corte horizontal) feito a uma altitude de 3000 m, no meio de uma nuvem convectiva.

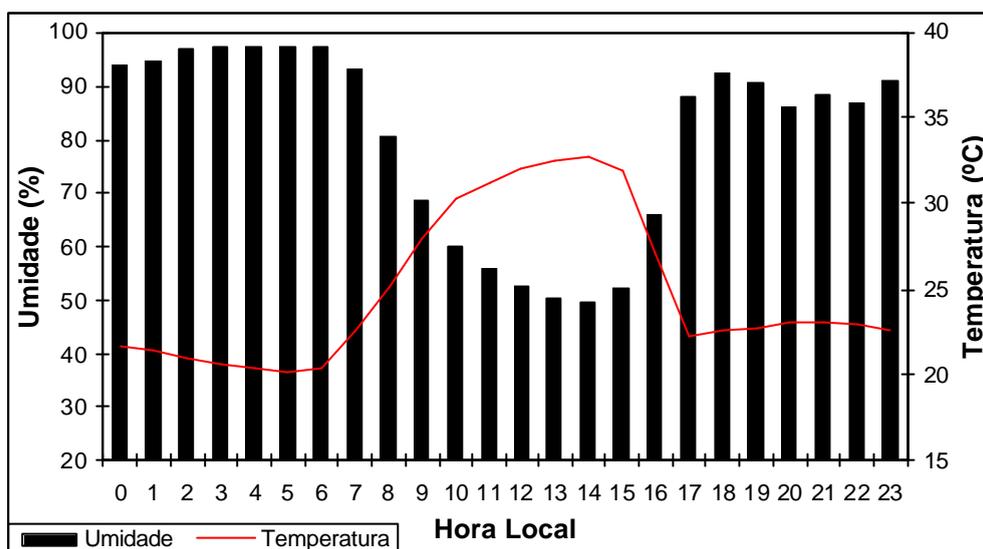


FIGURA 4.27 - Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 17/10.

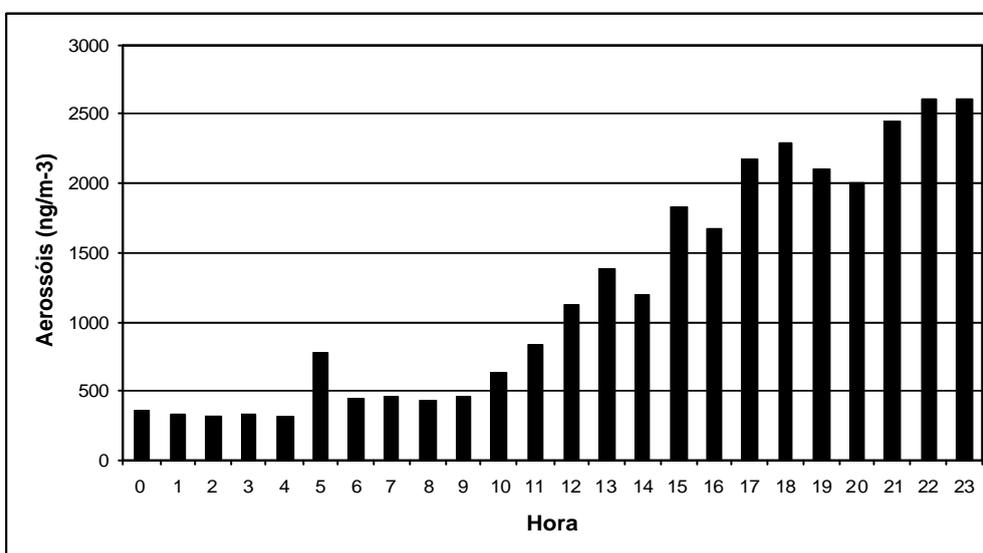


FIGURA 4.28 – Concentração de aerossóis para o dia 17/10.

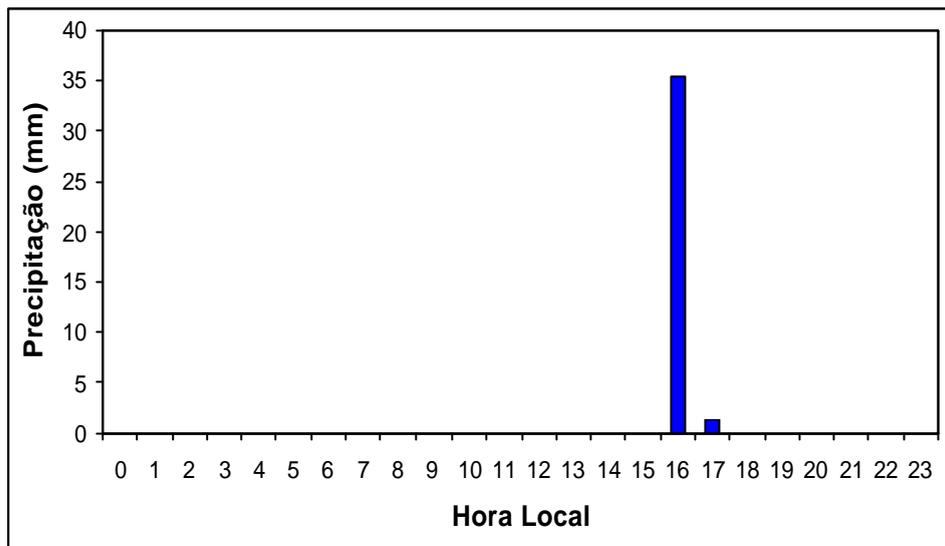


FIGURA 4.29 – Precipitação horária para o dia 17/10.

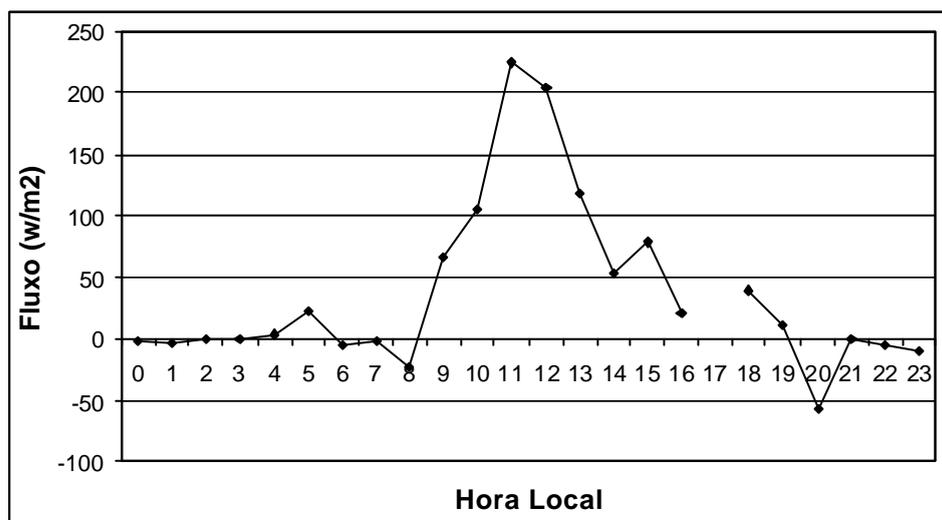


FIGURA 4.30 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 17/10.

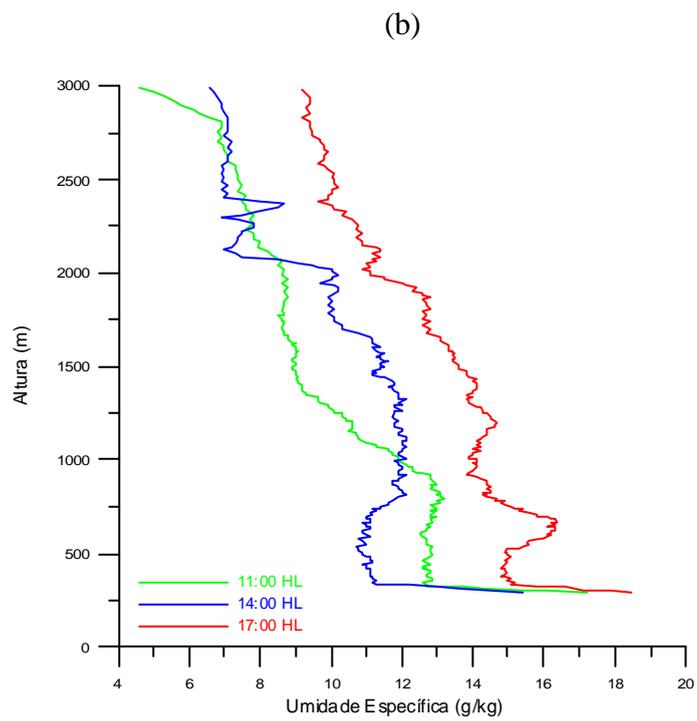
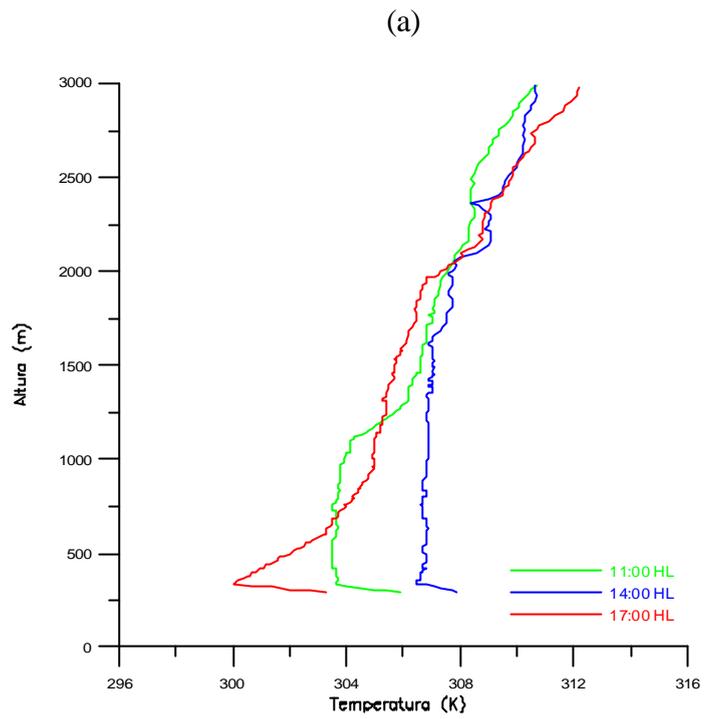


FIGURA 4.31 - Perfil de temperatura potencial (a) e umidade específica (b) para o dia 17/10.

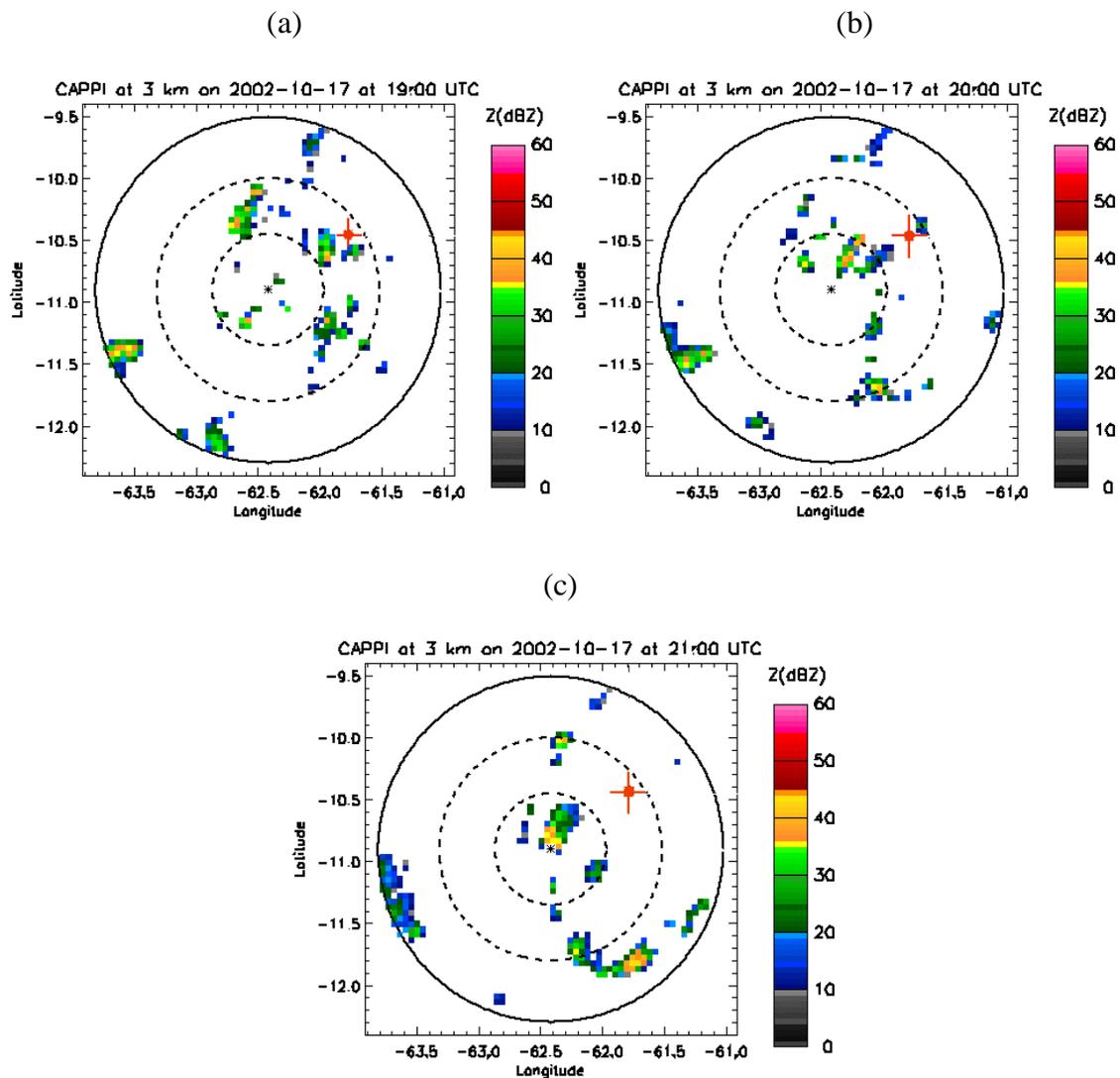


FIGURA 4.32 – Imagens de um CAPPI a 3 Km para os horários das (a) 15:00 HL, (b) 16:00 HL e (c) 17:00 HL do dia 17/10.

#### 4.5.4 Análise para o Dia 23/10 (Caso 4)

Por ter sido considerado um dia em que a concentração de aerossóis foi baixa e por não ter apresentado nenhum caso de chuva, o dia 23/10 foi escolhido para se identificar a

influência das ausências de aerossóis e de precipitação na determinação da estrutura da CLC sobre uma área de pastagem.

De acordo com a Figura 4.33, que mostra a concentração horária de aerossóis para o dia 23/10, pode-se verificar que a concentração de aerossóis na atmosfera manteve-se próxima dos  $1000 \text{ ng m}^{-3}$  até as 16:00 HL, seguindo-se um aumento significativo para  $1804 \text{ ng m}^{-3}$  às 18:00 HL. A menor taxa de concentração de aerossóis foi encontrada para o horário das 22:00 HL, em que atingiu  $552 \text{ ng m}^{-3}$ .

Na Figura 4.34, verifica-se que a temperatura do ar atingiu seu valor mínimo de  $22,6 \text{ }^\circ\text{C}$  às 05:00 HL, aumentando para um máximo de  $33,1 \text{ }^\circ\text{C}$  às 16:00 HL, sendo que ela já seguia alta desde as 14:00 HL. A umidade do ar apresentou-se próxima dos 90% durante as primeiras horas da manhã, atingindo um máximo de 96% às 04:00 HL, a partir das 08:00 HL ela manteve-se sempre abaixo dos 80%, e atingiu um mínimo de 51% às 15:00 e 16:00 HL.

Na análise dos valores termodinâmicos da atmosfera para o dia 23/10 pode-se dizer que os valores de CAPE apresentaram-se próximos a  $3000 \text{ J kg}^{-1}$  durante todos os horários (Tabela 4.2) e, apesar dos valores altos de CAPE, não houve precipitação. Os valores de CIN decresceram ao longo do dia, passando de  $27 \text{ J kg}^{-1}$  às 08:00 HL para  $15 \text{ J kg}^{-1}$  e depois para  $4 \text{ J kg}^{-1}$  às 11:00 e às 14:00 HL. O conteúdo de água precipitável manteve-se quase constante ao longo do dia, apenas tendo uma diminuição de 4,0 cm às 08:00 HL para 3,8 cm às 11:00 HL e permanecendo assim até as 14:00 HL.

De acordo com o Boletim de Análise e Previsão do Tempo (Apêndice C) para o dia 23/10 Rondônia se apresenta com céu claro e alguns cirrus, altostratus e cúmulus rasos, sendo que a circulação de altos níveis é dirigida por um anticiclone centrado no Mato Grosso. As análises das áreas do CAPE mostraram padrões semelhantes aos descritos no Caso 1.

Na Figura 4.35 observa-se que o fluxo de calor sensível começou a crescer a partir das 06:00 HL atingindo um máximo de  $222 \text{ W m}^{-2}$  às 11:00 HL voltando a decair após este horário para valores próximos a zero às 18:00 HL, horário em que se encerra a radiação solar.

De acordo com a Figura 4.36 (a) percebe-se que a CLC teve uma rápida evolução de 394 m para 980 m das 08:00 às 11:00 HL, com uma taxa de crescimento da camada de  $4 \text{ cm s}^{-1}$ , o que coincide com a taxa de crescimento média, deste horário, para a Fase II (Figura 4.36b). Das 11:00 HL às 14:00 HL, a CLC passou para 1055 m, com uma taxa de crescimento de apenas  $0,5 \text{ cm s}^{-1}$ , apesar do aquecimento da camada, e depois para 1377 m com uma velocidade de aproximadamente  $2 \text{ cm s}^{-1}$ . Nota-se ainda que houve um aquecimento da camada para todos os horários (Figura 4.36a) e, sempre, uma redução da umidade específica (Figura 4.36b) no interior da camada, mantendo-se bem turbulenta durante todo o dia, sendo possível uma definição bem clara da CLC tanto para o perfil de  $\theta$ , quanto para o de  $q$ .

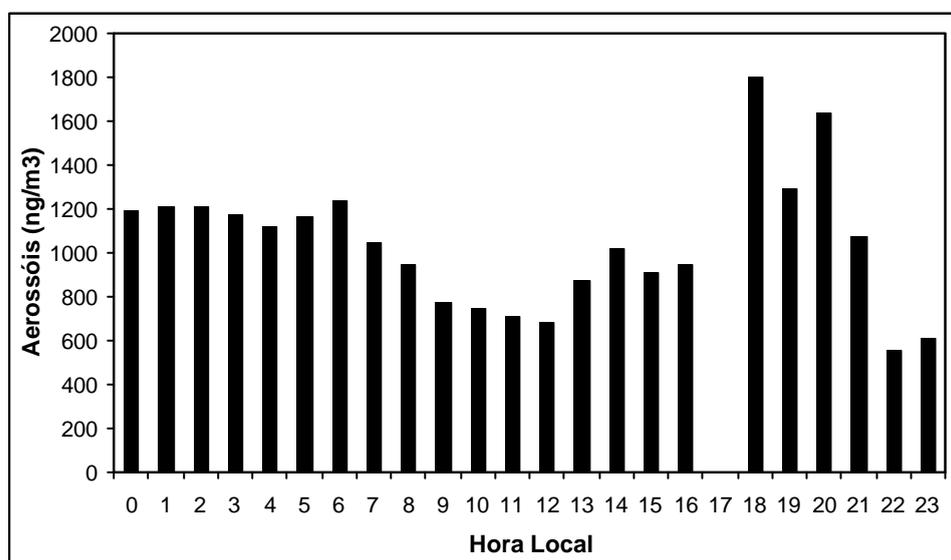


FIGURA 4.33 – Concentração de aerossóis para o dia 23/10.

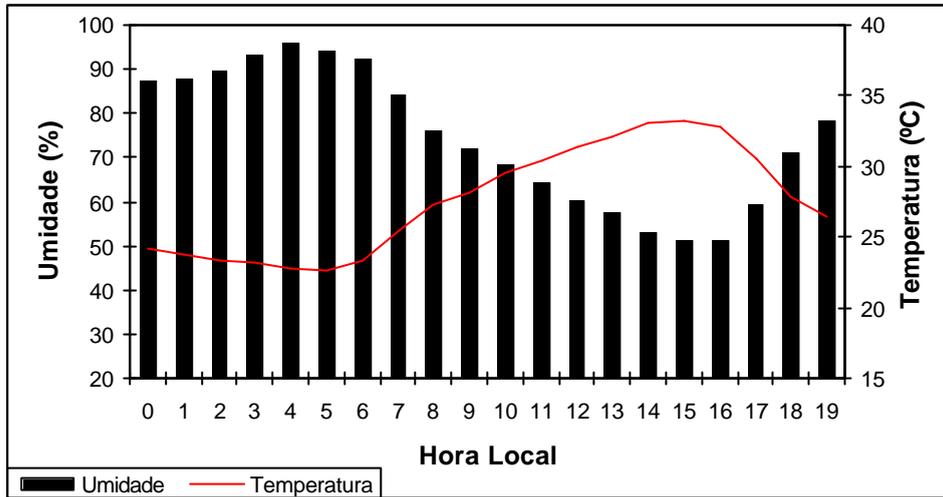


FIGURA 4.34 - Evolução horária da temperatura e umidade do ar para o dia 23/10.

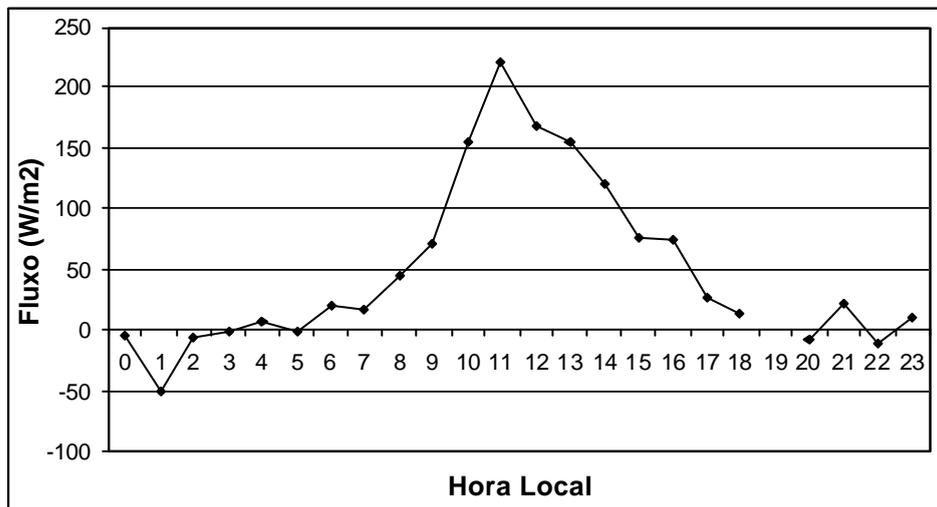


FIGURA 4.35 – Evolução horária do fluxo de calor sensível para o dia 23/10.

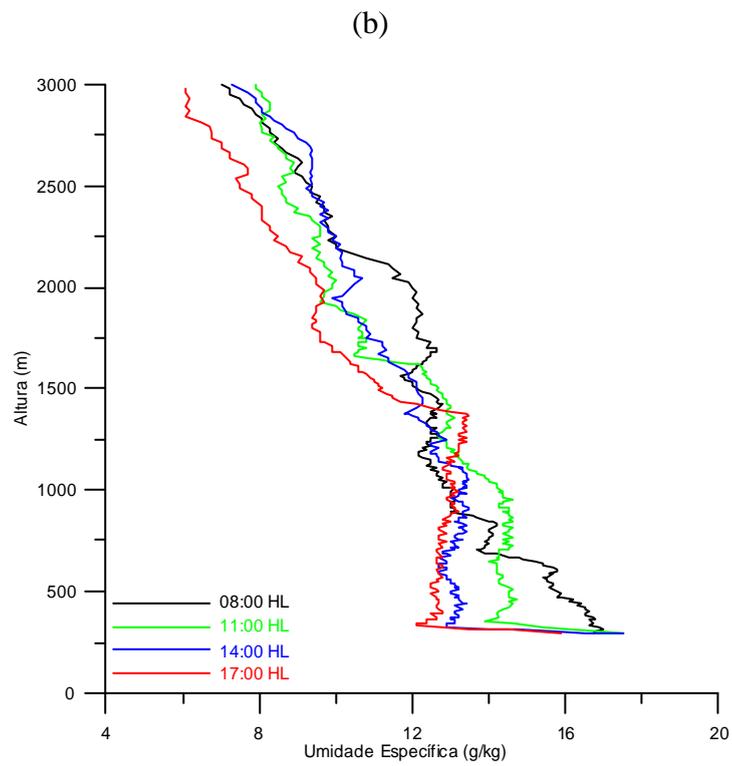
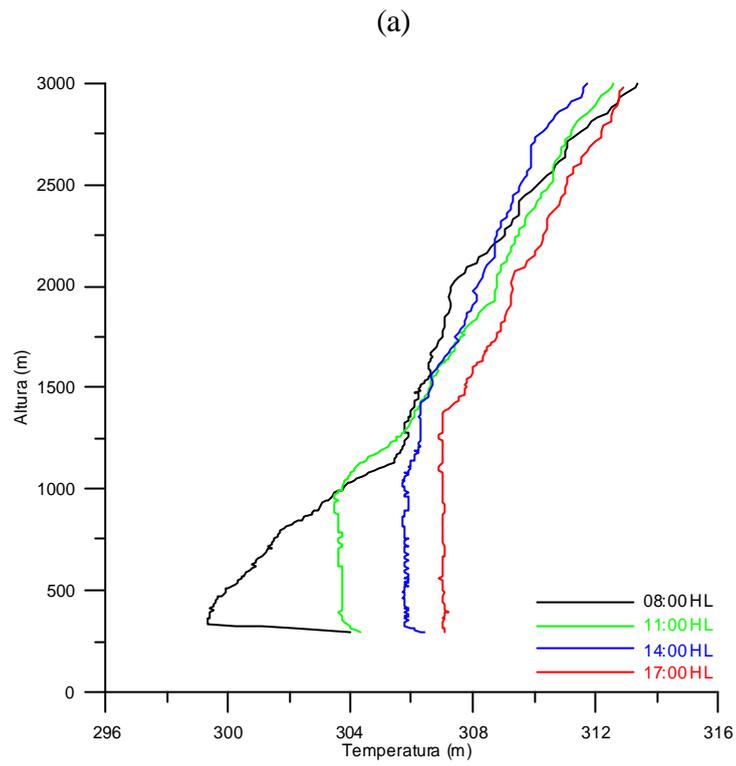


FIGURA 4.36 - Perfil de temperatura potencial (a) e razão de mistura (b) para o dia 23/10.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O objetivo deste trabalho foi o de analisar a estrutura da CLC no período de transição da estação seca e chuvosa, em área de pastagem na Amazônia e também realizar estudos de casos, afim de se entender e caracterizar a estrutura e o comportamento da CLC antes, durante e depois da ocorrência de chuvas locais, assim como para caracterizar a CLC para situações com e sem a presença de aerossóis, provenientes de queimadas locais. Adicionalmente realizou-se uma comparação entre três métodos de estimativas da altura da CLC, além de uma breve discussão do comportamento da CR durante o período do experimento.

Este estudo foi feito a partir dos dados coletados durante o experimento RACCI-LBA em 2002, dividindo-se a série em dois períodos, sendo eles a Fase I, que compreende os dados entre os dias 18/9 e 29/9 de 2002 e a Fase II, que compreende os dados entre os dias 15/10 e 29/10. Para estas análises foram feitas séries temporais de vários elementos climáticos de superfície, perfis de  $\theta$  e  $q$ , foram calculadas as alturas da CLC pelos métodos dos Perfis, do Número de Richardson e das Parcelas, utilizando-se os dados de aerossóis e imagens de radar meteorológico.

Com relação aos elementos climáticos de superfície, verificou-se que a precipitação foi cerca de 45% menor durante a Fase I, com dois eventos de chuva, do que na Fase II, com cinco eventos de chuva, além disso a Fase I apresentou concentrações de aerossóis bem mais elevadas do que na Fase II. Isto se deu pelo fato das chuvas (através dos mecanismos de “rain-out” e “wash-out”), que ocorreram a partir do final da Fase I, terem diminuído estas concentrações. Com uma menor concentração de aerossóis na atmosfera, a Fase II apresentou os maiores valores de radiação solar incidente na superfície, com valores máximos de até  $999 \text{ W m}^{-2}$ .

As temperaturas do ar durante a Fase I mantiveram-se ligeiramente maiores, com uma média de 26,3 °C, ficando apenas 0,3 °C maiores do que a Fase II, sendo que o contrário aconteceu com relação à umidade do ar, permanecendo a Fase I com os menores valores e uma média de 75%, enquanto que a Fase II, com maior precipitação, ficou com uma média de 80%. Os valores médios de temperatura do solo em 10 cm mantiveram-se quase que constantes em ambas as fases, porém a maior amplitude registrada foi durante a Fase I, chegando a 30 °C no dia 20/9 e na Fase II a maior amplitude não passou de 25 °C, no dia 28/10. Apesar dos maiores valores da velocidade do vento não coincidirem com dias de chuva, todos os dias em que ocorreu precipitação apresentaram altos valores de vento.

Pode-se dizer que a altura da CLC, para a Fase I, manteve-se cerca de 370 m mais alta do que a da Fase II, sendo que a maior altura registrada foi de 2240 m, no dia 20/9, para a Fase I, enquanto que as alturas da Fase II não passaram de 1730 m no dia 21/10. A CLC apresentou uma temperatura média, em seu interior, cerca de 0,4 K maior durante a Fase I, com valores médios de 306,8 K e 306,4 K, para as Fases I e II, respectivamente. Isto pode ser explicado pelo fato do período chuvoso apresentar uma menor quantidade de radiação solar incidente à superfície, além de menores valores do fluxo de calor sensível. De acordo com os resultados encontrados de umidade específica dentro da CLC, houve um aumento de aproximadamente 10% ( $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) de umidade, da Fase I para a Fase II.

As maiores taxas de crescimento da CLC ocorreram na transição das 08:00 HL para as 11:00 HL em ambas as fases, sendo estes valores iguais a  $4,8 \text{ cm s}^{-1}$  e  $4,0 \text{ cm s}^{-1}$ . Após as 14:00 HL a CLC manteve uma taxa de crescimento quase constante de  $0,5 \text{ cm s}^{-1}$ , para a Fase I e chegando a ter uma leve diminuição de  $-0,2 \text{ cm s}^{-1}$ , para a Fase II.

A fim de se verificar o comportamento da CLC após as 17:00 HL, fez-se um estudo da CR para todos os dias das Fases I e II, sendo que, na Fase I verificou-se, um decaimento constante da camada de  $3,0 \text{ cm s}^{-1}$ , tanto às 04:00 HL quanto às 20:00 HL, com as alturas médias da camada de 1290 m e 910 m, para as 20:00 HL e 04:00 HL,

respectivamente, enquanto que na Fase II a taxa de decaimento foi baixa ( $2,2 \text{ cm s}^{-1}$ ) das 17:00 HL às 20:00 HL, e menor ainda ( $1,2 \text{ cm s}^{-1}$ ) durante a madrugada, ou seja, às 04:00 HL.

Com isso pode-se dizer que a altura da CLC é um dos fatores determinantes para se caracterizar o início da estação chuvosa, pois esta estação apresenta menores valores da altura da CLC, ou seja uma camada mais úmida e mais fria.

Os valores de CAPE mantiveram-se elevados durante as duas fases do estudo, sendo maiores no início e no final do dia, para a Fase I, e menores do que a Fase II durante o resto do dia. Observou-se que apesar dos valores altos de CAPE para a Fase I, esta também apresentou os maiores valores de CIN. Notou-se também que antes dos eventos de chuva há uma diminuição nos valores de CIN. Como a Fase II foi mais chuvosa, os valores de  $w$  foram maiores que os valores encontrados na Fase I.

As alturas da CLC foram bem próximas quando comparados os valores positivos pelos métodos do Número de Richardson e do Perfil, tanto para a Fase I, quanto para a Fase II, com  $r^2$  iguais a 0,85 e 0,97, respectivamente, enquanto que na comparação do Método das Parcelas com os outros dois, os valores de  $r^2$  foram mais baixos para a Fase I (0,69 e 0,62) e, mais ainda, para a Fase II (0,31 e 0,14).

Os estudos de caso mostraram que para o dia com altas concentrações de aerossóis na atmosfera e nenhuma precipitação (Caso 1) a CLC desenvolve-se rapidamente, ocorrendo um resfriamento da camada nos níveis mais baixos e um aquecimento acima de 700 m, entre as 14:00 HL e das 17:00 HL, devido à presença dos aerossóis. No Caso 4, em que a concentração de aerossóis foi baixa, o comportamento da CLC foi similar, com exceção das 17:00 HL, em que ela sofreu um aquecimento e um aumento de umidade.

Em dia com altas concentrações de aerossóis e com evento de chuva (Caso 2), a CLC manteve-se bem misturada até o horário da precipitação, sendo que logo após o perfil de

$\theta$  perde suas características de CLC, apresentando um forte resfriamento e assumindo características de uma CLN; entretanto, notou-se que a CLC, após a chuva, teve um decaimento de 675 m com um aumento de umidade de  $2 \text{ g kg}^{-1}$ . O mesmo aconteceu para o Caso 3, porém o aumento de umidade na CLC foi o dobro do Caso 2.

Espera-se que este estudo sirva de incentivo para trabalhos futuros, principalmente relacionados às CLCs na Amazônia. De acordo com os resultados alcançados, sugerem-se, com o intuito de melhorar o entendimento da CLC, os seguintes trabalhos:

- Estudo mais detalhado da influência dos aerossóis na microfísica envolvida na CLC para áreas de pastagem, principalmente em Rondônia, onde a prática de queimadas é mais comum. Qual é o papel destes aerossóis em auxiliar (ou não) a turbulência atmosférica?
- Comparação dos dados observados com dados obtidos através de modelos numéricos de simulação de escala regional, como o Modelo Eta, que é usado operacionalmente no CPTEC/INPE, tanto para áreas de pastagem quanto para áreas de florestas, no período de transição da estação seca para a chuvosa.
- Comparação das estimativas de altura da CLC com dados obtidos pelo SODAR.
- Associar as características da CLC com as observações de aerossóis e de química da atmosfera, uma vez que estes últimos são bons indicadores da mistura turbulenta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreae, M. O.; Rosenfeld, D.; Artaxo, P.; Costa A.; Frank, G. P.; Longo, K. M.; Silva-Dias, M. A. F. Smoking Rain Clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p. 1337 – 1342, Feb. 2004.

Betts A. K.; Fuentes J. D.; Garstang M.; Ball J. H. Surface diurnal cycle and boundary layer structure over Rondônia during the rainy season. **Journal of Geophysical Research**. v.107, n. D20, p.107-114, Oct. 2002.

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor\\_brasil.shtml](http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_brasil.shtml)>. Acesso em: 20 dez 2004.

Ferreira da Costa, R.; Feitosa, J. R. P.; Fisch, G.; Souza, S. S.; Nobre, C. A. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 4, p. 395-408, fev. 1998.

Fisch, G.; Tóta J.; Machado, L.A.T.; Silva Dias, M.A.F.; Lyra, R. F. da F.; Nobre, C. A.; Dolman, A. J.; Gash, J. H. C. The convective boundary layer over pasture and forest in Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.1/3, p. 47-59, June 2004.

\_\_\_\_\_, G. **Camada Limite Amazônica**: aspectos observacionais e de modelagem (INPE- 6123-TPT/584). 1996. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

\_\_\_\_\_, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. **Clima da Amazônia**. Climanálise Especial – Edição Comemorativa 10 anos, p. 24-41, jul. 1996.

Garrat, J. R. **Atmospheric boundary layer**. London: Cambridge University Press, 1992. 316p.

Institute of Hydrology. **Amazônia, Florestas, Pastagens e o Clima**: Resultados do Projeto ABRACOS. Oxford. 1994. 18p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/lba/>>. Acesso em: 17 ago. 2003.

Iribarne, J.; Godson, W. L. **Atmosphere Thermodynamics**. [S.l]: D. Redial Publishing Company, 1973. 223p.

Kiemle, C.; Kästner, M.; Ehret, C. The Convective Boundary Layer Structure from Lidar and Radiosonde Measurements during the EFEDA '91 Campaign. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 12, n. 4, p. 771–782, Aug. 1995.

Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). Instituto Astronômico e Geofísico – IAG/USP. Disponível em: <[http://www.master.iag.usp.br/lba/drytowet/dadosracci/more\\_data/fazenda\\_nsa/](http://www.master.iag.usp.br/lba/drytowet/dadosracci/more_data/fazenda_nsa/)>. Acesso em: 19 fev. 2005.

Ministério da Aeronáutica. **Manual de Análise do Diagrama “Skew-T Log p”**. [S.l]: Ministério da Aeronáutica, 1969. 112 p.

Moura, M.; Lyra, R.; Bennincasa, M.; Tenório, R. S. T.; Nascimento Filho, M. Comparação da radiação global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 91-104, jun. 2001.

Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. **Journal of Climate**, v. 4, n. 10, p.957-988, Oct. 1991.

Rocha, H. R. **Modelagem da interação Biosfera-Atmosfera para a área de floresta e pastagem na Amazônia.** (INPE- 5454TPI/496). 1992. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992.

Seibert, P.; Beirich, F.; Gryning, S.; Joffre, S.; Rasmussen, A.; Tercier, P. Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. **Atmospheric Environment**, v.34, p.1001-1027, Sept. 2000.

Silva Dias, M. A. F.; Rutledge, S.; Kabat, P.; Silva Dias, P. L.; Nobre, C.; Fisch, G.; Dolman, A.J.; Zipser, E.; Garstang, M.; Sá L.; Alvalá, R. C. S.; Andreae, M.O.; Artaxo, P.; Gielow, R.; Gatti, L. Cloud and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon region. **Journal of Geophysical Research – Atmospheres**. LBA special issue. v. 107, n. D20, Oct. 2002.

Souza, S.S. **Substituição da floresta amazônica por pastagem e sua repercussão ao nível da termodinâmica da Camada Limite Atmosférica.** (CMM TD 03). 1997. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 1997.

\_\_\_\_\_, S. S.; Lyra R. F. F. Características observadas da termodinâmica da Camada Limite Atmosférica sobre Rondônia e suas relações com a substituição de áreas de florestas naturais por pastagens: Projeto RBLE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, n. 2, p.157-164, dez. 2001.

Stull, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666 p.

Thomas V.; Margulis S. O desmatamento e o valor da Amazônia. **Folha de São Paulo**, 5 mar. 2004.

Vaisala RS80 radiosondes. Disponível em: <<http://www.vaisala.com>>. Acesso em: 13 abr. 2003.

Vogelezang D. H. P.; Holtslag A. A. M. Evaluation and Model Impacts of Alternative Boundary Layer Height Formulations. **Boundary Layer Meteorology**, v.81, p.245-269, Dec. 1996.

Williams, E. R.; Rennó, N. An analysis of the conditional instability of the tropical atmosphere. **Monthly Weather Review**, v. 121, n. 1, p. 21-36, Jan. 1993.

Williams, E. R. Meteorological Aspects of Thunderstorms. In: Volland, H. (ed) **Handbook of Atmospheric Electrodynamics**. London: I.CRC, 1995. p. 27-60.

## APÊNDICE A

### TEMPERATURA E UMIDADE NA CLC

TABELA 6 – Tabela dos valores médios de  $\theta$  e  $q$  no interior da Camada Limite Convectiva.

Valores Médios de Temperatura Potencial e Razão de Mistura para a CLC (Fase I)								
	12:00 UTC		15:00 UTC		18:00 UTC		21:00 UTC	
Dias	Teta (K)	q (g/kg)						
18/set	300,4	14,5	305,7	11,6	307,5	12,6	307,3	12,2
19/set	299,8	14,71	--	--	307,7	12,2	--	--
20/set	299,9	16	--	--	308,5	9,9	308,6	10,7
21/set	299,5	14,9	--	--	--	--	307	12
22/set	298,2	14,5	--	--	305,1	13,9	305,8	14
23/set	300,4	15,8	--	--	306,9	13,2	306,7	13,5
24/set	297,7	14,4	302,7	13,2	305,3	12,7	305,3	12,7
25/set	299,4	14,1	303,2	10,4	307,3	10	307	11,5
26/set	300,6	14,1	305	13,5	307,9	11,6	307,4	11,9
27/set	298,2	18,1	303	13,2	306,6	11,3	306,2	12,8
28/set	298,7	17,7	*	14,6	305,8	13,5	*	15,8
29/set	297	15,5	302,9	14	305,9	12,3	306,7	13,2
30/set	299,8	14,4	N	N	304,7	12,9	N	15,8
Média	299,2	15,3	303,8	12,9	306,6	12,2	306,8	12,8
DP	1,1	1,3	0,9	1,5	1,2	1,3	1,0	1,4
Valores Médios de Temperatura Potencial e Razão de Mistura para a CLC (Fase II)								
	12:00 UTC		15:00 UTC		18:00 UTC		21:00 UTC	
Dias	Teta (K)	q (g/kg)						
15/out	298,6	14,9	303,7	15,0	304,2		304,3	14,0
16/out	298,2	15,9	302,8	11,9	306,0	12,0	306,7	11,5
17/out	298,8	14,3	303,7	13,0	306,9	11,6	*	15,6
18/out	299,0	15,2	302,7	15,1	305,0	14,9	304,2	*
19/out	299,5	14,7	304,1	13,4	*	13,3	*	14,1
20/out	--	--	--	--	306,3	14,5	304,3	14,6
21/out	300,1	16,2	303,7	14,8	307,1	15,4	306,9	14,5
22/out	298,0	16,3	302,8	14,8	305,2	13,8	306,2	13,9
23/out	302,1	16,9	303,7	14,5	305,8	13,3	307,0	13,0
24/out	299,3	15,5	303,0	15,3	306,0	14,4	306,9	13,0
25/out	300,2	15,3	302,7	14,9	305,2	14,0	304,3	14,0
26/out	302,1	16,4	305,5	14,5	307,4	13,6	307,8	13,4
27/out	301,8	15,1	305,9	14,3	308,0	12,7	308,6	13,5
28/out	304,7	15,2	306,5	13,9	308,6	13,0	309,0	11,6
29/out	300,3	13,6	304,2	11,1	307,2	10,8	306,6	12,4
Média	300,2	15,4	303,9	14,0	306,3	13,4	306,4	13,5
DP	1,9	0,9	1,2	1,3	1,2	1,3	1,7	1,1

-- → Não houve sondagem

\* → Dias com precipitação

DP → Desvio Padrão



## APÊNDICE B

### EVOLUÇÃO DIÁRIA DA RADIAÇÃO SOLAR

TABELA 7 – Tabela dos valores da razão entre a radiação solar na superfície (RS) e a radiação solar no topo da atmosfera ( $RS_{EXTRA}$ ).

FASE I			
Dia	RS	$RS_{EXTRA}$	$RS/RS_{EXTRA}$
19	488,1	422,2	1,2
20	504,5	423,3	1,2
21	353,6	424,5	0,8
22	71,4	425,6	0,2
23		426,7	
24	528,8	427,8	1,2
25	453,5	428,8	1,1
26	359,4	429,8	0,8
27	393,3	430,9	0,9
28	261,7	431,9	0,6
29	502,5	432,8	1,2
30	436,5	433,8	1,0
<b>Média</b>	<b>395,8</b>	<b>428,2</b>	<b>0,9</b>
FASE II			
Dia	RS	RS Extra	$RS/RS_{EXTRA}$
15	529,5	445,6	1,2
16	479,8	446,2	1,1
17	423,6	446,8	0,9
18	422,5	447,4	0,9
19	375,5	448,0	0,8
20	417,3	448,5	0,9
21	489,8	449,0	1,1
22	533,3	449,5	1,2
23	550,2	450,0	1,2
24	495,2	450,5	1,1
25	363,6	450,9	0,8
26	614,4	451,3	1,4
27	585,6	451,7	1,3
28	542,5	452,1	1,2
29	542,2	452,5	1,2
30	249,4	452,9	0,6
<b>Média</b>	<b>475,9</b>	<b>449,6</b>	<b>1,1</b>



## **APÊNDICE C**

### **BOLETINS DE ANÁLISE E PREVISÃO DO TEMPO**

Boletins de Análise e Previsão do Tempo, referentes aos dias de estudo de casos, emitidos durante a campanha DRY to WET do RACCI-LBA (2002).

DRY-TO-WET SEASON CAMPAIGN - LBA

WEATHER ANALYSYS AND FORECAST BULLETIN

Day: 24 September 2002 Time released: 17:30 LT No weather report yesterday.

Weather analysis for yesterday and today (Monday and Tuesday)

Yesterday, shallow convection started early in the morning all over Rondônia with cloud streets developing in the afternoon in the SW half of the state. A few cells started growing by 17 UTC. The 18Z sounding at the Fazenda showed a mixed layer height of 1330 m with 13 g/kg water vapor mixing ratio. The front that was evolving in Southern Brazil interacted yesterday with a Mesoscale Convective Complex fed by a very well defined low level jet along the Andes. The frontal system arrived in northern Mato Grosso during the night and its northwestward extension produced several large thunderstorms in the northeastern half of the state of Rondônia propagating to the northeast. Rain was observed in Ji-Paraná this morning while it was at the edge of the frontal boundary. The 12 Z sounding at the Fazenda showed southeasterly winds of 10 m/s in the lowest 1000 m. Cirrus from the anvils of thunderstorms in Bolivia covered central Amazonia most of the day with some areas of clear skies embedded. Several thunderstorms developed during the afternoon with cloud tops reaching 10 km in the middle of the afternoon in Rondônia. In SE Amazon state and SW Pará very intense mesoscale convective systems evolved during the afternoon along the remains of the frontal boundary. In the region of thin cirrus a few fires were analyzed in the GOES

ABBA product. The skies are a bit more clear today but still smoky. The 18 Z sounding showed the LCL at about 830 mb.

#### DRY-TO-WET SEASON CAMPAIGN - LBA

#### WEATHER ANALYSYS AND FORECAST BULLETIN

Day: 28 September 2002 Time released: 16:20LT Note: No weather report sent yesterday.

#### Weather analysis for today (Saturday)

The remains of last front that reached the Amazon Basin may be seen still today around 10 degrees south from the Atlantic Coast extending into Mato Grosso and Rondônia. The observed field of equivalent potential temperature at the surface is seen to indicate a different air mass to the south of Rondônia, associated to drier weather. Several organized mesoscale convective systems propagating from East to West are seen along the frontal boundary over Mato Grosso and Rondônia. Satellites images presented Convective clouds developed in north of Rondônia at 6:45LT and Altocumulus and Cirrus covered the rest of North and central part of Rondônia early in the morning and rapidly evolved with a few deep cells observed in the middle of the morning in northwest, central and east. In the beginning of the afternoon (14:30LT) one of these cells caused a windstorm in Ji-Paraná and Ouro Preto do Oeste followed by heavy rain and lightning activities until (16:00LT). The 18Z sounding, at Fazenda Nossa Senhora shows a mixed layer height of 1549 m with average mixing ratio of 13.5g/kg. Winds this afternoon were from N up to 850 mb turning into NE at 700 mb and 500 mb and from W at 200 mb. The visibility was very good in Ji-Paraná during all morning due to the reduced smoke. ABBA products shows few fires SW of Rondônia and the low levels N/NE winds has been pushing the smoke towards South. This afternoon the two aircraft flew from Ji-Parana to Vilhena and observed a smoke gradient with polluted conditions and low visibility there as it was forecasted by the biomass burning transport model.

DRY-TO-WET SEASON CAMPAIGN - LBA

WEATHER ANALYSYS AND FORECAST BULLETIN

Day: 17 October 2002 Time released 1930 LT Weather analysis for today (Thursday)

The MCS observed yesterday gradually moved west and dissipated during the night. The model analysis indicated low level moisture convergence in the SW half of Rondônia this morning and stratiform cloudiness was seen in this area while clear skies dominated the NE half of Rondônia. The stratiform clouds got thinner during the morning but thickened again in the afternoon as seen in the infrared images. The northern part of the state remained clear. The stratiform area developed embedded deep convection during the afternnon with cloud tops reaching 10 km and high reflectivity cores at 6 km with 55 dBz. Strong gusts and heavy rainfall hit the Fazenda and blew away the tethered balloon shelter. The convective cells were quite vertical and short lived. Winds at Guajará Mirim were from the south while at the Fazenda from the NE defining a cyclonic circulation around the convective area. Mixed layer height at the Fazenda, before the rain, reached 1661 m. Very few fires were seen today in the clear area.

DRY-TO-WET SEASON CAMPAIGN - LBA

WEATHER ANALYSYS AND FORECAST BULLETIN

Day: 24 October 2002 Time released 1840 LT Note: No bulletin for the 23rd.

Weather analysis for yesterday and today (Wednesday and Thursday)

Yesterday cloud coverage in the morning and afternoon included altostratus and cirrus from the previous day convective activity and a few deep cells developed in the

evening. Today the skies were clear in the morning, developing shallow cumulus by mid morning and just a few deep convective cells in the afternoon mostly in the SW half of the state. Even with the rainfall observed in the area, the fires are still active in central Rondônia preventing a complete cleaning up of the boundary layer by rains. The previous front influence was still seen in the wind direction from SE in Mato Grosso and E in Rondônia yesterday. Today the winds are northerly again from the surface up to 850 mb. Mixed layer heights were 1400 m yesterday and 1500 m today. The upper level circulation is dominated by an anticyclone centered in Mato Grosso and coherent with the NE wind direction observed at 200 mb at the Fazenda today. A new frontal system is seen today in southern Brazil with a well defined anticyclonic subtropical jet around 35 S. At the present time, a huge Mesoscale Convective System (MCS) may be seen in the satellite imagery extending approximately 800 km in length from Southern Para into NE Mato Grosso with the leading edge at about 54 W. This MCS was seen to initiate in the SE border of Para late this morning merging with a few deep cells in NE Mato grosso in early afternoon and travels at about 50 km/hr due west with extremely high cloud tops and a large stratiform trailing area. If it maintains its speed and structure it can reach the Ji-Parana area tomorrow morning.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)