



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº de ordem: MET-UFAL-MS/023

**CARACTERÍSTICAS DA CAMADA LIMITE CONVECTIVA DURANTE A  
TRANSIÇÃO DA ESTAÇÃO SECA PARA CHUVOSA NA AMAZÔNIA -  
COMPARAÇÃO FLORESTA/PASTAGEM (DRY-TO-WET AMC/LBA - 2002)**

**CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Maceió-AL  
2004



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**CARACTERÍSTICAS DA CAMADA LIMITE CONVECTIVA DURANTE A  
TRANSIÇÃO DA ESTAÇÃO SECA PARA CHUVOSA NA AMAZÔNIA -  
COMPARAÇÃO FLORESTA/PASTAGEM (DRY TO WET AMC/LBA - 2002)**

por

**CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE**

**Maceió, Alagoas, Brasil  
Julho de 2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**CARACTERÍSTICAS DA CAMADA LIMITE CONVECTIVA DURANTE A  
TRANSIÇÃO DA ESTAÇÃO SECA PARA CHUVOSA NA AMAZÔNIA -  
COMPARAÇÃO FLORESTA/PASTAGEM (DRY TO WET AMC/LBA – 2002)**

**CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE  
Mestranda**

**Prof. Dr. ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA  
Orientador**

**Trabalho apresentado a universidade  
Federal de Alagoas para a obtenção do  
Título de Mestre em Meteorologia.**

**Maceió, Alagoas, Brasil  
Julho de 2004**

**Catálogo na fonte  
Universidade Federal de Alagoas  
Biblioteca Central  
Divisão de Tratamento Técnico**

1.533c Leite, Christiane Cavalcante  
Características da camada limite convectiva durante a transição da estação seca para a chuvosa na Amazônia : comparação floresta/pastagem (dry to wet AMC/LBA - 2002) / Christiane Cavalcante Leite. - Maceió, 2004.  
xvi, 79f : il.

Orientador: Roberto Fernando da Fonseca Lyra  
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) - Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia. Maceió, 2004.

Bibliografia: f. 47-51

1. Meteorologia. 2. Camada limite (Meteorologia). 3. Termodinâmica atmosférica. 4. Amazônia - Estação de transição - Análise. 5. Chuvas. 6. Secas.  
I. Título.

CDU: 551.508.82(1-928.8)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS - GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

### CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

CARACTERÍSTICA DA CAMADA LIMITE CONVECTIVA DURANTE A  
TRANSIÇÃO DA ESTAÇÃO SECA PARA CHUVOSA NA AMAZÔNIA-  
COMPARAÇÃO FLORESTA/PASTAGEM (DRY-TO-WET AMC/LBA - 2002)

CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de  
Pós-Graduação em Meteorologia da  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como  
parte dos requisitos necessários à obtenção do  
grau de Mestre em Meteorologia N<sup>o</sup> de ordem:  
MET - UFAL - MS - 023

Aprovada pela banca examinadora composta por.

Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra  
(Orientador)

Prof. Dr. Otávio Costa Acevedo

Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura

Maceió - AL  
Julho - 2004

## **DEDICATÓRIA**

**A todos os meus familiares e amigos**

**Ofereço**

**Aos meus pais José e Márcia, aos meus irmãos Marcos e Raquel e a minha  
sobrinha Maria Fernanda.**

**Ofereço e dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

**A Deus por me dar forças para alcançar mais um de meus objetivos.**

***Ao prof Roberto Lyra pela orientação neste trabalho***

**Aos meus colegas de mestrado: Cléa, Joaquim e Flávia por terem me apoiado e ajudado a enfrentar as atribuições durante essa caminhada.**

***Aos professores do curso de mestrado em meteorologia da Ufal.***

**Aos meus amigos pessoais: Ranieri, Ivana, Ana, Geórgia, Paulo, Edilma, Karla, Fernanda e Amanda pelo incentivo e apoio moral.**

**A Fapeal, órgão financiador da minha bolsa de mestrado durante todo o curso.**

**E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.**

**Agradeço**

---

## **PENSAMENTO**

**“Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar num sonho que se tem, ou que seus planos nunca vão dar certo ou que você nunca vai ser alguém...”**

**Renato Russo**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
LISTA DE APÊNDICE	XIV
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 – Introdução	1
2 – Revisão Bibliográfica	2
2.1 – Floresta	2
2.2 – Camada Limite Atmosférica	3
2.3 – Experimentos Realizados na Amazônia	4
2.4 – Resultados dos experimentos	5
2.4.1 – CLA	5
2.4.2 – Condições Atmosféricas durante o LBA - 1999	9
2.4.3 – Balaço de Energia	10

3 – Materiais e Métodos	12
3.1 – Localização da Área em Estudo	12
3.2 - <i>Climatologia e Aspectos Sinóticos da Região</i>	13
3.3 – Dados Utilizados	13
3.3.1 – Dados de Superfície	14
3.3.2 – Dados de Altitude	14
3.3.2.1 - Determinação da altura da CLA	14
3.3.2.2 – Variáveis Calculadas	15
a) Temperatura Potencial Virtual	15
b) Componente Zonal e Meridional do Vento	17
3.3.2.3 – Parâmetros Calculados	18
a) Gradientes Médios	18
b) Taxa de Variação	18
3.3.2.4 – Perfis Médios	19
3.3.2.5 – Cálculos Estatísticos	19
4 – Resultados e Discussão	20
4.1 – Dados de Superfície ( <i>Comparação Floresta/Pastagem</i> )	20
4.1.1 - Precipitação Pluviométrica	20
4.1.2 – Saldo de Radiação	21
4.1.3 – Temperatura do Ar	21
4.1.4 – Umidade Relativa do Ar	22
4.1.5 – Velocidade do Vento	23
4.1.6 – Valores Médios Diários e por período	24
4.2 – Desenvolvimento da CLC	28
4.2.1 – Altura Média da CLC	28
4.2.2 – Temperatura Potencial Virtual	29
4.2.3 – Umidade Específica	30

4.2.4 – Perfis Médios (Análise por horário)	32
4.2.5 – Valores Deduzidos dos Perfis Médios	39
4.2.5.1 – Desenvolvimento da CLS	39
4.2.5.2 – Desenvolvimento da CM	41
4.2.6 - <i>Comparação com Resultados Anteriores</i>	43
5 – Conclusão	47
6 – Referências Bibliográficas	48
7 – Apêndice	52

## LISTA DE FIGURAS

		Pag.
1	Mapa com a Localização dos sítios experimentais: floresta e pastagem em Rondônia	12
2	Modelo de Camada Limite Atmosférica durante o dia (a) e durante a noite (b)	15
3	Ciclo horário médio da precipitação pluviométrica na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002	20
4	Ciclo horário médio do saldo de radiação na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002	21
5	Ciclo horário médio da temperatura do ar na floresta e na pastagem no período de 10 a 31 de outubro de 2002.	22
6	Ciclo horário médio da umidade relativa do ar na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002	23
7	Ciclo horário médio da velocidade do vento na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002	23
8	Médias horárias da altura da CLC na pastagem e na floresta para os dias 18, 24, 27 e 29 de setembro e 15, 16 e 17 de outubro de 2002.	28
9	Comparação de $\theta_v$ média (a) e do gradiente médio de $\theta_v$ (b) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA – 2002.	30
10	Comparação de q média (a) e do gradiente médio de q (b) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA – 2002.	32
11	Perfil vertical médio da temperatura Potencial Virtual na floresta e na pastagem as 08HL.	32
12	Perfil vertical médio da temperatura Potencial Virtual na floresta e na pastagem as 11HL.	33
13	Perfil vertical médio da temperatura Potencial Virtual na floresta e na pastagem as 14HL.	34
14	Perfil vertical médio da temperatura Potencial Virtual na floresta e na pastagem as 17HL.	35
15	Exemplo de surgimento da camada estável (CE) às 17h na pastagem durante a estação chuvosa de 1999.	37
16	Exemplo de surgimento da camada estável (CE) às 17h na pastagem durante a estação seca de 1994.	38
17	Altura média (a), $\theta_v$ médio (b) e gradiente médio de $\theta_v$ (c) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para a CLS.	40
18	Altura média (a), $\theta_v$ médio (b) e gradiente médio de $\theta_v$ (c) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para a CM.	42
19	Comparação das alturas médias da CLC na floresta (a) e pastagem (b) durante as estações de transição seca/chuvosa, seca (Sousa, 1997) e chuvosa (Rocha, 2003).	44

	<b>Pág.</b>
20 Comparação das taxas de crescimento da CLC na floresta (a) e pastagem (b) durante a estação de transição seca/chuvosa, estação seca e estação chuvosa.	45
21 Comparação das taxas de aquecimento dentro da CLC na floresta (a) e pastagem (b) durante as estações de transição seca/chuvosa, seca (Sousa, 1997) e chuvosa (Rocha, 2003).	46

## LISTA DE TABELAS

	Pág.	
1	Valores médios da temperatura (T) ( $^{\circ}\text{C}$ ) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (Pás) para todo o período	24
2	Valores médios diários da temperatura (T) ( $^{\circ}\text{C}$ ) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (Pas) para o período em estudo	25
3	Valores médios da umidade relativa (UR) (%) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (Pás) para todo o período	25
4	Valores médios diários da umidade relativa (UR) (%) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (pás) para o período em estudo	26
5	Valores médios do saldo de radiação (Rn) ( $\text{W.m}^{-2}$ ) e respectivos desvios padrões na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para todo o conjunto de dados	26
6	Valores médios diários do saldo de radiação (Rn) ( $\text{W.m}^{-2}$ ) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para o período em estudo	27
7	Valores médios da taxa de crescimento ( $\text{m.h}^{-1}$ ) da CLC na pastagem e floresta durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA-2002.	28
8	Valores médios da taxa de aquecimento ( $\text{K.m}^{-1}$ ) da CLC na pastagem e na floresta (DRY TO WET AMC/LBA-2002)	29
9	Valores médios da taxa de aquecimento ( $\text{K.m}^{-1}$ ) da CLC na pastagem e floresta durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA-2002.	31
10	Numero de casos onde foram observados a ocorrência de camada estável às 08HL e as 17HL na floresta e na pastagem para os 7 dias analisados	36
11	Numero de casos onde foram observados a ocorrência de camada estável às 08HL e as 17HL na floresta e na pastagem para todos os perfis disponíveis	37

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

- ABLE** – Atmospheric Boundary layer Experiment
- ABRACOS** - Anglo-Brasilian Amazonian Climate Observational Study
- AL** – Atmosfera Livre
- AMC** - Atmospheric Mesoscale Campaign
- ARME** - Amazon Region Micrometeorological Experiment
- CLA** – Camada Limite Atmosferica
- CLC** – Camada Limite Convectiva
- CLN** – Camada Limite Noturna
- CLE** – Camada Limite Estável
- CE** – Camada Estável
- CM** – Camada de Mistura
- CLS** – Camada Limite Superficial
- CR** – Camada Residual
- DRY TO WET** – Seco para Chuvoso
- FLUAMAZON** - Amazon Water Vapor Flux Experiment
- GOES** – Satelite Geoestacionário
- LBA** - Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
- MCGA** – Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
- PR** – Precipitation Radar
- RBLE** - Rondônia Boundary Layer Experiment
- TRMM** - Tropical Rainfall Measuring Mission
- WET** - Chuvoso
- ZE** – Zona de Entranhamento

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>C<sub>pa</sub></b> – Calor específico a pressão constante do ar seco	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
<b>dd</b> – Direção do vento	[°]
<b>e</b> – Pressão parcial de vapor	[mb]
<b>e<sub>w</sub></b> – Pressão de vapor de saturação	[mb]
<b>ff</b> – Velocidade do vento	[m.s <sup>-1</sup> ]
<b>P</b> – Pressão atmosférica	[hPa]
<b>q</b> – Umidade específica	[g.kg <sup>-1</sup> ]
<b>T</b> – Temperatura do ar	[°C]
<b>θ</b> – Temperatura potencial	[K]
<b>θ<sub>v</sub></b> – Temperatura potencial virtual	[K]
<b>R<sub>n</sub></b> – Saldo de radiação	[W.m <sup>-2</sup> ]
<b>r</b> – Razão de mistura	[g.kg <sup>-1</sup> ]
<b>UR</b> – Umidade relativa	[%]
<b>Z<sub>i</sub></b> – Altura da Camada Limite Atmosférica	[m]
<b>Z<sub>im</sub></b> – Altura média da Camada Limite Atmosférica	[m]
<b>dθ<sub>v</sub>/dz</b> – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual	[K.m <sup>-1</sup> ]
<b>dq/dz</b> – Gradiente vertical da umidade específica	[g.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> ]

## LISTA DE APÊNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>A</b> Valores médios de T, UR e Rn para todo o conjunto de dados	52
<b>B</b> Dificuldade na Determinação da Altura da CLA através da Metodologia Existente – Caso do WET AMC/LBA - 1999 e DRY TO WET AMC/LBA – 2002 (Paper)	55
<b>C</b> Perfis de $\theta_v$ (Pastagem/Floresta) – Analise dia a dia	61
<b>D</b> Perfis Médios de $\theta_v$ (Dias com e sem a ocorrência de Camada Estável às 17HL)	75

## RESUMO

LETTE, Christiane Cavalcante. **CARACTERÍSTICAS DA CAMADA LIMITE CONVECTIVA DURANTE A TRANSIÇÃO DA ESTAÇÃO SECA PARA CHUVOSA NA AMAZÔNIA - COMPARAÇÃO FLORESTA/PASTAGEM (DRY TO WET AMC/LBA - 2002)**. Orientador: Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra. Maceió – AL: CCEN/UFAL, 2004. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

Com o objetivo de investigar o comportamento termodinâmico da CLC na transição da estação seca para a chuvosa 2002/2003 no Oeste da Amazônia (Rondônia), foram comparados resultados observacionais obtidos em dois tipos de cobertura vegetal: floresta nativa (10° 05'S, 61°55'W, 120m) e pastagem (10°45'S, 62°22'W, 293m). Os dados foram medidos durante a campanha de 2002 do LBA (DRY TO WET) em estações meteorológicas automáticas e através de sondagem no período de 16 de setembro a 31 de outubro. Os resultados mostraram que o padrão de evolução da CLC nos dois sítios foi bastante parecido com aqueles da estação chuvosa (LBA 1999). Em termos de desenvolvimento vertical, tanto os padrões de crescimento como os valores de espessura alcançados nos dois sítios foram praticamente iguais. A média na floresta foi de 858m e na pastagem de 888m. Os padrões de evolução dos valores médios e das taxas de variação temporal nos dois sítios, no interior da CLC, são, na sua maioria, semelhantes. A mesma coisa ocorre quando a comparação é feita com o que foi observado durante a estação chuvosa. Na comparação dos valores médios no interior da CLC, verificamos que as diferenças foram muito pequenas (dentro do limite de precisão dos sensores). Na pastagem, a temperatura média foi maior (306,15K contra 305,30K) e umidade menor (14,51g.kg<sup>-1</sup> contra 14,63g.kg<sup>-1</sup>).

## ABSTRACT

LEITE, Christiane Cavalcante. **CARACTERÍSTICAS DA CAMADA LIMITE CONVECTIVA DURANTE A TRANSIÇÃO DA ESTAÇÃO SECA PARA CHUVOSA NA AMAZÔNIA - COMPARAÇÃO FLORESTA/PASTAGEM (DRY TO WET AMC/LBA – 2002)**. Adviser: Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra. Maceió – AL: CCEN/UFAL, 2004. Dissertation (Master in Meteorology).

Aiming to investigate the thermodynamic behavior of the CBL in the dry to wet season 2002/2003 in West Amazonian (Rondônia), they had been compared observational results obtained over two vegetal covering: pristine forest (10° 05'S, 61°55'W, 120m) and pasture (10°45'S, 62°22'W, 293m). The measures are made during the “DRY TO WET LBA” 2002 field campaign (meteorological data and sounding), from September 16 to October 31. The results had shown that the CBL evolution patterns was seemed those of the wet season (LBA 1999). The vertical development (growth patterns and thickness values) in forest and pasture had practically been equal. The average in the forest was 858m and in the pasture of 888m. The evolution patterns of the mean values and the temporal evolution rates, inside the CBL, are similar. The same thing occurs when the comparison is made with the wet season. The differences between mean values in the CBL had been very small. Pasture was hotter (306,15K versus 305,30K) and dryer (14,51g.kg<sup>-1</sup> versus 14,63g.kg<sup>-1</sup>).

## 1.0 – Introdução

Com uma área total de 7.584.421Km<sup>2</sup> a Floresta Amazônica vem sendo degradada desde a ocupação dos exploradores europeus no século XVI. Estima-se que uma área de aproximadamente 550.000Km<sup>2</sup>, cerca de 12,5% da floresta original, já tenha sido desmatada através da derrubada e da queima da biomassa. Essa mudança na cobertura do solo provoca alterações nos parâmetros meteorológicos, tais como, o balanço de energia que, por sua vez, interage com a superfície e modifica, a Camada Limite Atmosférica (CLA), a temperatura e a evapotranspiração da floresta, que conseqüentemente, provocarão alterações no ciclo das chuvas, podendo interferir também, no clima regional e global.

A CLA é a região onde ocorre a maioria dos transportes de energia (calor sensível e latente) no sistema Terra – Atmosfera e que também é chamada de camada limite convectiva (CLC). As diferenças existentes no tipo de superfície e rugosidade do terreno contribuem diretamente para a maneira como a CLA influencia este transporte de energia (Kaimal & Finigan, 1994; Stull, 1988).

Experimentos em regiões de floresta e de pastagem (área desmatada) na Amazônia vem sendo realizados desde 1983 com o objetivo de estudar o efeito do desmatamento nos processos de interação floresta-atmosfera no que diz respeito a CLA, bem como estabelecer os processos físicos, biológicos e fisiológicos que interagem com a atmosfera e causam alteração no clima (Cohen et al., 2000).

Dentre os vários experimentos de campo que já foram realizados na região Amazônica, visando estudar o comportamento da atmosfera nessas duas áreas, destaca -se o projeto LBA “Large Scale Biosphere-Atmosphere in Amazonia”, realizado em duas campanhas sendo a primeira, denominada WET, realizada durante a estação chuvosa de 1999. Durante o período de setembro a novembro de 2002 foi realizada a segunda campanha do LBA denominada DRY TO WET na transição da estação seca para a chuvosa, visando entender os processos físicos que controlam a estação de transição na região sudoeste da Amazônia.

O principal objetivo deste trabalho é estudar a termodinâmica da CLC sobre as áreas de floresta e pastagem durante a estação de transição na Amazônia com o intuito de avaliar os efeitos quantitativos dos desmatamentos, como também comparar o desenvolvimento da mesma em outros períodos (seco e chuvoso).

## 2.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Florestas

As florestas constituem o mais alto grau de evolução dos ecossistemas terrestres. Elas detêm o maior número e as mais variadas espécies em uma mesma área. Atualmente, existem três importantes tipos de florestas no mundo: Boreal, nas altas latitudes do hemisfério norte; Temperadas, nos Estados Unidos e norte da Europa e Ásia; e as Tropicais, localizadas mais próximas do Equador. Estas cobrem 7% da superfície da Terra e abrigam no mínimo a metade das espécies do planeta (Miranda, 1989).

Molion (1990), afirmou que a Floresta Amazônica corresponde a 8% do cinturão latitudinal (10°N–10°S) e a 34% da superfície terrestre correspondendo a 88 milhões de quilômetros quadrados, dos quais 77% são oceanos e 23% continentes. Deste 50% é coberto por florestas naturais. A região Amazônica, com uma área de  $7 \times 10^6 \text{m}^2$ , é uma importante fonte de calor para a circulação geral da atmosfera e desempenha um papel significativo no ciclo biogeoquímico, particularmente no balanço global do carbono (Molion, 1995). As mudanças de cobertura da floresta nativa por outros tipos de solos, alteram o ciclo hidrológico no sistema edafoclimático.

Segundo Lyra et al. (1996), tais mudanças do tipo de vegetação também provocam alterações nos parâmetros locais (albedo, rugosidade, umidade do solo) e, por conseguinte na termodinâmica da camada limite atmosférica, cujos principais reflexos são: redução do fluxo de calor latente, aumento do fluxo de calor sensível, aumento da energia estocada no solo, etc.

As taxas recentes de desmatamento na Amazônia levantaram a questão de como o clima, principalmente os testes padrões em grande escala de precipitação, pode ser afetado pela substituição da floresta por pasto. Isso motivou conseqüentemente estudos de campo e pesquisas de modelagens para ajudar a responder a estas perguntas. A umidade atmosférica é obviamente muito importante para os processos de precipitação e as florestas são fontes eficientes de umidade para a Camada Limite Atmosférica (CLA). A evaporação da floresta fornece as circunstâncias adequadas para que haja convecção e aumento da umidade. Acredita-se que este aspecto pode ser alterado se a floresta for substituída por pasto (Rocha et al., 1996).

A substituição de floresta por pastagem resulta em um aumento significativo do albedo, acarretando dessa forma, uma maior disponibilidade de energia por parte da superfície desmatada

para a atmosfera. Essa energia gera uma alteração no sistema Terra-Atmosfera que implicará em alterações no clima local e global (Querino et al., 2003).

## 2.2 – Camada Limite Atmosférica (CLA)

A CLA é a camada de ar mais próxima da terra que é influenciada diretamente pelo aquecimento e resfriamento da superfície terrestre. A altura exata da CLA varia de acordo com a hora do dia. Durante o dia está geralmente entre 1 e 3Km e durante a noite é muito mais baixa (Rocha et al., 1996). O escoamento nessa camada é normalmente turbulento. Sua espessura é tipicamente da ordem de quilômetros sendo identificada como a altura onde os fluxos turbulentos verticais médios, são devidamente negligenciáveis (estes fluxos decrescem verticalmente, de forma mais ou menos linear a partir do solo). Mas freqüentemente, em regime instável, a CLA é coberta e ou “tampada” por uma marcada inversão de temperatura e seu deslocamento coincide aproximadamente com a altura da base desta inversão (Moor, 1983).

A CLA pode ser dividida em três camadas básicas: a Camada Superficial (CS), que está em contato com a superfície e tem alguns centímetros ou dezenas de metros de espessura, onde o cisalhamento do vento desempenha um papel dominante; a Camada de Mistura (CM), sendo esta profunda e compreendendo cerca de 70 a 80% da CLA, onde a turbulência independe da altura e da tensão do cisalhamento; e a Zona de Entranhamento (ZE), que faz a interface entre a CM e a atmosfera livre que, em geral, atua como uma tampa aos movimentos verticais ascendentes das parcelas de ar (Tota, 1998).

Do ponto de vista da aerodinâmica a Camada Limite é simplesmente aquela onde é extraído quantidade de movimento para baixo, a fim de compensar o déficit gerado pela fricção do ar na superfície. Do ponto de vista meteorológico, o escoamento na camada de mistura turbulenta é caracterizado pelas influências das forças de Coriolis, fricção aerodinâmica e pela estratificação da densidade do ar, que afeta a turbulência pelas forças convectivas. Esses fatores fazem com que haja grande produção de cisalhamento vertical e horizontal nas correntes de ar (Nicolli, 1979).

Finalmente, pode-se definir ainda a Camada Limite como a porção mais baixa da troposfera, a qual é diretamente influenciada pela presença da superfície e responde às forçantes da superfície com uma escala de tempo de cerca de uma hora ou menos. Essas forçantes incluem atrito, evapotranspiração, transferência de calor sensível, emissão de poluentes e modificação do

escoamento induzido pela Terra (Stull, 1988). Durante o dia, como o fluxo de calor à superfície é positivo, a Camada Limite Atmosférica é formada principalmente pelas parcelas de ar quentes, com flutuabilidade positiva, as quais sobem até atingir seu nível de equilíbrio no topo da mesma. Como a turbulência térmica é o mecanismo dominante, esta camada é freqüentemente chamada de Camada Limite Convectiva (CLC).

### 2.3 – Experimentos Realizados Na Amazônia

Várias pesquisas foram realizadas sobre superfícies com dois tipos de cobertura vegetal (Floresta e Pastagem), as quais envolveram experimentos com coleta de dados no interior da camada limite em várias partes do mundo. Pode-se citar alguns exemplos os quais foram projetos importantes na Amazônia.

O primeiro experimento realizado foi o ARME (Amazon Region Micrometeorological Experiment) em 1983, que durou dois anos e teve como objetivo coletar dados micrometeorológicos da partição de energia pela Floresta Amazônica e estimar a evapotranspiração (Molion, 1987).

No Brasil, o primeiro experimento onde se estudou a termodinâmica da CLA da floresta tropical da Amazônia, foi o ABLE “Atmospheric Boundary Layer Experiment” em Manaus/AM, o qual compreendeu duas fases experimentais: estação seca, julho a agosto de 1985, e estação chuvosa, abril a maio de 1987. Este experimento foi descrito detalhadamente por Harris et al. (1988).

A estrutura termodinâmica da atmosfera sobre a Amazônia foi estudada durante o projeto FLUAMAZON “Amazon Water Vapor Flux Experiment” (23/11 – 21/12/1989). O objetivo principal deste trabalho foi estudar o perfil termodinâmico atmosférico que envolve a CLC e a Atmosfera Livre (AL). Para esta finalidade diversas estações de radiossondagem na região da Amazônia foram usadas (Carmo, 1996).

De 1991 a 1995 realizou-se um dos mais importantes experimentos em área de floresta, denominado de ABRACOS (Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observational Study) que teve como finalidade estudar as interações entre a cobertura vegetal e a atmosfera com relação ao ciclo hidrológico e fornecer dados de superfície dos fluxos de energia, além de outras informações, em áreas de floresta e de pastagem, em três locais distintos na Amazônia (Manaus, Marabá e Ji-Paraná) durante as estações seca e chuvosa da região (Gash et al., 1996).

Paralelamente a este experimento, realizaram-se medidas da CLA, também em área de floresta e de pastagem, através do experimento RBLE (Rondônia Boundary Layer Experiment) realizado na região de Ji-Paraná em três campanhas distintas: RBLE1 (Setembro de 1992), RBLE2 (Julho de 1993) e RBLE3 (Agosto de 1994).

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 1999 (entre 15 de janeiro e 28 de fevereiro) realizou-se em Rondônia a primeira campanha de medidas intensivas do AMC/LBA (Atmospheric Mesoscale Campaign/Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), denominada WET, correspondente à estação chuvosa, cujo objetivo visou aumentar nosso conhecimento sobre a Amazônia e sobre os impactos dos desmatamentos tanto do ponto de vista regional como do ponto de vista global enfocando, neste caso, a estação chuvosa. Outra campanha do AMC/LBA foi realizada em Rondônia e Mato Grosso entre setembro e dezembro de 2002, que teve como objetivo obter dados da transição entre as estações seca e chuvosa da região tropical. Tal campanha foi denominada DRY-TO-WET. O LBA também tem sítios experimentais em operação contínua, desde 2000, em diversos tipos de superfície.

## **2.4 – Resultados de alguns experimentos**

### **2.4.1 – CLA**

Nobre et al. (1996) utilizaram dados coletados durante o experimento RBLE2 para apresentar os principais aspectos observacionais da CLA em região de floresta e de pastagem na Amazônia. Os resultados mostraram que o crescimento da CLC na pastagem pode alcançar a altura de 2200m a tarde, bem mais alta que na floresta onde os valores obtidos não excederam os 1250m. Já a camada Limite Noturna (CLN) foi mais alta na floresta (385m) do que na pastagem (240m).

O crescimento da CLC em locais de floresta e pastagem também foi estudado por Fisch e Nobre (1996) usando um modelo simples unidimensional baseado na teoria desenvolvida por Tennekes. Tal modelo produziu algumas características observadas na CLC, embora tenha sido encontrada algumas discrepâncias na temperatura potencial virtual e na altura da CLC, especialmente para a pastagem. Uma análise mais detalhada, utilizando a integração do tempo, foi feita somente quando a convecção livre estava ocorrendo e sugeriu que a advecção de energia

transportada por uma circulação secundária pode ter ocorrido no local da pastagem. Esta advecção pode ser muito importante na diminuição da CLN.

As possíveis implicações da substituição da cobertura da floresta Amazônica por pastagem foram analisadas por Sousa (1997) com ênfase nos processos termodinâmicos que comandam a CLA sobre dois tipos de cobertura do solo: Floresta e Pastagem durante a estação seca de 1994, considerando parâmetros importantes no seu desenvolvimento. Os resultados mostraram uma importante diferença/troca entre a camada limite superficial nas duas coberturas. Na pastagem, durante o dia, a CLA foi aquecida em 2,7K e sua altura foi de 1000m com maior turbulência. Durante a noite, a diferença de temperatura manteve-se praticamente constante (2,2K) e a diferença de umidade foi o dobro comparado ao diário. Por outro lado, a CLA da floresta foi 30% mais densa e mais instável durante a noite.

Foram discutidos por Lyra et al., (2003) os padrões de evolução de temperatura, umidade e vento da CLA no oeste da Amazônia durante a estação seca de 1994, em dois sítios: Floresta e Pastagem localizados na região de Ji-Paraná. E constatou-se que durante o dia, sobre a pastagem, a CLC foi, em média, cerca de 80% mais espessa, com 2K a mais e  $6\text{g.kg}^{-1}$  a menos. Já a CLN também foi mais quente e mais seca e a quebra da estabilidade noturna ocorreu mais cedo e com maior frequência no período matinal quando comparada com a floresta. Em geral, os padrões de evolução nos dois cenários foram diferentes, porém existiram ocasiões em que as duas CLCs comportaram-se de modo similar. Os resultados sugeriram, também, que fenômenos de média e grande escala desempenharam um papel importante no comportamento da CLA da região.

Os principais aspectos da termodinâmica da CLA no oeste da Amazônia (Rondônia) durante a estação chuvosa de 1999 (LBA) foram discutidos por Rocha (2003) os resultados mostraram que o efeito do desmatamento sobre as características termodinâmicas da CLA é pequeno, quando comparado com o que foi constatado por outros estudos realizados durante a estação seca. A espessura da CLC foi praticamente idêntica nos dois cenários: 750m na pastagem e 747m na floresta. Apesar disso, a CLC na região desmatada foi 0,7K mais quente,  $0,7\text{g.Kg}^{-1}$  mais úmida e menos turbulenta. Em ambos os cenários a direção do vento foi de sudeste com força ligeiramente superior na pastagem. Durante a noite, os contrastes foram mais pronunciados tendo a CLN da pastagem se mostrado 31% menos espessa, mais estável, 0,2K mais quente e  $0,5\text{g.Kg}^{-1}$  mais seca. Comparando a CLA da estação chuvosa com a da estação seca verificou-se que, na floresta, não há diferenças significativas e que os contrastes realmente importantes são observados na pastagem.

Leite et al. (2003) também utilizaram dados do LBA – 1999 para determinar a relação entre a altura da CLC e os parâmetros de superfície em região de floresta e comprovaram uma alta correlação entre a altura da CLC e os valores da temperatura e da umidade relativa ( $r^2$  igual 0,98 e 0,99, respectivamente), para médias de 9 dias. No entanto, a correlação não foi sempre alta quando o ajuste foi feito separadamente para cada dia, mas os bons resultados indicam a possibilidade de se estimar a altura da CLC usando um desses dois parâmetros.

Utilizando dados do mesmo experimento, Silva (2004) observou que o tempo de duração da precipitação favoreceu o desaparecimento do contraste entre floresta e pastagem, tornando a atmosfera homogênea em termos de quantidade de vapor d'água. Com isso a CLA foi bastante parecida nos dois sítios em termos de espessura. No interior da CLA os ventos foram de fracos a moderados e no caso da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) e da umidade específica ( $q$ ) os ciclos diários são facilmente distinguidos, exceto em dias de chuva. Não foram encontradas diferenças significativas entre a floresta e a pastagem. No domínio da CLA, foram constatadas diferenças na floresta entre os dias de céu claro (CC) e nublado (CN) da ordem de 2,0K em  $\theta_v$  e de 1,5g.kg<sup>-1</sup> em  $q$ , sendo mais úmido em dias de CN. Na pastagem, foram encontradas diferenças durante a tarde na umidade específica. Em dias de CC o valor médio de  $q$  é de 16,0g.kg<sup>-1</sup> a tarde, em dias de CN a umidade chegou a 14,5g.kg<sup>-1</sup> em média. Este fato pode estar associado ao aquecimento médio de 4,0K nos dias de CC em relação aos dias de CN.

Fisch et al. (2000), estudaram a camada limite convectiva (CLC) sobre dois cenários distintos, floresta tropical e pastagem no oeste da Amazônia (Rondônia) utilizando dados dos experimentos ABRACOS/RBLE e LBA - 1999 para comparar as estações seca e chuvosa. Eles comprovaram que o desmatamento tem modificado a dinâmica da camada limite, especialmente durante a estação seca, pois neste período o solo está seco, conseqüentemente, o fluxo de calor sensível é muito alto sobre a pastagem, o que torna a CLC 600m mais alta. Já na floresta, como as árvores extraem água do solo profundo, o mesmo não sofre stress hídrico. A altura final da CLC na pastagem é de 1600m, enquanto que na floresta ficou entorno de 1000m. Durante a estação chuvosa, onde existe uma grande quantidade de água disponível no solo, a altura da CLC é menor que na estação seca e a mesma entre a floresta e pastagem, ficando em torno de 1000m. Comparando o crescimento da CLC durante as duas estações, é evidente que a camada limite sobre a floresta não depende das características da superfície, mas a pastagem sim.

Uma análise da estrutura e evolução dinâmica da CLA, através do estudo do comportamento do vento e da turbulência, foi realizada por Oliveira (2001) em área de floresta e

pastagem na Amazônia durante as estações seca de 1994 (RBLE) e chuvosa de 1999 (LBA – 1999). Os resultados mostraram que a estrutura dinâmica da CLA apresenta características semelhantes às mostradas em trabalhos anteriores, que estudaram apenas a parte termodinâmica (Fisch, 1996 e Tóta, 1998). De acordo com os resultados obtidos, o vento na floresta é em média,  $2\text{m.s}^{-1}$  mais intenso que na pastagem, e a direção média do vento apresenta-se de ENE acima de 1000m e de ESE na região abaixo, em ambos os sítios durante a época seca. Na época chuvosa, a precipitação é um fator importante na determinação do comportamento do vento. Na época seca, o regime instável ocorre mais cedo na pastagem (6HL) do que na floresta (8HL) com valores do comprimento de Obukhov (L) de 75 e 160m, respectivamente. Na época chuvosa, por outro lado, o regime instável surge antes das 6HL, na pastagem, mas com persistência apenas após as 8HL, sendo L em torno de 75m, na pastagem. A turbulência, de acordo com Ri, surge próximo à superfície às 10HL e 11:30HL na pastagem e floresta, respectivamente, propagando-se verticalmente até no máximo 1400m na pastagem e 900m na floresta, na época seca. Durante o período chuvoso, inicia-se às 8HL na pastagem e às 9HL na floresta.

Comparações na evolução da CLA durante a estação chuvosa (LBA – 1999) e a estação seca (RBLE – 3), em área de pastagem e floresta no oeste da Amazônia foram discutidas por Rocha et al., (2002). Os resultados mostraram significantes diferenças entre as duas estações, tanto na CLC quanto na Camada limite Estável (CLE). Em média a altura da CLC na pastagem foi 57% menor na estação chuvosa já na CLE a diferença foi de 110%. Contudo, na floresta a altura da CLC foi 16% maior na estação chuvosa quanto que na CLE a diferença foi de 102% menor.

Já Lyra et al. (2003), utilizaram dados dos projetos RBLE (estação seca) e LBA - 1999 (estação chuvosa) para comparar os principais aspectos termodinâmicos da CLC na floresta e na pastagem entre as duas estações. Os resultados mostraram que na estação seca a CLC na região desmatada é substancialmente diferente daquela que se desenvolve sobre a floresta, sendo 2,7K mais quente,  $3\text{g.kg}^{-1}$  mais seca e 434m mais espessa, chegando a 1km no final da tarde. A umidade em seu interior aumentou  $0,02\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  enquanto que na floresta ela diminuiu indicando a existência de transporte horizontal de umidade, no sentido floresta/pastagem. Já na estação chuvosa, quando a umidade aumenta na pastagem, a CLC foi 1K mais quente e apenas  $0,6\text{g.kg}^{-1}$  mais seca, mas a sua espessura foi praticamente a mesma da floresta e a variação da umidade quase idêntica ( $-0,20\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  contra  $-0,19\text{g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ).

Betts et al., (2002) utilizaram um conjunto de dados integrados de radiossonda e balão cativo colhidos na campanha de 1999 do projeto LBA, para analisar os ciclos diurnos da superfície e a estrutura da camada limite durante a estação chuvosa da Amazônia. Os resultados mostraram que, durante os regimes de ventos de leste, a evolução diurna da razão de mistura mostra que o fluxo de vapor d'água através da base das nuvens é maior que o volume de evapotranspiração da superfície. De dia a razão de Bowen na pastagem é aproximadamente 0,4 baixando rapidamente na estação chuvosa. Pela tarde, a baixa evaporação devido as correntes de ar descendentes associados as chuvas convectivas transformam a camada limite. A queda da temperatura potencial virtual na camada limite é similar para ambos os regimes de vento, mas o resfriamento da camada limite por convecção durante regimes de ventos de oeste diminui, porque a camada de nuvens baixas é, em media, superficial. O lançamento da sonda próxima a margem da frente de rajada mostra que o ar das nuvens baixas é primeiro resfriado e depois umedecido pela pancada de chuva que ocorre antes da chegada da corrente de ar ascendente vinda da superfície. Estas medidas fornecem uma específica base observacional para a validação e aprimoramento da parametrização da convecção superficial e profunda nos modelos de previsão numérica.

#### **2.4.2 – Condições Atmosféricas durante o LBA - 1999**

Conforte (2002) analisou a estrutura vertical das componentes convectivas e estratiformes da precipitação sobre Rondônia, e a altura média das nuvens durante o experimento WET AMC/LBA nos meses de janeiro e fevereiro de 1999. As análises foram feitas utilizando-se dados do sensor PR (Precipitation Radar) a bordo do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Os resultados obtidos mostram significativa variabilidade espacial da precipitação na região, sendo que as maiores taxas de precipitação ocorreram no norte e as menores no centro. Foi observado que a componente convectiva domina sobre a estratiforme em todas as regiões e no que se refere a altura média das nuvens, consistente com a predominância da atividade convectiva, os topos mais profundos localizaram-se na região norte.

De uma forma geral, a convecção nas regiões tropicais se organiza em sistemas de mesoescala responsáveis pelos principais transportes verticais de energia na troposfera e pela maior parte da chuva nessas regiões. Um método automático foi utilizado por Laurent & Machado, (2002) para acompanhar esses sistemas convectivos a partir das imagens de alta

resolução de satélite geoestacionário. Foram comparadas as características dos sistemas convectivos observados sobre a Amazônia durante o experimento WET AMCLBA com as características dos sistemas convectivos observados na região de Sahel, oeste da África durante a estação chuvosa. Os resultados mostraram que no Sahel a convecção é dominada por sistemas convectivos muito bem organizados propagando-se rapidamente para oeste. Na região do WET AMCLBA a convecção é dominada pelo ciclo diurno dos sistemas convectivos, mostrando um desenvolvimento forte no início da tarde associado com o máximo de precipitação, e uma atividade convectiva reduzida durante a noite e a madrugada.

Comparando as condições atmosféricas durante a estação chuvosa de 1999 (Projeto LBA 1999), entre dois cenários distintos (floresta e pastagem), Leite (2002) mostrou que as condições atmosféricas nas duas áreas são bastante semelhantes nesta estação. Na pastagem, o saldo de radiação foi da ordem de 6% inferior e a temperatura cerca de 0,5°C menor. A pressão foi pouco mais de 2hPa superior a da floresta e a umidade relativa do ar cerca de 3% maior. O movimento preferencial das massas de ar é no sentido leste-oeste e a convecção de origem local desempenha um papel importante, mesmo na estação chuvosa. O acompanhamento das condições meteorológicas durante o mesmo experimento em uma área de pastagem na Amazônia foi feito por Rocha & Lyra (2003). Os resultados mostraram que o período em estudo foi típico da estação chuvosa da região com um total de precipitação de 115mm. A nebulosidade foi importante fazendo com que o saldo de radiação fosse relativamente baixo. A temperatura variou entre 20,9 e 31,5°C com média de 24,8°C e a umidade relativa esteve sempre muito alta com média de 90%. A redução no saldo de radiação está ligada a uma cobertura de nuvens, não necessariamente acompanhada de precipitação.

#### 2.4.3 -- Balanço de Energia

Observações Micrometeorológicas do ABRACOS têm sido usadas para estudar o balanço de radiação e para a validação de alguns métodos empíricos usados para estimar radiação de ondas longas. Em geral, as componentes do balanço de radiação apresentam ciclos diurnos bem definidos com a ocorrência de valores elevados no período diurno e valores baixos durante o período noturno. Os modelos de Brunt, (1932); Swinbank, (1963); Idso & Jackson, (1969); Satterlund, (1979) e Brutsaert, (1975) utilizados por Galvão & Fisch (2000) para estimar o fluxo de radiação de ondas longas ( $L_d$ ), foram testados para uma área de pastagem na Amazônia. As

estimativas de  $L_d$  para estes modelos foram subestimadas em comparação a  $L_d$  medida. Os resultados mostraram que os fluxos e as estimativas de radiação de ondas longas da atmosfera podem auxiliar na calibração dos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Estes modelos requerem parametrizações realísticas de muitos processos de superfície (como a partição de energia), que são características importantes na determinação dos campos de temperatura, de vento, de umidade e de precipitação.

Ainda utilizando dados do projeto ABRACOS Galvão & Fisch (2000) avaliaram o balanço de energia no período de transição do final da estação chuvosa e início da estação seca do ano de 1993. Os resultados indicaram que, durante o período chuvoso, a devolução de energia para a atmosfera é realizada predominantemente pelo fluxo de calor latente, cuja fração do saldo de radiação ( $LE/R_n$ ) utilizada foi de 0,79 na floresta e 0,65 na pastagem. Uma parcela deste saldo ( $H/R_n$ ) é usada para o aquecimento da atmosfera, correspondendo a 0,17 na floresta e 0,20 na pastagem. No período seco, a floresta continua a utilizar uma maior quantidade de energia para evaporar ( $LE/R_n = 0,62$ ) e uma menor quantidade para aquecer o ar ( $H/R_n = 0,18$ ), enquanto, na pastagem, a transferência de energia para a atmosfera ocorre em magnitudes similares entre os fluxos de calor latente e calor sensível, principalmente nos horários entre 11 e 14 HL.

Albuquerque et al. (2003), compararam o saldo de radiação em área de pastagem na Amazônia durante os períodos de transição seco-úmido e úmido-seco. O período seco-úmido apresentou maiores valores médios do saldo de radiação em relação ao período úmido-seco. Esta ocorrência está associada a presença de nuvens convectivas frequentes na região durante o período úmido-seco, já que a energia emitida para a atmosfera foi menor do que a recebida pela superfície, causando um resfriamento desta em relação a atmosfera. Os baixos valores durante o período seco-úmido estão relacionados à presença de aerossóis decorrentes das queimadas na região e/ou áreas vizinhas, devido a grande variação dos valores do saldo de radiação neste período.

### 3.0 – MATERIAIS E METODOS

#### 3.1 – Localização da Área em Estudo

O estudo foi realizado no Oeste da Amazônia (Rondônia) em dois sítios experimentais: uma região de floresta nativa e outra de área desmatada que é utilizada como pastagem:

- Floresta: Ji-Paraná (Reserva Biológica do Jarú, 10° 05'S, 61°55'W, 120m);
- Pastagem: Ouro Preto do Oeste (Fazenda Nossa. Senhora, 10°45'S, 62°22'W, 293m);

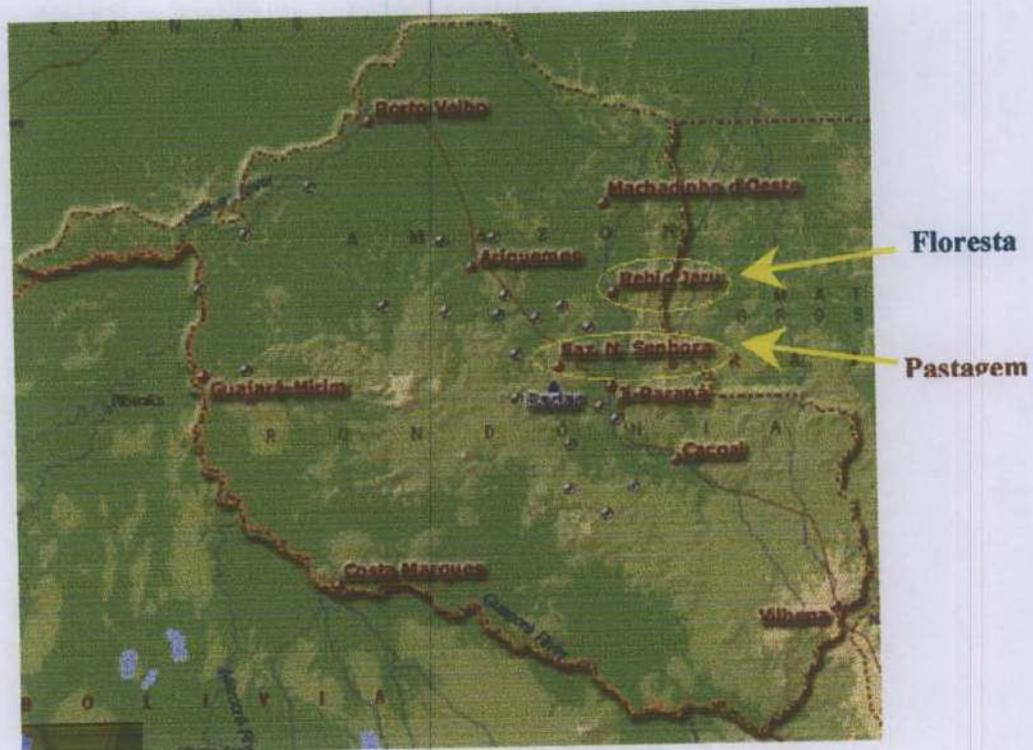


Figura 1 – Mapa com a localização dos sítios experimentais: floresta e pastagem em Rondônia.

### 3.2 – Climatologia e Aspectos Sinóticos da Região

O clima da região Amazônica é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar (Salati e Marques, 1984). Devido aos altos valores de energia que incide da superfície, o comportamento da temperatura do ar mostra uma pequena variação ao longo do ano, com exceção da parte mais ao sul (Rondônia e Mato Grosso), que sofre a ação de sistemas frontais (denominados localmente por Friagens). A amplitude térmica sazonal é da ordem de 1<sup>o</sup> a 2<sup>o</sup>C, sendo que os valores médios situam-se entre 24<sup>o</sup> e 26<sup>o</sup>C. O clima é caracterizado por umidade elevada durante todo o ano. Valores de Umidade Relativa (U.R) de 90% e até mesmo 99% são freqüentemente encontrados. A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2300mm.ano<sup>-1</sup> (Fisch et al. 1996).

Segundo o Boletim Climanálise (CPTEC, 2002), durante o experimento (setembro e outubro de 2002), os maiores totais de chuva no mês de setembro ocorreram no extremo Oeste do Amazonas e em Roraima, com valores entre 100 e 200mm. No Pará e Amapá, predominaram valores inferiores a 25mm. De maneira geral, choveu acima da média no oeste da região (Roraima, Noroeste e Oeste do Amazonas, Acre e Rondônia) e em Tocantins. Destaca-se o avanço de uma frente fria entre os dias 19 e 26, que causou chuvas generalizadas na área que vai do Acre até o sul do Amazonas.

No mês de outubro as chuvas continuaram mais acentuadas no Oeste da região, destacando-se o Oeste do Amazonas e o Norte de Rondônia, com valores entre 200mm e 250mm. No setor Norte do Pará e no Amapá, as chuvas não excederam os 50mm. Somente no final do mês ocorreram chuvas no Sudoeste do Pará que elevaram os totais de precipitação a valores superiores a 150mm, proporcionando desvios ligeiramente positivos.

### 3.3 – Dados Utilizados

Os dados utilizados foram colhidos durante a campanha do projeto DRY TO WET-AMC/LBA nos meses de setembro e outubro de 2002 no período de transição da estação seca para a chuvosa e foram transferidos via “ftp” do site do projeto LBA ([www.lba.iag.usp.br](http://www.lba.iag.usp.br)). Os arquivos originais tem o formato “.dat”. Inicialmente eles são transformados em planilha excel “.xls”. A partir das planilhas “excel” os arquivos correspondentes a cada sondagem serviram como dado de entrada a uma planilha modelo. Esta planilha é uma espécie de rotina que, uma vez alimentada com dados (sondagens), realiza todos os cálculos necessários e plota os perfis de todas as variáveis.

### 3.3.1 – Dados de Superfície

Os parâmetros meteorológicos utilizados foram precipitação, saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e vento (*dd* e *ff*) medidos em estações automáticas instaladas nos dois sítios experimentais. Os dados foram colhidos a cada 30 minutos na estação automática da floresta e a cada 01 minuto na estação da pastagem. Tanto os dados da pastagem como os da floresta foram colhidos no período de 16 de setembro a 31 de outubro.

Para plotar as figuras dos ciclos diário dividiu-se em dois o período em que os dados foram coletados (01 a 15 e de 16 a 31/10/2002). Foram 14 figuras do ciclo mensal para cada variável com sua respectiva média diária em cada sítio, totalizando 28 figuras, que serviram para identificar os períodos sem falhas e auxiliou na escolha do período a ser comparado entre os dois sítios. Depois foram feitas as médias horárias que serviram para plotar os 05 (cinco) figuras de comparação entre a floresta e a pastagem para cada variável no período de 01 a 31 de outubro (Período sem falhas, comum aos dois sítios).

### 3.3.2 – Dados de Altitude

Foram utilizados perfis de radiossondagem (pressão, temperatura, umidade e vento). O período analisado foi de 12 de setembro a 31 de outubro para a pastagem e de 11 a 29 de setembro e de 15 a 30 de outubro para a floresta com 216 sondagens para o sítio pastagem e 116 para o sítio floresta. Ao todo foram calculados e plotados 328 perfis verticais de temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ), umidade específica ( $q$ ) e vento (*dd* e *ff*) para cada sondagem, sendo 212 perfis para a pastagem e 116 para a floresta que serviram para determinar a altura da camada limite convectiva.

#### 3.3.2.1 - Determinação da altura da CLA

Para todas as radiossondagens foi feita uma interpolação linear (1 ponto a cada 25m) para facilitar no agrupamento dos perfis de  $\theta_v$ ,  $q$  e vento (*ff* e *dd*) em uma única figura nos horários das 8, 11, 14 e 17HL para determinar a altura da CLC ( $Z_i$ ).

A determinação de  $Z_i$  foi feita de maneira analítica com base no modelo proposto por Stull (1988), ilustrado na Figura 2.

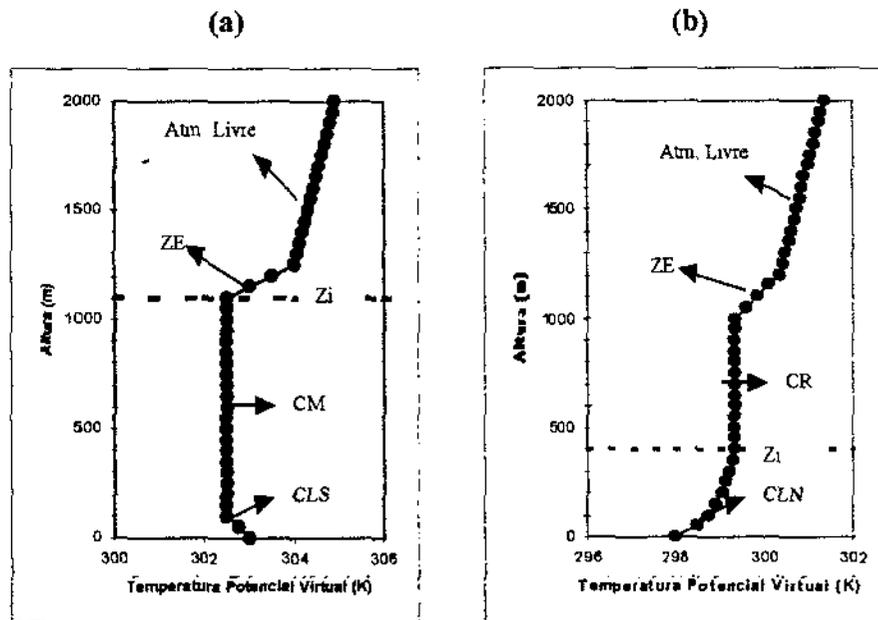


Figura 2 – Modelo de Camada Limite Atmosférica durante o dia (a) e durante a noite (b).

### 3.3.2.2 – Variáveis Calculadas

A partir dos dados de pressão, umidade, temperatura, velocidade e direção do vento foram calculadas todas as variáveis necessárias:

#### a) Temperatura Potencial Virtual ( $\theta_V$ )

O valor de  $\theta_V$  foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$\theta_V = \theta(1 + 0,61r) \quad (1)$$

O valor da temperatura potencial ( $\theta$ ) é dado por:

$$\theta = T \left( \frac{1000}{P} \right)^{R_a / C_{pa}} \quad (2)$$

T – Temperatura do ar (K)

P – Pressão atmosférica (hPa)

$R_a$  – Constante específica do ar seco ( $287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$C_{pa}$  – Calor específico do ar seco a pressão constante ( $1005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

A razão de mistura ( $r$ ) foi calculada utilizando a fórmula clássica:

$$r = 0,622 \frac{e}{P - e} \quad (3)$$

Onde  $e$  é a pressão de vapor calculada pela expressão:

$$e = \frac{e_{w(t)}}{100} UR \quad (4)$$

UR – Umidade relativa (%)

$e_{w(t)}$  - Pressão de vapor de saturação dada pela fórmula:

$$e_{W(t)} = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{a \times T}{b+T}\right)} \quad (5)$$

a = 7,5 para a temperatura do ar  
b = 237,3 para a temperatura do ar

$$\therefore e = \frac{6,1078 \times 10^{\left(\frac{a \times T}{b+T}\right)}}{100} \times UR$$

Tendo em vista que, em estudos anteriores, tem sido usado a umidade específica calculada pela expressão clássica:

$$q = 0,622 \frac{e}{P - 0,378e} \quad (6)$$

#### **b) Componente Zonal (u) e meridional (v) do Vento**

Como o vento é um vetor, foi necessário calcular as componentes u e v para serem inseridas no cálculo dos perfis de vento da seguinte forma:

$$\begin{aligned} u &= -ff \operatorname{sen}(dd) \\ v &= -ff \operatorname{cos}(dd) \end{aligned} \quad (7)$$

### 3.3.2.3 – Parâmetros Calculados

#### a) Gradientes Médios ( $\bar{X}$ )

O valor médio dos escalares nas diferentes camadas foi calculado através da média dos gradientes em cada uma das sub-camadas:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{Z_B}^{Z_T} \frac{\partial X}{\partial Z}}{n} = \sum_{Z_B}^{Z_T} \frac{\Delta X}{\Delta Z} = \sum_{Z_B}^{Z_T} \frac{X_{Z_2} - X_{Z_1}}{Z_2 - Z_1} \quad (8)$$

X – escala considerada ( $\theta_v, q, u, v$ )

Z – espessura da camada entre dois níveis consecutivos (m)

$Z_B$  – altura da base da camada (m)

$Z_T$  – altura do topo da camada (m)

#### b) Taxa de variação

A taxa de evolução ( $K.h^{-1}$ ) entre duas sondagens consecutivas foi calculada da seguinte forma:

$$\frac{\bar{\partial x}}{\partial t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{T2} - x_{T1}}{t_2 - t_1} \quad (9)$$

### 3.3.2.4 – Perfis Médios

Os perfis médios de  $\theta_v$  e  $q$  para cada horário (08, 11, 14 e 17HL) foram agrupados numa única figura para facilitar na análise do desenvolvimento da camada dia a dia. Foi selecionado para análise apenas os dias em que houve sondagens nos quatro horários nos dois sítios (18, 24, 27 e 29 de setembro e 15, 16 e 17 de outubro). A partir desses perfis foram plotados separadamente os perfis médios de  $\theta_v$  na floresta e na pastagem para cada horário fazendo a comparação entre os sítios. Com a ajuda das tabelas com os dados estatísticos foi analisado o desenvolvimento da CLC.

### 3.3.2.5 – Cálculos Estatísticos

Foram feitas tabelas com os cálculos estatísticos como, médias diárias e horárias, desvio padrão para cada variável de superfície bem como os gradientes médios de  $\theta_v$  e  $q$  em todo o perfil (0-3500m) e também dentro da camada (0-Zi) como também na Zona de entranhamento. Depois foram plotadas as figuras de  $\theta_v$  e de  $q$  médio e do gradiente de  $\theta_v$  e  $q$ . Calculou-se também as taxas de crescimento e aquecimento da camada.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discussão dos resultados será feita em duas etapas em função da escala espacial ou o grupo de dados, a saber:

- Dados de superfície
- Perfis de radiossonda

### 4.1 – Dados de Superfície (Comparação Floresta/Pastagem)

Será feita uma comparação dos ciclos diários médios das variáveis de superfície nos dois sítios experimentais no período de 01 a 31 de outubro. A escolha deste período foi feita em função dos dados terem sido colhidos simultaneamente nos dois sítios.

#### 4.1.1 – Precipitação Pluviométrica

Nota-se na Figura 3 que choveu muito mais na floresta do que na pastagem, sendo que a precipitação média horária, foi maior no período das 17:00h até 21:00h. O máximo na floresta (0,94mm) ocorreu às 19:00h enquanto que na pastagem (0,08mm) foi às 23:00h. Durante o dia o período mais seco nos dois sítios foi entre 00:00h e 08:00h, onde a maior precipitação não ultrapassou os 0,03mm.

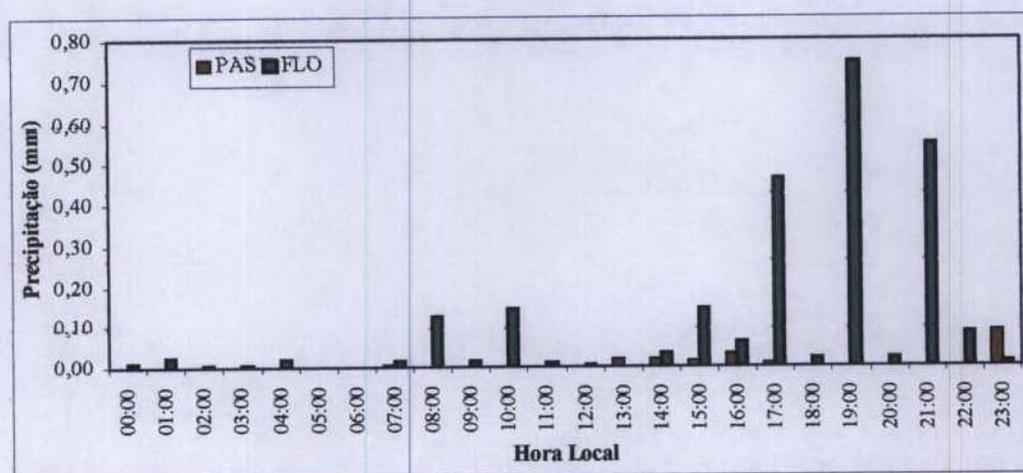


Figura 3 – Ciclo horário médio da precipitação pluviométrica na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002

#### 4.1.2 – Saldo de Radiação

Observou-se que os ciclos do saldo de radiação ( $R_n$ ) na floresta e na pastagem (Figura 4) são praticamente idênticos. Existe uma pequena diferença de  $25,98\text{W.m}^{-2}$  entre os máximos que tanto na floresta quanto na pastagem ocorreram às 11:00h ( $541,28\text{W.m}^{-2}$  na pastagem e  $567,26\text{W.m}^{-2}$  na floresta). A maior diferença entre eles foi de  $106,39\text{W.m}^{-2}$  às 14:00h. Em média o  $R_n$  da pastagem foi inferior ao da floresta tendo ocorrido o mesmo na estação chuvosa (Leite, 2002). Isto se deve ao fato que, nessas duas estações (chuvosa e de transição), a nebulosidade é maior que na estação seca, pois durante o período seco a floresta continua a utilizar uma maior quantidade de energia para evaporar (calor latente) e uma menor pra aquecer o ar (calor sensível), enquanto na pastagem, a transferência de energia para a atmosfera ocorre em magnitudes similares entre os fluxos (Galvão & Fisch, 2000). A média geral na floresta foi de  $181,00\text{W.m}^{-2}$  ( $\pm 234,23$ ) e na pastagem de  $160,59\text{W.m}^{-2}$  ( $\pm 221,88$ ). Durante a madrugada, tanto na floresta quanto na pastagem o  $R_n$  é negativo e praticamente não há diferença entre as duas curvas.

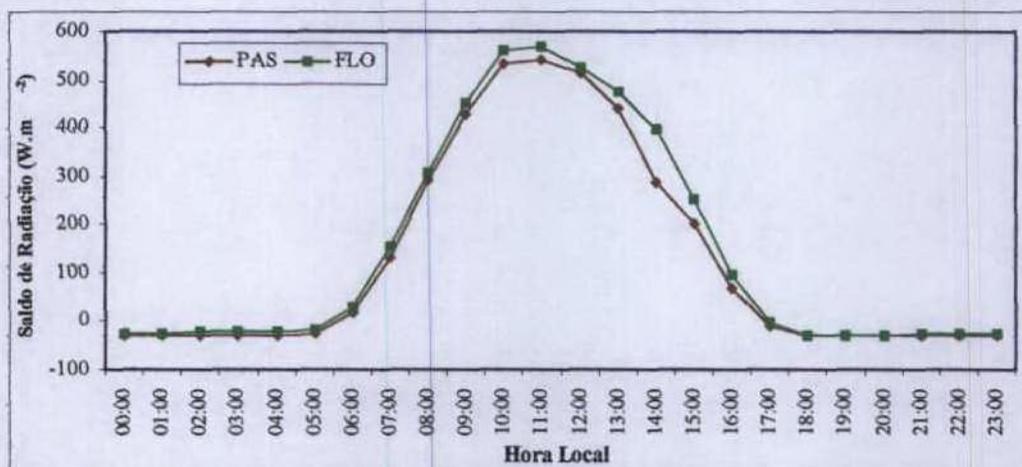


Figura 4 – Ciclo horário médio do saldo de radiação na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002

#### 4.1.3 – Temperatura do Ar

Notamos em primeiro lugar que o ar na floresta é mais quente do que na pastagem, conforme Figura 5. Isto ocorre porque, dentro da floresta a troca de calor é mais difícil por ela ser mais fechada, o que significa dizer que na pastagem a troca de calor é mais momentânea, pois segue o ciclo da radiação solar. O mesmo ocorreu durante a estação chuvosa onde a

temperatura da pastagem foi  $0,5^{\circ}\text{C}$  inferior a da floresta (Leite, 2002). O máximo na floresta foi de  $33,17^{\circ}\text{C}$  e ocorreu às 14:00h e na pastagem foi de  $32,70^{\circ}\text{C}$  às 11:00h. O mínimo na floresta foi de  $25,72^{\circ}\text{C}$  às 05:00h enquanto na pastagem foi de  $22,24^{\circ}\text{C}$  no mesmo horário. A maior diferença foi de  $4,45^{\circ}\text{C}$  às 18:00h e a média geral na floresta foi de  $29,41^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2,90$ ) e na pastagem foi de  $26,50^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3,88$ ).

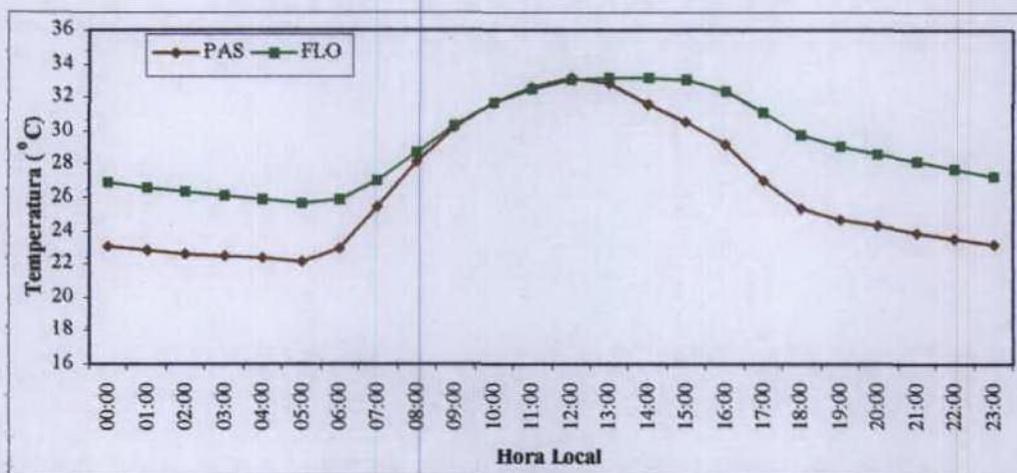


Figura 5 – Ciclo horário médio da temperatura do ar na floresta e na pastagem no período de 10 a 31 de outubro de 2002.

#### 4.1.4 – Umidade Relativa do Ar

O ciclo horário médio da Umidade Relativa está representado na Figura 6. Como no caso da temperatura, também há uma defasagem de três horas só que entre os mínimos uma vez que a umidade se comporta de maneira inversa a temperatura. A diferença não é importante entre os sítios sendo mais pronunciada no período matinal. Na floresta, o máximo foi de 98,13% às 06:00h e o mínimo (60,94%) ocorreu às 15:00h. Na pastagem, o máximo foi de 95,23% ocorrendo às 05:00h e o mínimo (55,08%) às 12:00h. A média geral na pastagem foi de 77,81% ( $\pm 15,60$ ) e na floresta foi de 80,06% ( $\pm 14,43$ ). A maior diferença entre os sítios foi de 11,99% às 09:00h. O fato de a umidade ser maior na pastagem também ocorreu na estação chuvosa (Leite, 2002). Isso pode ter sido causado por um transporte de umidade no sentido floresta / pastagem.

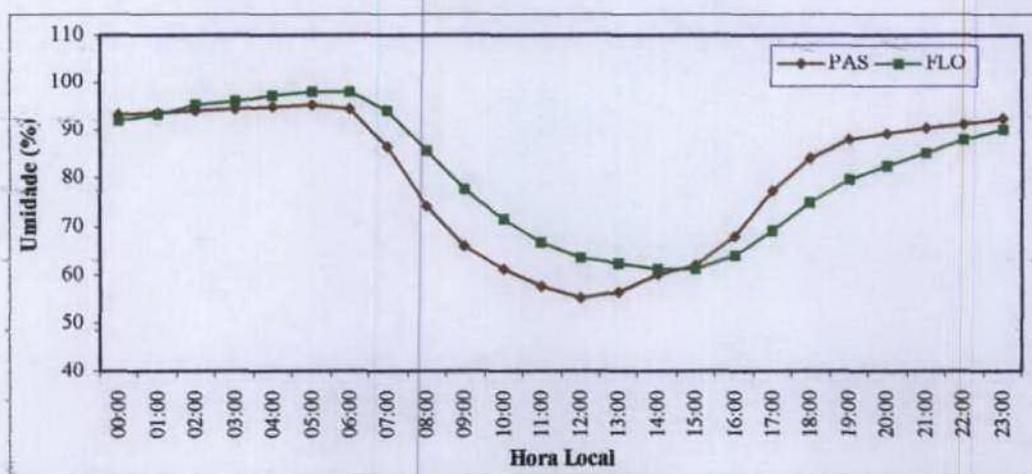


Figura 6 – Ciclo horário médio da umidade relativa do ar na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002.

#### 4.1.5 – Velocidade do Vento

Durante quase todo o dia o vento foi mais forte na floresta, exceto no período das 7:00h às 10:00h conforme Figura 7. O máximo na floresta foi de  $2,49\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  às 14:00h e na pastagem foi de  $2,47\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  às 13:00h. O mínimo na floresta foi de  $0,84\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  às 07:00h e  $0,33\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  na pastagem às 05:00h. A média geral na floresta foi de  $1,66\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\pm 0,56$ ) e na pastagem foi de  $1,26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\pm 0,71$ ). A maior diferença entre eles foi de  $0,97\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  às 18:00h e a menor ( $0,02\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) às 14:00h.

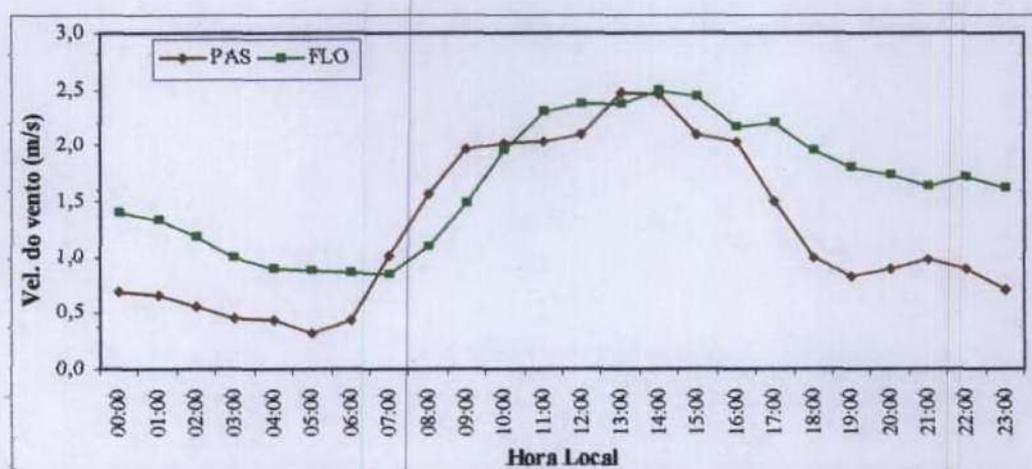


Figura 7 – Ciclo horário médio da velocidade do vento na floresta e na pastagem no período de 01 a 31 de outubro de 2002

#### 4.1.6 - Valores Médios Diários e por Período

As médias e respectivos desvios padrões para a temperatura, umidade relativa e saldo de radiação foram agrupados em tabelas no Apêndice A, o que possibilitou obter as médias para todo o período do experimento.

Visando verificar se os sete dias escolhidos para a comparação entre floresta e pastagem são representativos, serão comparados a seguir os valores obtidos em cada um deles com as médias globais. Isto permite também identificar os dias mais peculiares entre eles (mais quente, mais úmido, etc).

A Tabela 1 mostra que a temperatura do ar foi maior na floresta para o período experimental. Nota-se que na pastagem os valores médios nos dias analisados (Tabela 2) são similares e que não ocorreu nenhuma diferença significativa com relação a todo o período. Já na floresta a média geral é  $1,5^{\circ}\text{C}$  superior à dos 7 dias. Tanto na floresta como na pastagem a razão entre o desvio padrão e a média é praticamente igual nos dois períodos. Pode-se observar também que, na pastagem, o dia 18/09 foi o mais quente ( $27,39^{\circ}\text{C} \pm 5,73$ ) e o dia 29/09 o mais frio ( $24,42^{\circ}\text{C} \pm 4,08$ ). Na floresta o dia mais quente ( $28,81^{\circ}\text{C} \pm 4,02$ ) foi 17/10 e o mais frio ( $26,62^{\circ}\text{C} \pm 2,75$ ) foi, assim como na pastagem, o dia 29/09.

Tabela 1 – Valores médios da temperatura (T) ( $^{\circ}\text{C}$ ) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (Pás) para todo o período

Período	Pas		Flo		Pas	Flo
	$T_{med}$	$\sigma_T$	$T_{med}$	$\sigma_T$		
Total					$\sigma/T_{med}$	$\sigma/T_{med}$
Média	26,50	4,17	29,17	3,02	0,16	0,10

Tabela 2 – Valores médios diários da temperatura (T) ( $^{\circ}\text{C}$ ) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (Pas) para o período em estudo

Dias	Pas		Flo		Pas	Flo
	$T_{med}$	$\sigma_T$	$T_{med}$	$\sigma_T$		
Analísados					$\sigma/T_{med}$	$\sigma/T_{med}$
18/set	27,39	5,73	26,72	2,87	0,21	0,11
24/set	26,48	4,32	27,39	2,55	0,16	0,09
27/set	26,14	4,15	27,14	3,35	0,16	0,12
29/set	24,42	4,08	26,62	2,75	0,17	0,10
15/out	26,45	4,17	28,25	2,55	0,16	0,09
16/out	26,40	4,71	28,50	2,78	0,18	0,10
17/out	25,40	4,50	28,81	4,02	0,17	0,14
Média	26,10	4,52	27,63	2,98	0,17	0,11
$\sigma$	0,94		0,88			

No caso da umidade relativa do ar, a concordância entre os dois períodos é ainda maior. As médias para todo o período (Tabela 3) foram superiores às dos 7 dias (Tabela 4), tanto na floresta como na pastagem. Nota-se que a floresta esteve sempre um pouco mais úmida que a pastagem, o que já era esperado, pois a floresta libera muito mais vapor para a atmosfera do que a pastagem. As médias possuem valores muito próximos e, assim como na temperatura, não ocorreu nenhuma diferença significativa entre os valores do conjunto e do período analisado nos dois sítios. O dia mais úmido na pastagem ( $82,04\% \pm 13,43$ ) foi 16/10 e na floresta ( $87,75\% \pm 14,82$ ) dia 17/10. Tanto na floresta quanto na pastagem o dia mais seco foi 15/10 com  $75,08\% (\pm 17,39)$  e  $73,89\% (\pm 18,74)$ . Os desvios são um pouco maiores na pastagem: 22% contra 20% da média no conjunto e 24% contra 20% nos 7 dias.

Tabela 3 – Valores médios da umidade relativa (UR) (%) e respectivos desvios padrão ( $\sigma_T$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (Pas) para todo o período

Período	Pas		Flo		Pas	Flo
	$UR_{med}$	$\sigma_{UR}$	$UR_{med}$	$\sigma_{UR}$		
Total					$\sigma/UR_{medio}$	$\sigma/UR_{med}$
Média	79,04	17,07	80,41	15,59	0,22	0,20

Tabela 4 – Valores médios diários da umidade relativa (UR) (%) e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) na floresta (Flo) e na pastagem (pás) para o período em estudo

Dias	Pas		Flo		Pas	Flo
	UR <sub>med</sub>	$\sigma_{UR}$	UR <sub>med</sub>	$\sigma_{UR}$		
18/set	74,96	24,43	80,79	16,45	0,33	0,20
24/set	74,82	17,18	75,62	12,90	0,23	0,17
27/set	77,74	18,39	76,87	17,30	0,24	0,23
29/set	79,61	20,03	85,18	17,24	0,25	0,20
15/out	73,89	18,74	75,08	17,39	0,25	0,23
16/out	82,04	13,43	76,49	15,67	0,16	0,20
17/out	79,99	15,10	87,75	14,82	0,19	0,17
Média	77,58	18,19	79,68	15,97	0,24	0,20
$\sigma$	3,11		5,04			

O saldo de radiação, assim como a temperatura e a umidade, não apresentou diferenças significativas entre os valores médios de todo o conjunto de dados (Tabela 5) e o período analisados (Tabela 6). Observa-se que, de maneira geral, nos dois grupos de dados, o saldo de radiação na pastagem foi inferior ao da floresta. A média geral na pastagem para todo o conjunto foi de  $133,78 \text{ W.m}^{-2}$  ( $\pm 230,58$ ) e no período analisado  $137,96 \text{ W.m}^{-2}$  ( $\pm 235,28$ ). Na floresta a média do conjunto foi de  $147,47 \text{ W.m}^{-2}$  ( $\pm 239,84$ ) e do período analisado foi  $139,60 \text{ W.m}^{-2}$  ( $\pm 230,65$ ). O dia mais nublado na pastagem ( $105,01 \text{ W.m}^{-2} \pm 213,76$ ) foi 27/09 e o menos nublado ( $182,93 \text{ W.m}^{-2} \pm 281,43$ ) foi 15/10. Na floresta o dia mais nublado ( $55,26 \text{ W.m}^{-2} \pm 118,70$ ) foi 18/09 e o dia 17/10 o menos nublado ( $170,17 \text{ W.m}^{-2} \pm 272,99$ ).

Tabela 5 – Valores médios do saldo de radiação (Rn) ( $\text{W.m}^{-2}$ ) e respectivos desvios padrões na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para todo o conjunto de dados

Período	Pas		Flo		Pas	Flo
	Rn <sub>med</sub>	$\sigma_{Rn}$	Rn <sub>med</sub>	$\sigma_{Rn}$		
Total					$\sigma/\text{Rn}_{med}$	$\sigma/\text{Rn}_{med}$
Média	133,78	230,58	147,47	239,84	1,77	1,66

Tabela 6 – Valores médios diários do saldo de radiação ( $R_n$ ) ( $W.m^{-2}$ ) e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para o período em estudo

Dias Analisados	Pas		Flo		Pas	Flo
	$R_{n_{med}}$	$\sigma_{R_n}$	$R_{n_{med}}$	$\sigma_{R_n}$	$\sigma/R_{n_{med}}$	$\sigma/R_{n_{medio}}$
18/set	129,30	209,00	55,26	118,70	1,62	2,15
24/set	122,68	206,45	122,89	191,35	1,68	1,56
27/set	105,01	213,76	139,72	236,90	2,04	1,70
29/set	148,67	252,42	165,15	245,12	1,70	1,48
15/out	182,93	281,43	167,68	276,49	1,54	1,65
16/out	114,91	229,70	156,36	272,96	2,00	1,75
17/out	162,23	254,21	170,17	272,99	1,57	1,60
Média	137,96	235,28	139,60	230,65	1,73	1,70
$\sigma$	27,84		40,93			

## 4.2 – Desenvolvimento da CLC

A seguir serão utilizados os resultados obtidos no período onde foram realizadas sondagens simultâneas nos dois sítios (18, 24, 27 e 29 de setembro e 15, 16 e 17 de outubro) e nos horários onde a altura pode ser determinada. Será feita uma análise do desenvolvimento da CLC nos dois sítios utilizando os perfis médios de  $\theta_v$  em cada horário e em seguida o desenvolvimento da CLS e CM, bem como os gradientes médios de  $q$  e  $\theta_v$ . Foi feito também uma análise do número de casos atípicos na determinação da altura da CLC que se encontra no Apêndice B.

### 4.2.1 - Altura Média da CLC

O desenvolvimento da CLC na floresta e pastagem durante o período analisado (Figura 8) foi praticamente idêntico nos dois sítios. Ambos tiveram crescimento quase linear das 08HL às 14HL diminuindo mais acentuadamente na floresta, enquanto na pastagem continua crescendo até às 17HL. Com relação a altura média da CLC, o desenvolvimento da camada na pastagem foi 33m superior ao da floresta, ou seja, uma diferença insignificante. Este comportamento é singular ou igual ao que já foi observado na estação chuvosa (Rocha, 2003).

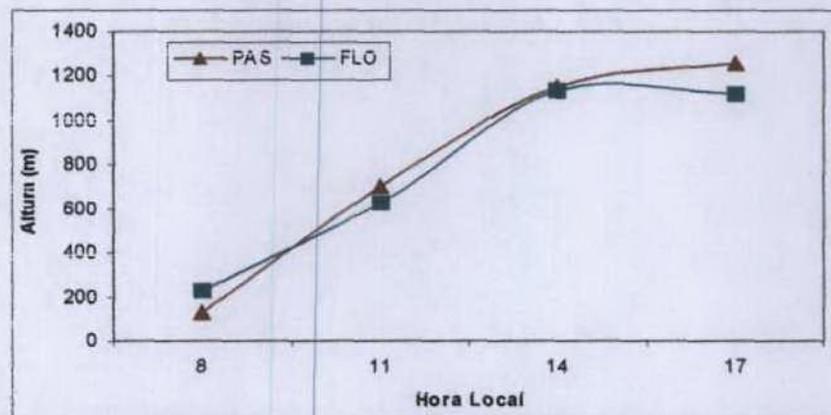


Figura. 8 – Médias horárias da altura da CLC na pastagem (Pás) e floresta (Flo) para os dias 18, 24, 27 e 29 de setembro e 15, 16 e 17 de outubro de 2002.

A taxa média de crescimento da CLC na pastagem foi maior entre 08HL e 11HL ( $191\text{m.h}^{-1}$ ) e na floresta entre 11HL e 14HL ( $170\text{m.h}^{-1}$ ), conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios da taxa de crescimento ( $\text{m.h}^{-1}$ ) da CLC na pastagem e floresta durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA-2002.

Intervalo	Pastagem	Floresta
08h-11h	191	134
11h-14h	148	170
14h-17h	36	-5

#### 4.2.2 - Temperatura Potencial Virtual ( $\theta_v$ )

Na Figura 9a está representado o comportamento de  $\theta_v$  média nos dois sítios durante o período analisado. Podemos observar que foi bastante semelhante com o desenvolvimento da CLC (Figura 8). A  $\theta_v$  média cresceu das 08HL às 14HL, em seguida ela continua crescendo na floresta e diminui na pastagem convergindo às 17HL. A média geral na floresta foi de  $305,30\text{K} (\pm 3,58)$  e na pastagem  $306,15\text{K} (\pm 2,91)$  na pastagem. Nos dois sítios a taxa de aquecimento média (Tabela 8) foi maior entre 11HL e 14HL ( $0,324\text{K.h}^{-1}$  na floresta e  $0,392\text{K.h}^{-1}$  na pastagem) e a menor entre 14HL e 17HL ( $0,040\text{K.h}^{-1}$  na floresta e  $0,003\text{K.h}^{-1}$  na pastagem).

Tabela 8 – Valores médios da taxa de aquecimento ( $\text{K.m}^{-1}$ ) da CLC na pastagem e floresta durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA-2002.

Intervalo	Pastagem	Floresta
08h-11h	0,190	0,306
11h-14h	0,392	0,324
14h-17h	0,003	0,040

Com relação ao gradiente de  $\theta_v$  no interior da CLC (Figura 9b) tanto na floresta quanto na pastagem ele foi ligeiramente instável (Estaticamente) durante todo o dia. Com exceção das 08HL o padrão de evolução nos dois sítios foi idêntico. O valor das 08HL na pastagem foge do padrão esperado uma vez que neste horário tem tendência de ocorrer um perfil mais próximo da neutralidade. A média geral na pastagem foi de  $-0,0015\text{K.m}^{-1}$  ( $\pm 0,0007$ ) e  $-0,0026\text{K.m}^{-1}$  ( $\pm 0,0026$ ) na floresta.

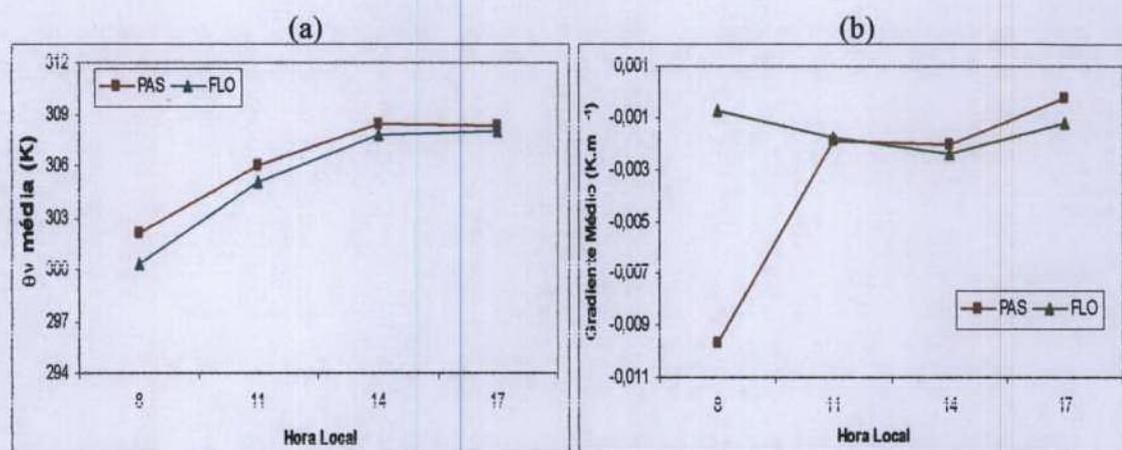


Figura 9 - Comparação da  $\theta_v$  média (a) e do gradiente médio de  $\theta_v$  (b) na floresta (Flo) e na pastagem (Pas) durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA - 2002.

#### 4.2.3 - Umidade Específica (q)

Na Figura 10a é mostrado o comportamento da umidade específica na floresta e pastagem durante o período estudado. Na floresta a umidade diminuiu das 08HL até 14HL mantendo-se quase constante até às 17HL. Já na pastagem ela aumentou das 08HL às 11HL diminuindo em seguida até às 14HL permanecendo constante até às 17HL, assim como na floresta. O aumento de umidade na pastagem, perto do meio dia, já foi verificada em estudos anteriores (Sousa, 1997; Rocha, 2003). Ele seria provavelmente resultado do transporte horizontal de umidade da floresta para a pastagem. A média geral (Tabela 9) na pastagem foi de  $14,51\text{g.kg}^{-1}$  ( $\pm 1,42$ ) e  $14,63\text{g.kg}^{-1}$  ( $\pm 1,13$ ) na floresta.

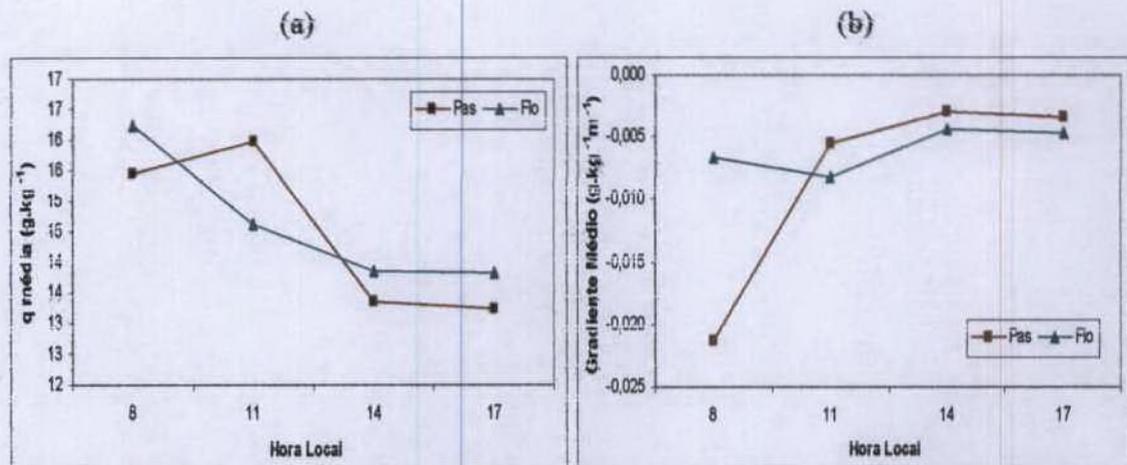


Figura 10- Comparação de  $q$  média (a) e do gradiente médio de  $q$  (b) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) durante o experimento DRY TO WET AMC/LBA - 2002.

Com relação ao gradiente médio de umidade ( $dq/dz$ ) (Figura 10b), o mesmo teve um comportamento inverso a da temperatura. A media geral (Tabela 3) na floresta foi de  $-0,008\text{g.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$  ( $\pm 0,009$ ) e  $-0,006\text{g.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$  ( $\pm 0,002$ ) na pastagem. Inclusive, o valor das 08HL na pastagem, como no caso da  $\theta_v$ , também é atípico.

Tabela 9 - Valores médios de  $q$  ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) e de  $dq/dz$  ( $\text{g.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$ ) na pastagem e na floresta (DRY TO WET AMC/LBA - 2002)

Sítios	$q$ med	$\sigma$	$dq/dz$ med	$\sigma$
Pastagem	14,51	1,42	-0,008	0,009
Floresta	14,63	1,13	-0,006	0,002

#### 4.2.4 – Perfis Médios (Análise por horário)

A seguir será feita uma comparação dos perfis médios de  $\theta_v$  nos dois sítios para cada horário da CLC (08, 11, 14 e 17HL). A análise dia a dia encontra-se no Apêndice C.

Podemos observar na Figura 11 que no início do dia, quando o sol está começando a aquecer a superfície, ainda não houve a quebra da inversão noturna. Este fato foi constatado por **Fisch (1996)** segundo o qual a quebra de inversão ocorre a partir das 9:00h. Por esse motivo a CLC está começando a se formar e ainda não dá para identifica-la. Nos primeiros 750m há uma diferença média igual a 1,30K a favor da pastagem com relação a floresta. A partir dessa altura os perfis são praticamente iguais. A média geral na pastagem é de 309,32K ( $\pm 3,67$ ) e na floresta é de 308,89K ( $\pm 4,06$ ) apresentando entre os dois sítios uma diferença média de 0,41K. O gradiente médio na pastagem é de 0,0038K.m<sup>-1</sup> ( $\pm 0,005$ ) enquanto na floresta foi igual a 0,0042K.m<sup>-1</sup> ( $\pm 0,004$ ).

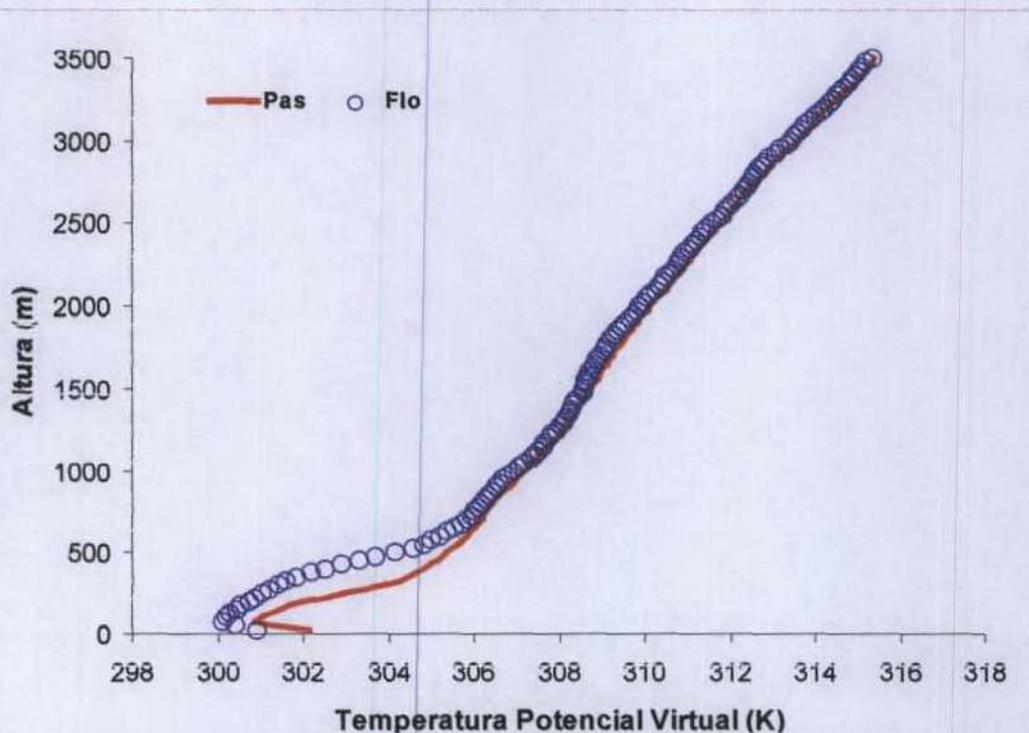


Figura 11 – Perfil vertical médio da Temperatura Potencial Virtual (K) na floresta (Flo) e pastagem (Pás) as 08HL.

Observa-se que as 11HL a CLC na pastagem está bem nítida e sua altura atingiu 705m, enquanto na floresta não é bem definida, ou seja, a camada de mistura não está bem formada e a identificação do seu topo (475m) não é evidente (Figura 12). Acima da CLC não existem diferenças significativas, mas em duas ocasiões (100 a 1600m e 2500 a 3300m) a pastagem apresenta temperatura ligeiramente superior. A diferença média entre a floresta e a pastagem foi de 0,43K (máxima de 0,33K a 2125m de altura). Com relação aos perfis anteriores a camada aqueceu e a temperatura ( $\theta_v$ ) na pastagem ( $310,00\text{K} \pm 3,03$ ) foi, em média, um pouco maior que na floresta ( $309,57\text{K} \pm 3,26$ ). O gradiente médio de  $\theta_v$  nos dois sítios foi praticamente o mesmo ( $0,0024\text{K}\cdot\text{m}^{-1} (\pm 0,004)$  na pastagem e  $0,0027\text{K}\cdot\text{m}^{-1} (\pm 0,004)$  na floresta).

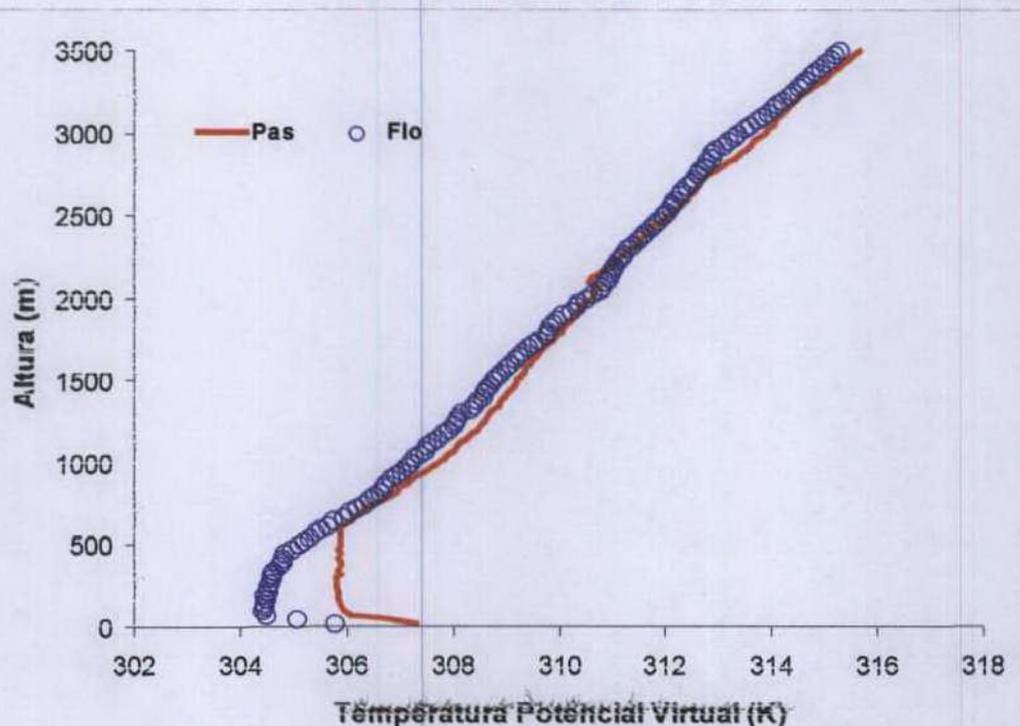


Figura 12 – Perfil vertical médio da Temperatura Potencial Virtual (K) na floresta (FLO) e pastagem (Pas) as 11HL.

Nota-se na Figura 13 que nesse horário a CLC nos dois sítios está bem definida e o seu desenvolvimento na floresta foi maior que na pastagem (1050m e 950m respectivamente). Ao contrario dos horários anteriores é possível identificar a zona de entranhamento em ambos os sítios. A temperatura ( $\theta_v$ ) média foi sempre maior na pastagem ( $310,95K \pm 2,38$ ) do que na floresta ( $310,33K \pm 2,41$ ). A diferença média entre os dois sítios foi de  $-0,62K$  sendo máxima ( $0,31K$ ) a 25m. O gradiente médio de  $\theta_v$  na floresta foi de  $0,0014K.m^{-1}$  ( $\pm 0,006$ ) e na pastagem foi igual a  $0,0016K.m^{-1}$  ( $\pm 0,005$ ).

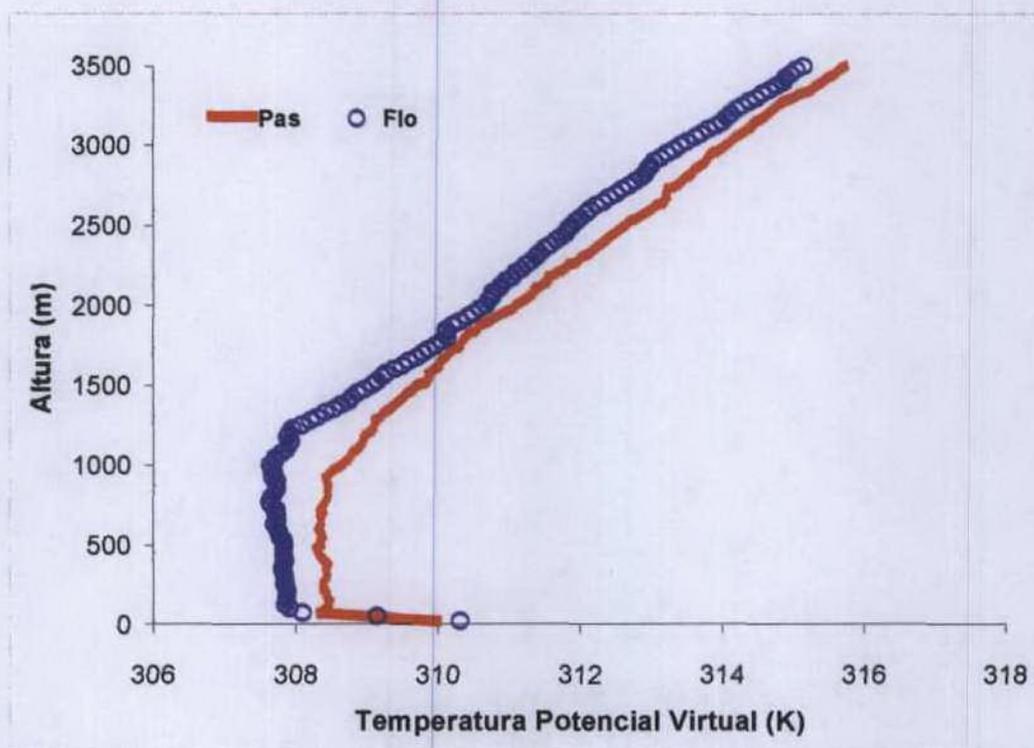


Figura 13 – Perfil vertical médio da Temperatura Potencial Virtual (K) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) às 14HL.

Observa-se na Figura 14 que, com relação ao horário anterior, houve um pequeno resfriamento e que a  $\theta_v$  foi maior na pastagem (em média 0,45K). Percebe-se também o início da formação da camada noturna em ambos os sítios. Isto também ocorreu nas estações secas de 1994 (Fisch et al., 1996 e Lyra et al., 2003) e chuvosa de 1999 (Rocha, 2003). A diferença média entre os sítios é de  $-0,35\text{K}$  (máximo de  $0,24\text{K}$  a  $125\text{m}$ ). A  $\theta_v$  média na pastagem foi de  $310,66\text{K}$  ( $\pm 2,55$ ) e na floresta foi igual a  $310,31\text{K}$  ( $\pm 2,32$ ). O gradiente médio de  $\theta_v$  na pastagem é de  $0,0022\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$  ( $\pm 0,005$ ) e na floresta é de  $0,0019\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$  ( $\pm 0,006$ ).

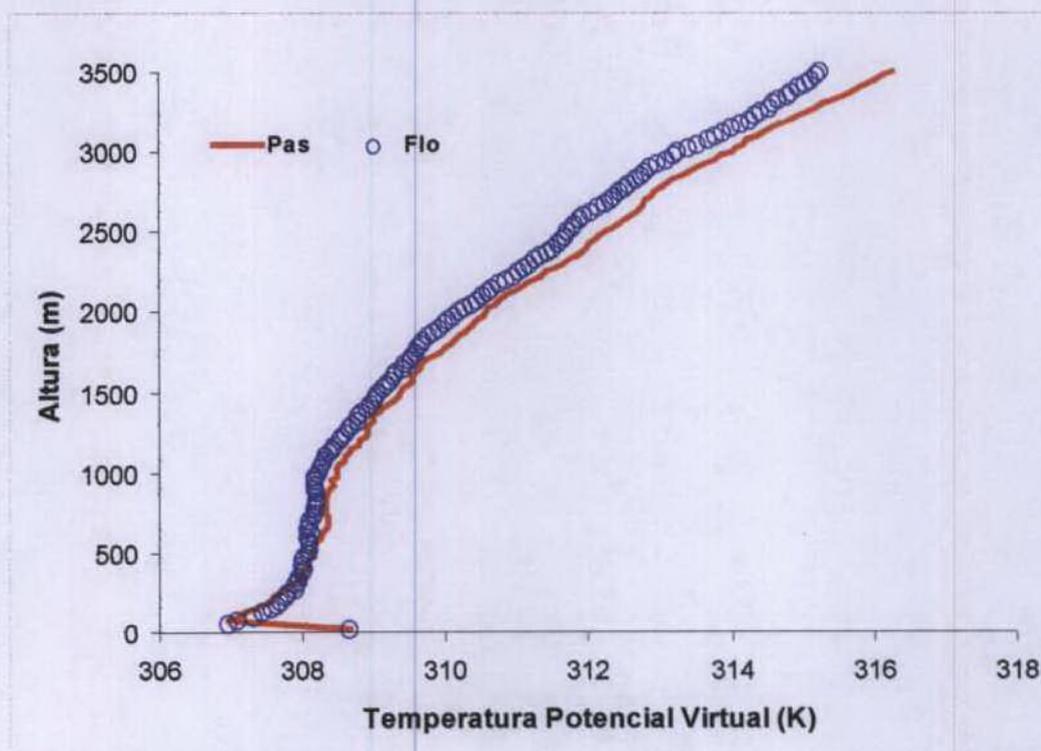


Figura 14 – Perfil vertical médio da Temperatura Potencial Virtual (K) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) às 17HL

A maior particularidade constatada na análise dos perfis foi o aparecimento da camada estável no final da tarde. Quando analisamos separadamente o conjunto de perfis para cada dia (Apêndice D), constatamos que este fenômeno não ocorre todos os dias. Já no caso da estabilidade pela manhã (08HL) a frequência é de 100%, conforme verifica-se na Tabela 10, onde às 17HL somente 3 casos foram observados na floresta (43%) e 4 na pastagem (57%).

Tabela 10 – Numero de casos onde foram observados a ocorrência de camada estável às 08HL e às 17HL na floresta e pastagem para os 7 dias analisados.

Sítios	Hora Local	Nº de casos Observados	Nº total de sondagens
Floresta	8	7	7
	17	3	7
Pastagem	8	7	7
	17	4	7

Para ter certeza que isto não foi uma particularidade dos dias escolhidos para comparação foi realizado um levantamento da ocorrência deste fenômeno em todos os perfis disponíveis (Tabela 11). Verificou-se que às 08HL, 100% dos 20 perfis disponíveis apresentaram a camada estável. Na pastagem isto ocorreu em 44 dos 46 perfis disponíveis (96%). No caso das 17HL foram constatados a existência da inversão em tela em 52% dos casos na floresta e em 31% dos casos na pastagem. Estes percentuais mostram que realmente o que foi observado é um fenômeno típico de estação.

Tabela 11 – Numero de casos onde foram observados a ocorrência de camada estável às 08HL e as 17HL na floresta e na pastagem para todos os perfis disponíveis.

Sítio	Hora Local	Nº de casos observados	Nº total de sondagens
Floresta	8	20	20
	17	12	23
Pastagem	8	44	46
	17	8	26

O perfil médio da estação chuvosa não mostrou este fenômeno (Rocha, 2003), no entanto, verificando cada dia separadamente constatamos o aparecimento da camada estável as 17HL em varias ocasiões conforme pode se verificar no exemplo da Figura 15.

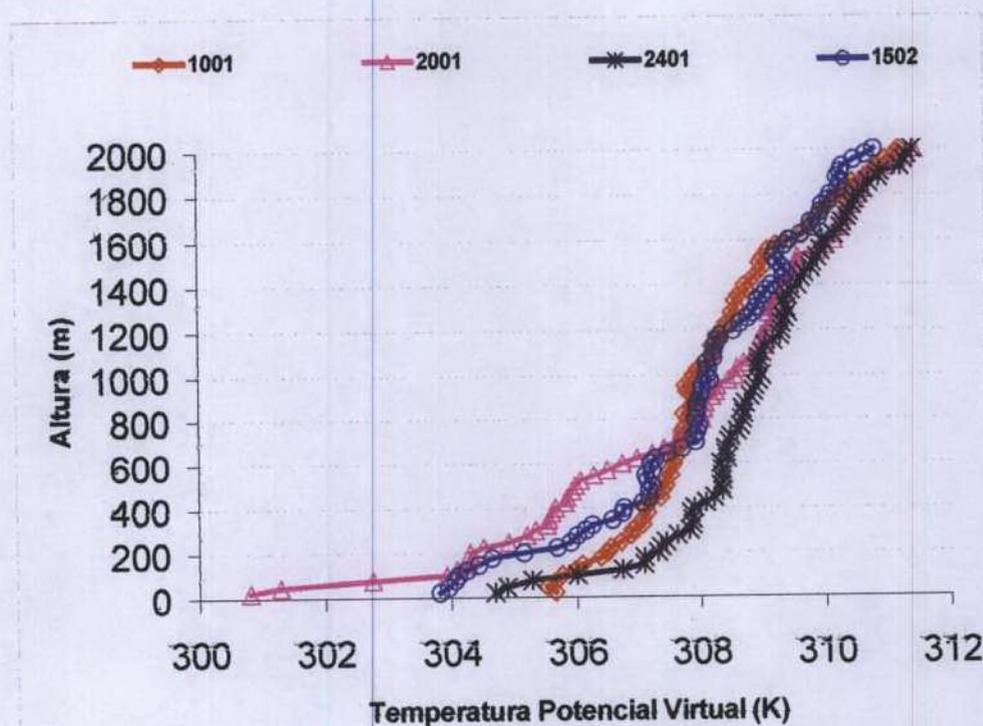


Figura 15 – Exemplo de surgimento da camada estável (CE) às 17h na pastagem durante a estação chuvosa de 1999.

A mesma coisa acontece quando investigamos os perfis da estação seca (Sousa, 1997). Nele os eventos são mais escassos e, quando ocorre, a camada é bem menos espessa (Figura 16).

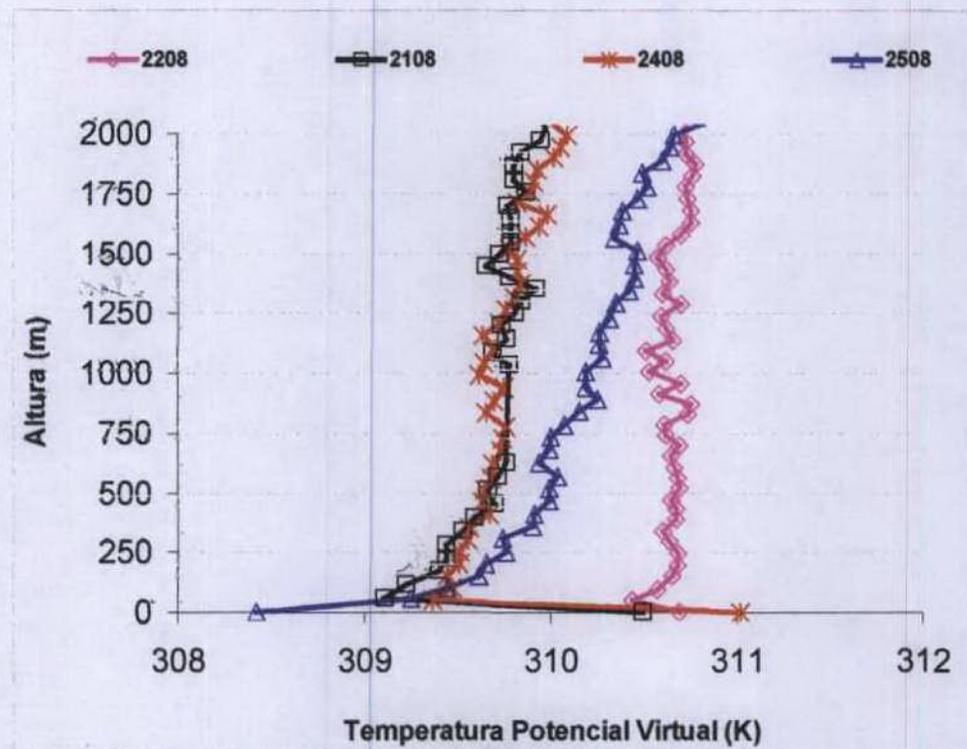


Figura 16 – Exemplo de surgimento da camada estável (CE) às 17h na pastagem durante a estação seca de 1994.

Finalmente, podemos deduzir que o surgimento da CLN no final da tarde ocorre normalmente na região e possivelmente estaria relacionado a maior quantidade de nebulosidade (tardes mais nubladas). Por conta disso, é mais comum ocorrer nas estações chuvosa e de transição.

#### 4.2.5 – Valores Deduzidos dos Perfis Médios

A partir dos perfis médios em cada sítio, foi possível identificar as duas sub-camadas que formam a CLC (CLS e CM). Foi possível também identificar a zona de entranhamento às 11HL e as 14HL. Com isso podemos acompanhar a evolução média destas camadas nos 7 dias analisados. É importante frisar que em muitas ocasiões não foi possível identificar essas sub-camadas nos perfis individuais.

##### 4.2.5.1 – Desenvolvimento da CLS

A Figura 17a mostra o desenvolvimento da CLS na floresta e pastagem. Observa-se que das 08HL às 11HL, a CLS foi idêntica tendo uma taxa média de crescimento  $8\text{m.h}^{-1}$  nos dois sítios. Das 11HL às 14HL, na floresta, ela continuou crescendo ( $8,3\text{m.h}^{-1}$ ), enquanto na pastagem ela permanece constante. A partir das 14HL a CLS diminui nos dois sítios, sendo essa diminuição bem mais acentuada na floresta ( $-25\text{m.h}^{-1}$  contra  $-8,3\text{m.h}^{-1}$  na pastagem). A evolução de  $\theta_v$  média (Figura 17b) também foi idêntica nos dois sítios: cresceu das 08HL às 14HL e diminuiu das 14HL às 17HL. A média geral na pastagem é de  $306,15\text{K} (\pm 3,31)$  e na floresta foi  $305,47\text{K} (\pm 3,69)$ . O gradiente de  $\theta_v$  dentro da CLS (Figura 17c), nos dois sítios, foi ligeiramente instável (estaticamente), desde às 08HL até às 17HL. Durante todo o dia, o valor do gradiente na floresta decresceu, sendo que das 14HL às 17HL houve uma diminuição mais acentuada ( $-0,0428\text{K.m}^{-1}$ ). Na pastagem o gradiente foi sempre maior que na floresta exceto às 08HL. A média geral na pastagem foi de  $-0,0246\text{K.m}^{-1} (\pm 0,0070)$  e na floresta  $-0,0315\text{K.m}^{-1} (\pm 0,0242)$ .

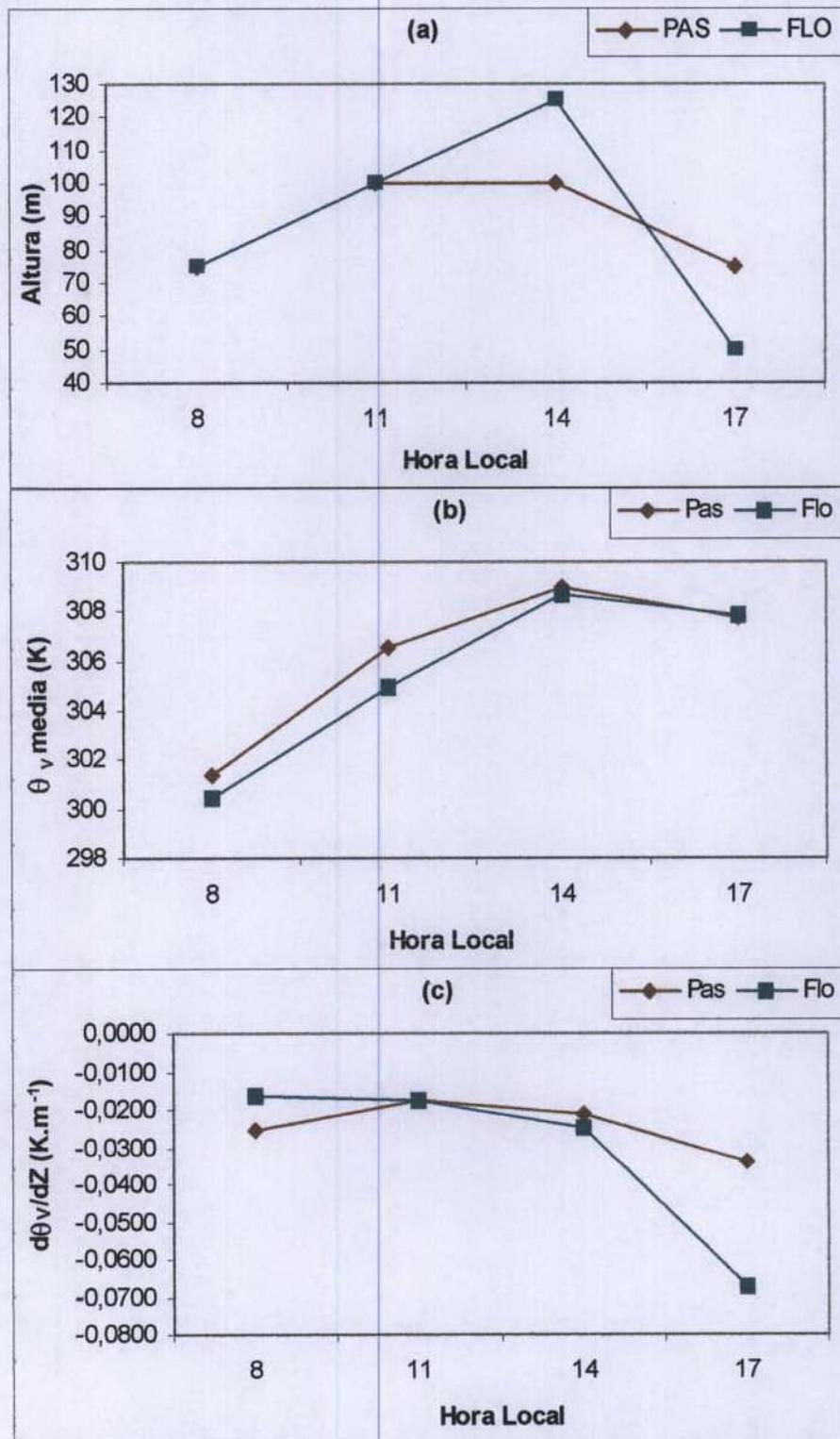


Figura 17 – Altura média (a),  $\theta_v$  médio (b) e gradiente médio de  $\theta_v$  (c) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para a CLS.

#### 4.2.5.2 – Desenvolvimento da CM

Os padrões de crescimento nos dois sítios são semelhantes, mas com uma ligeira diferença no período entre 08HL e 11HL, onde a CM é mais espessa na pastagem (Figura 18a). Na floresta, a CM variou entre 325m e 975m com média de 688m. A maior taxa de crescimento foi de  $8,3\text{m.h}^{-1}$  entre 08HL e 14HL. A variação na pastagem foi de 175m a 975m com média igual a da floresta (688m). A maior taxa de crescimento foi de  $8,3\text{m.h}^{-1}$  entre 08HL e 11HL. Com relação à  $\theta_v$  média (Figura 18b) observa-se um comportamento idêntico nos dois sítios, sendo na pastagem um pouco maior. A média geral na pastagem foi de  $305,96\text{K} (\pm 3,35)$  e na floresta de  $305,31\text{K} (\pm 3,43)$ . O gradiente médio de  $\theta_v$  (Figura 18c) tanto na floresta quanto na pastagem, são positivos sendo maior na floresta. Nas horas mais quentes, eles chegam a assumir valores negativos (11HL na pastagem e 14HL na floresta), mas o fato deles serem positivos às 17HL pode estar relacionado ao aparecimento precoce da camada estável (CLN). A média geral na pastagem foi de  $0,0011\text{K.m}^{-1} (\pm 0,0018)$  e na floresta  $0,0013\text{K.m}^{-1} (\pm 0,0021)$ .

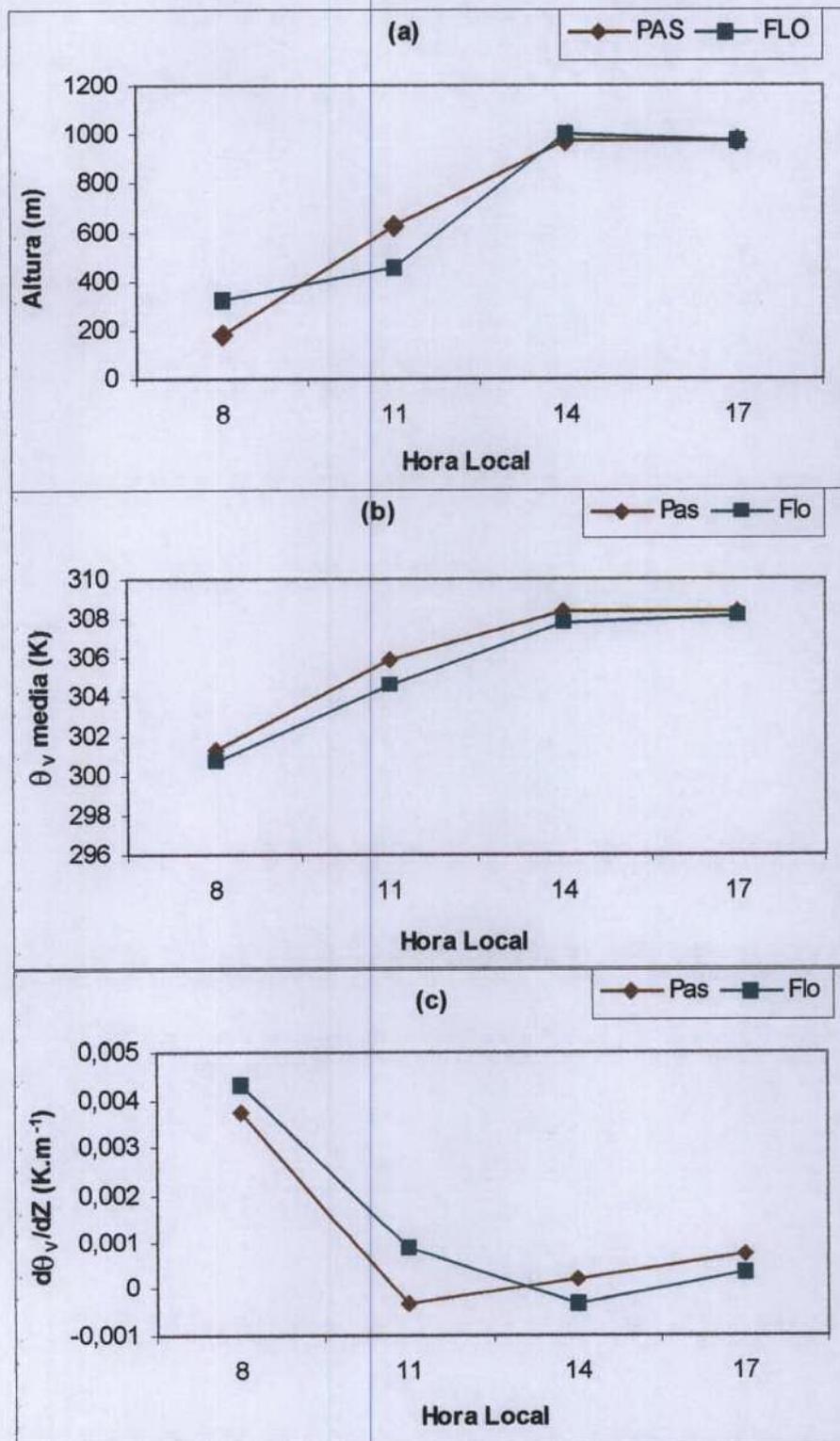


Figura 18 - Altura média (a),  $\theta_v$  médio (b) e gradiente médio de  $\theta_v$  (c) na floresta (Flo) e pastagem (Pas) para a CM.

#### 4.2.6 – Comparação com Resultados Anteriores

Visando averiguar a existência de padrões diferentes no comportamento da CLC em função das estações do ano, será feita a seguir uma comparação entre os nossos resultados (transição seca/chuvosa) com as estações seca de 1994 (Sousa, 1997) e chuvosa de 1999 (Rocha, 2003). A comparação será feita separadamente para cada sítio.

Na floresta, a evolução temporal da altura da CLC foi maior na estação de transição (Figura 19a). No entanto, tanto o padrão de crescimento como a altura em si estão mais próximos dos observados na estação chuvosa. A diferença mais marcante é verificada no intervalo entre 08HL e 11HL onde o crescimento na estação seca é menor. A média geral na estação de transição foi de 858m, enquanto que nas estações seca e chuvosa foi 657m e 747m respectivamente. No caso da pastagem (Figura 19b), como na floresta, os padrões das estações chuvosa e de transição são bastante parecidos, ao passo que o da estação seca se destaca bastante no período vespertino com a CLC atingindo uma altura da ordem de duas vezes a das demais no final da tarde. O valor médio para a estação chuvosa é 750m enquanto para a estação de transição é de 888m, já para a estação seca a média foi de 1091m.

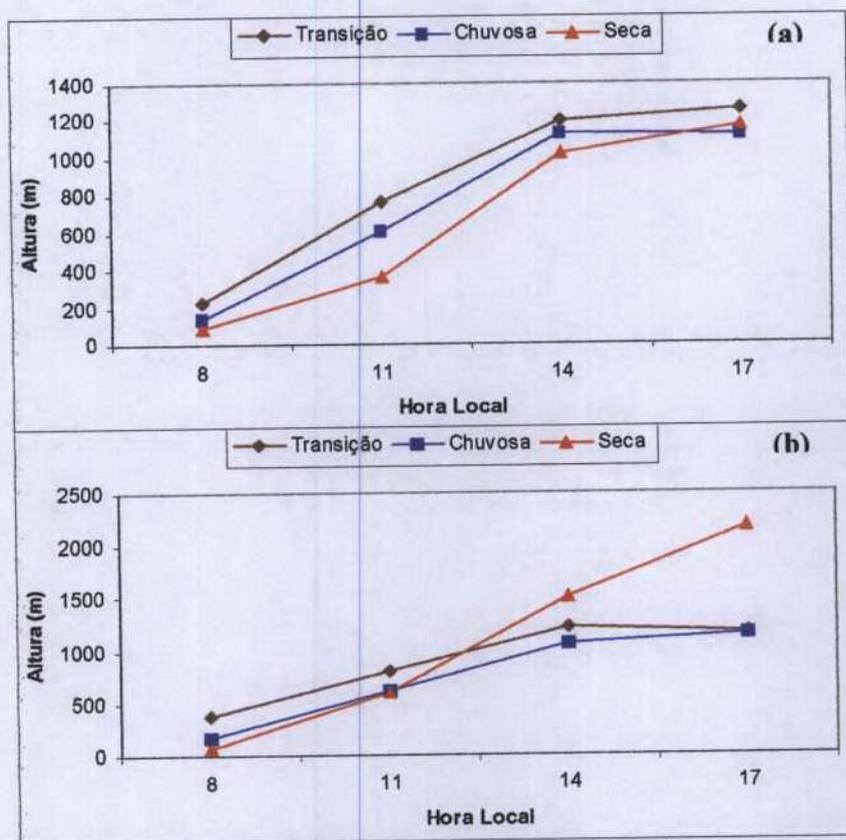


Figura 19 – Comparação das alturas médias da CLC na floresta (a) e pastagem (b) durante as estações de transição seca/chuvosa, seca (Sousa, 1997) e chuvosa (Rocha, 2003).

É importante ressaltar que na floresta, durante a estação seca, a CLC cresce menos pela manhã, mas na pastagem ocorre o inverso. Isto fica ainda mais nítido quando comparamos as taxas de crescimento. Na floresta (Figura 20a), as taxas são maiores na estação seca, com exceção do intervalo entre 08HL e 11HL. Nas estações chuvosa e de transição os padrões são bem mais próximos. A média geral na estação de transição foi de  $114\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$  enquanto nas estações seca e chuvosa a média foi de  $120\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$  e  $109\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$  respectivamente. Na pastagem (Figura 20b) a diferença é ainda mais nítida, tendo a estação seca apresentado taxas sempre superiores as demais. A média na estação seca foi de  $233\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ , na chuvosa foi de  $108\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$  e na de transição foi de  $88\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ . É interessante notar que, apesar das diferenças em termos numéricos, os padrões são idênticos nas três estações (crescimento até às 14HL e diminuição das 14HL às 17HL). As taxas de aquecimento, também mostram a maior semelhança entre as estações chuvosa e transição. No entanto, esta semelhança se limita no padrão de evolução.

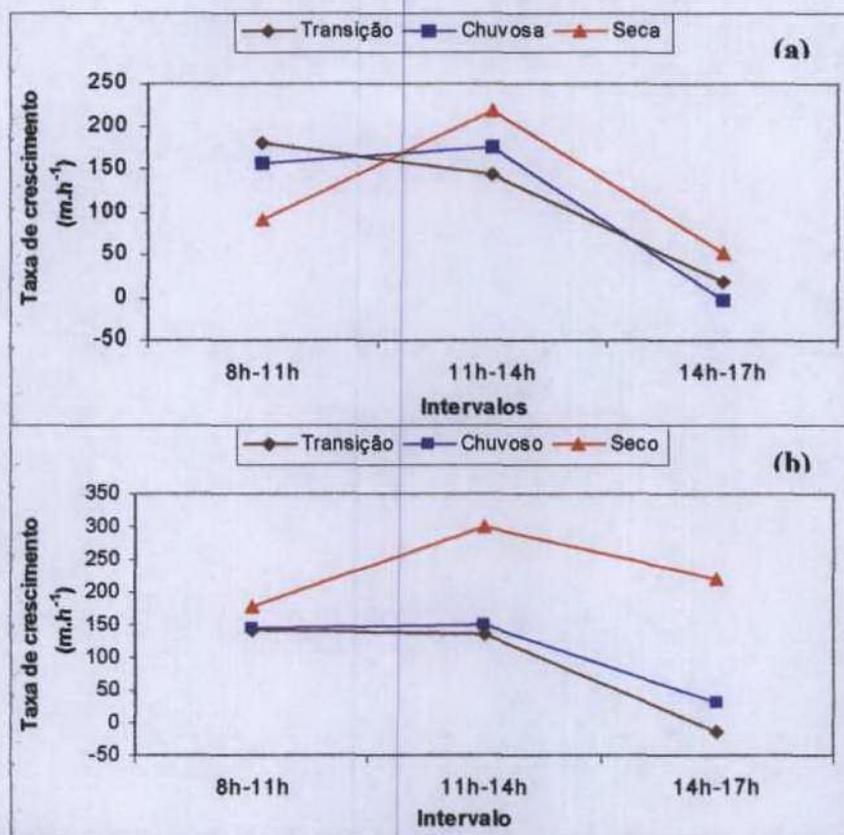


Figura 20 – Comparação das taxas de crescimento da CLC na floresta (a) e pastagem (b) durante a estação de transição seca/chuvosa, estação seca e estação chuvosa.

Na floresta (Figura 21a) as curvas das estações chuvosa e de transição são paralelas entre 08HL e 14HL convergindo para o mesmo valor às 17HL. Na estação seca, o aquecimento é bem maior entre 08HL e 11HL e nos intervalos seguintes os valores são idênticos aos da estação chuvosa. Este é um fato curioso, pois o esperado seria a maior proximidade entre os padrões das estações chuvosa e de transição. Isso nos levaria a suspeitar dos resultados se não fosse pelo fato de ter ocorrido o mesmo na pastagem (Figura 21b), mas na realidade ocorre é o seguinte: as taxas na estação seca diminuem quase que linearmente ao longo do dia, como na estação chuvosa elas se mantêm constante até as 14HL, então a tendência é que elas se encontrem no final do período. Como as taxas na estação chuvosa são bem maiores do que na de transição, então é natural que haja convergência mais cedo (14HL) com a curva da estação seca e que somente no final da tarde (17HL) todas se encontrem. Isso é facilmente explicável, pois é natural que entre 14HL e 17HL o aquecimento na CLC seja

pequeno não importando o local e a estação do ano, pois a energia disponível diminui drasticamente a partir do meio dia.

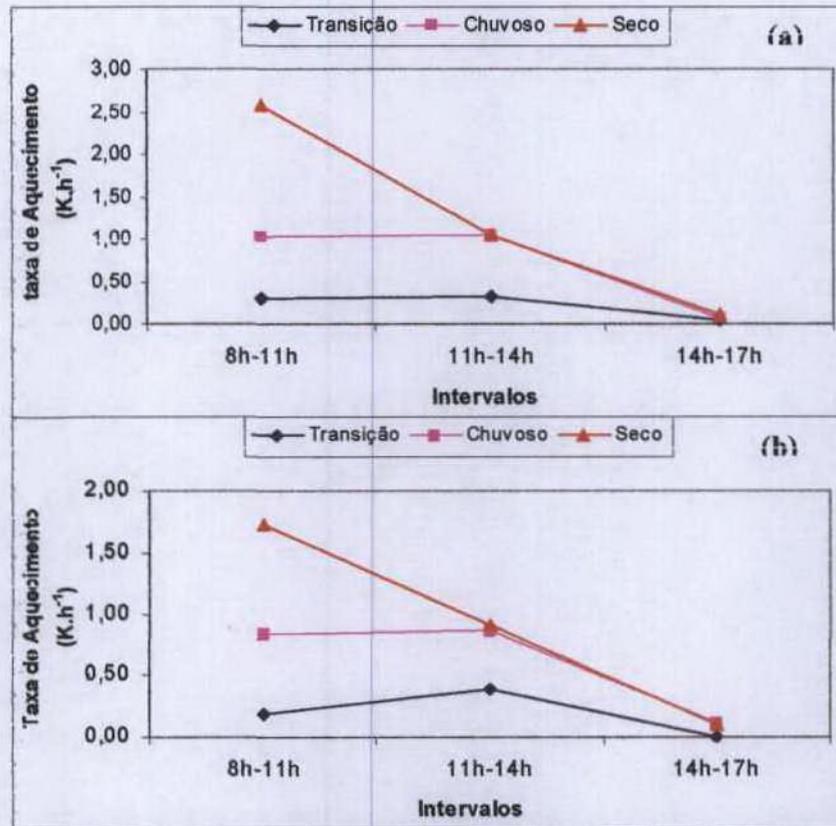


Figura 21 – Comparação das taxas de aquecimento dentro da CLC na floresta (a) e pastagem (b) durante as estações de transição seca/chuvosa, seca (Sousa, 1997) e chuvosa (Rocha, 2003).

A questão que resta responder é porque o aquecimento na estação chuvosa pela manhã é maior do que na de transição (seca/chuvosa). Duas hipóteses são levantadas:

- Há um menor resfriamento noturno durante a estação chuvosa por conta da maior nebulosidade;
- Apesar de chuvosa, a estação ocorre em pleno o verão do hemisfério Sul e, portanto as temperaturas são maiores.

Em termos médios, as taxas foram sempre menores na estação seca. Na floresta a média foi de 0,72K.h<sup>-1</sup> e na pastagem 0,57K.h<sup>-1</sup>.

## 5.0 – Conclusão

O comportamento termodinâmico observado na transição da estação seca para a chuvosa (LBA 2002) foi bastante parecido com a estação chuvosa (LBA 1999) do que a seca (RBLE3 1994). Em termos de desenvolvimento vertical, tanto os padrões de crescimento como os valores de espessura alcançados nos dois sítios foram praticamente iguais. A média na floresta foi de 858m e 888m na pastagem.

Os padrões de evolução dos valores médios e das taxas de variação temporal nos dois sítios, no interior da CLC, são, na sua maioria, semelhantes. A mesma coisa ocorre quando a comparação é feita com o que foi observado durante a estação chuvosa.

Na comparação dos valores médios no interior da CLC, verificamos que, no ambiente modificado (pastagem) a CLC apresentou:

- Temperatura ligeiramente superior (306,15K contra 305,30K);
- Gradiente de temperatura um pouco menor ( $-0,0035\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$  contra  $-0,0015\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$ );
- Umidade específica menor (praticamente igual) ( $14,51\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  contra  $14,63\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ );
- Gradiente de umidade maior ( $-0,006\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  contra  $-0,008\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

A diferença mais marcante apresentada pela CLC no período estudado foi o surgimento com mais frequência e intensidade da camada estável (CLN) no final da tarde.

## 6.0 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.K.; MOURA, M.A.L.; QUERINO, C.A.S.; MARIANO, G.L.; CHAGAS, E.V.; DA SILVA JUNIOR, R.S.; 2003. Comparação do Comportamento do Saldo de Radiação em Área de Pastagem na Amazônia Durante dois Períodos. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria – RS.

ALVES, M.A.S.; MACHADO, L.A.T.; 2002. Diferença na Variabilidade da Cobertura de Nuvens Altas entre os secos e Chuvosos na Amazônia Central. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu - PR.

BETTS, A. K.; FUENTES, J. D.; GARSTANG, M.; BALL, J. H.; 2002. Surface Diurnal Cycle and Boundary Layer Structure Over Rondonia During the Rainy Season. Journal of Geophysical Research, vol. 107, no. d20, p. 8065.

BOLETIN CLIMANALISE, 2002. CPTEC/INPE, Setembro e outubro. <http://www.cptec.inpe.br>

CARMO, A.M.C.; 1996. Estudo da Estrutura Termodinâmica da Atmosfera sobre a Amazônia. Tese de Mestrado, INPE, São José dos Campos – SP, Brasil, p. 111.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; COSTA, W.; 2000. Características Médias das Linhas de Instabilidade Durante o período Chuvoso do WET AMC/LBA. Anais do XI Congresso brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro – RJ.

CONFORTE, J.C.; 2002. Análise da precipitação Convectiva e Estratiforme Derivados do Satélite TRMM durante o Experimento WET AMC – TRMM/LBA em Rondônia. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu - PR.

DA COSTA, J.P.R.; LOUREIRO, R.S.; 2000. Variabilidade Média Mensal de Variáveis Meteorológicas em Caxiuanã, Área de Floresta Tropical da Amazônia. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro – RJ.

FISCH, G.; CULF, A.D.; NOBRE, C.A.; (1996). Modelling Convective Boundary Layer Growth in Rondonia. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M. e Victoria, R.L. (eds). Amazonia Deforestation and Climate. John Wiley & Sons, Chichester (UK), p. 425-435.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; 1996. Clima da Amazônia. Revista Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos. <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise>.

FISCH, G.; TOTA, J.; MACHADO, L.A.T.; SILVA DIAS, M.A.F.; LYRA, R.F.F.; NOBRE, C.A.; DOLMANS, A.J.; CULF, A.D.; HALVERSON, J.; FUENTES, J.D.; 2000. The Convective Boundary Layer Over Pasture and Forest in Amazonia. Proposed Contributions of the LBA-EUSTACH PARTNERS to the Special Issue of the Journal Geophysical Research. December 15. [www.mpch-mainz.mpg.de](http://www.mpch-mainz.mpg.de).

- GALVÃO, J.A.C.; FISCH, G.; 2000. Balanço de Energia em Área de Floresta e de Pastagem na Amazônia (Ji-Paraná). *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 15, N<sup>o</sup> 2, dezembro, p.25-37.
- GASH, J.H.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L.; 1996. Amazonian Deforestation and Climate. *Bulletin American Meteorological Society*. v. 75 N<sup>o</sup> 5, p. 823-830, May.
- HARRIS, R.C.; WOFSY, S.C.; GARSTANG, M.; BROWELL, E.V.; MOLION, L.C.B.; Mcneal, R.J.; HOELL, J.M.; BENDURA, R.L.; BECK, S.M.; NAVARRO, R.L.; RILEY, J.T.; SNELL, R.L.; 1988. The Amazon Boundary Layer Experiment (ABLE 2<sup>A</sup>): Dry Season 1985. *Journal Geophysical Research*, v. 93, no. d2, p. 1509-1527, February 20.
- KAIMAL, J.C.; FINNIGAN, J.J. Atmospheric boundary layer flows. their structure and measurement. New York: Oxford: Oxford University Press. 1994. 289p.
- LEITE, C.C.; 2002. Evolução das Condições Atmosféricas entre as Regiões de Floresta e de Pastagem no oeste da Amazônia durante a Estação Chuvosa de 1999. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). UFAL, Maceió – AL. P. 98.
- LEITE, C.C.; LYRA, R.F.F.; DA SILVA, A.E.; ROCHA, C.H.E.D.; 2003. Relação entre a Altura da Camada Limite Convectiva e os Parâmetros de Superfície em Região de Floresta durante o LBA/TRMM – 1999. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria – RS*.
- LYRA, R.F.F.; SOUSA, S.S.; NOBRE, C.; FISCH, G.; 1996. Desmatamento da Amazônia e sua Repercussão ao nível da Camada Limite Atmosférica: Projeto RBLE. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão – SP*, p. 1266.
- LYRA, R.F.F.; MOLION, L.C.B.; DA SILVA, M.R.G.; FISCH, G.; NOBRE, C.A.; 2003. Some Aspects of the Atmospheric Boundary Layer Over Western Amazonian: Dry Season 1994. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 18, N<sup>o</sup> 1, p. 79-85.
- LYRA, R.F.F.; ROCHA, C.H.E.D.; SILVA, M.R.G. da; 2003. Camada Limite no Oeste da Amazônia (Rondônia) – Comparação entre as Estações Seca/1994 e Chuvosa/1999. *Anais do III Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, Santa Maria – RS*. p 167-172.
- MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; 2000. Características Dinâmicas e Termodinâmicas da Convecção na Amazônia Observados Durante o WET AMC/LBA. *Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro – RJ*.
- MIRANDA, E. E.; 1989: As Verdades do Verde. *Revista Super interessante*, Ano 3, N<sup>o</sup> 7. Julho. P. 18-24.
- MOLION, L. C. B.; 1990. A Amazônia e o Clima da Terra. *Ciência Hoje*, v. 8, N<sup>o</sup> 48, p. 42-47.
- MOLION, L.C.B.; 1995. Global Climate Impacts of Amazonia Deforestation. *Revista Geofísica*, v. 42, p. 89-101.

MOLION, L.C.B.; 1987. Micrometeorology of Amazonian Rain Forest. The Geophysiology of Amazonia (ed. R. E. Dickinson), John Wiley and sons, p. 255-272.

MOOR, G.; 1983. Les Theories de la Turbulence Dans La Couche-Limite Atmospherique. Direction de La Météorologie. Toulouse. France, p. 312.

MOURA, M.A.L.; BORBA, J.C.C.; ALBUQUERQUE, J.K.; QUERINO, C.A.S.; LIMA, E.A.; 2002. Comparação da Evapotranspiração e do Saldo de Radiação entre Floresta e Pastagem na Amazônia Brasileira. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu - PR.

NICOLLI, D.; 1979. Um Método para a Determinação da Altura da Camada Limite de Inversão Térmica e a Profundidade da Camada de Mistura Efetiva. Ciências e Cultura, v. 31, N<sup>o</sup> 11, p. 1283-1294, Nov.

NOBRE, C.A.; FISCH, G.; ROCHA, H.R.; LYRA, R.F.F.; ROCHA, E.J.P.; COSTA, A.C.L. da; UBARANA, V.N.; 1996. Observations of the Atmospheric Boundary Layer in Rondonia. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M. e Victoria, R.L. (eds). Amazonia Deforestation and Climate. John Wiley & Sons, Chichester (UK), p. 425-435.

OLIVEIRA, P. J.; 2001. Estudo do Vento e da Turbulência na Camada Limite Atmosférica em áreas de Floresta e Pastagem na Amazônia. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos – SP. INPE-8350-TDI/769

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; ALBUQUERQUE, J.K.; 2003. Comparação do Albedo e Ângulo Zenital entre Floresta e Pastagem na Amazônia. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria – RS.

ROCHA, H.R.; NOBRE, C.A.; BONATTI, J.P.; WRIGHT, I.R.; SELLERS, P.J.; 1996. Vegetation-atmosphere Interaction Study for Amazonian Deforestation Using Field Data and a Single Column Model. Royal Meteorological Society. v. 122, abril, parte A, N<sup>o</sup> 531.

ROCHA, C.H.E.D.; LYRA, R.F.F.; DA SILVA, M.R.G.; DA SILVA, A.E.; LEITE, C.C.; DA SILVA, D.A.F.; CIAMPI, B.L.; 2002. Evolução da Camada Limite Atmosférica no Oeste da Amazônia. Comparação entre as Estações Seca e Chuvosa. Parte 1: Em Área de Floresta Nativa. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu - PR.

ROCHA, C.H.E.D.; 2003. Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a Estação Chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM, 1999. Tese de Mestrado, UFAL, Maceió – AL, p. 100.

ROCHA, C.H.; LYRA, R.F.F.; 2003. Acompanhamento das Condições Meteorológicas Durante o LBA/TRMM, 1999 – Parte 1 (Floresta). Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria – RS.

SALATI, E. & MARQUES, J. 1984. Climatology of the Amazon region. In The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Sioli, H. (ed.). Dr. W. Junk Publishers, 763 p.

SILVA, M. R. G.; 2004. Aspectos da termodinâmica da Camada Limite Atmosférica no Oeste da Amazônia durante a Estação Chuvosa – Experimento WET AMC/LBA. Tese de Mestrado, UFAL, Maceió – AL, p. 80.

SOUSA, S.S.; 1997. A Substituição da Floresta Amazônica por Pastagem e sua Repercussão ao Nível da Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica: Projeto RBLE. Tese de Mestrado, UFPB, Campina Grande – PB, p. 103.

STULL, R.B.; 1988. Introduction to Boundary Layer Meteorology. London. Kluwer Academic Publishers, p. 666.

TOTA, J.; 1998. Estimativa Regional de Fluxos de Calor Sensível e Latente em Áreas de Floresta e Pastagem na Amazônia. Tese de Mestrado. INPE, São José dos Campos – SP, p. 113.

## APÊNDICE A

**Tabela 1** – Valores médios diários de temperatura do ar e seus respectivos desvios padrão na floresta e na pastagem para todo o conjunto de dados. Os dias sombreados foram escolhidos para análise.

Temperatura								
Dias	Pastagem		Floresta		Pas	Flo	Pas	Flo
	$T_{\text{medio}}$	$\sigma_T$	$T_{\text{medio}}$	$\sigma_T$	$\sigma/T_{\text{medio}}$	$\sigma/T_{\text{medio}}$	$T-T_{\text{medio}}$	$T-T_{\text{medio}}$
18/set	27,39	5,73	26,72	2,87	0,21	0,11	1,28	0,61
24/set	26,48	4,32	27,39	2,55	0,16	0,09	0,38	1,28
27/set	26,14	4,15	27,14	3,35	0,16	0,12	0,04	1,03
29/set	24,42	4,08	26,62	2,75	0,17	0,10	-1,69	0,51
1/out								
2/out								
3/out								
4/out								
5/out								
6/out								
7/out								
8/out								
9/out								
10/out	25,54	4,39	29,88	4,14	0,17	0,14	-0,98	0,72
11/out	24,97	3,24	29,00	2,84	0,12	0,10	-1,55	-0,17
12/out	26,05	4,47	28,88	3,62	0,17	0,12	-0,47	-0,28
13/out	27,89	4,99	30,65	3,55	0,19	0,12	1,37	1,48
14/out	25,96	3,74	29,51	3,41	0,14	0,12	-0,56	0,35
15/out	26,45	4,17	28,25	2,55	0,16	0,09	-0,08	-0,92
16/out	26,40	4,71	28,50	2,78	0,18	0,10	-0,12	-0,66
17/out	25,40	4,50	28,81	4,02	0,17	0,14	-1,12	-0,35
18/out	25,48	3,79	28,87	2,16	0,14	0,07	-1,05	-0,29
19/out	25,43	3,43	28,24	2,74	0,13	0,09	-1,10	-0,93
20/out	25,73	4,13	28,34	2,30	0,16	0,08	-0,79	-0,83
21/out	26,53	5,15	28,48	3,02	0,19	0,10	0,00	-0,68
22/out	26,78	4,61	28,93	3,50	0,17	0,12	0,26	-0,23
23/out	27,96	4,15	30,12	3,61	0,16	0,12	1,44	0,96
24/out	27,38	4,35	29,86	3,02	0,16	0,10	0,86	0,70
25/out	26,57	3,29	29,15	1,77	0,12	0,06	0,04	-0,02
26/out	27,51	5,29	30,41	3,58	0,20	0,12	0,99	1,25
27/out	28,51	5,11	30,44	4,00	0,19	0,14	1,99	1,28
28/out	28,89	4,87	30,82	3,03	0,18	0,10	2,37	1,65
29/out	28,12	4,09	29,81	3,52	0,15	0,12	1,60	0,64
30/out	24,75	2,39	27,23	1,20	0,09	0,04	-1,77	-1,94
31/out	24,63	2,91	27,45	1,97	0,11	0,07	-1,90	-1,72
Média	26,50	4,17	29,17	3,02	0,16	0,10	-0,03	0,00
Desvpad	1,23	0,77	1,23	0,73	0,03	0,02	1,22	0,98
Max	28,89	5,29	30,82	4,14	0,20	0,14	2,37	1,65
Min	24,63	2,39	27,23	1,20	0,09	0,04	-1,90	-1,94

**Tabela 2** – Valores médios diários de umidade relativa e seus respectivos desvios padrão na floresta e na pastagem para todo o conjunto de dados. Os dias sombreados foram escolhidos para análise.

Dias	Umidade							
	Pastagem		Floresta		Pas	Flo	Pas	Flo
	UR <sub>medio</sub>	$\sigma_{UR}$	UR <sub>medio</sub>	$\sigma_{UR}$	$\sigma/UR_{medio}$	$\sigma/UR_{medio}$	UR-UR <sub>medio</sub>	UR-UR <sub>medio</sub>
18/set	74,96	24,43	80,791	16,45	0,33	0,20	-4,08	0,39
24/set	74,822	17,18	75,622	12,90	0,23	0,17	-4,22	-4,78
27/set	77,736	18,39	76,873	17,3	0,24	0,23	-1,30	-3,53
29/set	79,608	20,03	85,184	17,24	0,25	0,20	0,57	4,78
1/out	73,35	21,56	73,23	17,88	0,29	0,24	-5,69	-7,18
2/out	74,70	21,55	73,67	19,43	0,29	0,26	-4,34	-6,74
3/out	69,01	18,10	73,98	16,14	0,26	0,22	-10,03	-6,43
4/out	76,84	18,77	76,52	15,22	0,24	0,20	-2,20	-3,89
5/out	81,38	18,49	74,73	23,77	0,23	0,32	2,34	-5,68
6/out	76,54	20,08	67,59	20,24	0,26	0,30	-2,50	-12,82
7/out	76,42	16,08	69,82	11,68	0,21	0,17	-2,62	-10,59
8/out	86,98	9,31	81,17	13,55	0,11	0,17	7,94	0,77
9/out	83,74	15,38	88,21	13,41	0,18	0,15	4,70	7,81
10/out	83,52	15,34	79,20	19,25	0,18	0,24	4,48	-1,20
11/out	86,08	11,97	84,22	12,61	0,14	0,15	7,04	3,81
14/out	81,72	16,08	84,83	14,92	0,20	0,18	2,68	4,42
15/out	73,89	18,74	75,08	17,39	0,25	0,23	-5,15	-5,33
16/out	82,04	13,43	76,49	15,67	0,16	0,20	3,00	-3,92
17/out	79,99	15,10	87,75	14,82	0,19	0,17	0,95	7,34
18/out	77,96	19,29	81,27	15,92	0,25	0,20	-1,08	0,87
19/out	79,66	18,19	81,13	17,86	0,23	0,22	0,62	0,72
20/out	84,93	13,41	84,10	10,31	0,16	0,12	5,89	3,69
21/out	86,08	13,22	86,48	11,73	0,15	0,14	7,04	6,07
22/out	86,37	14,13	90,57	10,99	0,16	0,12	7,33	10,17
23/out	82,88	17,68	89,47	14,05	0,21	0,16	3,84	9,06
24/out	81,70	17,14	86,94	16,38	0,21	0,19	2,65	6,54
25/out	76,57	16,31	80,56	16,40	0,21	0,20	-2,47	0,16
26/out	78,24	15,84	82,20	14,37	0,20	0,17	-0,80	1,80
27/out	81,09	13,16	86,04	7,626	0,16	0,09	2,05	5,63
28/out	77,83	19,62	81,20	18,69	0,25	0,23	-1,21	0,80
29/out	74,19	19,10	79,75	19,05	0,26	0,24	-4,85	-0,65
30/out	74,37	19,09	79,83	13,66	0,26	0,17	-4,67	-0,58
31/out	73,15	17,10	78,90	17,53	0,23	0,22	-5,89	-1,51
Média	79,04	17,07	80,41	15,59	0,22	0,20	0,00	0,00
Desvpad	4,55	3,11	5,68	3,26	0,05	0,05	4,55	5,68
Max	86,98	24,43	90,57	23,77	0,33	0,32	7,94	10,17
Min	69,01	9,31	67,59	7,63	0,11	0,09	-10,03	-12,82

**Tabela 3** – Valores médios diários de saldo de radiação e seus respectivos desvios padrão na floresta e na pastagem para todo o conjunto de dados. Os dias sombreados foram escolhidos para análise.

Saldo de Radiação								
Dias	Pastagem		Floresta		Pas	Flo	Pas	Flo
	Rn <sub>medio</sub>	$\sigma_{Rn}$	Rn <sub>medio</sub>	$\sigma_{Rn}$	$\sigma/Rn_{medio}$	$\sigma/Rn_{medio}$	Rn-Rn <sub>medio</sub>	Rn-Rn <sub>medio</sub>
18/set	129,30	209,00	55,26	118,70	1,62	2,15	-4,48	-92,22
24/set	122,68	206,45	122,89	191,35	1,68	1,56	-11,10	-24,58
27/set	105,01	213,76	139,72	236,90	2,04	1,70	-28,77	-7,76
29/set	148,67	252,42	165,15	245,12	1,70	1,48	14,89	17,68
1/out	166,93	264,58	165,31	257,37	1,58	1,56	33,15	17,84
2/out	146,54	244,02	191,52	294,95	1,67	1,54	12,76	44,04
3/out	164,54	274,55	146,79	267,50	1,67	1,82	30,76	-0,68
4/out	126,53	231,61	151,16	266,65	1,83	1,76	-7,25	3,69
5/out	110,26	225,72	178,57	273,22	2,05	1,53	-23,52	31,10
6/out	110,88	191,02	160,55	250,91	1,72	1,56	-22,90	13,07
7/out	127,19	217,98	154,99	253,35	1,71	1,63	-6,59	7,52
8/out	54,21	125,22	113,67	218,92	2,31	1,93	-79,57	-33,80
9/out	107,04	203,96	142,47	223,86	1,91	1,57	-26,74	-5,01
10/out	122,31	253,75	154,01	249,19	2,07	1,62	-11,46	6,53
11/out	73,19	163,76	110,31	209,25	2,24	1,90	-60,59	-37,17
14/out	121,88	201,78	124,33	214,31	1,66	1,72	-11,90	-23,14
15/out	182,93	281,43	167,68	276,49	1,54	1,65	49,15	20,20
16/out	114,91	229,70	156,36	272,96	2,00	1,75	-18,87	8,89
17/out	162,23	254,21	170,17	272,99	1,57	1,60	28,45	22,69
18/out	141,05	253,42	169,86	274,08	1,80	1,61	7,27	22,39
19/out	129,12	235,04	158,42	263,88	1,82	1,67	-4,66	10,95
20/out	124,50	221,85	90,10	172,44	1,78	1,91	-9,28	-57,38
21/out	101,58	204,21	111,85	200,69	2,01	1,79	-32,20	-35,63
22/out	117,44	225,45	125,11	227,98	1,92	1,82	-16,34	-22,37
23/out	148,70	241,18	162,34	256,63	1,62	1,58	14,92	14,87
24/out	173,53	278,49	167,40	259,16	1,60	1,55	39,75	19,92
25/out	172,25	264,88	163,07	231,34	1,54	1,42	38,47	15,59
26/out	149,82	239,75	156,37	241,55	1,60	1,54	16,04	8,89
27/out	95,51	173,37	76,17	137,78	1,82	1,81	-38,27	-71,30
28/out	159,72	255,08	191,15	273,27	1,60	1,43	25,94	43,68
29/out	185,47	283,27	195,17	287,51	1,53	1,47	51,69	47,69
30/out	162,24	252,80	146,21	225,70	1,56	1,54	28,47	-1,27
31/out	156,52	235,38	182,53	268,56	1,50	1,47	22,74	35,06
Média	133,78	230,58	147,47	239,84	1,77	1,66	0,00	0,00
Desvpad	30,76	35,26	32,69	40,60	0,21	0,17	30,76	32,69
Max	185,47	283,27	195,17	294,95	2,31	2,15	51,69	47,69
Min	54,21	125,22	55,26	118,70	1,50	1,42	-79,57	-92,22

## APÊNDICE B

### DIFICULDADE NA DETERMINAÇÃO DA ALTURA DA CLA ATRAVÉS DA METODOLOGIA EXISTENTE – CASO DO WET AMC/LBA - 1999 E DRY TO WET AMC/LBA - 2002

Christiane C. Leite<sup>1</sup>, Roberto F. F. Lyra<sup>2</sup>, Carlos H. E. D. Rocha<sup>3</sup>, Cláudio M. S. Silva<sup>4</sup>, Josiclea P. Rogério<sup>4</sup>, Joaquim L. da Silva Neto<sup>4</sup>, Flavia C. A. Bitencourt<sup>4</sup>, Ranieri C.F. Amorim<sup>5</sup>

#### ABSTRACT

The determination of the Atmospheric Boundary Layer (ABL) height, using the analytical method, in the tropical region is a difficult task. This is a serious problem because if we don't know the ABL height the ABL it self not to exist. This generates great difficulties for the studies in micrometeorology, atmosphere chemistry, models, etc. The objective is to initiate the quarrel and to possibly contribute for the understanding this problem. They had been used data from the campaigns: WET AMC/LBA-1999 and DRY You WET AMC/LBA-2002, over Forest and Pasture experimental sites in West Amazonian. The results had show that the percentage of atypical cases for the two campaigns was 18% being 24% in 1999 and 13% in 2002. The difficulty in determining the ABL height is bigger in the sunrise and the sunset.

**Keywords:** Atmospheric Boundary Layer, Amazonian

#### RESUMO

A determinação da altura da Camada Limite Atmosférica (CLA), usando o método analítico, na região tropical é uma tarefa difícil. Este é um problema grave, pois se não é possível determinar sua altura a CLA não existe. Isto gera grandes dificuldades para os estudos em micrometeorologia, química da atmosfera, modelos, etc. Neste trabalho este fato é demonstrado usando resultados observacionais. O objetivo é iniciar a discussão e possivelmente contribuir para a compreensão deste problema. Foram utilizados dados observacionais colhidos durante as campanhas: WET AMC/LBA-1999 e DRY TO WET AMC/LBA-2002, em área de Floresta e Pastagem na Amazônia. Os resultados obtidos indicaram que o percentual de casos atípicos para as duas campanhas foi de 18% sendo 24% em 1999 e 13% em 2002. A dificuldade em determinar o topo é maior próximo ao nascer e ao por do sol.

**Palavras Chaves:** Camada limite atmosférica, Amazônia.

<sup>1</sup> Aluna do programa de pós-graduação em Meteorologia da Ufal. Centro de Ciências Exatas e Naturais, Departamento de Meteorologia, Campus A.C. Simões, S/N Tabuleiro do Martins, Maceió - Al, Cep.: 57000-000. E-mail: [chcl@pop.com.br](mailto:chcl@pop.com.br). Bolsista: FAPEAL.

<sup>2</sup> Prof. Dr. do Departamento de Meteorologia da UFAL.

<sup>3</sup> Aluno do programa de pós-graduação da COPPE/UF RJ

<sup>4</sup> Alunos do programa de pós-graduação em Meteorologia da UFAL

<sup>5</sup> Aluno do programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola da UFV

## INTRODUÇÃO

A Camada Limite Atmosférica (CLA) é a parte mais baixa da atmosfera caracterizada por fluxos verticais de momentum, calor e vapor d'água que são resultantes da interação com a superfície (Carson, 1987). Durante o dia, como o fluxo de calor à superfície é positivo, a CLA é formada principalmente pelas parcelas de ar quentes, com flutuabilidade positiva, as quais sobem até atingir seu nível de equilíbrio no topo da mesma. Como a turbulência térmica é o mecanismo dominante, esta camada é freqüentemente chamada de Camada Limite Convectiva (CLC). A evolução temporal da altura da CLC é importante para a distribuição vertical de energia, momentum e vapor d'água e formação de nuvens, ao passo que o perfil vertical dos fluxos é necessário para estimativas da divergência dos fluxos verticais e/ou fluxos na base da inversão térmica (Garratt, 1993). A determinação da altura da CLC tem sido feita de modo analítico seguindo o modelo proposto por Stull (1988) desenvolvido em regiões de clima temperado. Na determinação da altura da CLC sobre a Amazônia, que está localizada na região tropical, tal modelo não funciona muito bem por isso, em muitos casos, não é possível determinar a altura da camada ( $Z_i$ ) e, em outros, a determinação é muito difícil. Neste trabalho este fato é demonstrado usando resultados observacionais. O objetivo é iniciar a discussão e possivelmente contribuir para a compreensão deste problema.

## METODOLOGIA

Os dados de radiossonda utilizados neste trabalho foram colhidos durante as campanhas do WET AMC/LBA – 1999, durante a estação chuvosa, e DRY TO WET AMC/LBA – 2002, durante o período de transição da estação seca para a chuvosa, em dois sítios experimentais: Floresta (Reserva Biológica do Jaru,  $10^{\circ} 05'S$ ,  $61^{\circ}55'W$ , 120m) e Pastagem (Fazenda Nsa. Senhora,  $10^{\circ}45'S$ ,  $62^{\circ}22'W$ , 293m) no Oeste da Amazônia (Rondônia).

Para a campanha de 1999 foram 155 sondagens na pastagem e 125 na floresta e na campanha de 2002 foram 138 na pastagem e 94 na floresta. Essas sondagens foram utilizadas para calcular e plotar uma série de perfis verticais da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) umidade específica ( $q$ ) e vento ( $ff$  e  $dd$ ) que serviram para determinar a altura da camada limite convectiva (CLC) através do método analítico com base no modelo proposto por Stull (1988), ilustrado na Figura 1.

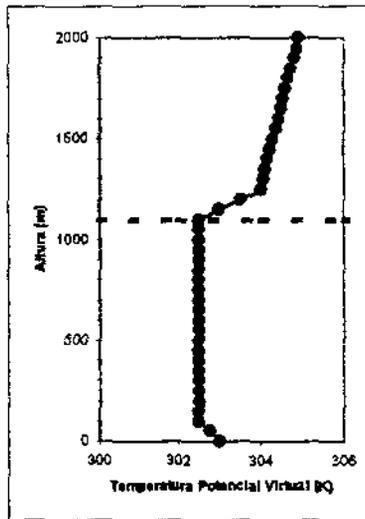


Figura 1: Modelo de Camada Limite Atmosférica durante o dia

Os casos em que o perfil de  $\theta_v$  não seguiu o modelo, ou seja, quando não foi possível determinar a altura da CLC, esses casos foram chamados de atípicos. Quando foi possível determinar a altura da CLC, esses casos foram chamados de normais e houve também os casos em que não foi feita a sondagens em alguns horários.

Foi feita uma comparação somente entre o número de casos atípicos na floresta e na pastagem para os dois experimentos: WET AMC/LBA - 1999 e DRY TO WET AMC/LBA - 2002, ver tabela 1.

Tabela 1 – Número de Casos Atípicos na Floresta e na Pastagem para os experimento WET AMC/LBA - 1999 e DRY TO WET AMC/LBA - 2002

Horário	Numero de casos atípicos			
	WET AMC/LBA - 1999		DRY TO WET AMC/LBA - 2002	
	PAS	FLO	PAS	FLO
8h	13	7	13	1
11h	8	3	0	1
14h	8	4	6	1
17h	19	6	4	3
<b>*Total de sondagens</b>	<b>155</b>	<b>125</b>	<b>138</b>	<b>94</b>
<b>Total de dias</b>	<b>52</b>	<b>32</b>	<b>52</b>	<b>36</b>

\* número total de sondagens em cada experimento incluindo casos normais e atípicos

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a porcentagem do número de casos atípicos na pastagem para cada experimento nos horários da CLC (8, 11, 14 e 17h). Durante a estação chuvosa (LBA – 1999) os casos atípicos ocorreram em todos os horários sendo maior (54%) no final da tarde. Já na estação de transição (LBA – 2002) o número de casos atípicos foi maior no início do dia com uma porcentagem de 28%. Nos demais horários não ultrapassou os 15% sendo que as 11h não houve casos atípicos. Observamos também que os maiores números de casos, para as estações seca e chuvosa, ocorrem no início e fim do dia.

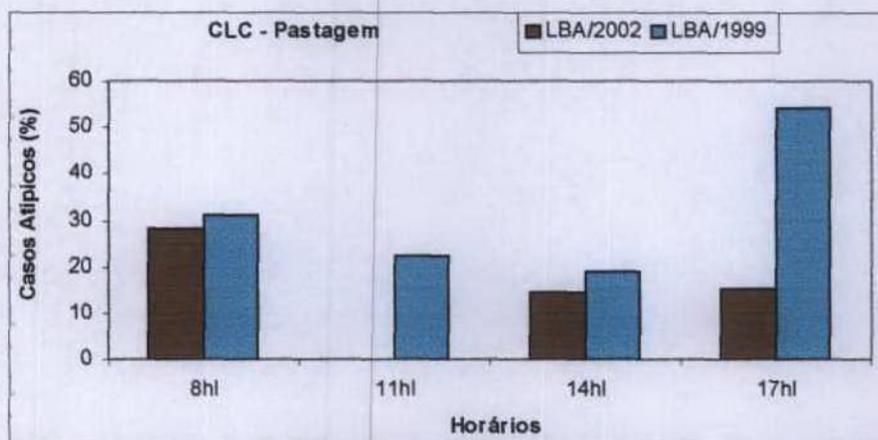


Fig. 2 – Porcentagem do número de casos atípicos para cada experimento na pastagem nos horários da CLC (8, 11, 14 e 17h).

Na Figura 3 é mostrada a porcentagem do número de casos atípicos na floresta para cada experimento nos referidos horários. Observa-se que, a maior porcentagem ocorreu na estação chuvosa (LBA – 1999) atingindo 23% também no início do dia e a menor porcentagem (10%) ocorreu às 11h. Para a estação de transição (LBA – 2002) o maior percentual foi de 14% às 8h e o menor (4%) às 11h e 14h. Nota-se, assim como na pastagem, que a ocorrência de casos atípicos é sempre maior na duas estações, no início e no final do dia (8h e 17h). O percentual elevado as 8h é compreensível uma vez que a camada ainda está em formação e a altura é pequena. Assim sendo, a sua determinação fica bastante difícil com o uso de dados de radiossonda.

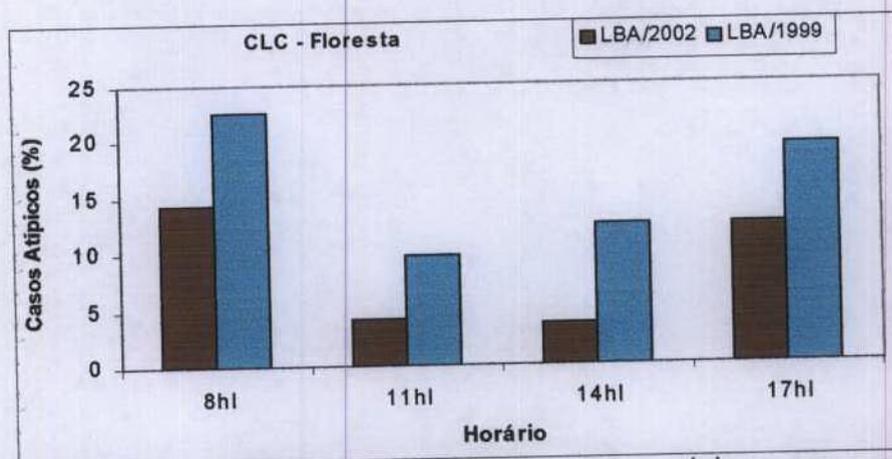


Fig. 3 - Porcentagem do número de casos atípicos para cada experimento na floresta nos horários da CLC (8, 11, 14 e 17h).

Na figura 4 é mostrada a comparação entre floresta e pastagem somando os resultados das duas campanhas. O número de casos na pastagem foi sempre maior que na floresta, principalmente no início e no final do dia. A maior porcentagem na pastagem foi de 34% às 8h e a menor (12%) às 11h. Na floresta, assim como na pastagem, os maiores números de casos ocorreram no começo e fim do dia, sendo a maior porcentagem de 19% às 8h e a menor (7%) às 11h e às 14h. A média geral na floresta foi de 13 ( $\pm 10$ ) casos e na pastagem de 36 ( $\pm 18$ ).

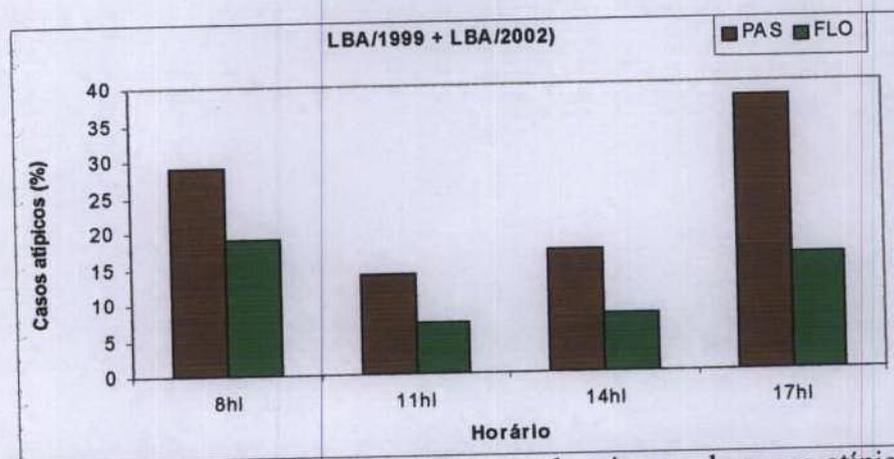


Fig. 4 - Comparação pastagem/floresta do número de casos atípicos para os dois experimentos juntos nos horários da CLC (8, 11, 14 e 17h).

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que, durante o WET AMC/LBA - 1999, 24% dos casos foram atípicos e durante o DRY TO WET AMC/LBA - 2002 foram 13%. Na pastagem o maior número de casos atípicos ocorreu às 17h durante a campanha de 1999 (estação chuvosa) e o menor durante a campanha de 2002 (estação de transição do período seco para o chuvoso). Já na floresta os casos atípicos tiveram maior porcentagem durante a estação chuvosa às 8h. Assim como na pastagem o menor número de casos atípicos ocorreu na estação de transição. Na comparação pastagem/floresta, para as dois experimentos juntos, de uma maneira geral, as maiores porcentagens ocorreram na pastagem, para todos os horários da CLC, principalmente no início e no final do dia. Em geral o percentual de casos atípicos para as duas campanhas foi de 18%.

## REFERENCIAS

- CARSON, D. J.; 1987. A introduction to the parametrization of land-surface process. Part I: radiation and turbulence. *The Meteorological Magazine*, 116 (1381): 229-242.
- GARRATT, J. R.; 1993. Sensitivity of climatic simulations to land-surface and atmospheric boundary layer treatments - a review. *Journal of Climate*, 6 (3): 419-449.
- STULL, R.B.; 1988. *Introduction to Boundary Layer Meteorology*. London. Kluwer Academic Publishers, p. 666.

## APÊNDICE C

### **Perfis de $\theta_v$ na Pastagem e Floresta**

#### **➤ Análise Dia a Dia**

A Figura 1 mostra os perfis médios de  $\theta_v$ , para o dia 18/09/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL onde são indicadas as alturas da CLC (Zi). Podemos observar que tanto na floresta quanto na pastagem a CLC apresenta um desenvolvimento clássico exceto pelo perfil das 17HL na floresta onde a altura diminui e ocorre um resfriamento de  $0,09K.h^{-1}$  e o surgimento de uma camada estável (CE). No começo do dia (08HL), quando o sol está começando a aquecer a superfície a CLC nos dois sítios ainda está bem baixa (89m na floresta e 53m na pastagem) apresentando uma CE acima. Das 11HL as 14HL a camada se manteve neutra nos dois sítios (com taxa de crescimento de  $80m.h^{-1}$  e de aquecimento de  $0,44K.h^{-1}$  na floresta e de  $213m.h^{-1}$  e  $0,48K.h^{-1}$  na pastagem). A maior taxa de crescimento tanto na floresta ( $394m.h^{-1}$ ) quanto na pastagem ( $296m.h^{-1}$ ) ocorreu entre as 08 e as 11HL e a média geral de  $\theta_v$  na floresta foi de  $309,353K (\pm 0,798)$  e na pastagem foi de  $309,730K (\pm 1,038)$ . A maior diferença entre os dois sítios foi de  $-0,64K$  às 17HL.

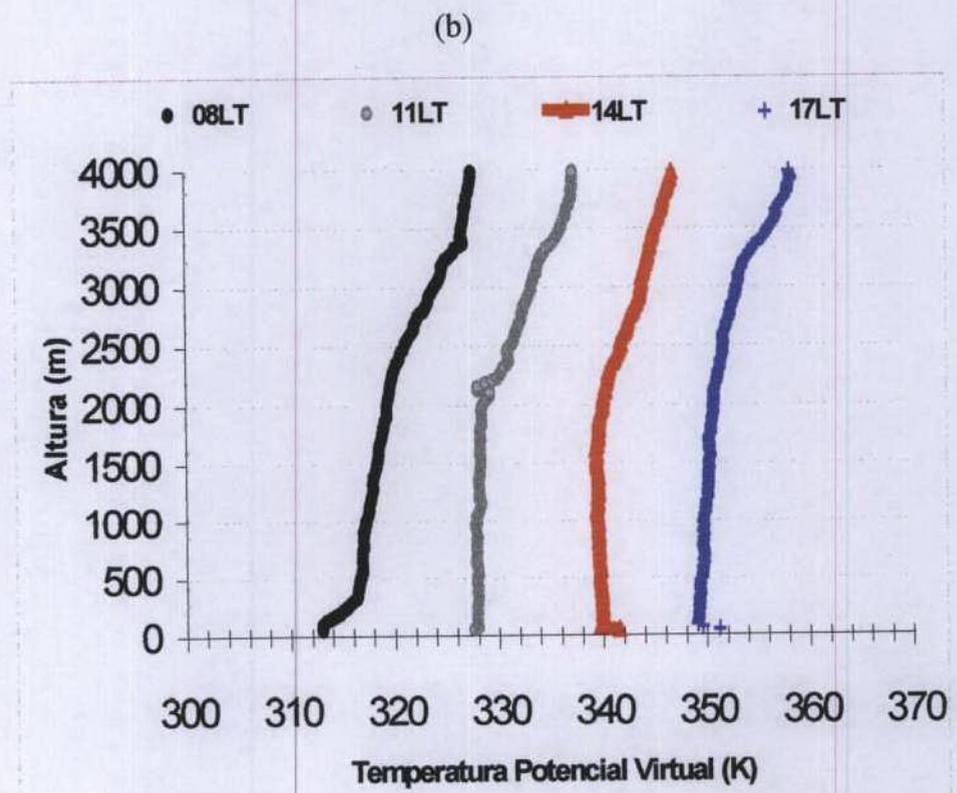
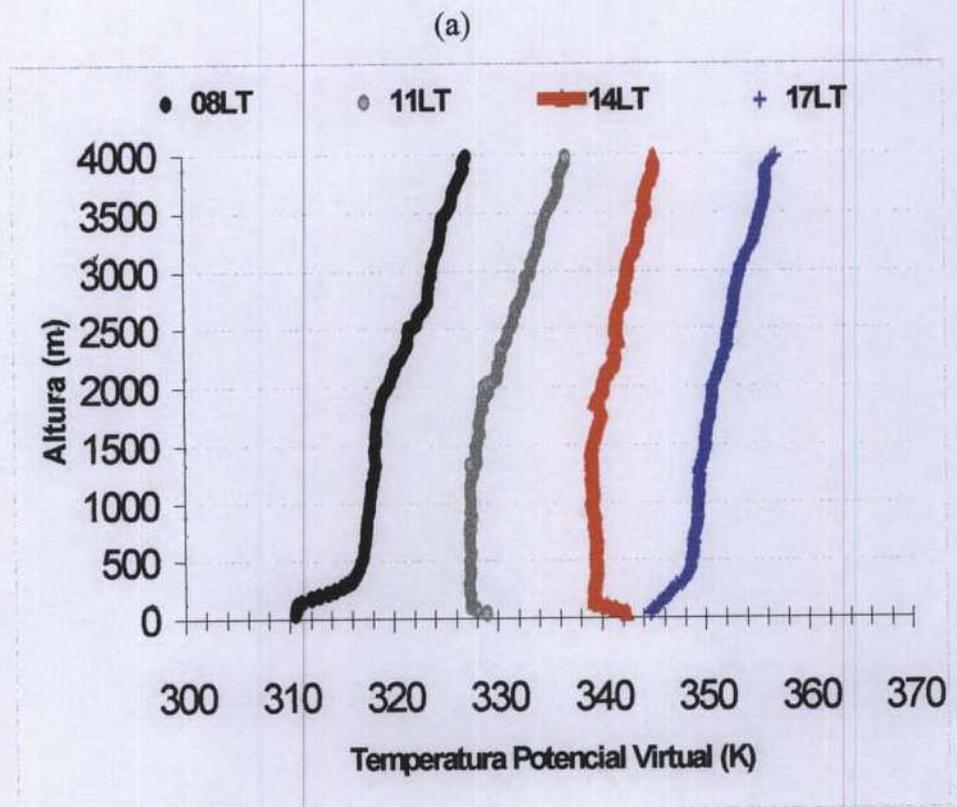


Figura 1 – Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 18/09/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

Os perfis médios de  $\theta_v$  para o dia 24/09/2002, na floresta (a) e na pastagem (b), estão representados na Figura 2. As 08HL a superfície começa a aquecer liberando energia através da biomassa iniciando a formação de uma CLC rasa porém nítida que atinge 312m na floresta com  $\theta_v$  de 301,6K e 129m na pastagem com  $\theta_v$  de 300,3K apresentando, assim como no dia 18/09 uma CE acima. As 11HL a camada atingiu 766m (com taxa de aquecimento de  $0,25K.h^{-1}$ ) na floresta e 603m na pastagem (com taxa de aquecimento de  $0,21K.h^{-1}$ ). Na sondagem das 14HL, a CLC apresenta na floresta uma altura de 1175m (com taxa de aquecimento de  $0,28K.h^{-1}$ ) e na pastagem 975m (com taxa de aquecimento de  $0,4K.h^{-1}$ ). Em seguida a altura diminuiu para 1025m na floresta e elevou-se para 1100m na pastagem. A média geral de  $\theta_v$  na floresta foi de 308,947K ( $\pm 0,908$ ) e na pastagem foi de 309,062K ( $\pm 0,845$ ) e a maior diferença entre os dois sítios foi de 0,024K. Assim como no dia 18/09 a maior taxa de crescimento, para os dois sítios, ocorreu entre as 08 e as 11HL sendo de  $151m.h^{-1}$  na floresta e de  $158m.h^{-1}$  na pastagem decrescendo estes valores nos horários subsequentes.

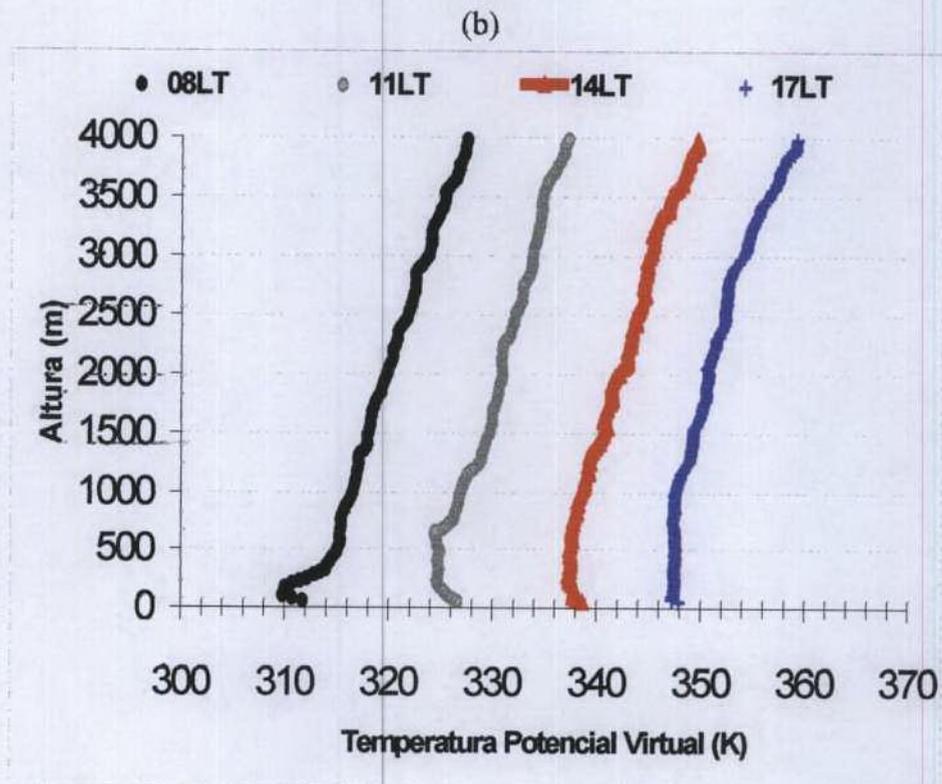
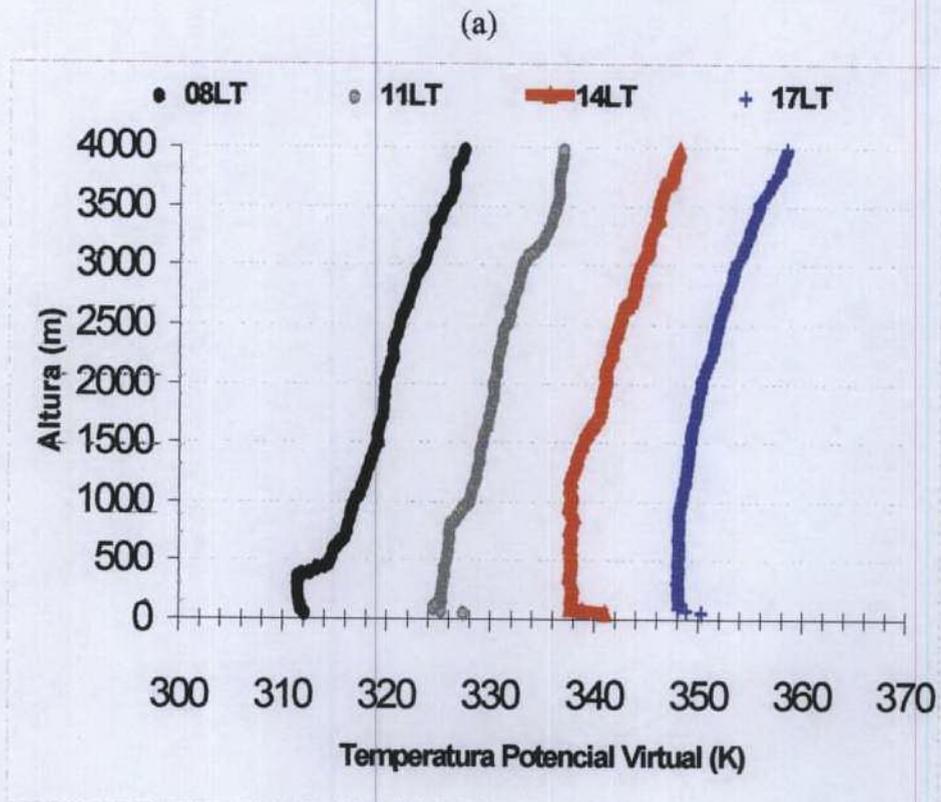


Figura 2 - Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 24/09/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

Na Figura 3 estão representados os perfis médios de  $\theta_v$  para a floresta (a) e a pastagem (b) no dia 27/09/02 nos mesmos horários. Na sondagem realizada às 8HL na floresta a CLC atingiu a altura de 300m e no caso da pastagem já é possível identificar uma pequena camada convectiva (altura 175m) desenvolvendo-se próximo da superfície com uma CE acima nos dois sítios. Às 11HL a camada começa a se desenvolver após a quebra da inversão térmica chegando a 350m (com taxa de aquecimento de  $0,18K.h^{-1}$ ) na floresta e 624m (com taxa de aquecimento de  $0,36K.h^{-1}$ ) na pastagem e as 14HL ela atinge o seu máximo na floresta (1008m) e na pastagem chega a 922m. Após esse horário a CLC assume um comportamento estacionário. Às 17HL a camada, na floresta, diminui  $11m.h^{-1}$  ficando em torno de 974m. Já na pastagem ela aumenta atingindo 1242m sendo possível observar um pequeno resfriamento de  $0,14K.h^{-1}$  próximo da superfície. Diferente do que ocorreu nos dias 18/09 e 24/09 a taxa de crescimento entre as 08 e as 11HL na floresta ( $27m.h^{-1}$ ) foi muito inferior a da pastagem ( $150m.h^{-1}$ ). Podemos destacar, com relação à floresta, um aumento dessa taxa entre as 11 e as 14HL ( $148m.h^{-1}$ ) e um decréscimo ( $-11m.h^{-1}$ ) da mesma entre as 14 e as 17HL. No caso da pastagem houve um decréscimo entre as 11 e as 14HL ( $-99m.h^{-1}$ ) e um acréscimo ( $107m.h^{-1}$ ) no intervalo subsequente. A média geral de  $\theta_v$  para a floresta é de  $308,661K (\pm 1,155)$  e para a pastagem é de  $309,709K (\pm 0,527)$  e a maior diferença entre os sítios é de  $0,06K$  às 17HL.

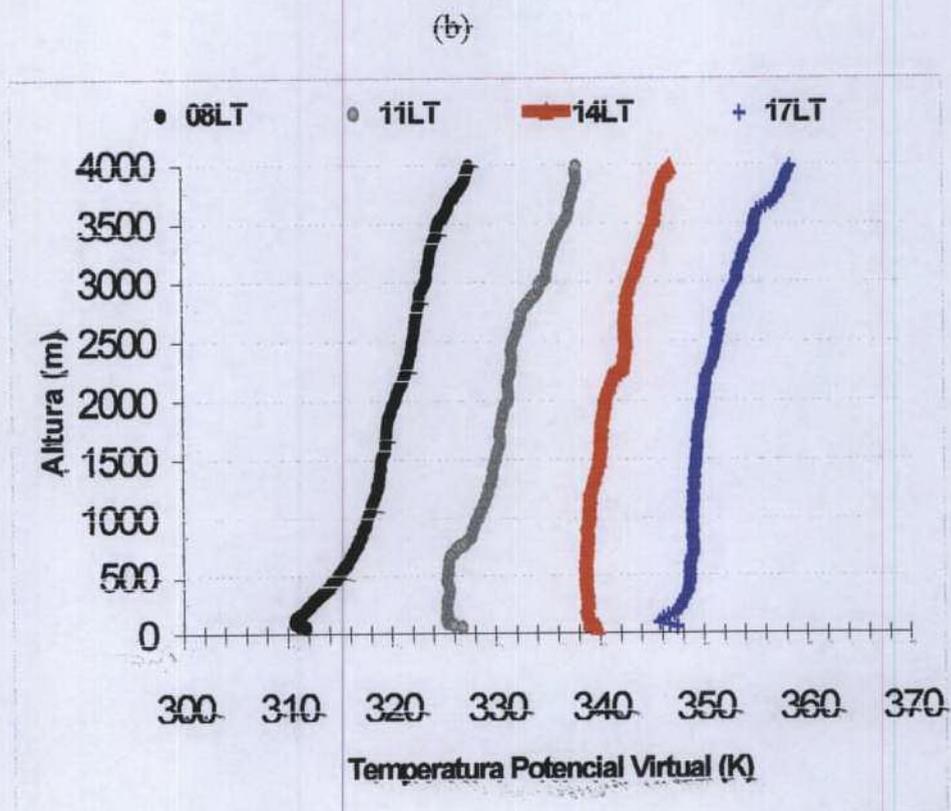
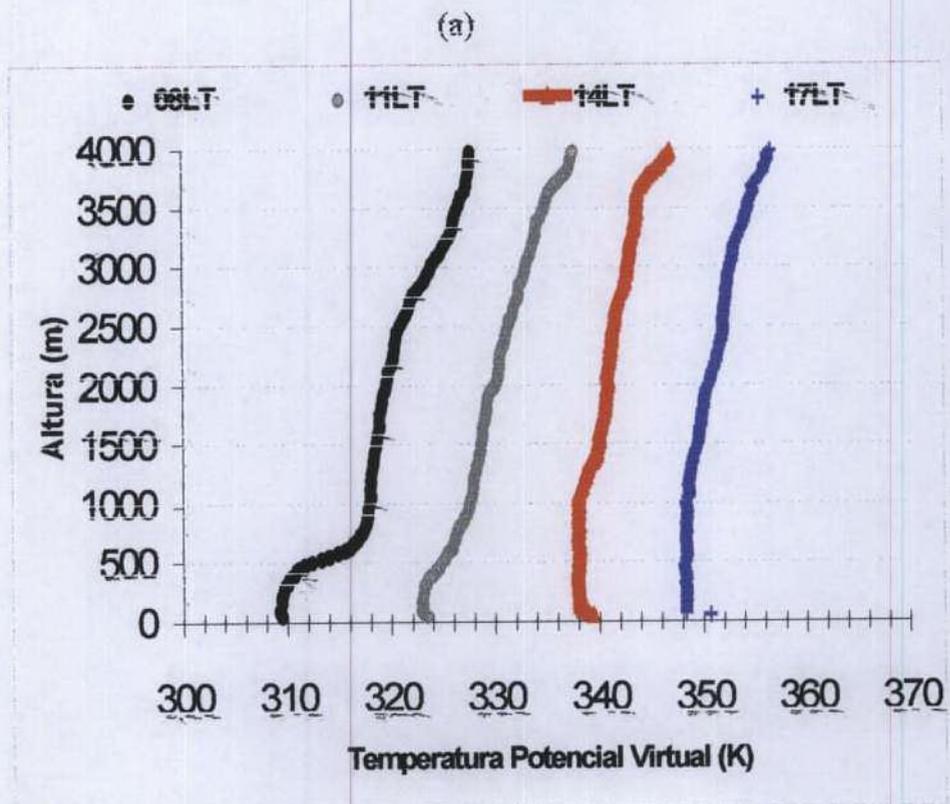


Figura 3 - Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 27/09/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

Nas Figuras 4a e 4b são apresentados os perfis de  $\theta_v$  no dia 29/09/02 para as áreas de floresta e de pastagem respectivamente. Na floresta, a CLC possui altura de 248m às 08HL, com  $\theta_v$  média de 298,66K (25,6°C) apresentando uma CE acima. Às 11HL a camada desenvolve-se até 425m (taxa de crescimento de 62m.h<sup>-1</sup>). Após esse horário a camada continua a crescer, alcançando a altura de 1157m (às 14HL) e diminuindo em seguida (1144m às 17HL). Com relação a pastagem o crescimento da CLC ocorre de uma maneira bem peculiar: a altura da CLC é de 175m às 08HL, com  $\theta_v$  média de 299,81K (26,8°C). Nos horários subseqüentes, a altura desenvolve-se até 925m (às 11HL), 1112m (às 14HL) e atingindo a altura final de 1269m às 17HL. Nesse horário, tanto na floresta como na pastagem, nota-se a ocorrência de uma CE. A taxa de crescimento é maior entre às 11 e às 14HL (163m.h<sup>-1</sup>) quando os fluxos de energia atingem seus valores máximos. A maior diferença entre a floresta e a pastagem (-0,26K) ocorreu às 11HL e a média geral de  $\theta_v$  na floresta é de 308,43K ( $\pm 1,36$ ) e na pastagem é de 309,12K ( $\pm 1,12$ ).

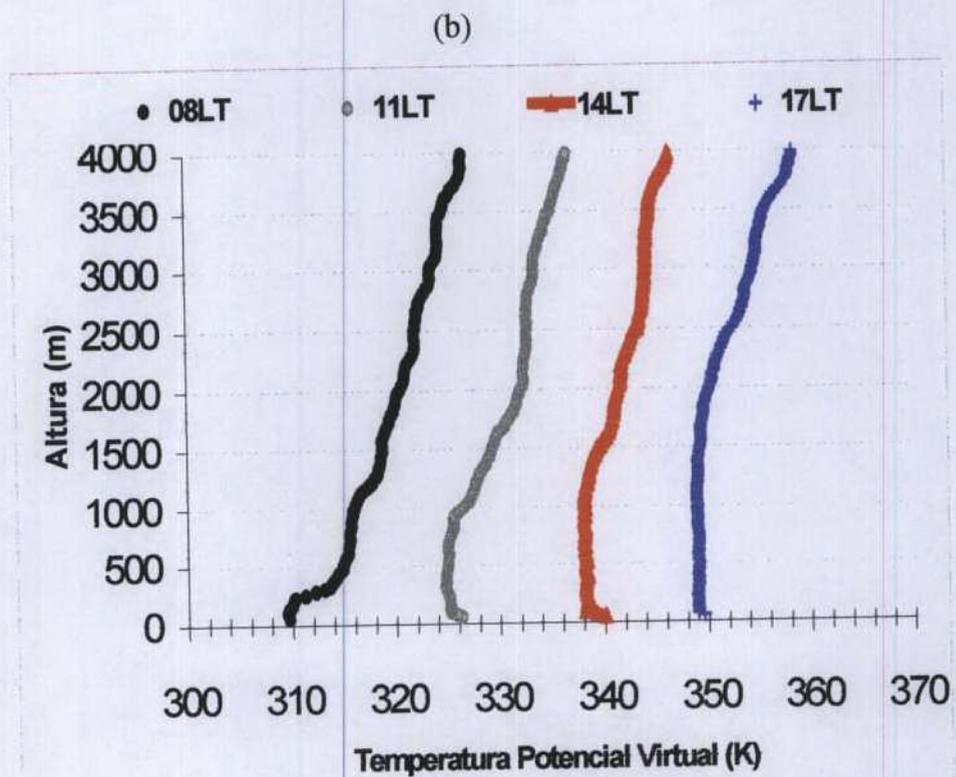
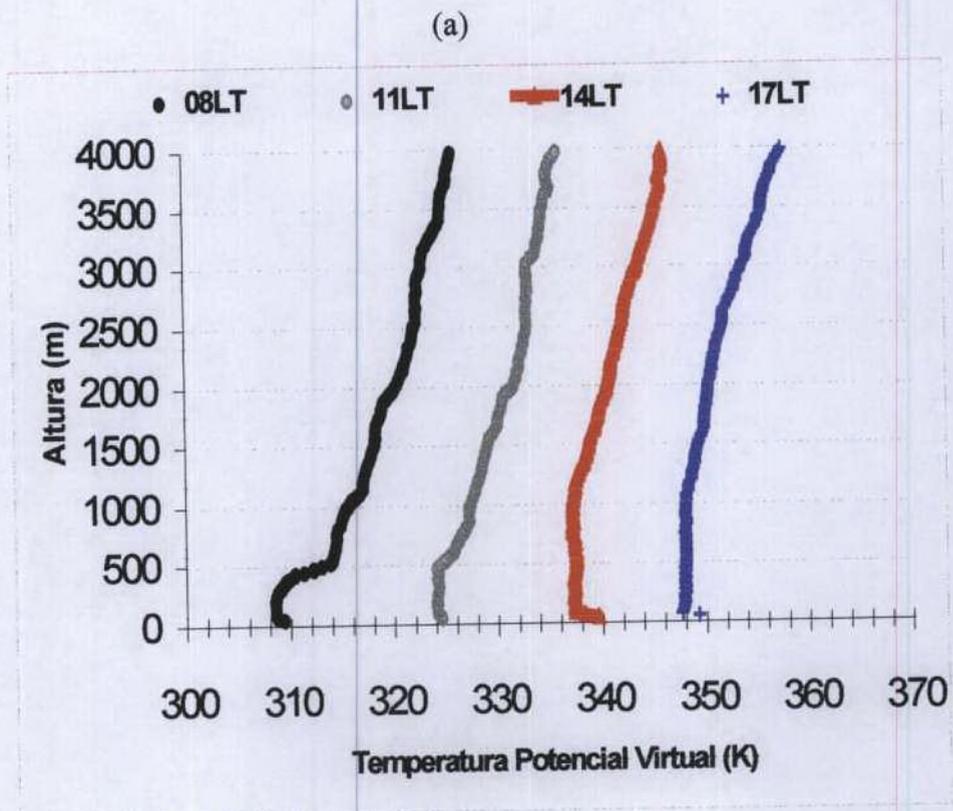


Figura 4 - Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 29/09/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

A Figura 5 mostra os perfis de  $\theta_v$  na floresta (a) e na Pastagem (b) para o dia 15/10/2002. Observa-se que tanto na floresta quanto na pastagem o desenvolvimento da CLC é clássico. Observamos que no perfil das 08HL a CLC na floresta se desenvolveu mais rápido atingindo 288m enquanto que na pastagem ela é um pouco menor (208m) apresentando uma CE acima nos dois sítios. Nos horários seguintes, após a quebra da inversão próxima da superfície, ela continua se desenvolvendo e atinge alturas de 582m às 11HL na floresta e de 709m na pastagem. Às 14HL a camada continua a crescer chegando a 1027m na floresta (com taxa de crescimento de  $148\text{m.h}^{-1}$  e de aquecimento de  $0,21\text{K.h}^{-1}$ ) e 918m na pastagem (com taxa de crescimento de  $70\text{m.h}^{-1}$  e de aquecimento de  $0,13\text{K.h}^{-1}$ ) e no final da tarde ela alcança 1174m (com taxa de crescimento de  $49\text{m.h}^{-1}$ ) na floresta apresentando uma CE e 1425m (com taxa de crescimento de  $169\text{m.h}^{-1}$ ) na pastagem. A média geral de  $\theta_v$  na floresta é de  $308,65\text{K} (\pm 0,68)$  e de  $310,10\text{K} (\pm 1,01)$  na pastagem. A maior diferença entre os sítios é de  $-1,12\text{K}$  às 08HL.

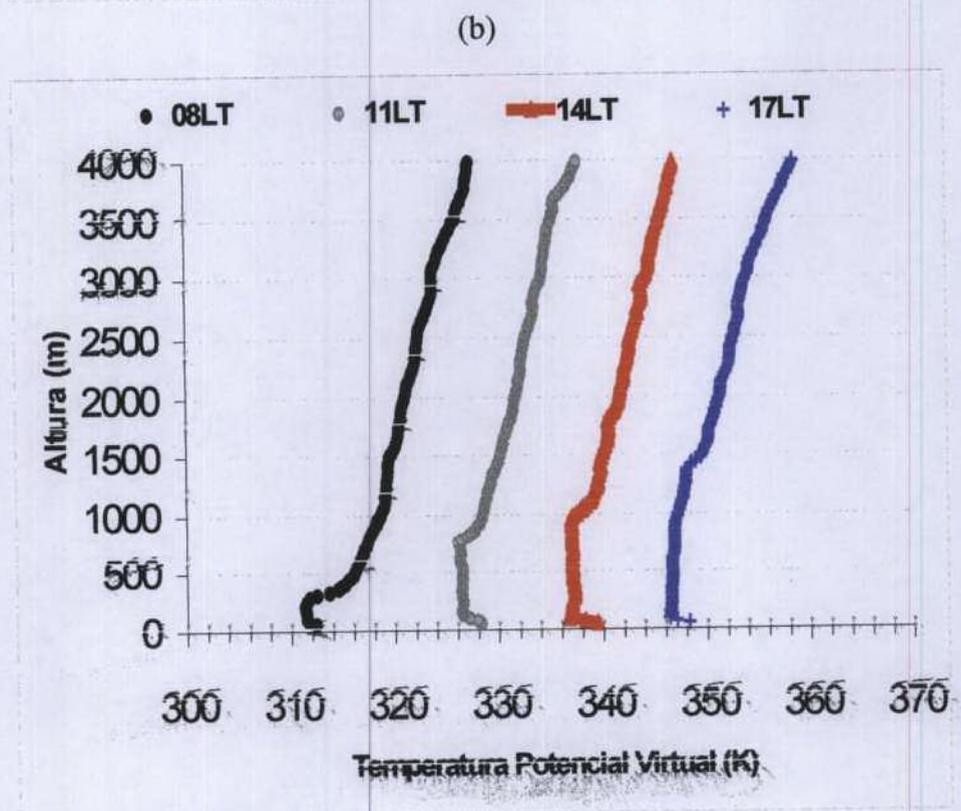
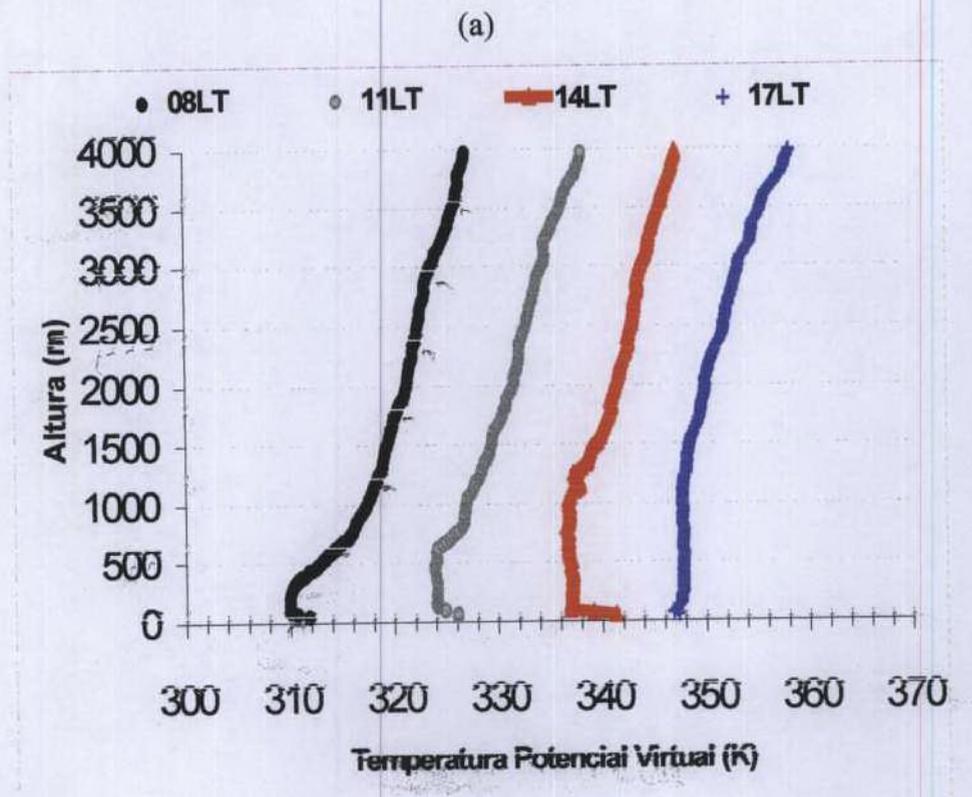


Figura 5 - Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 15/10/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

Os perfis de  $\theta_v$  na floresta (a) e na pastagem (b) para o dia 16/10/2002 nos horários analisados são mostrados na Figura 6. A altura da CLC sobre a área de floresta inicia-se com 150m de profundidade às 08HL, com  $\theta_v$  de 300,24K (27,4°C), crescendo para 675m às 11HL (com taxa de crescimento de 175m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,38K.h<sup>-1</sup>). Em seguida, com uma taxa de crescimento menor (160m.h<sup>-1</sup>), a camada atinge a altura de 1154m às 14HL. As 17HL ela alcança o valor de 1380m (com uma taxa de crescimento de 75m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,03K.h<sup>-1</sup>). Observa-se nesse horário um pequeno resfriamento da camada próximo da superfície. Com relação a pastagem a altura inicial da CLC às 08HL é mais baixa (100m), mas rapidamente ela atinge valores de 600m às 11HL (com taxa de crescimento de 167m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,38K.h<sup>-1</sup>), 1164m às 14HL e crescendo até 1675m (às 17HL). A maior taxa de aquecimento na pastagem (0,46K.h<sup>-1</sup>) ocorreu entre às 11HL e 14HL. A média geral de  $\theta_v$  na floresta é de 308,34K ( $\pm 0,55$ ) e na pastagem é de 309,01K ( $\pm 1,34$ ) e a maior diferença entre os dois sítios é de 0,16K.

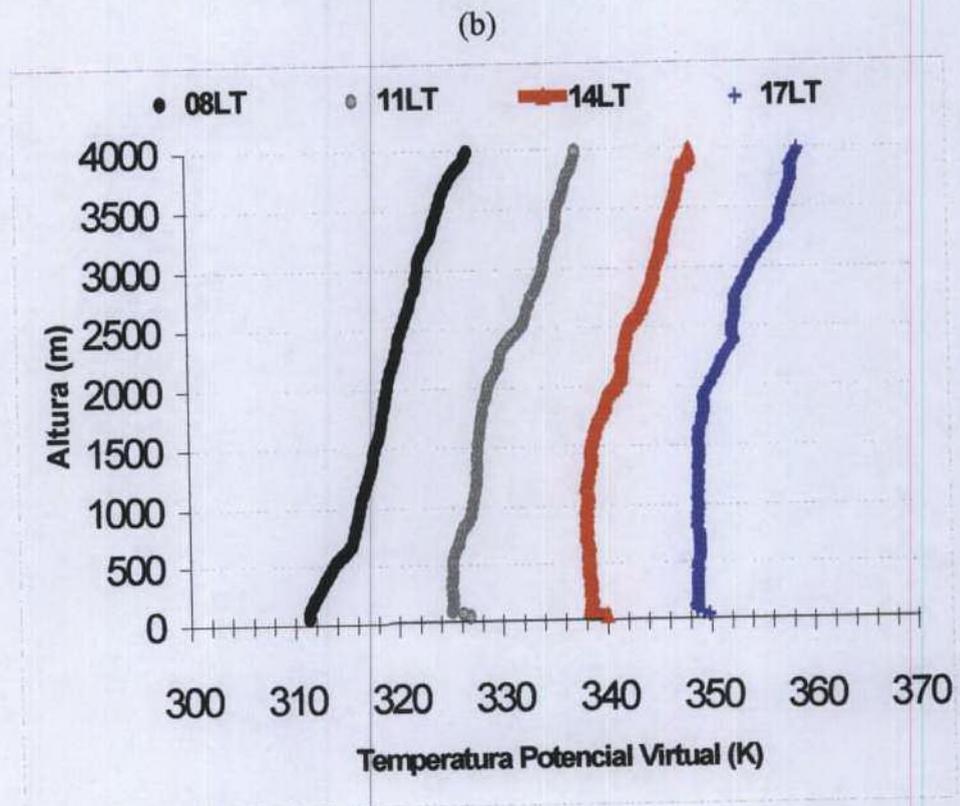
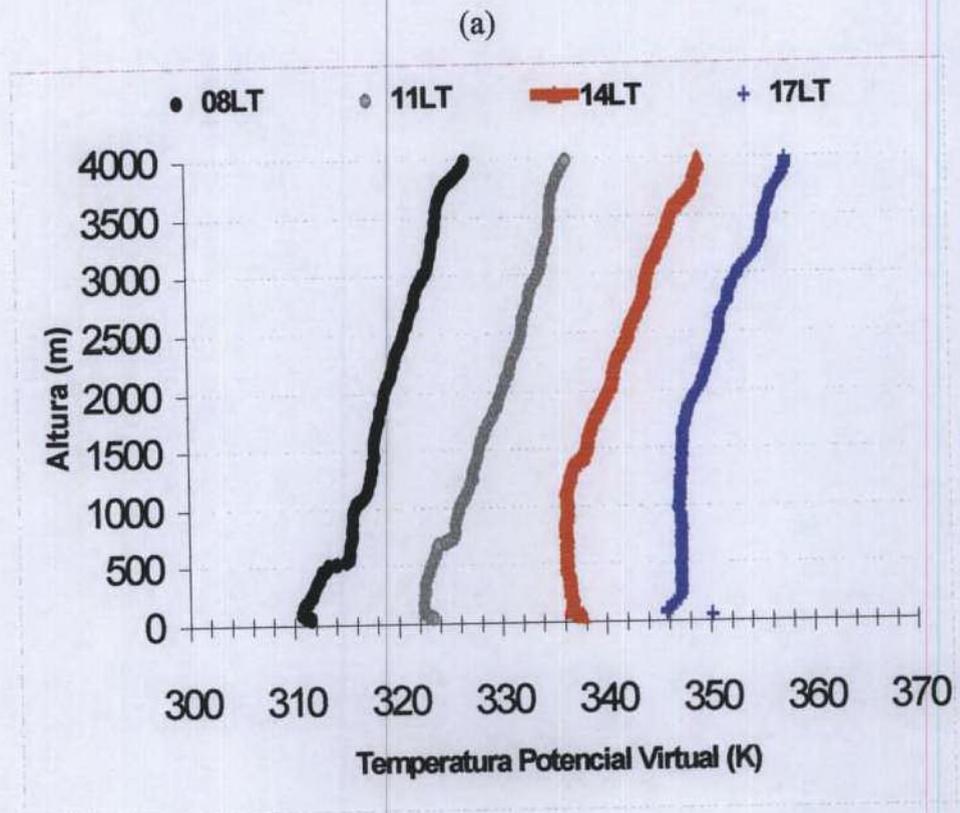


Figura 6 - Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 16/10/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

A Figura 7 mostra os perfis de  $\theta_v$  na floresta (a) e na pastagem (b) para o dia 17/10/2002 nos horários 08, 11, 14 e 17HL. Com relação a floresta a altura da CLC às 08HL era de 300m com  $\theta_v$  médio de 300,42K (27,4°C) aprofundando-se para 400m às 11HL (com taxa de crescimento de 33m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,36K.h<sup>-1</sup>), 925m às 14HL (com taxa de crescimento de 175m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,6K.h<sup>-1</sup>). No perfil das 17HL a altura da camada atingiu 1025m (com taxa de crescimento de 33m.h<sup>-1</sup>) ocorrendo um pequeno resfriamento de 0,02K.h<sup>-1</sup> e observa-se uma CE neste horário. Na pastagem, o desenvolvimento da CLC às 08HL apresenta um crescimento inferior ao da floresta (83m) aprofundando-se com o tempo atingindo a altura de 831m às 11HL (com taxa de crescimento de 249m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,25K.h<sup>-1</sup>). Continuou crescendo até atingir 1370m às 14HL (com taxa de crescimento de 180m.h<sup>-1</sup> e de aquecimento de 0,49K.h<sup>-1</sup>) diminuindo em seguida para 429m (com taxa de diminuição de 314m.h<sup>-1</sup>) ocorrendo, assim como na floresta, um resfriamento, só que bem maior de 0,4K.h<sup>-1</sup> nota-se, assim como na floresta, uma CE. A média geral de  $\theta_v$  na floresta é de 308,37K ( $\pm 1,41$ ) e na pastagem é de 308,78K ( $\pm 0,92$ ) e a maior diferença entre os sítios é de 0,71K às 17HL.

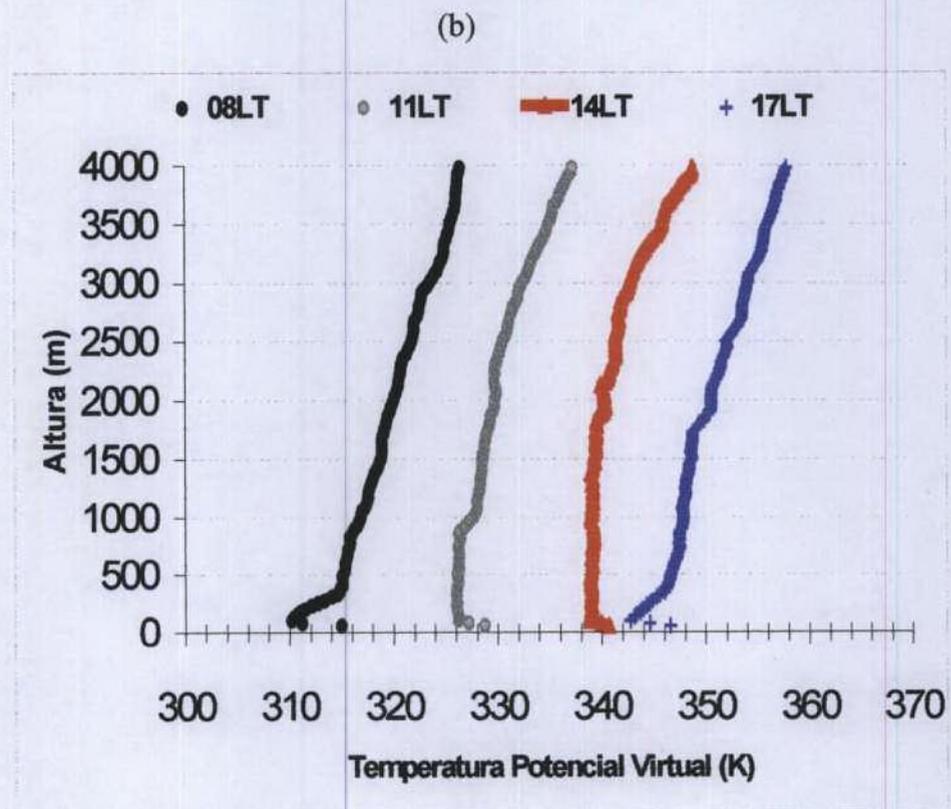
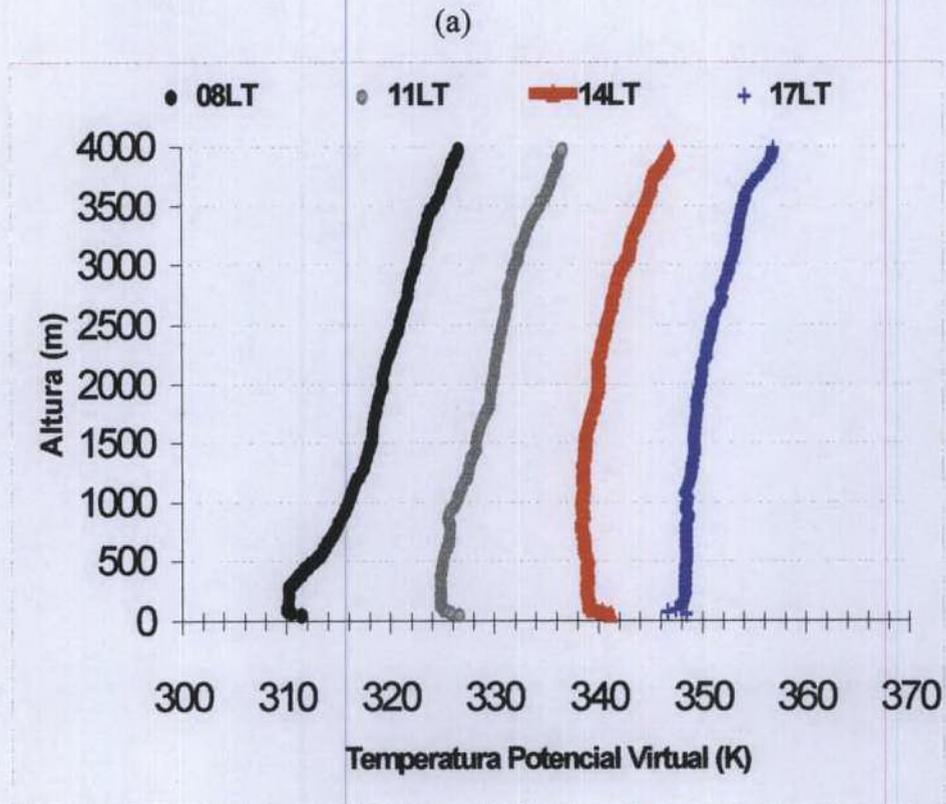
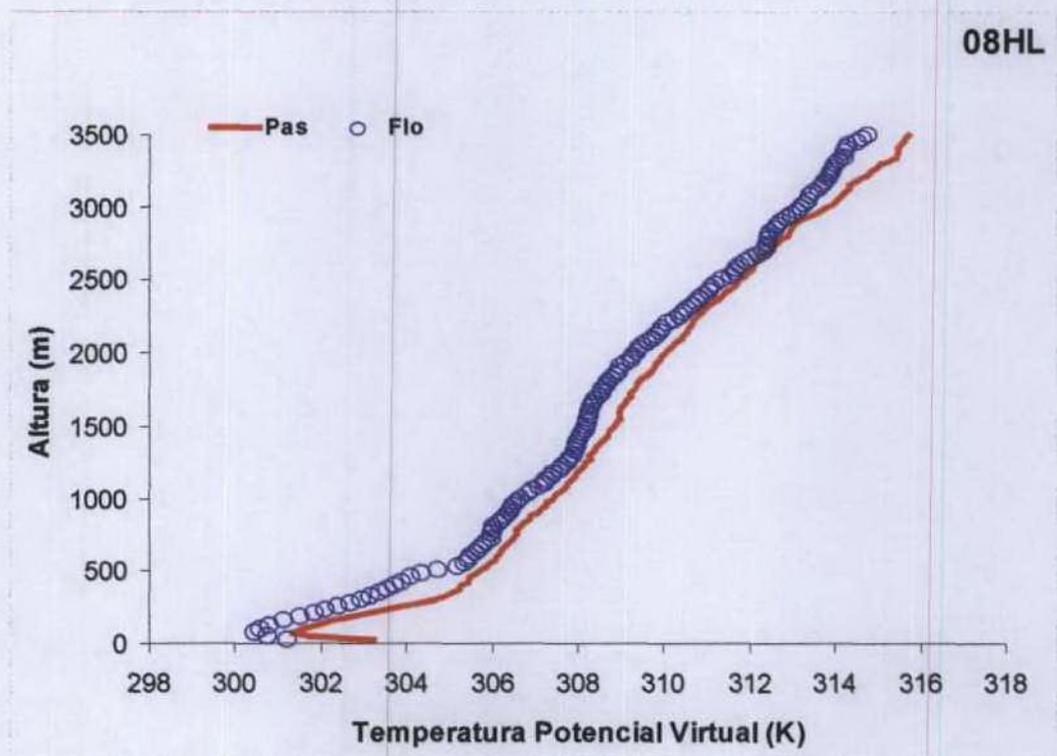


Figura 7 - Perfis médios da temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) para o dia 17/10/2002 na floresta (a) e na pastagem (b) nos horários 08, 11, 14 e 17HL.

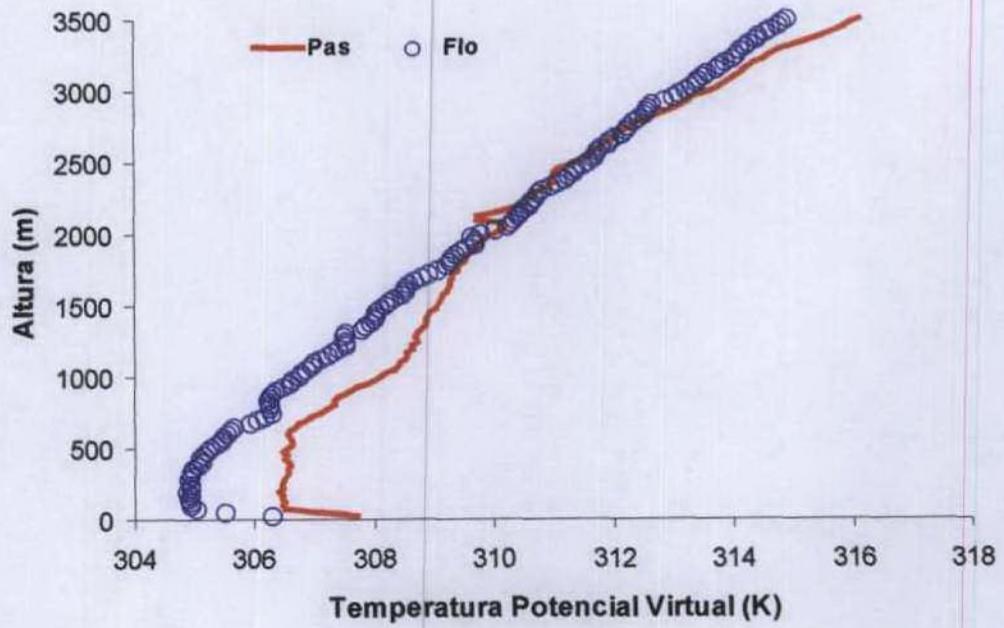
## APÊNDICE D

Perfis Médios de  $\theta_v$  (Dias com e sem a ocorrência de Camada Estável às 17HL)

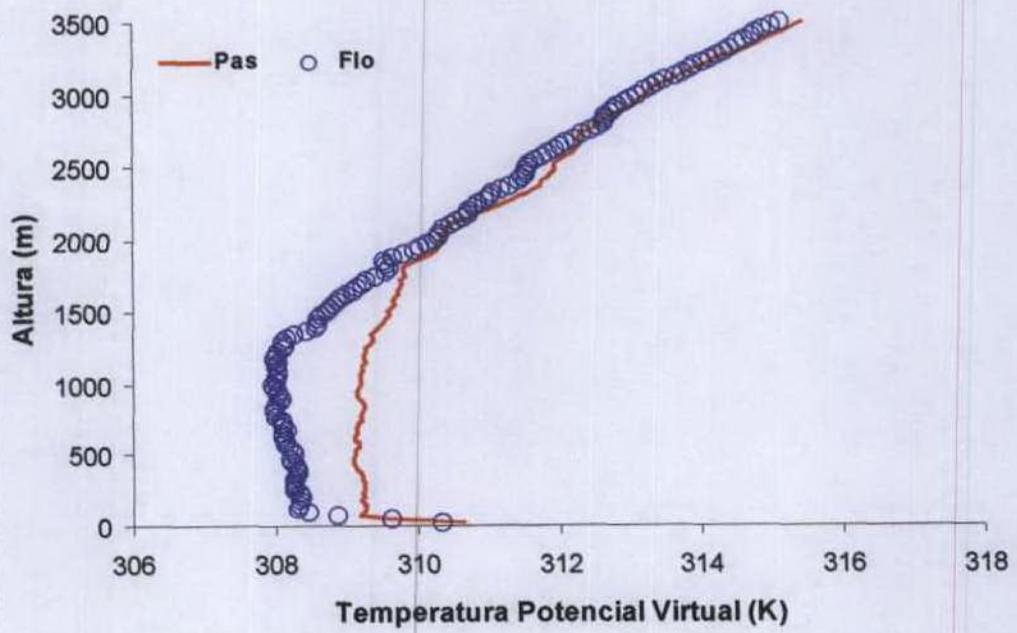
➤ Dias com Camada Estável

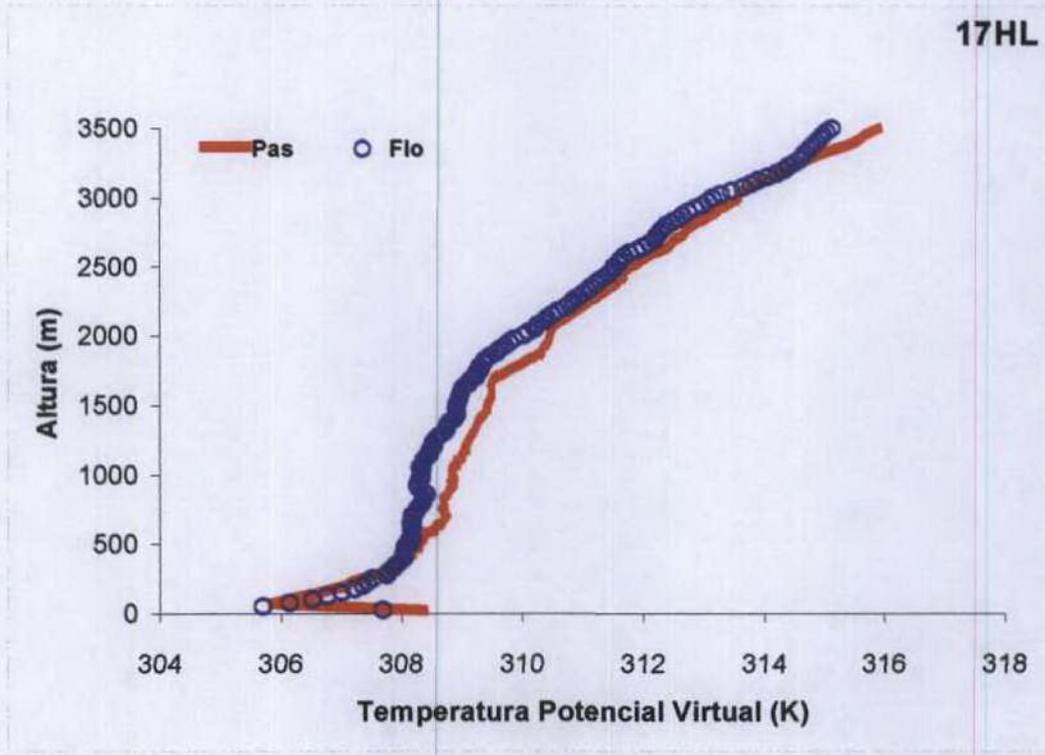


11HL

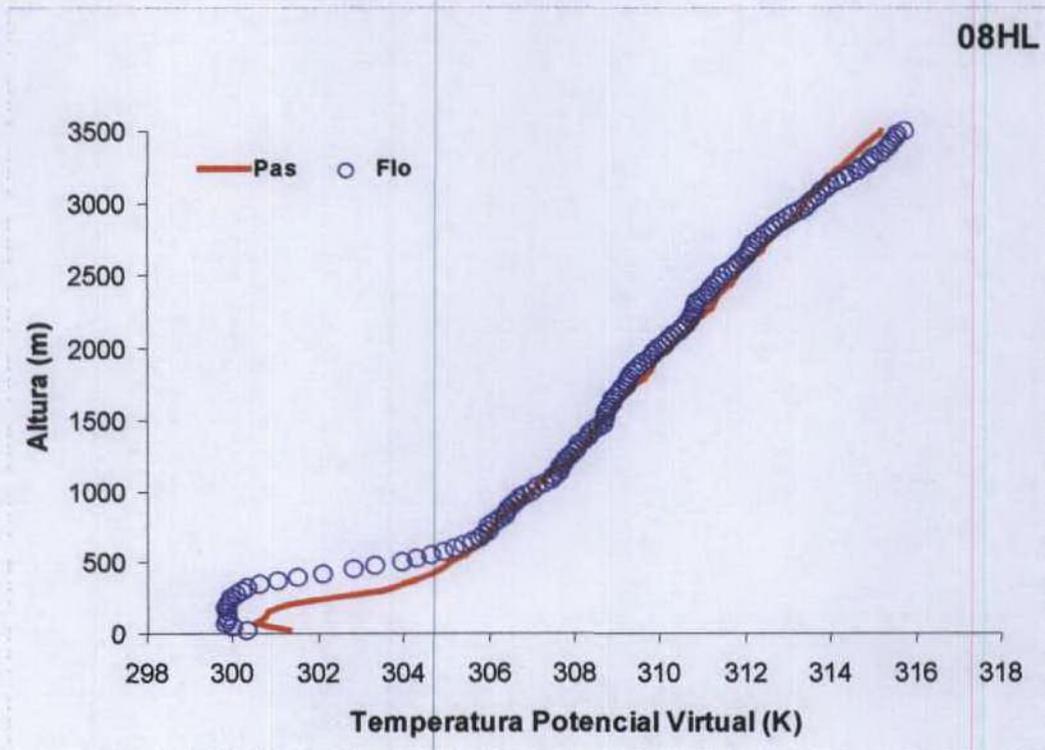


14HL

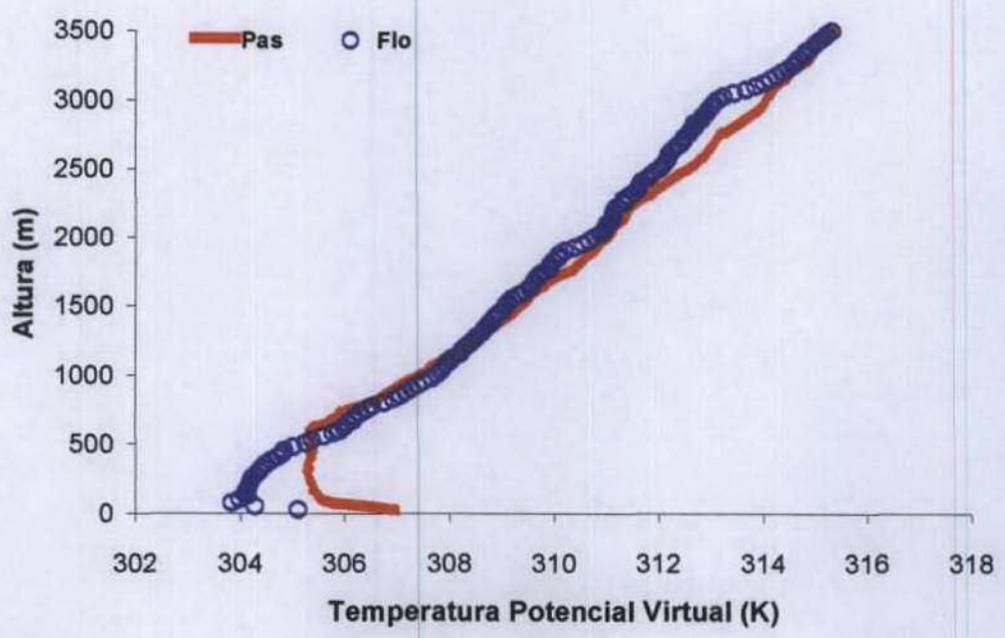




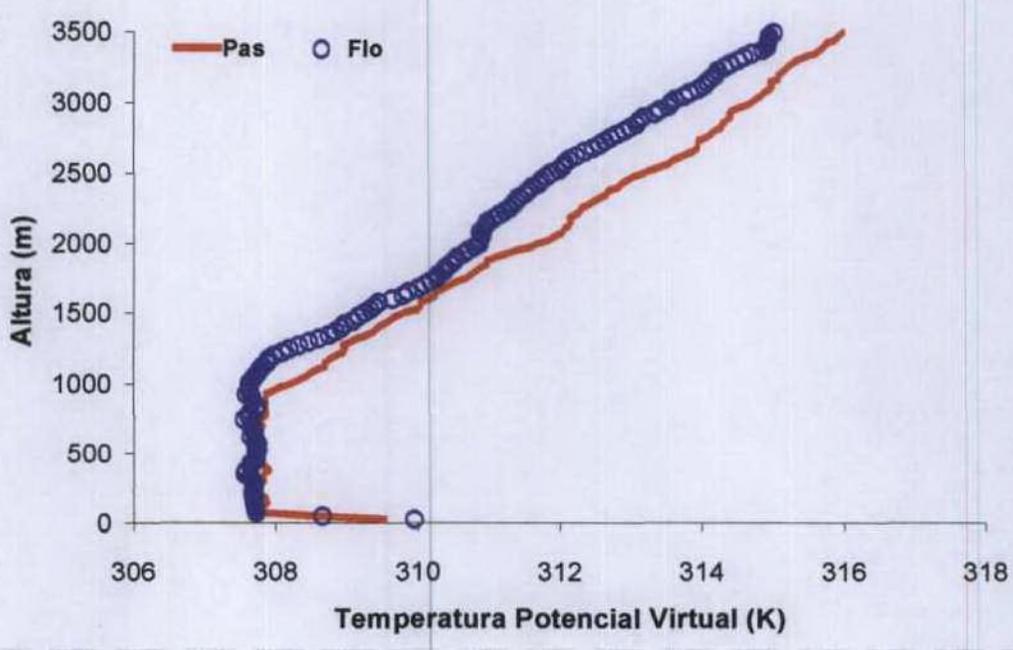
➤ **Dias sem Camada Estável**



11HL



14HL



17HL

