

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-014

**Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a estação
chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM 1999**

Carlos Henrique Eça D’Almeida Rocha

Maceió, AL
2003



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

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-014

**Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a estação
chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM 1999**

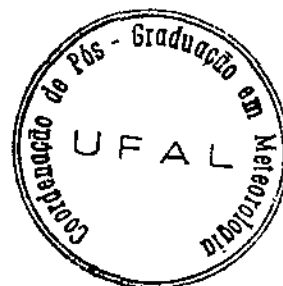
por

Carlos Henrique Eça D'Almeida Rocha

Macció, AL
2003



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



CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

“TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA DURANTE A ESTAÇÃO CHUVOSA NO OESTE DA AMAZÔNIA - LBA/TRMM 1999”.

CARLOS HENRIQUE EÇA D'ALMEIDA ROCHA

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.º de ordem: **MET-UFAL-MS-014**

Aprovada pela banca examinadora composta por:

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

Prof. Dr. Gilberto Fernando Fisch

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion

Maceió - AL

Fevereiro - 2003



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

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-014

**Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a estação
chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM 1999**

Carlos Henrique Eça D’Almeida Rocha

Dissertação apresentada ao Departamento
de Meteorologia/CCEN/ UFAL, para
obtenção do título de Mestre em
Meteorologia - Área de concentração em
Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: *Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra*
Doutor em Micrometeorologia

Maceió, AL
2003

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

R672t

Rocha, Carlos Henrique Eça D'Almeida.

Termodinâmica da camada limite atmosférica durante a estação chuvosa no oeste da Amazônia. LBA/TRMM 1999 / Carlos Henrique Eça D'Almeida Rocha. – Maceió, 2003.

xvii, 100f. : il.

Orientador: Roberto Fernando da Fonseca Lyra.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia. Maceió, 2003.

Bibliografia. f. 65-72.

Anexos: f. 73-100.

1. Meteorologia. 2. Camada limite (Meteorologia). 3. Termodinâmica atmosférica. 4. Radiossondas - Amazônia. 5. Satélite TRMM. I. Título.

CDU: 551.508 82(1-928.8)

DEDICATÓRIA

A José de Lima Filho.

Ofereço e Dedico.

Aos meus pais, Gilmar Almeida da Rocha e Leonor Eça D'Almeida Rocha aos meus irmãos Carla Maria Eça D'Almeida Rocha, Gilmar Almeida Júnior e Rosa Maira Eça D'Almeida Rocha, e, em especial a minha avó materna Idenilda Lima Eça D'Almeida (in memorian) e minha avó paterna Iracema Almeida da Rocha e a todos os meus familiares, essa é a minha família que dispenso as honrarias e benesses de amor, carinho e respeito, pois nunca me deixaram esmorecer durante esta árdua caminhada de sucesso e adversidade no meu trabalho e na minha vida.

Dedico.

PENSAMENTOS

"... -Sully, que vergonha! - disse Fernão, em tom de repreensão. - E não seja tolo! O que é que estamos tentando praticar todos os dias? Se nossa amizade depender de coisas como espaço e tempo, então, quando finalmente dominarmos os dois, teremos destruído nossa fraternidade! Mas, supere o espaço e tudo que nos sobra é o Aqui. Supere o tempo, e tudo que nos resta é o Agora. E entre o Aqui e o Agora, você não acha que a gente pode se ver de vez em quando? ...".

Richard Bach (Fernão Capelo Gaivota)

"O silêncio é o sol que amadurece os frutos da alma".

Maurice Maeterlinck

"A verdadeira amizade é como a saúde perfeita, seu valor raramente é reconhecido até que seja perdida".

Charles Caleb Colton

"Me apoiarei em você e você se apoiará em mim, e nós estaremos bem".

Dave Mathew's Band

"Nenhuma vitória que eu alcance no transcorrer da minha existência jamais se tornará possível sem a presença da minha família, como também dos meus amigos e até mesmo de um estranho. Sem o referencial de um, ou de outro, jamais conseguirei caracterizar a minha própria personalidade e o meu caráter".

José Francisco de Oliveira Júnior

"Queres saber? Estuda. Queres saber mais? Escolhe um bom mestre. Queres saber ainda mais? Ensina aos outros o que aprendeste".

Chiara Lubich

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, pelo apoio e incentivo dados a mim durante a minha trajetória no curso.

Ao meu orientador *Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra*, pelo empenho, orientação, dedicação e sobre tudo paciência no encaminhamento deste trabalho no qual foi sem dúvida imprescindível em minha formação como um profissional qualificado.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), por ter me concedido o financiamento da minha Pós-Graduação, através da bolsa de mestrado.

A todo o corpo docente do Departamento de Meteorologia que, de uma forma ou de outra, são responsáveis pela minha formação acadêmica: *Dr. Marcos Antônio Lima Moura e Msc. Frederico Tejo Di Pace, Msc. Marco Antônio Maringolo Lemes, Dr. José Leonaldo de Souza, Esp. Hélio Soares Gomes, Msc. Elenice Lucas Di Pace, Dr. Manoel Ferreira do Nascimento, Dr. Manoel Toledo da Rocha, Esp. Marcos Antônio Costa Gonçalves, Dr. Roberto da Fonseca Lyra, Dr. Luís Carlos Baldicero Molion, Esp. José Clênio de Oliveira e Salomão Brito (in memorian).*

Ao educador e sobre tudo amigo *Prof. José Lima Filho*, por todos os ensinamentos que até hoje fazem parte de minha trajetória, não só como Meteorologista, mas também como ser humano.

Aos meus amigos *Alailson Venceslau Santiago, Gustavo Bastos Lyra, José Luiz Cabral Júnior, Ednaldo Santos de Oliveira, José Francisco de Oliveira Junior e Georgénes Hilário Cavalcante Segundo* por serem companheiros, amigos e solidários dentro e fora da Escola de Meteorologia.

Ao meu novo amigo da pós-graduação *Alessandro Sarmiento Cavalcanti*, e os demais colegas de turma: *Mauro Mendonça da Silva, Cleber Leite, Fabiana Carnaúba, Erickson*, pelo coleguismo demonstrado em nossa turma de Mestrado. Aos meus novos amigos da pós-graduação *Ana Beatriz, Virginia*, pelo companheirismo e incentivo no Mestrado em Meteorologia da UFAL.

Aos meus amigos, *Alexandre Santos Silva, Alexandre Soares dos Santos, Paulo José dos Santos, Andréa Sales Reis, Fernando Antônio Milito, Hélio Fabio Gomes Barros, Ranieri Carlos, Rosiberto Salustiano, Monique Daniely, Juliane Kayse de Albuquerque, Taciana Toledo de Albuquerque, Hewlley Maria Imbuzeiro*, que me deram apoio e estímulo durante o desenrolar da minha vida acadêmica.

Aos meus amigos que não fazem parte desta Universidade, mas não esquecidos. Marcelo de Alarcão Aiála Ávila, Marcelo de Oliveira e os demais que não foram citados, mas que merecem todo o meu respeito e admiração.

Aos que fazem parte da equipe de trabalho e que tanto me ajudaram para a realização deste. Christiane Cavalcante Leite e Ana Elizabethe da Silva.

Agradeço.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	III
PENSAMENTOS	IV
AGRADECIMENTOS	V
LISTA DE SIGLAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE EQUAÇÕES	XV
RESUMO	XVI
ABSTRACT	XVII
 <u>1 – INTRODUÇÃO</u>	 1
 <u>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	 3
2.1 - Consequências do desmatamento na estação seca	3
2.2 - <u>Aspectos conceituais da CLA</u>	5
2.2.1 - <u>Camada Limite Atmosférica (CLA)</u>	6
2.3 - Experimentos na Floresta Amazônica	10
 <u>3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u>	 15
3.1 - Sítios Experimentais	15
3.2 - Climatologia da Região	16
3.3 - Aspecto Sinóticos durante o LBA/TRMM (1999)	17
3.4 - Dados	18
3.4.1 - <u>Dados de superfície</u>	18
3.4.2 - <u>Dados de radiossondagem</u>	19
3.5 - Parâmetros Calculados	19
3.6 - Determinação da Altura da CLA (Zi)	21
3.7 - Valores Médios dentro da CLA	24
 <u>4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	 27
4.1 - Variação das Variáveis na Superfície	27
4.1.1 - <u>Precipitação</u>	27
4.1.2 - <u>Saldo de Radiação (Rn)</u>	30
4.1.3 - <u>Temperatura do Ar</u>	33
4.1.4 - <u>Umidade Relativa</u>	35

4.2 - Comparação Floresta e Pastagem.....	38
4.2.1 - <u>Camada Limite Convectiva (CLC)</u>	38
4.2.1.1 - Variação das variáveis médias dentro CLC.....	39
4.2.1.1.1 - Temperatura Potencial Virtual Média ($\overline{\Theta_v}$).....	39
4.2.1.1.2 - Gradiente Vertical de Temperatura Potencial Virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$).....	40
4.2.1.1.3 - Vento.....	41
4.2.1.1.4 - Umidade Específica Média ($\overline{q}$).....	43
4.2.2 - <u>Camada Limite Noturna (CLN)</u>	43
4.2.2.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLN.....	45
4.2.2.1.1 - Temperatura Potencial Virtual Média ($\overline{\Theta_v}$).....	45
4.2.2.1.2 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$).....	46
4.2.2.1.3 - Vento.....	47
4.2.2.1.4 - Umidade Específica ($\overline{q}$).....	48
4.3 - Comparação entre a estações Seca (RBLE 3-1994) e Chuvosa (LBA/TRMM-1999).....	50
4.3.1 - <u>Sítio Pastagem</u>	50
4.3.1.1 - Camada Limite Convectiva (CLC).....	50
4.3.1.1.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLC.....	52
4.3.1.1.1.1 - Temperatura Potencial Média ($\overline{\Theta}$).....	52
4.3.1.1.1.2 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$).....	53
4.3.1.1.1.3 - Velocidade do Vento.....	53
4.3.1.1.1.4 - Umidade Específica ($\overline{q}$).....	54
4.3.1.2 - Camada Limite Noturna (CLN).....	55
4.3.1.2.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLN.....	56
4.3.2 - <u>Sítio Floresta</u>	56
4.3.2.1 - Camada Limite Convectiva (CLC)	56
4.3.2.1.1- Variação das variáveis médias dentro da CLC.....	58
4.3.2.1.1.1 - Temperatura Potencial ($\overline{\Theta}$).....	58
4.3.2.1.1.2 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$).....	59
4.3.2.1.1.3 - Velocidade do Vento.....	59
4.3.2.1.1.4 - Umidade Específica ($\overline{q}$).....	60
4.3.2.2 - Camada Limite Noturna (CLN).....	61
4.3.2.2.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLN.....	62
<u>5 – CONCLUSÕES</u>.....	63
<u>6 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</u>.....	65
<u>ANEXOS</u>.....	73

Anexo 1 - Características da CLA na pastagem e floresta.....	74
Anexo 2 - Sondagens utilizadas na comparação das alturas da CLA para Ouro Preto (Pastagem) e Rebio (Floresta) durante o LBA/TRMM (1999).....	94
Anexo 3 - Valores médios da CLC na floresta e pastagem durante o LBA/TRMM (1999).....	95
Anexo 4 - Valores médios da CLN na floresta e pastagem durante o LBA/TRMM (1999).....	96
Anexo 5 - Perfis médios de Θ_v nos primeiros 3000m na Pastagem (azul) e Floresta (vermelho) durante a estação chuvosa.....	97
Anexo 6 - Perfis médios de "q" nos primeiros 3000m na Pastagem (azul) e Floresta (vermelho) durante a estação chuvosa.....	98
Anexo 7 - Valores médios da CLC na Pastagem durante a estação Seca (RBLE 3 - 1994) e chuvosa (LBA/TRMM - 1999).....	99
Anexo 8 - Valores médios da CLC na Floresta durante a estação Seca (RBLE 3 - 1994) e chuvosa (LBA/TRMM - 1999).....	100

LISTA DE SIGLAS

ABLE	Atmospheric Boundary Layer Experiment
ABRACOS	Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLC	Camada Limite Convectiva
CLE	Camada Limite Estável
CLN	Camada Limite Noturna
CLP	Camada Limite Planetária
CLS	Camada Limite Superficial
CM	Camada de Mistura
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CR	Camada Residual
DECAFE	Dinamic et Chimie de l'Atmosphère en Forêt Equatoriale
EMAS	Estações meteorológicas automáticas de superfície
HL	Hora Local
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LBA	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
RBLE	Rondonia Boundary Layer Experiment
REBIO	Reserva Biológica do Rio Jarú
SiBs	Simple Biosphere Model
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TMG	Tempo Médio de Greenwich
VIHMEX	Venezuelan International Meteorological and Hydrological Experiment
ZE	Zona de Entranhamento
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

v	Componente meridional do vento	$[m.s^{-1}]$
u	Componente zonal do vento	$[m.s^{-1}]$
dd	Direção do vento	$[^{\circ}]$
P	Pressão atmosférica	$[mb]$
e	Pressão parcial de vapor	$[mb]$
e_w	Pressão de vapor de saturação	$[mb]$
r	Razão de mistura	$[g\ kg^{-1}]$
q	Umidade específica	$[g\ kg^{-1}]$
T	Temperatura do ar	$[^{\circ}C]$
θ	Temperatura potencial	$[K]$
θ_v	Temperatura potencial virtual	$[K]$
R_a	Constante específica do ar seco	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$
R_n	Saldo de radiação	$[W.m^{-2}]$
CP_a	Calor específico a pressão constante do ar seco	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$
U	Umidade relativa	$[\%]$
ff	Velocidade do vento	$[m.s^{-1}]$
Z_i	Altura da Camada Limite Atmosférica	$[m]$
Z_{im}	Altura Média da Camada Limite Atmosférica	$[m]$
$d\theta_v/dz$	Gradiente vertical da temperatura potencial virtual	$[K.km^{-1}]$
dq/dz	Gradiente vertical da umidade específica	$[g\ kg^{-1}.km^{-1}]$

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão da troposfera em duas partes: camada limite atmosférica e atmosfera livre.....	6
Figura 2 - Evolução diária da CLA.....	9
Figura 3 - Localização dos sítios experimentais: Floresta (Reserva Biológica do Jarú) e Pastagem (Fazenda Nossa Senhora).....	16
Figura 4 - Perfis de TPV virtual média ($\bar{\theta}_v$), vento médio ($\bar{u}$), umidade específica (q) e concentração de poluentes (C), durante o dia (CLC).....	22
Figura 5 - Perfil vertical da temperatura potencial virtual (à esquerda) e umidade específica, direção e velocidade do vento (à direita), para o dia 29/01/1999 às 17HL, no Sítio Pastagem. A linha pontilhada é a altura determinada para a CLC (Z_i).....	23
Figura 6 - Precipitação diária na pastagem entre os dias 07 e 22 de Fevereiro de 1999.....	28
Figura 7 - Precipitação diária na floresta entre os dias 30 de Janeiro até 21 de Fevereiro de 1999.....	29
Figura 8 - Ciclo diário da Precipitação na pastagem e floresta entre os dias 07 e 21 de Fevereiro de 1999.....	30
Figura 9 - Saldo de radiação diário entre os dias 07 e 22 de Fevereiro de 1999 na Pastagem.	30
Figura 10 - Saldo de radiação diário na floresta entre os dias 30 de Janeiro e 21 de Fevereiro de 1999.....	31
Figura 11 - Ciclo diário do Saldo de radiação na pastagem e floresta entre os dias 07 e 21 de Fevereiro de 1999.....	32
Figura 12 - Temperatura diária na pastagem entre os dias 07 e 21 de Fevereiro de 1999.....	33
Figura 13 - Temperatura diária na floresta entre os dias 30 de Janeiro e 21 de Fevereiro de 1999.....	34
Figura 14 - Ciclo diário médio da temperatura do ar na pastagem e floresta no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.....	34
Figura 15 - Umidade relativa do ar diária na pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.....	35
Figura 16 - Umidade relativa do ar diária na floresta no período de 30 de Janeiro a 21 de fevereiro de 1999.....	36
Figura 17 - Ciclo diário médio da umidade relativa do ar na pastagem e floresta no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.....	37
Figura 18 - Evolução Z_{im} da CLC durante o LBA/TRMM (1999) na Pastagem e Floresta.	38
Figura 19 - Comparação da Temperatura Potencial Virtual média no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	40
Figura 20 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual média no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	41
Figura 21 - Velocidade média do vento no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	42
Figura 22 - Direção média do vento no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	42

Figura 23 - Umidade Específica média no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	43
Figura 24 - Evolução da altura da CLN durante o LBA/TRMM-(1999) na Pastagem e Floresta.....	44
Figura 25 - Comparação da Temperatura Potencial Virtual média no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	45
Figura 26 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual média no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	46
Figura 27 - Velocidade média do vento no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	47
Figura 28 - Direção média do vento no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	48
Figura 29 - Umidade Específica média no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	49
Figura 30 - Evolução da altura da CLC na pastagem para a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	50
Figura 31 - Temperatura Potencial Média da CLC na pastagem durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	52
Figura 32 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual da CLC na pastagem para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	53
Figura 33 - Velocidade do Vento na CLC da pastagem durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	54
Figura 34 - Umidade Específica na CLC da pastagem durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	54
Figura 35 - Evolução da altura da CLN, na pastagem, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	55
Figura 36 - Evolução da altura da CLC na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	56
Figura 37 - Temperatura Potencial Média da CLC na floresta durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	58
Figura 38 - Gradiente Vertical da Temperatura Potencial Virtual da CLC na floresta para estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	59
Figura 39 - Velocidade do Vento na CLC da floresta durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	60
Figura 40 - Umidade Específica na CLC da floresta durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	60
Figura 41 - Evolução da altura da CLN, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de sondagens utilizadas para o calculo da Z_{im} para a estação chuvosa (LBA) na Pastagem.....	24
Tabela 2 - Total de sondagens utilizadas para o calculo da Z_{im} para a estação chuvosa (LBA) na Floresta.....	24
Tabela 3 - Total de sondagens utilizadas para a comparação dos dois sítios na estação chuvosa (LBA-1999).	26
Tabela 4 - Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLC para pastagem e a floresta (LBA/TRMM (1999))	39
Tabela 5 - Desvios padrões de Z_{im} normalizados pela média da CLC para a pastagem e floresta (LBA/TRMM (1999)).....	39
Tabela 6 - Taxa de aquecimento ($m.h^{-1}$) médio da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	40
Tabela 7 - Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLN para pastagem e a floresta (LBA/TRMM (1999)).....	44
Tabela 8 - Desvios padrões de Z_i normalizados pela média da CLN para a pastagem e floresta (LBA/TRMM (1999)).....	45
Tabela 9 - Taxa de resfriamento ($K.h^{-1}$) médio da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).....	46
Tabela 10 - Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLC, na pastagem, para a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	51
Tabela 11 - Desvios padrões de Z_i normalizados pela média, na pastagem, durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	51
Tabela 12 -Taxa de aquecimento da CLC na pastagem durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	53
Tabela 13 - Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLN, na pastagem, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	55
Tabela 14 - Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLC, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	57
Tabela 15 - Desvios padrões normalizados pela média da CLC, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	57
Tabela 16 - Taxa de aquecimento da CLC na floresta durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).....	58
Tabela 17 - Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLN, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e LBA/TRMM (1999).....	61

LISTA DE EQUACÕES

Eq. 1	Temperatura potencial.....	20
Eq. 2	Pressão de vapor de saturação.....	20
Eq. 3	Pressão parcial de vapor.....	20
Eq. 4	Razão de mistura.....	21
Eq. 5	Temperatura potencial virtual.....	21
Eq. 6	Umidade específica.....	21
Eq. 7	Componente meridional e zonal do vento.....	21
Eq. 8	O gradiente vertical de θ_v	22
Eq. 9	Recomposição da velocidade do vento.....	25
Eq. 10	Recomposição da direção do vento 1.....	25
Eq. 11	Recomposição da direção do vento 2.....	25

RESUMO

ROCHA, Carlos Henrique Eça D'Almeida Rocha. Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a estação chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM 1999. Orientador: Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra. Maceió – AL: UFAL, 2003. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)

Neste trabalho são discutidos os principais aspectos da termodinâmica da Camada Limite Atmosférica (CLA) no Oeste da Amazônia (Rondônia), durante a estação chuvosa de 1999. Os dados foram colhidos durante a campanha, LBA/TRMM Wet Season 1999 (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia / Tropical Rainfall Measurement Mission). As medidas foram realizadas em dois sítios experimentais, um no interior de uma floresta nativa ($10^{\circ}5'S$; $61^{\circ}55'W$; 120m) e o outro em área onde a floresta foi substituída por pastagem ($10^{\circ}45'S$; $62^{\circ}21'W$; 290m). Os resultados mostraram, durante a estação chuvosa, o efeito do desmatamento sobre as características termodinâmicas da CLA é pequeno, quando comparados 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 (pastagem) foi 0,7K mais quente, $0,7g.kg^{-1}$ mais úmida e menos turbulenta. Em ambos os cenários a direção do vento foi de Sudeste com força ligeiramente superiores 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 $0,5g.kg^{-1}$ mais seca. Comparando a CLA da estação chuvosa com a da estação seca verificamos que, na floresta, não há diferença significativa e que os contrastes realmente importantes são observados na pastagem.

ABSTRACT

ROCHA, Carlos Henrique Eça D'Almeida Rocha. Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a estação chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM 1999. Adviser: Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra. Maceió – AL: UFAL, 2002. Dissertation (Master in Meteorology)

In this work are discussed the main aspects of the Atmospheric Boundary Layer (ABL) thermodynamics in the West Amazonia (Rondonia State), during the wet season 1999. The data had obtained during the, LBA/TRMM wet season campaign (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia / Tropical Rain Measurement Mission). The measures was made carried through in two experimental sites. The first one, inside the native forest (10°5'S; 61°55'W; 120m) and the other one, in area where the forest was substituted by pasture (10°45'S; 62°21' W; 290m). The results had shown that, during the rainy season, the effect of the deforestation on the thermodynamic characteristics of the ABL is lower when it's compared with other studies carried during the dry season. The CBL thickness was 749m in the pasture and 747m in the forest. The Convective Boundary Layer (CBL) in the deforested region (pasture) was 0,7K hotter, 0,7g.kg⁻¹ more humid and the less turbulent. In both the sites the wind direction was Southeast with force slightly superior in the pasture. During the night, the thickness of Nocturnal Boundary Layer (NBL) in pasture was 31% minor, its more stable, hotter 0,2K and 0,5g.kg⁻¹ more dries. Comparing the ABL characteristics observed during the wet season with the one of the dry season we verify that, over the forest, it does not have significant difference and that the really important contrasts are observed over pasture.

1 - INTRODUÇÃO

A extensão do desmatamento da Floresta Amazônica tem despertado o interesse da comunidade científica mundial. Com 5.032.925km² de área total, a Floresta Amazônica é, sem dúvida, um dos maiores e mais importantes sistemas ecológicos do planeta, a mais extensa Floresta tropical da Terra e uma importante fonte de umidade e calor para os processos que comandam a Circulação Geral da Atmosfera (Molion, 1976). A Floresta Amazônica desempenha um papel ativo em relação às trocas energéticas com a atmosfera dentro do sistema solo-planta-atmosfera (Molion, 1985; Sá et al. 1986).

A partir do final dos anos 50 até a década de 70, o Governo Militar começou a estabelecer um programa de ocupação e colonização da região. Foi aí que se iniciou um processo de desmatamento acelerado e queimadas, para o manejo agrícola dos solos e construção de casas, procedimento que continua até os dias de hoje.

Foi no Estado de Rondônia onde a exploração agrícola teve maior desenvolvimento. Um exemplo disto é que, em apenas 20 anos (1975-1995), o rebanho bovino aumentou em 19.441,9% e a produção de cacau em 101.375% (Isto É, 1995). Se por um lado o cacau convive com a Floresta nativa, o contrário ocorre com o gado, o qual, em regime não confinado, exige no mínimo um hectare por cabeça, resultando em desmatamento de escala maior.

Dados recentes indicam que área já desmatada até agosto de 2000 era de 587.722km², com taxa média de desmatamento anual de 21.130km² durante o período de 1977 a 1988, chegando a um máximo de 29.059 km² durante o período de 1994 a 1995. Segundo os últimos levantamentos, a taxa anual foi de 18.226km². ano⁻¹ entre os anos de 1999 e 2000 (INPE, 2002). Do ponto de vista meteorológico, o desmatamento desordenado da Amazônia afeta processos físicos e químicos superficiais e os movimentos atmosféricos em micro, meso e grande escalas.

Além de por em risco os ecossistemas, as alterações na cobertura do solo, nesse caso a vegetação natural (Floresta) sendo substituída por vegetação de pequeno porte, tais como gramíneas e culturas agrícolas, alteram as trocas energéticas entre solo-vegetação-atmosfera podendo, assim, ter efeitos no clima regional (André et al., 1988; Monteny & Casenave, 1989; Nobre et al., 1991).

Vários experimentos foram realizados na região Amazônica com o objetivo de compreender e avaliar o impacto dessas alterações no clima local, regional e global. Dentre eles, podem ser citados: O ARME "Amazon Region Micro-meteorology Experiment", (Shuttleworth et al., 1987, 1991) ABLE 2A e 2B "Amazonia Boundary Layer Experiment" (Harris et al.,

1987) o ABRACOS 1990-1995 “Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study” (Gash & Nobre, 1997) e o RBLE “Rondonia Boundary Layer Experiment”, no qual foram realizadas três campanhas: 1992, 1993 e 1994 (Fisch, 1996).

Atualmente, está em andamento o projeto LBA “Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia”, sendo uma das campanhas realizada durante o período chuvoso (janeiro e fevereiro de 1999). De acordo com o Plano Experimental Conciso (1996), as duas questões científicas fundamentais do LBA são: (1) *de que modo a Amazônia funciona, atualmente, como uma entidade regional?* (2) *de que modo as mudanças dos usos da terra e do clima afetarão o funcionamento biológico, químico e físico da Amazônia, incluindo a sua sustentabilidade e sua influência no clima global?*

Os objetivos do LBA, baseados nessas duas questões, podem ser resumidos em:

- *Quantificar, compreender e modelar os processos físicos, químicos e biológicos que controlam os ciclos de energia, água, carbono, gases-traço e nutrientes encontrados na Amazônia, e determinar como esses processos se associam à atmosfera global.*
- *Quantificar, entender e modelar a resposta dos ciclos de energia, água, carbono, gases-traço e nutrientes ao desmatamento, às práticas agrícolas e a outras mudanças dos usos da terra, e como essas respostas são influenciadas pelo clima.*
- *Prever os impactos dessas respostas dentro e fora da Amazônia sob futuros cenários de mudanças dos usos da terra e do clima.*
- *Determinar as trocas entre a Amazônia e a atmosfera, dos principais gases de efeito estufa, e gases-traço, reguladores do potencial oxidante da atmosfera, e entender os processos reguladores dessas trocas.*
- *Fornecer informações qualitativas para políticas de desenvolvimento sustentável e proteção dos ecossistemas da Amazônia, no contexto de seu funcionamento regional e global.*

O objetivo deste trabalho é estudar o funcionamento termodinâmico da Camada Limite Atmosférica (CLA) em região de Floresta e pastagem durante a estação chuvosa, utilizando os dados da campanha LBA/TRMM (1999). Em seguida, compará-los com resultados obtidos durante a estação seca, em outros estudos/projetos, e finalmente, contribuir para a avaliação das possíveis implicações da substituição da Floresta tropical por pastagem no que diz respeito ao crescimento/desenvolvimento da Camada Limite Atmosférica (CLA), já que é através da CLA que massa e calor entram na troposfera.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Consequências do desmatamento na estação seca

Os efeitos do desmatamento sobre o clima têm recebido uma atenção destacada. Em particular, o desmatamento da Floresta Amazônica tem sido objeto de estudos por meio da realização de grandes projetos de cooperação internacional (Nobre et al., 1991).

Molion (1990) citou que a Floresta Amazônica corresponde a 8% do cinturão latitudinal (10°N–10°S), ou seja, a 34% da superfície terrestre, (88 milhões de quilômetros quadrados), dos quais 77% são oceanos e 23% continentes, sendo que 50% destes é coberto por Florestas naturais.

Nobre et al. (1991) mostraram que o clima da Região Amazônica também é bastante dependente dos processos de interação solo-planta, sendo esses processos importantes na determinação do balanço de energia da superfície.

Silva (2000) afirmou que o desmatamento provoca profundas mudanças nos traços gasosos do sistema solo-planta-atmosfera e, por conseguinte, na termodinâmica da Camada Limite Atmosférica (CLA). O ar sobre área desmatada é mais quente e a CLA da ordem de duas vezes mais espessa na estação seca.

Três características da superfície são importantes para a determinação do balanço de energia e as trocas de calor com a atmosfera: albedo, rugosidade aerodinâmica e condutância superficial.

O albedo é determinante no que diz respeito ao balanço de radiação; a rugosidade aerodinâmica determina a intensidade da troca de momento, massa e calor entre a vegetação e a atmosfera; a condutância superficial quantifica a facilidade do transporte de vapor d'água da superfície vegetada para a atmosfera. Em se tratando do albedo da Floresta Amazônica, pesquisas têm mostrado que os valores são da ordem de 13% na Floresta (Salati & Vose, 1984; André et al., 1986; Viswanadham et al., 1987; Fisch et al., 1994), e de 18% na pastagem (Bastable et al., 1993; Culf et al., 1995).

Normalmente, a taxa de energia disponível em forma de calor latente é bem maior do que a de calor sensível na Floresta tropical úmida. Com o desmatamento, o albedo aumenta e ocorre uma redução da umidade do solo e um aumento na fonte de calor sensível. Sendo assim a turbulência também aumenta.

Lyra (1995), afirmou que os principais efeitos do desmatamento na CLA são:

- Camada de mistura mais homogênea;
- Camada limite convectiva (CLC) é mais alta, mais quente e mais seca;
- Camada limite noturna (CLN) é 27% mais baixa, mais quente e mais seca;
- Circulação sentido floresta-pastagem durante o dia.

Lyra et al. (1994) e Fisch (1996) afirmaram que, a Camada Limite Atmosférica (CLA) é bem mais alta na pastagem do que na floresta, atingindo uma diferença de até 1km (600-800m) no final da tarde. A altura da CLA na Floresta Amazônica é semelhante à encontrada para a Floresta densa no Norte do Congo por Lyra (1992), durante o experimento DECAFE "Dinamic et Chimie de l'Atmosphère em Fôret Equatoriale".

O controle exercido pela vegetação com relação às trocas com a atmosfera é fato bastante conhecido. No caso da região de Rondônia, esse controle foi verificado experimentalmente (Lyra et al., 1994; Rocha et al., 1994).

A Floresta Amazônica é uma das principais fontes de aquecimento da atmosfera. O desmatamento acelerado faz com que grande parte do calor latente de evaporação seja reduzido (Molion, 1976). Com o desmatamento desordenado, pode-se esperar modificações nos sistemas atmosféricos que, se persistentes por um longo período, podem formar um novo clima (INPE, 1995).

Reschke (1996), citando Molion (1987), relata que a maior parte da energia que entra na atmosfera na forma de fluxos verticais de calor sensível e calor latente, na porção equatorial dos continentes, é proveniente das florestas naturais. Conseqüentemente, o desmatamento pode acarretar mudanças no balanço de energia e no regime de temperatura e de chuvas.

Atualmente, é grande a preocupação com o desmatamento da Amazônia e sua influência no clima mundial. Exercícios com simulação numérica utilizando Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) tem sido utilizada como uma ferramenta, pois é possível estudar-se o efeito resultante de vários cenários de vegetação (desmatamento completo, parcial e diferente tipo de vegetação).

De um modo geral, os resultados obtidos sugerem que ocorrerá um aumento de temperatura do ar próximo à superfície, uma redução nos totais de precipitação e evaporação e uma estação seca mais prolongada (Fisch et al., 1996b e 1997; Gash et al., 1997).

Esses modelos compararam a situação atual de cobertura florestal com uma superfície hipotética, na qual houve a substituição completa da floresta por pastagem. Os resultados desses modelos, utilizando dados coletados pelo projeto ABRACOS (Institute of Hydrology, 1994), indicaram um aumento de temperatura (2°C) e uma diminuição de 17% na evaporação e 6% na precipitação, com uma redução de 20% próxima à foz do rio Amazonas.

Lean et al (1995), utilizando-se de um modelo de CGA onde ocorre a substituição de apenas 50% da floresta por pastagem, previu uma redução de 3% na precipitação média anual, de 7% na evapotranspiração e um aumento de $1,5^{\circ}\text{C}$ na temperatura média da superfície.

Modelos que trabalham com uma escala de resolução bem menor como, por exemplo, o SVAT (Simple Vegetation Atmosphere Transfer) e o SiBs (Simple Biosphere), parametrizam os processos de troca de energia na superfície envolvendo vegetação. Shuttleworth et al. (1991) fizeram uma descrição detalhada acerca desse tipo de modelo. Na interface dos SiBs e MCGAs estão os modelos de mesoescala.

A eficiência dos modelos de CGA depende muito da parametrização dos processos de superfície antes e depois do desmatamento (Henderson-Sellers, 1987). Experimentos têm sido realizados na Região Amazônica para fornecer dados que propiciem a parametrização dos processos existentes entre solo-planta-atmosfera, e a calibração dos modelos existentes. Os resultados dos MCGAs sobre a floresta mostraram que as simulações apresentam grandes limitações devido à descrição simples da interação solo-atmosfera (Shuttleworth et al., 1991) e que o clima e a vegetação coexistem em equilíbrio, o qual pode ser alterado em razão de perturbações em uma das duas componentes.

2.2 – Aspectos conceituais da CLA

De uma maneira didática e simplista, a atmosfera terrestre é dividida, sob o ponto de vista térmico, em camadas (troposfera, estratosfera, termosfera e mesosfera...), sendo a troposfera a mais importante delas, já que a quase totalidade de seres vivos que habitam o planeta Terra e as atividades humanas, concentram-se nela. É em seu interior que se encontra a maior parte do campo de estudo para a ciência meteorológica, e talvez a região mais importante, a que inicia quase todos os processos físico-químicos, encontra-se em uma pequena sub-camada da troposfera, que é denominada Camada Limite Atmosférica (CLA), também conhecida por Camada Limite Planetária (CLP) ou camada de Ekman. Acima da CLA, tem-se a chamada Atmosfera Livre (Figura 1).

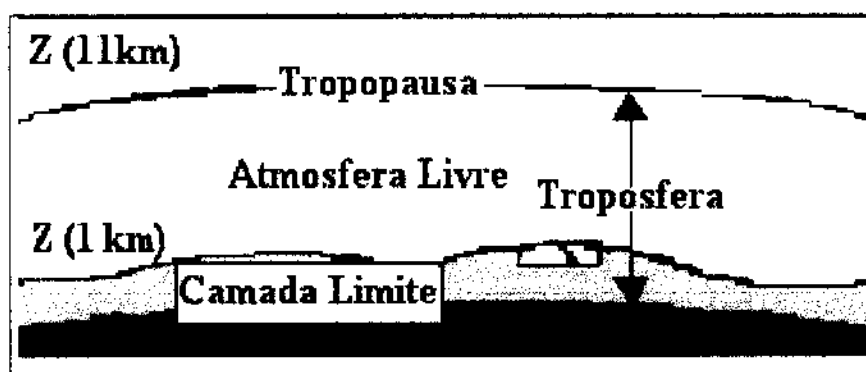


Figura 1 – Divisão da troposfera em duas partes: camada limite atmosférica e atmosfera livre
Fonte: Adaptado de Stull (1988)

O problema do desmatamento acelerado da Floresta Amazônica levanta a questão acerca de como o clima, principalmente o regime de chuvas, pode ser afetada pela substituição da floresta por pastagem (Rocha et al., 1996, Ferreira da Costa et al., 1998). O papel da CLA é de relevante importância nessa questão, pois essa camada é a primeira a sofrer com a substituição. Nessa camada é onde todos os processos de troca de energia, de “momentum”, calor e de massa ocorrem entre a superfície e a atmosfera incide (Machado, 1991).

2.2.1 – Camada Limite Atmosférica (CLA)

O conceito de camada limite (CL) surgiu com Reynolds em 1883. Estudando o comportamento do fluxo de fluidos em tubos e levou-o a estabelecer a distinção entre os movimentos laminar e turbulento (Geiger, 1980). Portanto, a CL seria a zona eminente que separa um escoamento laminar do turbulento.

No início os conceitos de CL foram feitos para a parte inferior na CLA, que posteriormente foi nomeada Camada Limite Superficial (CLA). Nesta época ainda não se falava da CLA que se desenvolve à noite (Camada Limite Noturna).

Vários são os conceitos de CLA. Para Sutton (1953), CLA é uma fina região próxima à superfície onde está confinado todo o efeito de viscosidade, através de mudanças de velocidade. A CLA é particularmente caracterizada pela mistura bem desenvolvida (turbulência), gerada pelo atrito próximo à superfície da terra e ascensão de parcelas de ar próximas à superfície, quando aquecidas (Oke, 1978). Para Holton (1979), o transporte turbulento tem uma influência apreciável no movimento dentro da CLA.

A CLA é a camada onde é extraída 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, de 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).

Rosenberg et al. (1983) definem a CLA, referindo-se às posições de Sutton (1977) e Oke (1978), como a camada que está associada a dois tipos de flutuações: pequenas, devido à turbulência dinâmica ou mecânica, gerada pelos efeitos de fricção, e grandes, devido à turbulência térmica, envolvendo os efeitos de flutuabilidade (buoyancy). É uma camada que se estende até cerca de 1km acima da superfície.

Finalmente, pode-se dizer que a CLA é definida, segundo Stull (1988), como a parte de troposfera que é influenciada pela presença de superfície da terra e responde as forçantes dessa superfície de atrito com uma escala de tempo de aproximadamente uma hora ou menos. Essas forçantes incluem arrasto friccional, evapotranspiração, transferência de calor sensível, emissão de poluentes e modificação do escoamento induzido pela Terra. Para Rocha et al. (1996), 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, em um determinado local, varia de acordo com o tempo (hora do dia). Durante o dia, está geralmente entre 1 e 3km e, durante, a noite é muito mais baixa.

O ciclo diário da estrutura da CLA, está relacionada com o nascer e o por do sol. Após o nascer do sol, a atmosfera ainda se encontra sob as condições de inversão térmica produzida pela noite anterior (estáveis). Com a quebra dessa inversão, provocada pela entrada de energia associada à insolação ou radiação solar, inicia-se o rápido desenvolvimento de uma camada bem misturada, que cresce pelo efeito da convecção térmica e/ou mecânica. A CLA é formada, principalmente, pelas parcelas de ar quente, com flutuabilidade positiva (instáveis), as quais ascendem até atingir seu nível de equilíbrio no topo da camada.

Um dos meios utilizados para conferir a estabilidade da camada é o da estabilidade estática. Nele é utilizado o gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$) como critério de estabilidade, onde:

$$\text{Instável: } \overline{\nabla_v \Theta_v} < 0 \text{ K.km}^{-1}$$

$$\text{Neutro: } \overline{\nabla_v \Theta_v} = 0 \text{ K.km}^{-1}$$

$$\text{Estável: } \overline{\nabla_v \Theta_v} > 0 \text{ K.km}^{-1}$$

O ciclo diário do aquecimento/resfriamento radiativo condiciona o ciclo diário dos fluxos de calor sensível e latente entre a superfície e a atmosfera. Porém esses fluxos não são diretamente difundidos na atmosfera, mas ficam contidos na troposfera em uma camada próxima da superfície (Stull, 2000). A temperatura do solo varia no tempo e no espaço. É um fator de importância primária na determinação de taxas e direções dos processos físicos e das trocas de massa e energia com a atmosfera, incluindo a evaporação (Hillel, 1980; Farias, 1994).

Como a turbulência térmica é o mecanismo dominante, essa camada é frequentemente denominada de Camada Limite Convectiva (CLC). O processo de crescimento dessa camada leva-a a alcançar uma profundidade máxima por volta das 17HL, embora o maior crescimento esteja em torno das 14HL. Após as 17HL, a camada cessa seu desenvolvimento, já que não ocorre aquecimento solar. À noite, com a ausência da fonte primária de energia, ocorre a inversão dos fluxos de calor sensível, formando uma camada estável mais baixa, dominada pela convecção mecânica, onde se caracteriza o estado em que a superfície é mais fria que o ar adjacente. A esta camada se dá o nome de Camada Limite Noturna (CLN) ou Camada Limite Estável (CLE).

Como visto, a CLA sofre influência dos efeitos térmico e dinâmico e está dividida em três fases: neutra, estável e instável. A CLA, em sua estrutura, pode ser dividida basicamente em três componentes, que são:

- Camada de Mistura (CM);
- Camada Residual (CR);
- Camada Limite Noturna (CLN) ou Camada Limite Estável (CLE).

A estrutura da CLA e a definição de suas subcamadas foram baseadas em diversos autores, dentre eles, Sutton (1977), Poggi (1977), Oke (1978), Holton (1979), Rosenberg (1983), Moor (1983) e Stull (1988). A evolução diária da CLA e suas divisões podem ser vistas na Figura 2.



Figura 2 - Evolução diária da CLA.
Fonte: Stull (1988)

Durante o dia, a CLA é composta basicamente pela Camada Limite Superficial (CLS), Camada de Mistura (CM) e pela Zona de Entranhamento (ZE).

Na CLS, que não se estende mais do que 10% da CLA, os fluxos turbulentos e a fricção variam verticalmente bem pouco, da ordem de 10% de sua magnitude (Stull, 1988). Os efeitos da força de Coriolis podem ser desconsiderados em comparação aos efeitos da superfície local (Sutton, 1953). Nessa camada, o cisalhamento do vento desempenha o papel predominante.

Na CM o vetor força de atrito assim como os fluxos turbulentos variam com a altura quando a estrutura do vento é influenciada pela fricção superficial ou pela estratificação térmica do ar ligada ao gradiente vertical da massa volumétrica e pela força de Coriolis, sendo o mecanismo dominante a turbulência térmica. Em condições estratificadas, instáveis ou neutras, sua estrutura é geralmente determinada pela mistura turbulenta forçada convectivamente (Holton, 1979), criando uma situação de instabilidade onde as parcelas de ar quente sobem. Em dias inicialmente sem nuvens, a CM se desenvolve criada pelo aquecimento da superfície solo através da radiação solar.

A ZE é caracterizada por uma camada estável que age como uma tampa aos movimentos ascendentes das parcelas de ar. Ao se elevarem, elas adquirem quantidade de movimento e penetram numa pequena parte da camada superior (atmosfera livre), este movimento é chamado de penetração convectiva, e retornam, devido ao empuxo negativo, ao interior da camada trazendo ar com características mais quente e seca (Stull, 1988). O surgimento da camada de inversão acima da camada limite, pode decorrer do movimento

subsidente dos anticiclones, que gera a camada de inversão de subsidência (Nicolli, 1979), embora existam inversões devido à perda radiativa e pela advecção de ar frio.

Durante a noite, além da CLS, existem mais duas camadas, a Camada Residual (CR) e a Camada Limite Noturna (CLN) ou Estável (CLE).

A CR é, às vezes, assim denominada devido ao estado médio das características das variáveis serem iguais à camada bem misturada da tarde. É formada meia hora antes do por do sol, quando as termas cessam, permitindo o decaimento da turbulência em uma camada formalmente bem misturada. A CR não tem contato direto com a superfície.

Já a CLN, como o próprio nome sugere, freqüentemente se forma à noite sobre a superfície. Também pode se formar pela advecção de ar quente sobre uma superfície mais fria podendo ocorrer também durante o dia. O topo da CLN é difícil de ser definido. São várias as definições existentes, uma delas determina o topo da CLN como sendo a altura em que a intensidade de turbulência é uma pequena fração do valor da superfície. Se ocorrer nevoeiro durante a noite, no dia seguinte a inversão de radiação somente será dissipada muitas horas após o nascer do sol, porque o topo da camada da neblina reflete boa parte da radiação incidente (Nicolli, 1979).

2.3 - Experimentos na Floresta Amazônica

O "Venezuelan International Meteorological and Hydrological Experiment" (VIHMEX) (Betts e Miller, 1975, citados em Stull, 1988), realizado na Venezuela durante a estação chuvosa, foi o primeiro experimento nessa região e objetivou estudar a convecção tropical. Os dados desse experimento foram úteis em estudos de comportamento da CLA e comparados com a CLA de latitudes altas, apresentaram padrão similar (Betts, 1976).

O ARME (Amazonian Research Micrometeorological Experiment), realizado nos anos de 1983 a 1986 na Reserva Ducke na Amazônia Central, próxima a Manaus,. O objetivo foi à coleta de dados micrometeorológicos da partição de energia pela Floresta Amazônica e estimativas de evapotranspiração. Vários resultados científicos foram encontrados, dentro dos quais ressalta-se o fato de que a floresta tropical não sofre o efeito do estress hídrico provocado pela falta de chuvas, evapotranspirando na taxa potencial ao longo do ano (Shuttleworth et al., 1987 citado em Fisch, 1996).

Harris et al (1988) detalharam o primeiro experimento onde se estudou a termodinâmica da Camada Limite Atmosférica (CLA) da Floresta Amazônica Brasileira, o ABLE 2

“Atmospheric Boundary Layer Experiment”, com duas fases experimentais: uma (2^A) na estação seca, julho a agosto de 1985, e outra (2B) na estação chuvosa, abril a maio de 1987.

Martin et al. (1988) constataram que, após o nascer do sol, a CLC, durante o ABLE 2, se desenvolveu rapidamente com uma taxa de 0,05 a 0,08m.s⁻¹ até uma altura máxima de 1200m às 13HL. Observaram freqüentemente, alturas da CLC superiores a 1000m entre o período das 10 às 16HL. A Camada Residual permaneceu em torno de 2000m durante todo o ciclo diário ao longo do experimento.

Oliveira (1990,) usando dados do ABLE (2A- estação seca e 2B – estação chuvosa), mostrou que a evolução da CLA não apresentou diferenças significativas com relação à estrutura. O autor observou, também, a existência de uma circulação em baixos níveis sobre a região em ambas as estações, a qual apresentou um padrão consistente de uma “brisa fluvial”, devido ao contraste térmico entre floresta e rio durante o dia. Deve-se salientar que esta é uma característica da região de Manaus.

O projeto ABRACOS 1990-1995 “Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study” (Shuttleworth et al., 1991, Gash & Nobre, 1997), foi idealizado para coletar dados hidrometeorológicos em áreas de floresta tropical e desmatada (pastagem) na Amazônia, com o objetivo de calibrar e validar modelos de circulação geral da atmosfera bem como de parametrizar os processos de interação entre a superfície e atmosfera. Nesse experimento, as medições foram feitas apenas em superfície em três locais da Amazônia: Manaus, Ji-Parana e Marabá. Em cada local havia 2 sítios experimentais, sendo um na floresta nativa e outro na área de pastagem.

Um amplo estudo, sobre as possíveis mudanças microclimáticas na substituição da floresta por pastagem quanto ao balanço de energia, foi realizado por Moura (2000), utilizando dados do projeto ABRACOS, que verificou que a radiação total na floresta é maior que a da pastagem devido ao menor albedo e maior saldo de onda longa na floresta, e que a radiação global apresentou um aumento de 2% na floresta e sofreu influência da nebulosidade (fevereiro) e das queimadas (setembro). Observou também, que os valores médios diários máximos do fluxo de calor no solo na pastagem ocorreram na época seca, devido à maior exposição de solo nu, enquanto, na floresta, ocorreu o mínimo, uma vez que o fluxo de calor no solo da floresta é conduzido pela temperatura do ar.

Com o objetivo de se compreenderem os processos de trocas de energia à superfície e como os fluxos se propagam na baixa troposfera, criou-se o projeto RBLE “Rondonia Boundary Layer Experiment”. O objetivo desse experimento foi estudar a estrutura termodinâmica da CLA sobre superfícies de floresta tropical e desmatada (pastagem). Esse projeto realizou-se

paralelamente ao ABRACOS, utilizando inclusive os mesmos sítios experimentais. Dessa forma, ele funcionou como um prolongamento da escala espacial vertical do ABRACOS.

Os resultados obtidos até então no âmbito dos projetos ABARCOS/RBLE, colocaram em evidência as diferenças entre as CLAs (floresta e pastagem) bem como a existência de uma circulação local. Durante o dia, a CLA na pastagem se desenvolveu mais chegando a ser 1km mais espessa do que a da floresta no final da tarde. Esse maior desenvolvimento provocou uma circulação no sentido floresta-pastagem durante o dia. (Lyra, 2001)

A diferença entre os dois tipos de vegetação provocou uma mudança no albedo e, por consequência, no balanço radiativo. Essa diferença na refletividade da superfície implicou em menos energia disponível (R_n) na pastagem que foi em torno de $53 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Essas mudanças tiveram repercussão ao nível da camada limite atmosférica, a qual foi cerca de 1000m mais alta na pastagem no final da tarde e apontaram mudanças no clima local que, dependendo da amplitude do desmatamento, poderiam causar mudanças no clima global (Lyra et al., 1994).

Analisando o perfil da temperatura potencial, verificou-se, na floresta e pastagem, altos valores de temperatura, próximo à superfície, durante a tarde, sendo menores durante a noite e madrugada, caracterizando assim um ciclo diário bem definido. (Rocha, 1994).

Os resultados de Fisch (1996) mostraram que a CLC é mais desenvolvida na área de pastagem (2000m a 2200m), que na área de floresta (1000m a 1200m). Isto ocorre devido à maior transformação da radiação solar em forma de fluxo de calor sensível, que aquece e desenvolve a CLA. Já na CLN, devido à maior turbulência mecânica e a perda radiativa durante o período noturno na área de floresta, ocorre o contrário, a CLN é maior na floresta (350m a 380m) que na pastagem (230m a 240m).

Lyra (1996) afirmou que, no microclima modificado da pastagem, as diferenças foram uma redução da umidade relativa, cerca de 40% de dia e de 44% à noite, ventos cerca de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ superiores e uma maior amplitude térmica (12° C contra 10° C na floresta). Não houve formação de nevoeiros na pastagem enquanto, na floresta, ocorreram em 12 dos 14 dias de duração do experimento.

Silva (1998) observou que, durante o período diurno de pesquisas do RBLE 3, a atmosfera esteve instável e bastante úmida em ambos os sítios (floresta e pastagem), apresentando atmosfera estável durante o período noturno. Essa instabilidade foi devido ao aquecimento diurno local e à grande quantidade de vapor d'água presente.

Durante todo o período de pesquisa do RBLE 3 (1994), a umidade relativa esteve bastante elevada na floresta ao nível da superfície, mais do que na pastagem, apresentando

valores acima de 80%, contra valores de 75% na pastagem pela madrugada e manhã. Já, à tarde, os valores estiveram abaixo de 76% na floresta e 60% na pastagem. Esses valores demonstraram que a floresta apresentou uma variação menor na umidade e amplitudes térmicas diárias menores que a da pastagem (Rocha, 1994).

Souza (1997) afirmou que, no caso da estação seca, o albedo médio na pastagem foi de 19% contra 15% na floresta, e o fluxo de calor sensível foi superior em $3,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e o fluxo de calor latente $4,46 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ inferior. A razão de Bowen média na pastagem foi 1,02 e na floresta apenas 0,12, isso devido à modificação das características da cobertura vegetada, que implicaria em alterações nos balanços locais, a começar pela mudança no albedo da superfície, afetando o saldo de radiação, interferindo no balanço de energia e, por conseguinte, na evolução e estrutura da CLP. Apesar do curto período (11 dias), foi constatado um crescimento de albedo de 16% entre o começo e o final do experimento.

Silva (1998) estimou os fluxos de calor sensível e calor latente na superfície, através dos modelos do tipo Camada ("slab model"), utilizando dados de radio sondagens e balão cativo do RBLE2 e RBLE3. Os resultados, apesar da simplicidade dos modelos, forneceram *uma alternativa para estimar esses fluxos médios na área. O autor também observou que a estrutura e evolução da CLP sobre a pastagem foram maiores que sobre a floresta, com taxas de crescimento que chegaram a ser 65% maiores, entre 11 e 14HL.*

No ano de 1999, ocorreu a 1ª Campanha do Projeto LBA "Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia" (Silva Dias et al., 2002). Essa campanha, simultaneamente com a do TRMM "Tropical Rainfall Measuring Mission", foi realizada durante o período chuvoso de janeiro e fevereiro de 1999.

Silva Dias (2001) lembrou que os efeitos do desmatamento se traduzem para a atmosfera como uma influência que afeta primeiro o balanço de energia da superfície alterando os fluxos de calor, umidade e de diversos gases e, em seguida, esses fluxos alteram a camada limite planetária que, finalmente, responde com nuvens e precipitação alterada.

A variação diária da convecção e da precipitação foi analisada por Marengo et al. (2002). Notaram uma forte variação diária, com máximo à tarde, mínimo pela manhã e um máximo secundário de madrugada. O máximo da madrugada, segundo Machado et al. (2002), tem uma participação dos sistemas noturnos como linhas de instabilidade, mas pode ser observado regularmente em dias sem linhas de instabilidade.

Tota et al. (2000), estudando a variabilidade de precipitação, mostraram que eventos de precipitação, com valores acima de 10mm/h, concentram-se entre 02 a 04HL e 15 a 17HL, com

maior predominância e volume às 15HL. De qualquer forma, não há uma tendência na estação chuvosa das nuvens se formarem prioritariamente sobre as pastagens contrariamente ao que acontece na estação seca (Cutrim et al 1995).

A alternância de direção do vento de leste para oeste ocorreu na estação chuvosa. Na estação seca, a componente zonal foi basicamente de leste. Durante a estação chuvosa, a alternância constitui-se na oscilação intrasazonal e está associada à aproximação de frentes frias que vem de sul (Rickenbach et al., 2002).

Fisch et al (2002) mostraram como o efeito observado no desenvolvimento da camada de mistura na estação chuvosa é bem distinto daquele da estação seca. Na estação chuvosa, há um comportamento semelhante nas duas superfícies com uma tendência ao desenvolvimento mais rápido sobre a floresta. No sítio floresta, a altura da CLC, independentemente da estação, vai até aproximadamente 1000m. Já na pastagem, a CLC sofre uma forte influência da umidade solo que induziu alturas de 1600m na estação seca e de aproximadamente 1000m na chuvosa.

Silva Dias (2001) relata que os principais resultados científicos do projeto LBA, até o presente momento, são:

- A estação chuvosa na região Amazônica é afetada por oscilações intrasazonais que se traduzem em diferentes modos de convecção;
- A região SW da Amazônia se caracteriza por forte variação diária da precipitação, marcada por um máximo principal à tarde e um máximo secundário de madrugada;
- O desmatamento parece ter sido de importância secundária na formação de circulações locais durante a estação chuvosa, quando comparada com a estação seca. No entanto houve diferenças no balanço de radiação, nebulosidade e no balanço de ozônio que podem ter implicações no balanço de energia em superfície;
- Houve indicações de que a orografia tem um papel dominante na formação local dos sistemas convectivos;
- A interação entre a floresta e a atmosfera afeta principalmente os fluxos de momento e de gases traço;
- Tempestades convectivas podem ter um impacto nos balanços de ozônio em superfície através de correntes descendentes convectivas;
- A atmosfera muito úmida na estação chuvosa e carregada de aerossóis na estação seca, é razoavelmente representada por códigos complexos de transferência radiativa.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Sítios Experimentais

Os dois sítios experimentais estão localizados no oeste da Amazônia (Sul de Rondônia) e são denominados:

- **Floresta** - Reserva Biológica do Jarú "REBIO JARÚ" (10° 5' S; 61° 55' W; 120m). A reserva é uma área de preservação permanente de floresta nativa localizado aproximadamente 80 norte de km de Ji-Paraná a 120 m acima do nível de mar, com árvores de 30m de altura em média.
- **Pastagem** - Fazenda Nossa Senhora Aparecida, no Município de Ouro Preto do Oeste (10° 45' S; 62° 21' W; 290m). É uma área de fazenda de gado a 290 m de altitude aproximadamente, 50 km de Ji-Paraná. O local está no centro de uma área de cerca de 50 km de raio que foi largamente desmatada e coberta por uma vegetação rasteira (gramínea do tipo "*brachiaria brizantha*"), pastagem esta plantada nos anos 80.

A Figura 3 mostra a localização dos sítios experimentais. Eles estão distanciados de aproximadamente 80 km e a porção de floresta remanescente da REBIO JARÚ é de 95,3%, e área desflorestada da Fazenda N.S. Aparecida é de 92,4% (Fisch et al., 2002).

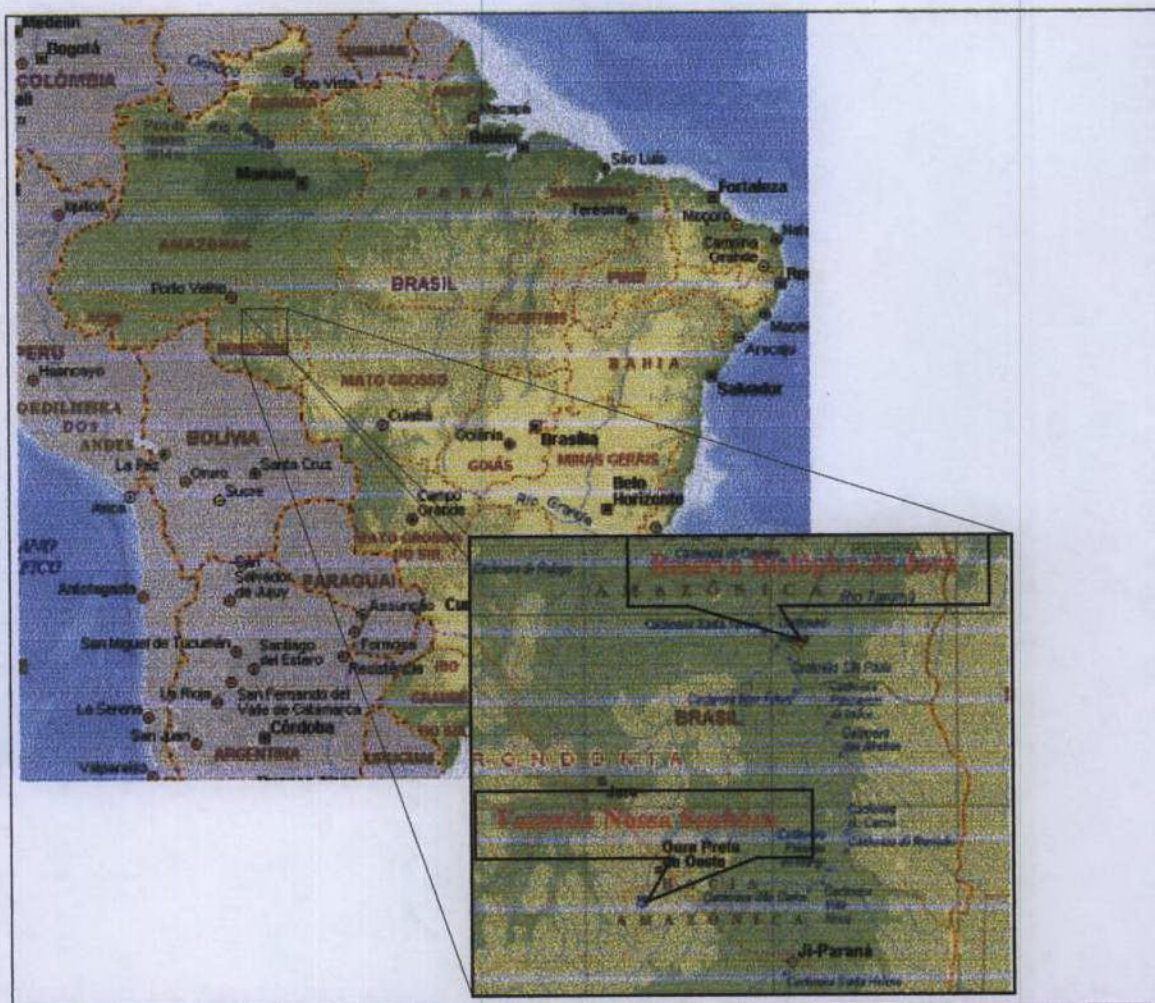


Figura 3 - Localização dos sítios experimentais: Floresta (Reserva Biológica do Jarú) e Pastagem (Fazenda Nossa Senhora).

3.2 - Climatologia da Região

A descrição climatológica da área em estudo, Oeste da Amazônia, foi realizada por Fisch (1996) utilizando os dados da estação climatológica de superfície que pertence a CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). A estação fica localizada no Município de Ouro Preto do Oeste, cerca de 10km da área experimental da pastagem e a 50km do sítio floresta. Foram utilizados dados coletados por um período de 10 anos (1982 – 1992).

Segundo o referido autor, a precipitação na região apresenta uma forte sazonalidade durante os meses de novembro a abril (estação chuvosa), com precipitação superior a

200mm.mes⁻¹, e os meses de junho a agosto (estação seca), com índices inferiores a 20mm.mes⁻¹.

Em relação à temperatura média, o mês mais quente é outubro (25,5°C) e o mais frio é julho (22,6°C), uma diferença de 3°C. O mês mais quente coincide com o final da época seca e o mês mais frio corresponde à influência de penetrações de massas de ar frio associadas a sistemas frontais.

Em Ji-Paraná, o valor mínimo registrado foi de 17,7°C no mês de julho. As temperaturas máximas têm a sua maior variação anual ocorrendo entre o início da estação seca e o início da estação chuvosa, com um máximo de 31,9°C em agosto. Na média a temperatura máxima anual foi de 30°C.

3.3 – Aspectos Sinóticos durante o LBA/TRMM (1999)

De acordo com o CPTEC (Climanálise, 1999), durante o mês de janeiro, foram observadas chuvas em toda a região, entre 100 e 600 mm (acumulado mensal). Os valores máximos ocorreram no sudoeste da região e os menores em Roraima. A maior parte da região apresentou anomalias negativas. Anomalias positivas foram observadas apenas na região central e em pequenas áreas em Rondônia e Amapá.

As temperaturas máximas registradas durante o mês de janeiro, estiveram entre 30° e 32° C, e os maiores valores observados ficaram concentrados no sul do Estado de Tocantins. No restante da região, as temperaturas máximas estiveram próximas da média climatológica. Em relação às temperaturas mínimas, os valores ficaram em torno de 22°C. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) esteve atuante entre os dias 06 e 18/01, com a banda de nebulosidade cobrindo o sudoeste do Amazonas, Acre, Mato Grosso, Goiás, nordeste do Mato Grosso do Sul, sudoeste de Minas Gerais, São Paulo, e estendendo-se para o Oceano Atlântico na altura do litoral dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

Já durante o mês de fevereiro, foram observadas chuvas entre 100 e 500 mm em toda a Região. Os maiores valores foram observados no centro e sul do Amazonas e foram influenciados por convecção local, sendo esta organizada, possivelmente, pela presença de sistemas frontais. O extremo nordeste da Região Norte também apresentou valores significativos de precipitação, principalmente devido à atuação da Zona de Convergência Intertropical. Foram observadas áreas com anomalias negativas no noroeste do Estado do Amazonas, divisa entre Pará e Amapá, parte sul do Estado do Pará e em grande parte do Tocantins. A partir de um acompanhamento diário de imagens de satélite, foi notada a

presença de duas frentes estacionárias sobre o litoral do Estado de São Paulo que se estenderam para o Oceano Atlântico. Esses sistemas estiveram sobre esta Região entre os dias 19 e 28. Nos últimos três dias de fevereiro, observou-se a banda de nebulosidade cobrindo os Estados de Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás e, estendendo-se sobre o Oceano Atlântico pelos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Foi verificado que ocorreram dois sistemas de meso-escala nos dias 15 e 24 de fevereiro, na região do experimento.

3.4- Dados

3.4.1 – Dados de Superfície

Os dados utilizados neste estudo são provenientes das observações de estações meteorológicas automáticas de superfície (EMAS). Os períodos correspondem, como já mencionado anteriormente, ao período chuvoso da região. Foram utilizadas as seguintes variáveis de superfície:

- Precipitação (mm);
- Saldo de radiação (R_n) ($W.m^{-2}$);
- Temperatura do ar ($^{\circ}C$);
- Umidade relativa do ar (%).

Na pastagem, o período das medições foi de 06/02 a 31/05 de 1999 e, na floresta, foi de 18/01 a 09/03 de 1999. Os dados foram agrupados em média de 30 minutos.

Devido a problemas operacionais, falhas nos dados, foram escolhidos os seguintes períodos para a elaboração dos resultados:

- Pastagem: 07 a 22 de fevereiro;
- Floresta: 30 de janeiro a 21 de fevereiro.

Esses períodos referem-se ao maior tempo em que não ocorreram falhas dos dados, e que coincidiram com o período das radiossondagens. Na realidade, todo o conjunto de dados foi utilizado. Alguns dias, fora desses períodos, foram aproveitados, em separado, para dirimir

dúvidas sobre acontecimentos isolados, no tocante aos fenômenos observados durante a radiossondagem.

Na comparação entre os sítios, foram elaborados gráficos com a evolução média diária de cada parâmetro estudado. Neste caso só foi utilizado o período em comum nos dois sítios (07 a 21 de fevereiro).

3.4.2 – Dados de Radiossondagem

Durante o período citado, foram realizadas sondagens meteorológicas verticais até aproximadamente 30km de altura. Na floresta, a radiossonda utilizada foi da Vaisala (RS80-15G, Helsinki, Finlândia) e na pastagem foi utilizada a Viz – Mark II Microsonda (Filadélfia, USA).

A sonda Viz – Mark I, usou um de GPS diferencial tridimensional, que mede a altura da sonda, sendo a pressão calculada pela equação hidrostática utilizando a pressão da superfície como condição inicial. Os ventos foram calculados pelo sistema de localização GPS e de forma diferencial a partir do vento de superfície. A sonda Vaisala utilizou as relações simples entre pressão/altura, e o vento (velocidade e direção) são medidos através do GPS. Ambas as radiossondas estavam equipadas com sensores de temperatura (T) e umidade relativa (U). Em Longo et al. (2002), os detalhes do processo de controle de qualidade são detalhados.

As sondagens foram realizadas com um intervalo de 3 horas, sempre às 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 TMG (20, 23, 02, 05, 08, 11, 14, 17HL), sendo $HL = TMG - 4$.

Foi realizado o tratamento dos dados de radiossonda no Sítio Pastagem, no período de 09 de janeiro a 28 de fevereiro de 1999, e no Sítio Floresta, no período de 24 de janeiro a 24 de fevereiro de 1999.

Em Fisch et al. (2002), foi relatada a intercomparação entre as sondas Vaisala e Viz, realizada ao término no experimento (22 – 24 de fevereiro de 1999) no sítio pastagem. Ele descreve que foram 17 as sondagens (1 a cada 3 horas), onde as duas sondas foram postas em um mesmo balão. Os resultados demonstraram que, nas diferenças médias entre elas até 5Km de altitude, a sonda Viz tende a obter temperaturas que são 0,5°C superior a Vaisala. Existem discrepâncias também em relação à umidade relativa, para a qual a Viz chega a apresentar variação de 5% (equivalente a uma variação de 1.0 a até 1,5g.Kg⁻¹) em relação à Vaisala. As diferenças para a pressão foram insignificantes e o vento apresentou uma boa concordância.

3.5- Variáveis Calculadas

A partir dos dados básicos (pressão, temperatura, velocidade e direção do vento), outras variáveis como umidade específica (q) e temperatura potencial virtual (θ_v), foram calculadas.

A temperatura potencial (θ) foi calculada pela sua definição:

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{R_a / C_{p_a}} \quad (1)$$

T – temperatura (K)

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

C_{p_a} - calor específico do ar seco a pressão constante ($1005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

Como os valores de umidade relativa (UR) já constavam do banco de dados, restou calcular a pressão de vapor de saturação ($ew_{(t)}$), dada por uma fórmula aproximada:

$$ew_{(t)} = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{aT}{b+T} \right)} \quad (2)$$

a - constante igual a 7,5 p/ água líquida e 9,5 p/ gelo

b - constante igual a 237,3 p/ água líquida e 265,5 p/ gelo

O valor da pressão de vapor (e) foi obtido pela equação:

$$e = \frac{ew_{(t)}}{100} U \quad (3)$$

U – umidade relativa (%)

$ew_{(t)}$ – pressão de vapor de saturação (hPa)

Calculou-se a razão de mistura (r) pela relação clássica:

$$r = 0,622 \frac{e}{P - e} \quad (4)$$

P – pressão atmosférica (hPa)

e – pressão de vapor (hPa)

A temperatura potencial virtual (θ_v) foi calculada pela equação:

$$\theta_v = \theta(1 + 0,61r) \quad (5)$$

θ - temperatura potencial (K)

r - razão de mistura (g/kg)

A umidade específica (q) foi calculada pela relação clássica:

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

Para computarem-se médias, deve-se usar o sistema cartesiano, pois, o vento é um vetor. Como no sistema meteorológico de representação do vento é distinto do cartesiano então foi empregado o método utilizado por Teixeira & Girardi (1978). Esse método leva em consideração a diferença de 180° , entre a direção medida (de onde o vento vêm) e a direção real (para onde o vento vai).

$$\begin{cases} u = -ff \sin(dd) \\ v = -ff \cos(dd) \end{cases} \quad (7)$$

ff – velocidade do vento ($m.s^{-1}$);

dd – direção do vento ($^\circ$).

O gradiente vertical de θ_v foi calculado da seguinte forma:

$$\nabla_v \Theta_v = \left(\frac{\Theta_{v(i+1)} - \Theta_{v_i}}{Z_{(i+1)} - Z_i} \right) \quad (8)$$

$(\Theta_{v_0} - \Theta_{v_1})$ - diferença de θ_v entre dois níveis consecutivos;

$(Z_1 - Z_0)$ - espessura da camada.

Também foi realizada uma interpolação linear dos parâmetros (1 ponto a cada 25m), com o objetivo de produzir os perfis médios.

3.6- Determinação da Altura da CLA (Z_i)

De posse de θ_v e q , para todas as radiosondagens, foram plotados seus perfis verticais, juntamente com a velocidade horizontal (ff) e direção do vento (dd). Com o objetivo de ter uma melhor visualização da CLA, foram feitos outros gráficos com a altura limitada a 3500m, já que, em todos os trabalhos anteriores (Lyra 1994, 1995, Fisch 2001...) que utilizam dados de experimentos na floresta Amazônica, a camada limite atmosférica (CLA) foi bem inferior a esse valor.

Os perfis permitiram determinar a altura da Camada Limite Atmosférica (CLA) (Z_i) utilizando a definição proposta por Stull (1988). “*Altura da Camada Limite Convectiva (CLC) se localiza onde o gradiente de θ_v passa de um regime de neutralidade ($d\theta_v/dz \cong 0$), para um regime de estabilidade ($d\theta_v/dz > 0$) e a da Camada Limite Noturna (CLN) onde o gradiente de θ_v passa de um regime de estabilidade ($d\theta_v/dz > 0$) para um regime de neutralidade ($d\theta_v/dz \cong 0$)*”, no sentido ascendente (ver figura 4).

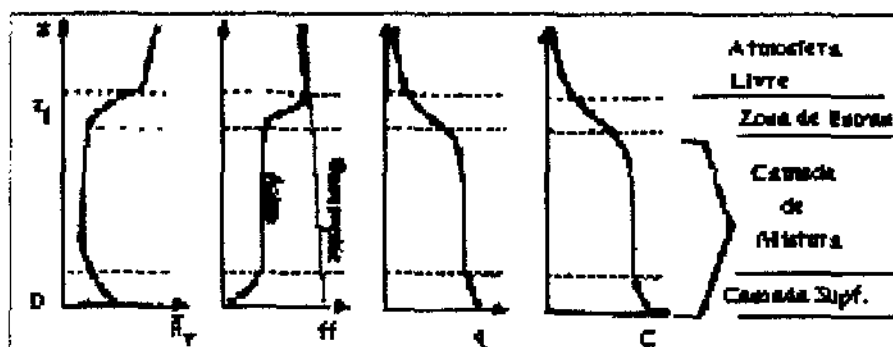


Figura 4 - Perfis de TPV virtual média ($\bar{\theta}_v$), vento médio (ff), umidade específica (q) e concentração de poluentes(C), durante o dia (CLC).

fonte: Stull, 1988

Na Figura 5, é mostrado o exemplo do dia 29/01/1999 às 17HL. Nela, verifica-se que o perfil de θ_v se comportou de acordo com o modelo. A altura da camada (Z_i) é indicada pela inversão a 1054m de altura. A umidade específica apresentou um perfil inverso. Em muitas ocasiões, esse perfil é bastante esclarecedor, pois nem sempre a inversão é nítida no perfil de θ_v , principalmente na região tropical.

No caso do vento, procuraram-se pontos em que ocorreram mudanças significativas em suas velocidade e direção. Esse procedimento, proposto por Lyra (2001) é uma informação adicional, ou seja, as mudanças no vento não podem indicar, por si só, a altura da CLA.

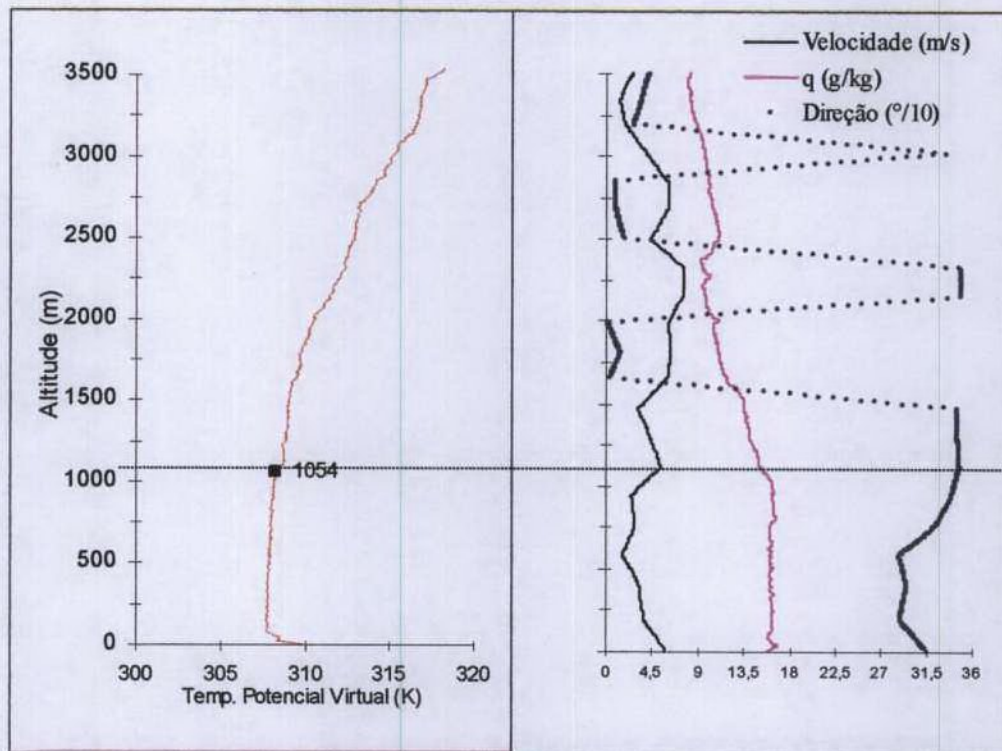


Figura 5 – Perfil vertical da temperatura potencial virtual (à esquerda) e umidade específica, direção e velocidade do vento (à direita), para o dia 29/01/1999 às 17HL, no Sítio Pastagem. A linha pontilhada é a altura determinada para a CLC (Z_i).

De posse de Z_i , calculou-se a altura média da CLA (Z_{im}) para todas as sondagens onde foi possível aplicar o modelo. Essas sondagens foram chamadas de *Normais*. Nas demais, ou a sondagem foi abortada (*Sem dados*) ou não foi possível determinar Z_i (*Atípico*). Nas tabelas abaixo se encontram os números de sondagens utilizados para o cálculo da Z_{im} na pastagem (Tabela 1) e floresta (Tabela 2).

Tabela 1 – Total de sondagens utilizadas para o cálculo da Z_{im} para a estação chuvosa (LBA) na pastagem.

	CLC				CLN			
Hora Local	08HL	11HL	14HL	17HL	20HL	23HL	02HL	05HL
Normal	29	28	34	16	21	28	31	21
Atípico	13	8	8	19	18	7	9	15
Sem dados	10	16	10	17	13	17	12	16
Total de dias	52							

Tabela 2 – Total de sondagens utilizadas para o cálculo da Z_{im} para a estação chuvosa (LBA) na floresta.

	CLC				CLN			
Hora Local	08HL	11HL	14HL	17HL	20HL	23HL	02HL	05HL
Normal	24	28	28	25	25	15	15	28
Atípico	7	3	4	6	5	1	1	4
Sem dados	1	1	0	1	2	16	16	0
Total de dias	32							

Na pastagem, em um total de 208 sondagens na CLC, na média 51% foram normais, 23% foram atípicas e 25% sem dados. Para a CLN, 48% foram normais, 23% foram atípicas e 27% não tiveram dados. Nota-se que, praticamente não existe diferença percentual no número de dias utilizados para o cálculo de Z_{im} da CLC e da CLN.

Na floresta, em um total de 128 sondagens na CLC, na média 83% foram normais, 15% foram atípicas e somente em 26% não foram obtidos dados. Para a CLN, 64% foram normais, 8% foram atípicas e 26% sem dados. O total de dias utilizado foi de 32.

No total geral, 50% das sondagens foram normais na pastagem contra 73% na floresta, 23% foram atípicas na pastagem contra 11% na floresta e 26% estão sem dados na pastagem contra 14% na floresta.

3.7- Valores Médios dentro da CLA

De posse de Z_{im} , para todos os horários, foram calculados as seguintes variáveis médias no interior da camada, fosse ela convectiva ou noturna.

- Umidade específica ($\bar{q}$);
- Gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$);
- Velocidade ($\bar{ff}$);
- Direção do vento ($\bar{dd}$);
- Temperatura potencial virtual ($\bar{\Theta_v}$).

As médias foram obtidas utilizando a média aritmética dos mesmos, desde a base da camada até o seu limite superior (topo). O vento é um vetor e para cálculo das médias de sua velocidade e direção, tem que ser decomposto, primeiramente, em suas componentes zonal (u) e meridional (v) (Eq. 7), e em seguida, calculadas médias aritméticas de suas componentes. As médias das componentes são somadas vetorialmente para produzir a velocidade média $\overline{ff}$, a partir da relação:

$$\overline{ff} = \sqrt{\overline{u}^2 + \overline{v}^2} \quad (9)$$

A direção média ($\overline{dd}$) foi calculada utilizando as seguintes equações:

$$\overline{dd} = \arccos(-v / \overline{ff}), \text{ se } u < 0 \quad (10)$$

$$\overline{dd} = 360^\circ - \arccos(-v / \overline{ff}), \text{ se } u \geq 0 \quad (11)$$

De posse das alturas da CLA e dos parâmetros médios em seu interior, os valores encontrados foram comparados com os resultados obtidos por Souza (1997), que utilizou dados da campanha do Projeto RBLE 3 (13 a 26/08 de 1994), durante a estação seca da região. Como as sondagens noturnas durante o experimento RBLE 3 (1994) foram realizadas em horas diferentes das do LBA/TRMM (1999), para a comparação, foi feita uma interpolação linear, com os valores encontrados em seus respectivos horários, a fim de obtê-los nas mesmas horas da campanha aqui utilizada. Para tanto, tomou-se como base o horário das sondagens do LBA/TRMM (1999).

Essa interpolação pode causar diferenças nos valores reais da CLN como, por exemplo, a perda de alguma variação brusca ocorrida na atmosfera, acarretando em valores diferentes do encontrado na interpolação. Porém, a interpolação parece ser a melhor maneira disponível para a comparação entre as estações.

Ao analisarem-se os valores médios do gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{V_p \Theta_v}$), foi utilizado o critério de estabilidade estática, empregado por Lyra (1995), Fisch (1996) e Souza (1997):

Instável: $\overline{\nabla_v \Theta_v} < -2K.km^{-1}$

Neutro: $-2K.km^{-1} \leq \overline{\nabla_v \Theta_v} \leq + 2K.km^{-1}$

Estável: $\overline{\nabla_v \Theta_v} > + 2K.km^{-1}$

Para comparar as características da CLA entre os dois sítios, no período chuvoso (LBA/TRMM-1999), somente foram utilizados dias e horários em que existiram sondagens simultâneas e onde a altura pode ser encontrada (normais). Na Tabela 3, encontra-se o número de sondagens utilizadas para a comparação dos sítios.

Tabela 3 – Total de sondagens utilizadas para a comparação dos dois sítios na estação chuvosa (LBA/TRMM-1999).

	CLC				CLN			
Hora Local	08HL	11HL	14HL	17HL	20HL	23HL	02HL	05HL
Total	10	17	21	10	10	07	10	13

Além disso, foi aplicada uma correção nos valores de temperatura e umidade da pastagem a fim de extrair as diferenças encontradas entre as duas sondas. As correções foram feitas baseadas no trabalho de Fisch (2002), onde as diferenças entre as sondas foi calculada por faixa de altitude (de 500 em 500m até 5km). Estas correções foram feitas somente nos valores médios no interior da CLA, utilizamos os valores a seguir:

a) Na Temperatura:

0,1°C até 500m;

0,2°C entre 500 e 1000m;

0,3°C entre 1000 e 1500m.

b) Na Umidade específica:

1,2 g.Kg⁻¹ até 500m;

1,6 g.Kg⁻¹ entre 500 e 1000m;

1,4 g.Kg⁻¹ entre 1000 e 1500m.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discussão dos resultados foi feita em 3 etapas:

- 1ª) Acompanhamento dos dados de superfície, separadamente para ambos os sítios, *comparando-os posteriormente*;
- 2ª) Confronto dos resultados da pastagem e floresta, buscando identificar e quantificar as diferenças encontradas;
- 3ª) Comparação dos resultados obtidos com os encontrados no período seco (RBLE 3 – 13 a 26/08 de 1994).

A discussão dos resultados obtidos utilizando todo o conjunto de dados, se encontra no anexo 1. Nele é feito um relato das características da CLA para os dois sítios separadamente.

4.1 – Variação das Variáveis na superfície

É importante lembrar que o período, utilizado nos resultados da pastagem, é de 07 a 22 de fevereiro, enquanto o da floresta é de 30 de janeiro a 21 de fevereiro. Já, na comparação entre os sítios, só foi utilizado o período em comum (07 a 21 de fevereiro).

4.1.1 – Precipitação

a) Pastagem

A série temporal da precipitação na pastagem, durante o período entre 00HL do dia 07 às 12HL do dia 22 de fevereiro, é exposta na Figura 6. Dos 16 dias de medidas, em somente 4 dias não ocorreram eventos de precipitação. Nesse período, os dias em que ocorreram os eventos mais significativos, com precipitação superior que 10mm/dia, foram 07, 15, 17, 18 e 20 de fevereiro. O total de precipitação acumulada no período foi de 115,05mm.

Verificou-se que a ocorrência desses eventos foi maior a partir do dia 15 de fevereiro (33,5mm verso 81,6mm). A precipitação mais elevada ocorreu no dia 07/02 (28,3mm), ou seja, 84,4% do total da 1ª metade, com uma intensidade de 33,4mm.h⁻¹ às 14:30HL. Na análise da situação sinótica (Climanálise, 1999), não há menção de nenhum evento de grande escala nesse dia, indicando se tratar de um evento local.

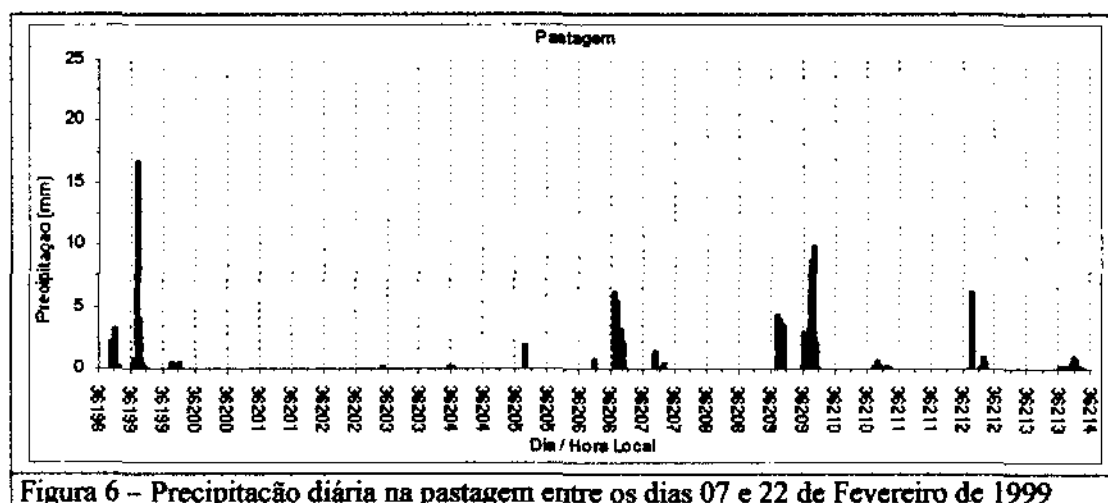


Figura 6 – Precipitação diária na pastagem entre os dias 07 e 22 de Fevereiro de 1999

A partir do dia 15 de fevereiro, a precipitação se concentrou basicamente em dois períodos. O primeiro, na madrugada do dia 15 (23,07mm), e o segundo, no período que vai da tarde do dia 17 e madrugada do dia 18, com 42,98mm de precipitação acumulada.

Das 12HL do dia 08 até às 12HL do dia 13, ocorreu um pequeno período de estiagem, com 3 eventos de precipitação de apenas 0,2mm.

É interessante notar que, no dia 22/fev, mesmo a precipitação total não tendo ultrapassado 3,79mm até às 12HL, foi o maior período de precipitação contínua. Nesse dia, segundo o Climanálise (1999), esteve atuando sobre a região uma frente estacionária.

b) Floresta

Assim como na pastagem, a precipitação na floresta foi marcada por eventos de intensidade relativamente grande, e de períodos de pouca ou nenhuma chuva (Figura 7) No geral, verificou-se que na floresta, durante o período de 30/01 a 21/02, a precipitação ocorrida atingiu um total de 139,9mm, sendo a máxima ocorrida no dia 18/02 à 01HL com 21,3mm, 41,6mm/h de intensidade.

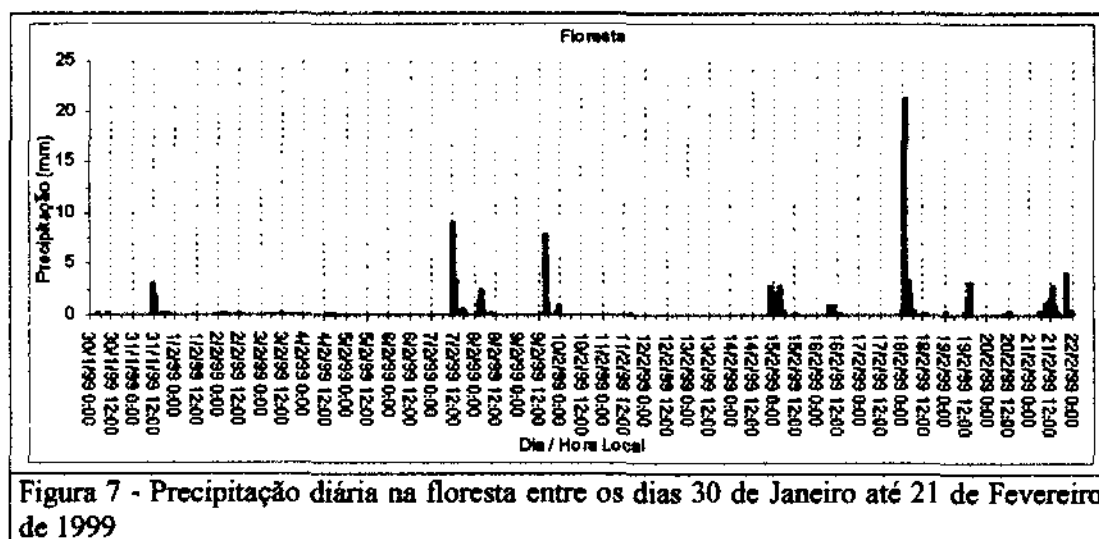


Figura 7 - Precipitação diária na floresta entre os dias 30 de Janeiro até 21 de Fevereiro de 1999

Durante os 24 dias de estudo, em 7 não ocorreram eventos de precipitação (01, 05, 06, 10, 12, 13 e 17 de fevereiro), e durante os dias 12 e 13/02 foi o maior período seguido sem precipitação.

c) Comparação Floresta - Pastagem

A comparação foi feita no período em que existem dados nos dois cenários (07/02 a 21/02). Na Figura 8 são plotados os totais acumulados em cada hora do dia. Nela observou-se que ocorreram eventos de precipitação em quase todas as horas do dia na floresta, com picos na madrugada e no início da tarde.

Na pastagem, ao contrario da floresta, a precipitação ocorreu, predominantemente, em dois períodos, na madrugada, mais forte entre 02HL e 05HL, e na segunda metade da tarde, com pico às 15HL. Esse resultado está de acordo com o observado por Tota et al (2000). Na floresta, a precipitação foi ligeiramente maior nesse período (126mm verso 111mm).

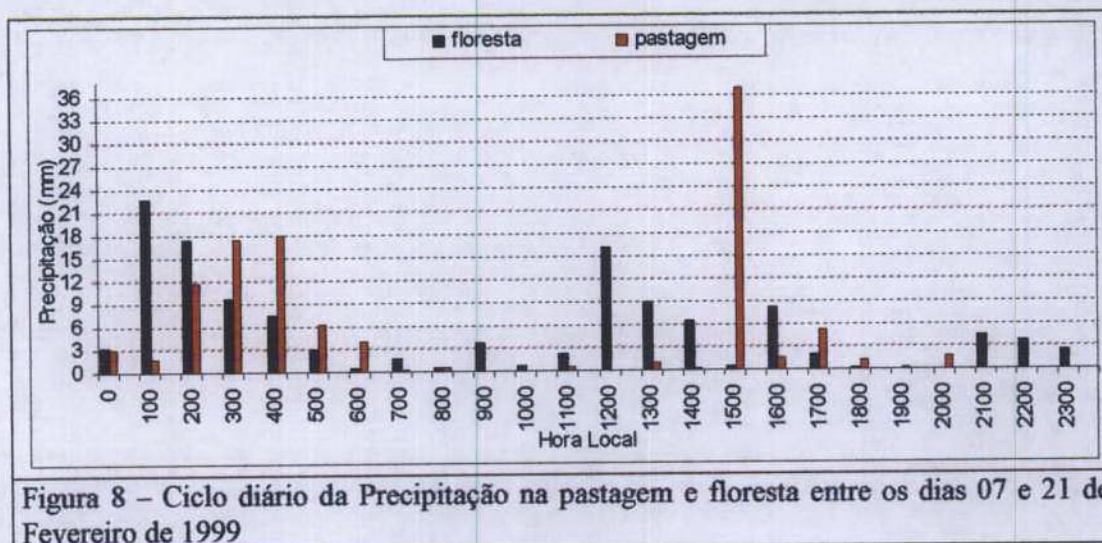


Figura 8 – Ciclo diário da Precipitação na pastagem e floresta entre os dias 07 e 21 de Fevereiro de 1999

4.1.2 – Saldo da Radiação (Rn)

a) Pastagem

O saldo de radiação, na pastagem, variou significativamente de um dia para o outro, como pode ser visto na Figura 9, demonstrando a grande variabilidade da nebulosidade. Existe uma pequena tendência de diminuição da radiação durante o período.

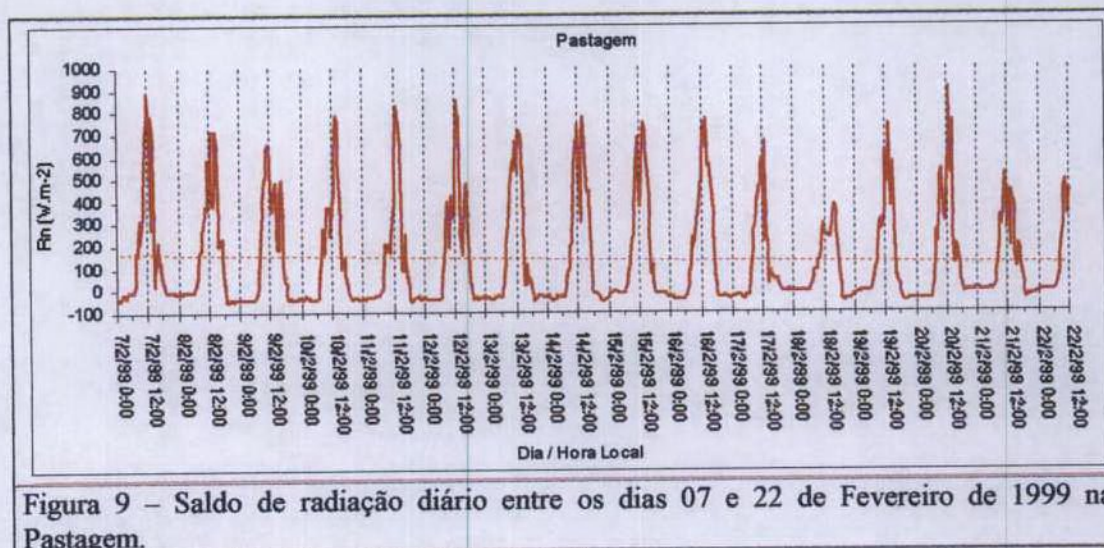


Figura 9 – Saldo de radiação diário entre os dias 07 e 22 de Fevereiro de 1999 na Pastagem.

A média do período foi de 281 W.m^{-2} , e o dia em que ocorreu o pico máximo de Rn foi 20/02 às 13HL, com 906 W.m^{-2} . Nesse dia, houve um evento de precipitação às 15HL, que pode ser notado observando a brusca diminuição de Rn após as 13HL.

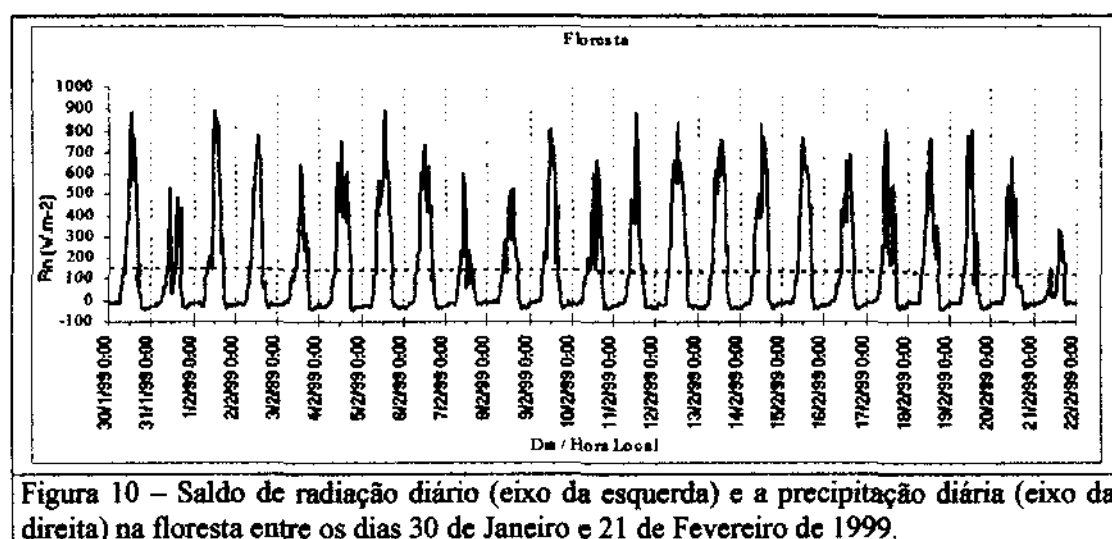
No dia 18/02 ocorreu o mínimo de R_n (383 W.m^{-2} às 16HL). Mas, neste dia, não ocorreu nenhum evento de precipitação durante o dia. A diminuição do saldo de radiação está associada à maior nebulosidade acarretando, assim, diminuição da radiação solar, mas esta nebulosidade não necessariamente está associada à precipitação, demonstrando assim que o efeito da nebulosidade, diminuindo a radiação global prevalece.

O dia que apresentou a maior média de R_n foi 16/02 (332 W.m^{-2}), e o dia 11/02 foi o que apresentou a menor média (254 W.m^{-2}). É interessante notar e que, em nenhum dos dois dias, ocorreram eventos de precipitação relevantes, apenas 0,2mm às 10:30HL do dia 11 e no dia 16 não houve precipitação.

b) Floresta

A Figura 10 mostra o comportamento do saldo de radiação durante o período em estudo na floresta. O primeiro aspecto relevante que se nota, assim como na pastagem, são as variações significativas existentes, não só de um dia para o outro, como também as variações ao longo de um mesmo dia no ciclo diário. Essas variações certamente foram provocadas pela nebulosidade, com ou sem ocorrência de precipitação.

O segundo fato a ser notado é que, mesmo em dias que não ocorreram eventos de precipitação, R_n ficou muito abaixo da média como, por exemplo, o dia 03/02, com média de 215 W.m^{-2} , demonstrando que a nebulosidade na região não está diretamente associada a precipitação, assim como na pastagem.



O valor médio de R_n foi 298 W.m^{-2} . O máximo foi registrado no dia 12/02 (420 W.m^{-2}), dia esse em que não ocorreu precipitação, e o mínimo, no dia 21/02 (101 W.m^{-2}), em que choveu durante quase todo o dia. Um bom exemplo da interferência da nebulosidade, associada à precipitação, é o dia 07/02, quando a radiação é crescente até próximo do meio dia e a partir daí, sofre um decréscimo muito forte, associado à precipitação ocorrida a partir das 12HL.

c) Comparação Floresta - Pastagem

Os ciclos médios diários de R_n , na pastagem e na floresta, são mostrados na Figura 11. Observa-se que os ciclos, em ambos os sítios, são muito parecidos. Existe uma pequena defasagem de 1,5 hora entre os picos máximos. O máximo na pastagem foi de 585 W.m^{-2} às 13:30HL e na floresta foi de 557 W.m^{-2} às 12:00HL.

O valor de R_n na pastagem começa a se tornar positivo com um atraso de meia hora, em relação à floresta. Possivelmente essa diferença se dá pelo fato da área floresta ser mais plana e que na pastagem existem montanhas/colinas em sua região.

O decréscimo observado no ciclo de R_n entre 12HL e 13HL na floresta, está relacionado à precipitação ocorrida nesse horário, o mesmo ocorreu na pastagem, onde a diminuição brusca da radiação depois das 14HL, também está associada à precipitação, como foi visto anteriormente (C.f. 4.1.1c).

Mesmo sem precipitação este decréscimo de R_n na floresta pode estar associada a diminuição da radiação devido à nebulosidade que, talvez, possa se desenvolver mais rapidamente sobre a floresta entre 12 e 14HL.

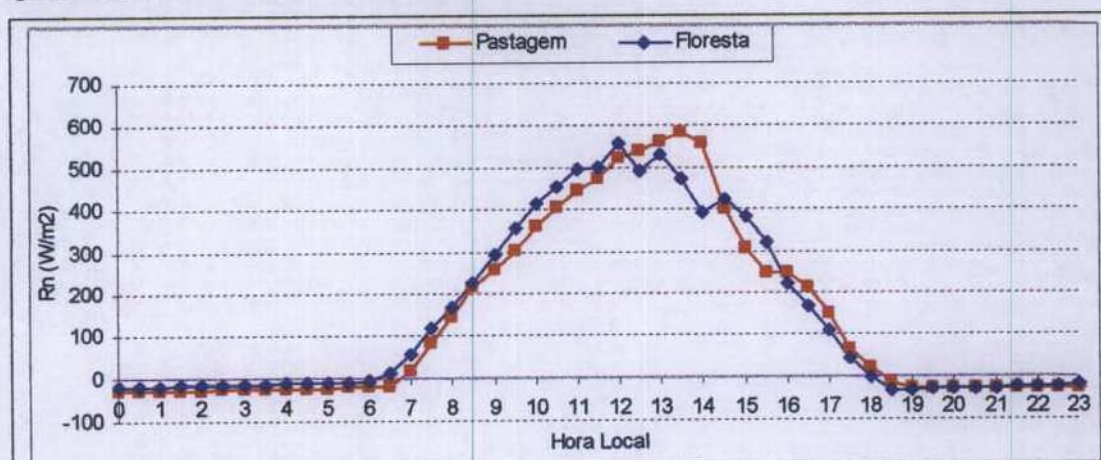


Figura 11 - Ciclo diário do Saldo de radiação na pastagem e floresta entre os dias 07 e 21 de Fevereiro de 1999.

Na média geral, do nascer ao por do sol, o R_n da pastagem foi ligeiramente inferior em 5 W.m^{-2} (283 W.m^{-2} verso 288 W.m^{-2}).

4.1.3 – Temperatura do Ar

a) Pastagem

Houve uma variação muito grande da temperatura entre os dias (Figura 12), com diminuições bruscas na temperatura causadas pela nebulosidade, associada ou não a precipitação, assim com ocorreu com R_n . O coeficiente de determinação entre R_n e temperatura do ar foi de 0,78, demonstrando um bom ajuste entre as duas variáveis.

A temperatura média foi de $24,8^\circ\text{C}$, com a máxima de $31,5^\circ\text{C}$, no dia 14/02 às 16:30HL, e a mínima de $20,9^\circ\text{C}$, no dia 20/02 às 06:30HL. Os dias 10 e 12/02 foram os que apresentaram a temperatura média mais elevada, com $25,7^\circ\text{C}$, e a menor média diária foi de $23,6^\circ\text{C}$ no dia 18/02. Portanto a amplitude máxima diária foi de 11°C enquanto a amplitude diária média foi igual a 2°C no período estudado.

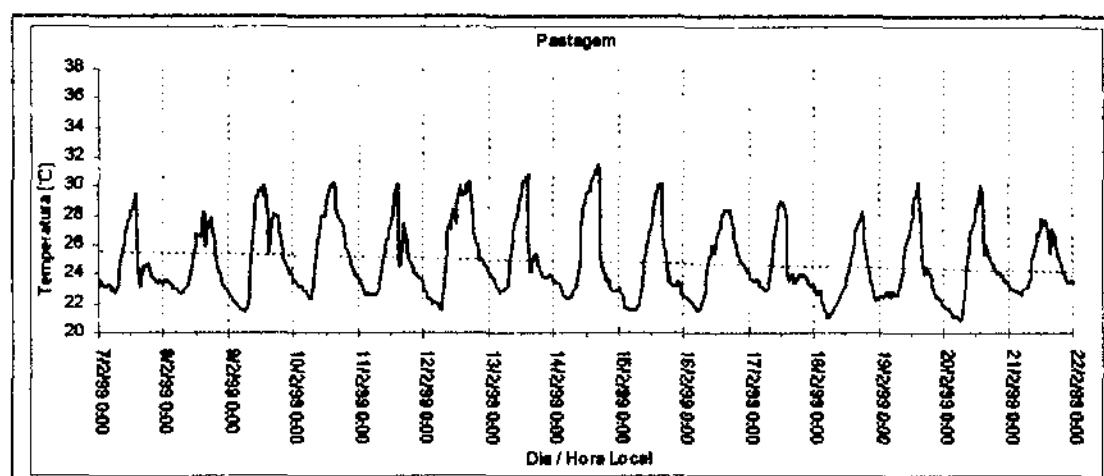
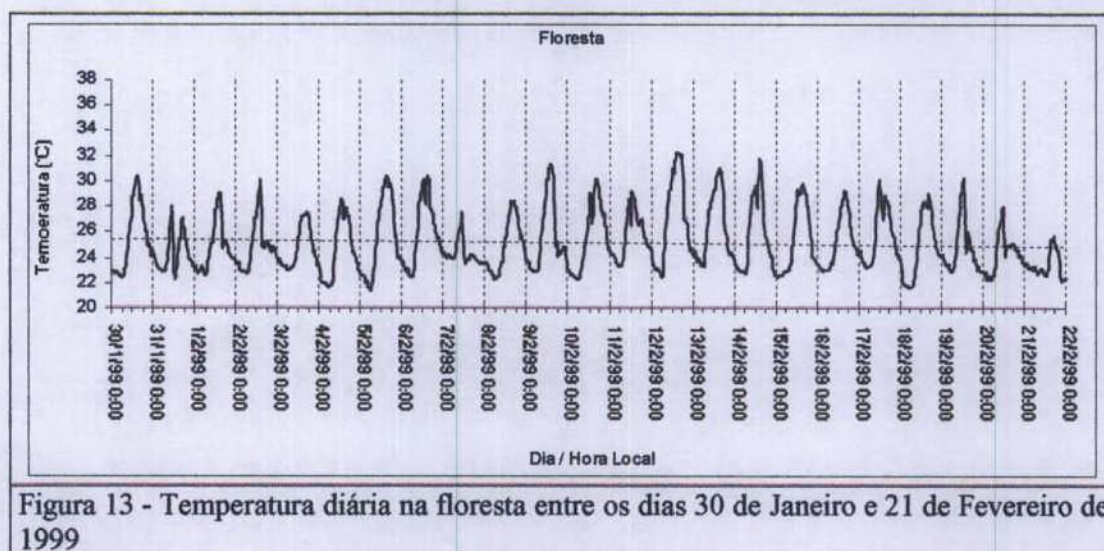


Figura 12 – Temperatura diária na pastagem entre os dias 07 e 21 de Fevereiro de 1999

b) Floresta

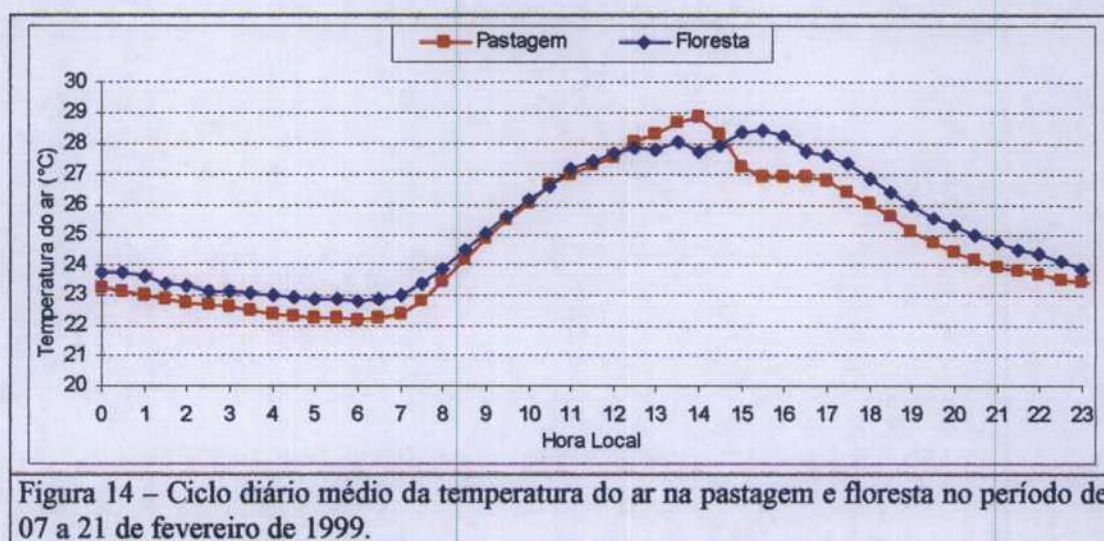
O comportamento da temperatura do ar, na floresta (Figura 13), foi muito parecido com o de R_n , assim como na pastagem, com súbitas diminuições de seus valores, decorrentes, possivelmente, de nebulosidade. O coeficiente de determinação entre as variáveis foi pouco menor (0,69) do que na pastagem mas, ainda assim um valor alto.

A temperatura média foi de $25,2^{\circ}\text{C}$, com um máximo de $32,3^{\circ}\text{C}$ no dia 12/02 às 15:30HL, e um mínimo de $21,4^{\circ}\text{C}$ às 06HL do dia 05/02. O dia 12/02 apresentou a temperatura média mais elevada igual a $27,0^{\circ}\text{C}$, e o dia 21 a mais baixa ($23,5^{\circ}\text{C}$). Portanto a amplitude máxima diária foi igual a 11°C enquanto a amplitude média diária foi de $3,5^{\circ}\text{C}$.



b) Comparação Floresta – Pastagem

O ciclo diário da temperatura do ar nos dois sítios é mostrado na Figura 14. Os ciclos da temperatura do ar, assim como em R_n , são parecidos mas existem diferenças.



A primeira diferença é a hora do pico máximo da temperatura que, na pastagem, ocorreu às 14HL (28,9°C) e na floresta às 15:30HL (28,4°C). A segunda, é a diferença na amplitude do ciclo diário que, na pastagem, é maior (6,7°C verso 5,6°C), diferença essa esperada já que, a floresta absorve e armazena mais calor e boa parte desse calor é liberado como calor latente e não calor sensível.

Durante todo o dia, o único período onde a pastagem apresentou uma temperatura do ar mais elevada que na floresta foi de 12:30HL às 14:30HL. Isso se explica pelo alto valor da precipitação na floresta, nesse horário, como comentado anteriormente. A temperatura média diária na pastagem foi de 24,8°C e na floresta de 25,3°C. A maior diferença existente foi de 1,5°C às 15:30HL, maior na floresta (28,4°C verso 26,9°C), e a menor ocorreu às 10:30HL, quando as temperaturas foram idênticas (26,7°C).

4.1.4 - Umidade Relativa

a) Pastagem

A umidade relativa apresenta, como é normal, um comportamento inverso da temperatura (Figura 15). O coeficiente de determinação entre umidade relativa e temperatura do ar foi de -0,96.

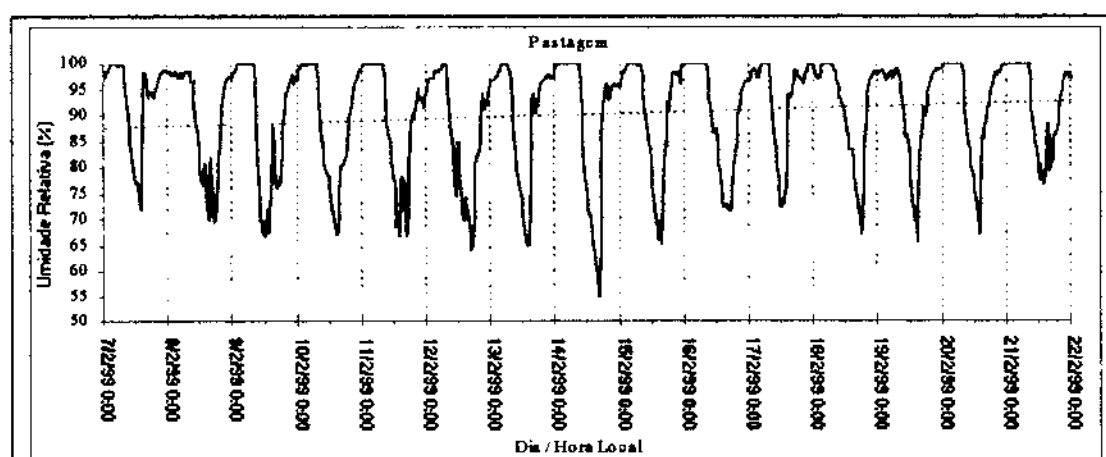


Figura 15 – Umidade relativa do ar diária na pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

A Umidade média foi de 90%, com um valor máximo alcançando a saturação quase todas as noites. As exceções foram para as noites do dia 07/08 e 18/19. O valor mínimo foi de

55% às 16:30HL do dia 14/02, dia esse em que a temperatura também alcançou um valor extremo, no caso valor máximo do período (C.f 4.1.3).

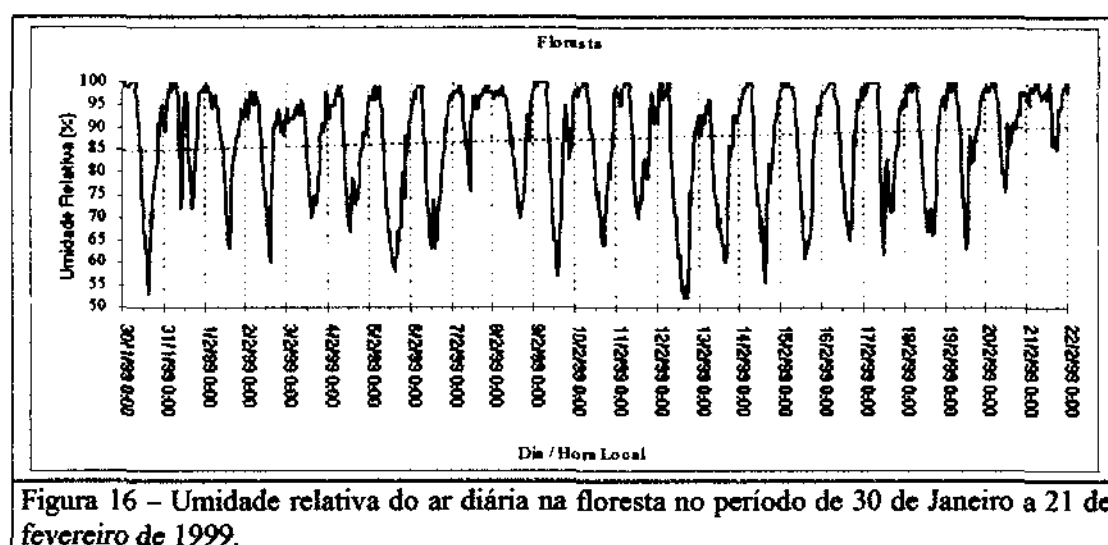
O dia mais úmido foi 07/02, com 93% de média. Nesse dia, na parte da tarde, ocorreu a máxima precipitação no período (C.f. 4.1.1). Na média, o dia mais seco foi o 12/02 com 87%, apesar de ter ocorrido um pequeno evento de precipitação de 0,2mm (C.f. 4.1.1). Esse foi também o dia mais quente do período (C.f. 4.1.3), fazendo a umidade relativa ser baixa.

b) Floresta

A umidade relativa na floresta, assim como na pastagem, esteve sempre muito alta no período da noite (Figura 16). O comportamento, em relação à temperatura, obteve um coeficiente de correlação (-0,96) praticamente igual à encontrada na pastagem.

A média foi de 87%, com saturação em quase todas as noites. As exceções ficaram para as noites dos dias 01-02, 02-03 e 12-13. O valor mínimo foi de 52% às 16:00HL do dia 12, dia esse em que a temperatura também alcançou o seu valor máximo.

O dia mais úmido foi 21 com 96,2%. Nesse dia, a temperatura foi a mais baixa do período e foi o dia em que houve precipitação durante grande parte do dia. O mais seco foi o dia 12, com 78,9%, sendo esse o dia mais quente do período e sem evento algum de precipitação.



c) Comparação Floresta - Pastagem

A comparação entre os ciclos médios diários da umidade relativa, nos dois sítios, é mostrada na Figura 17. Nela, constatou-se uma semelhança entre eles, mas com certas diferenças em alguns pontos, assim como foi com a temperatura do ar.

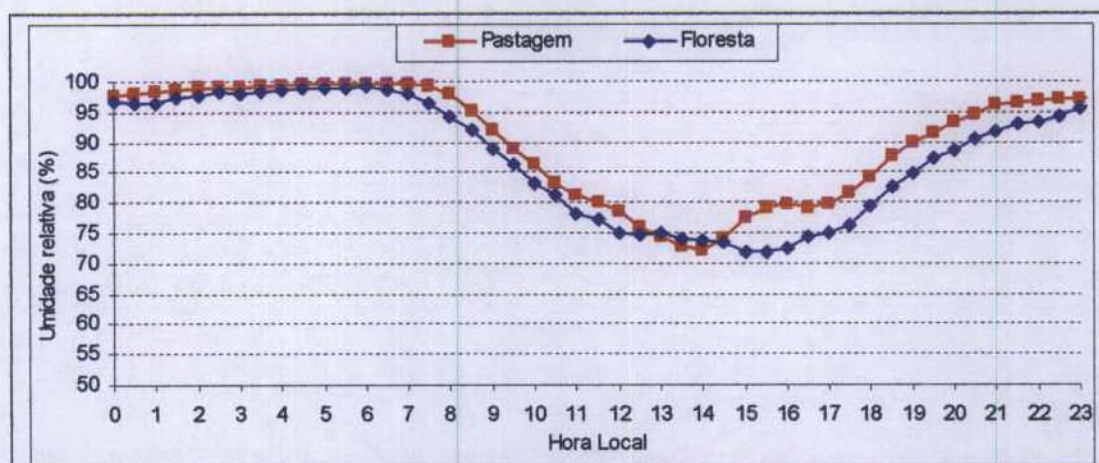


Figura 17 – Ciclo diário médio da umidade relativa do ar na pastagem e floresta no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

A umidade relativa, na pastagem, com exceção do pequeno período que foi das 13HL até às 14HL, foi sempre superior, em 2% (90% verso 88%) na média, com exceção do período das 12HL às 14HL, devido à precipitação na floresta que é maior nesse horário. A diferença no horário do pico mínimo foi igual à temperatura, 14HL na pastagem e 15:30HL na floresta.

A amplitude da onda foi igual para os dois sítios. Já que no caso da temperatura viu-se que amplitude na pastagem foi maior, era de se esperar que no caso da umidade ocorresse o mesmo. A explicação está no período da noite, quando a umidade chega à saturação devido à perda radiativa noturna em ambos os sítios, independentemente da diferença de temperatura eles.

4.2 – Comparação Floresta e Pastagem

Na comparação a seguir, serão utilizados os resultados obtidos no período onde foram realizadas medidas simultâneas nos dois sítios (07 a 21 de fevereiro) e só foram computadas as sondagens que foram realizadas simultaneamente. No anexo 2 encontra-se a relação de sondagens que foram utilizadas para esta comparação. No anexo 3, encontra-se uma tabela com todos os valores das variáveis médias no interior da CLC e no anexo 4 no interior da CLN.

4.2.1 – Camada Limite Convectiva (CLC)

O comportamento dos perfis da CLC foram praticamente idênticos. Ambos tiveram um crescimento quase linear do nascer do sol até às 14HL. A partir daí ela diminuiu um pouco sobre a floresta e permaneceu crescendo sobre pastagem até às 17HL (Figura 18). Os valores encontrados demonstraram que praticamente não houve diferença na altura média da CLC, sendo Z_{im} na pastagem apenas 3m superior ao da floresta (750m verso 747m respectivamente). As diferenças encontradas entre as alturas da CLC nos dois cenários ficaram todas dentro da margem de erro da metodologia utilizada.

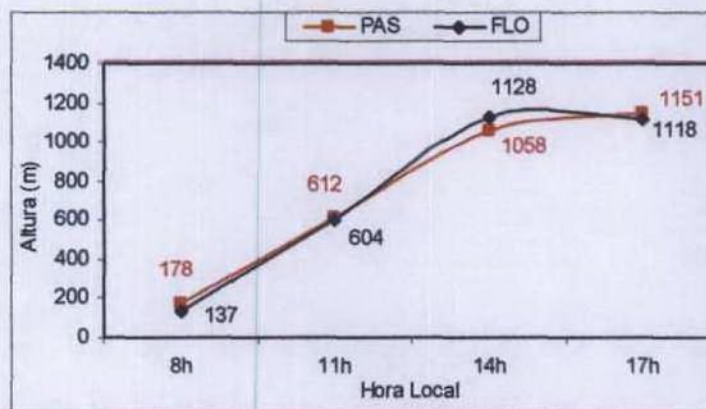


Figura 18 – Evolução Z_{im} da CLC durante o LBA/TRMM (1999) na pastagem e floresta (negrito).

As taxas médias de desenvolvimento da CLC nos dois sítios foram muito próximas uma da outra. Na floresta, entre 14HL e 17HL, a taxa foi ligeiramente negativa e, na pastagem, foi praticamente nula (Tabela 04). Na pastagem, a taxa média de crescimento foi de $0,029 \text{ m.s}^{-1}$ enquanto foi de $0,027 \text{ m.s}^{-1}$ na floresta.

Tabela 04 – Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLC para pastagem e a floresta (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	Pastagem	Floresta
☀ - 8	0,025	0,019
8 - 11	0,040	0,043
11 - 14	0,041	0,048
14 - 17	0,009	-0,001

Os valores dos desvios padrões de Z_i , padronizados pela média, (Tabela 05) corroboraram com o que foi observado até agora no tocante à semelhança da CLC nos dois sítios. Eles são, em média, idênticos (0,35 verso 0,34). Vale salientar que na pastagem o desvio representa praticamente metade da média às 08HL.

Tabela 05 – Desvios padrões de Z_{im} padronizados pela média da CLC para a pastagem e floresta (LBA/TRMM (1999)).

	Hora Local			
	08	11	14	17
Pastagem	0,49	0,37	0,21	0,31
Floresta	0,41	0,41	0,24	0,30

4.2.1.1- Variação das variáveis médias dentro da CLC

4.2.1.1.1 – Temperatura potencial virtual média ($\overline{\Theta_v}$)

O comportamento de $\overline{\Theta_v}$ na CLC nos dois sítios (Figura 19) foi bastante parecido com o próprio crescimento da CLC. A $\overline{\Theta_v}$ na floresta foi de 303,7 K, o máximo foi de 308,8K às 17HL do dia 12/02 e o mínimo 298,3K às 08HL do dia 26/01. Na pastagem, a média foi de 304,4 K, com um máximo de 309,5K às 14HL do dia 14/02 e um mínimo de 300,4K às 11HL do dia 08/02.

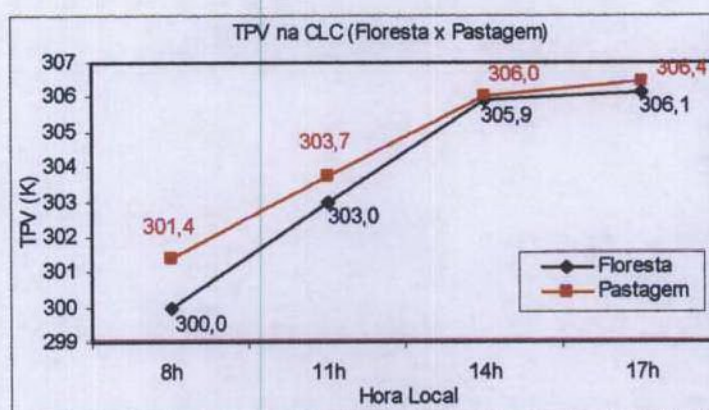


Figura 19 – Comparação da Temperatura Potencial Virtual média no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A taxa de aquecimento foi $0,12\text{K.h}^{-1}$ superior na floresta, apesar de que, no final da tarde (14HL – 17HL), ela ter sido quase duas vezes superior na pastagem (Tabela 06).

Tabela 06 – Taxa de aquecimento (K.h^{-1}) médio da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	Pastagem	Floresta
☀ - 08	-	-
08 - 11	0,79	1,00
11 - 14	0,76	0,98
14 - 17	0,14	0,06

4.2.1.1.2 – Gradiente vertical de temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

Na pastagem, $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ foi estaticamente neutro durante todo o dia, enquanto na floresta iniciou neutro, passou a instável às 11HL e, em seguida, voltou a ser neutro no final do dia (Figura 20). Portanto, a pastagem esteve com uma CLC mais bem “misturada”, ou com uma CLS menos efetiva.

O $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ médio na floresta foi de $-3,0 \pm 3,8\text{K.km}^{-1}$, o máximo foi de $2,7\text{K.km}^{-1}$ às 08HL do dia 26/01 e o mínimo $-17,8\text{K.km}^{-1}$ às 11HL do dia 24/02. Já, na pastagem, a média foi de $-0,4 \pm 1,6\text{K.km}^{-1}$, com um máximo de $4,3\text{K.km}^{-1}$ às 08HL do dia 29/01 e um mínimo de $-6,5\text{K.km}^{-1}$ às 14HL do dia 13/02.

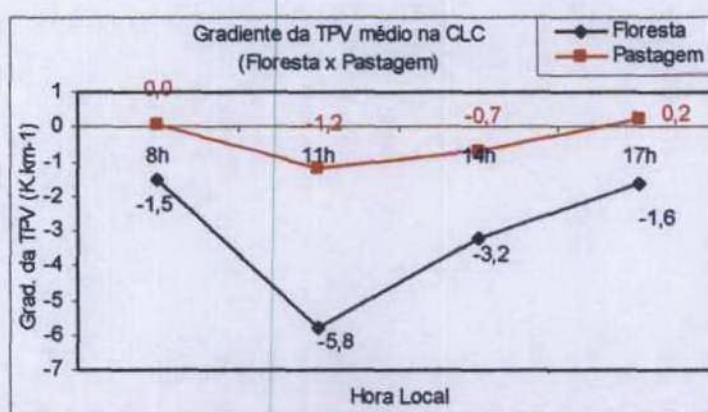


Figura 20 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual média no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A diferença absoluta entre os sítios foi de $2,6 \text{ K.km}^{-1}$, sendo a máxima de $3,6 \text{ K.km}^{-1}$ às 11HL e a mínima de $1,5 \text{ K.km}^{-1}$ às 08HL.

4.2.1.1.3 - Vento

a) Velocidade

As diferenças na velocidade do vento foram maiores pela manhã e praticamente não existiram à tarde (Figura 21). Na pastagem, onde foi superior, a velocidade foi máxima às 11HL e mínima às 14HL. Na floresta, o vento aumentou quase uniformemente com o tempo (mínimo às 08HL e máximo às 17HL).

A velocidade média na floresta foi de $2,4 \pm 1,4 \text{ m.s}^{-1}$, o máximo foi de $6,3 \text{ m.s}^{-1}$ às 14HL do dia 24/02 e o mínimo $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ às 08HL do dia 24/01. Na pastagem, a média foi de $3,1 \pm 2,0 \text{ m.s}^{-1}$, com um máximo de $8,0 \text{ m.s}^{-1}$ às 11HL do dia 03/02 e às 14HL do dia 24/02, e um mínimo de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ às 17HL do dia 12/02. É interessante notar que o dia 24/02 foi realmente especial, em função da presença do sistema de meso-escala, conforme foi mencionado anteriormente.

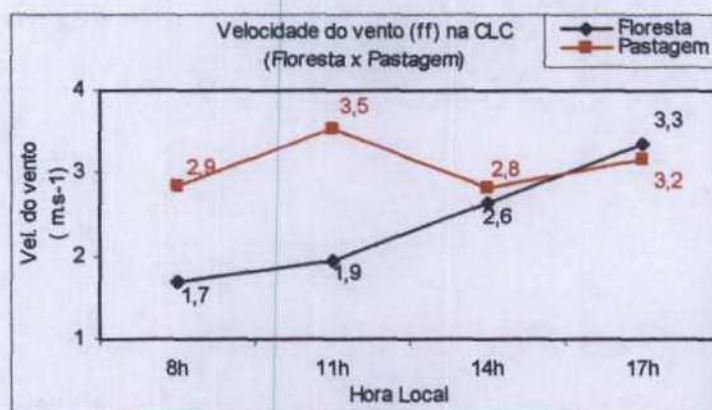


Figura 21 – Velocidade média do vento no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A diferença entre os dois sítios foi de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$, sendo a máxima de $1,6 \text{ m.s}^{-1}$ às 11HL e a mínima de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ às 17HL.

b) Direção

A direção média do vento nos dois sítios pode ser vista na Figura 22. Nota-se que existiram pequenas diferenças entre eles. Em ambos, a direção foi sempre entre 90° e 180° (quadrante Sul-Leste) mas, na pastagem, a direção tendeu a ser de Leste no início da manhã e de Sul às 14HL indo para Sudeste no final do dia. Na floresta, a direção foi um pouco mais de Sul na primeira metade do dia e tendeu a ser mais de Leste na segunda metade. Levando-se em conta a distância entre os dois sítios, pode-se afirmar que os padrões são praticamente idênticos.

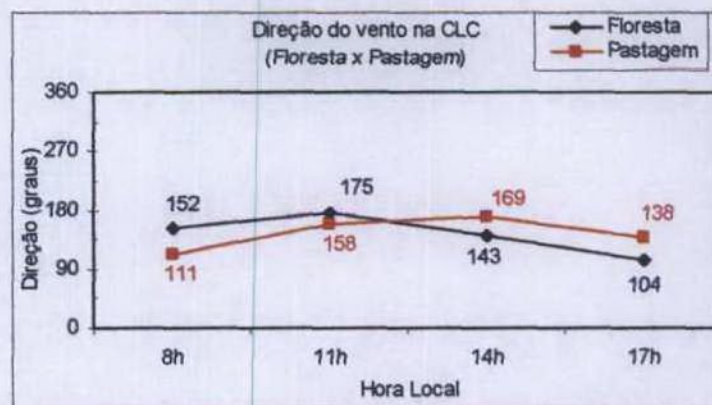


Figura 22 – Direção média do vento no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

4.2.1.1.4 – Umidade específica média ($\bar{q}$)

De um modo geral, o comportamento diurno da umidade específica em ambos os sítios é muito parecido. A umidade diminuiu à medida que a CLC se desenvolveu sendo sempre mais úmida na floresta (Figura 23). As diferenças são muito pequenas, dentro do limite de precisão dos sensores.

Na floresta, os valores variaram de $16,6 \pm 0,7 \text{ g.kg}^{-1}$ às 08HL a $14,9 \pm 0,8 \text{ g.kg}^{-1}$ às 17HL, com uma média de $15,7 \pm 0,9 \text{ g.kg}^{-1}$. Nota-se que na floresta os valores das 14HL e 17HL foram praticamente os mesmos. Na pastagem, os valores foram de $16,2 \pm 0,8 \text{ g.kg}^{-1}$ a $14,0 \pm 1,1 \text{ g.kg}^{-1}$, com uma média de $15,0 \pm 1,0 \text{ g.kg}^{-1}$.

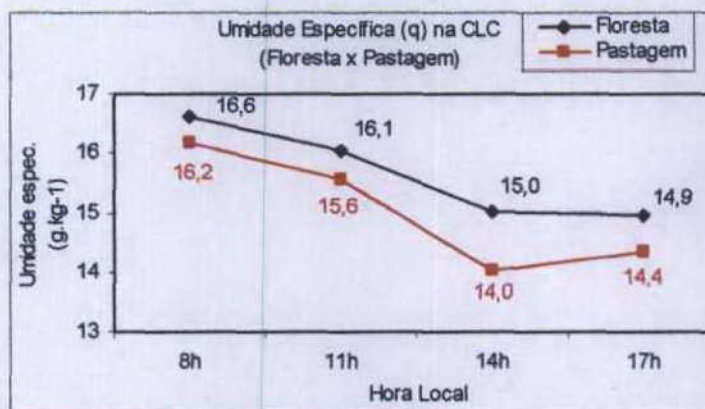


Figura 23 – Umidade específica média no interior da CLC (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A diferença entre os sítios foi de $0,7 \text{ g.kg}^{-1}$, com o máximo de $1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ (14HL) e mínimo de $0,4 \text{ g.kg}^{-1}$ (08HL).

4.2.2 – Camada Limite Noturna (CLN)

Os perfis apresentaram um comportamento semelhante nos dois cenários (Figura 24). Os valores encontrados demonstraram que a diferença na altura média da CLN, entre a pastagem e a floresta, foi de 155m (46%), menor na pastagem (334m verso 489m).

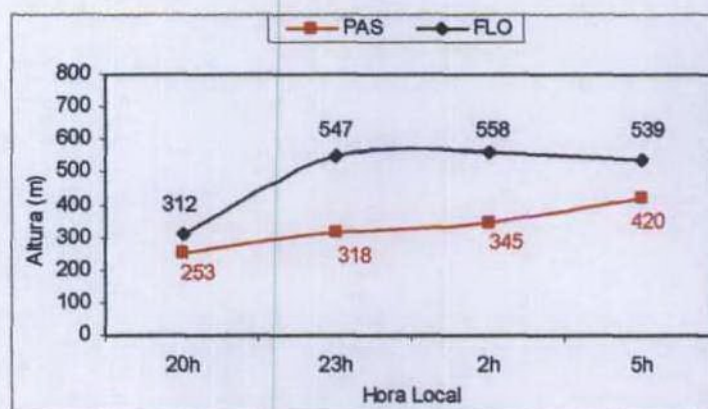


Figura 24 — Evolução da altura da CLN durante o LBA/TRMM-(1999) na pastagem e floresta.

Pode-se observar pequenas diferenças no crescimento da CLN. Na floresta, a camada cresce mais rapidamente entre 20HL e 23HL e depois sua taxa de desenvolvimento diminuiu passando a ser negativa entre 02 e 05HL. Na pastagem, a camada cresceu desde o seu nascimento até o final da noite (Tabela 07).

Na pastagem, a taxa média de crescimento foi de $0,013 \text{ m.s}^{-1}$ enquanto na floresta, foi de $0,016 \text{ m.s}^{-1}$, uma diferença de apenas $0,003 \text{ m.s}^{-1}$.

Tabela 07 – Taxa média de desenvolvimento (m.s^{-1}) da CLN para pastagem e a floresta (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	Pastagem	Floresta
O - 20	0,035	0,043
20 - 23	0,006	0,022
23 - 02	0,003	0,001
02 - 05	0,007	-0,002

Os valores dos desvios padrões de Zi, padronizados pela média, (Tabela 08) foram, assim como na CLC, muito parecidos, com uma diferença máxima de apenas 0,07 às 02HL. A média na pastagem foi de 0,34 de 0,33 e na floresta.

Tabela 08 – Desvios padrões de Zi padronizados pela média da CLN para a pastagem e floresta (LBA/TRMM (1999)).

	Hora Local			
	20	23	02	05
Pastagem	0,41	0,26	0,35	0,32
Floresta	0,46	0,25	0,28	0,34

4.2.2.1- Variação das variáveis médias dentro da CLN

4.2.2.1.1 – Temperatura potencial virtual média ($\overline{\Theta_v}$)

A evolução da $\overline{\Theta_v}$ média na CLN, nos dois sítios (Figura 25), foi marcada por uma diminuição ao longo da noite. A $\overline{\Theta_v}$ foi igual no início da noite e superior na pastagem na segunda metade da noite, devido à estabilização de $\overline{\Theta_v}$ na pastagem entre 23HL e 02HL e a continua diminuição na floresta.

O esperado era que, devido à maior perda radiativa, a pastagem apresentasse uma temperatura mais baixa do que a floresta. Isso não ocorreu, possivelmente devido à cobertura de nuvens que diminuiria essa perda. E, também, por a CLN ser mais baixa, como visto anteriormente, o que retém a energia perdida pela superfície em uma camada mais estreita. Além disso, a CLC na pastagem, foi 0,8K mais quente às 17HL.

A $\overline{\Theta_v}$ média na floresta foi de $303,1 \pm 1,2K$, o máximo foi de 305,8K às 20HL do dia 10/02 e o mínimo 298,9K às 02HL do dia 24/01. Na pastagem a média foi de $303,3 \pm 1,3K$, com um máximo de 306,3K às 02HL do dia 29/01 e um mínimo de 300,7K às 23HL do dia 04/02.

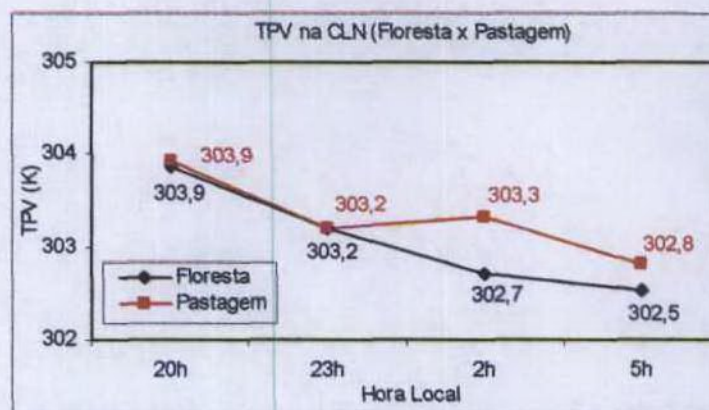


Figura 25 – Comparação da temperatura potencial virtual média no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A pastagem foi 0,2K mais quente, sendo a diferença máxima de 0,6K às 02HL e iguais às 20HL e 23HL. Na média, a CLN da floresta se resfriou do início até o final da noite, em 1,4K e a da pastagem 1,1K.

A taxa de resfriamento nos 2 cenários foram praticamente idênticas ($-0,12\text{K.h}^{-1}$ na pastagem e $-0,15\text{K.h}^{-1}$ na floresta). A diferença a ser notada, foi o pequeno aquecimento que ocorreu na pastagem entre 23 e 02HL. (Tabela 09).

Tabela 09 – Taxa de resfriamento (K.h^{-1}) médio da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	Pastagem	Floresta
0 - 20	-	-
20 - 23	-0,24	-0,23
23 - 02	0,04	-0,16
02 - 05	-0,17	-0,06

4.2.2.1.2 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

O desenvolvimento médio da $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ apresentou um comportamento semelhante nos dois sítios (Figura 26). Tanto na pastagem como na floresta, os gradientes se mostraram estáveis durante toda a noite, sendo mais estável na pastagem.

A média na floresta foi de $8,9 \pm 5,5\text{K.km}^{-1}$, o máximo foi de $24,2\text{K.km}^{-1}$ no dia 13/02 e o mínimo $-15,3\text{K.km}^{-1}$ no dia 17/02, ambos às 05HL. Já, na pastagem, a média foi de $11,2 \pm 4,9\text{K.km}^{-1}$, com máximo de $25,0\text{K.km}^{-1}$ às 20HL do dia 24/01 e mínimo de $0,7\text{K.km}^{-1}$ às 20HL do dia 03/02.

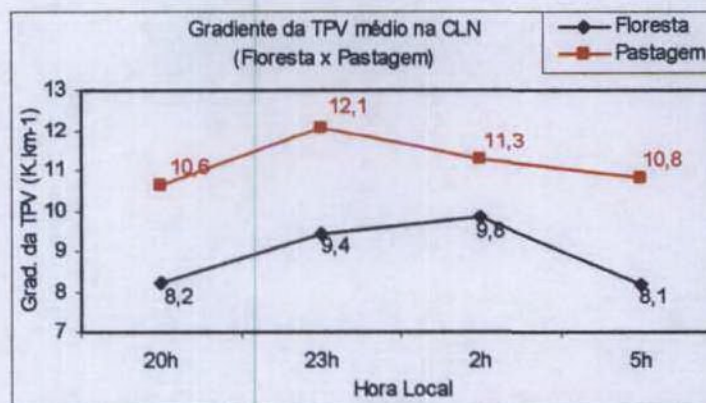


Figura 26 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual média no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A diferença média entre os dois sítios foi de $2,3 \text{ K.km}^{-1}$, maior na pastagem, sendo a máxima de $2,7 \text{ K.km}^{-1}$ às 05HL e mínima às 23HL com $1,5 \text{ K.km}^{-1}$ onde foram iguais.

4.2.2.1.3 - Vento

a) Velocidade

A velocidade do vento se comportou de maneira semelhante nos 2 cenários, sendo sempre superior na pastagem (Figura 27). Ambos apresentaram um crescimento da ordem de 50% entre 20 e 02HL e uma tendência a estabilizar no restante da madrugada.

A média na floresta foi de $2,1 \pm 1,0 \text{ m.s}^{-1}$, o máximo foi de $5,3 \text{ m.s}^{-1}$ às 02HL do dia 03/02 e o mínimo $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ às 20HL do dia 21/02. Na pastagem, a média foi de $2,4 \pm 1,4 \text{ m.s}^{-1}$, com máximo de $5,6 \text{ m.s}^{-1}$ às 02HL do dia 24/01, e mínimo de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ às 23HL do dia 08/02.

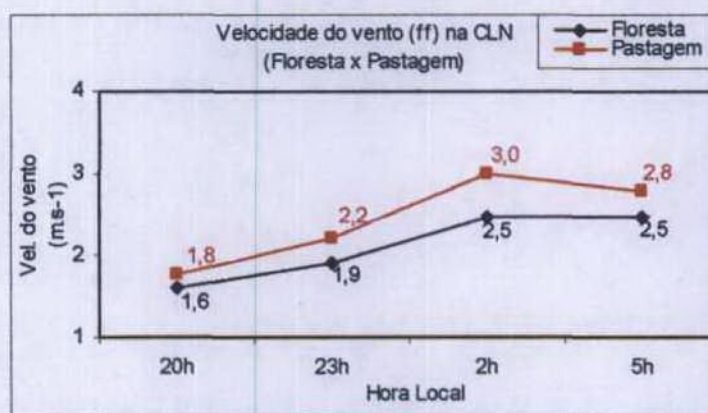


Figura 27 – Velocidade média do vento no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

A diferença média entre os dois sítios foi de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$, maior na pastagem, sendo a máxima de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ às 02HL e a mínima de $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ às 20HL.

b) Direção

A direção média nos dois sítios pode ser vista na Figura 28. Nota-se que, em ambos os cenários, a direção foi sempre muito próxima uma da outra, com exceção das 20HL onde a diferença foi de 62° . O vento, nos dois sítios, soprou na mesma direção e a diferença, em termos de média, foi sempre inferior a 20° .

No geral, a direção foi, no início da noite, de SE na pastagem, seguindo o sentido da rodovia que corta rondonia (BR-364) e de Leste na floresta. Nos horários subseqüentes giram em sentidos opostos e tendem a soprar na mesma direção às 23HL. A partir das 23HL ele tende a girar para o Norte, atingindo algo próximo a NE às 02HL. É importante salientar que esta mudança de direção significa que o escoamento na região é no sentido floresta-pastagem, indicando a existência de advecção horizontal. A medida que passa a noite as diferenças de umidade, como veremos mais adiante, tendem a diminuir. Uma vez atingido o equilíbrio, o fluxo tende a se alinhar novamente com o eixo da rodovia (BR-364). Isto mostra que, apesar de não ser possível afirmar a existência do estabelecimento de uma brisa, fica também muito claro que a mudança de direção ocorre em intervalo de tempo característico de fenômenos de escala local.

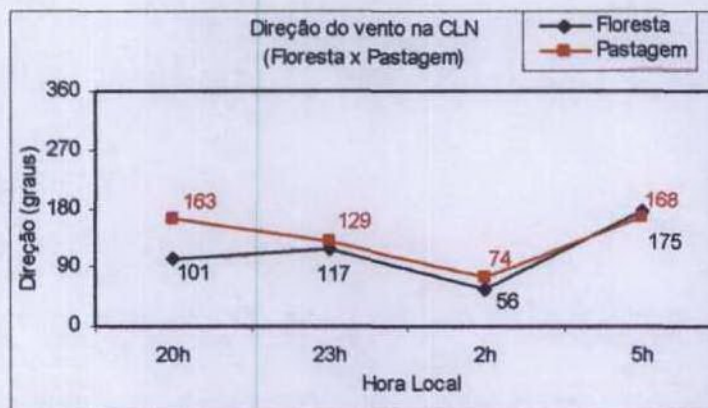


Figura 28 - Direção média do vento no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

4.2.2.1.4 - Umidade específica ($\bar{q}$)

De um modo geral, a umidade foi bem maior na floresta às 20HL, diminuindo no restante da noite, até se inverter às 02HL. A umidade específica foi superior na floresta durante toda a noite, com exceção das 02HL (Figura 29), onde a maior umidade na pastagem fez com que $\bar{\Theta}_v$ fosse também superior (Cf. 4.2.2.1.1).

A umidade foi maior na pastagem às 02HL. Essa superioridade pode ser devido ao fato de haver uma advecção de umidade da floresta para a pastagem, já que a direção do escoamento predominante, conforme mencionado no item anterior, indica essa possibilidade (Cf. 4.2.2.1.3).

O aumento da umidade durante a madrugada, foi melhor ilustrada no Anexo 6 anexa. Nela, observou-se que “q” na pastagem cresce muito entre as 23HL (Anexo 6f) e 02HL (Anexo 6g). Vale ressaltar que o crescimento não se dá apenas na CLN mas em uma camada de cerca de 1km de espessura. Esse aumento de umidade implica em um aumento em $\overline{\Theta_v}$ (Anexo 5f e 5g).

Na floresta, os valores variaram de $17,5 \pm 1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ às 20HL a $16,4 \pm 1,2 \text{ g.kg}^{-1}$ às 02HL, com uma média de $16,8 \pm 0,9 \text{ g.kg}^{-1}$. Na pastagem, os valores foram de $16,0 \pm 1,4 \text{ g.kg}^{-1}$ a $16,9 \pm 1,7 \text{ g.kg}^{-1}$, com uma média de $16,3 \pm 1,2 \text{ g.kg}^{-1}$.

Na média, a diferença entre os sítios foi de $1,2 \text{ g.kg}^{-1}$, mais úmido na floresta, com o máximo de $1,3 \text{ g.kg}^{-1}$ (20HL) e mínima de $0,5 \text{ g.kg}^{-1}$ durante todo o restante da noite.

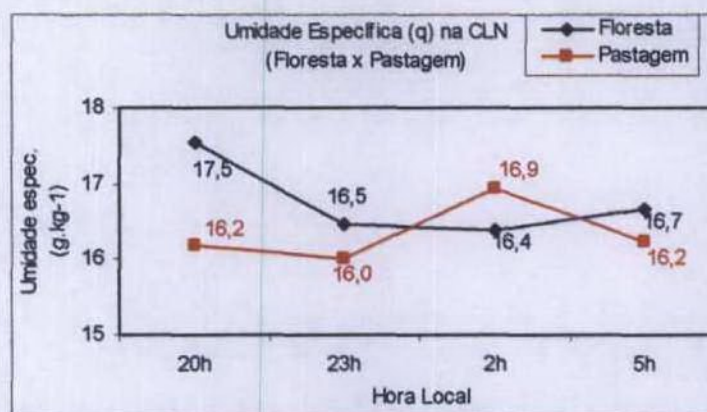


Figura 29 - Umidade específica média no interior da CLN (floresta x pastagem), durante o LBA/TRMM (1999).

4.3 - Comparação entre a estação Seca (RBLE 3-1994) e Chuvosa (LBA/TRMM-1999)

As comparações foram realizadas relacionando as diferenças encontradas entre a estação seca (RBLE 3 -13 a 26/08 de 1994) e a chuvosa (LBA/TRMM - 07 a 21/02 de 1999), para cada sítio. Os valores dos desvios padrões para a CLN, bem como dos valores médios dentro da camada, não foram comparados hora a hora, já que os horários foram diferentes nas duas estações, mas os valores médios do período são discutidos.

Tendo em vista a impossibilidade de comparar os valores médios de $\overline{\Theta_v}$, pelo fato de não se disporem desses dados, realizou-se a comparação das médias da temperatura potencial ($\overline{\Theta}$). Os valores médios das variáveis da CLC, para a pastagem e floresta, encontram-se nas Figuras 6 e 7, anexas, respectivamente.

4.3.1 - Sítio Pastagem

4.3.1.1 - Camada Limite Convectiva (CLC)

Os padrões de desenvolvimento são diferentes, sendo bem mais intenso na estação seca (Figura 30). No início do dia a CLC é mais alta que na estação seca (178m verso 74). Durante o restante do dia, sua altura cresce mais na estação seca, embora tenham sido praticamente iguais às 11HL. No final da tarde, a altura da CLC da estação seca é superou em 1km a da estação chuvosa.

A diferença na altura média da CLC na pastagem nas duas estações foi de 341m, ou seja, 31% menor na estação chuvosa (750m) que na estação seca (1091m).

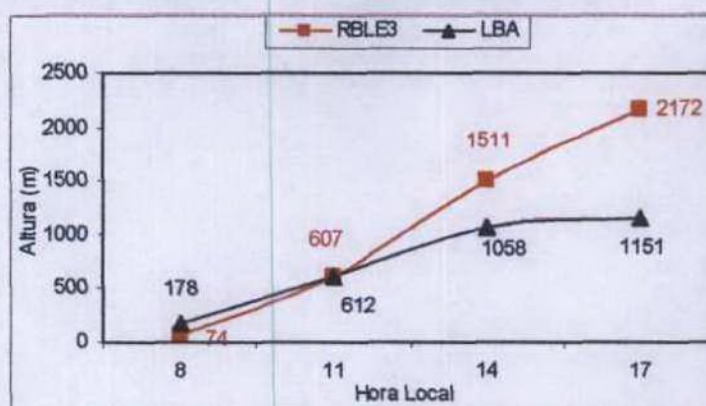


Figura 30 - Evolução da altura da CLC na pastagem para a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

As alturas superiores às 14HL e às 17HL na estação seca, de certa forma, já eram esperadas, uma vez que a repartição de energia nessa estação, em função da menor umidade da superfície, faz com que a maior parte do saldo de radiação seja transformada em calor sensível. No período chuvoso, a maior parte da radiação é transformada em calor latente (Galvão & Fisch, 1998). Essa maior disponibilidade de calor sensível no período seco proporciona um crescimento maior da CLC.

Esse raciocínio também foi reforçado quando verificou-se as diferenças na taxa média de desenvolvimento da CLC entre as 2 estações porque, com exceção do período entre o nascer do sol e as 08HL, elas são sempre maiores na estação seca do que na chuvosa (Tabela 10). A relação seca/chuvosa cresce o tempo todo chegando a 7,10 entre 14HL e 17HL.

Tabela 10 – Taxa média de desenvolvimento ($m.s^{-1}$) da CLC, na pastagem, para a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	SECA	CHUVOSA	SECA/CHUVOSA
☀ - 08	0,010	0,025	0,42
08 - 11	0,049	0,040	1,23
11 - 14	0,084	0,041	2,02
14 - 17	0,061	0,009	7,10

Na estação seca, a camada limite cresceu sempre entre 08 e 17HL com uma velocidade na ordem de $0,051 m.s^{-1}$, enquanto, o crescimento foi de $\approx 0,029 m.s^{-1}$ na chuvosa.

Como relatado anteriormente (Cf. 4.1.1), a maior frequência relativa de precipitação na pastagem, observada no sítio de Ouro Preto durante o LBA/TRMM-1999, ocorreu às 15HL, com alguns casos significativos de taxas de precipitação elevada também às 17HL. Após um evento de chuva, a CLC pode voltar a crescer, implicando numa maior variabilidade na altura da CLC, o que se traduziu em desvios maiores na estação chuvosa, conforme pode ser observado na Tabela 11 (desvios padronizados pela média). Observa-se que eles foram nitidamente superiores na estação chuvosa chegando a 0,49 às 08HL.

Tabela 11 – Desvios padrões de Zi padronizados pela média, na pastagem, durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

	Hora Local			
	08	11	14	17
SECA	0,27	0,27	0,13	0,18
CHUVOSA	0,49	0,37	0,21	0,31

4.3.1.1.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLC

4.3.1.1.1.1 – Temperatura potencial média ($\bar{\Theta}$)

Conforme já foi mencionado anteriormente, não foi possível comparar as médias das temperaturas potenciais virtual, em função de não se disporem desses dados para a estação seca. Entretanto, têm-se os valores da temperatura potencial para as comparações.

Os padrões de evolução de $\bar{\Theta}$ nas duas estações foram semelhantes, sendo sempre mais quente durante a estação seca (Figura 31). As menores temperaturas ocorreram no início da manhã, horário em que a diferença entre elas também foi menor (0,7K). Com o passar do dia as temperaturas aumentaram, assim como as diferenças, de forma que, às 14HL ela foi 3,6K superior na estação seca.

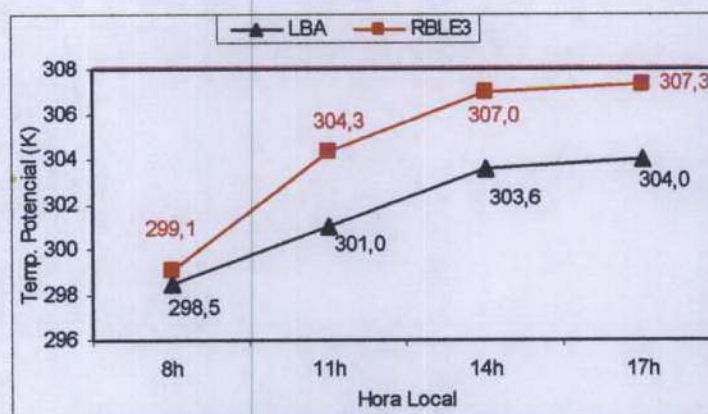


Figura 31 – Temperatura Potencial Média da CLC na pastagem durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

As taxas de aquecimento na estação seca foram superiores às da estação chuvosa, no início da manhã, entre 08HL e 11HL ($1,7\text{K.h}^{-1}$ versus $0,8\text{K.h}^{-1}$). A partir desse momento, ela foi igual para as duas estações (Tabela 12), fazendo com que as diferenças na temperatura entre as duas estações ficassem praticamente constantes das 11HL até 17HL, como pode ser observado na Figura 31. Na média, a CLC da estação seca se aqueceu com uma taxa 50% maior que a da estação chuvosa ($0,9\text{K.h}^{-1}$ versus $0,6\text{K.h}^{-1}$).

Tabela 12 – Taxa de aquecimento da CLC na pastagem durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	SECA	CHUVOSA
☀ - 08	-	-
08 - 11	1,7	0,8
11 - 14	0,9	0,9
14 - 17	0,1	0,1

4.3.1.1.2 – Gradiente vertical médio da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

Os gradientes verticais de Θ_v na CLC variaram de maneira similar nas duas estações, tendendo a ser positivo nos horários de transição e negativos próximos do meio dia (Figura 32). A diferença média entre as duas estações foi de $0,3\text{K.km}^{-1}$ ($-0,7\text{K.km}^{-1}$ na estação seca e $-0,4\text{K.km}^{-1}$ na chuvosa). Na estação seca, a CLC foi estaticamente estável às 08HL e estaticamente instável à 11HL. No restante do dia a CLC é neutra, assim como na pastagem durante todo o dia.

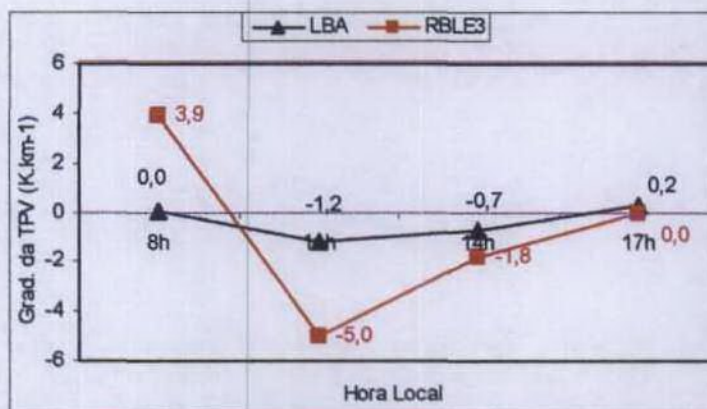


Figura 32 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual da CLC na pastagem para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

4.3.1.1.3 – Velocidade do vento

O comportamento da velocidade do vento na estação seca foi diferente daquele apresentado na estação chuvosa somente no início da manhã (Figura 33). Na estação seca, a velocidade do vento foi bem menor pela manhã ($2,1\text{m.s}^{-1}$). No restante do dia, a diferença

média caiu para $0,6 \text{ m.s}^{-1}$. Na média, o vento foi mais fraco na estação seca em $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ ($2,6 \text{ m.s}^{-1}$ verso $3,1 \text{ m.s}^{-1}$).

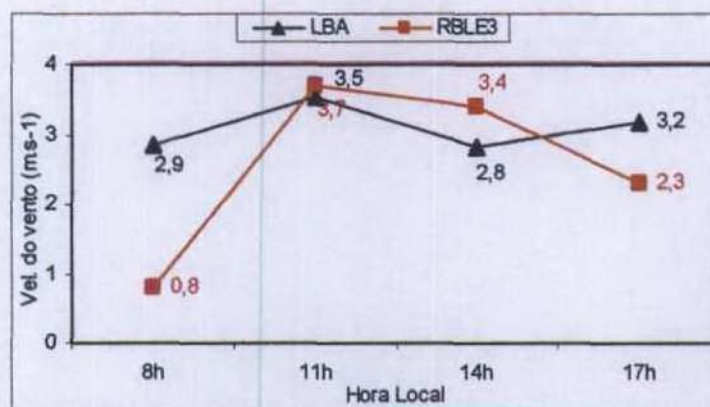


Figura 33 – Velocidade do vento na CLC da pastagem durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

4.3.1.1.4 – Umidade específica ($\bar{q}$)

A umidade na estação chuvosa foi nitidamente superior e os padrões de variação diária, até certo ponto, foram parecidos (Figura 34). Na estação chuvosa, o máximo ocorreu às 08HL ($16,2 \text{ g.kg}^{-1}$), horário em que se verificou o mínimo ($9,2 \text{ g.kg}^{-1}$) na estação seca. A diferença média foi de $5,1 \text{ g.kg}^{-1}$ ($15,0 \text{ g.kg}^{-1}$ verso $9,9 \text{ g.kg}^{-1}$). O crescimento, às 11HL na estação seca, foi apontado por Silva (1998) como sendo indicio de uma circulação no sentido floresta-pastagem.

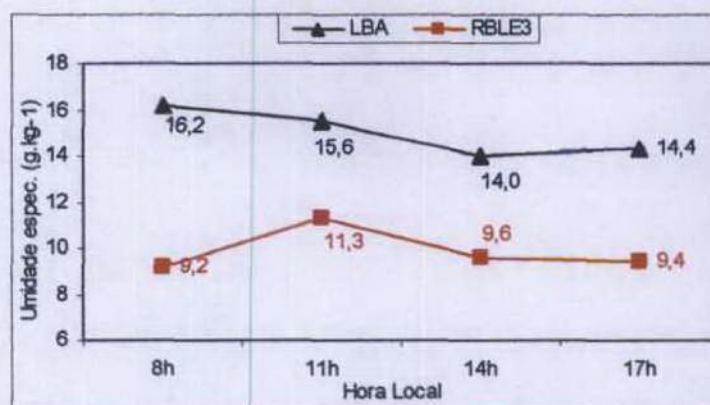


Figura 34 – Umidade específica na CLC da pastagem durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

4.3.1.2 – Camada Limite Noturna (CLN)

A Figura 35 mostra os perfis médios de altura de CLN. Em ambas as estações, observou-se um crescimento ao longo da noite. Os valores encontrados demonstraram que a diferença na altura média da CLN foi 163m (95%) maior que na estação chuvosa (334m versus 171m), fato de certa forma esperado já que, no período chuvoso, a CLN não se desenvolve tão intensamente quanto no período seco, principalmente no final do dia, como já foi visto anteriormente, isto facilitaria o desenvolvimento da CLN.

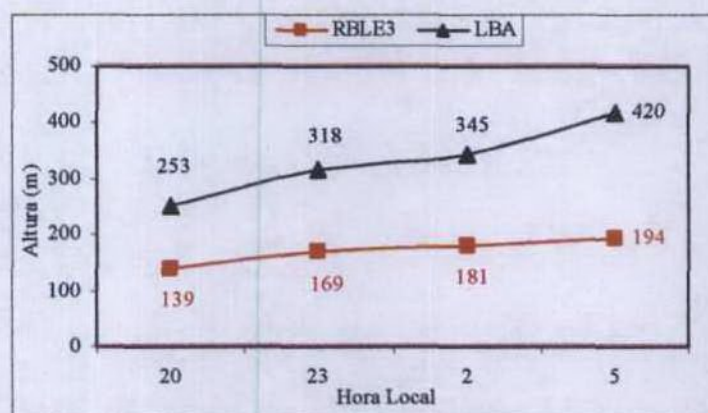


Figura 35 – Evolução da altura da CLN, na pastagem, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

A taxa média de desenvolvimento da CLN foi sempre maior na estação chuvosa como pode ser verificado na Tabela 13. A maior diferença encontrada no início de sua formação de $0,16 \text{ m.s}^{-1}$, fez com que a CLN na estação chuvosa foi mais alta, já que no restante do dia a diferença foi bem menor ($0,04 \text{ m.s}^{-1}$). A média no período chuvoso foi de $0,013 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto, na chuvosa, foi de $0,06 \text{ m.s}^{-1}$, uma diferença de 106%.

Tabela 13 – Taxa média de desenvolvimento (m.s^{-1}) da CLN, na pastagem, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	SECA	CHUVOSA
- 20	0,019	0,035
20 - 23	0,003	0,006
23 - 02	0,001	0,003
02 - 05	0,001	0,007

4.3.1.2.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLN

A temperatura potencial média da CLN na estação chuvosa foi praticamente igual a da estação seca 300,3K verso 300,5K respectivamente. Porém, a umidade específica média da primeira foi maior, obtendo-se $16,3 \text{ g.kg}^{-1}$ e $8,1 \text{ g.kg}^{-1}$ respectivamente. Esse resultado é coerente, uma vez que a maior parte da energia disponível, ou saldo de radiação, é utilizada para evaporar água na estação chuvosa, ou seja, na estação chuvosa, têm-se uma umidade maior e uma temperatura menor, devido ao resfriamento psicrométrico.

Em ambas estações, a camada foi estaticamente estável, só que muito mais forte na estação seca ($11,2 \text{ K.km}^{-1}$ verso 55 K.km^{-1}). A velocidade do vento foi $2,4 \text{ m.s}^{-1}$ verso $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ semelhante ao ocorrido na CLC.

4.3.2 – Sítio Floresta

4.3.2.1 - Camada Limite Convectiva (CLC)

O comportamento da CLC na floresta, durante as duas estações, é mostrada na Figura 36. Ela se desenvolve mais rapidamente, durante a estação chuvosa, até as 14HL. No restante da tarde, ocorre o oposto. Os valores encontrados demonstraram que a diferença na altura média durante a estação seca e a estação chuvosa foi de 89m ou seja, 13% (747m verso 657m). Houve uma diferença um pouco mais pronunciada às 11HL. A diferença no início da manhã foi de 49m (56%) superior na estação chuvosa. Às 11HL a diferença foi de 245m (68%) e diminuiu até às 14HL quando a diferença foi de apenas 114m (11%). As 17HL, a tendência se inverteu e a diferença foi 50m (4%) menor na estação chuvosa.

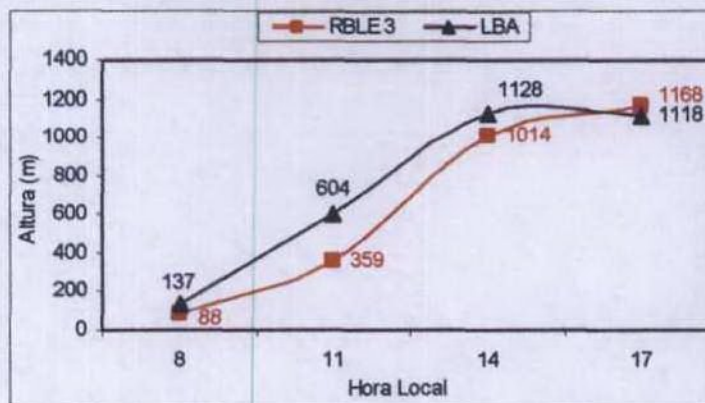


Figura 36 – Evolução da altura da CLC na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

A recuperação da CLC, a partir das 11HL, durante a estação seca, pode ser vista com maior clareza quando verificaram-se as diferenças nas taxas médias de desenvolvimento. Elas foram sempre superiores a partir das 11HL no período seco (Tabela 14).

Tabela 14 – Taxa média de desenvolvimento (m.s^{-1}) da CLC, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	SECA	CHUVOSA
☼ - 8	0,012	0,019
8 - 11	0,025	0,043
11 - 14	0,061	0,048
14 - 17	0,014	-0,001

Vale salientar que, na estação seca, a CLC cresceu do nascer até às 11HL, com uma velocidade na ordem de $0,018 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto, na chuvosa, a taxa foi de $0,031 \text{ m.s}^{-1}$, uma diferença na ordem de 72%. Já, entre 11HL e 14HL, a taxa foi de $0,061 \text{ m.s}^{-1}$ na estação seca, 238% superior em relação à média no período anterior, e na estação chuvosa foi 55% maior ($0,048 \text{ m.s}^{-1}$). Entre 14HL e 17HL, a taxa caiu para ínfimos $-0,001 \text{ m.s}^{-1}$ na estação chuvosa, fato este acarretado pela precipitação que desestabiliza a CLC, enquanto na estação seca, ela foi 15 vezes maior ($0,014 \text{ m.s}^{-1}$). Logo, pode-se dividir o crescimento da CLC nas duas estações em dois períodos distintos. O primeiro, das 08 às 11HL, quando o crescimento foi maior no período chuvoso e o segundo, entre 11 e 17HL, quando o crescimento foi maior no período seco. Nota-se que os desvios padronizados pela média foram sempre superiores na estação chuvosa (Tabela 15), provavelmente devido à maior cobertura de nuvens existente.

Tabela 15 – Desvios padrões padronizados pela média da CLC, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

	Hora Local			
	08	11	14	17
SECA	0,34	0,22	0,20	0,18
CHUVOSA	0,41	0,41	0,24	0,30

4.3.2.1.1- Variação das variáveis médias dentro da CLC

4.3.2.1.1.1 – Temperatura potencial ($\bar{\Theta}$)

O comportamento de $\bar{\Theta}$, dentro da CLC na floresta, durante a estação chuvosa, não foi diferente daquele observado na estação seca. Assim como na pastagem, a temperatura foi menor no início da manhã e maior à tarde, quando, com exceção das 08HL, ela foi sempre maior na estação seca (Figura 37). Na média, a CLC foi ligeiramente mais quente (0,9K) na estação chuvosa (301,7K verso 300,8K). A CLC na floresta aqueceu 11,1K na estação seca e 6,4K na chuvosa.

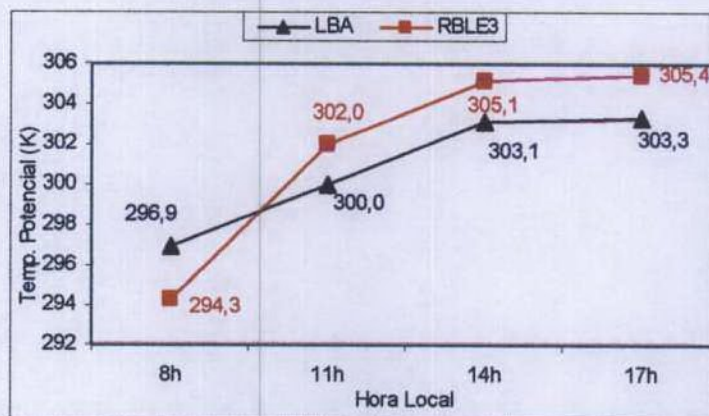


Figura 37 – Temperatura Potencial Média da CLC na floresta durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

Na estação seca, assim como na pastagem, as taxas foram bem maiores às 08HL (2,6K.h⁻¹ verso 1,0K.h⁻¹). Isto fez com que a CLC nessa estação fosse mais quente já que, a partir das 11HL, não houve diferenças em termos de taxa de aquecimento (Tabela 16).

Tabela 16 – Taxa de aquecimento da CLC na floresta durante a estação seca (RBLE 3(1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

HORA LOCAL	SECA	CHUVOSA
☀ - 08	-	-
08 - 11	2,6	1,0
11 - 14	1,0	1,0
14 - 17	0,1	0,1

4.3.2.1.1.2 – Gradiente de temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

Assim como na pastagem, os valores do gradiente vertical da temperatura potencial virtual, com exceção das 8HL, foram sempre negativos (Figura 38). Eles foram bastante semelhantes em termos de evolução temporal. A diferença média entre as duas estações foi de $1,2\text{K.km}^{-1}$ ($-1,8\text{K.km}^{-1}$ na estação seca e $-3,0\text{K.km}^{-1}$ na chuvosa), valor bem maior do encontrado na pastagem ($0,4\text{K.km}^{-1}$). A maior diferença encontrada foi às 08HL ($3,0\text{K.km}^{-1}$). Em resumo, em ambas as estações, o gradiente foi estaticamente neutro no início e final do dia e instável na parte intermediária (11HL e 14HL).

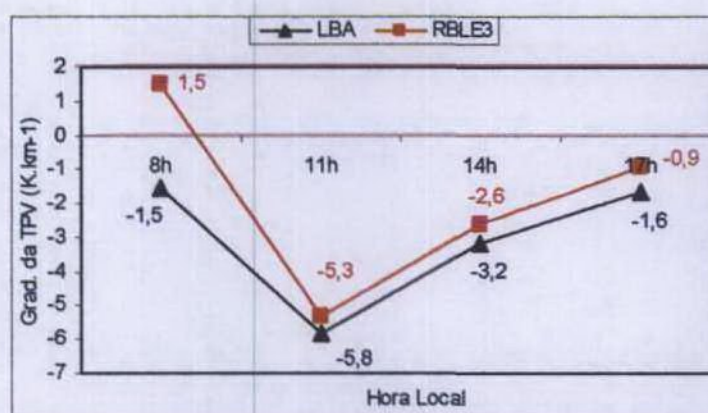


Figura 38 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual da CLC na floresta para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

4.3.2.1.1.3 – Velocidade do vento

O comportamento da velocidade do vento foi bastante diferente na primeira metade do dia, convergindo para valores mais próximos na parte da tarde (Figura 39). Na estação seca, a velocidade foi $0,3\text{m.s}^{-1}$ maior ($2,7\text{ m.s}^{-1}$ versus $2,4\text{m.s}^{-1}$), contrário ao encontrado na pastagem. Entretanto, assim como na pastagem, as maiores diferenças ocorreram de manhã (11HL), quando foi $2,2\text{m.s}^{-1}$ maior na estação seca ($2,1\text{ m.s}^{-1}$ versus $4,1\text{m.s}^{-1}$).

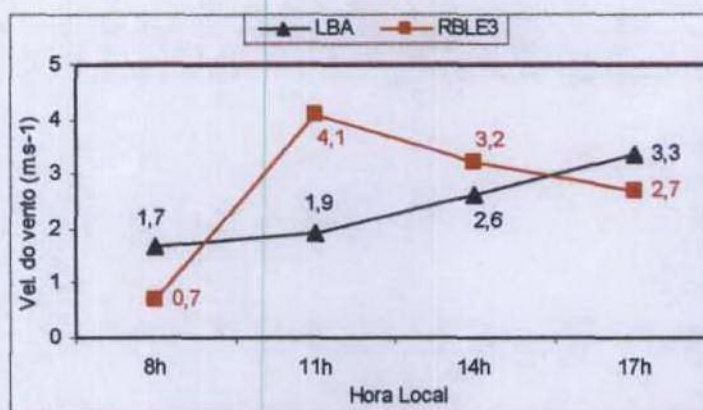


Figura 39 – Velocidade do vento na CLC da floresta durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

4.3.2.1.1.4 – Umidade específica ($\bar{q}$)

Ao contrario do que foi encontrada na pastagem, a umidade específica na floresta foi idêntica nas duas estações (Figura 40), maior no início da manhã, menor às 14HL, apresentando um pequeno aumento no final da tarde. Na estação chuvosa, porém, a mínima foi registrada às 17HL. Na média, a CLC foi $2,9 \text{ g.kg}^{-1}$ mais úmida na estação chuvosa, como era de se esperar, e a diferença entre os máximos e mínimos foram de $1,9 \text{ g.kg}^{-1}$ e $3,6 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente. Nota-se que todas as diferenças encontradas foram menores que as observadas na pastagem, indicando que, na floresta, a umidade varia menos em função da estação do ano.

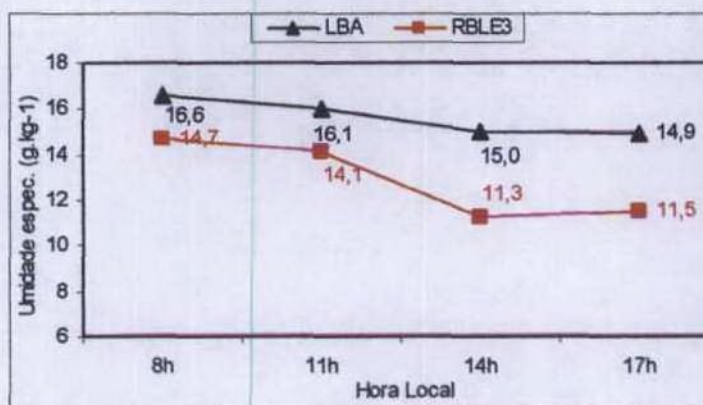


Figura 40 – Umidade específica na CLC da floresta durante a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

4.3.2.2 – Camada Limite Noturna (CLN)

A evolução temporal da CLN, nos dois cenários (Figura 41), não demonstraram características semelhantes durante as duas estações. Na estação seca, o crescimento da espessura da CLN foi praticamente linear enquanto, na estação chuvosa, houve uma diminuição entre 02HL e 05HL. A diferença na altura média da CLN, durante a estação seca e chuvosa, foi de 242m (98%), maior na estação chuvosa que na estação seca (489m versus 247m).

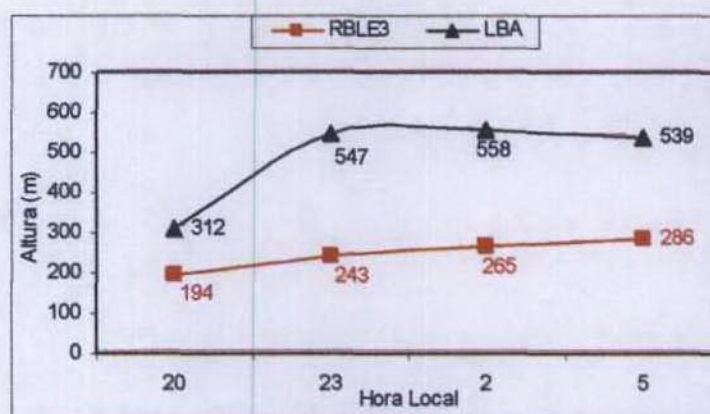


Figura 41 – Evolução da altura da CLN, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e chuvosa (LBA/TRMM (1999)).

A taxa média de desenvolvimento da CLN, com exceção do intervalo entre 02HL e 05HL, foi sempre superior na estação chuvosa, média de $0,016 \text{ m.s}^{-1}$, do que na estação seca, média de $0,009 \text{ m.s}^{-1}$, como pode ser verificado na Tabela 17. Finalmente, a CLN foi mais espessa e se desenvolveu com taxas maiores na estação chuvosa.

Tabela 17 – Taxa média de desenvolvimento (m.s^{-1}) da CLN, na floresta, para a estação seca (RBLE 3 (1994)) e LBA/TRMM (1999).

HORA LOCAL	SECA	CHUVOSA
0 - 20	0,027	0,043
20 - 23	0,005	0,022
23 - 02	0,002	0,001
02 - 05	0,002	-0,002

4.3.2.2.1 - Variação das variáveis médias dentro da CLN

A CLN da na floresta foi mais úmida na estação chuvosa (16,8 verso 14,5g.kg⁻¹), como ocorrido na pastagem. A diferença foi que, ao contrário da pastagem, ela foi mais quente (300,0 verso 299,2K) na estação chuvosa. Isso pode se dever ao fato que na estação chuvosa a nebulosidade presente seja responsável por um maior fluxo de contra-radiação, ou seja, um efeito estufa intensificado que aquece a CLN.

Assim com na pastagem ela foi, em ambas as estações, estaticamente estável e muito mais forte na estação seca (8,9 K.km⁻¹ verso 37,0K.km⁻¹). A velocidade do vento foi maior na estação chuvosa (2,1 verso 1,4m.s⁻¹), semelhante ao verificado na pastagem.

5 - CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos revelou que o efeito do desmatamento sobre as características termodinâmicas da CLA, na área onde a floresta foi substituída, na sua maioria, por pastagem para gado durante a estação chuvosa é pequeno quando comparados com o que foi constatado por outros estudos realizados durante a estação seca. O fato é que na estação seca a diferença entre os dois tipos de cobertura vegetal induz a um importante contraste em termos de cobertura vegetal, umidade do solo, etc. Estes contrastes se traduzem em diferenças significativas no balanço de energia. Finalmente, na área de pastagem a maior parte da energia disponível é convertida em calor sensível o que se traduz em uma CLC mais quente mais seca e bem mais espessa. Na estação chuvosa, a vegetação na pastagem é bem mais importante e a diferença em termos de balanço de água e energia tendem a desaparecer. Por conseguinte, as CLAs não apresentam diferenças importantes. Mesmo assim, duas diferenças significativas foram constatadas. A primeira foi que a CLC na pastagem foi estaticamente neutra e na floresta instável. A segunda foi que a espessura da CLN na pastagem é significativamente menor representando apenas 62% da espessura verificada na floresta.

No interior da CLC os valores médios nos dois sítios são praticamente idênticos e as diferenças encontradas estão dentro dos limites de precisão dos sensores. A altura da CLC na pastagem foi praticamente idêntica a da floresta (750m verso 747m). No seu interior, segundo o critério de estabilidade adotado, a atmosfera foi neutra ($-0,4\text{K.km}^{-1}$), e, na floresta, ela foi instável ($-3,0\text{K.km}^{-1}$). Ela foi ligeiramente mais quente ($304,4\text{K}$ verso $303,7\text{K}$) e praticamente não houve diferença com relação a umidade ($15,0\text{g.kg}^{-1}$ verso $15,7\text{g.kg}^{-1}$). O vento, em ambos os sítios, foi de Sudeste (144° e 143°) com uma velocidade ligeiramente superior na pastagem ($3,1\text{ m.s}^{-1}$ verso $2,4\text{m.s}^{-1}$).

Com relação a CLN, foi verificado que a sua espessura média foi menor na pastagem (334m verso 489m). Em ambos os sítios, o ar no seu interior foi estaticamente estável, sendo mais estável na pastagem ($11,2\text{K.km}^{-1}$ verso $8,9\text{K.km}^{-1}$). Foi também mais quente ($303,3\text{K}$ verso $303,1\text{K}$) e mais seca ($16,3$ verso $16,8\text{ g.kg}^{-1}$). O vento, em ambos os cenários, foi de Sudeste (134° e 113°), com uma velocidade ligeiramente superior na pastagem ($2,4\text{ m.s}^{-1}$ verso $2,1\text{ m.s}^{-1}$).

Na comparação com os resultados encontrados na estação seca (Souza, 1997), tomando como base à estação chuvosa, constatamos que:

a) Na pastagem

A CLC foi menos espessa (750m verso 1091m) e ficou mais próxima da neutralidade ($-0,4\text{K.km}^{-1}$ verso $-0,7\text{K.km}^{-1}$). Foi bem mais fria (301,6K verso 304,4K), bem mais úmida ($15,0\text{ g.kg}^{-1}$ verso $9,9\text{ g.kg}^{-1}$) e os ventos foram um pouco mais fortes ($3,1\text{ m.s}^{-1}$ verso $2,6\text{ m.s}^{-1}$).

A CLN foi mais espessa (334m verso 171m), bem mais estável “estaticamente” ($11,2\text{ K.km}^{-1}$ verso 55 K.km^{-1}), a temperatura potencial foi praticamente a mesma (300,3K verso 300,5K), bem mais úmida ($16,3\text{ g.kg}^{-1}$ verso $8,1\text{ g.kg}^{-1}$) e o vento, apesar de moderado, foi mais importante ($2,4\text{ m.s}^{-1}$ verso $1,2\text{ m.s}^{-1}$).

b) Na floresta

A CLC foi mais espessa (747m verso 657m) e mais instável “estaticamente” ($-3,0\text{K.km}^{-1}$ verso $-1,8\text{K.km}^{-1}$). Foi mais fria (300,8K verso 301,7K), mais úmida ($15,7\text{ g.kg}^{-1}$ verso $12,9\text{ g.kg}^{-1}$) e o vento no seu interior ligeiramente menor ($2,4\text{ m.s}^{-1}$ verso $2,7\text{ m.s}^{-1}$).

A CLN, também foi mais espessa (489m verso 247m), menos estável “estaticamente” ($8,9\text{K.km}^{-1}$ verso $37,0\text{K.km}^{-1}$), mais quente (300,0K verso 299,2K), mais úmida ($16,8\text{ g.kg}^{-1}$ verso $14,5\text{ g.kg}^{-1}$) e com ventos um pouco mais fortes ($2,1\text{ m.s}^{-1}$ verso $1,4\text{ m.s}^{-1}$).

Vale salientar que entre um experimento e outro se passaram 5 anos e que certamente houve mudanças no cenário regional, principalmente com relação a área desmatada. Mesmo assim, o conjunto de conhecimentos adquirido até o momento, através dos estudos experimentais, está de acordo com o que indicaram os modelos: mudanças climáticas importantes no caso do desmatamento total da Amazônia. A “homogeneização” das condições atmosféricas observadas durante a estação chuvosa só é possível porque a área desmatada é muito menor do que a área coberta por floresta nativa.

6 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANDRÉ, R. G. B., V. P. S. FILHO, L. C. B. MOLION, C.A. NOBRE. Balanço de Radiação sobre a Floresta Amazônica (Estação Seca e Úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, 3(2), p. 269-274, 1986.
- BASTABLE, H.G., W.J. SHUTTLEWORTH, L.R.G. DALLAROSA, G. FISCH, C.A. NOBRE. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonia forest. **Int. J. Climatology**, v13, p.783-796, 1993.
- BETTS, A.K., The thermodynamic transformation of the tropical subcloud layer by precipitation and downdrafts. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 33(6), p.1008-1020, 1976.
- CLIMANÁLISE. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. CPTEC/INPE, Janeiro. Disponível na INTERNET via www.cptec.inpe.br. 1999, Arquivo consultado em Janeiro de 2001.
- CULF, A.D., G. FISCH, M.G HODNETT. The albedo of Amazonia forest and ranchland. **Journal of Climate**, v.8 (6), p.1544-1554, Mai/1995.
- CUTRIM, E., D.W. MARTIN, R. RABIN. Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.76(10), 1801-1805p. 1995
- FARIAS, E.N.; **Física de suelos con enfoque agrícola**. Editora trillas, S.A. 10, p.159-176. 1994
- FERREIRA DA COSTA, R., J.R.P. FEITOSA, G. FISCH, S.S.SOUZA, , C.A. NOBRE, Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e de pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 4, p. 395-408, 1988.

- FISCH, G. **Camada Limite Amazônica: Aspectos Observacionais e de Modelagem**. São José dos Campos, SP: INPE/NTD, 1996. 171p. Tese (Doutorado em Meteorologia).
- FISCH, G., I.R. WRIGHT, H.G. BASTABLE. Albedo of tropical grass: a case study of pre- and pos burning. *Int. J. Climatology*, v.14: p.102-107. 1994.
- FISCH, G., J.A. MARENGO, C.A. NOBRE. Clima da Amazônia. *Climanálise*, 1996, p.24-41. Edição comemorativa de 10 anos.
- FISCH, G., J. LEAN, I.R. WRIGHT, C.A. NOBRE. Simulações Climáticas do Efeito do Desmatamento na Região Amazônica: Estudo de um caso em Rondônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*. Vol. 12, nº 1, p. 33-48, 1997.
- FISCH, G., J. TOTA, L. MACHADO, M.A.F. SILVA DIAS, R.F.F. LYRA, C.A. NOBRE, A.J. DOLMAN, A.D. CULF, J. HALVERSON, J.D. FUENTES. The Convective Boundary layer over pasture and forest in Amazonia. *Theoretical and Applied Meteorology*, 2001.
- FISCH G., R.F. DA COSTA, M.A.F. SILVA DIAS. The intercomparison of radiosonde systems during the LBA/TRMM experiment. Livro de resumos on-line da II Conferência Científica do LBA, 2002. Disponível na INTERNET via www.lba.iag.usp.br. Arquivo consultado em Janeiro de 2003
- GALVÃO, J.A.C. & G. FISCH. Análise do balanço de energia em áreas de floresta e de pastagem na Amazônia. In: *Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Brasília-DF, (MI98003), 1998.
- GASH, J. H. C. & C. A. NOBRE. Climatic Effects of Amazonian Deforestation: Some Results from ABRACOS. *Bulletin of the American Meteorological Society*: Vol. 78, No. 5, p. 823-823. 1997.
- GEIGER, R.; *Manual de Microclimatologia – O clima da camada de ar junto ao solo*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 556p. 1980.

HARRIS R.C., S.C. WOFSY, M. GARSTANG, E.V. BROWELL, L.C.B. MOLION, R.J. MCNEAL, J.M. HOELL, R.J. BENDURA, S.M. BECK, R.L. NAVARRO, J.T. RILEY, R.L. SNELL. *The Amazon Boundary Layer Experiment (ABLE 2A): dry season 1985*. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, v.93(D2), p.1351-1360, 1988.

HENDERSON-SELLERS, A. *Effects of land use on climate in the humid tropics*, In: *The geophisiology of Amazonia*, Ed. R.E. Dickinson. John Wiley and Sons, New York .1987,p. 463-496.

HILLEL, D.; *Fundamentals of soil physics*. Academic Press, Inc. San Diego, California. 12, p.287-317, 1980.

HOLTON, J.; *Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press., New York. 1979. 319p.

INPE. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite*. Disponível na INTERNET via www.inpe.br. Arquivo consultado em novembro de 2002.

INPE, CTA/IAE, UFPA, UFAL, FUNCEME. *Relatório Técnico Científico do RBLE-3*, abril, 1995.

INSTITUTE OF HYDROLOGY, *Amazonia Florestas, Pastagens e o clima: Resultados do Projeto ABRACOS*. Wallingford, Oxford, 18p. 1994

ISTO É. *Informativo Publicitário do governo de Rondônia citando dados do IBGE*, nº 1363. 1995.

LEAN, J., C.B. BUNTON, C.A. NOBRE, P.R. ROWNTREE. *The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics*. Ed. R.E. Dickinson . John Wiley & Sons, Chichester. 1996, p.549-576.

LONGO, M., R.I. ALBRECHT, L.A.T. MACHADO, G. FISCH, M.^aF. SILVA DIAS. *Controle de qualidade dos dados de radiossondagem da campanha WET-AMC/LBA*. Submetido à *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17(2), p. 243-253, 2002

- LYRA, R.F.F., A. DRUILHET, B. BENECH, C. BOUKA BIONA. Dynamique above a dense equatorial rain forest the surface boundary layer to the free atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, 97 (D12), p. 12953-12965. 1992.
- LYRA, R.F.F., C.A. NOBRE, G. FISCH, E. ROCHA, H. ROCHA, S. SOUZA. Efeitos do desmatamento sobre a termodinâmica da baixa atmosfera. In: **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, vol.1, p.81-84. 1994.
- LYRA, R.F.F., **Desmatamento da Amazônia e sua repercussão a Nível da Camada Limite Atmosférica: Projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment"**. Relatório, UFAL/CCEN/MET, 30p. 1995.
- LYRA, R.F.F. & S.E.M. FARIAS. , Influência da rugosidade sobre o vento no interior da Camada Limite Noturna: Projeto RBLE. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Campos do Jordão, SP, 123p. 1996.
- LYRA, R.F.F., **Notas em Micrometeorologia**: UFAL/Departamento de Meteorologia.. Maceió (AL), 2001.
- MACHADO, L.H.R.; **Estudo da Camada Limite Atmosférica por imagens do satélite Landsat**. 1991.Tese de Mestrado. INPE. São José dos Campos.
- MACHADO L.A.T., H. LAURENT, A.A LIMA. The diurnal march of the convection observed during TRMM-WET AMC/LBA. **Journal of Geophysical Research- Atmospheres**. 107 (D20), 2002
- MARENGO, J., M.P. DOUGLAS, M.A.F. SILVA DIAS. The South American Low-Level Jet East of the Andes during the LBA-TRMM and WET AMC campaign of January-April 1999 **Journal of Geophysical Research- Atmospheres**.107 (D20), 2002.
- MARTIN, L.L., D. FITZJARRALD, M. GARSTANG, A.P. OLIVEIRA, S.CREGO, E. BROWELL. Structure and Growth of the mixing layer over the Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v.93 (D2). 1361-1375p, 1988.

- MOLION, L.C.B. **A Climatonomic study of the energy and moisture fluxes of the Amazonas basin with considerations to the deforestation effect.** São José dos Campos, São Paulo, SP, 140p. 1976.
- MOLION, L.C.B., **Micrometeorology of an Amazonian rain forest.** In: Dickinson, R.E. ed. **The Geophysics of Amazonia: Vegetation and climate interactions.** Chichester, UK: John Wiley & Sons, p.255-269. 1985.
- MOLION, L.C.B. **Climatologia dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação.** *Revista Brasileira de Meteorologia.* São Paulo. Vol. 2. p.107-117. 1987
- MOLION, L.C.B. **A Amazônia e o Clima da Terra.** *Ciência Hoje*, vol 8 nº 48, p. 42-47. 1990
- MONTENY, B.A. A. CASANAVE. **The Forest contribution to the hydrological budget in tropical West Africa.** *Annales Geophysical*, 7 (4), 427-436. 1989.
- MOOR, G.; **Les theories de la turbulence dans la couche-limite atmospherique.** Direction de la Météorologie. Toulouse. France. 312p. 1983.
- MOURA, M.A.L., 2000. **Balanco de radiação à superfície e fluxo de calor no solo em áreas de floresta nativa e pastagem no oeste da Amazônia brasileira.** UNESP, Botucatu, 2000. 118p. Tese. (Doutorado em Meteorologia).
- NOBRE, C.A., P.J. SELLERS, J. SHUKLA. **Amazonian deforestation and regional climate change.** *Journal of Climate.* v.4 (10), p. 957-988. 1991.
- OKE, T.R.; **Boundary Layer climates,** London, Methuen, 1978. 372p.
- OLIVEIRA, A.P.; **Planetary boundary layer dynamics over the Amazon rain forest.** 296p. 1990. (PhD. Thesis) – State University of New York at Albany, New York,
- PLANO EXPERIMENTAL CONCISO. **O Experimento de grande escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA),** Grupo de Planejamento Científico do LBA. 48p. 1996

- POGGI, A.; *Introduction à la micrométéorologie – transferts d'énergie atmosphère-sol*, Paris Masson. 1977.
- RESCHKE, G.A. Comparação dos fluxos de Energia em áreas de Pastagem e de Floresta em Ji-Paraná, RO. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Campos do Jordão, SP, p.1162. 1996.
- RESCHKE, G.A. Caracterização do Microclima em áreas de Pastagem e de Floresta em Ji-Paraná, RO. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Campos do Jordão, SP, p.1202. 1996.
- RICKENBACH TM, R.N. FERREIRA, J.B. HALVERSON, D.L. HERDIES, M.A.F. SILVA DIAS. Modulation of convection in the southwestern Amazon basin by extratropical stationary fronts. *Journal of Geophysical Research –Atmospheres*. 107 (D20). 2002
- ROCHA, E.J.P., J.B.M. RIBEIRO, M.A.S. MOTA. Análise da estrutura atmosférica durante o RBLE-2. In: *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belo Horizonte, MG, v.1, p.46-47. 1994.
- ROCHA, H.R.; C.A. NOBRE, J.P. BONATTI, I.R. WRIGHT, P.J. SELLERS. A vegetation-atmosphere interaction study for Amazonia deforestation using field data a single column model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122. 1996. p. 567-594.
- ROSENBERG. N.J. *Microclimate – the biological enviroment*. Jonh Wiley & Sons.New York. 1983. 495p.
- SÁ, L.D.A., A.O MANZI, L.C.B MOLION, R.G.B. ANDRÉ. *Variações dos Campos da Temperatura Potencial e da Umidade Específica dentro e acima da Floresta*. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-3973-RPE/516).
- SÁ, L.D.A., A.O MANZI, Y. VISWANADAN. *Partição de fluxos de calor sensível e de calor latente acima da floresta amazônica de terra firme*. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-3972-PRE/970)

- SALATI, E., P.B VOSE. Amazon Basin: A System in Equilibrium. *Science*, nº 255. p.4658. 1984.
- SHUTTLEWORTH, W.J., J.H.C GASH, C.R. LLOYD, C.J. MOORE, J.M. ROBERTS, L.C.B. MOLION, C.A. NOBRE, L.D. DE A. SÁ, A.O. MARQUES FILHO, G. FISCH, M. JANUÁRIO, A.P. FATTORI, M.N.G. RIBEIRO, O.M.R. CABRAL. Amazonian Evaporation. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2(1): 179 - 191, 1987.
- SHUTTLEWORTH, W.J., J.H.C GASH, J.M. ROBERTS, C.A. NOBRE, L.C.B. MOLION, M.D.G. RIBEIRO. Post deforestation Amazonian climate: Anglo-Brasilian research to improve prediction. *Journal of Hydrology*, v.129, p.71-85. 1991
- SILVA, J.T. Estimativa regional de fluxos de calor sensível e latente em áreas de floresta e pastagem na Amazônia, INPE, São José dos Campos, 136p. 1988. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)
- SILVA, M.R.G. Efeitos do desmatamento na termodinâmica da camada limite noturna: projeto RBLE. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Campos do Jordão, S.P., Vol 2, 1229p. 1996
- SILVA, M.R.G., R.F.F LYRA. Comparação floresta/pastagem ao nível da baixa troposfera durante o RBLE3. *Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Brasília, DF. 1998. (MI98007))
- SILVA, M.R.G., R.F.F LYRA. Modificação na camada limite noturna em função do desmatamento no oeste da Amazônia: Projeto RBLE. *Revista Água e Atmosfera*. Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos (NMRH). Maceió, Alagoas. Ano 2. Nº.4. p. 27-31. 1998.
- SILVA, M.R.G. Estudo Comparativo entre os processos Termodinâmicos na baixa Troposfera sobre dois tipos de cobertura vegetal: Floresta e Pastagem no oeste da Amazônia. UFAL, 2000. 50p. Monografia (Graduação em Meteorologia).

- SILVA DIAS, M.A.F. O projeto LBA - experimento de grande escala da interação biosfera-atmosfera na Amazônia. Boletim da. Sociedade. Bras. Meteor., 25, 7 - 14. 2001.
- SILVA DIAS M.A.F., S. RUTLEDGE, P. KABAT, P.L.S. DIAS, C.A. NOBRE, G. FISCH; A.J. DOLMAN, E. ZIPSER, M. GARSTANG, A.O. MANZI, J.D. FUENTES, H.R. ROCHA, J. MARENGO, A. PLANA-FATTORI, L.D.A. SÁ, R.C.S. ALVALA, M.O. ANDREAE, P. ARTAXO, R. GIELOW, L. GATTI. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. *Journal of Geophysical Research -Atmospheres*. 107 (D20), 2002.
- SOUZA, S.S. A substituição da floresta Amazônica por pastagem e sua repercussão ao nível da termodinâmica da camada limite Atmosférica. UFPB, 1997. 99p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).
- STULL. R. B. An introduction to boundary layer meteorology. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 1988, 666p.
- STULL. R. B. *Meteorology for Scientists and Engineers*. Brooks Cole, 2ª edição, 2000, 502p.
- SUTTON, O.; *Micrometeorology*, New York, Mc Graw-Hill. 1977. 333p.
- TEXEIRA, M.L. & L.C. GIRARDI. Oscilações do vento na estratosfera equatorial. São José dos Campos CTA/IAE, 1978. 28p. (Relatório Técnico. Nº ECA-04/78).
- TOTA, J., G. FISCH, P.J OLIVEIRA, M. GARSTANG, J. FUENTES, P.J. OLIVEIRA, R. HEITZ, J. SIGLER. Variabilidade da precipitação em área de pastagem durante o experimento LBA/TRMM. *Acta. Amazônica*, v.30(4): 305 – 318p. 2000.
- VISWANANDHAM, Y., R.C.B ANDRÉ, A.O. MANZI, V.P. SILVA FILHO. Componentes do balanço de radiação acima da copa da floresta amazônica. In: *II Congresso Interamericano de Meteorologia*, Buenos Aires, 1987.

ANEXOS

Anexo 1 - CARACTERÍSTICAS DA CLA NA PASTAGEM E FLORESTA

1 - Pastagem

1.1 - Camada Limite Convectiva (CLC)

As alturas médias da CLC, também chamada de Camada Limite Diurna, durante o experimento, com o respectivo desvio padrão é mostrado na Figura 1. O referido perfil é típico de uma camada limite convectiva. Ela varia de $202 \pm 113\text{m}$ a $993 \pm 402\text{m}$, com uma média de 693m . Os valores extremos foram: máximo de 1729m às 17HL do dia 12/02 e mínimo 50m às 08HL do dia 03/02.

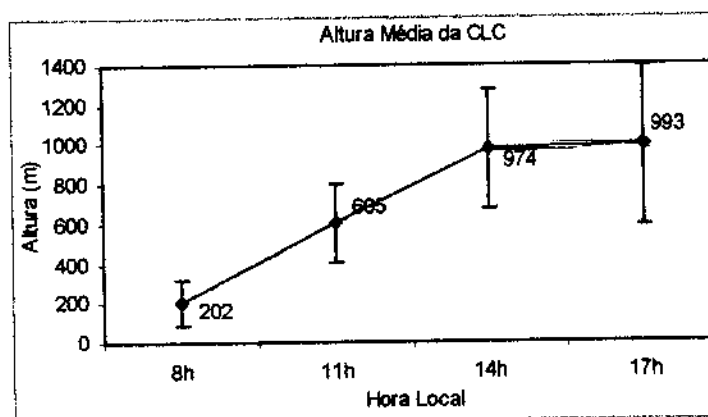


Figura 1 - Altura média da CLC na pastagem durante o LBA/TRMM (1999) com o respectivo desvio padrão.

O desvio padrão de Z_{im} , padronizado pela média, foi cerca de 0,40, como pode ser visto na Tabela 1, sendo maior nos períodos de transição (início da manhã e final da tarde). Os valores encontrados colocaram em evidência o fato de haver grande variabilidade no desenvolvimento da CLC de um dia para o outro.

Tabela 1 – Z_{im} da CLC, desvio padrão e o desvio padrão padronizado pela média, na pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	08HL	11HL	14HL	17HL
Altura Média (m)	202	605	974	993
D. Padrão (m)	113	197	301	402
Desv. / Média	0,56	0,32	0,31	0,40

A variabilidade de Z_i às 17HL (0,40), certamente está ligada à diferença entre dias de bom (sem nebulosidade) e mau tempo, que são dias com nebulosidade elevada, com ou sem eventos de precipitação.

Conforme já mencionado anteriormente, a precipitação teve um pico na segunda metade da tarde, com máximo às 15HL. É lógico que, ocorrendo um evento de precipitação por volta das 15HL, isso implicará na destruição da CLC em função da homogeneização da temperatura (resfriamento psicrométrico), o que irá interferir na altura da CLC das 17HL. A velocidade e intensidade de crescimento da CLC após um evento de chuva ou forte nebulosidade, dependerão não somente de sua intensidade mais também da duração do evento. Isso pode ser constatado através da Tabela 1, onde verificou-se que o horário das 17H foi o de menor aproveitamento para o cálculo de Z_{im} .

Na Tabela 2, observou-se que, do nascer do sol até às 14HL, as taxas de crescimento médias da CLC foram da mesma ordem, tendo o maior crescimento ocorrido entre 08HL e 11HL ($0,037 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). A partir das 14HL, o crescimento é praticamente nulo ($0,002 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Tabela 2 – Taxa de desenvolvimento médio da CLC ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), na pastagem, durante LBA/TRMM (1999).

Taxa de desenvolvimento da CLC ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	
☀ - 08	0,028
08 - 11	0,037
11 - 14	0,034
14 - 17	0,002

1.1.1- Variação das variáveis médias dentro da CLC

a) – Temperatura potencial virtual média ($\overline{\Theta_v}$)

O comportamento de $\overline{\Theta_v}$ no interior da CLC foi, como era de se esperar, semelhante ao de crescimento da mesma, com menores temperaturas pelo início da manhã e maiores no final da tarde, como pode ser verificado na Figura 2 relativa à pastagem. Ela variou de $301,5 \pm 0,9\text{K}$ a $306,4 \pm 1,4\text{K}$, com uma média de $304,5 \pm 2,5\text{K}$. O maior valor foi de 310K às 14 no dia 14/02 e o menor foi $299,6\text{K}$ foi às 08HL do dia 16/01. É interessante notar que, ao contrário de Z_{im} , os desvios padrões às 17HL não são os maiores. Isso sugere que, apesar da maior variabilidade em termos de altura, a temperatura atingida no final da tarde é praticamente a mesma.

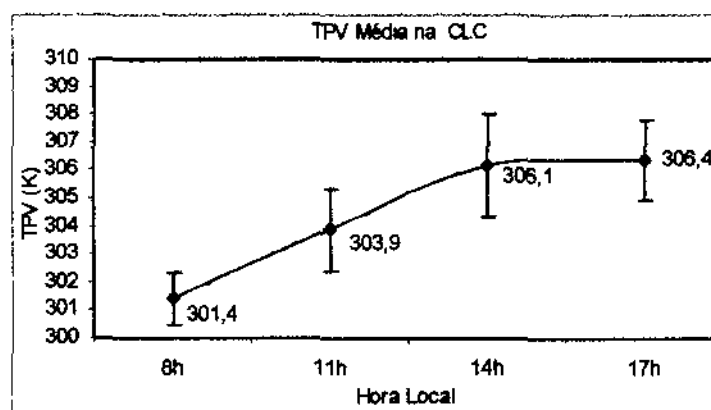


Figura 2 – Temperatura potencial virtual média no interior da CLC da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

As taxas de aquecimento da CLC foram bem maiores antes das 14HL ($0,7 - 0,8 \text{ K.h}^{-1}$) e diminuíram bastante (10 vezes menor) entre 14 e 17HL (Tabela 3). O fato da taxa diminuir um pouco entre 11 e 14HL, pode ser devido a espessura da camada ser bem maior, precisando assim de mais energia para aquece-la.

Tabela 3 – Taxa de aquecimento média da CLC, na pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	Taxa (K.h^{-1})
☀- 08	-
08 - 11	0,81
11 - 14	0,76
14 - 17	0,07

b) – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

A média do gradiente vertical da temperatura potencial virtual praticamente não variou na CLC. Segundo o critério de estabilidade estática, ela ficou em um regime de neutralidade durante todo o dia, como pode ser visto na Figura 3. Os valores variam de $0,3 \pm 2,7 \text{ K.km}^{-1}$ a $-0,5 \pm 1,6 \text{ K.km}^{-1}$. O valor médio de $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ foi de $-0,1 \pm 1,7 \text{ K.km}^{-1}$. O maior valor foi de $7,6 \text{ K.km}^{-1}$ às 08HL do dia 09/01 e o menor de $-7,3 \text{ K.km}^{-1}$ às 08HL do dia 24/01. Esse fato denuncia a existência de um processo de mistura bastante eficiente, o que já foi colocado em evidência por Souza (1997) para a região.

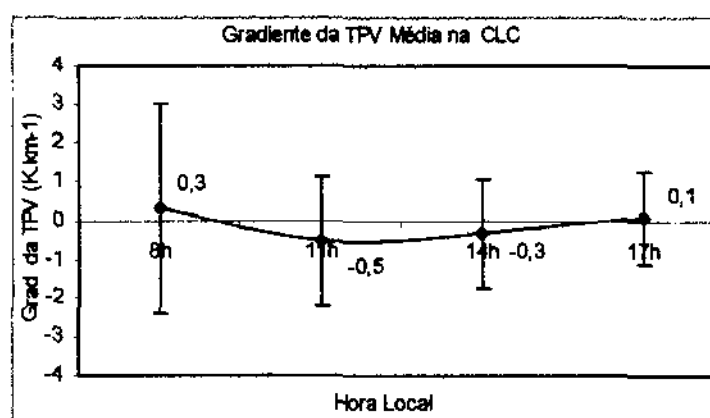


Figura 3– Gradiente vertical da temperatura potencial virtual no interior da CLC da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

c) – Velocidade e direção média do vento

O comportamento médio da velocidade do vento dentro da CLC, durante o período em estudo, pode ser visualizado na Figura 4. Os valores variaram de $3,0 \pm 1,8 \text{ m.s}^{-1}$ a $3,9 \pm 2,1 \text{ m.s}^{-1}$ ($3,4 \pm 2,0 \text{ m.s}^{-1}$ de média). O maior valor registrado foi de $7,8 \text{ m.s}^{-1}$ às 17HL do dia 01/02 e o menor de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ às 14HL do dia 19/01. Os desvios padrões são grandes quando comparados com a média mas, de qualquer forma, pode-se afirmar que os ventos foram moderados. É interessante notar que, apesar do aumento da espessura da camada, há uma tendência de diminuição quase linear entre 11HL e 17HL.

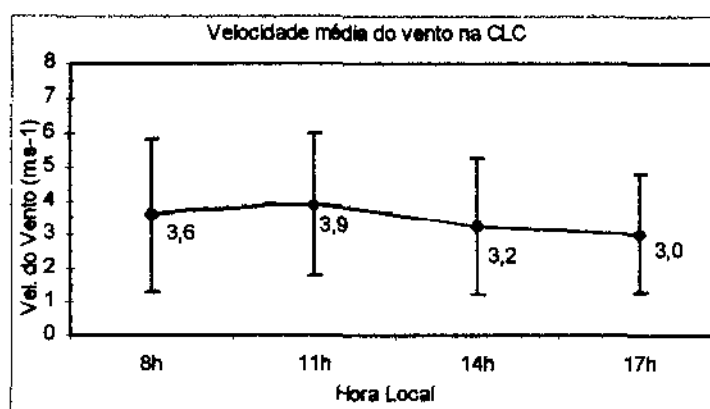


Figura 4 – Velocidade média do vento no interior da CLC, na pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

A direção do vento não variou muito dentro da CLC, soprando sempre no quadrante Sudoeste (SW) (Figura 5). Observou-se que ele ficou um pouco mais para Sul no início da manhã (201°) e mais para Oeste no final da tarde (232°). A direção média foi de $212 \pm 120^\circ$.

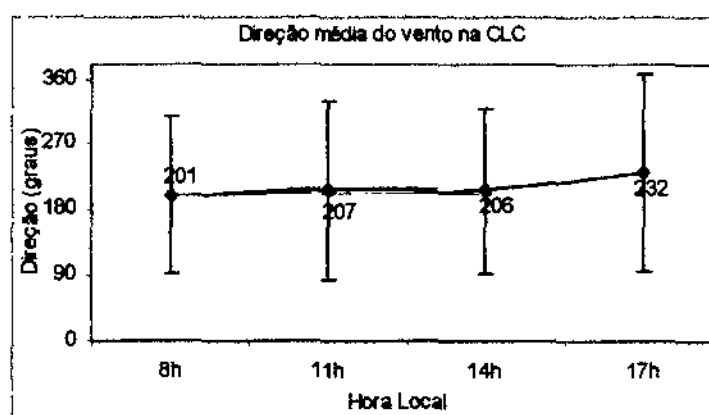


Figura 5 – Direção média do vento, com seu respectivo desvio padrão, no interior da CLC da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

d) – Umidade específica média ($\bar{q}$)

A variação da umidade específica na pastagem é mostrada na Figura 6. No geral, ela é maior no início da manhã, decrescendo $1,5\text{g.kg}^{-1}$ até atingir o seu mínimo às 14HL, voltando a crescer das 14HL até às 17HL. A diminuição às 14HL possivelmente está ligada a formação local de nuvens. A possibilidade de um entranhamento de ar seco ou uma divergência no fluxo de umidade também poderia causar o mesmo efeito.

Os valores variaram de $17,1 \pm 0,9\text{g.kg}^{-1}$ a $15,6 \pm 1,2\text{g.kg}^{-1}$, com uma média de $16,4 \pm 1,1\text{g.kg}^{-1}$, sendo o maior valor encontrado no dia 27/02 às 17HL de $18,83\text{g.kg}^{-1}$ e o menor de $13,0\text{g.kg}^{-1}$ às 14HL do dia 21/01.

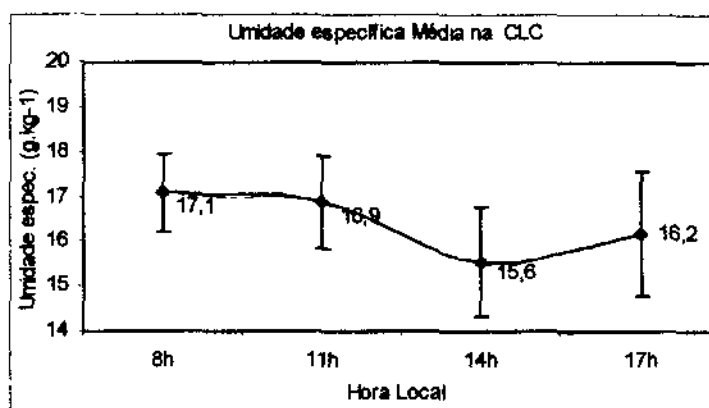


Figura 6 – Umidade específica média no interior da CLC da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

Dois fatos são importantes de serem destacados. O primeiro, é o crescimento dos desvios com o tempo, e o segundo, a retomada da umidade entre 14 e 17HL. Certamente, ambos estão ligados ao fato de que a maior parte da precipitação ocorreu entre 15 e 17HL, fato esse já mencionado anteriormente. Outro aspecto que deve ser observado é o papel do entranhamento. Como não houve precipitação todos os dias, a umidade, de um dia para outro, variou muito implicando num aumento nos desvios. Por outro lado, a precipitação contribuiu para o aumento da umidade na CLC no período.

1.2 – Camada Limite Noturna (CLN)

O perfil médio da CLN durante o experimento, com o respectivo desvio padrão, é mostrado na Figura 7. Ela apresentou uma tendência de crescimento ao longo de toda a noite, com exceção de uma pequena diminuição entre 23 e 02HL. A altura variou de $263 \pm 113\text{m}$ a $449 \pm 146\text{m}$, com uma média de 358m. Os valores extremos foram: máximo de 706m às 23HL do dia 20/02 e mínimo 70m às 02HL do dia 18/02.

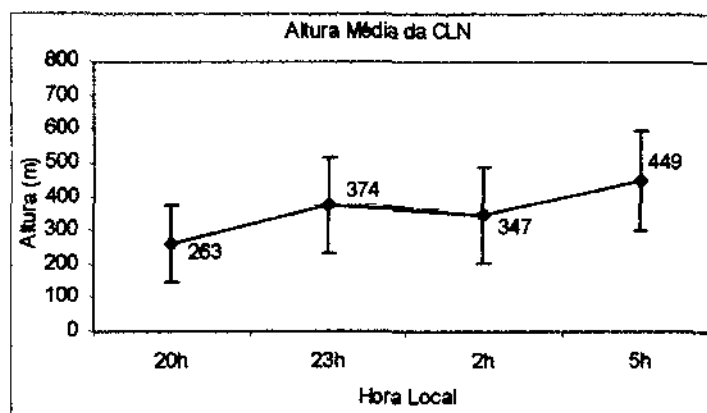


Figura 7 – Altura média da CLN na pastagem durante o LBA/TRMM (1999) com o respectivo desvio padrão.

A redução na altura da CLN entre 23 e 02HL foi acarretada pela falta de sequência das sondagens (em alguns dias as sondagens das 23HL foram realizadas e não as 02HL e vice-versa). Um argumento a esse favor é que quando calculada uma segunda média utilizando somente sondagens consecutivas às 23HL e 02HL (20 dias), os valores encontrados foram de 327m às 23HL e 386m às 02HL.

O desvio padrão, padronizado pela média, foi da ordem de 0,39, como pode ser visto na Tabela 4. É interessante notar que eles não variaram muito de um horário para outro mas são ligeiramente menores às 23HL, em função do menor número de dados.

Tabela 4 – Z_{im} da CLN, desvio padrão e razão entre desvio padrão e altura média, na pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	20HL	23HL	02HL	05HL
Altura Média (m)	263	374	347	263
D. Padrão	113	143	141	113
Desv. / Média	0,43	0,38	0,41	0,43

Em comparação aos demais, a taxa de crescimento média da CLN foi muito elevada no início de sua formação ($0,037\text{m.s}^{-1}$); logo após, ficou praticamente constante entre 23-02HL ($-0,002\text{m.s}^{-1}$), voltando a crescer no restante da noite (Tabela 5).

Tabela 5 - Taxa de desenvolvimento médio da CLN (m.s^{-1}), na pastagem, durante LBA/TRMM (1999).

Taxa de desenvolvimento da CLC (m.s^{-1})	
0 - 20	0,037
20 - 23	0,010
23 - 02	-0,002
02 - 05	0,009

1.2.1- Variação das variáveis médias dentro da CLN

a) – Temperatura potencial virtual média ($\overline{\Theta_v}$)

O comportamento de $\overline{\Theta_v}$ no interior da CLN é mostrado na Figura 8. Nota-se uma diminuição quase linear com o tempo e pouca variação nos desvios padrões.

A $\overline{\Theta_v}$ varia de $304,1 \pm 1,4\text{K}$ a $303,0 \pm 1,4\text{K}$, com uma média de $303,4 \pm 1,2\text{K}$ e o maior valor encontrado foi de $306,7\text{K}$ às 20HL do dia 19/01 e $300,5\text{K}$ foi o menor valor às 05HL do dia 15/01.

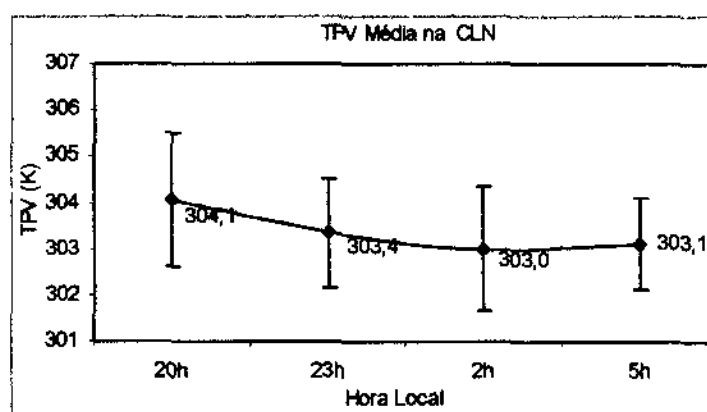


Figura 8 – Temperatura potencial virtual média no interior da CLN da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

De uma maneira geral, pode-se dizer que a CLN resfriou do início de sua formação até o dia seguinte. A taxa de resfriamento da CLN foi maior no início da noite, entre 20HL e 23HL ($0,23\text{K.h}^{-1}$) e aqueceu um pouco entre 02HL e 05HL, com uma taxa de $0,03\text{K.h}^{-1}$ (Tabela 6). Este “aquecimento” de $0,1\text{K}$, no final da madrugada, pode ser considerado como uma estabilização na temperatura da CLN, ou que uma formação de neblina, nevoeiro ou mesmo orvalho, tenha liberado calor latente ou diminuído a perda de radiação de onda longa, aumentando a temperatura, como foi observado na floresta durante período seco por Silva (1996). Se for levado em conta a precisão dos sensores e a margem de erro na determinação da altura da camada, esse pequeno aumento não deve ser considerado.

Tabela 6 - Taxa de resfriamento médio da CLN, na pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	Taxa (K.h^{-1})
0 - 20	-
20 - 23	-0,23
23 - 02	-0,12
02 - 05	0,03

b) – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

O gradiente vertical da temperatura potencial virtual revelou um regime de forte estabilidade, a qual diminuiu com o tempo, como pode ser visto na Figura 9. Os desvios foram bem maiores no início da noite (59% da média), mas também diminuíram com o passar do tempo, atingindo 33% da média às 05HL.

Os valores variaram de $9,9 \pm 4,2 \text{ K.km}^{-1}$ a $12,4 \pm 7,3 \text{ K.km}^{-1}$ e o valor médio de $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ foi de $10,7 \pm 4,8 \text{ K.km}^{-1}$. O maior valor foi de $28,7 \text{ K.km}^{-1}$ às 20HL do dia 25/01 e o menor de $1,6 \text{ K.km}^{-1}$ às 20 do dia 03/02.

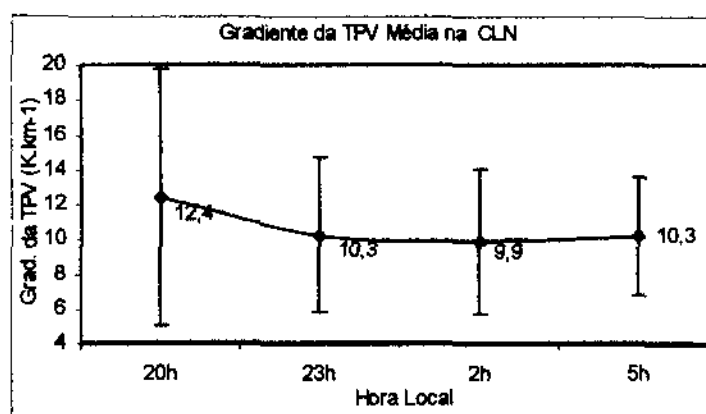


Figura 9 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual no interior da CLN da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

c) – Velocidade e direção médias do vento

A velocidade do vento apresentou uma tendência de crescimento parecido àquela da altura da própria CLN, como pode ser visto na Figura 10. Os valores variaram de $2,2 \pm 2,1 \text{ m.s}^{-1}$ a $3,4 \pm 1,8 \text{ m.s}^{-1}$ ($3,0 \pm 1,9 \text{ m.s}^{-1}$ de média). O maior valor registrado foi de $9,9 \text{ m.s}^{-1}$ às 20HL do dia 14/01 e o menor de $0,03 \text{ m.s}^{-1}$ às 02HL do dia 20/01. As barras de desvio padrão demonstram que a variação do vento dia a dia é muito grande, chegando a ser igual à própria média às 20HL.

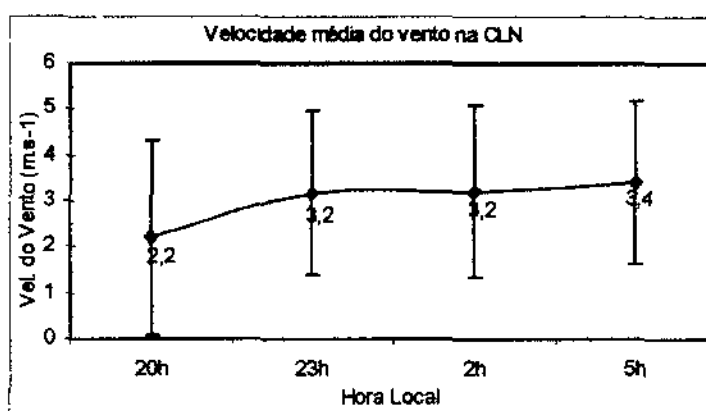


Figura 10 – Velocidade média do vento no interior da CLN da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

A direção média do vento dentro da CLN e seu desvio padrão, podem ser vistos na figura 11. Nota-se que, em média, ela não varia muito, sendo de Sul (S) no início da noite passando a sudoeste (SW) no final. É importante ressaltar que essa tendência, de ser de Sul no início ($180 \pm 92^\circ$) e girar para Sudoeste no final do período ($239 \pm 109^\circ$), é idêntica à observada dentro da CLC (Cfo. 1.1.1c). A direção média foi de $211 \pm 105^\circ$.

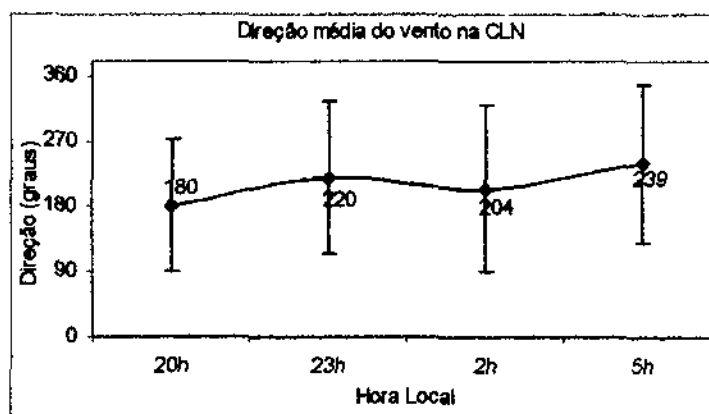


Figura 11 – Direção média do vento, com seu respectivo desvio padrão, no interior da CLN da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

d) – Umidade específica média ($\bar{q}$)

A variação da umidade específica dentro da CLN, na pastagem, é mostrada na Figura 12. Ela se manteve praticamente constante durante toda a noite, com uma diferença de apenas $0,2 \text{ g.kg}^{-1}$ entre o maior e menor valor. É importante salientar que se trata da estação chuvosa e que, portanto, a variação espacial e temporal da umidade na Amazônia é pequena.

Os valores variaram de $17,6 \pm 1,3 \text{ g.kg}^{-1}$ a $17,4 \pm 0,9 \text{ g.kg}^{-1}$, com uma média de $17,5 \pm 1,1 \text{ g.kg}^{-1}$, sendo o maior valor encontrado no dia 29/01 às 02HL de $22,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ e o menor de $14,7 \text{ g.kg}^{-1}$ às 02HL do dia 20/01.

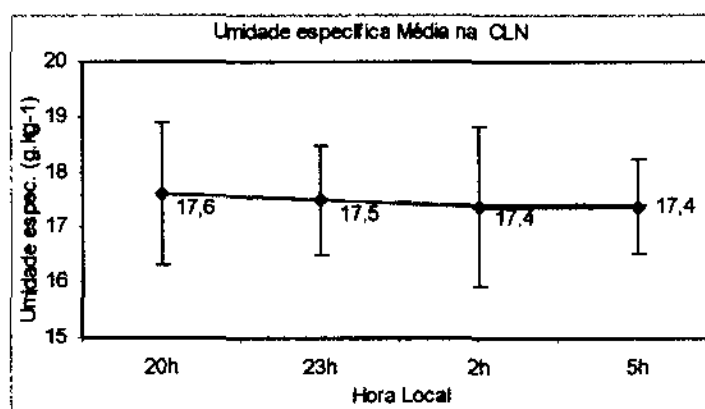


Figura 12 – Umidade específica média no interior da CLN da pastagem, durante o LBA/TRMM (1999).

2 – Floresta

2.1 - Camada Limite Convectiva (CLC)

O perfil médio da CLC durante o experimento, com o respectivo desvio padrão são mostrados na Figura 13. Notou-se um crescimento quase linear entre 08 e 14HL e uma tendência à estabilização a partir desse horário. Ela variou de $153 \pm 63\text{m}$ a $1097 \pm 387\text{m}$, com uma média de 738m. Os valores extremos foram registrados com o máximo de 1638m 17HL e o mínimo 51m às 08HL, ambos no dia 29/01. Nesse dia, não ocorreu nenhum evento de precipitação no período diurno, e o saldo de radiação foi superior à média do período (359W.m^{-2}), indicando um dia propício para o pleno desenvolvimento da CLC.

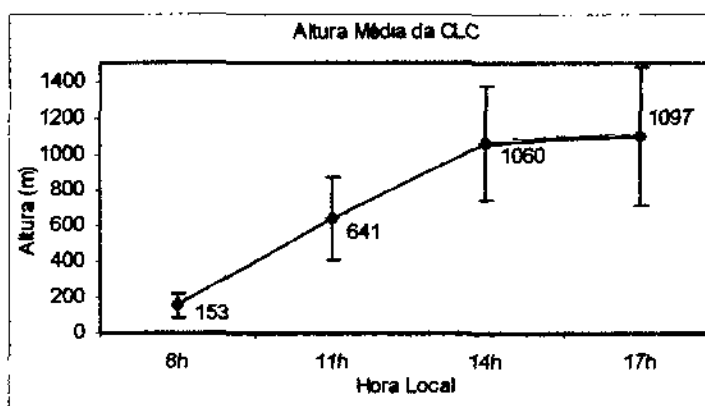


Figura 13 – Altura média da CLC na floresta durante o LBA/TRMM (1999) com o respectivo desvio padrão.

Os desvios padrões de Z_{im} , padronizados pela média, foram da ordem de 0,35 (Tabela 7). Eles tenderam a diminuir ao longo do dia, sendo menor às 14HL (0,29). No restante da tarde (14HL – 17HL), voltou a crescer, coincidindo com o que foi observado na pastagem.

Tabela 7 – Z_{im} da CLC, desvio padrão e o desvio padrão padronizado pela média, na floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	08HL	11HL	14HL	17HL
Altura Média (m)	153	641	1060	1097
D. Padrão	64	229	312	387
Desv. / Média	0,42	0,36	0,29	0,35

O valor mais elevado do desvio padrão, padronizado pela média, às 08HL deve ser visto com cuidado pois, assim como na pastagem, a essa hora, a identificação da altura da CLC é difícil em função da coexistência de restos de CLN dos dias anteriores. Além disso, o erro pode ser bastante considerável uma vez que a resolução espacial ($\cong 50m$) da radiossonda representa cerca de 30% do valor médio.

Na Tabela 8, observou-se que as taxas de crescimento médias da CLC possuíram 3 etapas distintas. A primeira do nascer até às 08HL ($0,21 \text{ m.s}^{-1}$), a segunda das 8HL às 14HL (média de $0,042 \text{ m.s}^{-1}$) e a terceira das 14HL às 17HL com $0,003 \text{ m.s}^{-1}$.

Tabela 8 – Taxa de desenvolvimento médio da CLC (m.s^{-1}), na floresta, durante LBA/TRMM (1999).

Taxa de desenvolvimento da CLC (m.s^{-1})	
☀ - 08	0,021
08 - 11	0,045
11 - 14	0,039
14 - 17	0,003

2.1.1- Variação das variáveis médias dentro da CLC

a) – Temperatura potencial virtual média ($\overline{\Theta_v}$)

O comportamento de $\overline{\Theta_v}$ no interior da CLC foi o esperado, ou seja, um aumento progressivo do nascer ao por do sol como pode ser verificado na Figura 14. $\overline{\Theta_v}$ variou de

$300,4 \pm 0,8\text{K}$ a $306,2 \pm 1,9\text{K}$, com uma média de $303,9 \pm 2,7\text{K}$. O maior valor encontrado foi de $309,1\text{K}$ às 17HL do dia 24/01 e o menor $298,3\text{K}$ às 08HL do dia 26/01.

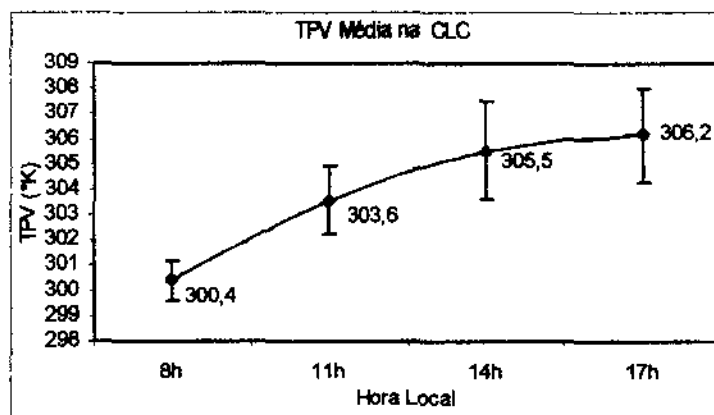


Figura 14 – Temperatura potencial virtual média no interior da CLC da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

b) – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

A média do gradiente vertical da temperatura potencial virtual revelou uma tendência à instabilidade estática no interior da CLC, como pode ser visto na Figura 15. Ele ficou neutro no início da manhã e passou instável entre 11 e 14HL, voltando à neutralidade no final da tarde.

Os valores variaram de $-1,1 \pm 3,3\text{K.km}^{-1}$ a $-4,6 \pm 4,5\text{K.km}^{-1}$, com valor médio de $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ de $-2,7 \pm 4,6\text{K.km}^{-1}$. O maior valor foi de $7,5\text{K.km}^{-1}$ às 08HL do dia 25/01 e o menor de $-20,5\text{K.km}^{-1}$ às 14HL do dia 31/01.

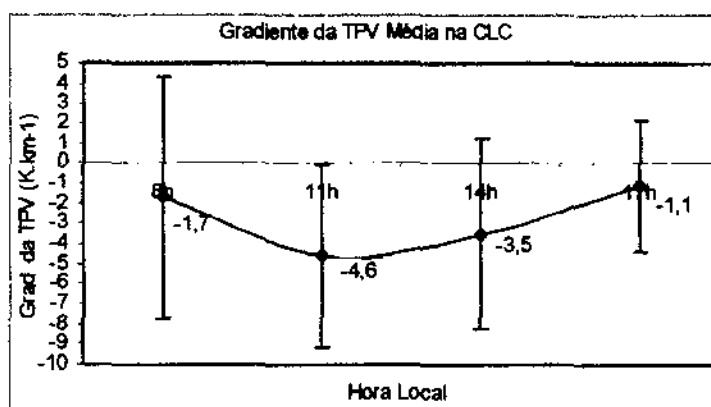


Figura 15 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual no interior da CLC da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

c) – Velocidade e direção médias do vento

A velocidade do vento apresentou um crescimento durante todo o período sendo menor na parte da manhã, como se vê na Figura 16. Os valores variaram de $1,6 \pm 1,1 \text{ m.s}^{-1}$ a $2,8 \pm 1,3 \text{ m.s}^{-1}$ ($2,3 \pm 1,3 \text{ m.s}^{-1}$ de média). O maior valor registrado foi de $6,3 \text{ m.s}^{-1}$ às 14HL do dia 24/02 e o menor de $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ às 08HL do dia 24/01. Segundo Tota et al. (2002), esteve atuando em Rondônia, no dia 24/02, um sistema de meso-escala, acarretando um saldo de radiação muito abaixo da média e uma precipitação de 32mm no dia. Essas condições certamente acarretaram ventos muito fortes, como verdadeiramente foi verificado.

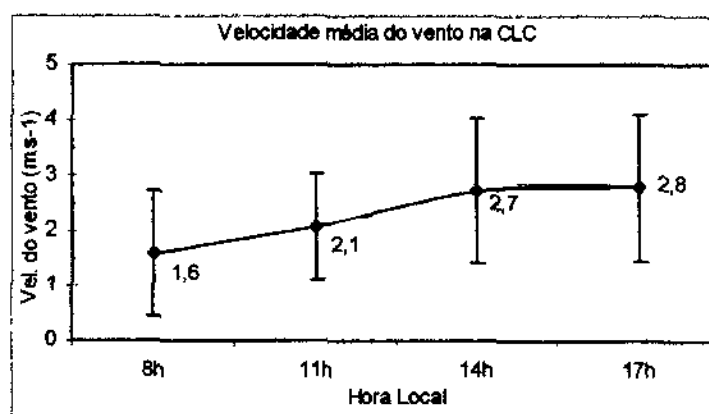


Figura 16 – Velocidade média do vento no interior da CLC, na floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

A direção média do vento e seu desvio padrão, durante o experimento, podem ser vistos na Figura 17. Nota-se que ela varia dentro do quadrante Sul (S) na CLC. A direção média foi de $191 \pm 128^\circ$, tendendo a girar para Sudeste entre 08HL e 11HL. Em seguida, voltou à posição mais a Sudoeste às 14HL e novamente girou para Sudeste às 17HL.

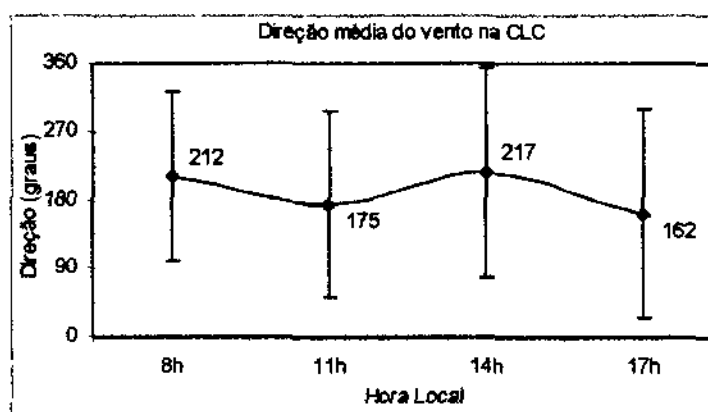


Figura 17 – Direção média do vento, com seu respectivo desvio padrão, no interior da CLC da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

d) – Umidade específica média ($\bar{q}$)

A variação da umidade específica na pastagem é mostrada na Figura 18. No geral, ela apresentou, assim como na pastagem, um comportamento clássico que acompanha o ciclo diário da temperatura: maior no início da manhã decrescendo até atingir o seu mínimo às 14HL, com uma perda de $1,8\text{g.kg}^{-1}$, voltando a crescer até às 17HL.

Os valores variaram de $16,9 \pm 0,7\text{g.kg}^{-1}$ a $15,1 \pm 1,2\text{g.kg}^{-1}$, com uma média de $15,8 \pm 1,0\text{g.kg}^{-1}$, sendo o maior valor encontrado no dia 25/01 às 08HL de $18,8\text{g.kg}^{-1}$ e o menor de $12,9\text{g.kg}^{-1}$ às 14HL do dia 16/02.

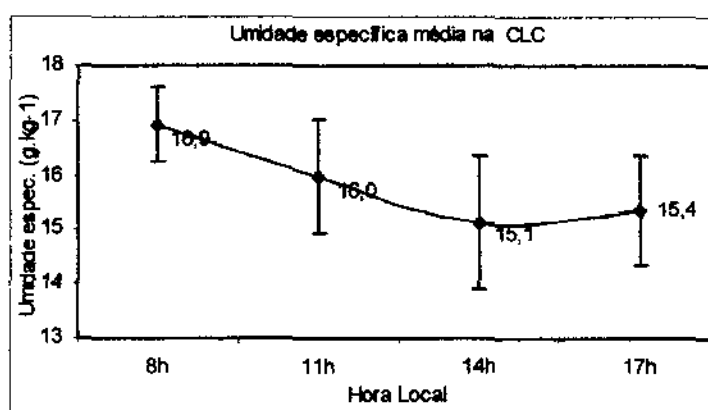


Figura 18 – Umidade específica média no interior da CLC da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

2.2 – Camada Limite Noturna (CLN)

O perfil médio da CLN durante o experimento, com o respectivo desvio padrão são mostrados na Figura 19. Ela apresentou um crescimento quase linear até às 02HL e uma pequena diminuição durante a restante da madrugada. Variou de 349m a 154m, com uma média de 487m. Os valores extremos foram: máximo de 934m às 05HL do dia 26/01 e o mínimo 123m às 20HL do dia 04/02.

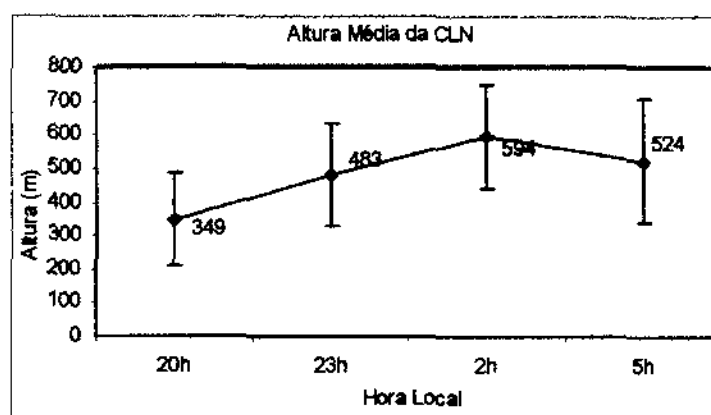


Figura 19 – Altura média da CLN na floresta durante o LBA/TRMM (1999) com o respectivo desvio padrão.

O desvio padrão, padronizado pela média, foi da ordem de 0,33, como pode ser visto na Tabela 9. Eles variaram bem em relação à média durante toda a noite, sendo maior no período de transição, início e final da noite.

Tabela 9 – Z_{im} da CLN, desvio padrão e razão entre desvio padrão e altura média, na floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	20HL	23HL	02HL	05HL
Altura Média (m)	349	483	594	524
D. Padrão	140	155	154	186
Desv. / Média	0,40	0,32	0,26	0,36

Na Tabela 10, observou-se que a taxa de crescimento média da CLN foi muito elevada no início de sua formação ($0,048\text{m.s}^{-1}$). Logo após, diminuiu bastante, alcançando uma média de $0,011\text{m.s}^{-1}$ entre 20HL-02HL, e decresceu desse ponto até o final da noite. Na média, a taxa foi de $0,016\text{m.s}^{-1}$.

Tabela 10 – Taxa de desenvolvimento médio da CLN (m.s^{-1}), na floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

Taxa de desenvolvimento da CLN (m.s^{-1})	
- 20	0,048
20 - 23	0,012
23 - 02	0,010
02 - 05	-0,006

A grande queda na taxa de desenvolvimento entre 20HL e 02HL, em relação ao desenvolvimento inicial até às 20HL, pode ter sido acarretada pela grande perda radiativa que ocorre no início da formação da CLN, onde a superfície perde a maior parte de sua energia. A partir daí, o resfriamento tende a reduzir, diminuindo, assim, a taxa de desenvolvimento da CLN, o que ocorre a partir das 20HL, e finalizando com sua diminuição a partir das 02HL.

2.2.1- Variação das variáveis médias dentro da CLN

a) – Temperatura potencial virtual média ($\overline{\Theta}_v$)

O comportamento de $\overline{\Theta}_v$ no interior da CLN é apresentando na Figura 20. Nota-se uma diminuição contínua ao longo da noite, a qual é mais acentuada entre 20HL e 23HL. $\overline{\Theta}_v$ variou de $303,9 \pm 1,1\text{K}$ a $302,1 \pm 1,2\text{K}$, com uma média de $302,9 \pm 1,2\text{K}$. O maior valor encontrado foi de $306,0\text{K}$ às 02HL do dia 31/01 e $298,9\text{K}$ foi o menor às 02HL do dia 24/01.

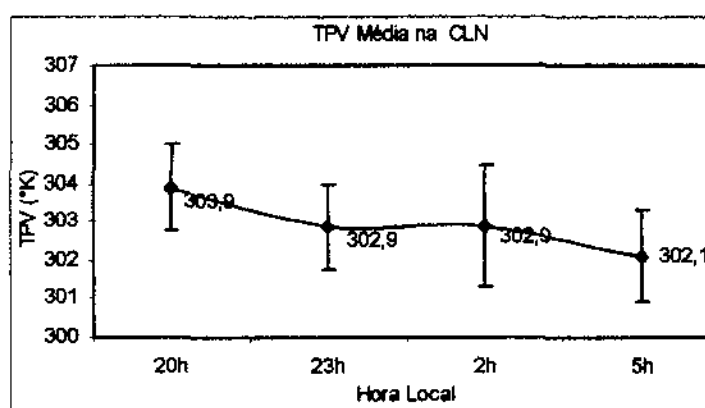


Figura 20 – Temperatura potencial virtual média no interior da CLN da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

Durante a noite, a camada se resfriou de 1,8K. A taxa de resfriamento da CLN foi maior no início da noite, entre 20 e 23HL ($-0,34\text{K.h}^{-1}$). Permaneceu quase constante entre 23 e 02HL e voltou a diminuir até o final da noite a uma taxa de $-0,26\text{K.h}^{-1}$ (Tabela 11).

Tabela 11 – Taxa de aquecimento médio da CLN, na floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

Hora Local	Taxa (K.h^{-1})
- 20	-
20 - 23	-0,34
23 - 02	0,01
02 - 05	-0,26

b) – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \Theta_v}$)

Na média, o gradiente vertical da temperatura potencial virtual não variou muito na CLN. Ficou em um regime de forte estabilidade estática durante toda a noite, como pode ser visto na Figura 21. Os valores variaram de $7,7\text{ K.km}^{-1}$ a $9,3\text{ K.km}^{-1}$, o valor médio de $\overline{\nabla_v \Theta_v}$ foi de $8,7\text{ K.km}^{-1}$. O maior valor foi de $24,2\text{ K.km}^{-1}$ às 05HL do dia 13/02 e o menor de $-15,3\text{ K.km}^{-1}$ às 05HL do dia 17/02. É importante salientar que os desvios são sempre muito grandes e maior às 05HL, que é uma hora de transição e, portanto, sofre uma maior variação devido ao nascer do dia.

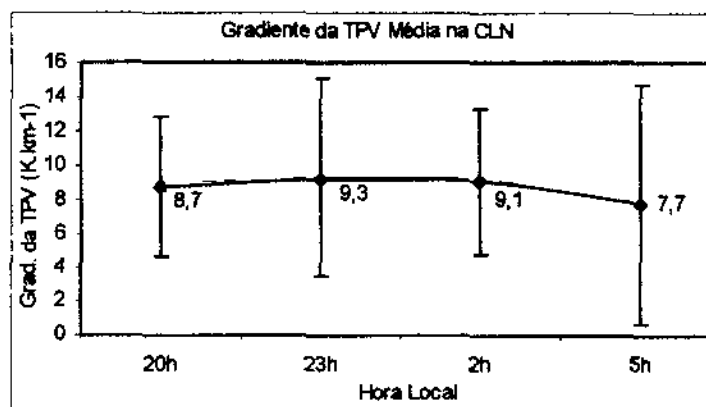


Figura 21 – Gradiente vertical da temperatura potencial virtual média no interior da CLN da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

c) – Velocidade e direção médias do vento

A velocidade do vento na CLN sofreu uma variação considerável durante à noite, com os menores valores no início da noite, aumentando em seguida até o seu máximo às 02HL e decrescendo até o final da noite (Figura 22). Os ventos apresentaram uma variabilidade (desvios padrões) bastante considerável. A diminuição do vento entre 02HL e 05HL pode estar ligada ao decaimento da CLN no mesmo período.

Os valores variaram de $2,0 \pm 1\text{m.s}^{-1}$ a $3,1 \pm 1,7\text{m.s}^{-1}$ ($2,6 \pm 1,3\text{m.s}^{-1}$ de média). O maior valor registrado foi de $6,1\text{m.s}^{-1}$ às 02HL do dia 02/02 e o menor de $0,3\text{m.s}^{-1}$ às 20HL do dia 08/02. As barras de desvio padrão demonstram a grande variabilidade dos valores, principalmente às 02HL.

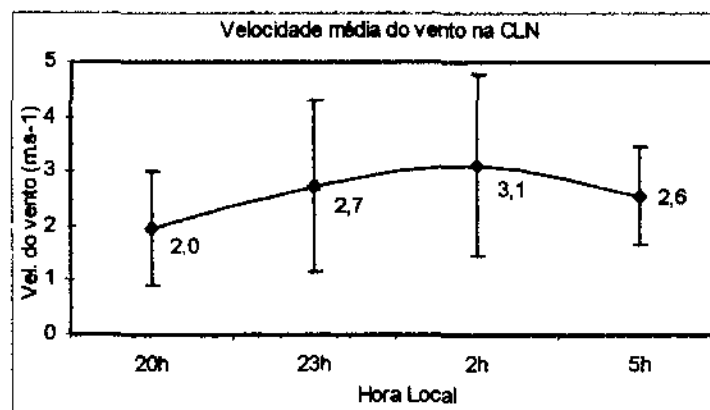


Figura 22 – Velocidade média do vento no interior da CLN da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

A direção média do vento dentro da CLN, e seu desvio padrão, podem ser vistos na Figura 23. Nota-se que, mais uma vez, ela varia dentro de um único quadrante (Sudeste) dentro da CLN, sendo um pouco mais de Sul (S) no início da noite passando a sudeste (SE) no final. A direção média foi de $165 \pm 126^\circ$.

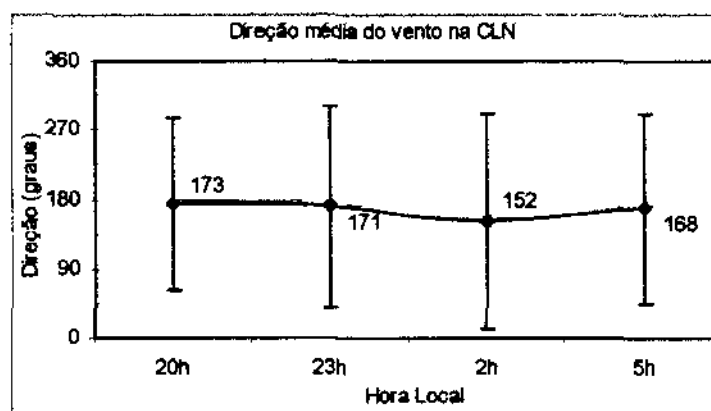


Figura 23 – Direção média do vento, com seu respectivo desvio padrão, no interior da CLN da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

d) – Umidade específica média ($\bar{q}$)

A variação da umidade específica dentro da CLN na floresta é mostrada na Figura 24. Observa-se que ela apresentou uma diminuição do início da noite até o seu final ($1,2\text{g.kg}^{-1}$). A menor altura da camada no início da noite fez com que a umidade se concentrasse em uma camada mais rasa. Com o desenvolvimento da CLN, essa concentração se “diluiu” em uma camada mais espessa até o final da noite.

Os valores variaram de $17,5 \pm 0,9\text{g.kg}^{-1}$ a $16,3 \pm 1,0\text{g.kg}^{-1}$, com uma média de $16,8 \pm 1,0\text{g.kg}^{-1}$, sendo o maior valor encontrado no dia 10/02 às 20HL de $19,2\text{g.Kg}^{-1}$ e o menor de $14,3\text{g.Kg}^{-1}$ às 02HL do dia 24/01.

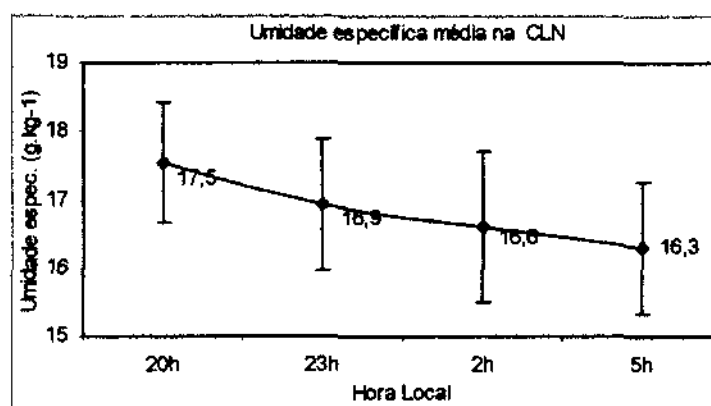


Figura 24 – Umidade específica média no interior da CLN da floresta, durante o LBA/TRMM (1999).

Anexo 2 – Sondagens utilizadas na comparação das alturas da CLA para Ouro Preto (Pastagem) e Rebio (Floresta) durante o LBA / TRMM (1999). Só constam destas tabelas as sondagens que ocorreram simultaneamente nos dois sítios.

DATA	HORA LOCAL (Ouro Preto)							
	2h	5h	8h	11h	14h	17h	20h	23h
24-jan	554		119		1183		114	283
25-jan	366	447						
26-jan	256		110				383	
27-jan			288			1279		307
28-jan	430		180	1181	1330	1331		252
29-jan	237	411	106	605	994	1054		
30-jan		423		670	725			
31-jan							390	425
1-fev	318			426	741	740		
2-fev								
3-fev	200			289	700	939	236	
4-fev			200	554	1124	504	77	326
5-fev				465	1135	1230		
6-fev	201	274	358					
7-fev								
8-fev				339	921	1188		206
9-fev	448	445			1267		289	
10-fev				661	999		284	
11-fev		158			1158			
12-fev		332	107	627	1222	1730		
13-fev		440		347	943			
14-fev					1406			
15-fev					779			
16-fev		663		609	816			
17-fev		379		631	1415			
18-fev							176	
19-fev					1142		319	
20-fev		381	111	736				
21-fev		635	198				261	
22-fev				1019	1208	1519		
23-fev		492		646				425
24-fev	438			595	1020			
Media	345	420	178	612	1068	1151	253	318
DESV. P	121	134	87	227	221	360	106	83

DATA	HORA LOCAL (Rebio)							
	2h	5h	8h	11h	14h	17h	20h	23h
24-jan	356		90		1436		470	481
25-jan	734	368						
26-jan	348		172				209	
27-jan			139			1090		720
28-jan	609		98	404	727	1393		638
29-jan	763	781	51	487	934	1638		
30-jan		778		776	1042			
31-jan							242	568
1-fev	631			485	1431	466		
2-fev								
3-fev	648			402	1315	1312	151	
4-fev			115	862	1014	833	123	474
5-fev				839	1167	1191		
6-fev	635	620	133					
7-fev								
8-fev				331	488	851		309
9-fev	383	337			1158		572	
10-fev				233	1532		297	
11-fev		471			961			
12-fev		630	124	903	1226	1340		
13-fev		234		774	1019			
14-fev					1307			
15-fev					1386			
16-fev		388		486	1512			
17-fev		495		922	973			
18-fev							337	
19-fev					1161		427	
20-fev		806	216	599				
21-fev		607	233				290	
22-fev				890	1035	1066		
23-fev		492		705				636
24-fev	477			171	855			
Media	558	639	137	604	1128	1118	312	547
DESV. P	155	183	56	248	266	337	143	137

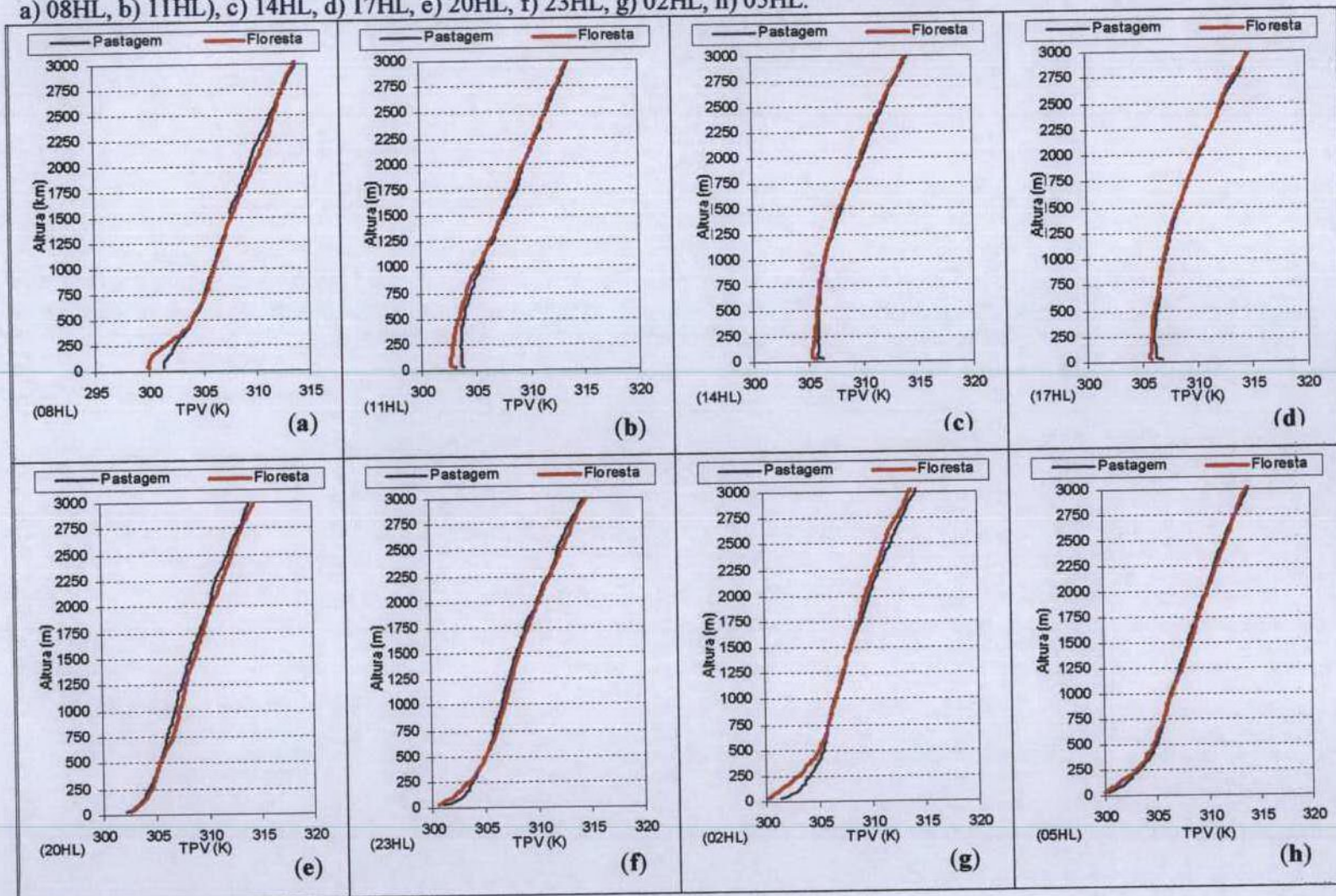
Anexo 3 – Valores médios da CLC na floresta e pastagem durante o LBA/TRMM (1999): Altura média (Z_m), Temperatura Potencial Virtual (TPV), Gradiente da Temperatura Potencial Virtual (GR TPV), Velocidade (ff) e Direção (dd) do vento e Umidade Específica (q), dentro da CLC na Floresta (negrito) e Pastagem (normal). Valores decorrentes das sondagens simultâneas nos dois sítios

		(FLORESTA / PASTAGEM)										
		08HL		11HL		14HL		17HL		Média		(Flo - Pas)
Z_m	Média	137	178	604	612	1128	1058	1118	1151	747	750	-3
	Desv. Pad.	56	87	248	227	266	221	337	360	227	224	3
TPV	Média	300,0	301,4	303,0	303,7	305,9	306,0	306,1	306,4	303,7	304,4	-0,6
	Desv. Pad.	0,9	1,0	1,3	1,4	1,4	1,4	1,8	1,4	1,4	1,3	0,0
GR TPV	Média	-1,5	0,0	-5,8	-1,2	-3,2	-0,7	-1,6	0,2	-3,0	-0,4	-2,6
	Desv. Pad.	2,7	2,1	4,9	1,9	3,6	1,7	3,8	0,8	3,8	1,6	2,1
ff	Média	1,7	2,9	1,9	3,5	2,6	2,8	3,3	3,2	2,4	3,1	-0,7
	Desv. Pad.	1,4	1,7	1,1	2,2	1,4	1,8	1,6	2,1	1,4	2,0	-0,6
dd	Média	152	111	175	158	143	169	104	138	143	144	-1
	Desv. Pad.	129	100	135	136	132	128	117	153	128	129	-1
q	Média	16,6	16,2	16,1	15,6	15,0	14,0	14,9	14,4	15,7	15,0	0,6
	Desv. Pad.	0,7	0,8	0,9	0,8	1,3	1,1	0,8	1,1	0,9	1,0	-0,1

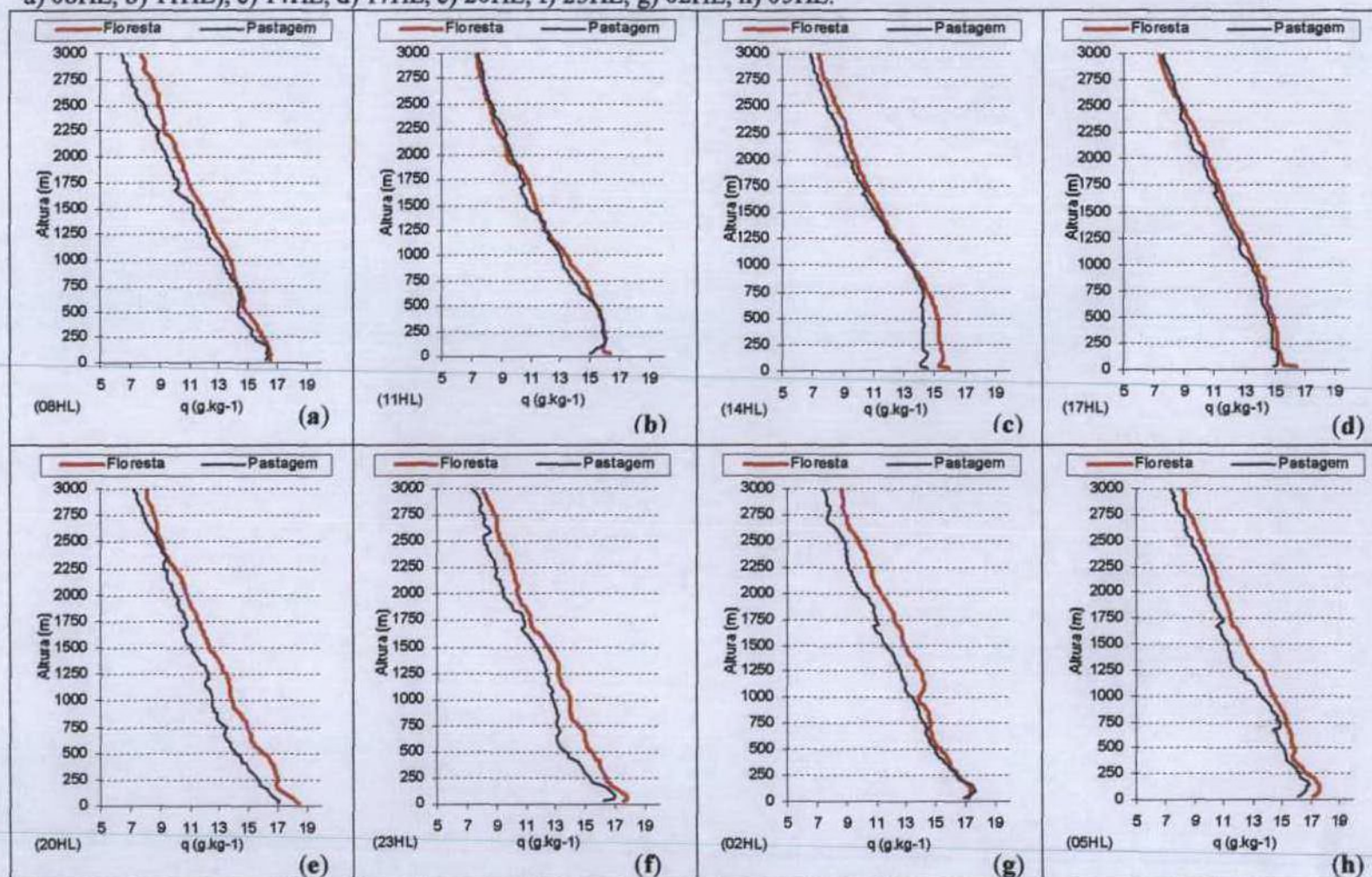
Anexo 4 – Valores médios da CLN na floresta e pastagem durante o LBA/TRMM (1999): Altura média (Z_m), Temperatura Potencial Virtual (TPV), Gradiente da Temperatura Potencial Virtual (GR TPV), Velocidade (ff) e Direção (dd) do vento e Umidade Específica (q), dentro da CLN na Floresta (negrito) e Pastagem (normal). Valores decorrentes das sondagens simultâneas nos dois sítios

		(FLORESTA / PASTAGEM)										
		20HL		23HL		02HL		05HL		Média		(Flo - Pas)
Z_m	Média	312	253	547	318	558	345	539	420	489	334	155
	Desv. Pad.	143	105	137	83	155	121	183	134	155	111	44
TPV	Média	303,9	303,9	303,2	303,2	302,7	303,3	302,5	302,8	303,1	303,3	-0,2
	Desv. Pad.	1,4	1,3	1,1	1,4	1,5	1,6	0,9	0,7	1,2	1,3	-0,1
GR TPV	Média	8,2	10,6	9,4	12,1	9,8	11,3	8,1	10,8	8,9	11,2	-2,3
	Desv. Pad.	3,2	7,0	5,0	5,8	4,6	3,5	9,3	3,2	5,5	4,9	0,6
ff	Média	1,6	1,8	1,9	2,2	2,5	3,0	2,5	2,8	2,1	2,4	-0,3
	Desv. Pad.	1,1	1,1	0,9	1,5	1,5	1,9	0,7	1,3	1,0	1,4	-0,4
dd	Média	101	163	117	129	56	74	175	168	113	134	-21
	Desv. Pad.	86	127	113	137	79	95	124	129	100	122	-21
q	Média	17,5	16,2	16,5	16,0	16,4	16,9	16,7	16,2	16,8	16,3	0,4
	Desv. Pad.	1,0	1,4	0,9	1,0	1,2	1,7	0,6	0,6	0,9	1,2	-0,3

Anexo 5 – Perfis médios de Θ_v nos primeiros 3000m na Pastagem (azul) e Floresta (vermelho) durante a estação chuvosa:
a) 08HL, b) 11HL, c) 14HL, d) 17HL, e) 20HL, f) 23HL, g) 02HL, h) 05HL.



Anexo 6 – Perfis médios de “q” nos primeiros 3000m na Pastagem (azul) e Floresta (vermelho) durante a estação chuvosa:
a) 08HL, b) 11HL, c) 14HL, d) 17HL, e) 20HL, f) 23HL, g) 02HL, h) 05HL.



Anexo 7 – Valores médios da CLC na Pastagem durante a estação Seca (RBLE 3 – 1994) em **negrito** e chuvoso (LBA/TRMM – 1999) normal: Altura média (Z_m), Temperatura Potencial (TP), Gradiente da Temperatura Potencial Virtual (GR TPV), Velocidade (ff) e Umidade Específica (q).

		PASTAGEM (SECO / CHUVOSO)										
		08HL		11HL		14HL		17HL		Média		(Flo - Pas)
Z_m	Média	74	178	607	612	1511	1058	2172	1151	1091	750	341
	Desv. Pad.	20	87	165	227	190	221	399	360	194	224	-30
TP	Média	299,1	298,4	304,3	300,8	307,0	303,4	307,3	303,7	304,4	301,6	2,8
	Desv. Pad.	1,2	0,9	1,5	1,3	1,2	1,3	1,2	1,5	1,3	1,3	0,0
GR TPV	Média	3,9	0,0	-5,0	-1,2	-1,8	-0,7	0,0	0,2	-0,7	-0,4	-0,3
	Desv. Pad.	7,9	2,1	1,5	1,9	0,6	1,7	0,5	0,8	2,6	1,6	1,0
ff	Média	0,8	2,9	3,7	3,5	3,4	2,8	2,3	3,2	2,6	3,1	-0,5
q	Média	9,2	16,2	11,3	15,6	9,6	14,0	9,4	14,4	9,9	15,0	-5,2
	Desv. Pad.	1,8	0,8	1,0	0,8	1,2	1,1	1,2	1,1	1,3	1,0	0,3

Anexo 8 – Valores médios da CLC na Floresta durante a estação Seca (RBLE 3 – 1994) em **negrito** e chuvoso (LBA/TRMM – 1999) normal: Altura média (Z_m), Temperatura Potencial (TP), Gradiente da Temperatura Potencial Virtual (GR TPV), Velocidade (ff) e Umidade Específica (q).

		FLORESTA (SECO / CHUVOSO)										
		08HL		11HL		14HL		17HL		Média		(Flo - Pas)
Z_m	Média	88	137	359	604	1014	1128	1168	1118	657	747	-89
	Desv. Pad.	30	56	78	248	198	266	215	337	130	227	-97
TP	Média	294,3	296,9	302,0	300,0	305,1	303,1	305,4	303	301,7	300,8	0,9
	Desv. Pad.	0,4	0,8	1,7	1,3	1,0	1,4	1,0	2	1,0	1,4	-0,3
GR TPV	Média	1,5	-1,5	-5,3	-5,8	-2,6	-3,2	-0,9	-2	-1,8	-3,0	1,2
	Desv. Pad.	13,7	2,7	2,7	4,9	0,9	3,6	0,7	4	4,5	3,8	0,7
ff	Média	0,7	1,7	4,1	1,9	3,2	2,6	2,7	3	2,7	2,4	0,3
q	Média	14,7	16,6	14,1	16,1	11,3	15,0	11,5	15	12,9	15,7	-2,8
	Desv. Pad.	0,5	0,7	0,5	0,9	1,2	1,3	1,0	1	0,8	0,9	-0,1