



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE – 6406 – TDI / 616

ESTUDO DA ESTRUTURA TERMODINÂMICA DA ATMOSFERA SOBRE A AMAZÔNIA

Alexandre Melo Casseb do Carmo

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pelos Drs. Vadlamudi
Brahmananda Rao e Sérgio Henrique Franchito, aprovada em novembro de 1996.

INPE
São José dos Campos
1996

551.51(811.3)

CARMO, A. M. C. do

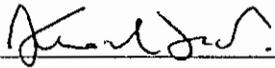
Estudo da estrutura termodinâmica da atmosfera sobre Amazônia / A. M. C. do Carmo. - São José dos Campos: INPE, 1996.

144 p. - (INPE-6406-TDI/616).

1. Propriedades termodinâmicas. 2. Camada limite atmosférica. 3. Estratificação atmosférica. 4. Sondagem atmosférica. 5. Radiosondas. 6. Amazônia (Região). 7. RBLE-3. 8. Fluamazon.
I. Título.

Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia

Dr. Kioshi Hada



Presidente

Dr. Vadlamudi Brahmanada Rao



Orientador

Dr. Sérgio Henrique Franchito



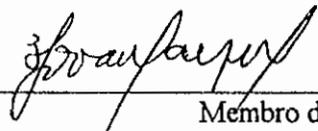
Orientador

Dr. Manoel Alonso Gan



Membro da Banca

Dr. Valdo da Silva Marques



Membro da Banca
- Convidado -

Candidato: Alexandre Melo Casseb do Carmo

São José dos Campos, 25 de novembro de 1996

À Deus, minha Família e amigos, de ontem, de hoje e de
sempre. Meus únicos bens reais...

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores Dr. Vadlamudi B. Rao e Dr. Sérgio H. Franchito, pela paciência e apoio dispensados na orientação deste trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora pelas críticas e sugestões.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos no país.

Ao Coordenador Acadêmico Dr. Manoel Alonso Gan e aos professores do Programa de Pós-graduação de Meteorologia do INPE, pelo estímulo e auxílio no desenvolvimento deste estudo.

Ao Dr. Carlos A. Nobre por haver facilitado a utilização das informações referentes aos experimentos de Fluxo de Umidade na Região Amazônica (FLUAMAZON) e Rondônia Boundary Layer Experiment (RBLE).

A minha família, pelo indispensável apoio e incentivo com os quais me fortaleceram na realização deste trabalho.

Aos amigos, de hoje e de sempre, que me apoiaram e estimularam durante todo o mestrado.

RESUMO.

A estrutura termodinâmica da atmosfera sobre a Amazônia durante os experimentos FLUAMAZON (23/11-21/12/89) e RBLE-3 (13-25/08/94) é estudada no presente trabalho. Tem-se como objetivos estudar o perfil termodinâmico da atmosfera envolvendo a Camada Limite Convectiva (CLC) e a Atmosfera Livre (AL), utilizando-se várias estações ao longo da Região Amazônica; e mostrar as características encontradas sobre cada estação apontando possíveis causas. Os dados de radiossondagens obtidos nestes experimentos são estudados através da análise das variáveis conservativas, sugerida por Betts (1982). Os resultados obtidos em função do perfil vertical da pressão diferencial de saturação (P), e da estrutura da Linha de Mistura (LM), mostram que a estrutura simples de tripla camada (Camada Sub-Saturada, Camada Saturada e Camada de Entranhamento) da CLC está melhor caracterizada durante o RBLE-3. Referindo-se às estações do FLUAMAZON, sugere-se que as pequenas inversões e os agrupamentos de Pontos de Saturação (PS), observados próximos à superfície, podem ser devido a uma camada estável noturna. Uma forte camada estável encontrada nas estações de Alta Floresta e de Alcantara pode ser devida a **downdrafts** (corrente descendente) associados a sistemas meteorológicos de mesoescala. Em Oiapóque a presença de uma forte camada estável, em média troposfera, pode estar associada a sistemas meteorológicos de mesoescala e escala sinótica. Em geral, encontrou-se estruturas duplas, na LM, em todas as estações do experimento FLUAMAZON. Sugere-se que os processos combinados de precipitação e evaporação da precipitação foram predominantes na formação destas estruturas. Nota-se também que devido ao aumento do índice pluviométrico, os PSs tornam-se mais próximos entre si, em toda a LM. Associado a isto, a inclinação da LM no diagrama (θ_e-r) é suavizada, ficando aproximadamente constante em relação a θ_e . Isto sugere um grande aumento de energia calorífica em toda a coluna atmosférica analisada, devido a intensificação dos movimentos convectivos. Na AL notou-se que os perfis médios de P, em ambos os experimentos, tendem a um valor comum, pouco maior que $P \approx -10$ mb. Observa-se, neste estudo, que o nível de origem do ar subsidente no topo da CLC está acima do nível de resfriamento.

STUDY OF THE ATMOSPHERIC THERMODYNAMIC STRUCTURE OVER AMAZONIA

ABSTRACT

The atmospheric thermodynamic structure over Amazonia during the FLUAMAZON (23/11 - 21/12/89) and RBLE-3 (13-25/08/94) experiments is studied. The main objective of this work is to study the atmospheric thermodynamic profile involving both the convective boundary layer (CBL) and the free-atmosphere (FA). For this purpose several radiosonde stations in the Amazonian region are used. Another objective of the present work is to present characteristics of the atmospheric thermodynamic profile at each station and to discuss the causes for them. The radiosonde data from these experiments are studied using the conservative variable analysis (Betts, 1982). The results, which are obtained as a function of the vertical profile of the differential pressure of saturation (P) and the structure of the mixing line (ML), show that the three-layer simple structure (the sub-saturated layer, saturated layer and entrainment layer) of the CBL is better characterized during the RBLE-3. Regarding the FLUAMAZON data, the small inversions and the grouping of the saturation points (SP), which are observed near surface, are suggested to be due to nocturnal stable layer. The strong stable layer observed in the station of Alta Floresta and Alcantara may be due to downdrafts associated with mesoscale meteorological systems. The strong stable layer observed in the data of Oiapóque, in the middle troposphere, may be associated with mesoscale and synoptic systems. In general, all the radiosonde data of the FLUAMAZON experiment show double structure in the ML. It is suggested that precipitation and evaporation process has a major role in the formation of this structure. Also, it is noted that the PSs are closer in the ML due to the increase of pluviometric index. Consequently, the ML inclination in the (θ_e-r) diagram is smoothed, becoming almost constant relative to θ_e . This suggests that there is an increase of the heat energy in the analysed atmospheric column due to intensification of the convective movement. It is noted that the mean profiles of P in the FA, in both the experiment, tends to the same value, that is slightly higher than $P \approx -10$ mb. In this study, it is observed that the level where the descending air is originated in the top of the CBL is higher than the level of cooling.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xxi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Características Médias da CLA e da AL.....	5
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA.....	11
3.1. - Localização das Observações.....	12
3.2. - Condições Meteorológicas Durante as Observações.....	13
3.3. - Metodologia.....	22
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....	29
4.1 - Belém-PA.....	29
4.1.1 - Características Médias do Período.....	29
4.1.2 - Características Médias dos Subperíodos.....	34
4.2 - Oiapóque-AP.....	48
4.2.1 - Características Médias do Período.....	48
4.2.2 - Características Médias dos Subperíodos.....	53
4.3 - Alcantara-MA.....	62
4.3.1 - Características Médias do Período.....	62

4.3.2 - Características Médias dos Subperíodos.....	66
4.4 - Manaus-AM.....	75
4.4.1 - Características Médias do Período.....	75
4.4.2 - Características Médias dos Subperíodos.....	80
4.5 - Alta Floresta-MT.....	89
4.5.1 - Características Médias do Período.....	89
4.5.2 - Características Médias dos Subperíodos.....	93
4.6 - Estrutura Termodinâmica da Atmosfera durante o Experimento RBLE-3.....	102
4.6.1 - Estrutura Média do Perfil Atmosférico sobre as estações de <u>PASTAGEM</u> e <u>FLORESTA</u>	102
4.7 - Comparações entre as médias para ambos os experimentos FLUAMAZON E RBLE-3.....	111
 CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	 115
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Estrutura típica da Camada Limite Convectiva em função do perfil vertical da temperatura potencial.....	6
3.1 - Localização geográfica das estações de radiossondagem envolvidas no experimento FLUAMAZON.e RBLE-3.....	13
3.2 - Histogramas de precipitação média diária representativos das zonas: norte, leste, oeste, sul e central da área do experimento FLUAMAZON. Baseada em Rocha (1991).....	16
3.3 - Sequência de imagens de satélite (GOES/Infra/Globo/18:00 UTC) representativas dos subperíodos SP-1(a), SP-2(b), SP-3(c), SP-4(d) e SP-5(e) do experimento FLUAMAZON. Baseada em Rocha (1991).....	17
3.4 - Campos do vento médio e de sua divergência ($\times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$) representativos dos subperíodos SP-1(a), SP-2(b), SP-3(c), SP-4(d) e SP-5(e) do experimento FLUAMAZON. Baseada em Rocha (1991).....	18
3.5 - Precipitação total em mm (a), e distribuição dos focos de queimadas (b), registradas no Brasil em agosto/94. Baseada em CLIMANÁLISE (1994). p(16 e 41).....	21
3.6 - Em (a) mostra-se um esquema de um diagrama termodinâmico (tefigrama) mostrando a relação entre o Ponto de Saturação (P_{ns} , t_{ns}) e as variáveis conservativas (no nível de sondagem, p , e em P_{ns}). Em (b) ilustra-se as possíveis modificações da linha de mistura pelos processos diabáticos de aquecimento/resfriamento radiativo e precipitação/evaporação da precipitação. Baseada em Betts(1982), p.1485; Betts e Albrecht (1987), p.93.....	23
3.7 - Estratificação atmosférica em função de P . A linha tracejada indica o comportamento da variável sob condições médias, enquanto que a linha sólida representa uma situação idealizada. A seta indica a tendência da variável, em ambas as situações, acima da CS.....	27
4.1 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Belém-PA em função dos horários de	

	lançamento	das	
	radiossondagens.....		30
4.2	- Diagrama (θ_e -r), médio horário durante o experimento para Belém durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.....		33
4.3	- Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Belém durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{---})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$		35
4.4	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Belém-PA durante cada subperíodo em: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.....		36
4.5	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 00UTC para Belém durante os Sub-períodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....		39
4.6	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 06UTC para Belém durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....		40
4.7	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 12UTC para Belém durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....		41
4.8	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 18UTC para Belém durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....		42
4.9	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Oiapóque-AP em função dos horários de lançamento das radiossondagens.....		49
4.10	- Diagrama (θ_e -r), médio horário durante o experimento para Oiapóque durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.....		50
4.11	- Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Oiapóque durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{---})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$		51
4.12	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Oiapóque-AP durante cada subperíodo: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.....		54

4.13	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 00UTC para Oiapóque durante os subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	55
4.14	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 06UTC para Oiapóque durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	56
4.15	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 12UTC para Oiapóque durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	57
4.16	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 18 UTC para Oiapóque durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	58
4.17	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alcantara-MA em função dos horários de lançamento das radiossondagens.....	62
4.18	- Diagrama (θ_e-r), médio horário durante o experimento para Alcantara durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.....	63
4.19	- Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Alcantara durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfís verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{---})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$	64
4.20	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alcantara-MA durante cada subperíodo em: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC...	68
4.21	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 00 UTC para Alcantara durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....	69
4.22	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 06UTC para Alcantara durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....	70
4.23	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 12UTC para Alcantara durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	71
4.24	- Diagrama (θ_e-r) médio horário das 18UTC para Alcantara durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e)SP-5.....	72
4.25	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Manaus-AM em função dos horários de lançamento das radiossondagens.....	76
4.26	- Diagrama (θ_e-r), médio horário durante o experimento para Manaus durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.....	78

4.27	- Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Manaus durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfís verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{—})$ e $\theta_{es}(\text{---})$	79
4.28	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Manaus-AM durante cada subperíodo em: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.....	81
4.29	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 00UTC para Manaus durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	83
4.30	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 06UTC para Manaus durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	84
4.31	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 12UTC para Manaus durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	85
4.32	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 18UTC para Manaus durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	86
4.33	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alta Floresta-MT em função dos horários de lançamento das radiossondagens.....	90
4.34	- Diagrama (θ_e -r), médio horário durante o experimento para Alta Floresta durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.....	91
4.35	- Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Alta Floresta durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfís verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{—})$ e $\theta_{es}(\text{---})$	92
4.36	- Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alta Floresta - MT durante cada subperíodo em: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.....	94
4.37	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 00 UTC para Alta Floresta durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	95
4.38	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 06 UTC para Alta Floresta durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	96
4.39	- Diagrama (θ_e -r) médio horário das 12 UTC para Alta Floresta durante os Subperíodos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	97

4.40 - Diagrama (θ_e-r) médio horário das 18UTC para Alta Floresta durante os Sub-períodos chuvosos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.....	98
4.41 - Perfil vertical de P(hPa) médio horário, em função dos horários de lançamento das radiossondagens, para as estações do experimento RBLE-3: FLORESTA (a) e PASTAGEM (b).....	103
4.42 - Diagrama (θ_e-r), médio horário durante o experimento para FLORESTA durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f).....	104
4.43 - Diagrama (θ_e-r), médio horário durante o experimento para FAZENDA durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f).....	105
4.44 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para FLORESTA durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f). O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{---})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$	106
4.45 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para PASTAGEM durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f). O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{---})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$	107

LISTA DE TABELAS

	Pág.
3.1 - Relação das Estações (Com Respectiva Quantidade de Radiossondagens) Envolvidas nos Experimentos FLUAMAZON e RBLE-3.....	12
3.2 - Relação dos Subperíodos (Com Respectiva Quantidade de Precipitação) Constituintes do Período Total do Experimento FLUAMAZON.....	14
4.1 - Topo da CLC para Belém-PA, em cada média horária e seus respectivos subperíodos. estimado pela altura em que o mínimo de P e a inversão total da linha de mistura coincidem.....	44
4.2 - Parâmetros do Ponto de Saturação para θ_e no topo da CLC em Belém-PA.....	47
4.3 - Topo da CLC para Oiapóque-AP, em função de cada média horária e de seus respectivos subperíodos, estimado pela altura onde P e a inversão total na LM coincidem.....	60
4.4 - Parâmetros do Ponto de Saturação para θ_E no topo da CLC Em Oiapóque-AP.....	61
4.5 - Topo da CLC para Alcantara-AP; para cada média horária e respectivos subperíodos, estimado pela altura em que coincidem a inversão total da LM e o mínimo de P.....	73
4.6 - Parâmetros do Ponto de Saturação para θ_e no topo da CLC em Alcantara-MA.....	74
4.7 - Topo da CLC para Manaus, para cada média horária e seus respectivos subperíodos, estimado pela altura em que o mínimos P e a inversão total da LM coincidem.....	87
4.8 - Parâmetros do Ponto de Saturação para θ_e no topo da CLC em Manaus-AM.....	88
4.9 - Topo da CLC para Alta Floresta; em função de cada média horária e de seus respectivos subperíodos, estimado pela altura da inversão total da LM.....	100
4.10 - Parâmetros do Ponto de Saturação para θ_e no topo da CLC em Alta Floresta-MT.....	101
4.11 - Parâmetros do Ponto de Saturação em função do mínimo θ_e no topo da CLC na região do experimento RBLE-3 (Fazenda(FZ) e Floresta(FO)).....	110

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Amazônia Brasileira representa 39% da floresta tropical úmida do globo constituindo-se, portanto, em uma região de grande importância para a meteorologia como fonte de energia aos processos físicos da atmosfera (Molion, 1985; Santos, 1985; Sá et al., 1986). Devido à interação floresta-atmosfera afetar diretamente o equilíbrio do meio ambiente (em seus diversos ecossistemas), alguns trabalhos de caráter diagnóstico, ou prognóstico, têm sido realizados na Região Amazônica, a fim de compreender melhor aqueles processos. Neste contexto a principal dificuldade encontrada por qualquer pesquisador é a ausência de dados na maior parte dessa Região.

O interesse de diversos pesquisadores (particularmente em Meteorologia) sobre a Amazônia, tem sido crescente nas últimas décadas. Para apoiar as pesquisas científicas em andamento alguns experimentos envolvendo coleta de dados foram realizados, possibilitando obter valiosas informações sobre essa vasta região. Tais experimentos constituem uma importante fonte de informações quanto aos processos físicos de interesse meteorológico, apesar de alguns envolverem áreas bastante restritas quando comparadas à superfície total da Região Amazônica. Alguns deles são comentados a seguir.

Harriss *et al.* (1988) e Garstang *et al.* (1990) comentam que os experimentos *Amazonia Boundary Layer Experiment* (ABLE) 2A e 2B (respectivamente entre julho-agosto/1985 e abril-maio/1987) ocorreram próximo a Manaus e objetivaram estudar a concentração, as fontes e sumidouros, e os transportes de gases e aerossóis originários do solo da floresta úmida tropical, dos terrenos alagados e da vegetação. O experimento de Fluxo de Umidade na Região Amazônica (FLUAMAZON), realizado entre novembro e dezembro de 1989, objetivou estudar o fluxo de vapor d'água e o balanço de umidade sobre o litoral amazônico (Rocha, 1991).

Fisch (1996) estudou aspectos observacionais e de modelagem da Camada Limite Amazônica com dados do experimento *Rondônia Boundary Layer Experiment* (RBLE) realizado nas proximidades da cidade de Ji-Paraná (limite leste do Estado de Rondônia). Segundo este autor o RBLE objetivou estudar o comportamento da Camada Limite Atmosférica (CLA) sobre diferentes tipos de superfície (sítios experimentais de floresta e de pastagem) na Amazônia oriental. O autor comenta que o citado experimento constituiu-se de três campanhas, respectivamente: o RBLE-1, entre 10/09 - 03/10/92; o RBLE-2, entre 03-25/07/93 e RBLE-3, entre 13-25/08/94.

Fisch *et al.* (1996) comentam que em breve será realizado um grande experimento internacional (envolvendo Brasil, Estados Unidos e países da Europa) na Amazônia. Segundo os autores, o *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA) visa reunir todo o conhecimento já adquirido sobre a Amazônia procurando entendê-la no seu funcionamento regional; nas mudanças que o

clima e o uso da terra podem acarretar no ciclo biológico, físico e químico da região; assim como na sustentabilidade do desenvolvimento da região e seus efeitos no clima.

Como se nota, os experimentos citados consistem em uma excelente fonte de dados sobre a Região Amazônica. A análise destes dados pode contribuir muito para um melhor conhecimento do perfil troposférico sobre esta região. No presente trabalho pretende-se utilizar dados de experimentos realizados na Amazônia tendo como objetivos: a) estudar o perfil atmosférico envolvendo a CLA e a Atmosfera Livre (AL), utilizando-se várias estações ao longo da Região Amazônica evitando-se, porém, homogeneizar características termodinâmicas de um lugar para outro; e b) registrar as diferentes características encontradas na estrutura termodinâmica do ar úmido, sobre cada estação investigada, e apontar possíveis causas.

Os dados a serem utilizados neste trabalho são os de radiossondagens dos experimentos FLUAMAZON e RBLE-3 (acima mencionados) que juntos envolvem um total de sete estações (ver Seção 2.1). A disposição geográfica destas na Região Amazônica, proporciona um estudo detalhado da troposfera sobre a mesma.

A metodologia empregada neste estudo diagnóstico baseia-se na análise das variáveis conservativas sugerida por Betts (1982). Neste tipo de análise a estrutura termodinâmica do ar úmido é estudada através das propriedades do Ponto de Saturação (PS) da parcela de ar. Esta

análise será melhor descrita na Seção 2.3. Assim, pretende-se colaborar para um melhor entendimento de ambas CLA e AL na Amazônia e também com o desenvolvimento de posteriores estudos diagnósticos bem como de previsão de tempo e clima sobre esta região.

CAPÍTULO 2**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA****2.1. Características Médias da CLA e da AL**

O presente estudo compreende a Camada Limite Atmosférica e a Atmosfera Livre. Sabe-se que a primeira é termodinamicamente acoplada com a superfície e tipicamente turbulenta em toda a sua extensão. A segunda é desacoplada e nela a turbulência ocorre na presença de nuvens convectivas, ou esporadicamente na forma de Turbulência em Céu Claro em finas camadas de larga extensão horizontal.

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, faz-se necessário definir o nível que limita ambas as mencionadas camadas. Contudo, há um certo questionamento referente a definição deste nível, ou seja, do topo da CLA. Esta foi uma das principais dificuldades encontradas neste trabalho devido a pouca referência bibliográfica encontrada sobre este problema. A Figura 2.1 mostra uma estrutura típica da CLA, constituída por três camadas definidas como: Camada Superficial, Camada de Mistura e Zona de Entranhamento (ou Camada de Inversão).

A Camada Superficial ocupa os primeiros 10% da CLA a partir do solo. Ela é assim definida devido ser a porção da base da camada limite em que os fluxos turbulen-

tos e a tensão de cisalhamento variam em torno de 10% de sua ordem de magnitude (Stull,1991).

Driedonks e Tennekes (1984), e Stull (1991) comentam que: na Camada de Mistura (CM), sobre a Camada Superficial, a turbulência é dominante e é normalmente dirigida pela convecção. As fontes dos processos convectivos podem ser devido ao aquecimento solar da superfície, bem como do resfriamento radiativo no topo das nuvens. Ambas as situações podem ocorrer simultaneamente, especialmente se a cobertura de nuvens for do tipo estratocumulos. Devido a convecção ser o mecanismo dominante, ocorre frequentemente um cisalhamento do vento no topo da CM que contribui à produção de turbulência.



Fig 2.1 - Estrutura típica da Camada Limite Convectiva em função do perfil vertical da temperatura potencial.

FONTE: Baseada em Driedonks e Tennekes (1984), p.78.

Os citados autores ainda comentam que inicialmente, em condições de céu claro, o crescimento da CM está subordinado ao aquecimento radiativo da superfície do solo. Assim, esta camada alcança sua profundidade máxima próximo ao final da tarde.

A CM é coberta por uma Camada Estável, ou de entranhamento, que impede a ascensão dos termais (espécie de bolha convectiva que carrega quantidades de calor, umidade e momentum) restringindo a região turbulenta (Stull, 1991). Com isto uma das características desta camada é a turbulência altamente intermitente (Driedonks e Tenneks, 1984).

Como anteriormente mencionado, no contexto geral há muito pouco conhecimento sobre o topo da CLA devido a dificuldade de se obter medidas precisas da Camada de Entranhamento. Assim mesmo, Riehl (1965) comenta alguns aspectos gerais, particularmente da inversão dos alísios sobre o Oceano Atlântico, tais como: a) a intensidade da base da camada aumenta à proporção que sua altura se reduz; b) a altura da base da camada indica até onde o ar superior pode penetrar na CM; e c) sua espessura varia desde uma fina descontinuidade de poucos metros até 1 km de largura.

Driedonks e Tenneks (1984) descrevem o processo de entranhamento como sendo de pequena escala, onde parcelas de ar turbulento lançam-se contra o ar estável sobrejacente, penetrando a uma certa distância. Isto aumenta o cisalhamento local, formando distúrbios tipo onda que

provocam a mistura do ar não turbulento na região turbulenta. Com isso esta região limite entre a CM e AL aprofunda-se e sua espessura dependerá da amplitude das ondulações causadas pelas parcelas turbulentas (ou termais). Esta amplitude depende essencialmente da velocidade de impacto destas parcelas e da estabilidade do ar da AL.

Segundo Stull (1991), o topo da CM é comumente representado pela altura média da base da camada de entranhamento. Para muitos trabalhos que enfocam exclusivamente a Camada Limite Convectiva (CLC) esta altura média é suficiente como representativa de seu topo (Stull, 1991; Fisch, 1996). Porém, no presente trabalho esta consideração é insuficiente pois, como mencionado anteriormente, um dos objetivos é abranger todo o perfil atmosférico entre a CLA e AL.

Betts (1975) comenta que a partir de um determinado nível os fluxos convectivos na CLC decrescem com a altura, alcançando seus mínimos valores no topo (não na base) da camada de entranhamento. Portanto, ao estudarmos o perfil atmosférico em função da mistura convectiva turbulenta deveremos notar com mais clareza o nível que separa a Camada Limite Convectiva da AL. Consequentemente o topo da CLC, observado sob este novo ponto de vista, deve aparecer em níveis mais profundos na atmosfera quando comparado com o método tradicional como o sugerido por Stull (1991).

Sendo assim, atendendo aos objetivos deste trabalho será utilizada uma análise diagnóstica, desenvol-

vida por Betts (1982) — a ser descrita na Seção 2.3 — que facilita a visualização do processo de mistura turbulenta convectiva ao longo de toda a radiossondagem. Importa mencionar que o citado autor adota a seguinte estratificação para a CLC: a) Camada Sub-Saturada (CSS), que envolve ambas camadas superficial e CM anteriormente mencionadas; b) Camada Saturada (CS), também chamada de camada de nuvens, e c) Camada de Entranhamento (CE).

A seguir faz-se um breve comentário acerca da localização das estações aerológicas, condições meteorológicas que predominaram durante cada experimento e finalmente a metodologia aplicada.

CAPÍTULO 3**DADOS E METODOLOGIA**

O perfil termodinâmico envolvendo a CLC e a AL durante os experimentos FLUAMAZON (23/11-21/12/89) e RBLE-3 (13-25/08/94) é estudado neste trabalho.

O experimento FLUAMAZON foi idealizado e realizado com a finalidade de se estudar o fluxo de vapor d'água sobre a Amazônia (Rocha, 1991). Este experimento contou com cinco estações de ar superior, utilizadas na coleta de dados de radiossondagens.

O experimento RBLE, realizado na região de Ji-Paraná (RO), teve como objetivo coletar dados que possibilitassem um melhor entendimento da CLA desenvolvida sobre áreas de pastagem e de floresta tropical — respectivamente nos sítios experimentais de PASTAGEM e de FLORESTA (Fisch, 1996). Neste trabalho utilizaremos os dados de radiossondagens referentes a terceira campanha deste experimento (RBLE-3).

Os dados de radiossondagens respectivos aos citados experimentos foram obtidos nos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC durante o FLUAMAZON; e de 03, 09, 12, 15, 18 e 21 UTC durante o RBLE-3. As estações envolvidas e o número

de sondagens referentes a cada uma, são mostrados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES (COM RESPECTIVA QUANTIDADE DE RADIOSSONDAGENS) ENVOLVIDAS NOS EXPERIMENTOS FLUAMAZON E RBLE-3.

EXPERIMENTOS	ESTAÇÕES	RADIOSSONDAGENS
FLUAMAZON	Belém-PA	113
	Oiapóque-AP	105
	Alcantara-MA	103
	Manaus-AM	113
	Alta Floresta-MT	110
RBLE-3	FLORESTA-RO	75
	PASTAGEM-RO	76

3.1. Localização das Observações

As estações do experimento FLUAMAZON estão situadas respectivamente em: Belém-PA ($01^{\circ} 23'S$, $48^{\circ} 29'W$, 13 m); Alcântara-MA ($02^{\circ} 19'S$, $44^{\circ} 25'W$, 55 m); Oiapoque-AP ($03^{\circ} 48'N$, $51^{\circ} 51'W$, 20m), Manaus-AM ($03^{\circ} 09'S$, $59^{\circ} 59'W$, 83 m) e Alta Floresta-MT ($09^{\circ} 52'S$, $56^{\circ} 06'W$, 288 m). Observe-se, através da Figura 3.1, que as três primeiras estações situam-se ao longo do litoral e as últimas no interior da Amazônia. As citadas estações formam um polígono de área aproximadamente igual a $1.265.166 \text{ km}^2$ (Rocha, 1991).

Fisch (1996) e Nobre et al.(1996) comentam que as estações de PASTAGEM (PG) e FLORESTA (FO) utilizadas no experimento RBLE-3 situam-se, respectivamente, na Fazenda Nossa Senhora de Aparecida ($10^{\circ}45'S$, $62^{\circ}21'W$, 220 m) e na Reserva Biológica do Rio Jarú ($10^{\circ}05'S$, $61^{\circ}55'W$, 120 m). A localização destas estações também está indicada na figura acima mencionada.

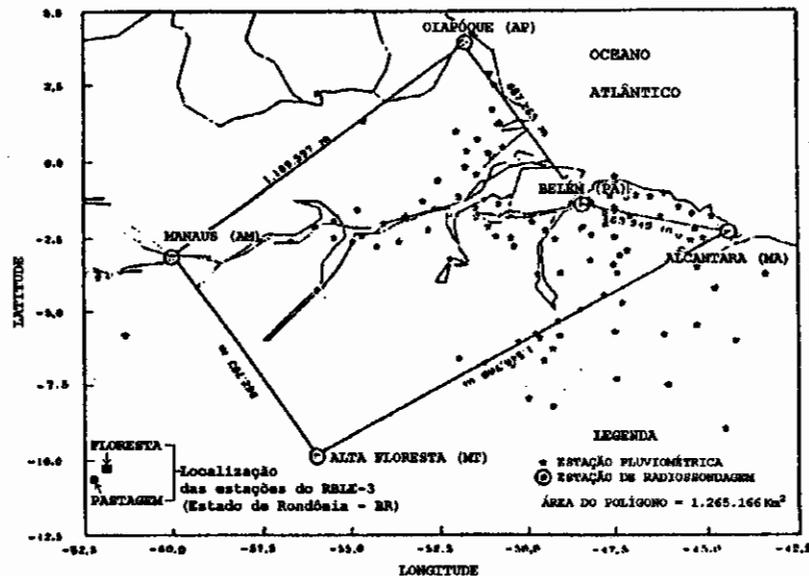


Fig. 3.1 - Localização geográfica das estações de radiossondagem envolvidas nos experimentos FLUAMAZON e RBLE-3.

FONTE: Baseada em Rocha (1991), p.9; Fisch (1996), p.6; e Nobre et al.(1996).

3.2. Condições Meteorológicas Durante as Observações

O experimento FLUAMAZON (23/11 à 21/12/89) foi realizado no período de transição entre as estações seca e chuvosa da região amazônica enquanto que o RBLE-3 (13-25/08/94) ocorreu em época típica de estiagem.

Segundo Rocha (1991), em média, o FLUAMAZON foi caracterizado pelo aumento na formação de Aglomerados Convectivos (AC) que, por sua vez, provocou o aumento do índice pluviométrico diário na região. O autor sugere — considerando-se a distribuição espacial e temporal da nebulosidade, da precipitação e o campo do vento e sua divergência — que o período total do citado experimento, pode ser dividido em cinco subperíodos (SP) distintos, como mostrados através da Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - RELAÇÃO DOS SUBPERÍODOS (COM RESPECTIVA QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO) CONSTITUINTES DO PERÍODO TOTAL DO EXPERIMENTO FLUAMAZON.

SUBPERÍODOS	PRECIPITAÇÃO (mm)
SP-1 (23-30/11/89)	18,1 (9%)
SP-2 (01-07/12/89)	29,4 (15%)
SP-3 (08-13/12/89)	44,5 (22%)
SP-4 (14-18/12/89)	47,3 (23%)
SP-5 (19-21/12/89)	62,4 (31%)
TOTAL (29 dias)	201,7 (100%)

FONTE: Simplificada a partir de Rocha (1991), p.21.

Na Figura 3.2, os mencionados subperíodos podem ser visualizados nos histogramas de precipitação média diária representativos das zonas norte, leste, oeste,

sul e central da região do experimento. A Figura 3.3 mostra a evolução dos sistemas meteorológicos que mais influenciaram durante o FLUAMAZON, na sequência de imagens de satélite dos dias 27/11/89 e 04, 11, 17 e 19/12/89 das 18:00 UTC. A Figura 3.4 mostra o campo médio do vento e de sua divergência para cada subperíodo.

Analisando-se as figuras acima citadas, nota-se que a maior frequência da precipitação nas zonas norte e sul do experimento, provavelmente se deve à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), associada às Linhas de Instabilidade (LI) e Brisa Marítima, no litoral amapaense; e da zona de convecção localizada no centro-oeste brasileiro, que intensificou-se no decorrer dos subperíodos e auxiliou a formação de ACs especialmente durante a penetração de sistemas extra-tropicais do hemisfério sul. Na zona oeste, os altos índices pluviométricos observados em SP-3 e SP-5, estão relacionados com perturbações associadas à AB e sistemas extra-tropicais.

Observa-se, através do campo de vento médio e de sua divergência, em 850 hPa, que ao longo dos subperíodos o escoamento permaneceu de leste na maior parte da região, exceto durante SP-5 e sobre Alta Floresta, onde, desde SP-2 até o final do experimento, o vento passou a ficar de oeste. A divergência do vento predominou durante SP-1, mas, após o mesmo, a convergência intensificou-se em toda a região até SP-5 devido a atividade convectiva associada aos sistemas meteorológicos mencionados acima. A inversão dos campos em 300 hPa, indicou a consistência vertical destas

análises exceto durante SP-5, quando a convergência predominou entre Alta Floresta e Alcantara.

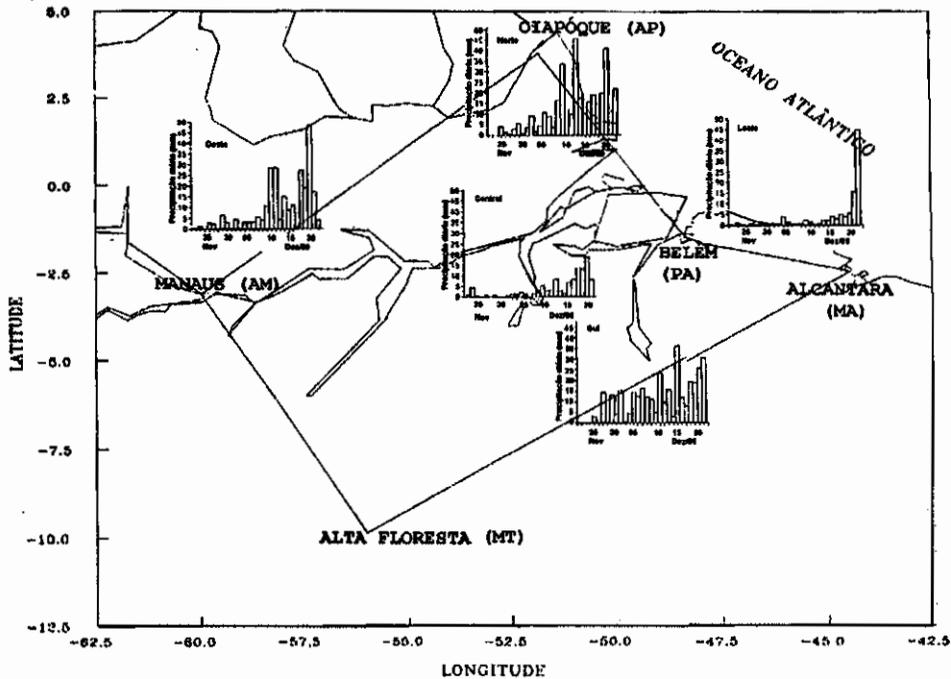


Fig. 3.2 - Histogramas de precipitação média diária representativos das zonas: norte, leste, oeste, sul e central da área do experimento FLUAMAZON. FONTE: Baseada em Rocha (1991).

Segundo as descrições efetuadas pela revista *Climanálise* (1994), e por Fisch (1996) o período em que foram realizadas as radiossondagens não foi afetado por **fria-gens**, mas sofreu grande influência de queimadas. Os aerossóis, liberados nas queimadas, contribuíram para inibir a formação de nebulosidade e produziram muita névoa seca na região do experimento. O vento na média troposfera esteve predominantemente zonal e houve pouca atividade convectiva sobre a região. A Figura 3.5, mostra as isolinhas de precipitação total (que indicam um total mensal em torno de 1 mm para a região do experimento) e a distribuição espacial dos

focos de queimada (com 117 focos de queimadas registradas na região de Ji-Paraná) no país durante agosto/94. Durante o experimento Fisch registrou a ocorrência de vento forte à noite em torno de 200-300 m acima da superfície.

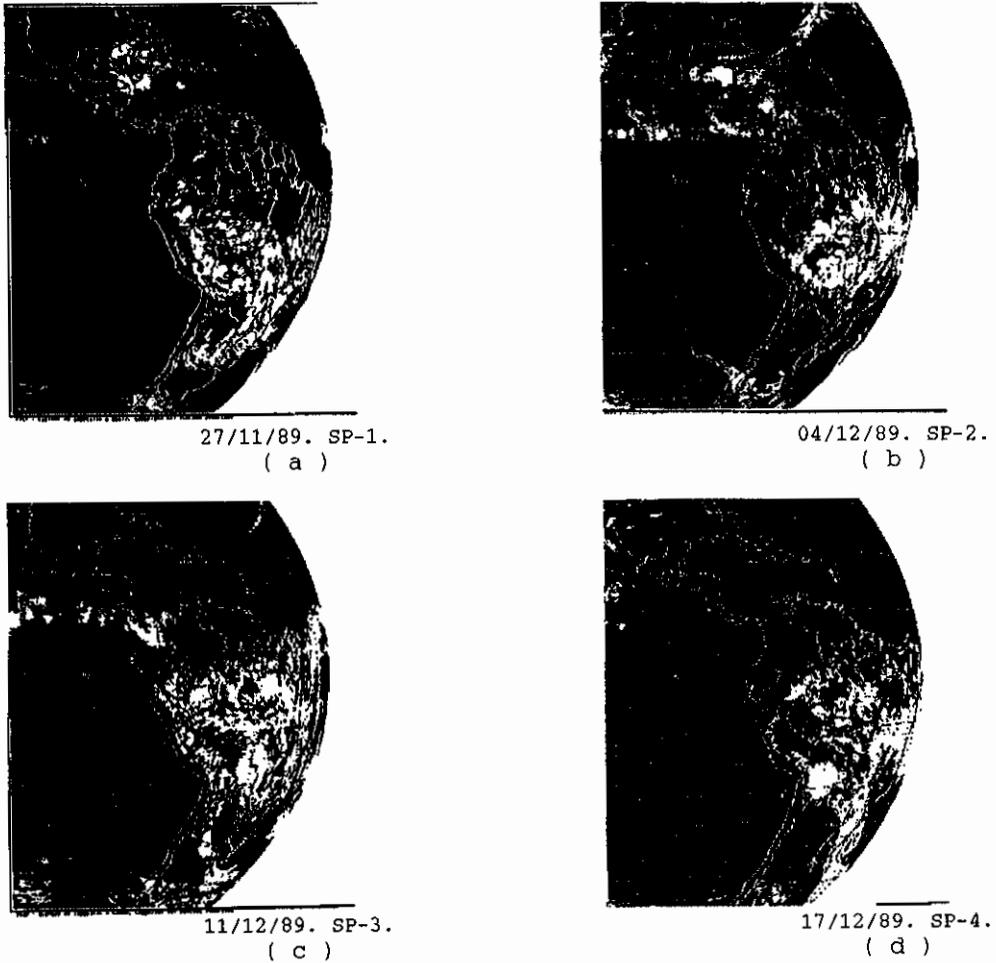


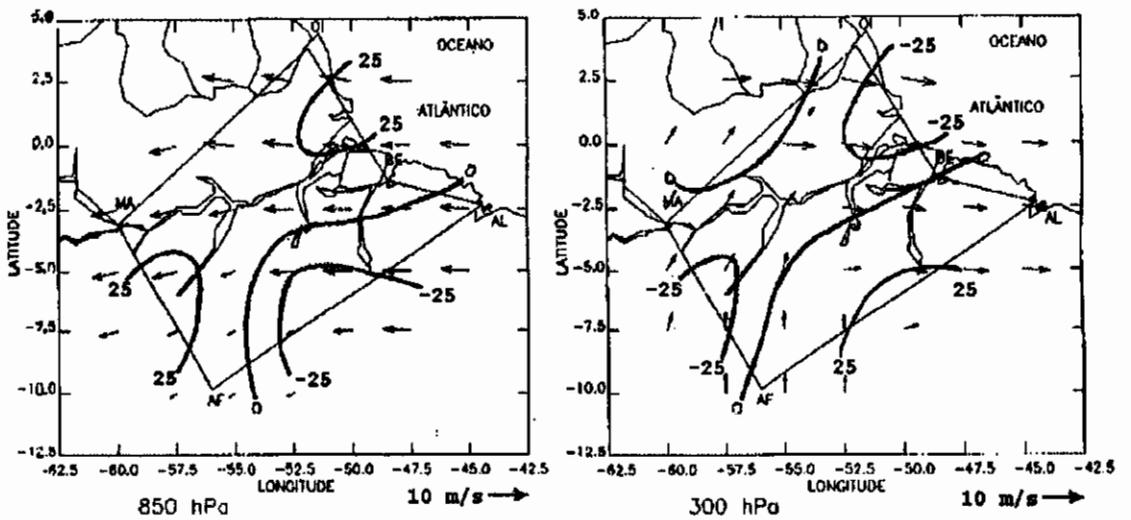
Fig. 3.3 - Sequência de imagens de satélite (GOES/Infra/Globo/18:00UTC) representativas dos subperíodos SP-1(a), SP-2(b), SP-3(c), SP-4(d) e SP-5(e) do experimento FLUAMAZON.
FONTE: Baseada em Rocha (1991).

(Continua)



19/12/89. SP-5.
(e)

Fig. 3.3 - Conclusão.

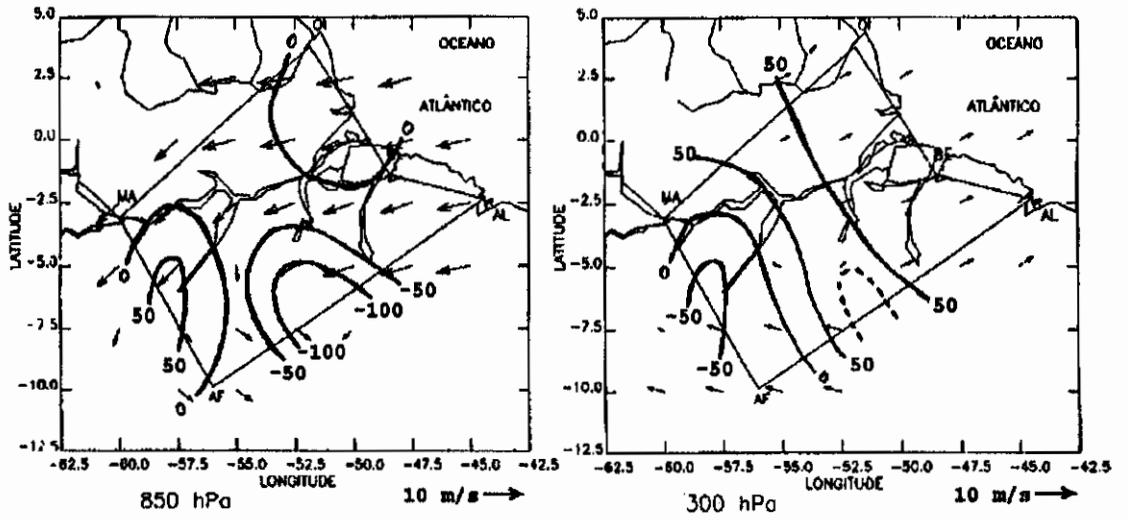


SP-1.
(a)

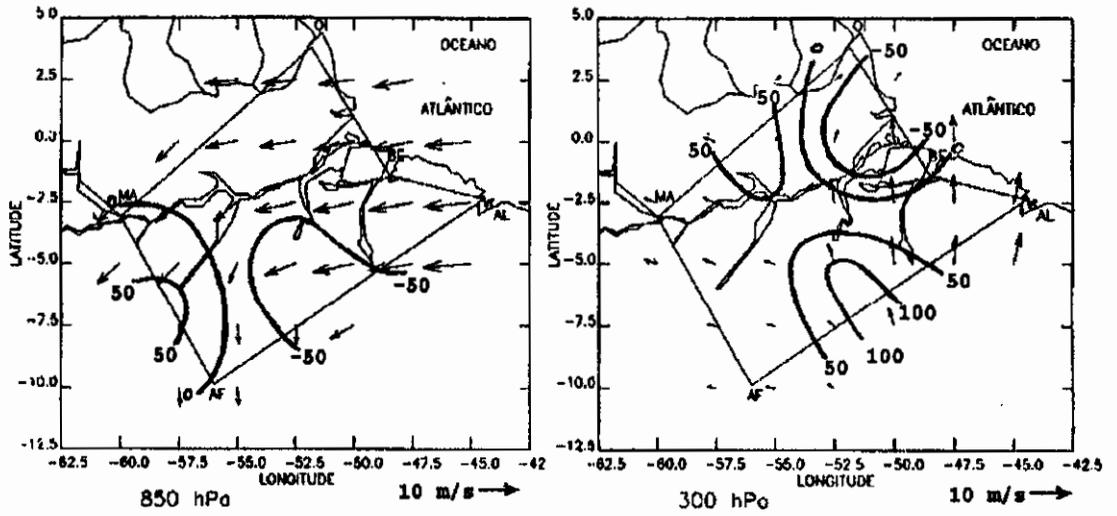
Fig. 3.4 - Campos do vento médio e de sua divergência ($\times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$) representativos dos subperíodos SP-1(a), SP-2(b), SP-3(c), SP-4(d) e SP-5(e) do experimento FLUAMAZON.

FONTE: Baseada em Rocha (1991).

(Continua)



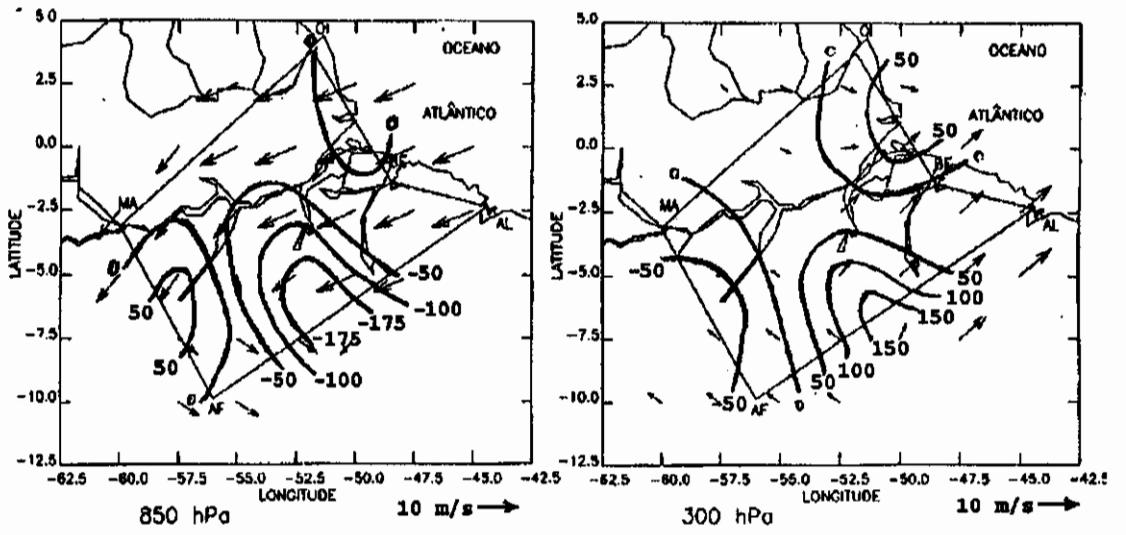
SP-2.
(b)



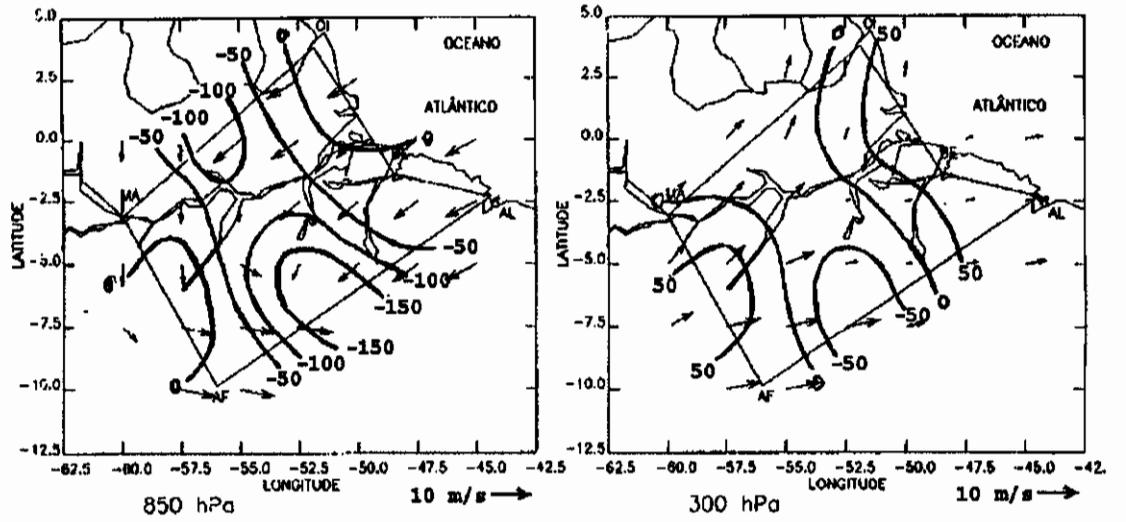
SP-3.
(c)

Fig. 3.4 - Continuação

(Continua)

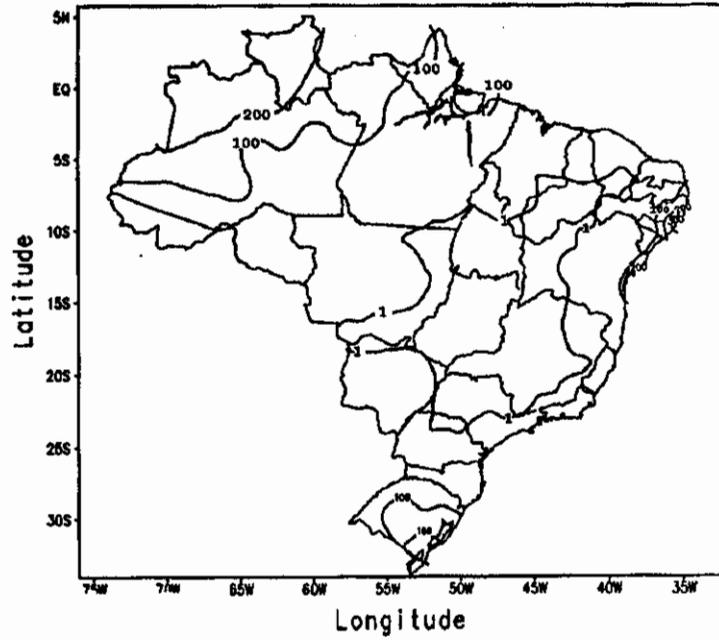


SP-4.
(d)

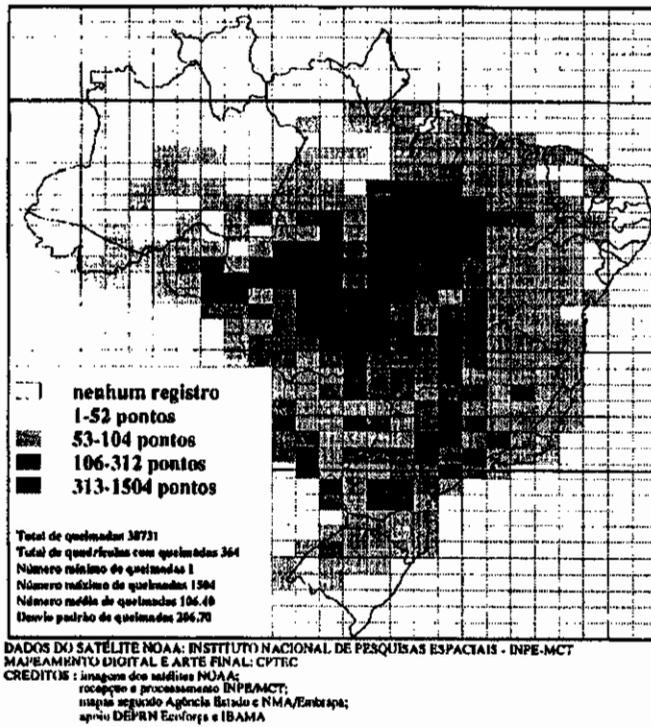


SP-5.
(e)

Fig. 3.4 - Conclusão.



(a)



(b)

Fig. 3.5 - Precipitação total em mm (a), e distribuição dos focos de queimadas (b), registradas no Brasil em agosto/94.

FONTE: Baseada em Climanálise (1994), p.16, 41.

3.3. Metodologia

Como mencionado anteriormente este trabalho utiliza a análise das variáveis conservativas sugerida por Betts (1982). Segundo este autor: as três linhas representativas das variáveis conservativas (temperatura potencial (θ), temperatura potencial equivalente (θ_e) e razão de mistura (r) para o caso não saturado; e temperatura potencial da água líquida (θ_l), temperatura potencial equivalente saturada (θ_{es}) e água total (r_T) no caso saturado) interceptam-se em um ponto (em qualquer diagrama termodinâmico), onde a temperatura (t_{ns}) e pressão (p_{ns}) deste ponto especificam exatamente as mesmas variáveis conservativas que passam a ser representadas por (θ_{ns} , θ_{ens} , r_{ns} ; o subscrito, ns, refere-se ao nível de saturação); este ponto de intersecção passa a se chamar Ponto de Saturação (PS) e seu nível de ocorrência de nível de saturação (ns). Estas considerações estão ilustradas na Figura 3.6a.

O mesmo autor comenta que para o caso não saturado o ns é o chamado Nível de Condensação por Levantamento. O presente trabalho, porém, não se prende ao estudo específico de nuvens, mas sim ao perfil atmosférico úmido (isento ou não de nuvens). Assim, este estudo não utiliza as variáveis conservativas referentes ao caso saturado.

Uma radiossondagem, portanto, pode ser representada por um gradiente de pontos de saturação plotados em qualquer diagrama termodinâmico. A linha que une estes

pontos é chamada Linha de Mistura (LM) e representa o domínio da mistura convectiva sobre processos não conservativos no PS de uma parcela de ar (Figura 3.6b), tais como: o resfriamento radiativo, processos de precipitação e evaporação da precipitação (Betts, 1982; Betts e Albrecht, 1987).

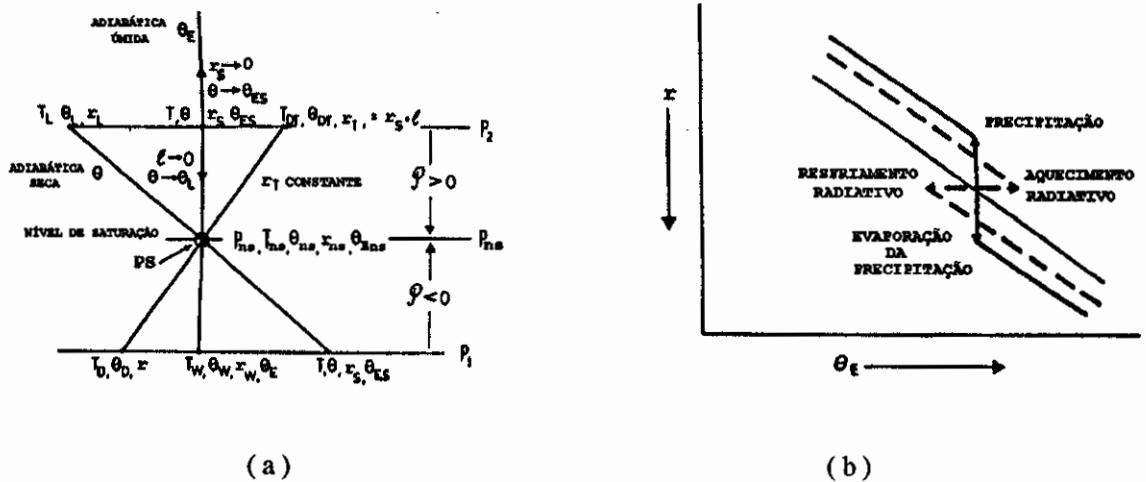


Fig. 3.6 - Em (a) mostra-se um esquema de um diagrama termodinâmico (tefigrama) mostrando a relação entre o Ponto de Saturação (p_{ns} , t_{ns}) e as variáveis conservativas (no nível de sondagem, p , e em p_{ns}). Em (b) ilustra-se as possíveis modificações da linha de mistura pelos processos diabáticos de aquecimento/resfriamento radiativo e precipitação/evaporação da precipitação. FONTE: Baseada em Betts(1982), p.1485; Betts e Albrecht (1987), p.93.

Isto significa que na ausência destes processos diabáticos, e de mistura, o ponto de saturação permanece inalterado pelos movimentos verticais (adiabáticos secos ou úmidos). Assim como Betts e Albrecht (1987), e Parasnis e Morwal (1991), este estudo usa particularmente o diagrama (θ e- r) para construir a estrutura da LM.

Esta análise facilita o entendimento visual da estrutura termodinâmica do ar úmido em função dos processos de mistura convectiva. Neste estudo, a mesma é empregada em cada estação aerológica buscando-se evitar a generalização das características termodinâmicas de uma localidade para outra. Isto permite uma caracterização termodinâmica do perfil atmosférico (ao longo de toda a região) em função dos processos de mistura convectiva sobre cada estação utilizada durante os experimentos. Os dados das radiossondagens referentes aos experimentos FLUAMAZON e RBLE-3 foram tratados como se segue:

- a) os valores de temperatura e umidade obtidos nas radiossondagens, foram interpolados linearmente em intervalos de 10 hPa a partir do nível de sondagem mais próximo da superfície; em princípio estabeleceu-se uma escala de pressão, p , decrescente entre 1000 e 100 hPa, como representativa do perfil atmosférico, contudo, em casos como os de Manaus (ver Seção 3.5), a interpolação teve início em níveis acima da base pré-estabelecida;
- b) calculou-se as médias horárias (segundo os horários de lançamento), das citadas variáveis interpoladas;
- c) através dos valores médios de temperatura e umidade, e da escala de pressão citada em (a), calcularam-se os parâmetros termodinâmicos de interesse.

Esses parâmetros são: a Temperatura Potencial (θ , K); a Temperatura Potencial Virtual (θ_v , K); a Temperatura Potencial Equivalente (θ_e , K); a Temperatura Potencial Equivalente Saturada (θ_{es} , K), que independe das propriedades do ponto de saturação (p_{ns} , t_{ns}); a Razão de Mistura (r , g/kg); a Pressão do Nível de Saturação (p_{ns} , hPa); a Temperatura do Nível de Saturação (t_{ns} , °C); e a Pressão Diferencial de Saturação (P), definida como a diferença entre os níveis de saturação e da sondagem, ou seja:

$$P = p_{ns} - p.$$

Sendo que p se refere a escala de pressão definida anteriormente.

Segundo Betts e Albrecht (1987), a Pressão Diferencial de Saturação é útil na visualização da estratificação atmosférica da CLC. O citado autor adota $P > 0$ como indicativo de nuvem e $P < 0$ como representativo de condição não saturada.

Importa observar, todavia, que no caso do ar úmido com ausência de nuvens (quando o perfil vertical de P apresenta somente valores negativos), pode-se encontrar camadas úmidas mais próximas da saturação que outras camadas. Neste caso as parcelas de ar úmido mais próximas da saturação são representadas pelos valores negativos de P que estiverem mais próximos de zero.

Análise similar é feita neste trabalho onde os valores médios de P (e demais parâmetros termodinâmicos) envolvem dias com nebulosidade (com e sem precipitação) e dias de céu claro produzindo, assim, um perfil atmosférico úmido, sob condições médias, onde a pressão diferencial de saturação é máxima quando $P = 0$ (porque representa a parcela exatamente saturada), e mínima quanto maior seu valor absoluto (pois representa a parcela úmida mais distante da saturação). A Figura 3.7 descreve claramente este tipo de análise.

Descreve-se, na mesma figura, a extratificação atmosférica segundo Betts e Albrecht (1987), e Parasnis e Morwal (1991). Os autores sugerem que a CS (na camada limite convectiva) pode ser representada pela camada atmosférica que apresentar valores de $P(<0)$ mais próximos de zero que as adjacentes.

Situação oposta acontece na definição da camada de entranhamento onde, segundo os autores, esta região está representada por uma inversão rumo aos menores valores de P . Assim, o mínimo valor da pressão diferencial de saturação define o topo da CE. Isto significa, também, que o mínimo de P no perfil atmosférico marca o topo da camada limite convectiva (conforme discutido anteriormente).

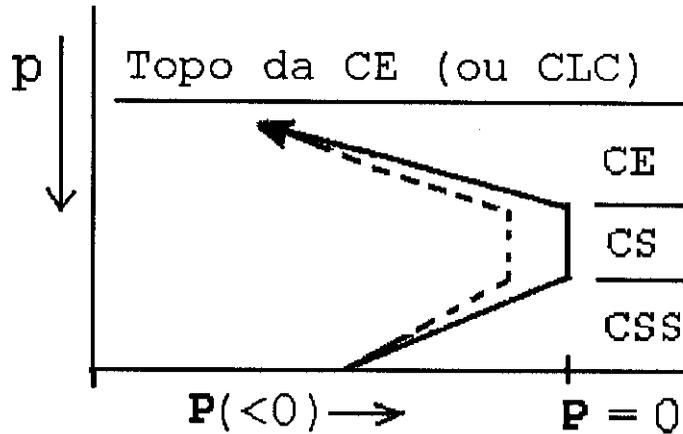


Fig. 3.7 - Estratificação atmosférica em função de P . A linha tracejada indica o comportamento da variável sob condições médias, enquanto que a linha sólida representa uma situação idealizada. A seta indica a tendência da variável, em ambas as situações, acima da CS.

Somente no caso do experimento FLUAMAZON realizou-se um tratamento adicional. Este tratamento refere-se a classificação, mencionada anteriormente, do período total do experimento em cinco subperíodos, sugerida por Rocha (1991).

Betts e Albrecht (1987) observaram que os valores mínimos de θ_e e P , e máximo de θ_{es} do perfil termodinâmico, coincidiam com o topo da CLC sobre o Pacífico Equatorial. Parasnis e Morwal (1991), em seu estudo da CLC sobre o platô Deccan (Pune-Índia), utilizaram como determinantes do topo desta camada somente os mínimos de θ_e e P .

O topo da camada limite convectiva, na linha de mistura, está representado por uma forte mudança na in-

clinação de r , ou por uma inversão de θ_e (Betts e Albrecht 1987; Parasnis e Morwal, 1991). Neste estudo, também serão adotados os critérios acima mencionados, para a determinação do topo da CLC.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

No presente trabalho as localidades são analisadas baseando-se na descrição do perfil médio horário (do período total) de cada experimento — em relação ao FLUAMAZON também analisam-se os subperíodos, como comentado no capítulo anterior. Inicia-se, portanto, com a análise das estações referentes ao experimento FLUAMAZON.

4.1. Belém-PA

4.1.1. Características Médias do Período

Nesta localidade temos um conjunto de 113 radiossondagens distribuídas em função de seus horários de lançamento (00, 06, 12, 18 UTC).

O perfil médio horário de P , para os mencionados horários, é mostrado na Figura 4.1. Sugere-se que a influência do aquecimento (diurno) e o resfriamento (noturno) radiativo da superfície do solo sobre a porção mais baixa da camada limite (50 hPa acima da superfície), pode ser observado neste perfil. Em 18 UTC (correspondente à Hora Legal Local de 15 HLL), o ar úmido desta camada está bastante aquecido, fazendo seu nível de saturação, p_{ns} , se

distanciar do seu nível de sondagem, p . O oposto ocorre em 06 UTC (03 HLL) quando o resfriamento radiativo, da superfície, tende a reduzir a temperatura do ar sobrejacente, de t à t_{ns} , levando-o próximo à saturação.

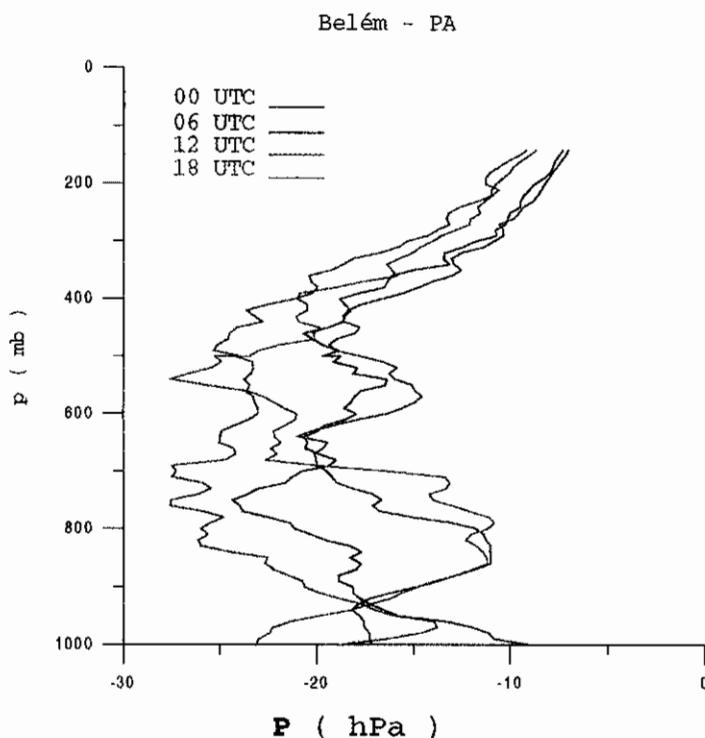


Fig. 4.1 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Belém-PA em função dos horários de lançamento das radiossondagens.

À noite, com a ausência da radiação solar direta, desaparece a fonte térmica (na superfície) aos movimentos convectivos. Nota-se no perfil de 00 UTC (21 HLL), que a pressão diferencial de saturação tende a decrescer, com a altura, entre a superfície em resfriamento e $p \approx 920$ hPa. A partir deste nível, P cresce novamente (acompanhando o perfil do horário anterior) até a base da CS, sugerindo que o ar já não está sob o efeito do resfriamento superfi-

cial, mas sim sob o controle de movimentos convectivos residuais.

Nos horários (18 e 00 UTC) em que a Camada Saturada esteve bem definida, sua base permaneceu em $p \approx 850$ hPa. Sugere-se que o topo da CS chega a níveis mais profundos na atmosfera, em 18 UTC (em torno de 780 hPa), devido a atividade convectiva ser mais intensa neste horário.

Acima da CS a pressão diferencial de saturação decresce rapidamente com a altura, identificando a região da Camada de Entranhamento. Porém, nota-se nesta camada um máximo de P (observado em 00, 06 e 12 UTC) menos intenso que aquele encontrado na CS. Considerando-se as condições médias da atmosfera durante o experimento, pode-se explicar este máximo em termos da incursão de nuvens cumulus, de grande desenvolvimento vertical, através da base da CE (Riehl, 1965). Com isso a umidade da camada deve aumentar de acordo com a atividade convectiva, levando o ar próximo a saturação no interior da CE. Sugere-se também que a ocorrência de nuvens de nível médio, em alguns dias do experimento, tenham influenciado no valor destas médias horárias.

O mínimo P (≈ -27.5 hPa) está registrado em 12 UTC dentro da Camada de Entranhamento, exceto na região da segunda camada saturada (CS2).

Analisando-se o diagrama (θ_e-r), das médias horárias de 00 UTC (Figura 4.2a) e 18 UTC (Figura 4.2d), observa-se uma **quebra** (ou pequena inversão) na linha de mistura logo abaixo da base da primeira camada saturada (≈ 920 hPa). Segundo Betts et al. (1987) este tipo de formação na LM é chamada de **Estrutura Dupla**. Os autores sugerem que a ocorrência simultânea dos processos de precipitação e evaporação da precipitação é responsável pela maioria dos casos de formação da estrutura dupla na LM, quando a Camada Limite Convectiva (e as nuvens profundas nela contida) alcança profundidade suficiente.

Neste estudo, sobre esta localidade, observando-se a figura acima mencionada, nota-se que a estrutura dupla na linha de mistura ocorre quando a primeira camada saturada está bem definida (ou profunda). Observa-se, ainda, que em 18 UTC ocorrem perturbações ao longo da camada saturada que tendem a formar novas estruturas duplas possivelmente devido ao processo de precipitação (sugerido na Figura 3.6b).

A Camada Sub-Saturada, bem como a Camada de Entranhamento, estão representadas por grandes espaços entre os pontos de saturação. Comparando-se as Figuras 4.1 e 4.2, observa-se que este comportamento coincide com o crescimento e o decrescimento rápido da pressão diferencial de saturação, exceto quando ocorrem processos diabáticos irreversíveis (como na Figura 4.2d, logo abaixo de 900 hPa) ou na presença de camadas saturadas. Isto pode ser explicado em termos da diferença ΔT ($t_{ns} - t$) que tende a ser pequena

na CS e maior nas camadas CSS (especialmente próximo à superfície durante o dia) e CE. A influência do umidecimento da CE, no comportamento da mistura, está registrada na LM em todas as médias. Observa-se (em todos os horários) que o mínimo θ_e alcançado pela mistura convectiva, ocorre na CE, porém abaixo da CS2. A presença da segunda camada saturada suaviza a inversão de θ_e . Esta inversão se intensifica somente a partir do topo da CLC.

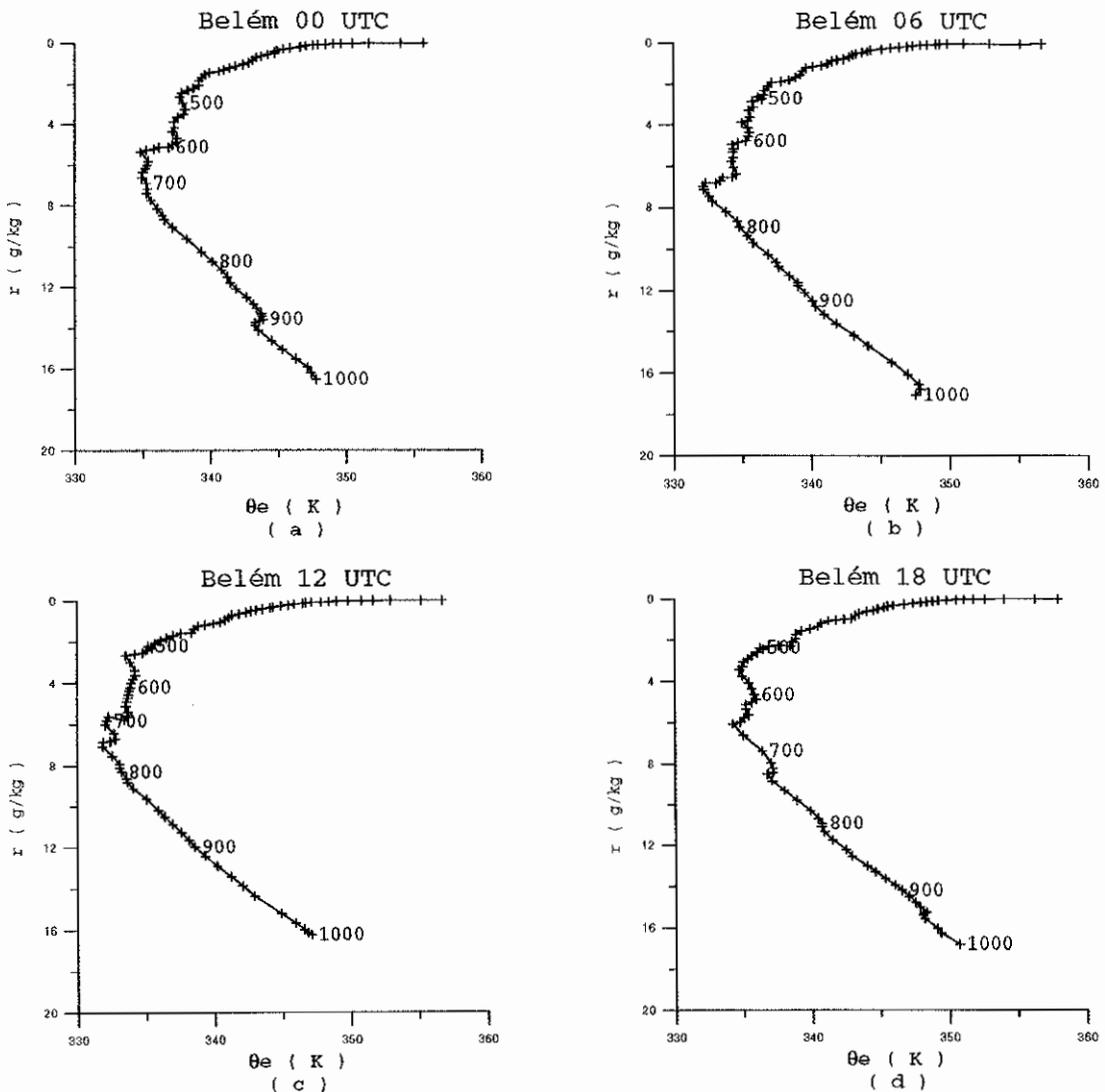


Fig. 4.2 - Diagrama (θ_e - r), médio horário durante o experimento para Belém durante 00UTC(a); 06UTC(b); 12UTC(c) e 18UTC(d).

Encontrou-se dificuldade na determinação de um único nível em que coincidam os mínimos θ_e e P , e máximo θ_{es} (a Figura 4.3 mostra os perfis de θ_{es} , θ_e , θ_v e r). Portanto, a fim de tornar a análise mais prática optou-se por definir o topo da CLC pelo nível em que coincidam a inversão total da LM e o mínimo P no topo da camada de entranhamento (sobre a CS2, caso exista). Assim, para esta localidade, no período médio do experimento, o topo da CLC é encontrado: $p \approx 500$ hPa, em 00 e 06 UTC; e $p \approx 550$ hPa em 12 e 18 UTC.

4.1.2. Características Médias dos Subperíodos

Analisando-se a Figura 4.4, nota-se claramente a suavização do perfil vertical de P com o aumento da precipitação (representado pelos cinco subperíodos), em todas as médias horárias. Segundo Rocha (1991), a maior parte da precipitação sobre esta localidade foi registrada nos dois últimos subperíodos. Observa-se pelas médias de 00 e 18 UTC, que a pressão diferencial de saturação praticamente não muda na região da camada saturada, entre o primeiro e quarto subperíodos (exceto pelos máximos de P encontrados na camada saturada de SP-2, em 18 UTC).

Em todas as médias horárias nota-se que a presença da CS2 ($p \approx 600$ e 500 hPa) resulta em uma pequena variação da pressão diferencial de saturação entre SP-2 e 4.

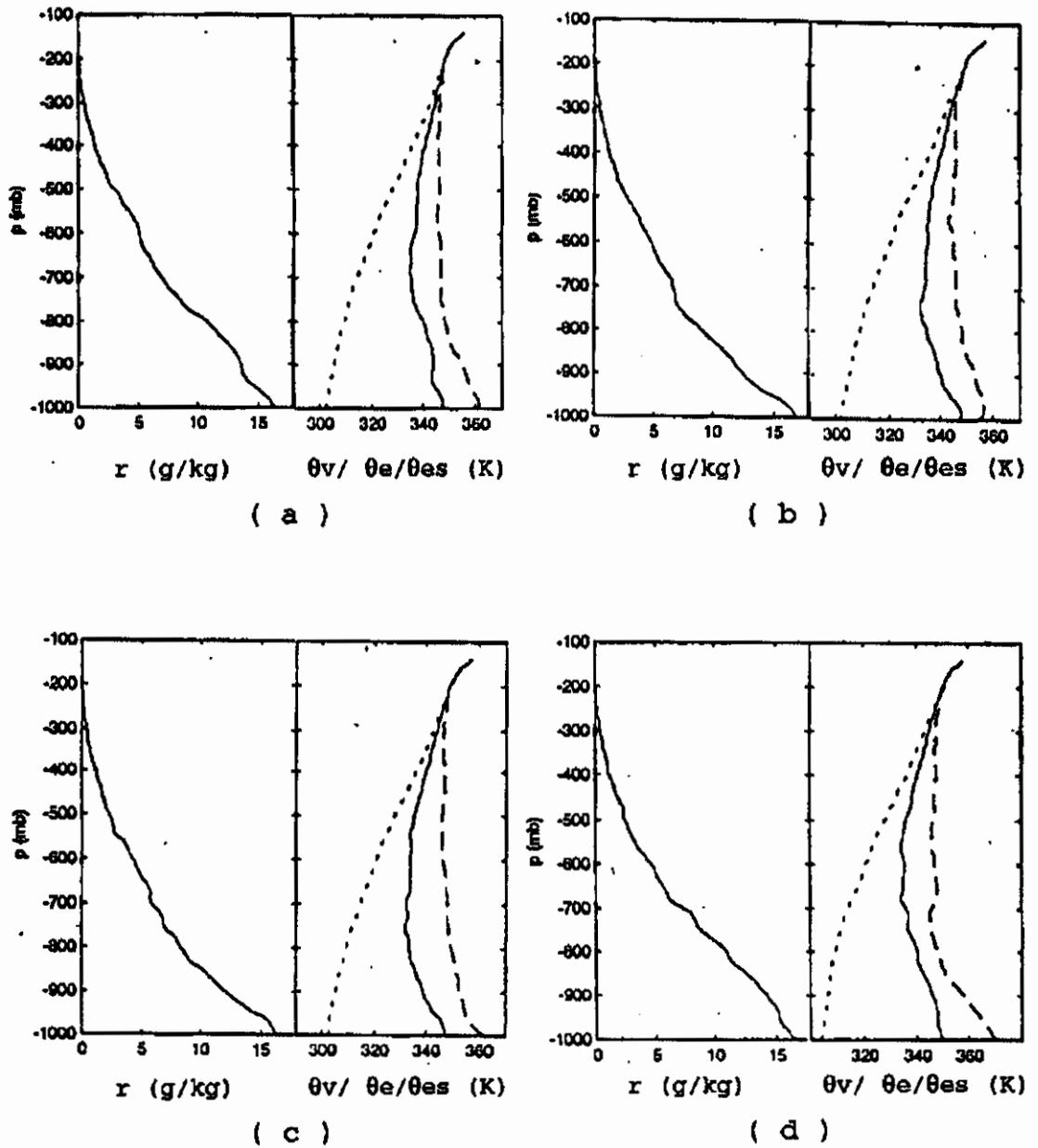


Fig. 4.3 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Belém durante 00 UTC(a); 06 UTC(b); 12 UTC(c) e 18 UTC(d). O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas θ_v (...), θ_e (—) e θ_{es} (- - -).

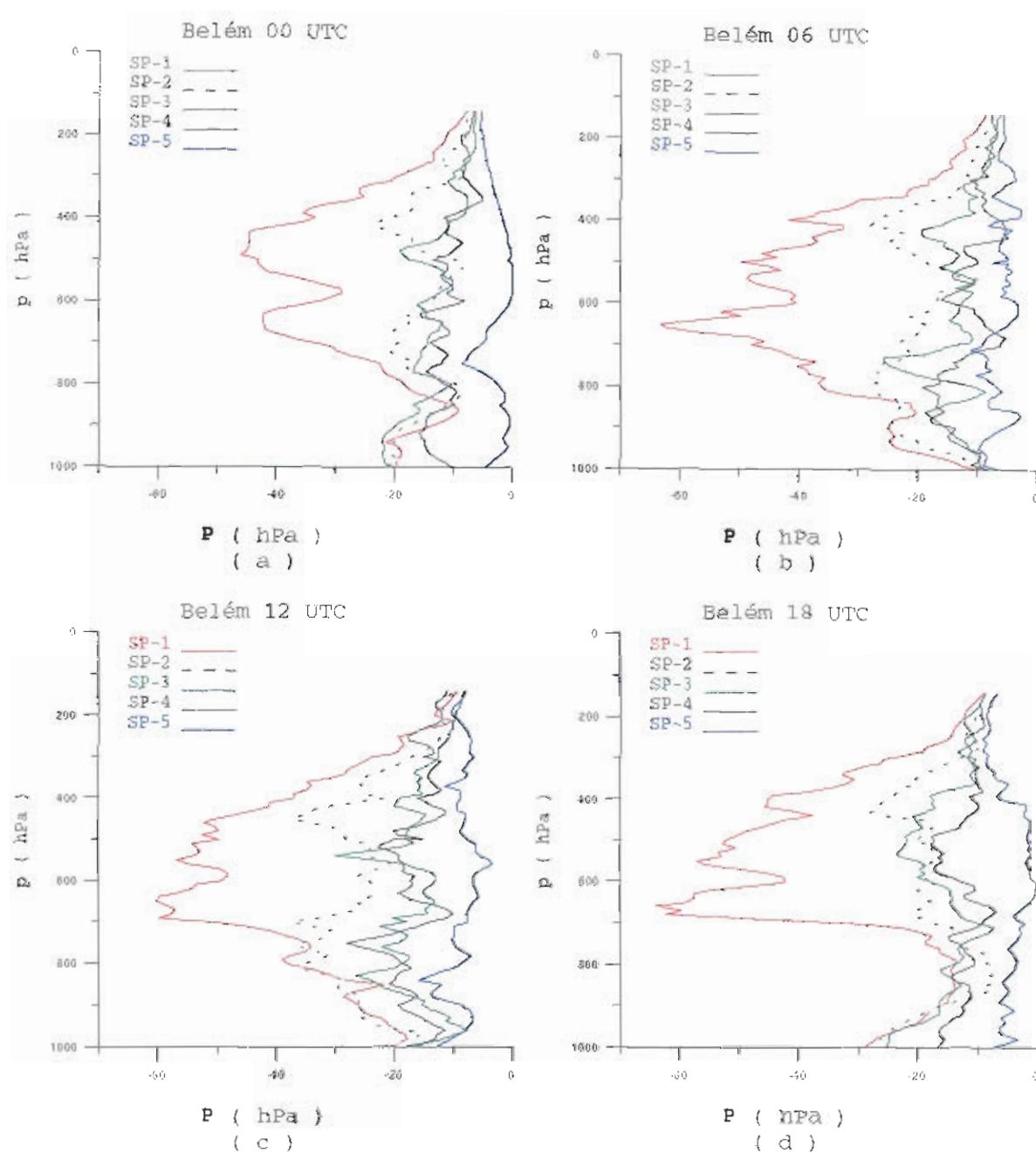


Fig. 4.4 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Belém-PA durante cada subperíodo de precipitação em 00 UTC(a); 06 UTC(b); 12 UTC(c) e 18 UTC(d).

Acima de 200 hPa, em todos os subperíodos, P tende a aproximadamente -10 hPa. Observa-se, especialmente nas médias de 00 e 18 UTC, que a atmosfera apresenta altos valores de P no último subperíodo. Segundo Rocha (1991), a maior parte da precipitação sobre a região leste do experimento ocorreu neste subperíodo. Portanto, os intensos movimentos convectivos, dominantes em SP-5, devem ser os mecanismos responsáveis pela pouca variação da pressão diferencial de saturação (notada principalmente no período da tarde) entre a superfície e $p \approx 400$ hPa.

A Camada Sub-Saturada, nas médias de 18 e 00 UTC, está definida somente entre SP-1 e 3. Em SP-4 e 5 sua definição não é clara pois provavelmente a intensificação dos movimentos convectivos, no final do experimento, aumentou a umidade da camada. Nota-se que a Camada de Entranhamento alcança o menor valor médio horário de P (≈ -65 hPa) no início do experimento às 06 e 18 UTC.

Em 06 e 12 UTC o perfil de P , para cada subperíodo, tende a apresentar o mesmo valor próximo à superfície (respectivamente $P \approx -10$ e -20 hPa). Os resultados de Rocha (1991) mostram que a cobertura de nuvens aumenta no final do experimento. Além disso, segundo o autor, a diferença $t-t_d$ ($^{\circ}\text{C}$) no mesmo período, foi muito pequena ($\approx 2,5$ $^{\circ}\text{C}$) e aproximadamente constante entre a superfície e $p \approx 400$ hPa. Portanto, sugere-se que durante a noite o ar sobrejacente à superfície, no período mais seco do experimento, ao alcançar seu máximo resfriamento, tende à saturação na mesma intensidade que o ar do período chuvoso. Ressalta-

se, porém, que apesar de Rocha (1991) não considerar o período do experimento atípico, deve-se entender que esta Conclusão se aplica somente ao período médio do experimento FLUAMAZON.

Observando-se as Figuras 4.5-4.8, notam-se algumas características, onde:

- a) Em 00 UTC - a formação da estrutura dupla, na LM, abaixo da base da camada saturada (≈ 900 hPa), é uma característica desta média horária entre SP-1 e 5. A estrutura dupla aparece com maior frequência, ao longo do perfil vertical, em SP-3 e 5. Devido o aumento da umidade em todo o perfil atmosférico a região representativa da camada de entranhamento perde definição gradualmente entre SP-1 e 3.
- b) Em 06 UTC - as estruturas duplas aparecem somente a partir do terceiro subperíodo. A influência da CS2 na camada de entranhamento, em SP-1, diminui em relação ao horário anterior. Contudo, entre SP-3 e SP-4, esta camada deve contribuir para a formação da forte inversão em torno de 700 hPa.
- c) Em 12 UTC - as estruturas duplas tendem a aparecer novamente em SP-1. Observando-se a Figura 3.4c, nota-se que estas estruturas ocorrem logo abaixo de pequenos máximos de P ($p \approx 900$ e 800 hPa).

Belém 00 UTC

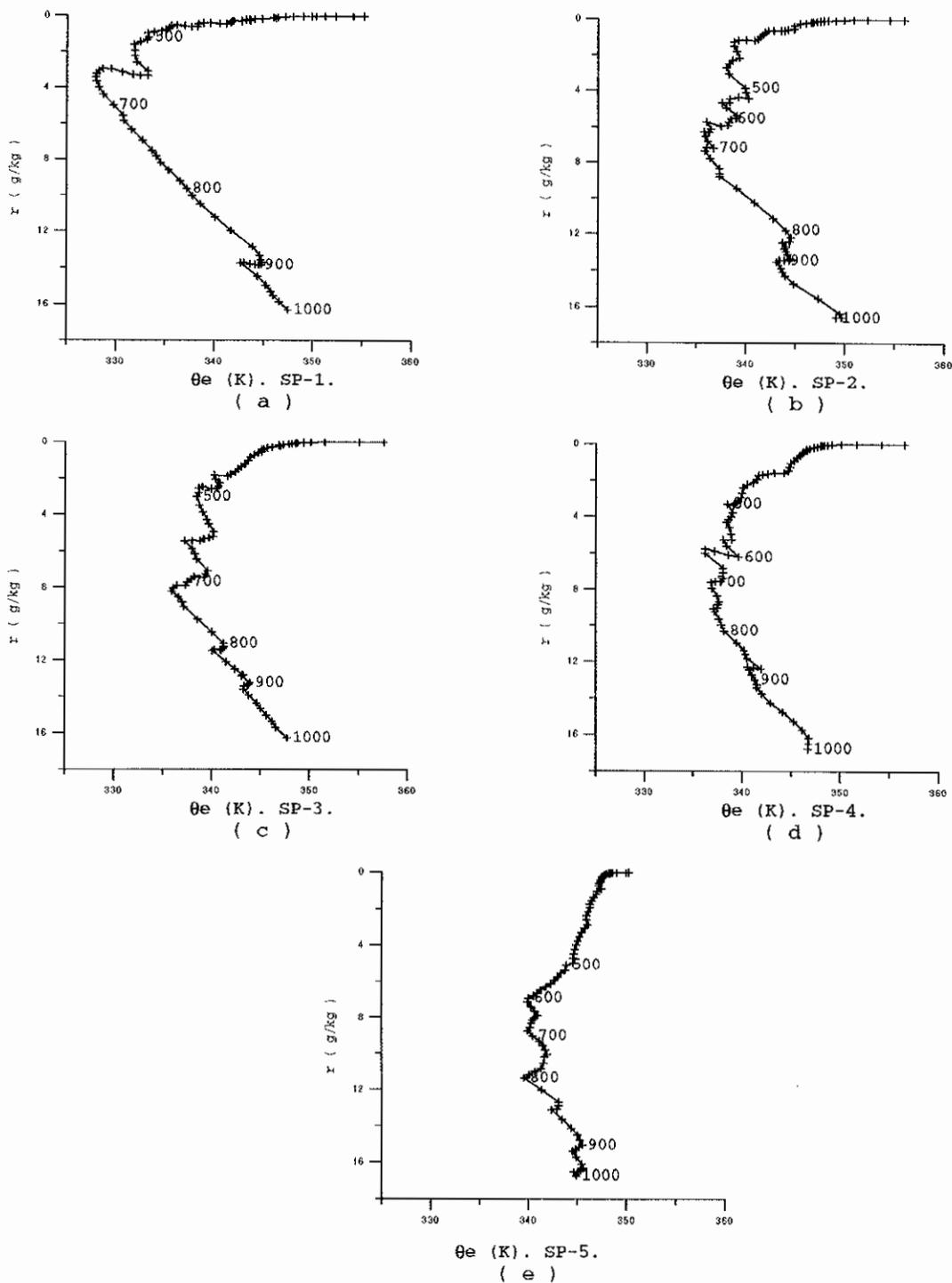


Fig. 4.5 - Diagrama (θ_e - r) médio horário das 00 UTC para Belém durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Belém 06 UTC

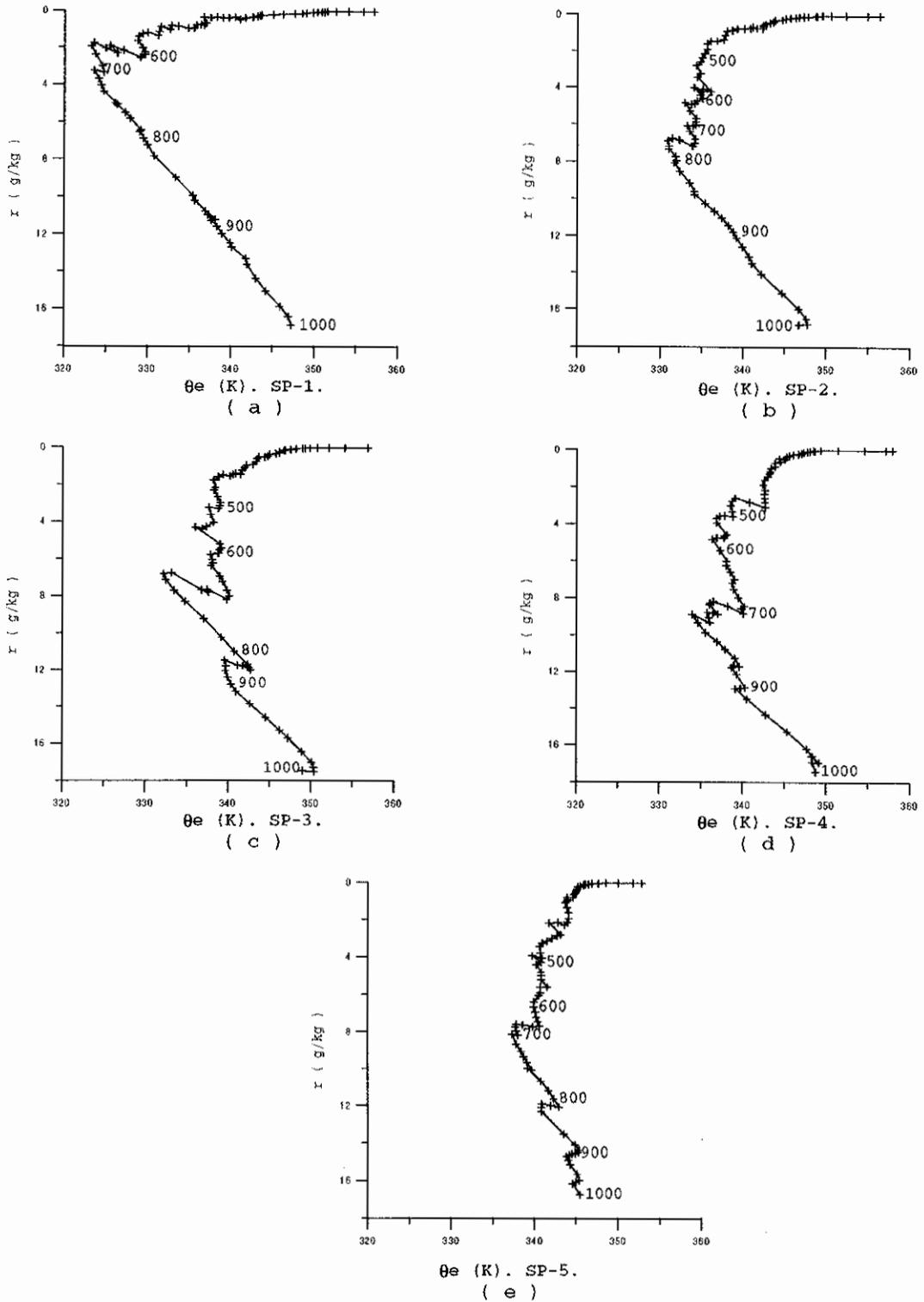


Fig. 4.6 - Diagrama (θ_e - r) médio horário das 06 UTC para Belém durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Belém 12 UTC

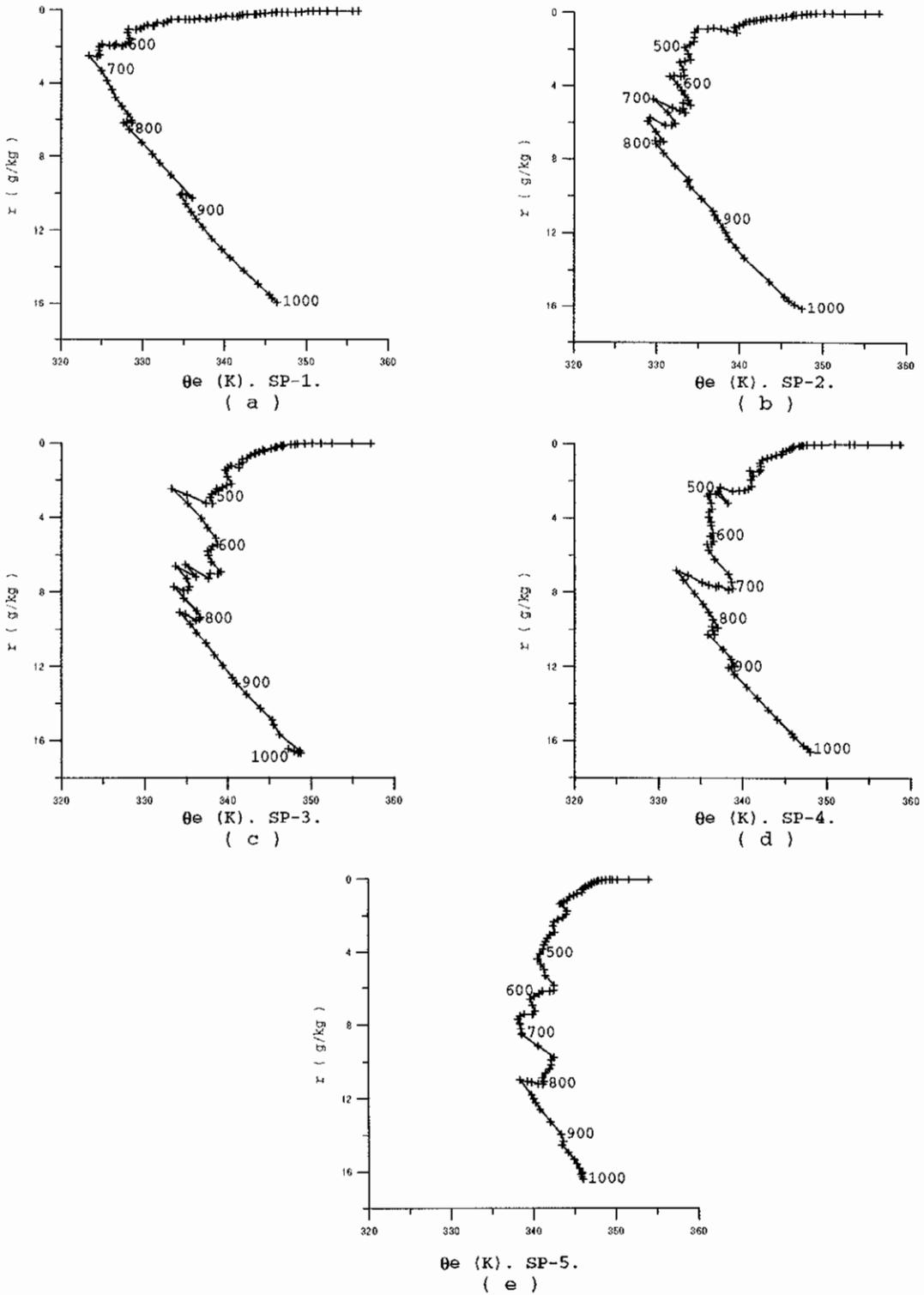


Fig. 4.7 - Diagrama (θ_e - r) médio horário das 12 UTC para Belém durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Belém 18 UTC

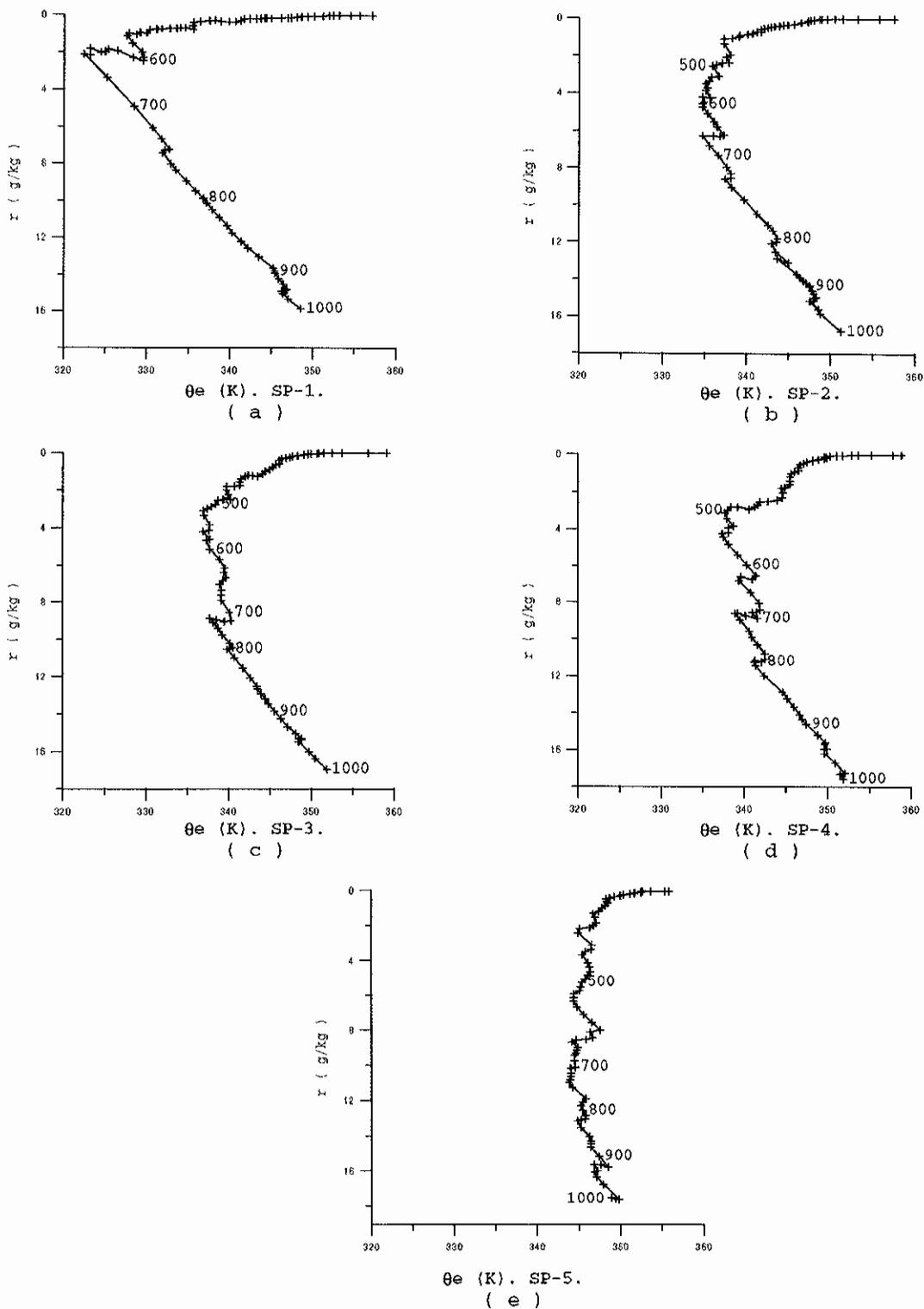


Fig. 4.8 - Diagrama (θ_e - r) médio horário das 18 UTC para Belém durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

- d) Em 18 UTC - a CE está bem configurada no período mais seco do experimento. As estruturas duplas voltam a aparecer em todos os subperíodos. A influência da CS2, na estrutura da LM, desintensificou-se em todos os subperíodos exceto em SP-1.

No geral nota-se que devido a intensificação dos movimentos convectivos, no decorrer do período do experimento, reduzem-se os espaços entre os pontos de saturação, ao longo de todo o perfil atmosférico. As inversões notadas durante os subperíodos SP-3 e 4, provocadas pela camada saturada na CE, são mais intensas entre as primeiras horas do dia, 06 UTC (03 HLL), e o início da manhã, 12 UTC (09 HLL). Ainda nestes horários, a camada próxima à superfície, está definida por grandes espaços entre os PSs, exceto no subperíodo mais chuvoso (ou quando ocorrem processos diabáticos).

A Tabela 4.1 apresenta a altura (p (hPa)) do topo da CLC relacionado a cada média horária, e de seus respectivos subperíodos. O topo da camada limite convectiva foi estimado visualmente pelo nível em que o mínimo P coincide com a inversão total da Linha de Mistura (como anteriormente mencionado).

Betts e Albrecht (1987) comentam que ainda não foi encontrado um mecanismo convincente que explique a inversão de r sobre o topo da CLC. Apesar disto, notam que o ar acima desta camada possui uma circulação subsidente por vários dias. Apesar de ainda existirem dúvidas sobre os

reais mecanismos geradores desta subsidência, os autores sugerem que um mecanismo radiativo deve provocar a subsidência do ar (de algum lugar da atmosfera livre) sobre a camada limite convectiva, invertendo o gradiente de r .

TABELA 4.1 - TOPO DA CLC PARA BELÉM-PA, EM CADA MÉDIA HORÁRIA E SEUS RESPECTIVOS SUBPERÍODOS, ESTIMADO PELA ALTURA EM QUE O MÍNIMO DE P E A INVERSÃO TOTAL DA LINHA DE MISTURA COINCIDEM.

TOPO DA CLC (p (hPa))					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5
00	550	500	500	500	400
06	650	500	500	400	400
12	650	500	550	500	400
18	550	500	550	500	400

Como mencionado anteriormente, o nível de saturação de uma parcela de ar não pode ser alterado (na ausência de processos radiativos e de mistura) pelos movimentos verticais (adiabáticos secos ou úmidos). Assim, Parasnis e Morwal (1991) observam que, se a subsidência do ar sobre a CLC for mais rápida que o resfriamento radiativo em p_{ns} (da parcela), então a Pressão Diferencial de Saturação alcançará seu mínimo valor no topo desta camada.

Portanto, nota-se a importância de se estimar o nível de origem do ar subsidente sobre a CLC a fim de auxiliar no desenvolvimento de futuros trabalhos que visem estudar o mecanismo que aciona esta subsidência. Neste trabalho também será calculado o nível de origem do ar no topo

da CLC sobre a Amazônia a fim de contribuir ao melhor entendimento do perfil troposférico da região.

Segundo Betts e Albrecht (1987) e Parasnis e Morwal (1991), o procedimento para a estimativa do nível de origem da parcela de ar subsidente sobre a CLC, baseia-se no valor mínimo de θ_e encontrado no topo da camada limite. Esta consideração é feita supondo-se que durante a subsidência (hipoteticamente resultante do resfriamento radiativo) a parcela conserva sua umidade, mas diminui sua temperatura potencial.

Porém, como anteriormente mencionado, para este trabalho, o mínimo θ_e não é representativo do topo da CLC. Propõe-se, contudo, substituir-se esta condição limite pelo valor de θ_e referente ao nível onde o mínimo P e a inversão total da LM coincidam. Assim, supondo-se um período a ser estudado (seja climatológico ou de um experimento qualquer) onde sua fase inicial é mais estável que a final, consideram-se as seguintes etapas:

- a) calculam-se os parâmetros do ponto de saturação referentes a θ_e , no topo da camada limite, no início do período estudado;
- b) faz-se o mesmo para o final deste período; porém, os parâmetros termodinâmicos são calculados em função do valor de r obtido na etapa anterior;

- c) calcula-se a diferença dos parâmetros entre as fases inicial e final. Isto causa a impressão de se observar a subsidência de uma parcela de ar, com r constante, entre o início e o fim do período.

Baseando-se nos valores de $\Delta\theta$ e Δp , e na razão de resfriamento radiativo $\theta_r = -1,75 \text{ K.dia}^{-1}$ (Betts e Albrecht, 1987), pode-se estimar Δt (tempo em que a parcela esteve em subsidência; expresso em dias) e ω (velocidade vertical da parcela em subsidência, dada em hPa.dia^{-1}). Δp_{ns} indica o quanto a parcela percorreu, durante a subsidência, acima de seu nível de resfriamento.

A Tabela 4.2 apresenta os parâmetros do ponto de saturação para θ_e no topo da Camada Limite Convectiva para o subperíodo mais seco (SP-1) e para o mais chuvoso (SP-5) em todas as médias horárias. Observa-se que as diferenças entre os dois subperíodos, são maiores durante as primeiras horas do dia, em 06 UTC (03 HLL). Nota-se que a parcela de ar esteve 285 hPa acima do topo da CLC e resfriou cerca de 20 K; isto corresponde a uma subsidência de aproximadamente 12 dias com velocidade $\omega \approx 25 \text{ hPa.dia}^{-1}$.

Betts e Albrecht (1987) observaram que o ar subsidente no topo da CLC, sobre o Pacífico Equatorial, originava-se em torno de 84 hPa acima do nível de resfriamento da atmosfera tropical média. Parasnis e Morwal (1991) encontraram valores de $\Delta p_{ns} \approx 44 \text{ hPa}$ acima do nível de resfriamento, durante a estação de verão monsonico. Os resul-

tados descritos na Tabela 4.2, mostram que, na região de Belém, em todas as médias horárias, o ar subsidente no topo da CLC tem se originado entre 142 hPa (00 UTC) e 226 hPa (06 UTC) acima do nível de resfriamento da atmosfera média sobre esta localidade.

TABELA 4.2 - PARÂMETROS DO PONTO DE SATURAÇÃO PARA θ_e NO TOPO DA CLC EM BELÉM-PA.

00 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	550	515	-17.3	-35	2.3	331.8	324.4		
SP-5	375	373	-19.3	-2	2.3	346	338.2		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	175	142	2	-33	0	-14.2	-13.8	7.9	22.2
06 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	650	587	-19.7	-63	1.8	323.6	317.8		
SP-5	365	361	-22.5	-4	1.8	344.1	337.8		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	285	226	2.8	-59	0	-20.5	-20	11.5	24.9
12 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	650	590	-18.1	-60	2	324.6	318.2		
SP-5	394	386	-20.8	-9	2	343.8	336.9		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	256	204	2.7	-51	0	-19.2	-18.7	10.7	23.9
18 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	550	493	-28.2	-57	1	327.8	324.4		
SP-5	321	313	-30.8	-8	1	347.8	344.1		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	229	180	2.6	-49	0	-20	-19.7	11.3	20.4

4.2. Oiapoque-AP

4.2.1. Características Médias do Período

Nesta localidade as médias horárias foram calculadas sobre 105 radiossondagens. As Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 mostram, respectivamente, os perfis médios horários de P , a estrutura média da Linha de Mistura (no diagrama, θ_e-r) e os perfis das variáveis conservativas (θ_e , θ_{es} , θ_v e r) para esta estação. A análise sobre estes últimos apresentam as mesmas dificuldades encontradas em gráfico semelhante para a estação de Belém, anteriormente comentada.

Observa-se, pelo perfil médio de P , que durante o experimento não houve variações significativas em relação aos horários estudados, exceto em baixos níveis no período da tarde.

O efeito do aquecimento superficial é notado às 18 UTC (15 HLL), onde a CSS está bem definida pelo aumento da pressão diferencial de saturação entre a superfície e aproximadamente 850 hPa. Nos horários seguintes esta camada está mais próxima da saturação que as sobrejacentes.

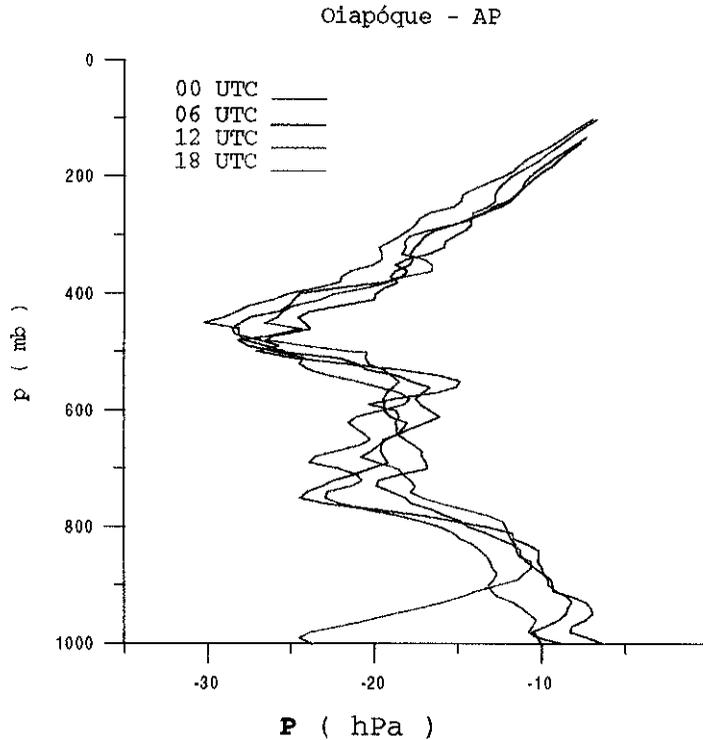


Fig. 4.9 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Oiapóque-AP em função dos horários de lançamento das radiossondagens.

Sugere-se que a passagem de nuvens cumulonimbus (CB), associadas às Linhas de Instabilidade (Houze, 1977; Cohen, 1989; Cohen et al. 1989, 1995), levando forte precipitação sobre a região, resultou em um resfriamento superficial mais rápido que aquele observado na estação de Belém.

Rocha (1991) comenta que as LIs associadas a brisa marítima e a ZCIT, provocaram um máximo de precipitação que caracterizou o litoral amapaense durante o período médio do experimento. Além disso, segundo o autor acima mencionado, o fluxo médio do vento em 850 hPa foi predomi-

nantemente de este (e forte) sobre a região, sendo levemente mais fraco sobre Belém.

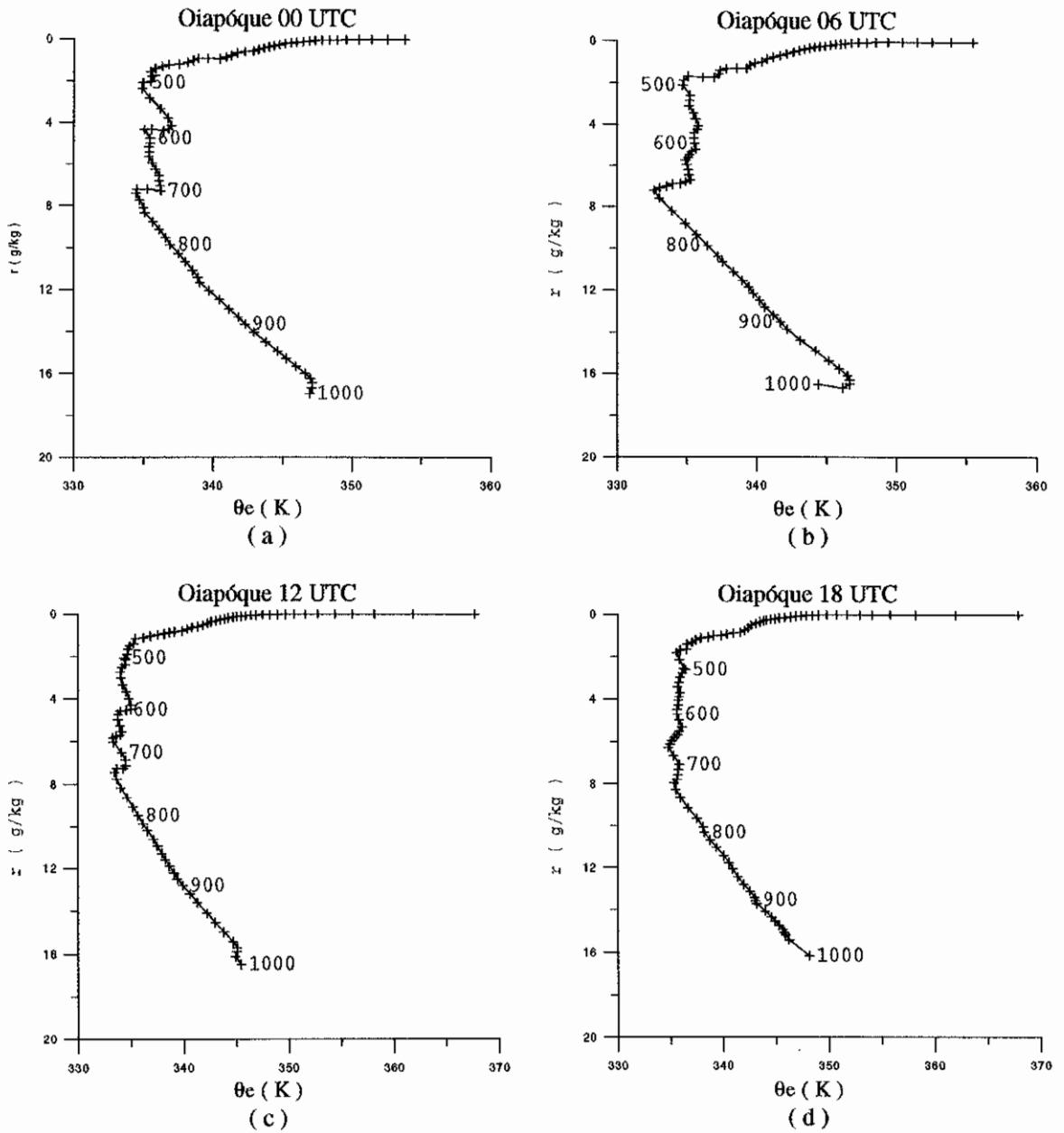


Fig. 4.10 - Diagrama (θ_e - r), médio horário durante o experimento para Oiapóque durante: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

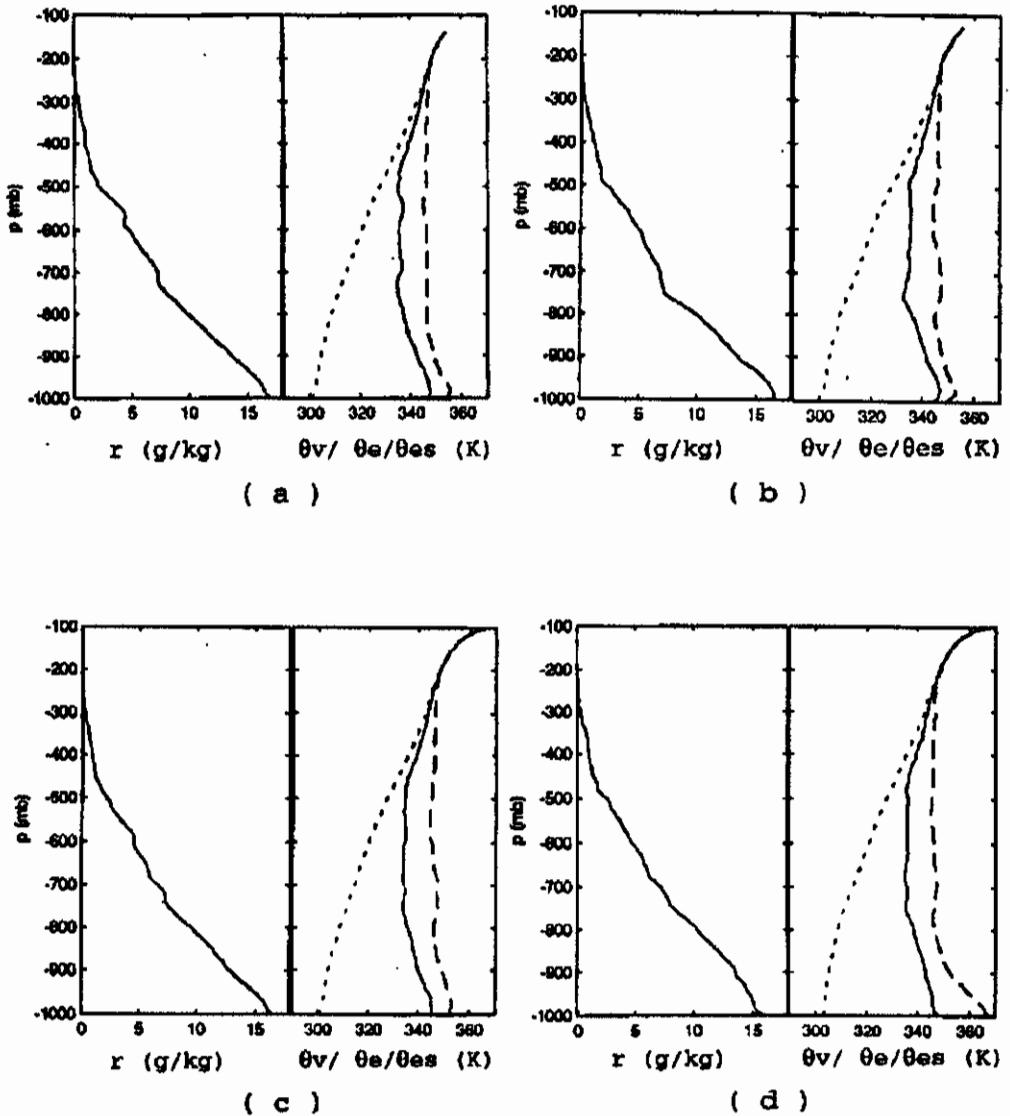


Fig. 4.11 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Oiapóque durante: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas θ_v (...), θ_e (—) e θ_{es} (- - -).

Devido à própria localização geográfica da estação de Oiapóque, sugere-se que a camada entre a super-

fície e 800 hPa está mais próxima da saturação porque recebe maior fluxo de umidade que a estação de Belém.

A camada entre aproximadamente 750-550 hPa apresenta $P \approx cte$, e uma estrutura da LM que mostra pouca variação de θ_e em relação a r , durante os horários estudados. Nota-se, porém, que nesta camada a LM apresenta pequenas inversões (ou estruturas duplas) que enfraquecem entre os horários de 00 UTC e 18 UTC.

Segundo a climatologia de Cohen et al. (1995), as LIs formam-se durante a tarde. Supõe-se, portanto, que após a passagem das LIs, as correntes subsidentes (downdrafts) de ar não saturado, em mesoescala — abaixo das bigornas dos CBs (Houze, 1977; Zipser, 1977) — tenham contribuído para a formação destas estruturas duplas. Sugere-se que, durante a noite, uma camada residual (Stull, 1991), mantenha uma mistura pouco umida, resultante do efeito das correntes subsidentes sobre a mistura turbulenta.

Em 18 UTC a mistura convectiva entre a superfície e $p \approx 850$ hPa é intensa produzindo um forte agrupamento de pontos de saturação na LM. Nota-se que, logo após este horário, em 00 UTC (21 HLL), estabelece-se uma camada estável que pode ser devido a duas situações. Em princípio, supõe-se que deva ser o estabelecimento da Camada Estável Noturna, que ocorre a partir do por do sol (Stull, 1991). Por outro lado, durante a passagem da LI, na

retaguarda dos CBs forma-se uma camada estável produzida pela corrente descendente de ar não saturado em mesoescala (Houze, 1977; Zipser, 1977). Segundo Zipser (1977), esta camada pode estar em torno de 100-400 m acima da superfície, e seu topo pode alcançar entre 1000-1500 m de altitude. Isto corresponde a altitude observada de 850 hPa, de onde a pressão diferencial decresce mais rapidamente.

Comparando-se os perfis de **P** e as estruturas da Linha de Mistura nos quatro horários estudados sugere-se que o topo da Camada de Entranhamento está em média em torno de 500 hPa.

4.2.2. Características Médias dos Subperíodos

O perfil médio horário de **P**, para cada subperíodo, está na Figura 4.12. A estrutura média horária da Linha de Mistura para cada subperíodo é observada nas Figuras 4.13-4.16.

Como esperado, às 00 UTC (21 HLL), a camada estável — mencionada no tópico anterior — está bem caracterizada entre 950-850 hPa, em todos os subperíodos, através de grandes espaços entre os pontos de saturação. As estruturas duplas estão presentes em todos os subperíodos, porém mais fracas no segundo subperíodo.

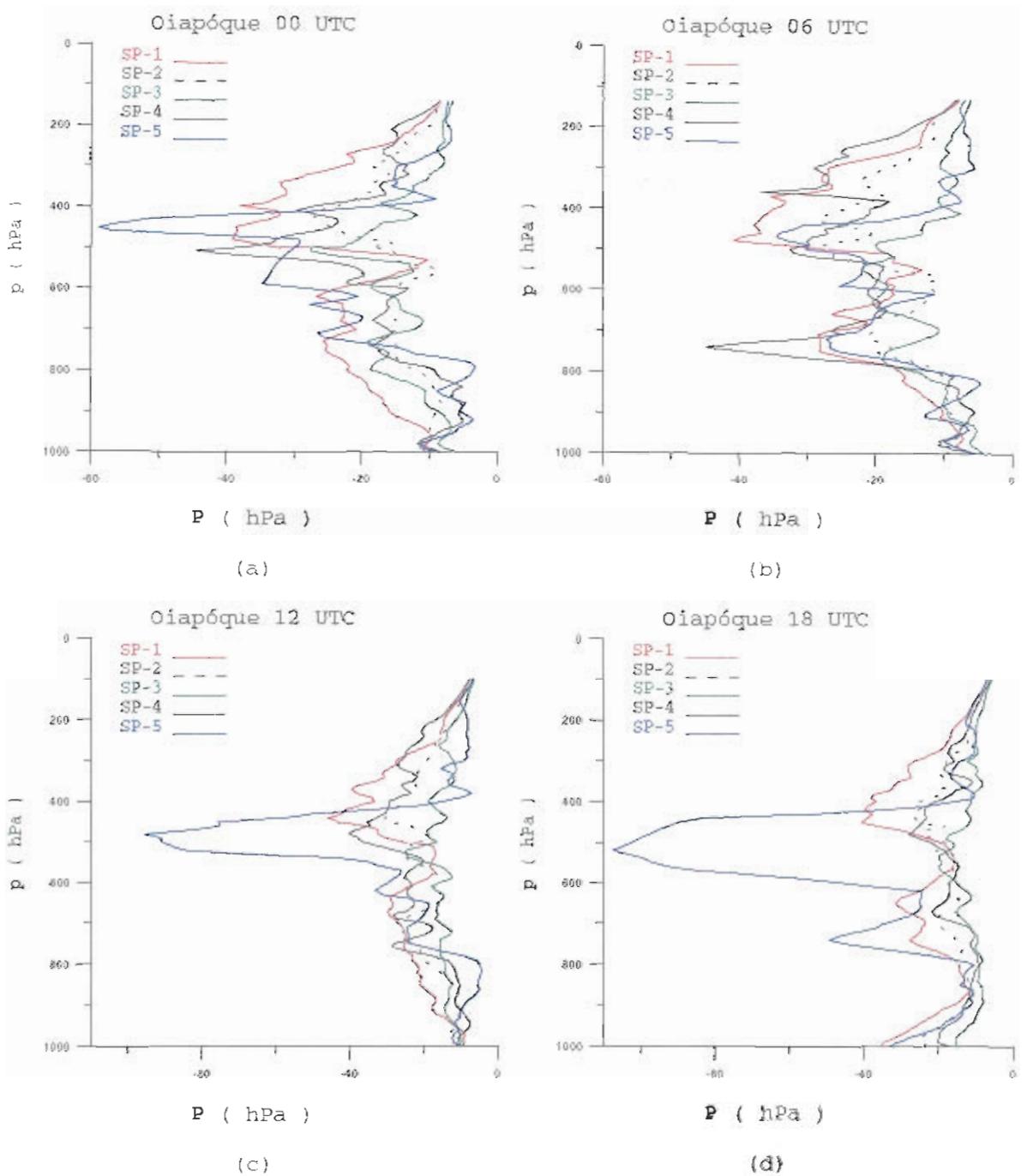


Fig. 4.12 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Oiapóque-AP durante cada subperíodo de precipitação em: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

Oiapóque 00 UTC

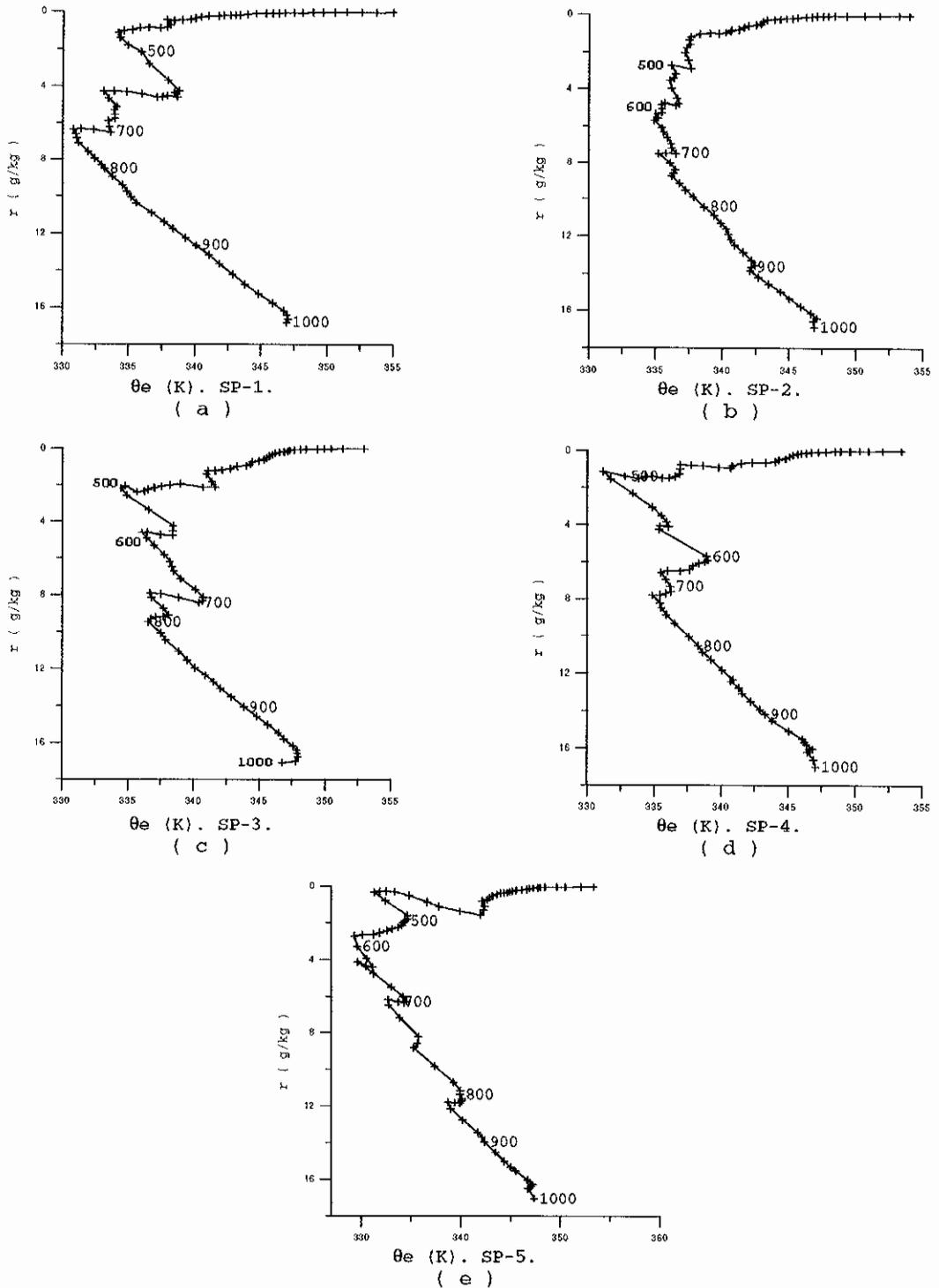


Fig. 4.13 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 00 UTC para Oiapóque durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Oiapóque 06 UTC

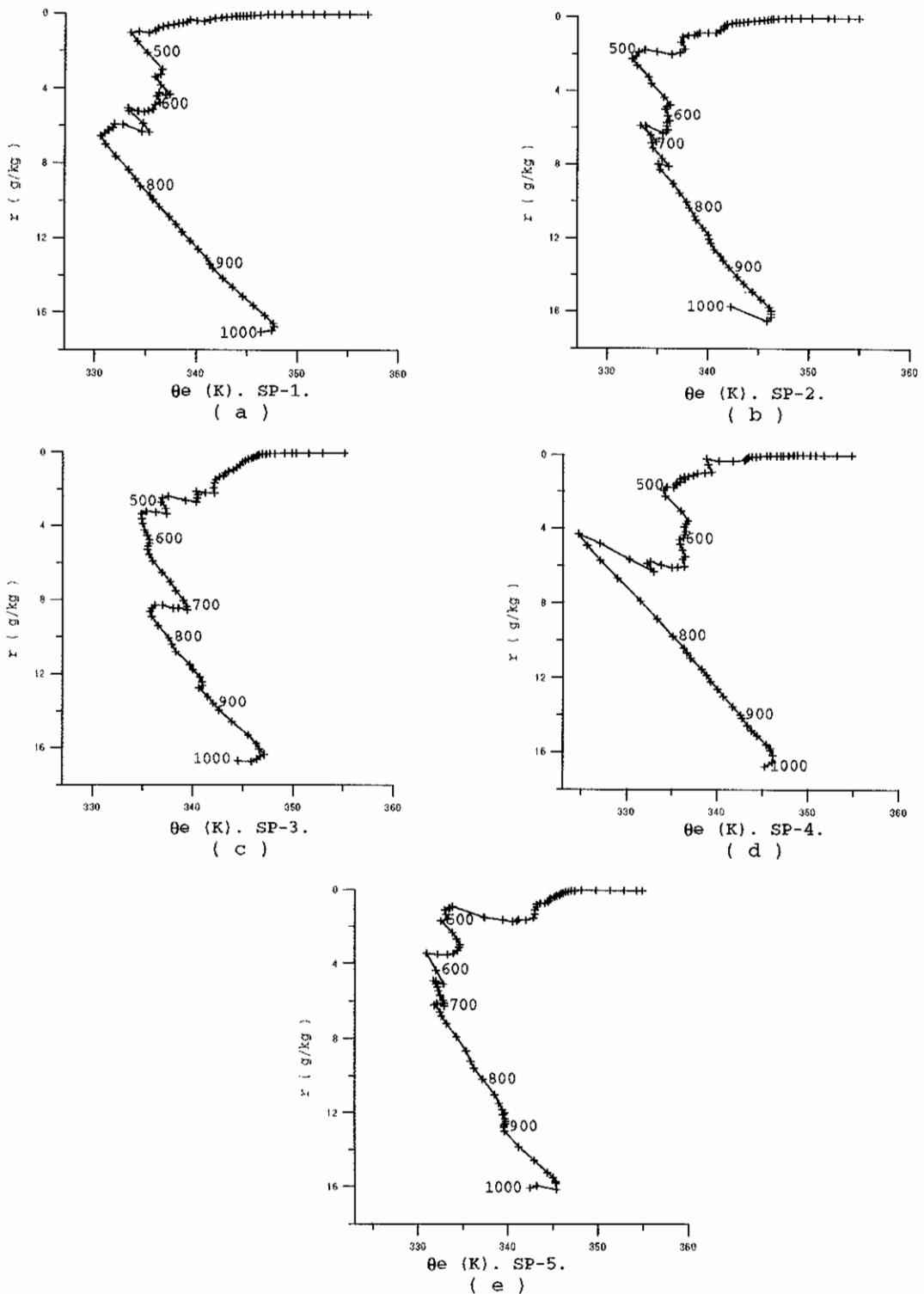


Fig. 4.14 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 06 UTC para Oiapóque durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Oiapóque 12 UTC

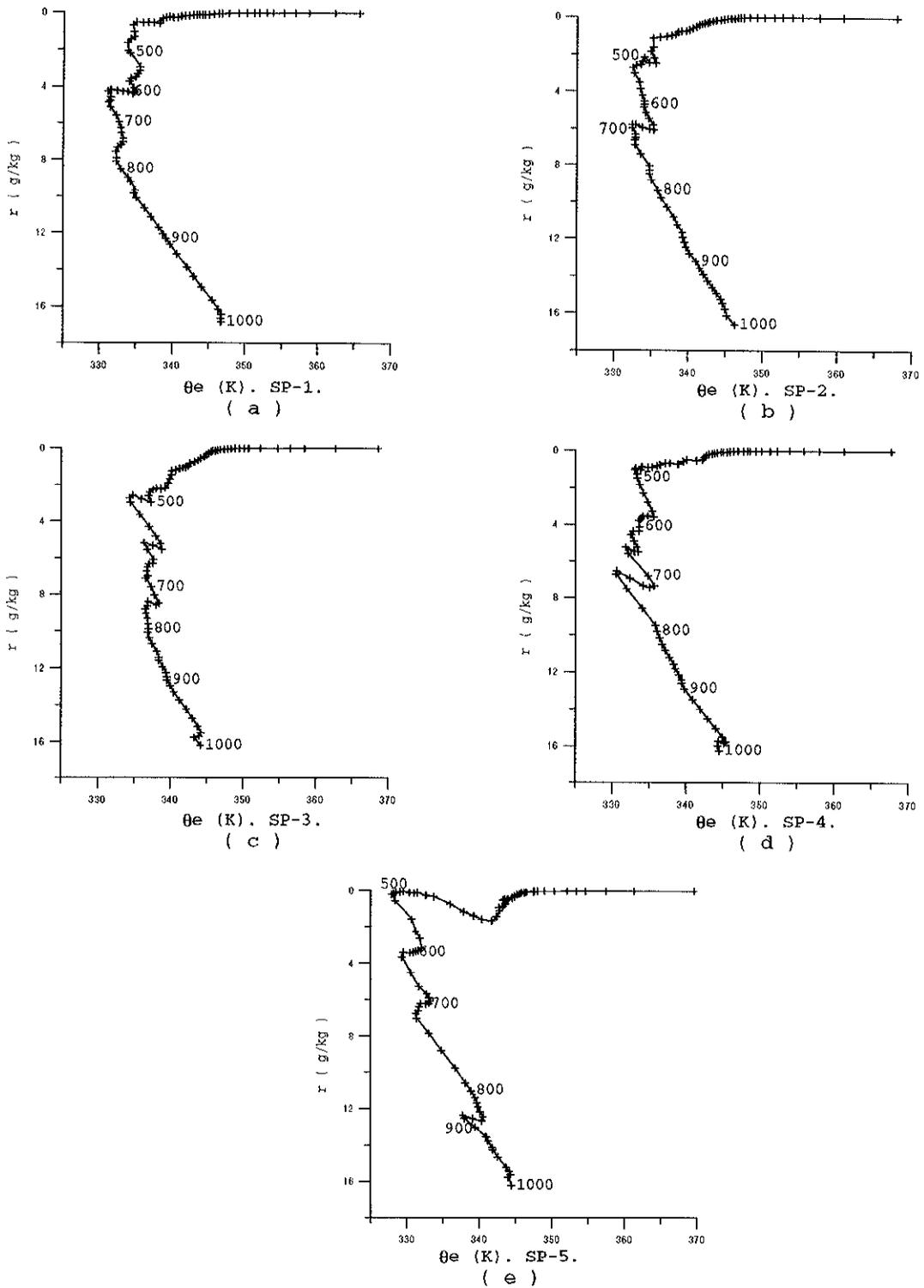


Fig. 4.15 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 12 UTC para Oiapóque durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Oiapóque 18 UTC

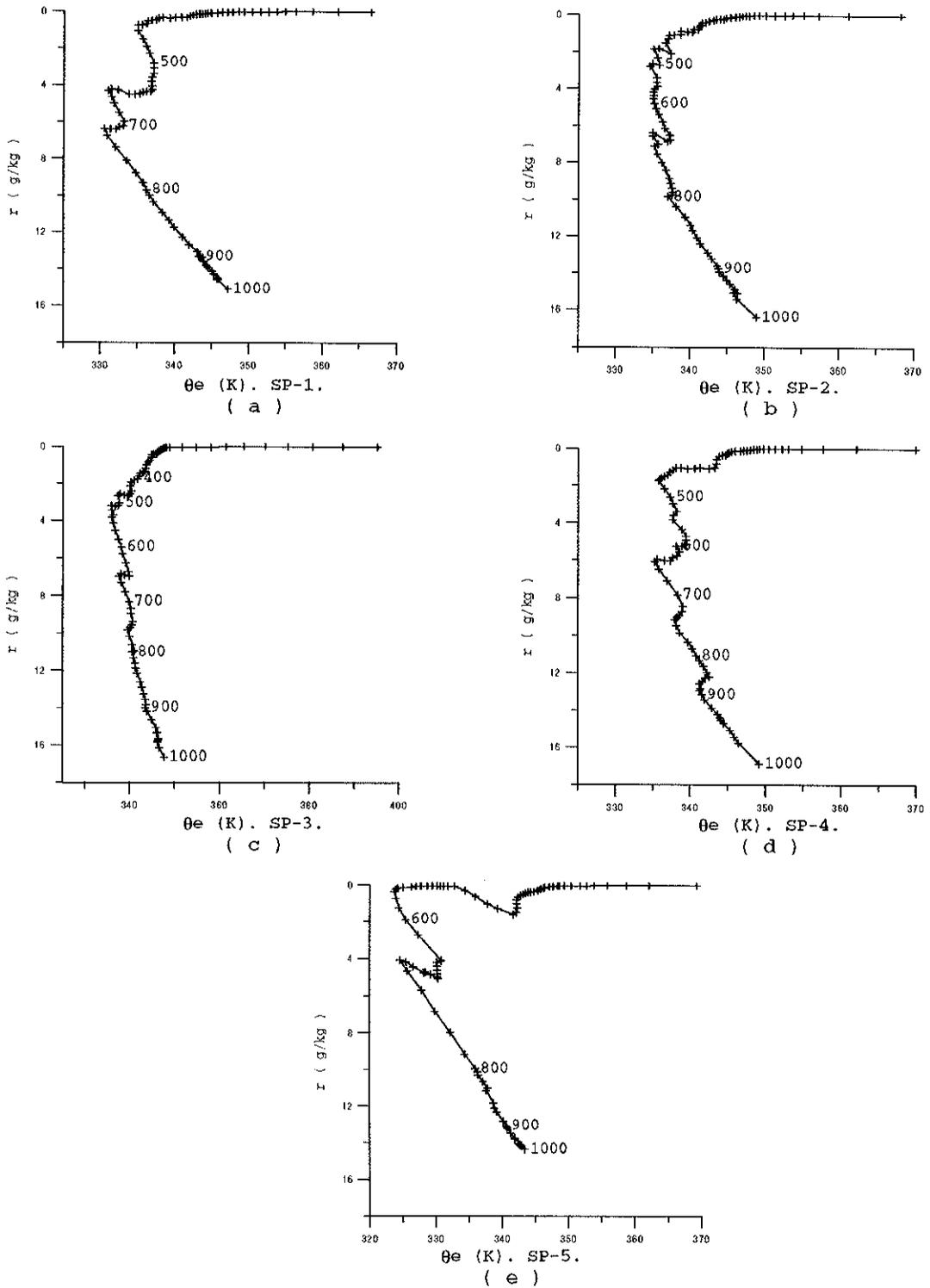


Fig. 4.16 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 18 UTC para Oiapóque durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Em todos os subperíodos, entre 00-12 UTC, observa-se uma pequena torção na LM nos primeiros 50 hPa acima da superfície, que está mais intensa em 06 UTC. As estruturas duplas — que provavelmente são devido às correntes descendentes de ar não saturado em mesoescala — aparecem mais fortes nos subperíodos SP-1, 3 e 4, nas médias de 00 e 06 UTC.

Observa-se, ainda na Figura 4.12, que o perfil de P no último subperíodo é caracterizado por uma forte Camada de Entranhamento, exceto na média horária das 06 UTC. O topo desta camada parece estar em 450 hPa, às 00 UTC, descendo para 500 hPa às 18 UTC. Neste último horário a CE alcança o mínimo $P \approx -110$ hPa.

A forma das estruturas duplas sugere a influência dos fenômenos combinados de precipitação e evaporação da precipitação no perfil termodinâmico (ver Figura 3.6b). Todos os perfis de P tendem a um valor comum de aproximadamente -10 hPa, provavelmente porque $r \rightarrow 0$, acima de 200 hPa.

O nível do topo da CLC, estimado pelo perfil vertical de P e pela estrutura da LM, para cada subperíodo e média horária, está na Tabela 4.3. Nota-se que o topo da CLC parece não variar entre SP-1 e 5, às 00 e 06 UTC. Porém, às 12 e 18 UTC o mesmo parece ser rebaixado. Sugere-se que isto se deve pela presença da forte CE na média troposfera.

TABELA 4.3 - TOPO DA CLC PARA OIAPÓQUE-AP, EM FUNÇÃO DE CADA MÉDIA HORÁRIA E DE SEUS RESPECTIVOS SUBPERÍODOS, ESTIMADO PELA ALTURA ONDE P E A INVERSÃO TOTAL NA LM COINCIDEM.

TOPO DA CLC (p(hPa))					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5
00	450	400	500	500	450
06	450	400	550	350	450
12	450	450	500	500	500
18	450	450	450	500	500

Na Tabela 4.4 observa-se que o nível de origem do ar subsidente sobre o topo da CLC está mais profundo às 12 UTC (09 HLL).

Sugere-se que o resfriamento da parcela também é maior neste horário porque a mesma atravessa um espaço Δp maior, em um tempo Δt maior, com uma velocidade ω pequena, em relação aos outros horários. Nota-se que entre 00 UTC (21 HLL) e 06 UTC (03 HLL) a parcela em subsidência apresenta $\Delta t \approx 4$ dias e $\omega \approx 27$ hPa.dia⁻¹. Contudo, o resfriamento da parcela é menor no primeiro momento devido ao pequeno Δp (≈ 97 hPa). Nota-se que, nesta estação, o ar subsidente no topo da CLC tem se originado entre 74 hPa e 93 hPa acima de seu nível de resfriamento. Estes valores são compatíveis com aqueles encontrados por Betts e Albrecht (1987).

TABELA 4.4 - PARÂMETROS DO PONTO DE SATURAÇÃO PARA θ_e NO TOPO DA CLC EM OIAPOQUE-AP.

00 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	450	412	-31.1	-39	0.9	335.8	332.7		
SP-5	353	338	-31.8	-15	0.9	342.2	339		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	97	74	0.7	-24	0	-6.4	-6.3	3.7	26.6
06 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	450	413	-30.4	-37	0.9	335.8	332.6		
SP-5	339	329	-31.3	-10	0.9	343.2	339.9		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	111	84	0.9	-27	0	-7.4	-7.3	4.2	26.7
12 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	450	407	-34.2	-43	0.7	334.5	332.1		
SP-5	327	314	-35.1	-13	0.7	343.5	340.9		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	123	93	0.9	-30	0	-9	-8.8	5.1	24.2
18 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	450	409	-32.6	-41	0.8	334.9	332.2		
SP-5	347	332	-33.5	-16	0.8	342.2	339.4		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	103	77	0.9	-25	0	-7.3	-7.2	4.1	25

4.3. Alcantara-MA

4.3.1. Características Médias do Período

Analisa-se nesta estação um conjunto de 103 radiossondagens. O perfil médio horário de P e a estrutura média horária da Linha de Mistura são mostrados nas Figuras 4.17 e 4.18, respectivamente. Os perfis médios das variáveis conservativas (θ_e , θ_{es} , θ_v e r) estão na Figura 4.19 — a análise destes perfis mostrou as mesmas dificuldades encontradas nas estações anteriores.

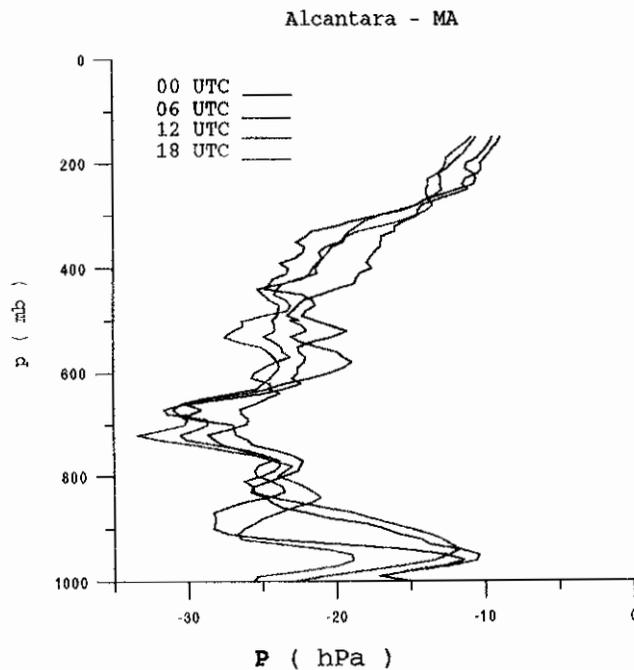


Fig. 4.17 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alcantara-MA em função dos horários de lançamento das radiossondagens.

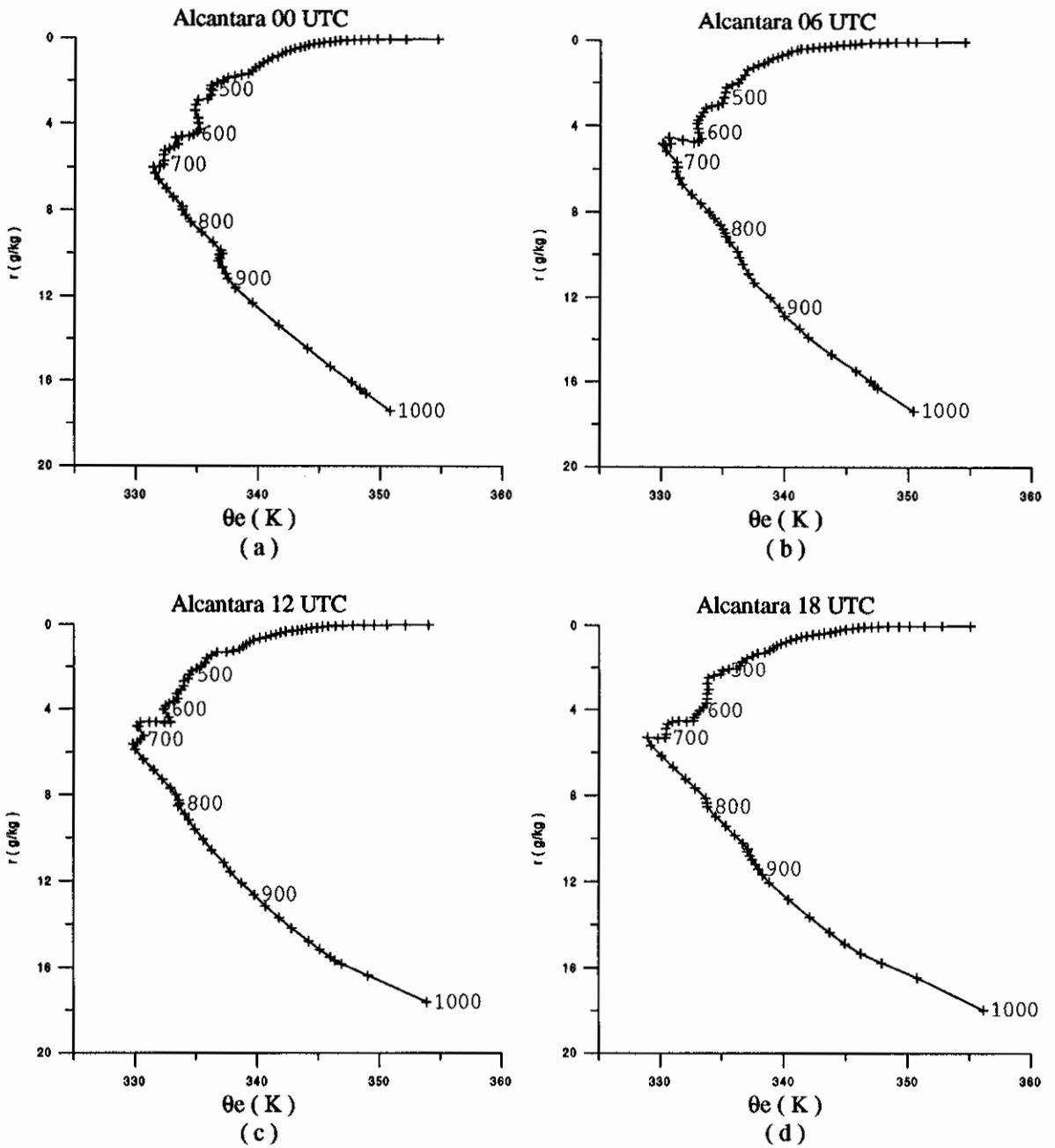


Fig. 4.18 - Diagrama ($\theta_e - r$), médio horário durante o experimento para Alcantara durante: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

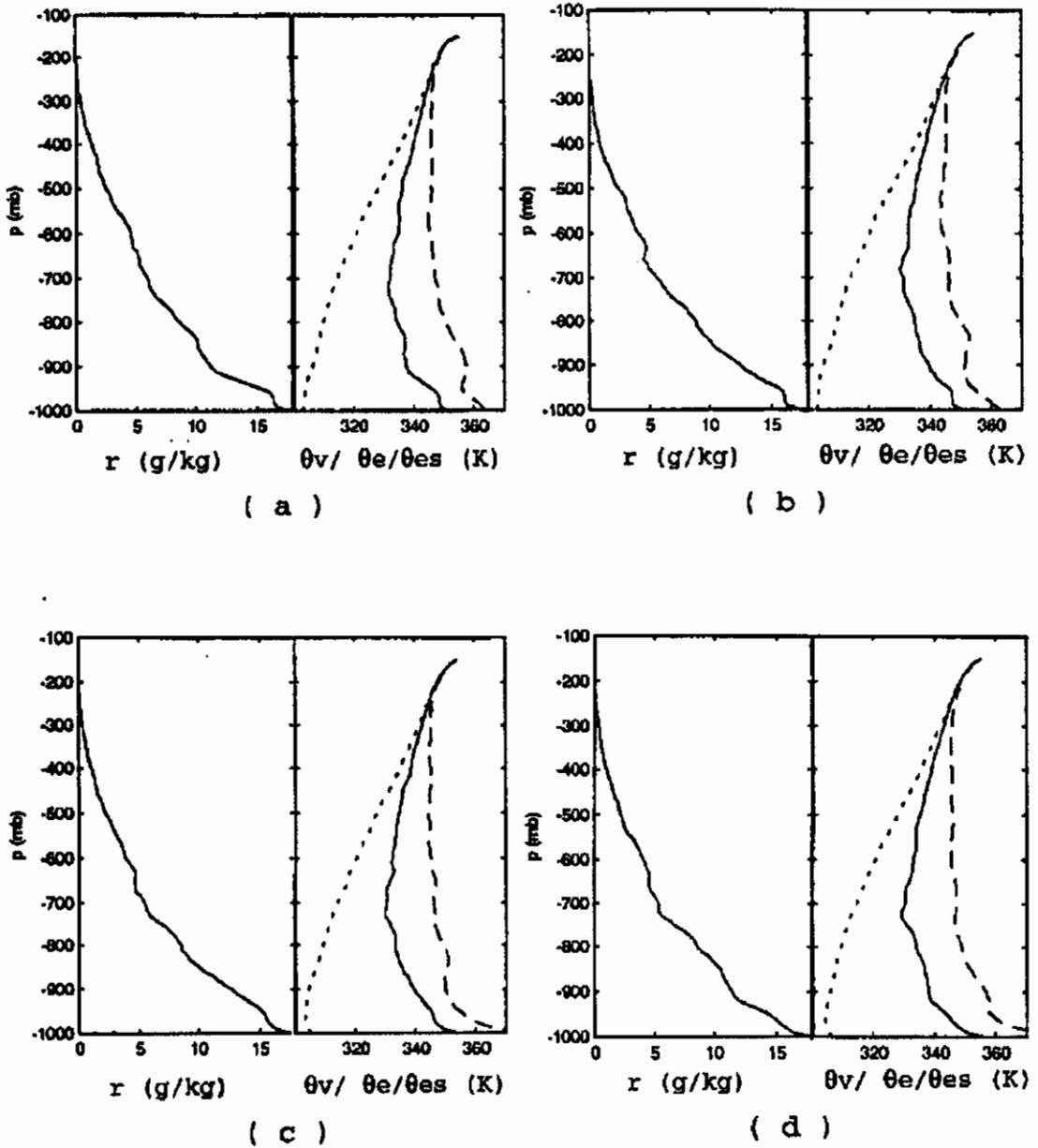


Fig. 4.19 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Alcantara durante 00 UTC(a); 06 UTC(b); 12 UTC(c) e 18 UTC(d). O lado direito do gráfico é constituído pelos perfís verticais das temperaturas θ_v (...), θ_e (—) e θ_{es} (- - -).

O perfil médio de P mostra que acima de 850 hPa há muito pouca variação entre os horários estudados. Em 700 hPa alcança-se o mínimo de P em todos os horários. Nota-se que a partir deste nível a pressão diferencial de saturação aumenta identificando a Atmosfera Livre. Porém, observa-se que entre 600-500 hPa o perfil de P tende a ser constante com a altura. Isto também é observado na estrutura da LM, pois somente a partir de 500 hPa a inversão de θ_e (em relação a r) torna-se mais acentuada.

Devido as curvas destas figuras serem médias horárias de todo o período do experimento, sugere-se que esta região de P aproximadamente constante seja apenas um reflexo de dias em que houve fortes movimentos convectivos — provavelmente pela presença de CB — onde o fluxo turbulento (transportando pequenas quantidades de momentum, umidade e calor) tenha atravessado a Camada de Entranhamento, atenuando o aumento de P com a altura, e a inversão total da LM.

O efeito do aquecimento (ou resfriamento) superficial é observado nestas figuras. Os primeiros 50 hPa acima da superfície, nas médias de 00 e 06 UTC, apresentam θ_v e r aproximadamente constantes com a altura, identificando uma fina camada misturada. Esta camada é representada por um pequeno agrupamento de pontos de saturação confirmando a condição da mistura.

A camada entre a superfície e 900 hPa mostra características de estabilidade na LM. Esta condição é for-

te às 00 UTC, mas parece enfraquecer a partir deste horário até 12 UTC, onde os pontos de saturação apresentam-se mais próximos entre si.

Nota-se, através da Figura 4.18, que no período médio do experimento ocorre uma estrutura dupla na LM em 00 UTC, entre 900-800 hPa. Sua forma sugere a ocorrência de precipitação.

4.3.2. Características Médias dos Subperíodos

Analisa-se as médias horárias, de cada subperíodo, do perfil vertical de P (Figura 4.20), e da estrutura da Linha de Mistura (Figuras 4.21 - 4.24).

As camadas de mistura (1000-950 hPa) e estável (950-900 hPa) mencionadas anteriormente aparecem claramente em todos os subperíodos dos horários de 00-06 UTC.

Observa-se, nas LMs representativas destes subperíodos, que acima destas camadas uma estrutura dupla coincide em uma região (900-800 hPa) onde P é aproximadamente constante. Sugere-se que, pelo menos nas Figuras 4.21c-d e 4.22c-d, estas estruturas devem-se aos processos combinados de precipitação e evaporação da precipitação (ver Figura 3.6b).

A Figura 4.20 sugere, em todos os horários e principalmente nos dois primeiros subperíodos, a ocorrência de uma camada saturada entre 600-500 hPa. Em SP-1 o mínimo de P , que deve marcar o topo da CLC, ocorre sempre abaixo desta camada, enquanto que no segundo subperíodo parece ocorrer também acima da mesma. Nota-se que em SP-2 esta camada saturada parece estar mais profunda que no subperíodo anterior.

A análise da LM para esta região da camada limite mostra que somente a partir de SP-2 é que existe forte suavização da inversão total da LM, que passa a intensificar-se em níveis em torno de 500 hPa — enquanto que em SP-1 isto já ocorre em torno de 650 hPa.

O perfil de P , entre SP-3 e 5 (somente até SP-4 na média de 06 UTC), não apresenta a Camada de Enraizamento bem definida pois o mesmo apresenta-se bastante suavizado, provavelmente devido a intensificação dos movimentos convectivos.

Analizando-se as Figuras 4.20d e 4.24, nota-se que a camada entre a superfície e aproximadamente 800 hPa apresenta um perfil de P bastante semelhante entre as fases seca e chuvosa do experimento. Isto provavelmente se deve à intensificação dos movimentos convectivos especialmente durante a tarde.

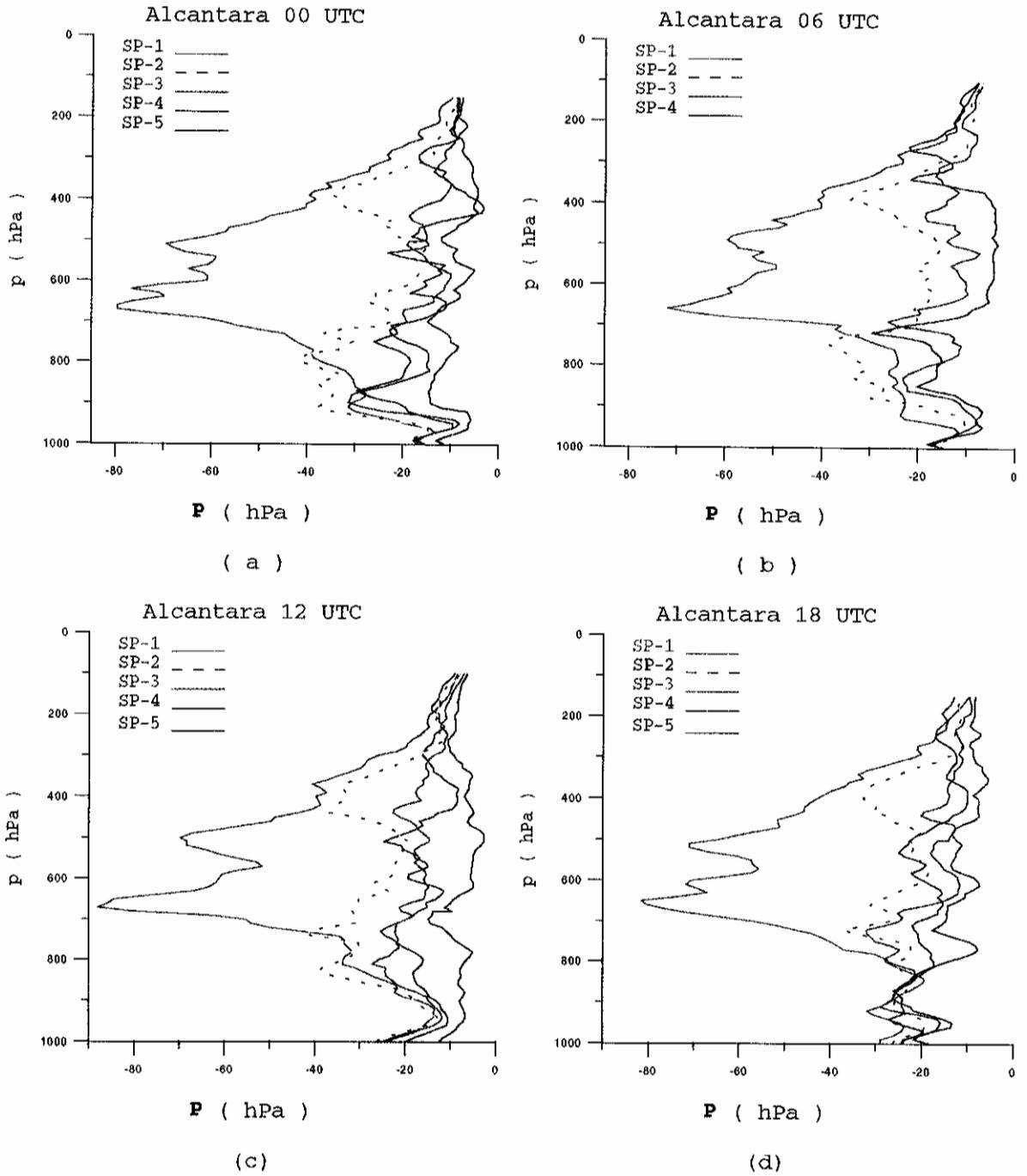


Fig. 4.20 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alcantara-MA durante cada subperíodo em: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

Alcantara 00 UTC

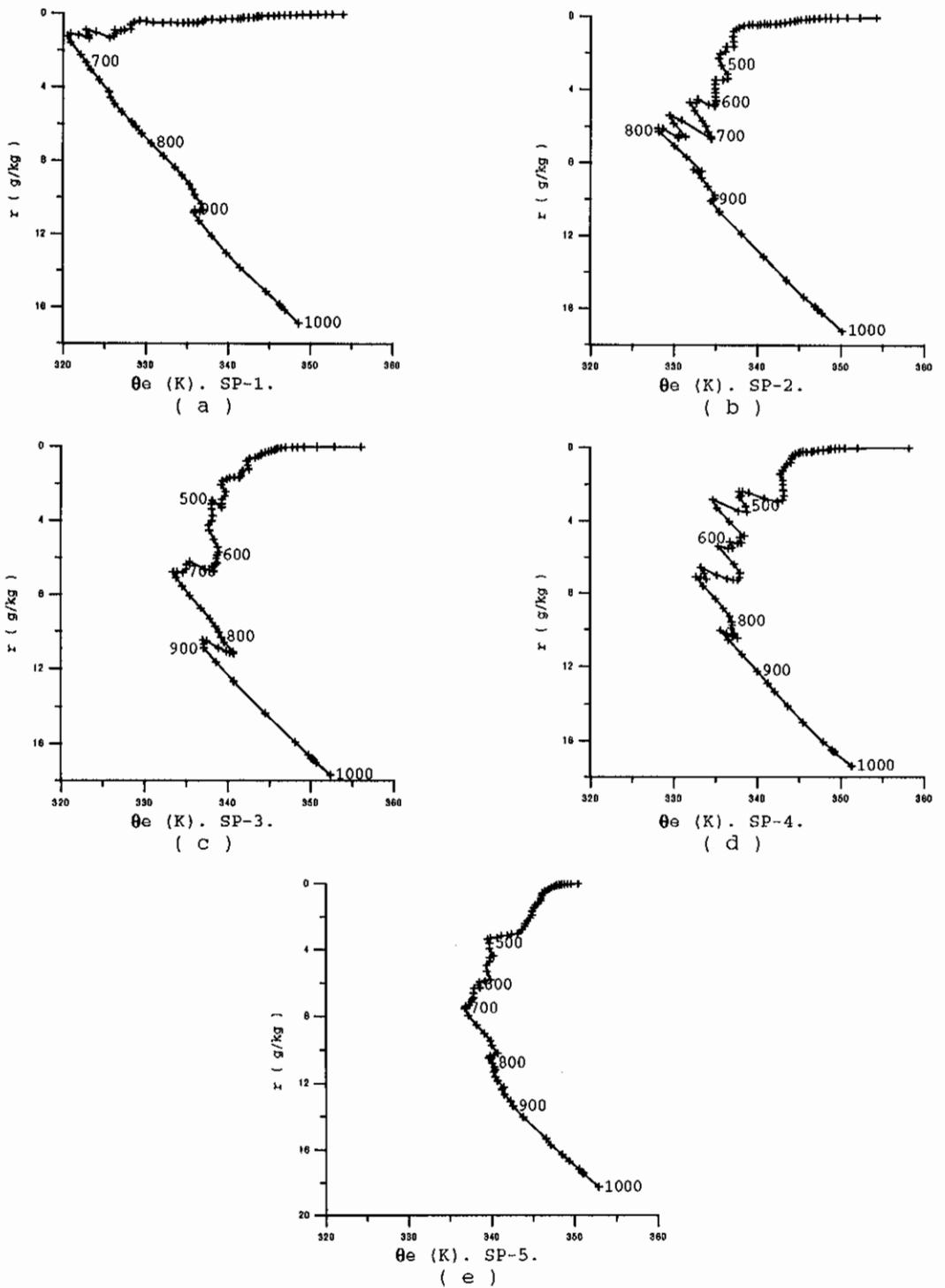


Fig. 4.21 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 00 UTC para Alcantara durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Alcantara 06 UTC

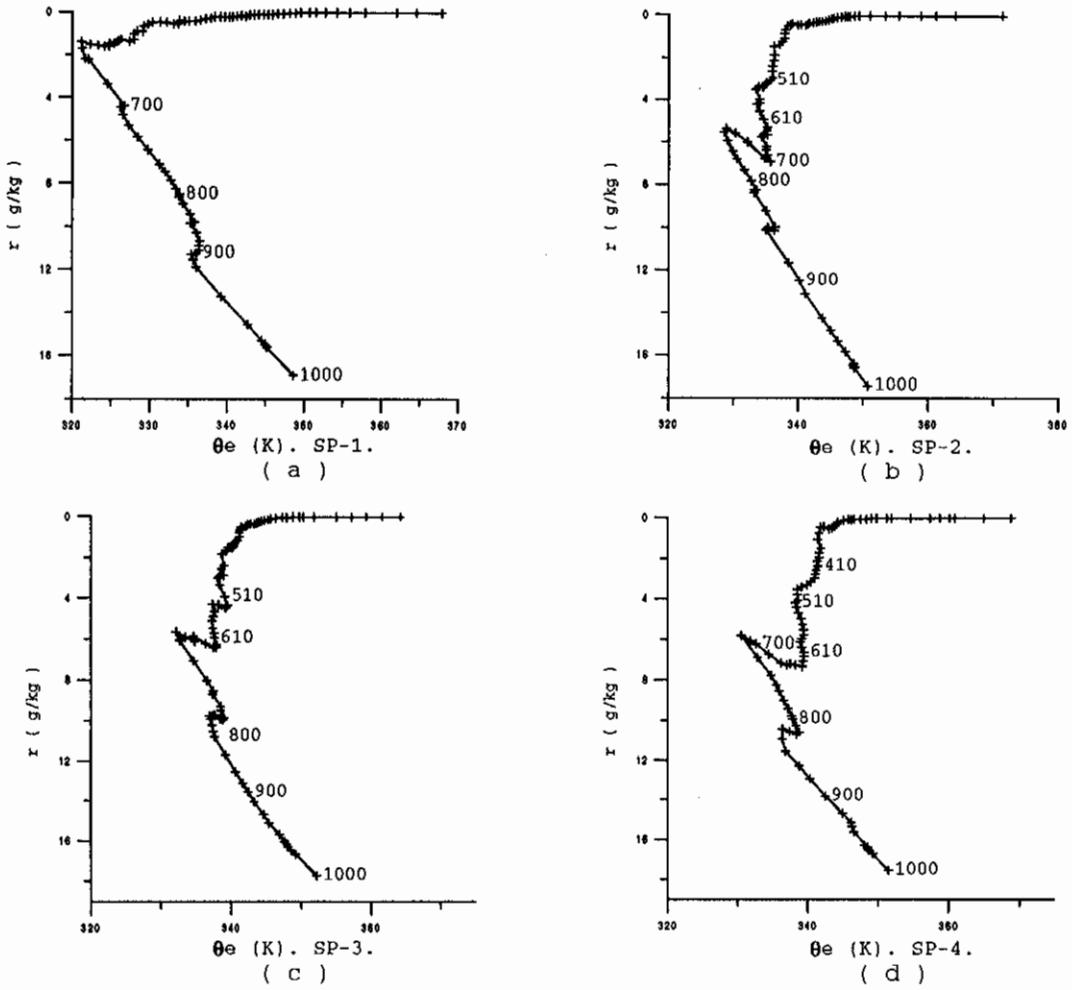


Fig. 4.22 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 06 UTC para Alcantara durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c) e SP-4(d).

Alcantara 12 UTC

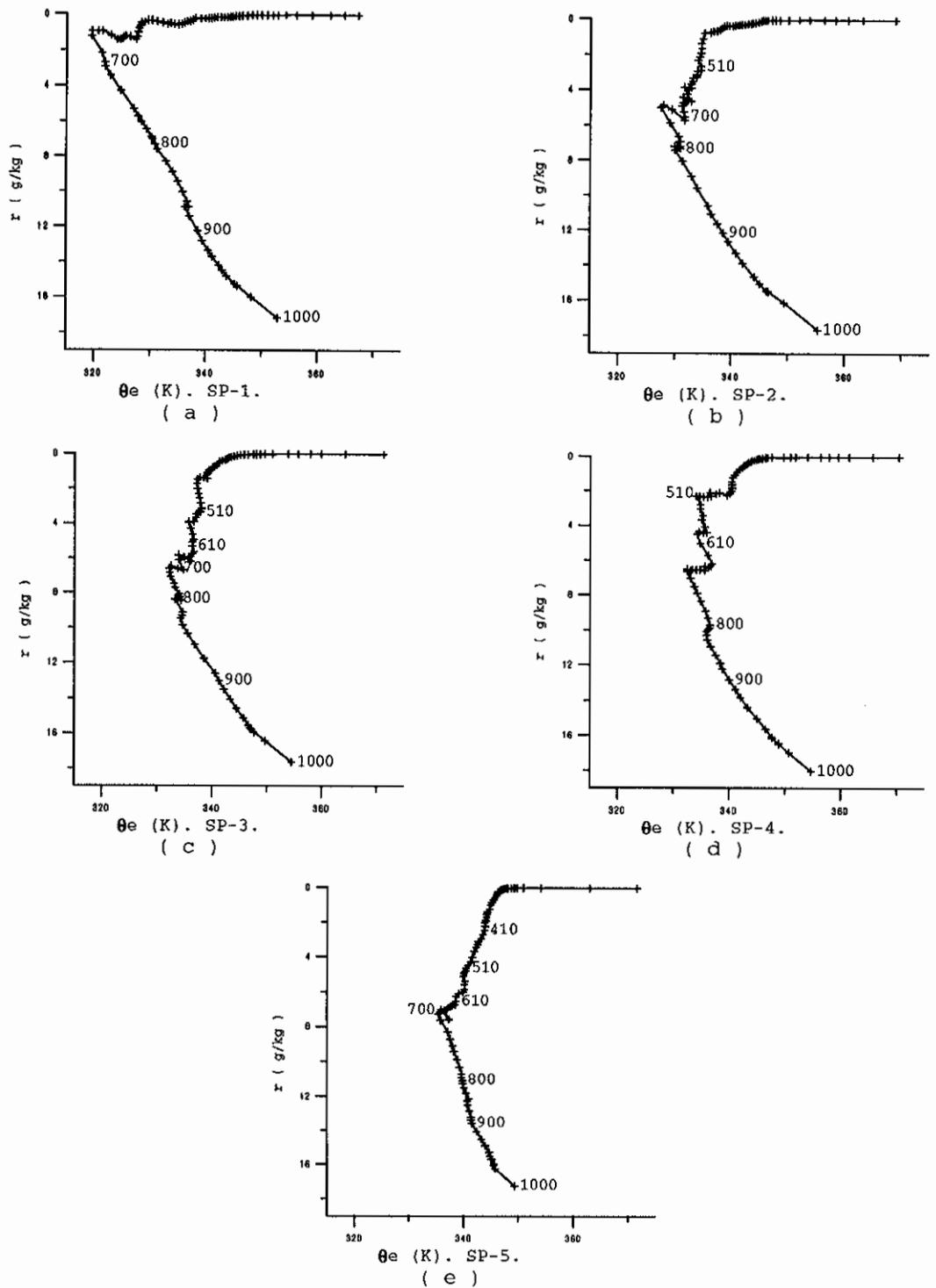


Fig. 4.23 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 12 UTC para Alcantara durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Alcantara 18 UTC

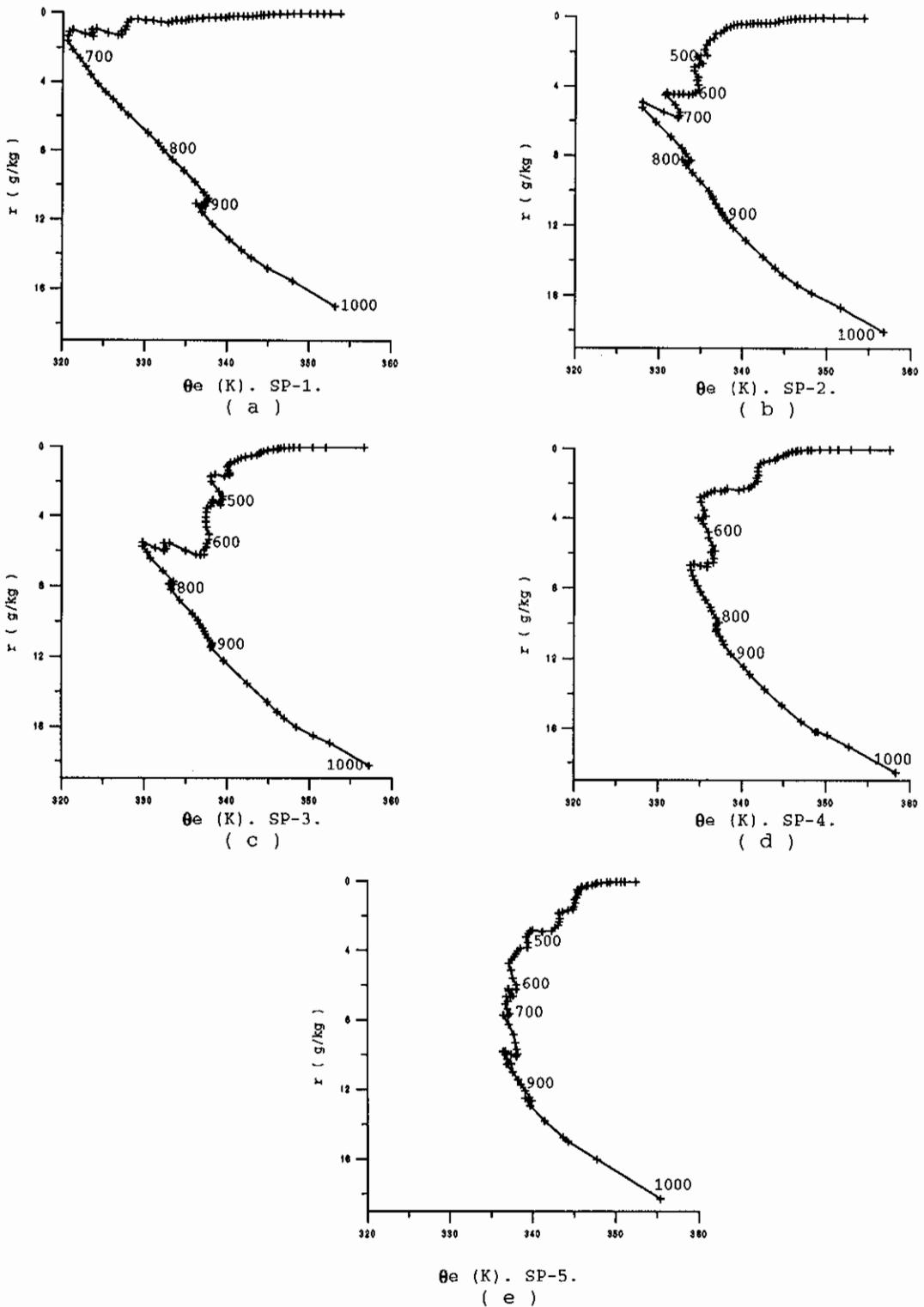


Fig. 4.24 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 18 UTC para Alcantara durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Na Tabela 4.5 está registrado o topo da CLC, estimado como nas estações anteriormente analisadas, para cada subperíodo e média horária. Devido a ausência de dados não foi possível estimar o topo da CLC de SP-5 às 06 UTC.

TABELA 4.5 - TOPO DA CLC PARA ALCANTARA-MA, PARA CADA MÉDIA HORÁRIA E RESPECTIVOS SUBPERÍODOS, ESTIMADO PELA ALTURA EM QUE COINCIDEM A INVERSÃO TOTAL DA LM E O MÍNIMO DE P.

TOPO DA CLC (p (hPa))					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5
00	650	500	450	450	450
06	650	400	400	400	X
12	650	550	450	400	400
18	650	500	450	450	400

Na Tabela 4.6 nota-se que o nível de origem da parcela subsidente sobre a CLC está mais profundo às 12 UTC. Contudo, o resfriamento da parcela, $\Delta\theta_v$, é um pouco maior no horário seguinte (18 UTC) com cerca de 0.3 K a mais que em 12 UTC. Lembrando que a taxa de resfriamento θ_r é a mesma em todos os horários, sugere-se que em 18 UTC a parcela resfriou mais porque levou mais tempo ($\Delta t \approx 14$ dias), com menor velocidade ω (24 hPa.dia⁻¹), que no horário anterior. A menor profundidade do nível de origem do ar subsidente é encontrada às 06 UTC (03 HLL). Neste horário nota-se que a parcela possui uma velocidade alta e leva pouco tempo em subsidência, resultando em um pequeno resfriamento de aproximadamente -19 K. Observa-se que os valores de Δp_{ns} variaram entre 219 e 250 hPa. Neste estudo, es-

tes valores são os mais altos encontrados entre as estações litoraneas.

TABELA 4.6 - PARÂMETROS DO PONTO DE SATURAÇÃO PARA θ_e NO TOPO DA CLC EM ALCANTARA-MA.

00	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	650	574	-25.2	-76	1.2	321.8	317.9		
SP-5	332	326	-28.4	-6	1.2	345.5	341.2		
	Δp	Δpns	Δtns	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	318	248	3.2	-70	0	-23.7	-23.3	13.3	23.8
06	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	650	583	-21.8	-67	1.5	322.3	317.4		
SP-4*	370	364	-24.5	-6	1.5	341.8	336.5		
	Δp	Δpns	Δtns	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	280	219	2.7	-61	0	-19.5	-19.1	10.9	25.6
12	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	650	566	-28.4	-84	0.9	321.4	318.2		
SP-5	323	316	-31.4	-7	0.9	345.1	341.6		
	Δp	Δpns	Δtns	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	327	250	-3	-77	0	-23.7	-23.4	13.4	24.5
18	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	650	568	-27.5	-82	1	321.2	317.9		
SP-5	325	318	-30.6	-7	1	345.2	341.5		
	Δp	Δpns	Δtns	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	325	250	3.1	-75	0	-24	-23.7	13.5	24

Ressalta-se que devido a ausência de dados não foi possível a análise do último subperíodo, nesta estação. Portanto, tomam-se os parâmetros do subperíodo SP-4 para representar a fase mais chuvosa na média horária de 06 UTC.

4.4. Manaus-AM

4.4.1. Características Médias do Período

Esta localidade também apresenta um conjunto de 113 radiossondagens. Nota-se na Figura 4.25 que não houve variações significativas entre os perfis médios horários da pressão diferencial de saturação.

Segundo Rocha (1991), a região entre Manaus e Alta Floresta esteve constantemente influenciada por aglomerados convectivos (associados aos sistemas extratropicais do hemisfério sul) e pela presença da Alta da Bolívia (a partir do segundo subperíodo). Provavelmente a proximidade destes sistemas meteorológicos, alimentando constantemente a instabilidade necessária aos movimentos convectivos, tenha contribuído para a pouca variação da estrutura termodinâmica, ao longo do dia durante todo o experimento.

A estrutura de tripla camada da CLC (CSS, CS, CE) e a atmosfera livre estiveram, em média, bem confi-

guradas em todos os horários. O topo da camada subsaturada permaneceu em média em $p \approx 900$ hPa. Devido à grande semelhança entre os perfis de P , define-se que o topo médio da camada saturada esteve em torno de 600 hPa. Nota-se que acima deste nível os perfis são decrescentes até 500 hPa, definindo a região da camada de entranhamento. A AL, como no caso de Belém, está representada pelo crescimento de P com a altura.

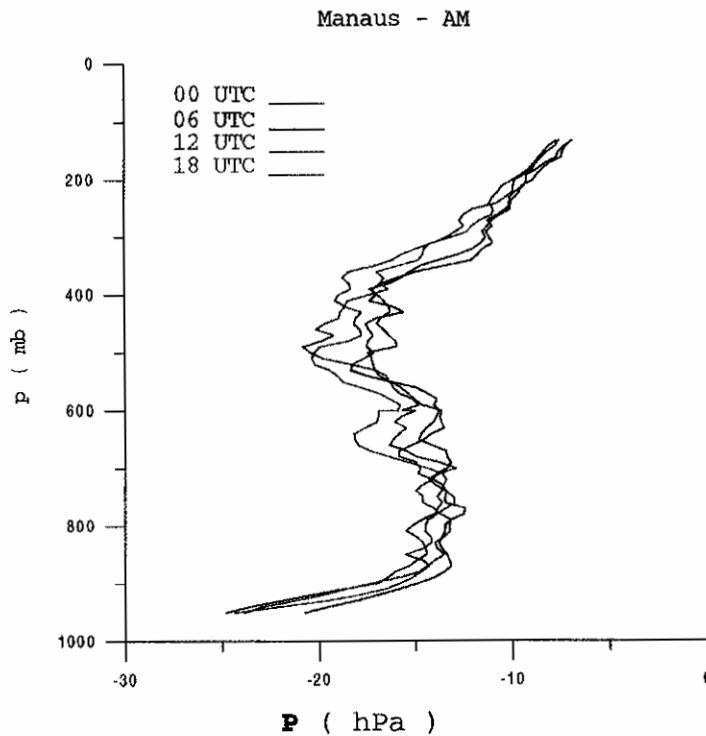


Fig. 4.25 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Manaus-AM em função dos horários de lançamento das radiossondagens.

Analisando-se a Figura 4.26, nota-se um forte agrupamento dos pontos de saturação na camada subsaturada. Isto sugere uma mistura turbulenta mais intensa nesta

região que nos níveis sobrejacentes. Esta característica é difícil de ser observada nos perfis médios de θ_v , θ_e , θ_{es} e r mostrados na Figura 4.27.

Ainda na Figura 4.26, nota-se que a região entre a base da CS e $p \approx 850$ hPa está representada por grandes espaços entre os PSs. Isto provavelmente se deve à maior temperatura do ar, característica da base das nuvens. Logo acima destes níveis, ainda na CS, os pontos de saturação tendem a juntar-se novamente, indicando o resfriamento do ar até o topo da CLC.

Uma estrutura dupla na LM desenvolve-se entre 06 e 12 UTC (onde está mais forte), em torno de 700 hPa. Sugere-se que nuvens cumulus profundas tenham injetado umidade na base da camada de inversão. Como nestes níveis o ar é muito seco, a umidade evapora rapidamente forçando o aumento de θ_e . Nota-se, pela forma da torção, que enquanto θ_e aumenta, a razão de mistura continua decrescente. Isto sugere que a evaporação foi, pelo menos, o processo dominante na formação da estrutura dupla.

No perfil de 18 UTC, notam-se algumas torções na LM (na região da CS), que podem ter sido causadas pela precipitação. Como sugerido na Figura 3.6b, nota-se que nestas torções θ_e é aproximadamente constante enquanto r decresce.

O nível em que coincidem o mínimo de P e a inversão total da LM indicam que o topo da CLC, nas condições médias do experimento, permanece em torno de 500 hPa durante os horários analisados.

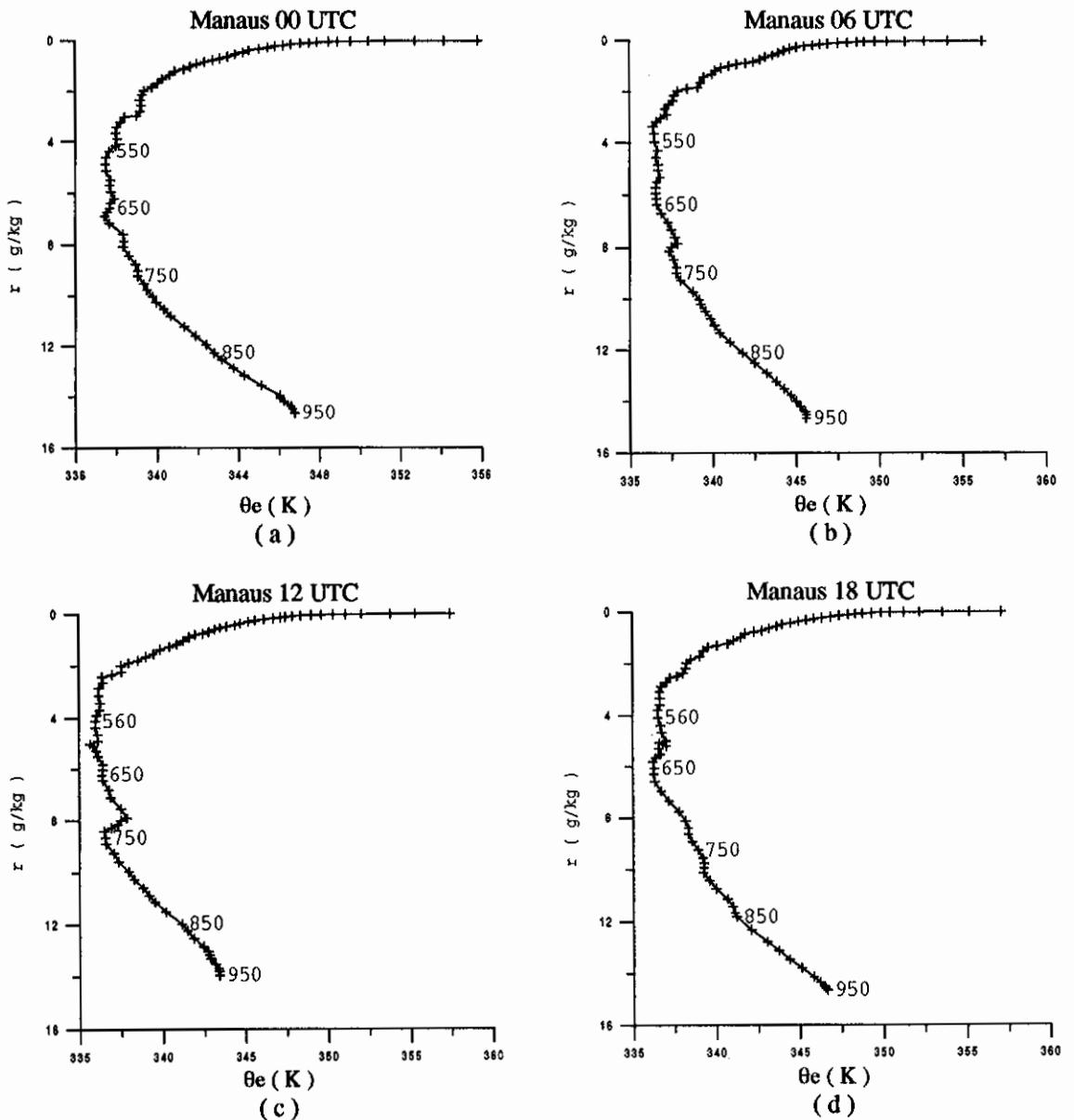


Fig. 4.26 - Diagrama ($\theta_e - r$), médio horário durante o experimento para Manaus durante: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

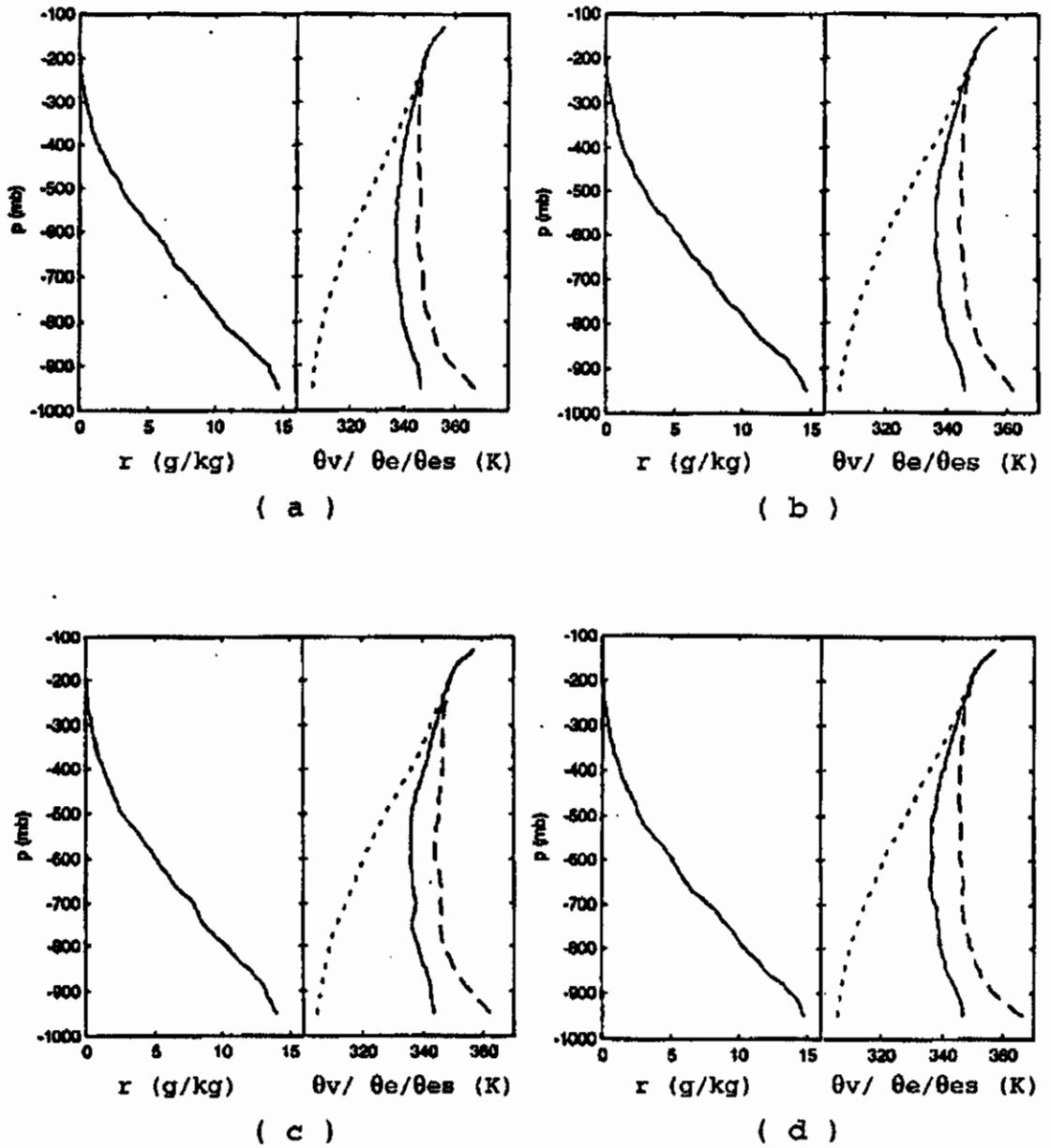


Fig. 4.27 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Manaus durante: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas θ_v (...), θ_e (—) e θ_{es} (- - -).

4.4.2. Características Médias dos Subperíodos.

Analisa-se o perfil médio horário de P (Figura 4.28), com o aumento da precipitação. A intensificação dos movimentos convectivos aumenta a profundidade da camada saturada. A região onde se nota o pequeno máximo de P , na camada de entranhamento, torna-se parte da CS a partir de SP-2. A CE é empurrada para níveis mais altos e fica mais rasa. Nos horários de 00 e 06 UTC, durante o subperíodo mais chuvoso, a CE está bastante intensa, e a pressão diferencial de saturação decresce acentuadamente. Este decréscimo é intenso quando comparado aos horários de 12-18 UTC e aos subperíodos anteriores.

Segundo Rocha (1991), o escoamento em altos níveis, sobre Manaus, esteve predominante de sudoeste, diminuindo de intensidade para o norte. O autor comenta que esta região esteve sob forte influência de aglomerados convectivos e da AB, especialmente no último subperíodo do experimento. Sugere-se que o fluxo do vento médio, em altos níveis, associado ao escoamento da Alta da Bolívia, lançando ar mais seco e frio na camada de entranhamento, tenha aumentado a diferença ($t_{ns}-t$) rapidamente e conseqüentemente o decréscimo de P .

Observa-se, nas Figuras 4.28a-b, que em baixos níveis o perfil de P em SP-5 apresenta valores menores que no subperíodo anterior. Nota-se que $P \approx 0$, em torno de $p \approx 550\text{mb}$. Isto sugere que o último subperíodo (19-

21/12/89) foi caracterizado por uma cobertura de nuvens de nível médio.

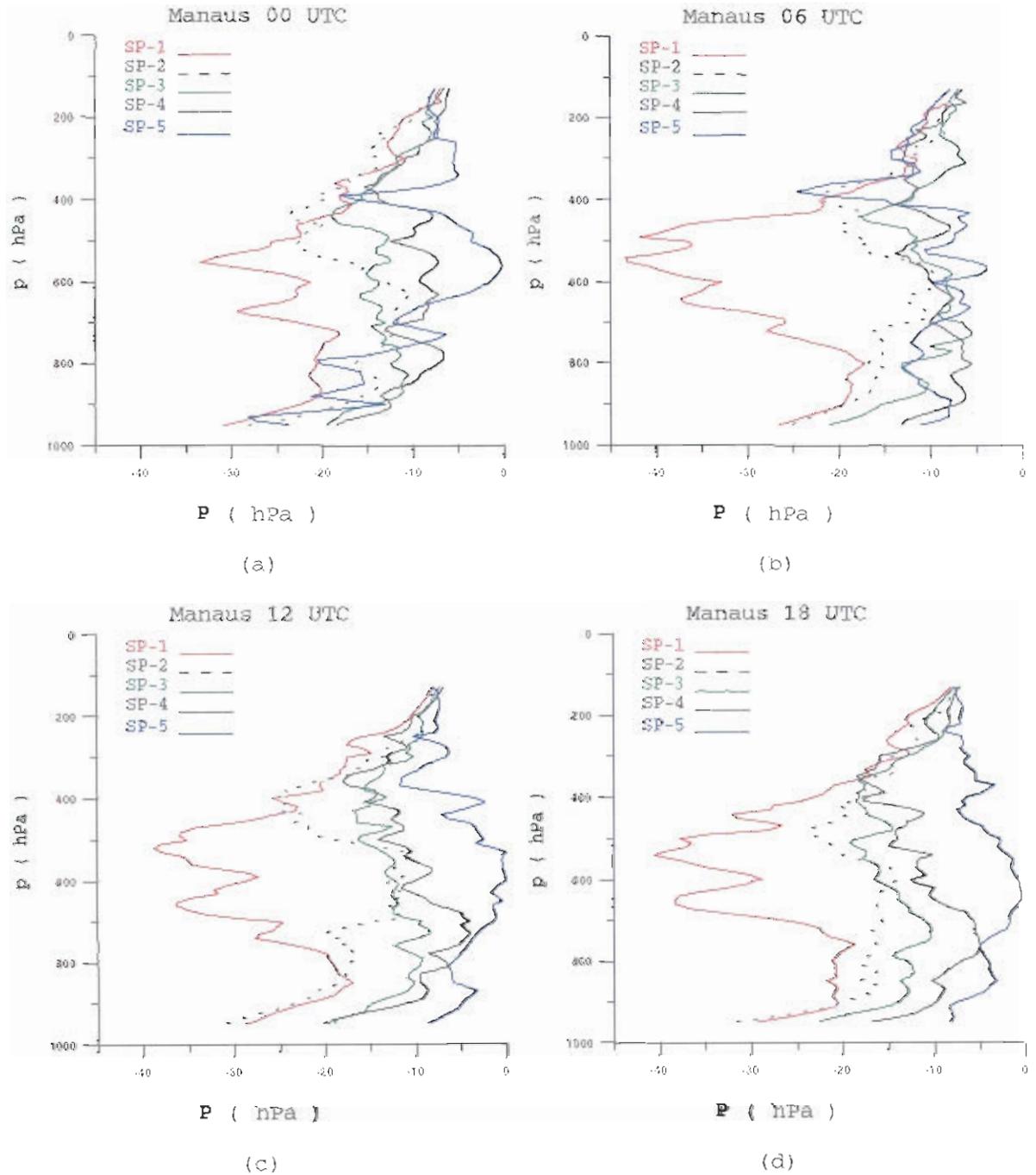


Fig. 4.28 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Manaus-AM durante cada subperíodo em: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

Comparando-se as características acima mencionadas com a estrutura da LM para o mesmo subperíodo e horário (Figura 4.29e) sugere-se que a propagação de aglomerados convectivos (que segundo Rocha (1991) começou em 19/12, atingindo o litoral em 20/12) tenha provocado um efeito semelhante ao de uma **friagem**. Isto explica a secagem em baixa troposfera registrada pelos mínimos P , θ_e e r .

A inclinação média da LM entre a superfície e $p \approx 600$ hPa é considerada, neste caso, atípica em relação ao padrão observado em outras médias, bem como em trabalhos anteriores (como os de Betts e Albrecht, 1987; Parasnis e Morwal, 1991). Em 06 UTC (02 HLL), os valores de P no perfil atmosférico em SP-5 permaneceram abaixo de -5 hPa. Provavelmente, isto ocorre pela redução da nebulosidade com conseqüente aumento do resfriamento. Como observado na estação de Belém, acima de 200 hPa todos os perfis médios tendem a $P \approx -7.5$ hPa.

Analisa-se a estrutura da linha de mistura nas Figuras 4.29-4.32. Nota-se inicialmente que as estruturas duplas na LM, entre a base e topo da CS, são mais frequentes a partir do segundo subperíodo. Sugere-se que o processo de evaporação da precipitação é o principal mecanismo atuante na formação das estruturas duplas. Devido ao fato de se estar trabalhando com médias, as estruturas duplas devido a precipitação são pouco notadas. Este tipo de formação é especialmente notada nas Figuras 4.29a-4.29d, 4.30a e 4.32b. Particularmente, no primeiro subperíodo em 00 UTC este tipo de estrutura dupla acontece abaixo da base da segunda camada saturada (na CE, em torno de 750 hPa).

Manaus 00 UTC

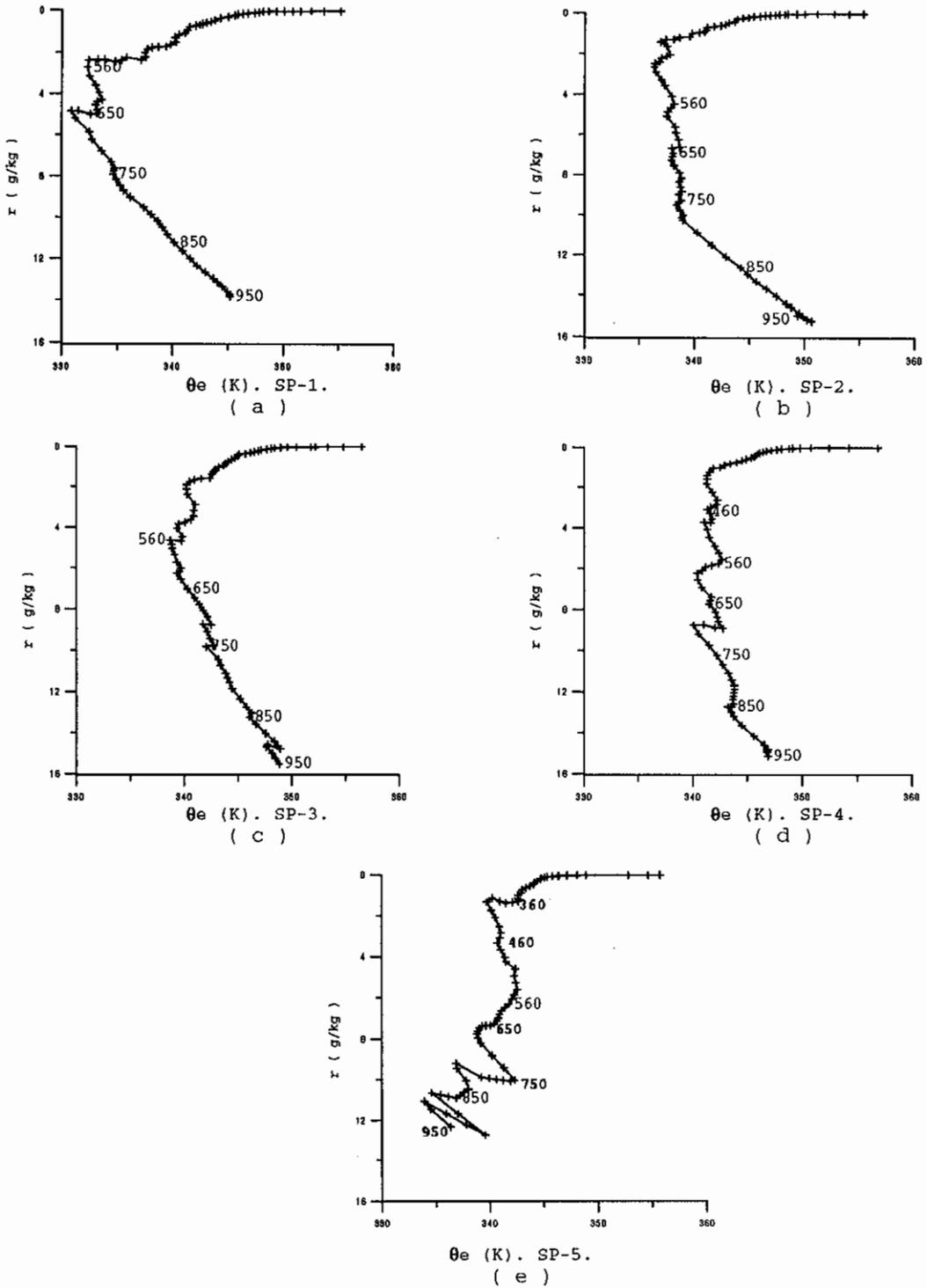


Fig. 4.29 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 00 UTC para Manaus durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Manaus 06 UTC

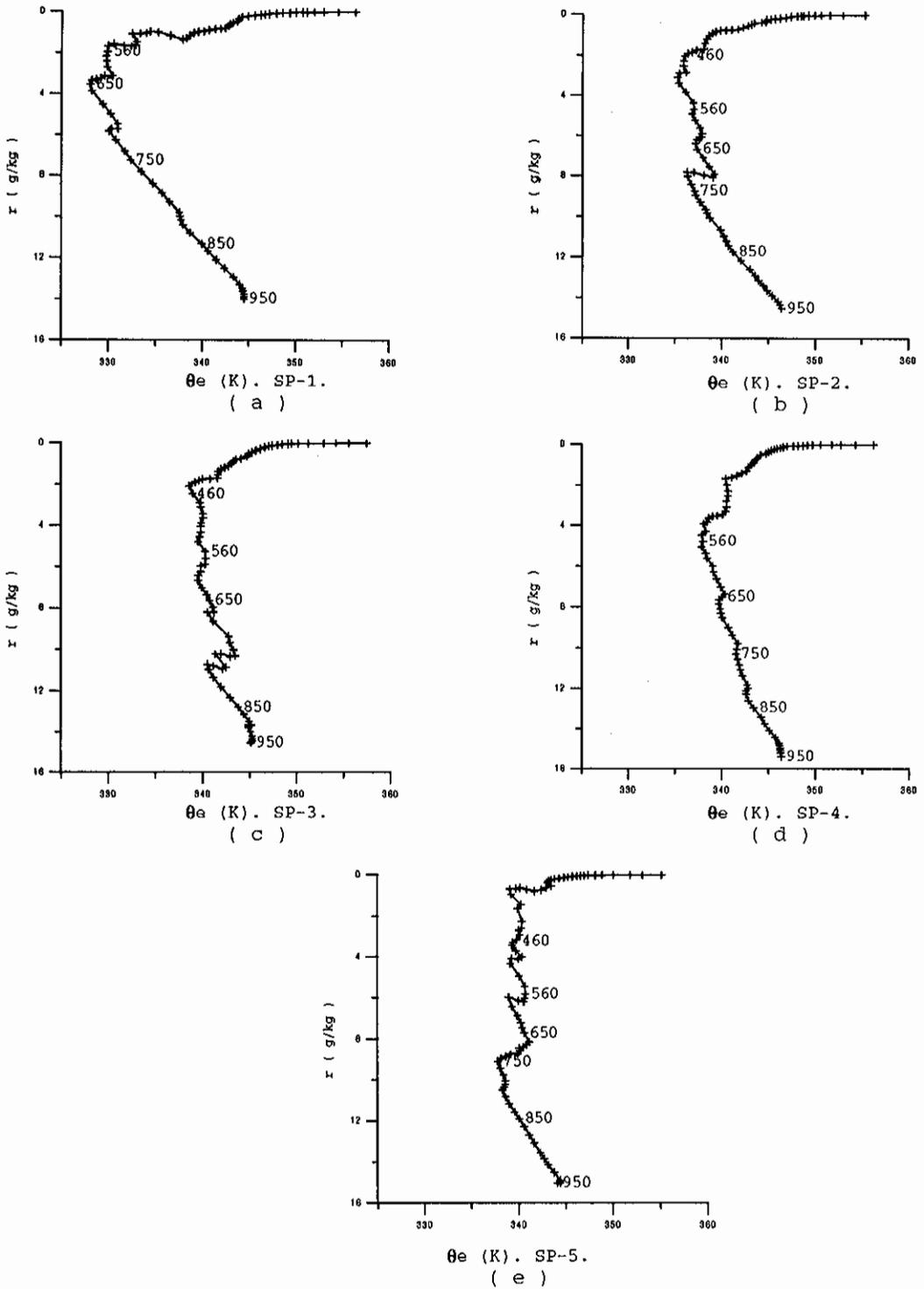


Fig. 4.30 - Diagrama (θ_e - r) médio horário das 06 UTC para Manaus durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Manaus 12 UTC

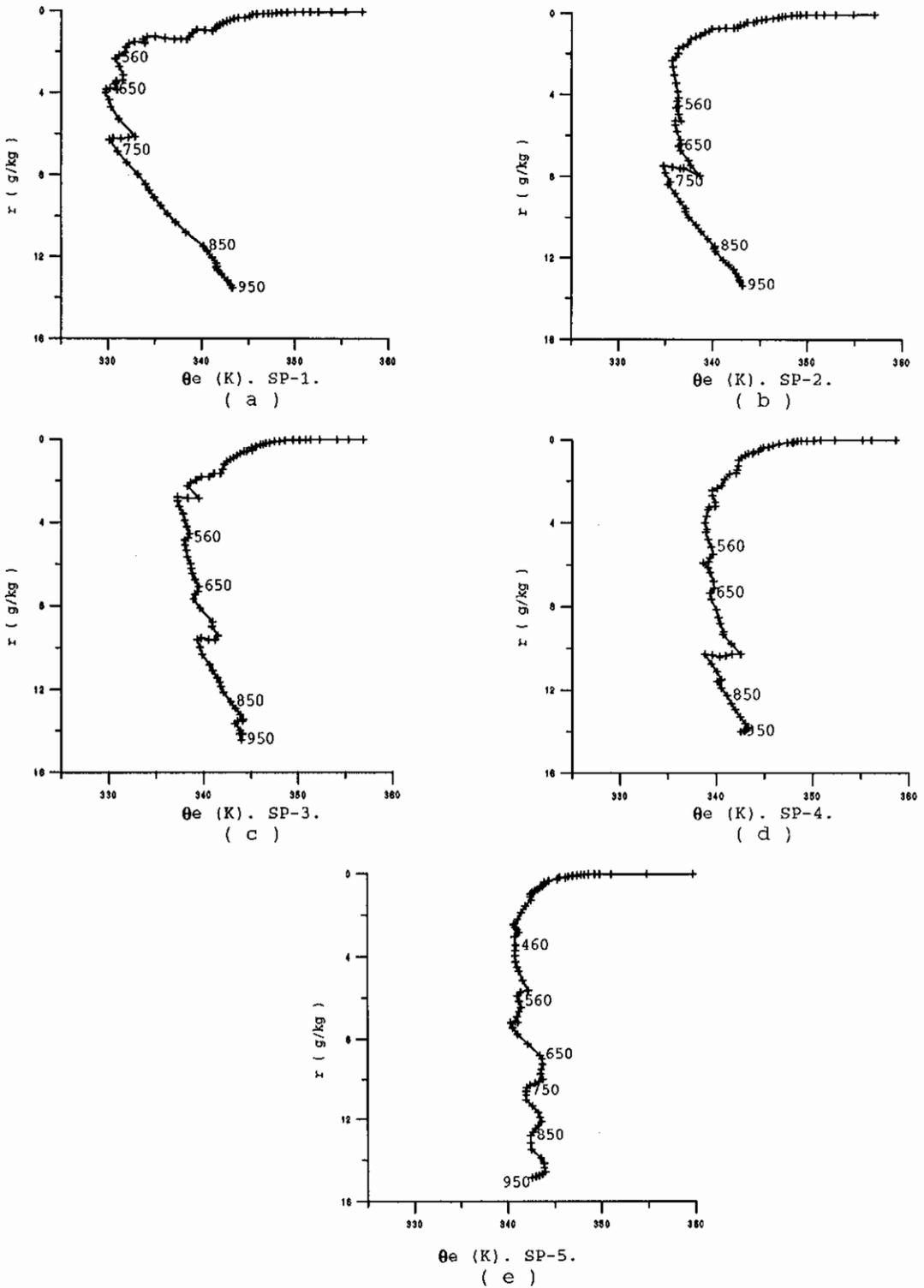


Fig. 4.31 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 12 UTC para Manaus durante os subperíodos SP-1(a); SP-2 (b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Manaus 18 UTC

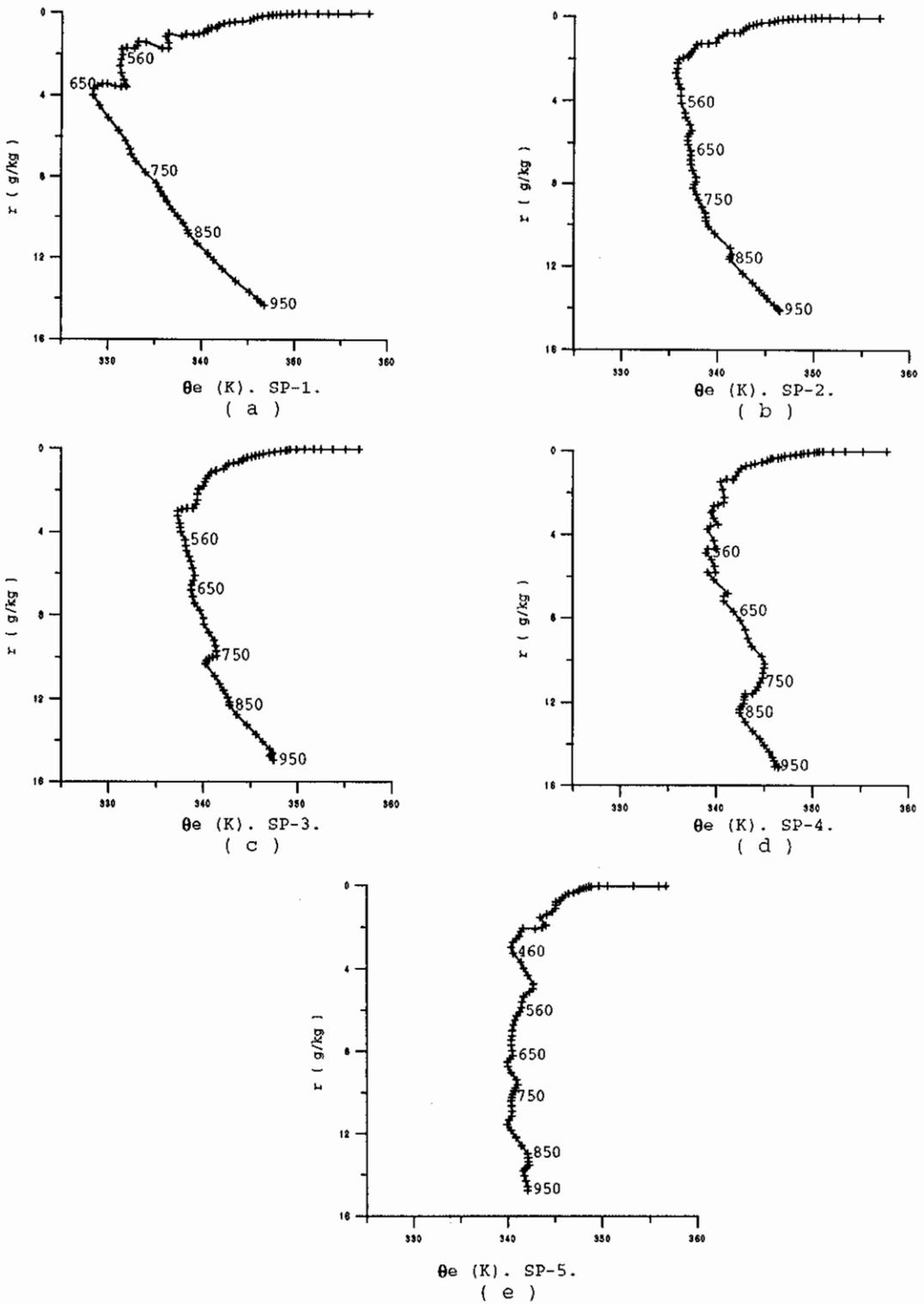


Fig. 4.32 - Diagrama (θ_e - r) médio horário das 18 UTC para Manaus durante os subperíodos SP-1(a); SP-2(b); SP-3(c); SP-4(d) e SP-5(e).

Observa-se que, exceto na ocorrência de processos diabáticos, a CSS esta representada por forte agrupamento dos pontos de saturação, indicando a presença de forte mistura.

O topo da CLC em cada média horária (e seus respectivos subperíodos) estão na Tabela 4.7.

TABELA 4.7 - TOPO DA CLC PARA MANAUS-AM, PARA CADA MÉDIA HORÁRIA E SEUS RESPECTIVOS SUB-PERÍODOS, ESTIMADO PELA ALTURA EM QUE O MÍNIMOS P E A INVERSÃO TOTAL DA LM COINCIDEM.

TOPO DA CLC (p (hPa))					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5
00	550	450	450	400	400
06	550	500	450	500	400
12	550	500	500	500	400
18	550	500	500	450	450

A Tabela 4.8, mostra os parâmetros do PS para θ_e no topo da CLC. Observa-se que em 18 UTC as parcelas tem se originado de níveis mais profundos na atmosfera (em torno de 165 hPa acima do topo da CLC) em relação aos horários anteriores. Nota-se que o nível de origem do ar subsidente eleva-se entre as primeiras horas do dia, 06 UTC (02 HLL), e o início da tarde, 18 UTC (14 HLL) onde alcança a diferença máxima de Δp . Porém, no início da noite, 00 UTC (20 HLL), há um acentuado decréscimo desta diferença.

Explica-se isto da seguinte maneira: o ar mais seco e frio despejado sobre a CLC, por influência da AB, intensifica a Camada de Entranhamento no último subperíodo (Figura 3.28a). Devido ao enfraquecimento dos movimentos convectivos, o topo da CLC é, então, rebaixado. Assim no último subperíodo, deve-se encontrar parcelas de ar com umidade r (igual a encontrada no topo da CLC em SP-1) em níveis mais baixos. O cálculo de Δp_{ns} mostra que o nível de origem do ar subsidente no topo da CLC está entre 99 e 132 hPa acima de seu nível de resfriamento.

TABELA 4.8 - PARÂMETROS DO PONTO DE SATURAÇÃO PARA θ_e NO TOPO DA CLC EM MANAUS-AM.

00 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	550	517	-16.5	-33	2.4	332.4	324.6		
SP-5	426	418	-17.6	-8	2.4	340.8	332.7		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	124	99	1.1	-25	0	-8.4	-8.1	4.6	26.7
06 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	550	507	-21.4	-43	1.7	330	324.3		
SP-5	411	397	-22.7	-14	1.7	340	334.1		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	139	110	1.3	-29	0	-10	-9.8	5.6	24.9
12 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	tns (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	550	515	-17.7	-35	2.2	331.1	323.9		
SP-5	399	395	-19.1	-4	2.2	341.1	333.6		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	151	120	1.4	-31	0	-10	-9.7	5.5	27.2

(Continua)

TABELA 4.8 - Conclusão.

18 UTC	p (hPa)	pns (hPa)	t _{ns} (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
SP-1	550	512	-18.7	-38	2	331.5	324.7		
SP-5	385	380	-20	-4	2	343.3	336.2		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	165	132	1.7	-34	0	-11.8	-11.5	6.6	25.1

4.5. Alta Floresta-MT.

4.5.1. Características Médias do Período.

Para esta localidade foram feitas médias sobre um total de 110 radiossondagens. Analisam-se o perfil médio de P, a estrutura média da Linha de Mistura, e os perfis médios das variáveis conservativas (θ_e , θ_{es} , θ_v e r) nas Figuras 4.33, 4.34 e 4.35, respectivamente. Tratando-se destes últimos encontrou-se as mesmas dificuldades de análise observadas para as estações litorâneas.

Segundo Rocha (1991), a região sul do experimento foi dominada por intensa atividade convectiva apresentando também um máximo de precipitação quase tão intenso quanto em Oiapóque.

Observa-se na Figura 4.33 que se estabelece uma camada de inversão superficial noturna, em torno de 930 hPa, que domina até 12 UTC (09 HLL). Acima de 900 hPa a

pressão diferencial de saturação aumenta até 800 hPa, às 18 UTC, e até 600 hPa entre 00-12 UTC. A partir destes níveis, P torna-se aproximadamente constante com a altura. Sugere-se que a base média da Camada Saturada tenha permanecido nestes níveis. Nestas médias não é possível definir a Camada de Entranhamento.

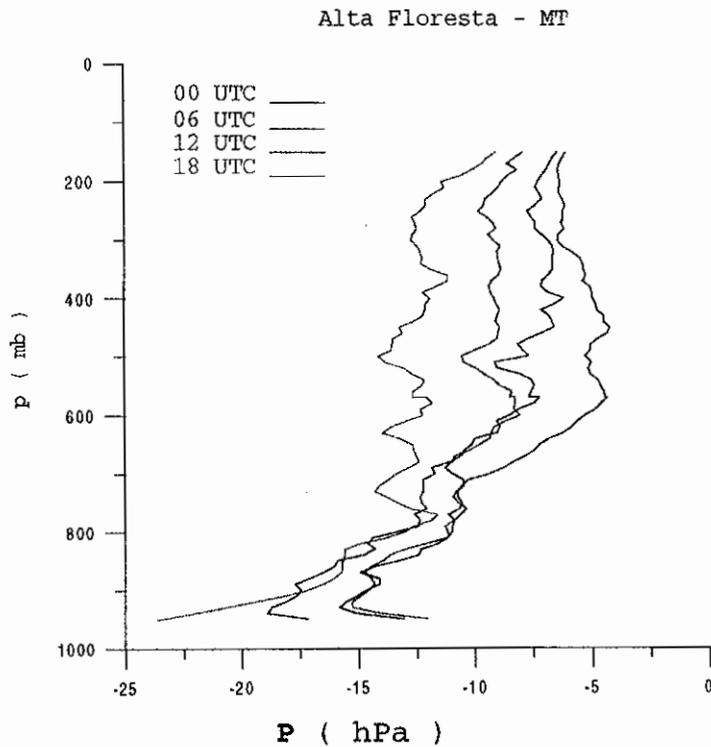


Fig. 4.33 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alta Floresta-MT em função dos horários de lançamento das radiossondagens.

Na Figura 4.34 também nota-se que a Camada de Entranhamento não está definida. A estrutura da Linha de Mistura está bastante suavizada em todos os horários.

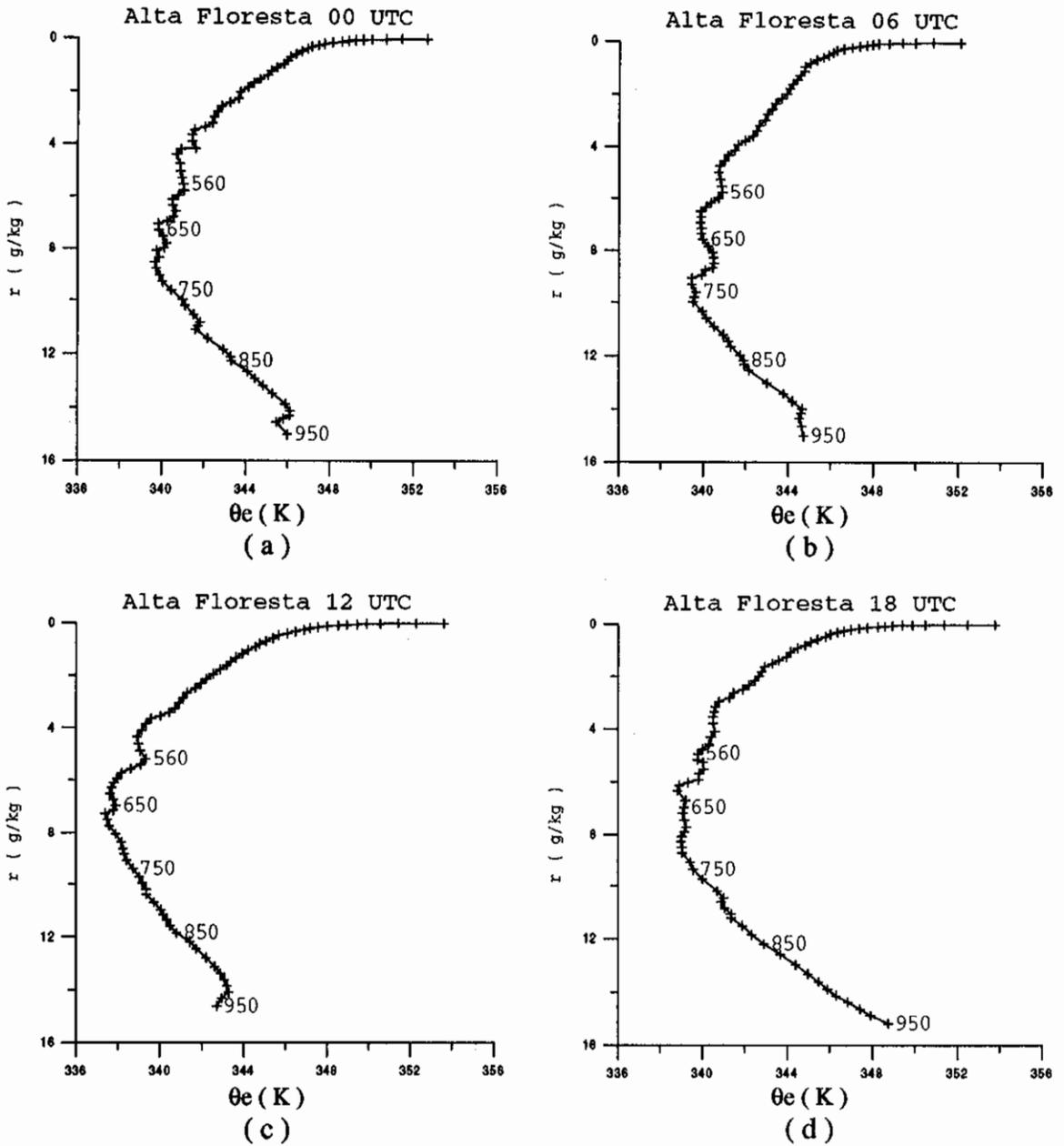


Fig. 4.34 - Diagrama ($\theta_e - r$), médio horário durante o experimento para Alta Floresta durante: a) 00 UTC; b) 06 UTC; c) 12 UTC e d) 18 UTC.

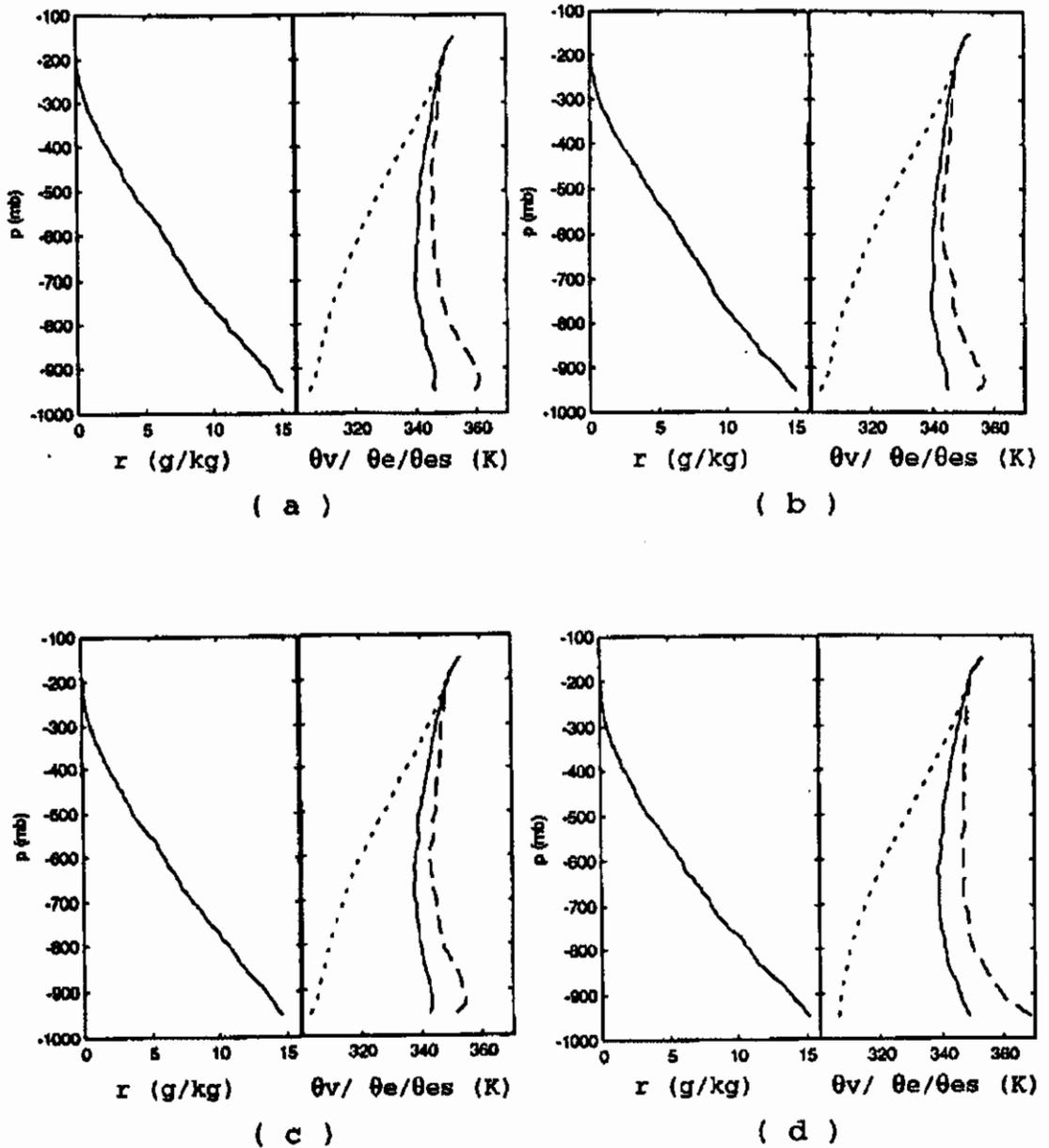


Fig. 4.35 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para Alta Floresta durante: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC. O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas θ_v (...), θ_e (—) e θ_{es} (- - -).

A inversão total da LM acentua-se somente acima de 400 hPa. Sugere-se, portanto, que devido a intensificação dos movimentos convectivos — transportando constantemente umidade, calor e momentum para a base da CE — tenha enfraquecido a mesma de tal forma que esta não pode ser notada nestas médias. As estruturas duplas da LM não aparecem com clareza nestas médias. Entretanto, as pequenas torções na LM notadas nas Figuras 4.34(a e d), em torno de 800 hPa, sugerem a ocorrência de precipitação. Também notam-se pequenas torções na LM acima de 950 hPa que podem ser devido a resfriamento superficial.

4.5.2. Características Médias dos Subperíodos

Analisa-se as médias horárias (de cada subperíodo) do perfil de **P** (Figura 4.36), e da estrutura da Linha de Mistura (Figura 4.37-4.40).

Observa-se que em geral a pressão diferencial de saturação nos subperíodos SP-2 à SP-4 (em todos os horários) aumenta com a altura até 500 hPa. O mesmo não ocorre para SP-1 e SP-5. Segundo Rocha (1991), desde o início do experimento havia uma região de fortes movimentos convectivos no centro-oeste do Brasil. No decorrer do experimento esta zona intensificou-se. Isto explica o fato de SP-1 ser caracterizado, no perfil de **P** (exceto em 06 UTC), por duas camadas saturadas. Também neste subperíodo a CE está caracterizada pelo mínimo **P** sobre a segunda camada saturada.

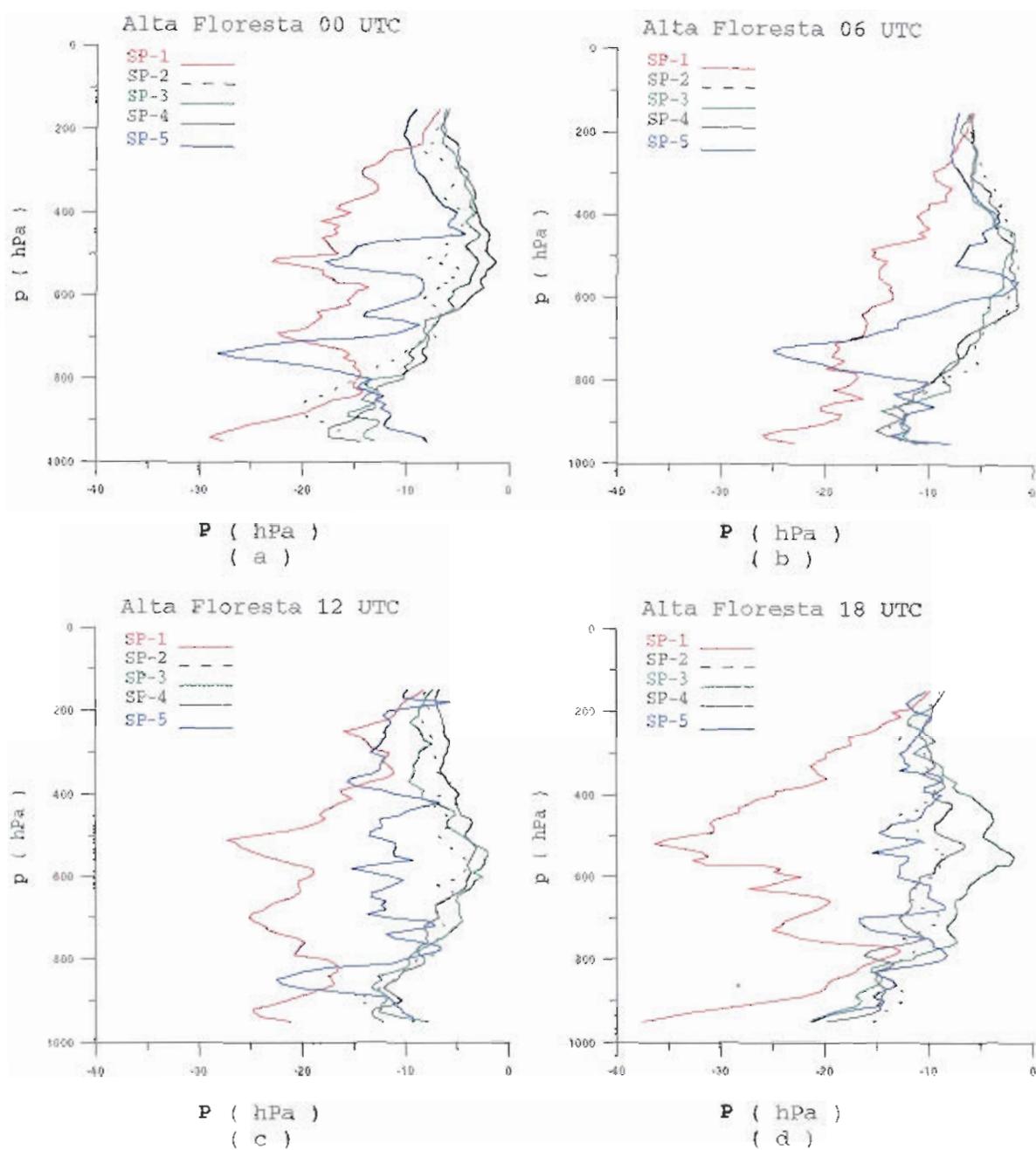


Fig. 4.36 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário para Alta Floresta - MT durante cada subperíodo em: a) 00UTC; b) 06UTC; c) 12UTC e d) 18UTC.

Alta Floresta 00 UTC

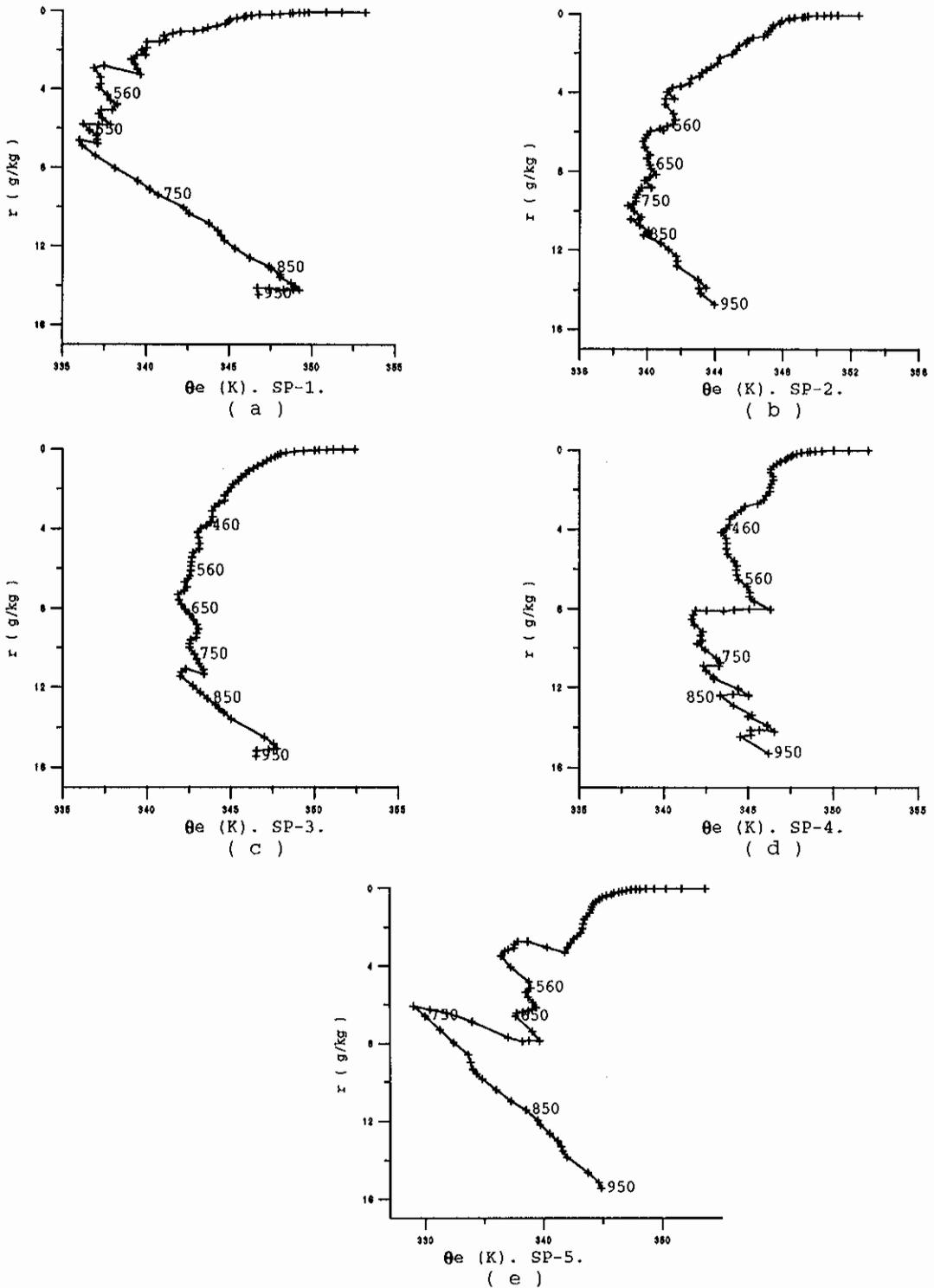


Fig. 4.37 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 00 UTC para Alta Floresta durante os subperíodos chuvosos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.

Alta Floresta 06 UTC

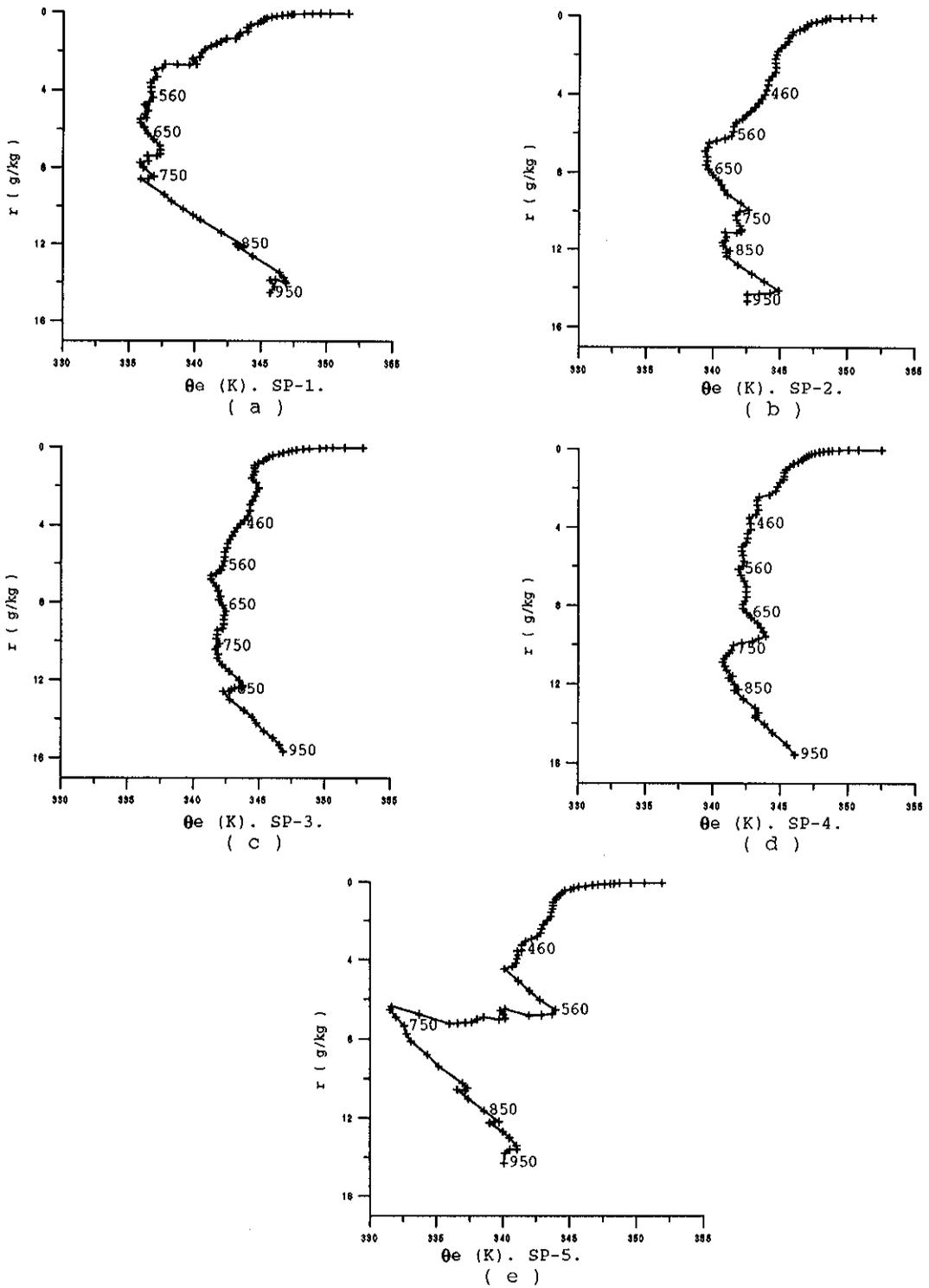


Fig. 4.38 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 06 UTC para Alta Floresta durante os subperíodos chuvosos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.

Alta Floresta 12 UTC

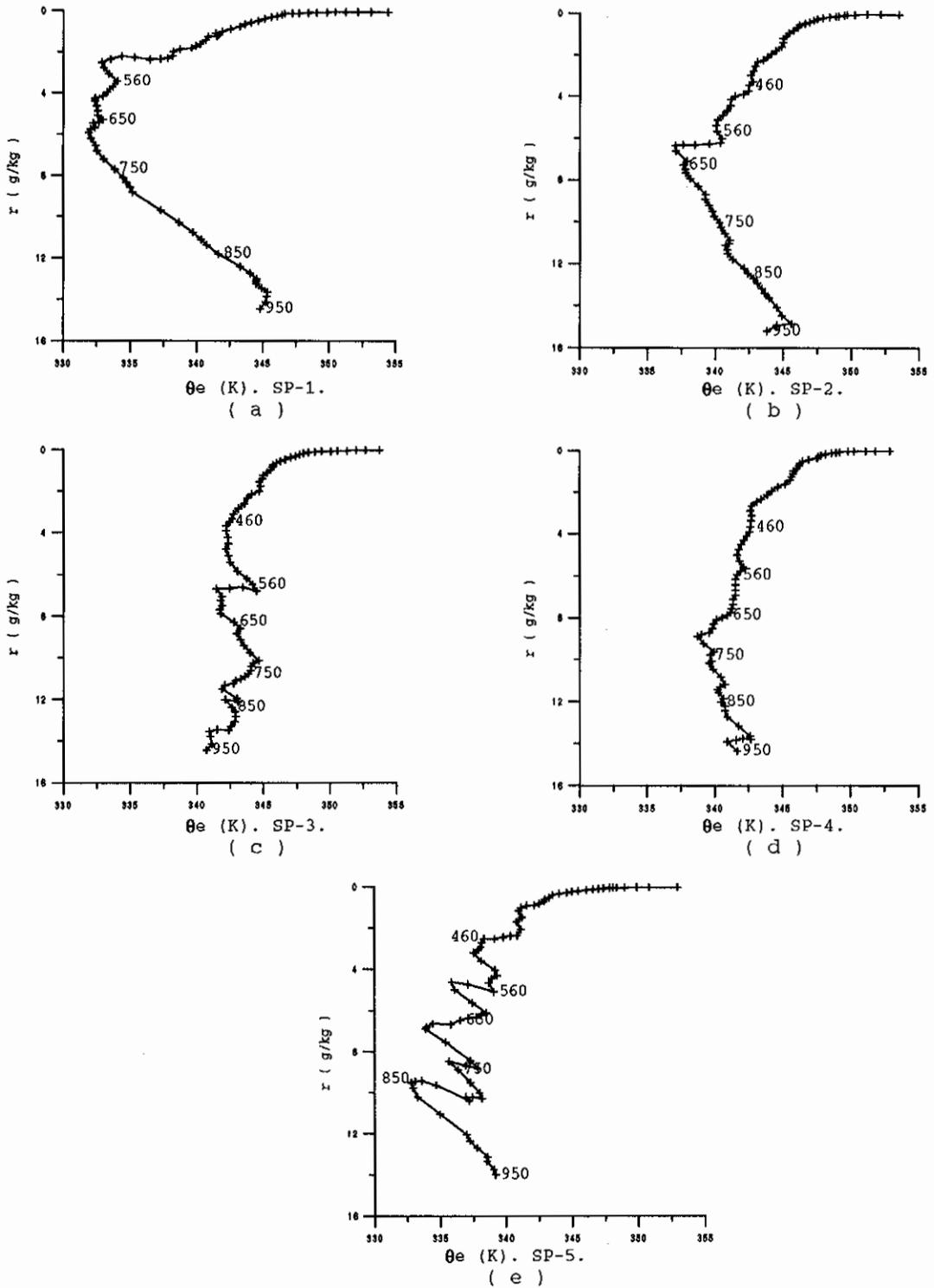


Fig. 4.39 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 12 UTC para Alta Floresta durante os subperíodos chuvosos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.

Alta Floresta 18 UTC

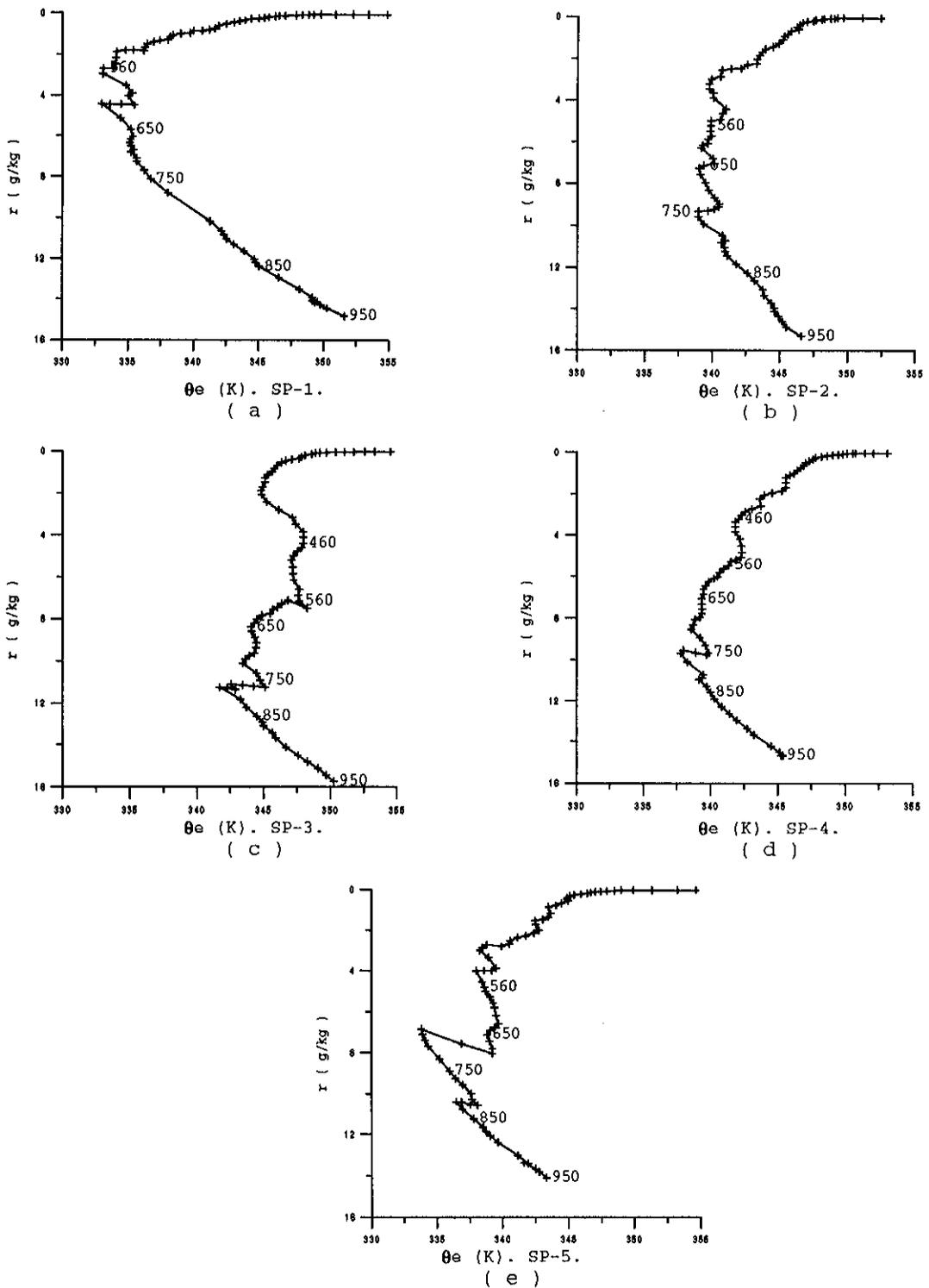


Fig. 4.40 - Diagrama ($\theta_e - r$) médio horário das 18 UTC para Alta Floresta durante os subperíodos chuvosos: a) SP-1; b) SP-2; c) SP-3; d) SP-4 e e) SP-5.

Rocha (1991) comenta que o último subperíodo do experimento foi o mais importante. A propagação de um aglomerado convectivo (entre os dias 19-21/12/89), aparentemente associado a um sistema extratropical, provocou os maiores índices pluviométricos diários. Ressalta-se, contudo, que o perfil vertical médio de P , em SP-5, deve estar **mascarando** características dos estados anterior e pós-passagem do sistema convectivo. Com isso, a aparente **seca-gem** sugerida na Figura 4.36, bem como a forte camada estável em baixos níveis (Zipser, 1977), devem ser o reflexo do estado termodinâmico do período pós-passagem do aglomerado convectivo.

A Camada Estável está bem representada pela Linha de Mistura em ambos os subperíodos SP-1 e SP-5 — exceto às 18UTC, quando a mistura convectiva torna-se mais ativa devido o aquecimento superficial. Nota-se que a influência da segunda camada saturada (entre aproximadamente 700-500 hPa) sobre a inversão total da LM é permanente ao longo do dia. As estruturas duplas encontradas abaixo desta camada sugerem a ação dos processos combinados de precipitação-evaporação da precipitação, especialmente a forte inversão no subperíodo mais chuvoso.

A Tabela 4.9 mostra o topo da Camada Limite Convectiva estimado visualmente pelo nível em que coincidem a inversão total da LM com o valor mínimo de P . Contudo, para o caso de SP-5, a comparação com o nível do mínimo P foi desconsiderada em todos os horários estudados devido a forte camada estável em baixos níveis.

TABELA 4.9 - TOPO DA CLC PARA ALTA FLORESTA-MT, EM FUNÇÃO DE CADA MÉDIA HORÁRIA E DE SEUS RESPECTIVOS SUBPERÍODOS, ESTIMADO PELA ALTURA DA INVERSÃO TOTAL DA LM.

TOPO DA CLC (p (hPa))					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5
00	500	500	500	500	500
06	500	400	400	400	400
12	500	500	450	450	400
18	500	500	350	500	500

Na Tabela 4.10 observa-se que a profundidade do nível de origem do ar subsidente sobre a CLC, entre as fases seca e chuvosa do experimento, aumenta continuamente entre 00 e 18 UTC. O mesmo é notado para o resfriamento, $\Delta\theta_v$, da parcela durante a subsidência. Isto provavelmente se deve pelo fato da parcela levar um período de tempo Δt cada vez maior entre estes horários. Apesar disto, a velocidade de subsidência ω não apresenta padrão algum entre os horários estudados. Nota-se, somente, que a menor velocidade é encontrada às 06 UTC (03 HLL) e a maior no horário anterior, às 00 UTC.

Neste estudo considera-se que as estações de Manaus e Alta Floresta são representativas do interior da Amazônia. Entretanto, observa-se que em Alta Floresta encontra-se os menores valores de Δp_{ns} (entre 40 e 84 hPa). Estes valores são compatíveis com os resultados de Betts e Albrecht (1987) e de Parasnis e Morwal (1991).

TABELA 4.10 - PARÂMETROS DO PONTO DE SATURAÇÃO PARA θ_e NO TOPO DA CLC EM ALTA FLORESTA-MT.

00	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	500	483.4	-12.7	-16	3.2	339.6	329		
SP-5	448	443.2	-13	-4	3.2	341.9	331.1		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	52	40	0.3	-12	0	-2.3	-2.1	1.2	42.4
06	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	500	485	-13.6	-15	3	336.9	327.1		
SP-5	438	434	-14.3	-5	3	341.8	331.8		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	62	51	0.7	-10	0	-4.9	-4.7	2.7	23
12	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	500	476	-17.8	-24	2.3	335.3	327.8		
SP-5	416	409	-18.5	-7	2.3	341	333.3		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	84	67	-0.7	-17	0	-5.7	-5.5	3.1	26.7
18	p	pns	tns	P	r	θ_e	θ_v		
UTC	(hPa)	(hPa)	(°C)	(hPa)	(g/kg)	(K)	(K)		
SP-1	500	467	-21.2	-33	1.8	335.4	329.2		
SP-5	393	383	-22.2	-10	1.8	342.6	336.3		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	107	84	1	-23	0	-7.2	-7.1	4.1	26.4

4.6. Estrutura Termodinâmica da Atmosfera durante o Experimento RBLE - 3

Considerando as condições meteorológicas, mencionadas anteriormente (no Tópico 3.2), a análise do perfil atmosférico é realizada unicamente sobre as médias referentes aos horários de lançamento das radiossondagens (03, 09, 12, 15, 18, e 21 UTC). Durante a análise notou-se que na maior parte do perfil atmosférico não ocorriam variações significativas entre as médias horárias, em ambas as estações de **PASTAGEM** e **FLORESTA**. Isto é observado, principalmente, nos perfis médios da pressão diferencial de saturação. Assim, optou-se por uma análise comparativa entre as citadas regiões como se segue.

4.6.1 Estrutura Média do Perfil Atmosférico sobre as Estações de PASTAGEM e FLORESTA

Na Figura 4.41 apresenta-se o perfil atmosférico médio horário de **P**; nas Figuras 4.42-4.43 mostra-se a estrutura média da Linha de Mistura e nas Figuras 4.44-4.45 mostra-se os perfis das variáveis conservativas (r , θ_v , θ_e e θ_{es}) durante o experimento.

Em ambas as estações de **PASTAGEM** e **FLORESTA**, o perfil médio de **P** e a estrutura média da LM variam muito pouco. Nota-se, contudo, que em geral a estrutura de tripla camada da Camada Limite Convectiva (CSS, CS e CE) está bem definida em todas as médias.

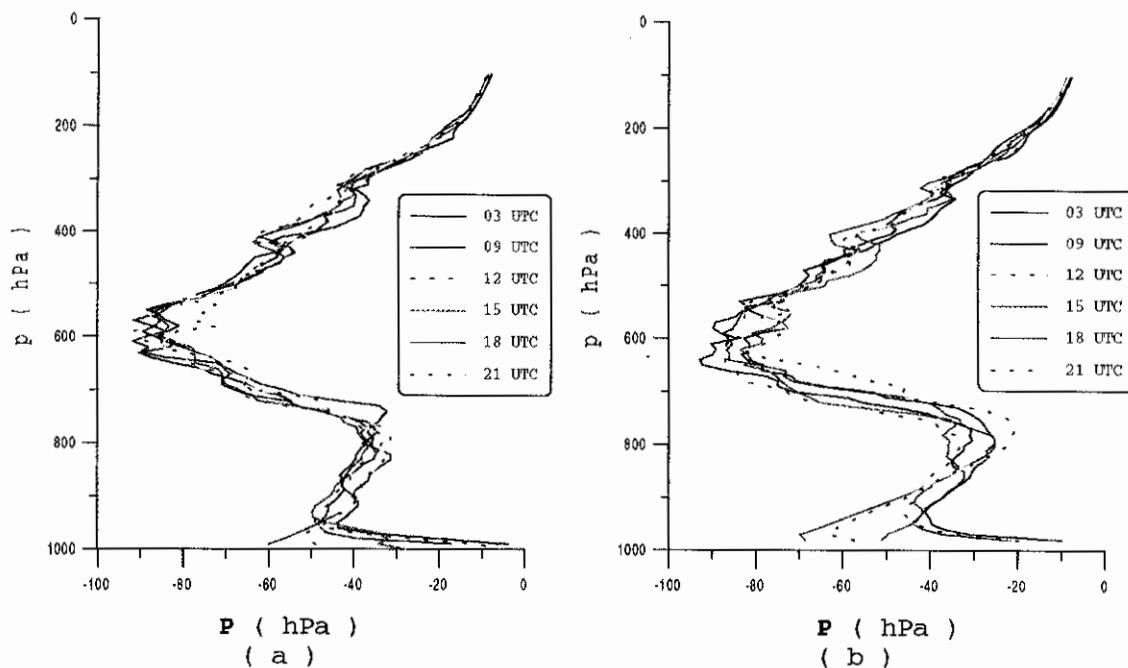


Fig. 4.41 - Perfil vertical de P (hPa) médio horário, em função dos horários de lançamento das radiossondagens, para as estações do experimento RBLE-3: FLORESTA (a) e PASTAGEM (b).

Entre as poucas diferenças encontradas citam-se:

- a) a Camada Saturada apresenta-se muito fina em ambas as estações. Isto impede uma análise mais profunda. Entretanto, nota-se através da Figura 4.41 que os máximos de P , característicos desta camada, são maiores sobre a PASTAGEM que na FLORESTA.

FLORESTA

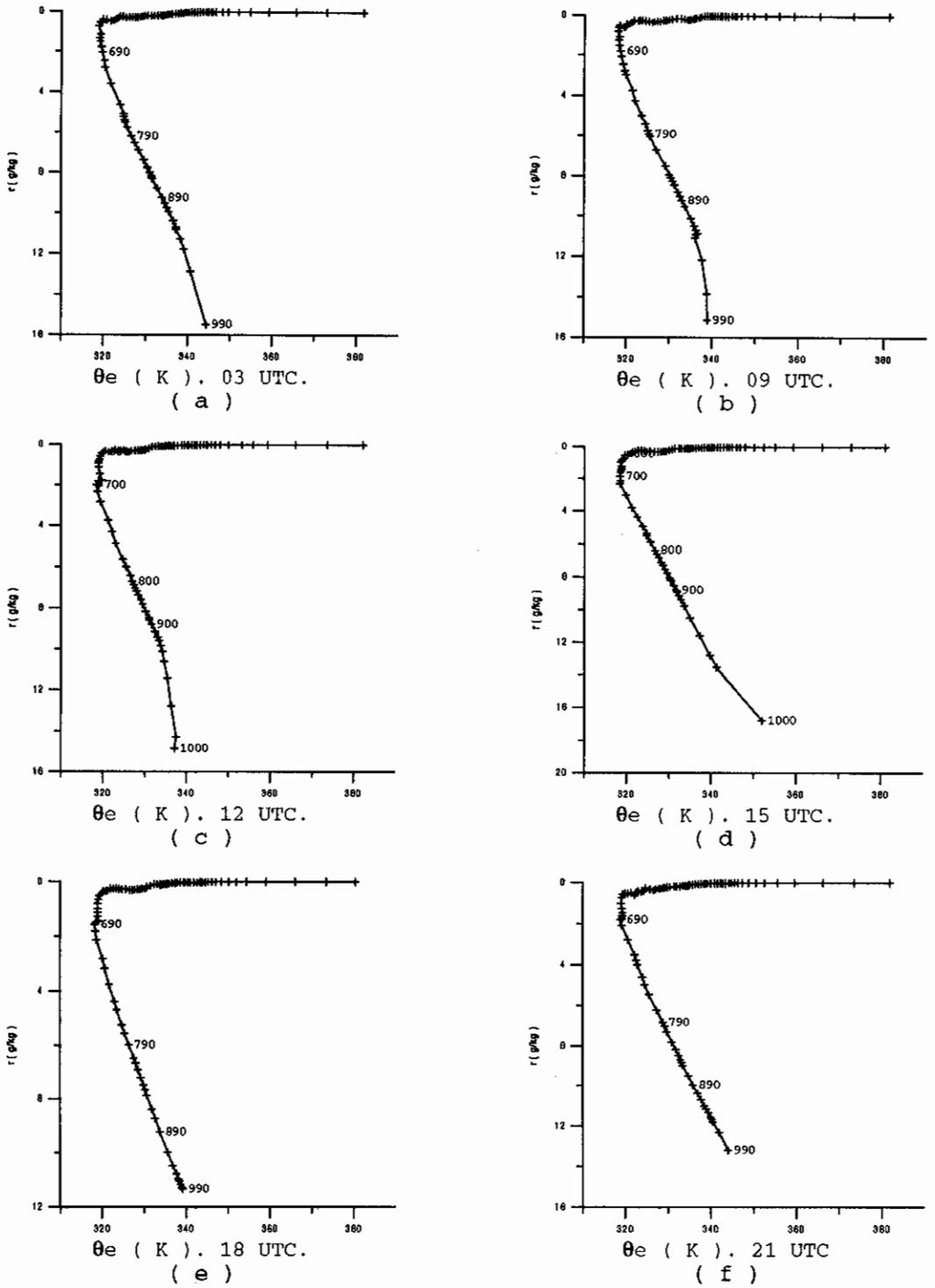


Fig. 4.42 - Diagrama ($\theta_e - r$), médio horário durante o experimento RBLE-3 para a estação FLORESTA durante 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f).

PASTAGEM

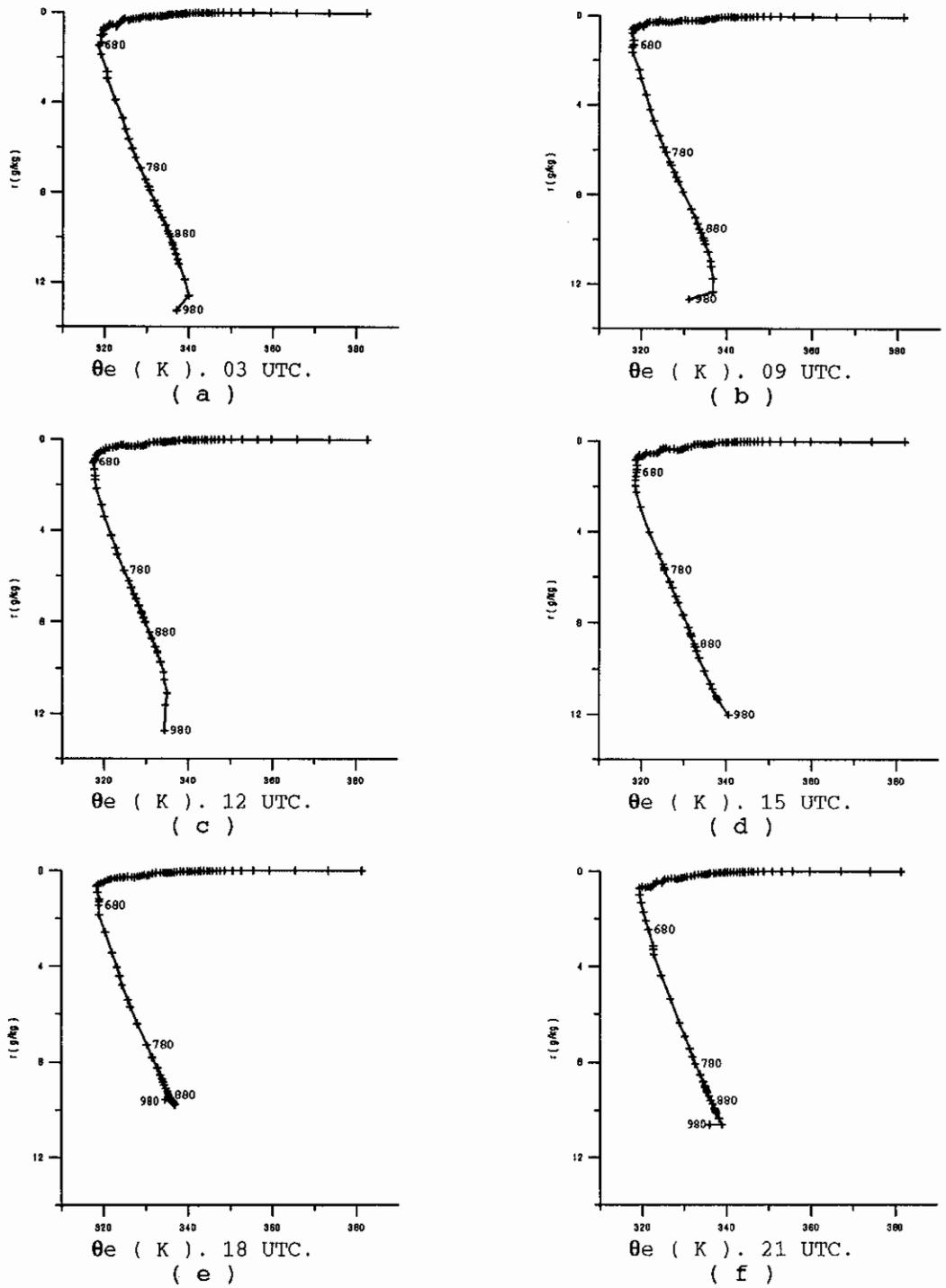


Fig. 4.43 - Diagrama ($\theta_e - r$), médio horário durante o experimento RBLE-3 para a estação PASTAGEM durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f).

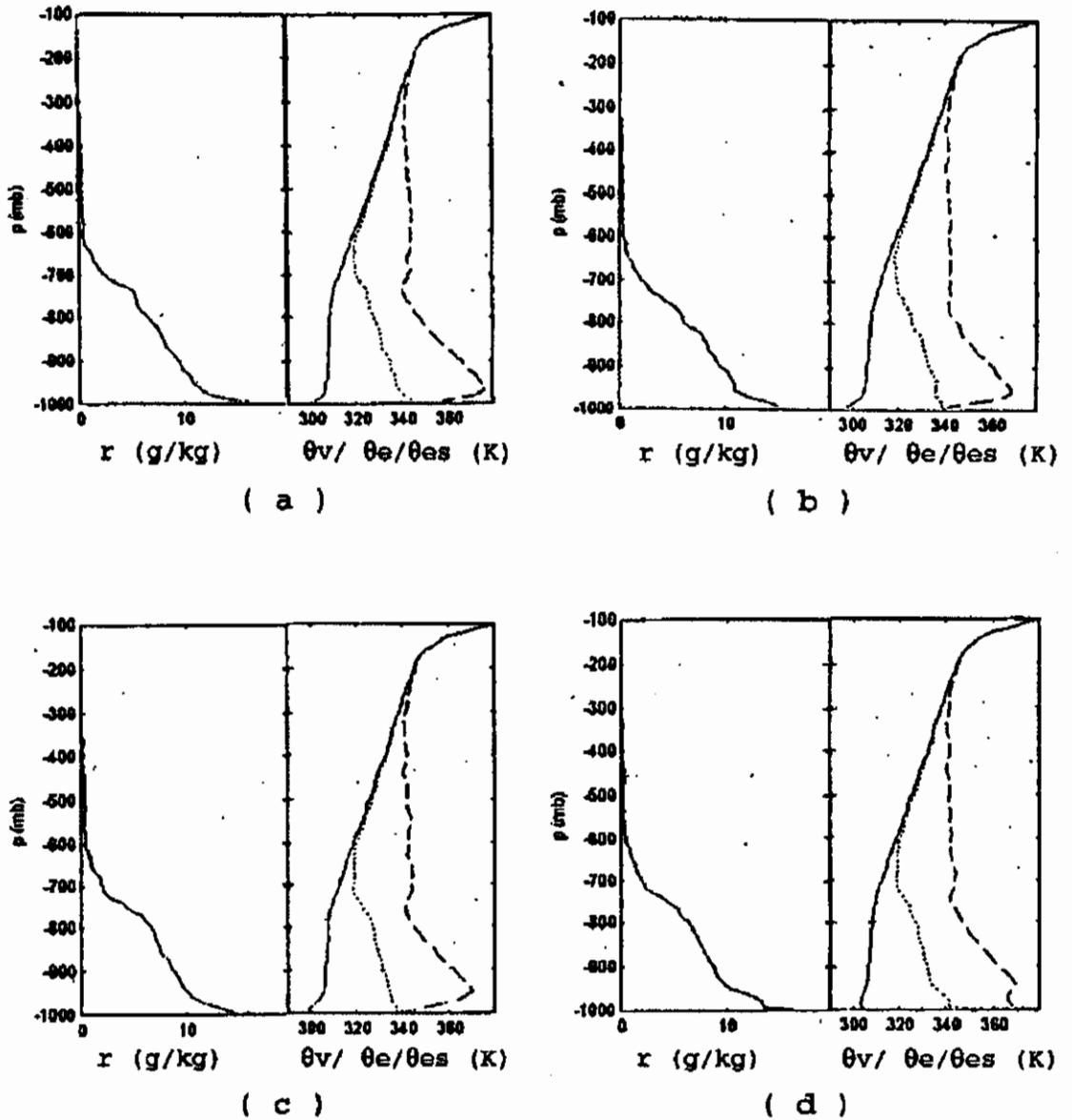


Fig. 4.44 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para a estação FLORESTA (experimento RBLE-3) durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f). O lado direito do gráfico é constituído pelos perfís verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{—})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$.

(Continua).

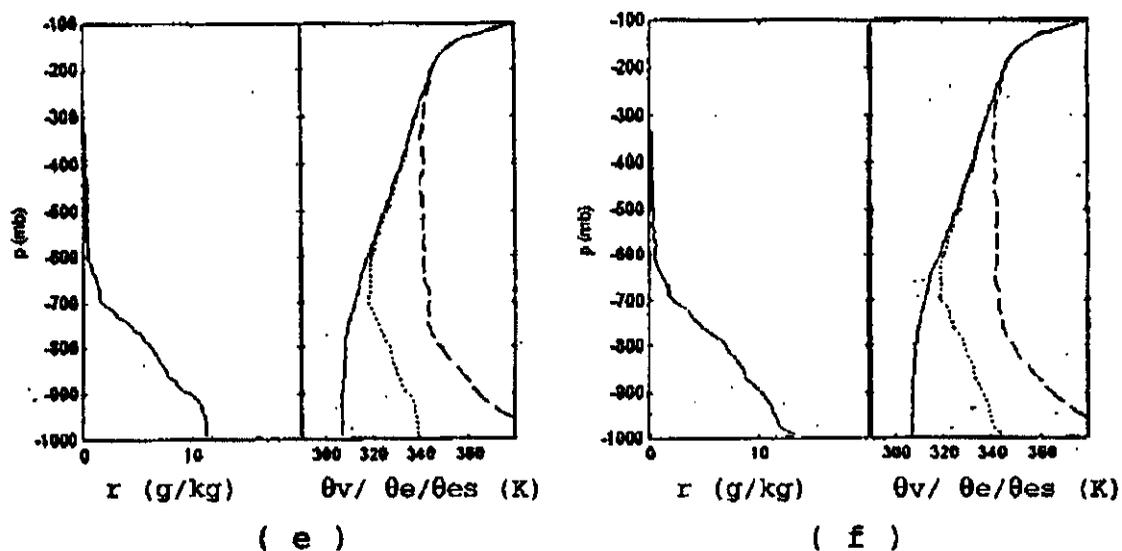


Fig. 4.44 - Conclusão.

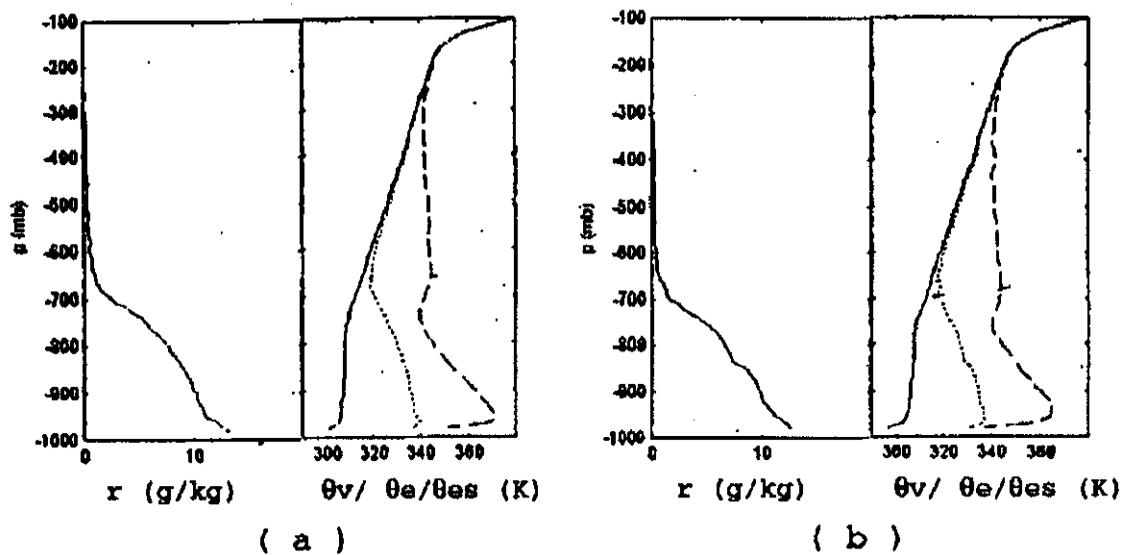


Fig. 4.45 - Perfil vertical médio horário das variáveis conservativas para a estação PASTAGEM (experimento RBLE-3) durante: 03 UTC(a); 09 UTC(b); 12 UTC(c); 15 UTC(d); 18 UTC(e) e 21 UTC(f). O lado direito do gráfico é constituído pelos perfis verticais das temperaturas $\theta_v(\dots)$, $\theta_e(\text{---})$ e $\theta_{es}(\text{- - -})$.

(Continua).

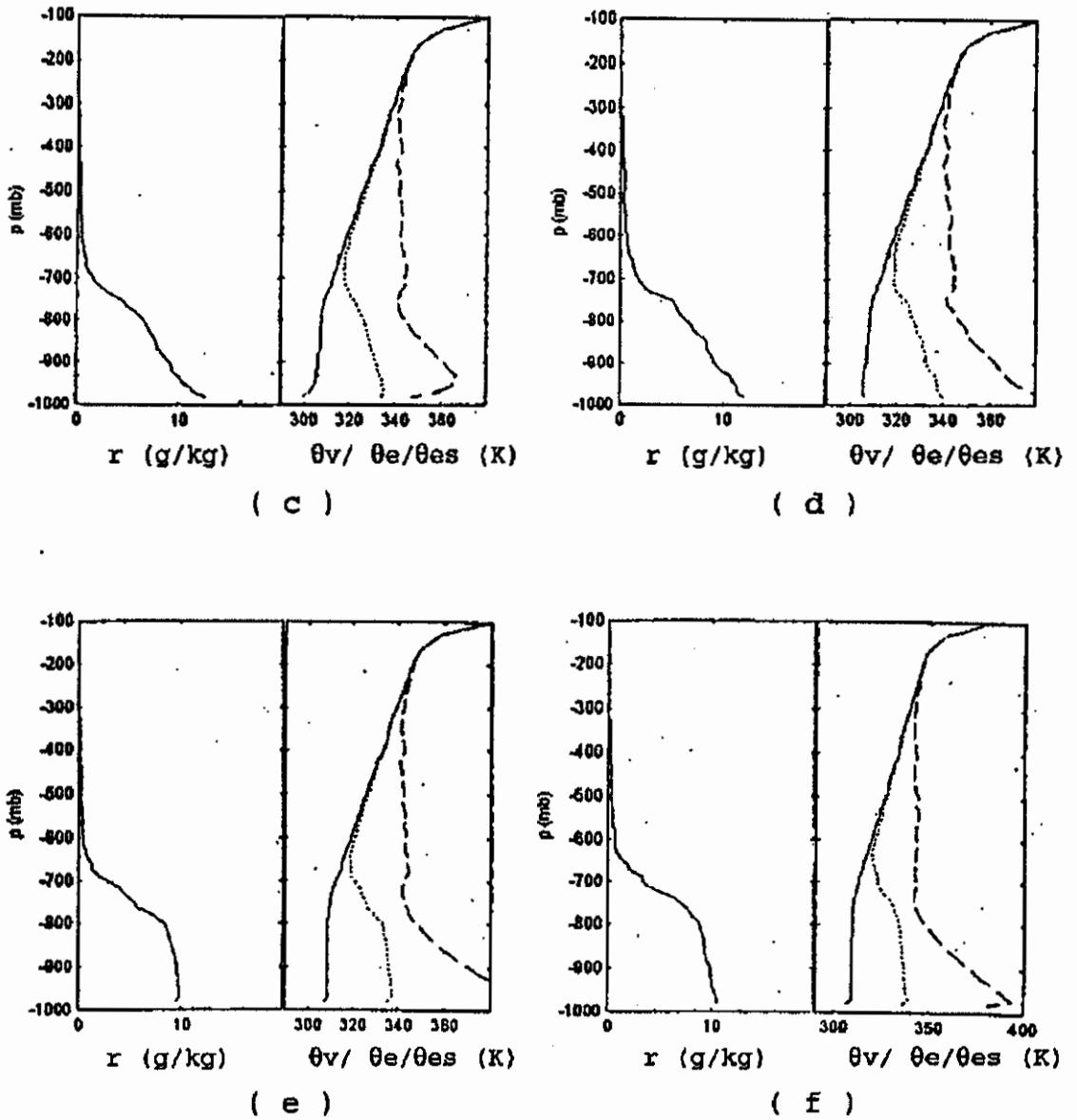


Fig. 4.45 - Conclusão.

b) a Camada Sub-Saturada apresenta maior variação de P na estação da PASTAGEM. Um forte agrupamento dos pontos de saturação na LM definem região da camada misturada — também notada nas Figuras 4.44-4.45 pela isopleta de θ_v constante — em ambas as estações, onde o topo da mesma apresenta-se, em média, em torno de 800 hPa. Porém, a base da CM varia de-

vido ao processo de aquecimento (ou resfriamento) superficial. Nota-se que durante a noite, entre 03-09 UTC (00-05 HLL), e às primeiras horas da manhã, às 12 UTC (08 HLL), estabelece-se uma rasa camada estável nos primeiros 50 hPa acima da superfície em ambas as estações, porém aparentemente mais umida na FLORESTA. A partir de 15 UTC (11 HLL), na PASTAGEM, a estabilidade desta camada parece ser rompida pelos processos turbulentos devido ao aquecimento superficial, mas na FLORESTA isto parece ocorrer somente às 18 UTC.

- c) os grandes espaços entre os Pontos de Saturação definem a região da Camada de Entranhamento para ambas as estações. Apesar disto nota-se que a base da mesma apresenta-se um pouco mais umida sobre a PASTAGEM. Este umidecimento aumenta nos horários de intensa atividade convectiva em ambas as estações. O topo da CE (que define também o topo da CLC), estimado visualmente pelo nível em que coincidem os mínimos de θ_e e P e máximo de θ_{es} , parece ficar em torno aproximadamente 650 hPa tanto na PASTAGEM quanto na FLORESTA.

Supondo que durante a estação chuvosa a atmosfera na região do experimento RBLE-3 apresente características termodinâmicas semelhantes aquelas encontradas no FLUAMAZON, pode-se estimar o nível de origem do ar no topo da CLC para as estações de FLORESTA e PASTAGEM (respectivamente FO e PG na Tabela 4.11). Para isto, foram feitas médias dos parâmetros termodinâmicos, de todo o período do

experimento para as estações de Alta Floresta e Manaus, do experimento FLUAMAZON (representadas por FL na citada tabela), e de PASTAGEM e FLORESTA do RBLE-3.

Observa-se que o nível de origem do ar subsidente no topo da CLC está um pouco mais profundo na região da PASTAGEM. Nota-se, também, que o resfriamento radiativo do ar durante a subsidência é de apenas -0.6 K a mais na PASTAGEM que na FLORESTA. Contudo, nota-se que a parcela de ar, em ambas as estações, leva aproximadamente 14 dias em subsidência com uma velocidade $\omega \approx 22$ hPa.dia $^{-1}$. Em ambas as estações encontra-se valores de Δp_{ns} (entre 237 hPa para FO e 244 hPa para PG) semelhantes aos de Alcantara (no experimento FLUAMAZON).

TABELA 4.11 - PARÂMETROS DO PONTO DE SATURAÇÃO EM FUNÇÃO DO MÍNIMO θ_e NO TOPO DA CLC NA REGIÃO DO EXPERIMENTO RBLE-3 (PASTAGEM (PG), FLORESTA (FO) E CONDIÇÕES MÉDIAS INSTÁVEIS BASEADAS NO EXPERIMENTO FLUAMAZON (FL)).

	P (hPa)	p _{ns} (hPa)	T _{ns} (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
PG	650	569	-29	-81	0.9	318.6	315.7		
FL	336	325	-32.2	-11	0.9	343.8	340.5		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	314	244	3.2	-70	0	-25.2	-24.8	14.2	22.1
	p (hPa)	p _{ns} (hPa)	T _{ns} (°C)	P (hPa)	r (g/kg)	θ_e (K)	θ_v (K)		
FO	650	575	-26.6	-75	1	318.8	315.3		
FL	350	338	-30.1	-12	1	343.3	339.5		
	Δp	Δp_{ns}	Δt_{ns}	ΔP	Δr	$\Delta \theta_e$	$\Delta \theta_v$	Δt	ω
Dif	300	237	3.5	-63	0	-24.5	-24.2	13.9	21.7

4.7 - Comparações entre as Médias para ambos os Experimentos FLUAMAZON E RBLE-3

As análises das médias horárias, e subperíodos, em função do perfil vertical da pressão diferencial de saturação e da estrutura da Linha de Mistura, mostram as seguintes características:

- a) a CSS - durante o FLUAMAZON, na estação de Belém, a camada CSS (entre $p \approx 1000-850$ hPa) está definida no perfil de P , às 18 UTC (15 HLL) e 00 UTC (21 HLL), e entre os subperíodos SP-1 à 3. Em Oiapóque a CSS está melhor definida em todos os subperíodos às 18 UTC ($p \approx 1000-850$ hPa). Em Alcantara não há uma definição clara desta camada no perfil de P . Para Alta Floresta a CSS está definida em todas as médias horárias (pouco profunda às 18 UTC) e subperíodos, especialmente durante a tarde. Em média, na estação de Manaus, esta camada está bem configurada em todos os horários e subperíodos com topo em torno de 900 hPa. Entre as estações do RBLE-3, a CSS está mais claramente definida sobre a área de PASTAGEM, onde seu topo parece estar em 800 hPa. No interior da CSS, nos primeiros 50 hPa, a LM apresenta pequenas torções e agrupamentos nos pontos de saturação. Os agrupamentos são uma característica predominante em todos os horários e subperíodos de Manaus. Em Oiapóque nota-se claramente que estes agrupamentos tendem a dominar entre 12-18 UTC; enquanto as pequenas inversões tendem a dominar durante a noite (00-06 UTC). Entre as estações de

PASTAGEM e FLORESTA, notam-se características semelhantes as de Oiapóque, porém o agrupamento dos pontos na LM é maior na primeira estação.

- b) a CS - em Belém, no perfil de P , sugere-se que a base da CS permanece em torno de 850mb. Em Oiapóque e Manaus este nível baixa para 900 hPa. Em geral, nota-se pelo perfil de P que a profundidade da CS é maior durante a tarde e também varia entre SP-1 e 5. A LM representa esta camada por um agrupamento dos pontos de saturação. No caso das estações do experimento FLUAMAZON, nota-se em geral formações de estrutura dupla na LM próximo a base da CS e em alguns casos, também no interior da mesma. Estas formações na LM estão melhor definidas nas médias horárias dos subperíodos. Estas estruturas duplas não ocorrem nas estações do RBLE-3.
- c) a CE - nas estações do FLUAMAZON esta camada mostra um pequeno máximo de P , denominado neste trabalho de segunda Camada Saturada (CS2), próximo de sua base notado especialmente em SP-1. Nota-se que, em geral, o mínimo valor de P , característico do topo da CE, ocorre acima da CS2, exceto para a estação de Alcantara. Na Linha de Mistura esta camada está representada por grandes espaços entre os PSs, exceto na presença da CS2. Nota-se, nas estações do FLUAMAZON, que a inversão total da LM é suavizada pela presença da CS2. Observa-se, ainda, que esta suavização torna-se acentuada com o aumento da precipitação ao longo do experimento. Nas estações do

RBLE-3, com a ausência da CS2, observa-se que a inversão da LM é brusca no topo da CE. Nota-se que a CE está bem definida na LM em ambas as estações de PASTAGEM e de FLORESTA. Porém, a base desta camada aparenta estar mais úmida sobre a região de PASTAGEM. Em geral nota-se que o topo da CE (que, neste estudo, também define o topo da CLC) permaneceu em torno de 650 hPa durante o RBLE-3. Entre o início e o final do período do FLUAMAZON o nível do topo da CLC variou, respectivamente, entre 650-400 hPa nas estações litoraneas (exceto em Oiapóque), e entre 500-400 hPa nas estações do interior.

CAPÍTULO 5CONCLUSÕES E SUGESTÕES.

Como esperava-se, a Camada Misturada está melhor definida nas estações do RBLE-3. A estrutura simples de tripla camada (CSS, CS e CE) é também uma característica deste experimento. Em relação ao experimento FLUAMAZON fazem-se as seguintes sugestões: a) as pequenas inversões e agrupamento dos pontos de saturação registrados na CSS, nos primeiros 50 hPa acima da superfície, podem ser resultantes do desenvolvimento de uma camada estável noturna; b) a forte camada estável encontrada em Alta Floresta (no subperíodo mais chuvoso) e em Alcantara (registrada entre SP-1 e 3) pode ser devido à corrente subsidente de mesoescala, e de escala convectiva, à retaguarda de CBs associados aos aglomerados convectivos; c) em Oiapóque a forte camada estável em média troposfera, no último subperíodo, pode ser devida ao fluxo divergente de ar frio e seco no topo de CBs associados às Linhas de Instabilidade e ZCIT.

Em geral, encontrou-se estruturas duplas na Linha de Mistura em todas as estações do experimento FLUAMAZON. Sugere-se que os processos combinados de precipitação-evaporação da precipitação foram predominantes na formação destas estruturas. Nota-se também que, no decorrer do experimento FLUAMAZON, com o aumento do índice pluviométrico, os pontos de saturação tornam-se mais próximos entre si. Associado a isto, a inclinação da LM no diagrama (θ_e-r) é suavizada, ficando aproximadamente constante em relação a

θ_e . Isto sugere um aumento significativo de energia calorífica, na forma de vapor, em toda a coluna atmosférica, devido a intensificação dos movimentos convectivos.

Nota-se, nas estações de ambos os experimentos, que na região da Atmosfera Livre os perfis verticais de P tendem a um valor comum, pouco maior que -10 hPa. Esta tendência permanece a mesma tanto na época seca quanto na chuvosa.

Nota-se que o ar subsidente no topo da CLC tem se originado acima do nível de resfriamento, como sugerido por Betts e Albrecht (1987) e Parasnis e Morwal (1991). Entretanto a profundidade, Δp_{ns} , do nível de origem da parcela subsidente varia entre as estações. Observa-se que, entre as estações litoraneas do experimento FLUAMAZON, esta profundidade é maior em Alcantara e menor em Oiapóque. Entre as estações do interior a menor profundidade é encontrada em Alta Floresta.

Nas estações do experimento RBLE-3, encontram-se valores de Δp_{ns} tão altos quanto os de Alcantara. Sugere-se, portanto, que as condições médias da atmosfera em Alcantara, durante o FLUAMAZON, foram semelhantes às encontradas no RBLE-3. Supõe-se que os mínimos de Δp_{ns} encontrados em Alta Floresta e em Oiapóque devam-se aos intensos movimentos convectivos associados aos sistemas meteorológicos de mesoescala e escala sinótica, que caracterizaram o final do período do experimento FLUAMAZON.

Como sugestões para futuros trabalhos têm-se:

- a) Fazer um estudo climatológico da estrutura termodinâmica da atmosfera sobre a Amazônia baseando-se no tipo de análise empregada neste trabalho;
- b) Fazer um estudo abordando, especificamente, a estrutura da Linha de Mistura durante o período das queimadas na Região Amazônica;
- c) Empregar as análises utilizadas neste trabalho em outras estações, dentro e fora da Região Amazônica;
- d) Deduzir a quantidade de energia calorífica armazenada na Camada Limite (com a intensificação dos movimentos convectivos) através do diagrama (θ_e-r).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Betts, A. K. Parametric Interpretation of Trade-Wind Cumulus Budget Studies. **Journal of the Atmospheric Sciences**. 32(10): 1934-1945, Oct. 1975.
- Betts, A. K. Saturation Point Analysis of Moist Convective Overturning. **Journal of the Atmospheric Sciences**. 39(7): 1484-1945, July. 1982.
- Betts, A. K.; Albrecht, B. A. Conserved Variable Analysis of the Convective Boundary Layer Thermodynamic Structure over the Tropical Oceans. **Journal of the Atmospheric Sciences**. 44(1): 83-99, Jan. 1987.
- Boletim de Monitoramento e Análise Climática. **CLIMANÁLISE**. 9(8). Ago.1994.
- Cohen, J. C. P.; Dias, M. A. F. S.; Nobre, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. **Climanálise**. 4(11): 34-40, Nov. 1989.
- Cohen, J. C. P.; Dias, M. A. F. S.; Nobre, C. A. Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A case Study. **Monthly Weather Review**. 123(11): 3163-3174, Nov. 1995.
- Driedonks, A. G. M.; Tennekes, H. Entrainment Effects In The Well-Mixed Atmospheric Boundary Layer. **Boundary-Layer Meteorology**. 30(1-4): 75-105, Sept.- Dec. 1984.
- Fisch, G. **Camada Limite Amazônica: Aspectos Observacionais e de Modelagem**. (Tese de Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. 202p. (INPE-6123-TDT/584).
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. Clima da Amazônia, 1996. (em preparação).
- Garstang, M.; Ulanski, S.; Greco, S.; Scala, J.; Swap, R.; Fitzjarrald, D.; Martin, D.; Browell, E.; Shipman, M.; Connors, V.; Harris, R.; Talbot, R. The Amazon Boundary - Layer Experiment (ABLE 2B): A Meteorological Perspective. **Bulletin American Meteorological Society**. 71(1): 19-31, Jan. 1990.

- Harriss, R. C.; Wofsy, S. C.; Garstang, M.; Browell, E. V.; Molion, L. C. B.; McNeal, R. J.; Hoell, J. M.; Bendura, R. J.; Beck, S. M.; Navarro, R. L.; Riley, J. T.; Snell, R. L. The Amazon Boundary - Layer Experiment (ABLE 2A): Dry Season 1985. **Journal Geophysical Research**. 93(D2): 1351-1360, Feb. 1988.
- Houze, Jr., R. A. Structure and Dynamics of a Tropical Squall-line System. **Monthly Weather Review**. 105(12): 1540-1567, Dec. 1977.
- Molion, L. C. B. Micrometeorology of an Amazonian Rain Forest. In: Dickinson, R. E. ed. **The Geophysiology of Amazonia; Vegetation and Climate Interactions**. United Nations University, John Wiley & Sons, 1985. p.255-269.
- Nobre, C.A.; Fisch, G.; Rocha, H.R.; Lyra, R.F.F.; Rocha, E.P.; Costa, A.C.L.; Ubarana, V.N. Observations of the Atmospheric Boundary Layer in Rondônia. In: Gash, J.H.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Vitoria, R.L. ed. **Amazonian Deforestation and Climate**. Chichester, J. Wiley & Sons, 1996. p.413-424.
- Parasnis, S. S.; Morwal, S. B. The Convective Boundary Layer Over the Deccan Plateau, India during the Summer Monsoon. **Boundary-Layer Meteorology**. 54(6): 59-68, Jun. 1991.
- Riehl, H. **Meteorologia Tropical**. Rio de Janeiro (Brasil). Ao Livro Técnico, 1965. 426p.
- Rocha, P. J. E. **Balanco de Umidade na Amazônia Durante o Experimento FLUAMAZON**. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Departamento de Meteorologia/Instituto Astronômico e Geofísico - USP, São Paulo - SP, 1991. 92p.
- Sá, L. D. A.; Manzi, A. O.; Viswanadam, Y. **Partição de fluxos de calor sensível e de calor latente acima da floresta amazônica de terra firme**. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE - 3949 - PRE/970).
- Santos, J. M. Climate, Natural Vegetation, and Soils in Amazonia: an Overview. In: Dickinson, R. E. ed. **The Geophysiology of Amazonia; Vegetation and Climate Interactions**. New York, John Wiley & Sons, 1985. 03: 25-34, 1985.

Stull, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Madison-WI, University of Wisconsin, Department of Meteorology. 1991. 666p.

Zipser, E. J. Mesoscale and Convective-Scale Downdrafts as Distinct Components of Squall-Line Structure. **Monthly Weather Review**. 105(12): 1568-1589, Dec. 1977.

