

"CIRCULACAO REGIONAL
EM CUBATAO:

PROJETO CIRCU-II"

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE MEIO AMBIENTE
BIBLIOTECA
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 175 - CEP. 05459 - Pinheiros
SAO PAULO - BRASIL

CONVENIO

IAG/USP
CETESB

CLASS.	
AJTOR	
TOMBO	17262

84
L887c (RCET
017262

RELATÓRIO

EXPERIMENTO METEOROLÓGICO

CIRCULAÇÃO REGIONAL EM CUBATÃO

CIRCU - II

Realizado de 24 a 26 de fevereiro de 1986

DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
INSTITUTO ASTRONÔMICO E GEOFÍSICO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
- IAG/USP -

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE
SANEAMENTO AMBIENTAL

- CETESB -

Responsáveis pelo relatório

IAG/USP

Amauri Pereira de Oliveira,
Maria Assunção Faus da Silva Dias,
Pedro Leite da Silva Dias

CETESB

Dagoberto Lorenzetti —
Nely Bacic Cavalcante —
Sílvio de Oliveira —

Março de 1987

CONTEÚDO

	PÁG.
1 - INTRODUÇÃO	5
2 - DESCRIÇÃO DO LOCAL	6
3 - DESCRIÇÃO DOS DADOS	9
4 - ERROS INSTRUMENTAIS E DE OPERAÇÃO	11
5 - CLIMATOLOGIA DA REGIÃO DE CUBATÃO	14
6 - DESCRIÇÃO DOS PERFIS VERTICAIS DE TEMPERATURA POTENCIAL, RAZÃO DE MISTURA, VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO - BALÃO CATIVO	17
7 - DESCRIÇÃO DA EVOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CIRCULAÇÃO LOCAL - BALÃO PILOTO	22
8 - ANÁLISE SINÓTICA DO PERÍODO DE 24 A 28 DE FEVEREIRO DE 1986	24
9 - DESCRIÇÃO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE SO ₂ E MATERIAL PARTICULADO	27
10 - CONCLUSÃO E SUGESTÕES	24

1 - INTRODUÇÃO

O experimento meteorológico Circulação Regional em Cubatão (CIRCU-II) foi realizado na cidade de Cubatão, SP, no período de 24 a 28 de fevereiro de 1986, pelo Departamento de Meteorologia do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP), que contou com a colaboração da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA). (A relação dos participantes pode ser encontrada no Anexo 1). Este estudo faz parte do projeto "Dinâmica e Física de Nuvens: observações, modelagem e aplicações" financiado pelo convênio FINEP-IAG/USP. O principal objetivo do experimento aqui relatado foi de avaliar a evolução espacial e temporal da camada limite planetária (CLP) na região de Cubatão durante o período de verão.

Foram efetuadas observações nos seguintes locais: COSIPA, Corpo de Bombeiros e Jardim Casqueiro. Em todos eles foram realizados lançamentos de balão piloto, cada 3 horas, sendo que na COSIPA foram efetuados, também, medidas com balão cativo com sensores de temperatura, umidade e velocidade e direção do vento.

2 - DESCRIÇÃO DO LOCAL

Em termos gerais a cidade de Cubatão encontra-se situada sobre uma faixa do litoral do Estado de São Paulo limitada a oeste pelo complexo de serras que formam a secção paulista da Serra do Mar, e a leste pelo Oceano Atlântico. Distante cerca de 10 km do mar, a quase totalidade da região urbana de Cubatão está localizada em alturas inferiores a 100 m acima do nível do mar (vide Fig. 2.1).

A topografia da cidade de Cubatão é bastante complexa, variando de completamente plana no setor leste (divisa com Santos e São Vicente) para totalmente montanhosa no setor oeste (divisa com São Bernardo e Santo André). Ainda no setor oeste pode-se destacar: a noroeste as serras do Mogi, do Morrão e do Quilombo, todas com elevações de 800 a 900 m acima do nível do mar; a sudoeste a serra de Cubatão com elevações inferiores. Deve ser salientado que o sistema de serras e vales, localizados no setor oeste de Cubatão, se alinham paralelamente à direção SW-NE; além disso, a região plana situada no setor leste caracteriza-se pela presença de grandes áreas cobertas por águas formadas pelos rios, braços de mar e mangues. (Vide Fig. 2.2).

2.1. Descrição dos postos de observação.

Na Fig. 2.1 são mostrados os postos de observação da COSIPA, Corpo de Bombeiros e Jardim Casqueiros, indicados respectivamente pelas siglas: COS, CBO e CAS. Estes postos estão localizados nos vértices de um triângulo, cujos lados medem: 3,3 km entre COS e CBO, 6,3 km entre CBO e CAS e 7,6 km entre CAS e COS.

A justificativa para escolha desses locais é a seguinte:

COS: neste posto os lançamentos de balão piloto e cativo foram realizados no canteiro de obras denominado posto 7, no interior da usina siderurgica COSIPA, situada próximo ao rio Mogi, portanto, representativo da área na entrada do vale do Mogi;

CBO: neste posto os lançamentos de balão piloto foram realizados na sede do Corpo de Bombeiros da cidade de Cubatão, situado nas proximidades do centro urbano.

CAS: neste posto os lançamentos de balão piloto foram realizados na sede do Centro Esportivo Municipal situado no bairro de Jardim Casqueiro, às margens do largo da Pompeba (braço de mar que faz divisa com São Vicente).

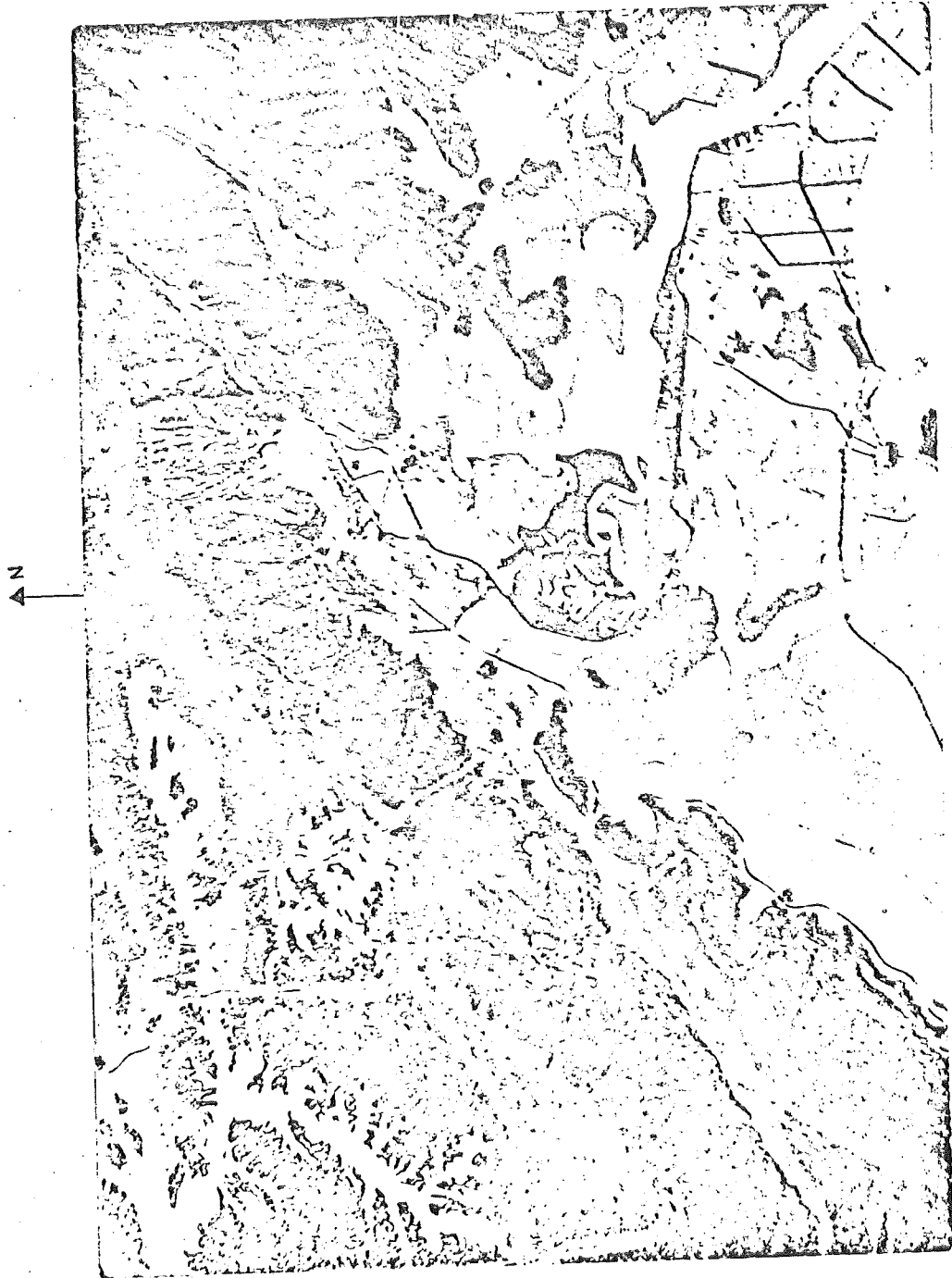


Figura 2.2: Fotografia aérea da região de Cubatão.

3 - DESCRIÇÃO DOS DADOS

Inicialmente foram previstos 40 lançamentos de balão cativo e 120 de balão piloto no período de 24 a 28 de fevereiro de 1986. Entretanto, o número de sondagens efetuadas foi substancialmente menor (15 de balão cativo e 67 de balão piloto, sendo 28 na COSIPA - COS, 27 no Corpo de Bombeiro - CBO e 12 no Jardim Casqueiro - CAS). Na Tabela I são mostrados os horários das sondagens através de balão cativo e piloto indicados respectivamente por BC e BP, realizados entre 24 e 28 de fevereiro de 1986.

As principais causas atribuídas a discrepância existente entre o número de lançamentos previstos e executados foram:

(i) dificuldades de instalação dos equipamentos, principalmente devido a morosidade para introduzir os equipamentos e o pessoal na COSIPA no primeiro dia do experimento;

(ii) dificuldades de transporte dos equipamentos e do pessoal aos postos do Corpo de Bombeiros e Jardim Casqueiro. Deve ser ressaltado que a perua kombi do IAG-USP, utilizada no transporte local, só podia ser conduzida pelos docentes do DM-IAG/USP;

(iii) condições meteorológicas desfavoráveis; pois com a intensificação do vento NW nos dias 25 e 26 o balão cativo teve que ser esvaziado por duas vezes, a fim de seguir as especificações dos fabricantes que não recomendam a sua operação quando o vento ultrapassa 8 m/s (30 km/h), (foram observadas rajadas de mais de 15 m/s na superfície);

(iv) A falta de hidrogênio devido às operações imprevistas do enchimento do balão (vide ídem anterior) impediu a utilização do balão cativo no dia 27. Este problema só foi contornado com a desativação do posto de Jardim Casqueiro.

Além destes fatores deve ser ressaltado que o rastreamento do balão piloto no período noturno foi executado com auxílio de uma lâmpada acoplada a uma pilha (1,5 volts) instalada no balão em caráter experimental. A fraca intensidade da luz dificultou o seu acompanhamento mesmo quando a lâmpada foi instalada no interior do balão piloto.

Tabela 1 Distribuição por horários das sondagens com balão cativo (BC) e com balão piloto (BP). Horários com sondagens com balão cativo e balão piloto são indicados por CP.

Dia Hora	24			25			26			27			28		
	COS	CBO	CAS	COS	CBO	CAS	COS	CBO	CAS	COS	CBO	CAS	COS	CBO	CAS
00						BP									BC
01						BP					BP				BC
02							BP	BP				BP	BP		BP BP
03						CP		BC	BP						
04						BP									BC
05								BC	BP				BP		BP BP
06															BC
07															BC
08								BP							BP
09									BP		BP	BP	BP		BP BP
10						BP			BP	BP					BC
11						BP			BP	BP	BP			BP	BP BP
12															
13															BC
14								CP	BP	BP			BP	BP	BP BP
15						CP			BP						
16								BC							
17		BP				BP		BP	BP	BP			BP		CP
18															
19															
20															
21						BP	BP			BP	BP		BC		
22														BP	
23		BP				BP	BP		BP	BP	BP		CP	BP	

4 - ERROS INSTRUMENTAIS E DE OPERAÇÃO

4.1. Balão Cativo

Os erros instrumentais associados a cada sensor são fornecidos pelos fabricantes ("AIR INC TETHERSONDE"), e consistem em:

temperatura bulbo seco e úmido-----	0,5°C
velocidade do vento -----	0,25 m/s
direção -----	5°
pressão -----	1mb

Os erros provocados pela operação do balão cativo foram discutidos por FITZJARRALD (1983) e constituem-se em um importante fator que também deve ser levado em conta durante a análise dos resultados. Os principais erros de operação são:

(i) as temperaturas de bulbo seco ou úmido podem ser subestimadas ou superestimadas durante a subida e descida, respectivamente, devido ao atraso na resposta dos termistores. Este efeito depende fundamentalmente da velocidade vertical do balão cativo e dos gradientes verticais de temperatura e umidade;

(ii) a velocidade horizontal do vento pode ser subestimada (superestimada) devido ao deslocamento horizontal sofrido pelo balão. Fitzjarrald estimou uma discrepância associada a este efeito da ordem de 10 a 20%;

(iii) a pressão atmosférica registrada pelo sensor sofre um desvio entre a subida e a descida do balão cativo. Este erro nos valores de pressão são provocadas pela operação deste sensor em temperaturas próximas ao limite de funcionamento indicado pelo fabricante como 0-30°C. Fitzjarrald verificou que no período diurno os desvios na pressão se acentuavam nos períodos mais quentes do dia;

(iv) é importante manter o balão na horizontal durante a operação de subida e descida tendo em vista a influência da aerodinâmica do balão na medida do vento. Esta operação depende da velocidade do vento e das acelerações verticais impostas no balão na operação de subida e descida.

4.2. Balão Piloto

O método de obtenção de vento em altitudes através de balão piloto consiste no rastreamento de um balão de aproximadamente 60 cm de diâmetro, quando cheio de hidrogênio, através de um ou dois

teodolitos aerológicos. No caso de rastreio com dois teodolitos a posição do balão é determinada pela resolução de dois triângulos e as posições sucessivas do balão determinam sua velocidade tri-dimensional. Nesse caso é possível determinar a razão de ascensão, ou componente vertical da velocidade do balão, para uma determinada massa de H utilizada para enchê-lo. Alguns testes foram feitos e determinaram o lastro necessário para obter a razão de ascensão da ordem de 100 m/min. Ao operar com um único teodolito aerológico para o rastreio do balão supõem-se conhecida a razão de ascensão, ficando assim determinada a posição do balão no espaço tridimensional. Dada a impossibilidade de operar com dois teodolitos em cada um dos postos de observação (COS, CBO e CAS) o rastreio foi feito com um único teodolito.

A fonte principal de erros no caso do balão piloto com um único teodolito é a própria incerteza na razão de ascensão, que pode ser afetada pela presença de correntes ascendentes e descendentes. Considerando a componente na direção leste - oeste da posição do balão (x), como exemplo, e α e γ como o azimuth com relação ao norte e a elevação, respectivamente, medidos pelo teodolito tem-se seguinte relação:

$$x = \frac{w t}{\tan \gamma} \sin \alpha$$

onde w é a razão de ascensão do balão e t é o intervalo de tempo decorrido entre o instante de lançamento do balão e o instante da medida. O erro máximo que pode ser cometido na posição x, em percentual, é dada por:

$$\left| \frac{\delta x}{x} \right| = \left| \frac{\delta w}{w} \right| + \left| \frac{\delta t}{t} \right| + \left| \frac{\delta \alpha}{\tan \alpha} \right| + \left| \frac{\delta \gamma}{\sin \gamma \cos \gamma} \right|$$

Supondo:

- (a) um erro de 10% na razão de ascensão;
- (b) uma incerteza de 3 seg. no tempo relativo ao tempo de leitura.
- (c) uma incerteza de 0,1° nos ângulos.

tem-se que o erro percentual varia entre 10% e 17%. Com uma

frequência de uma leitura a cada 30 segundos, correspondendo a dados a cada 50 m de altura, tem-se que só podem ser consideradas independentes as leituras nos primeiros 5 minutos de rastreamento. Até 10 minutos apenas os dados separados de 100 m são totalmente independentes e assim por diante.

Do ponto de vista operacional, é importante mencionar que o rastreamento do balão piloto no início do lançamento e com condições de vento forte é sujeito a imprecisões que podem provocar erros acima de 1° na determinação do azimute e elevação.

5-CLIMATOLOGIA DA REGIÃO DE CUBATÃO

Como foi discutido anteriormente, no item 2 deste relatório, a cidade de Cubatão está situada em uma região com topografia bastante complexa onde destacam-se a Serra do Mar, cujo complexo de serras e vales se orientam paralelamente a linha da costa (SW-NE), e o Oceano Atlântico.

Do ponto de vista dos fenômenos de grande escala, a região da cidade de Cubatão está, nesta época do ano, sob o efeito do anticiclone subtropical com ventos do quadrante NE na superfície. Por outro lado, a penetração de frentes frias estão associadas a ventos de NW, durante o período pre-frontal, e de SE durante o período pós-frontal.

Com relação aos fenômenos de mesoescala pode-se afirmar que a região de Cubatão, na ausência de perturbações de escala sinótica, está sob o efeito da circulação térmica resultante do contraste terra-mar, ou seja sob o efeito da brisa marítima durante o dia com ventos de SE e brisa terrestre durante a noite com ventos de NW. O efeito da brisa marítima e terrestres são tão pronunciados no Litoral Paulista que mesmo na cidade de São Paulo seu efeito é observado sistematicamente (OLIVEIRA & SILVA DIAS 1982). A circulação térmica associada a presença das montanhas e dos vales podem também afetar significativamente a circulação na região de Cubatão, com os ventos anabáticos contribuindo com uma componente de SE ou E durante o dia (direção do vento subindo as montanhas) e os ventos catabáticos contribuindo com um componente de SW, W ou NE, durante a noite (direção do vento descendo as montanhas).

Evidentemente, o efeito de escala menor associado à topografia local (canalização dos vales, etc) e às características aerodinâmicas e térmicas da superfície deve contribuir significativamente a complexidade da circulação na região de Cubatão.

Estudos climatológicos conclusivos sobre a circulação na região de Cubatão, não existem. Entretanto podemos destacar alguns resultados obtidos por OLIVEIRA & SAGULA (1985) que calcularam a velocidade média do vento superfície, baseados em dados de três anos consecutivos (1981 - 1983), obtidos em Vila Parisi e Cubatão Residencial. Nesse cálculos OLIVEIRA & SAGULA utilizaram somente os dados dos meses de inverno (maio-agosto). Na Fig. 5.1 são apresentadas as componentes zonal (linha cheia) e meridional (linha tracejada), médias em função da hora do dia em: (a) Cubatão residencial e (b) Vila Parisi, obtidos por OLIVEIRA & SAGULA (1985). Nessa figura pode-se observar que o vento médio de superfície apresenta durante os meses de inverno um ciclo diurno bem definido: ventos de SW sopram no período diurno em Cubatão residencial e Vila Parisi, mudando no sentido antihorário, para E em Cubatão residencial e NE em Vila Parisi no período noturno. É plausível que a componente SW, observada durante o dia em

Cubatão esteja principalmente associada a penetração da brisa marítima; contudo não se pode descartar as contribuições mais locais (vento anabático, canalização do Vale do Mogi etc). Por outro lado a circulação média noturna observada pode estar associada a contribuições mais locais uma vez que as diferenças entre Vila Parisi e Cubatão residencial podem estar associadas, por exemplo, a um efeito de canalização do vento pelo Vale de Mogi. Uma extensão deste estudo efetuado por OLIVEIRA (1985) indicam que, em média (1981-1983), o vento de superfície apresenta um comportamento bastante semelhante nas outras estações do ano.

OLIVEIRA, S.: Caracterização meteorológica e aplicação de modelo de dispersão de poluentes. Relatório CETESB, Sub-Projeto nº 460 812/1985.

OLIVEIRA, S. e M.A.L.A.SAGULA: Um estudo teórico e observacional do fluxo do vento em Cubatão. 13 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, nº 103, 7pp, 1985.

OLIVEIRA, A.P. e P.L.SILVA DIAS: Aspectos observacionais da brisa marítima em São Paulo. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas, RS, v.2, pp.129-161, 18-22 outubro 1982.

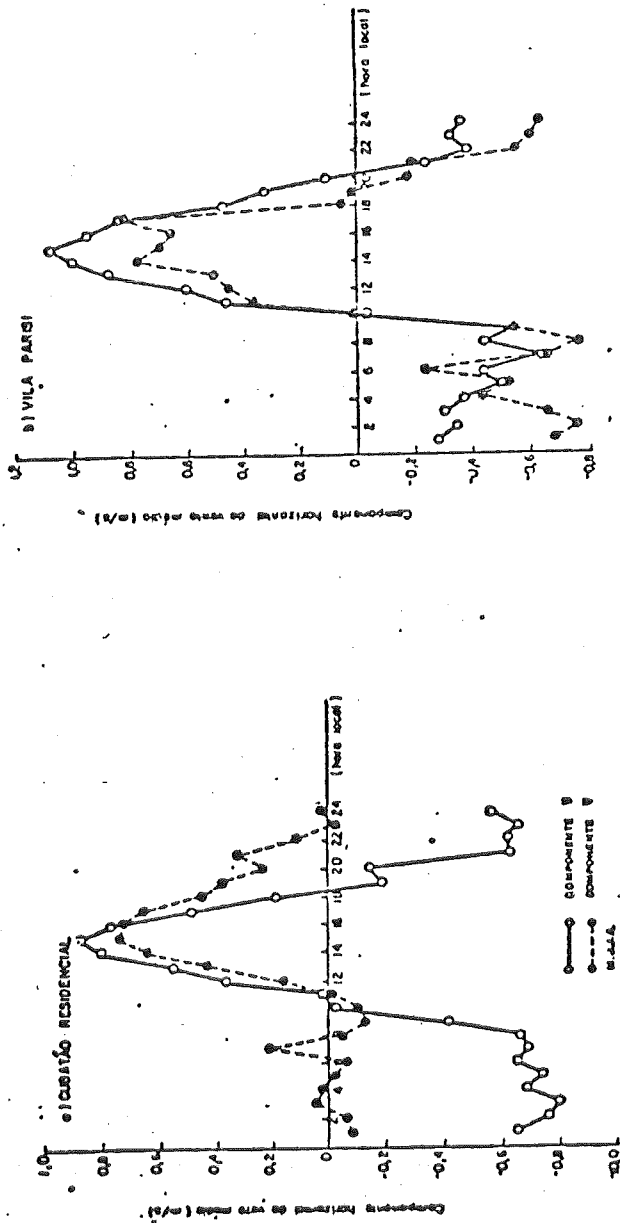


Figura 5.1: Componente zonal (o—o) e meridional do vento em superfície durante o período de inverno (Maio - Agosto). Média de 5 anos (1981-85). Figura 2 de OLIVEIRA & SAGULA (1985).

6 - ANÁLISE DOS PERFIS VERTICAIS DE TEMPERATURA POTENCIAL (Θ), RAZÃO DE MISTURA (Q), VELOCIDADE (V) E DIREÇÃO DO VENTO OBTIDOS ATRAVÉS DO BALÃO CATIVO.

Foram efetuados 15 lançamentos de balão cativo na COSIPA (COS) entre 24 e 28 de fevereiro, 2 lançamentos no dia 25, 4 no dia 26, 2 no dia 27 e 7 no dia 28, conforme indicado na Tabela I.

Nas Figs. (6.1) a (6.15) são apresentados os gráficos com abscissa correspondente à: (a) temperatura potencial; (b) razão de mistura; (c) módulo da velocidade do vento; (d) direção do vento. A ordenada indica a pressão no nível de medida. Nessas figuras a curva contínua representa os valores obtidos pelo balão cativo durante a subida, enquanto que a curva pontilhada representa a descida.

Tendo em vista a descontinuidade temporal existente as sondagens foram agrupadas em três períodos: o primeiro corresponde aos lançamentos efetuados no dia 25; o segundo corresponde ao dia 26; o terceiro corresponde aos dias 27 e 28 de fevereiro.

Deve ser salientado que todas as sondagens foram plotadas ainda sem qualquer correção referente aos erros discutidos no Capítulo 4, por ser esta uma análise preliminar.

6.1 - Primeiro período (25/02)

Pode-se verificar que existe um nítido contraste entre a sondagem da madrugada (03:47 HL), mostrada na Fig. (6.1), e a da tarde (15:20 HL), mostrada na Fig. (6.2). De madrugada a atmosfera se encontra estável no primeiros 10 mb, passando quase neutra nos níveis superiores, durante a subida (curva contínua da Fig. (6.1a)). Esta configuração muda consideravelmente durante a sondagem de modo que na descida os primeiros 10 mb apresenta uma menor estabilidade (curva pontilhada da Fig. (6.1a)) associado ao aumento da temperatura potencial em toda esta camada. Esta variação entre a subida e a descida do balão cativo não se mostra tão evidente como indica a Fig. (6.1b). Por outro lado, a velocidade e a direção do vento, mostradas na Fig. (6.1c) e (6.1d) respectivamente apresentam comportamentos distintos durante a subida e a descida, principalmente a direção do vento, que durante a subida (curva contínua) passa de SSW próximo a superfície para NE nos níveis superiores, enquanto que durante a descida (curva pontilhada) varia gradualmente de NE, nos níveis superiores, para N próximo a superfície. Portanto houve uma substancial mudança do vento próximo a superfície (de SSW para N)

entre a subida e a descida do balão cativo (cerca de 1 hora).

Na sondagem da tarde, durante a subida a atmosfera se apresentou instável, próximo a superfície, tornando-se ligeiramente estável ou neutro nos níveis superiores como mostra a Fig. (6.2a). Contudo, durante a descida do balão cativo a atmosfera se encontrava praticamente neutra até a superfície. Estas variações entre a subida e descida do balão cativo também são observadas no perfil vertical de razão de mistura, que durante a subida apresentou duas camadas de mistura (CM), a primeira localizada próxima a superfície com razão de mistura média igual a 16,8 g/kg e espessura de 8 mb (80m), a segunda apresentou uma razão de mistura média igual a 16,6 g/kg até 970 mb, como mostra a Fig. (6.2b). Entenda-se por CM a região da CLP onde a temperatura potencial, razão de mistura, assim como outros parâmetros conservativos, são constantes devida a mistura turbulenta na vertical.

Nos perfis verticais de velocidade e direção do vento mostrados nas Figs. (6.2c) e (6.2d) respectivamente podemos notar que as diferenças observadas no perfil vertical de temperatura e razão de mistura estão associados a variações na direção do vento. Durante a subida do balão cativo a direção do vento nos primeiros 8 mb era de E, muda para NE nos níveis superiores e permanece neste quadrante durante toda a descida. Este fato pode indicar que a brisa marítima está associada a componente de leste do vento próximo a superfície, mais seca e mais fria do que a componente de NE.

6.2 - Segundo Período (26/02)

O contraste observado no primeiro período, entre as sondagens noturnas e diurnas, também foi observado neste segundo período entre as sondagens da madrugada (03:14 e 05:00 HL); mostradas nas Figs. (6.3) e (6.4), e as sondagens da tarde, (14:22 e 16 40 HL), mostradas nas Figs. (6.5) e (6.6).

Durante a madrugada a atmosfera se mostrou bastante estável, tanto na subida quanto na descida do balão cativo como indica o perfil vertical de temperatura potencial as 0314 e as 05:00 HL, mostrados nas Figs. (6.3a) e (6.4a) respectivamente. Podemos também observar nestas figuras que existem diferenças significativas entre a temperatura potencial próxima a superfície na subida e na descida. Do mesmo modo que no caso anterior: os perfis verticais de razão de mistura indicam um ligeiro decréscimo com a altura, sem mostrar, entretanto, qualquer variação significativa entre a subida e a descida do balão cativo mostradas respectivamente nas Figs. (6.3b) e (6.4b) as perfis verticais de velocidade e direção do vento, mostrados nas Figs. (6.3c), (6.3d) e (6.4c) e (6.4d) respectivamente, indicam que o

vento durante a madrugada era intenso (rajadas de 5 m/s) e predominante do quadrante NNE.

Nas sondagens da tarde a atmosfera em Cubatão apresenta uma CM com temperatura potencial média igual a 306 K as 14:22 HL, mostrada na Fig. (6.5a), e igual a 305 K as 16:40 HL, mostrada na Fig. (6.6a). Além disso, esta CM se mostrou bastante úmida, com razão de mistura igual a 19,5 g/kg na superfície e decrescendo linearmente até 17,6 g/kg em 945 mb as 14:22 HL, como mostra a Fig. (6.5b), e com razão de mistura média igual a 18,5 g/kg as 16:40 HL, como indica a Fig. (6.6b). Deve ser ressaltado que o perfil vertical de razão de mistura as 16:40HL (Fig. (6.6b)) apresenta uma discrepância entre a subida (curva contínua) e a descida (curva tracejada) do balão cativo. Os perfis verticais de velocidade e direção do vento, mostrados nas Figs. (6.5c), (6.5d) e (6.6c) e (6.6d), indicam um vento de Sul, associado a brisa marítima com rajadas mais intensas próximo a superfície as 14:22 HL (Fig. (6.5c)).

6.3 - Terceiro Período

Este terceiro período consiste de 9 sondagens, consecutivas, distribuídas entre as 21:30 HL do dia 27 e 23:10HL do dia 28 de fevereiro. Com exceção das sondagens realizadas as 21:30HL do dia 27 e as 00:41 HL do dia 28, mostradas nas Figs. (6.7) e (6.9) respectivamente, o restante das sondagens indicou uma atmosfera estável durante a noite e parte da manhã, com a razão de mistura declinando ligeiramente com a altura, como mostra as Figs. (6.8a), (6.10a), (6.11a), (6.12a), (6.13a) e (6.8b), (6.10b), (6.11b), (6.12b), (6.13b). Do mesmo modo, os perfis verticais da velocidade e direção do vento, com exceção das sondagens das 21:30HL (27/02), e 00:41 (28/02), mostrada nas Figs. (6.7c), (6.9c) e (6.7d), (6.9d), apresentou um vento de NNE com rajadas de até 9 m/s durante toda a noite e parte da manhã, como indicamos as Figs. (6.8c) (6.10c), (6.11c), (6.12c), (6.13c) e (6.8d) (6.10d), (6.11d), (6.12d), (6.13d).

Na sondagem das 10:10 HL podemos observar a formação de uma CM com o topo em torno de 905 mb na subida do balão cativo como mostra a Fig. (6.14a), (curva contínua). Esta CM estendeu-se para 958 mb durante a descida do balão cativo (curva pontilhada). Esta evolução da CM também pode ser identificada através dos perfis verticais de razão de mistura as 10:10 HL, como mostra a Fig. (6.14b). Nas sondagens da 13:10 HL o topo da CM já não pode ser mais identificada. Os perfis verticais do vento indicam a penetração da brisa marítima com ventos de "S" nas camadas mais próxima a superfície (970 mb) como mostra a Fig. (6.14d), sendo que as 13:10HL a brisa marítima domina toda a CLP com ventos de S, como mostra a Fig. (6.15d). A velocidade do vento não excede 7 m/s como mostra as Figs. (6.14c) e (6.15c).

A sondagem realizada as 21:30 HL do dia 27/02 apresentou um comportamento bastante diferenciado das sondagens noturnas com ventos de S até o nível de 960 mb tanto na subida quanto na descida do balão cativo como mostra a Fig. (6.7). Do mesmo modo a sondagem das 00:41 HL do dia 28/02, além de vento do quadrante SW até 960 mb revelou um aumento relativo na velocidade do vento (de 4 m/s), razão de mistura (de 2g/kg) e uma diminuição relativa na temperatura potencial (de 1 K) no nível de 985 mb, como mostra as Figs. (6.9). Deve ser salientado que neste horário havia a presença de atividade convectiva intensa no topo da Serra do Mar a SW do local de lançamento e sobre Santos a SE do local de lançamentos.

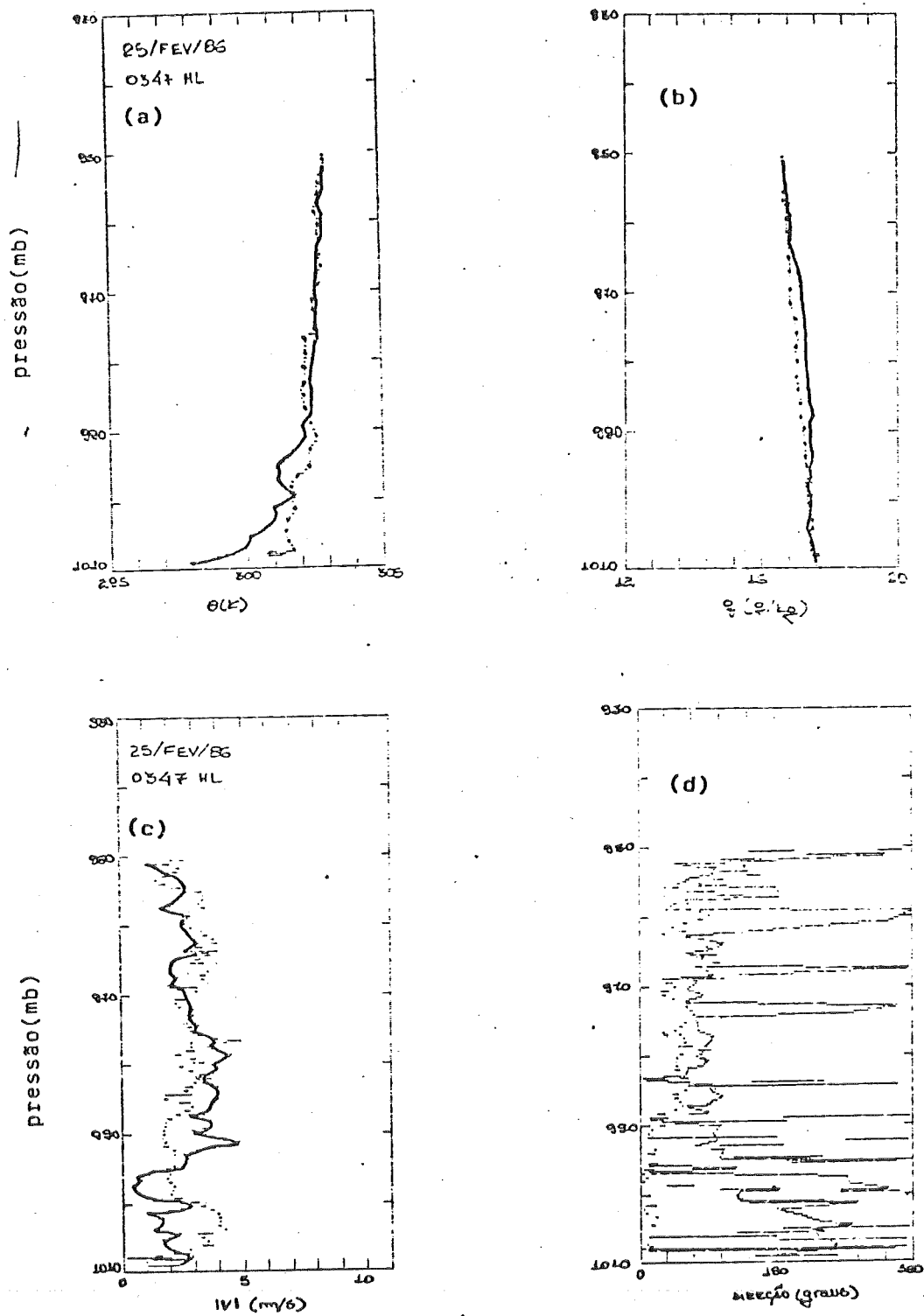


Figura 6.1: Perfil vertical de: (a) Temperatura potencial; (b) Razão de mistura; (c) Velocidade do vento; (d) Direção do vento. Curva contínua representa subida e curva tracejada representa descida do Balão Cativo.

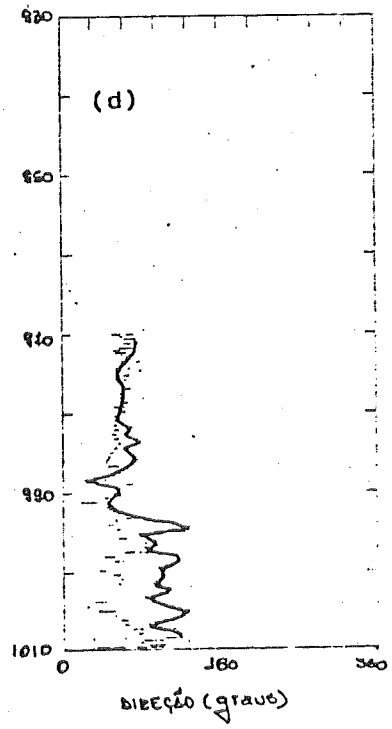
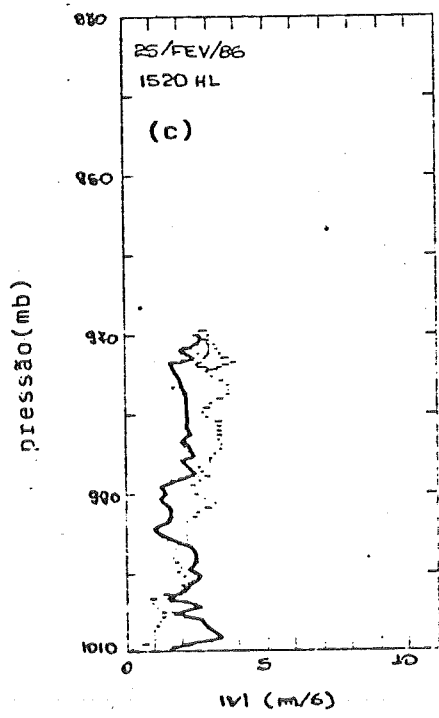
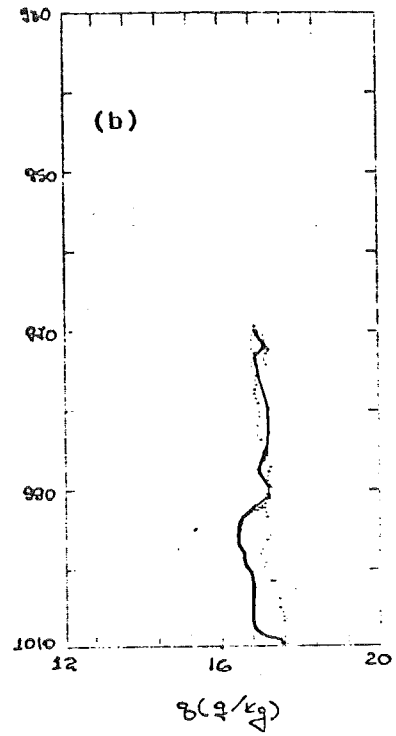
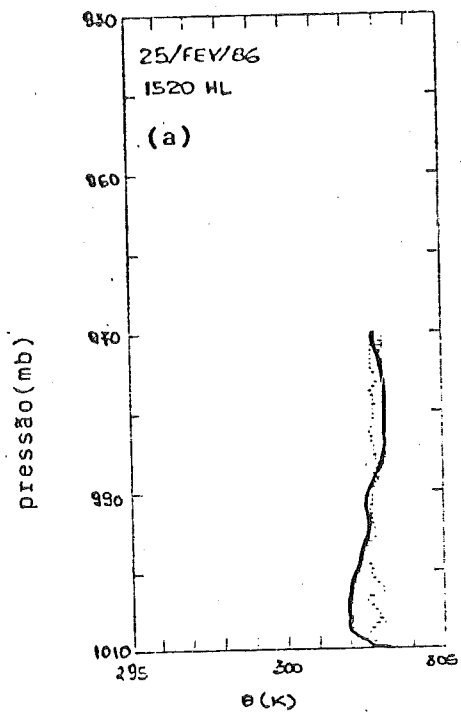


Figura 6.2: Ídem a Fig. 6.1.

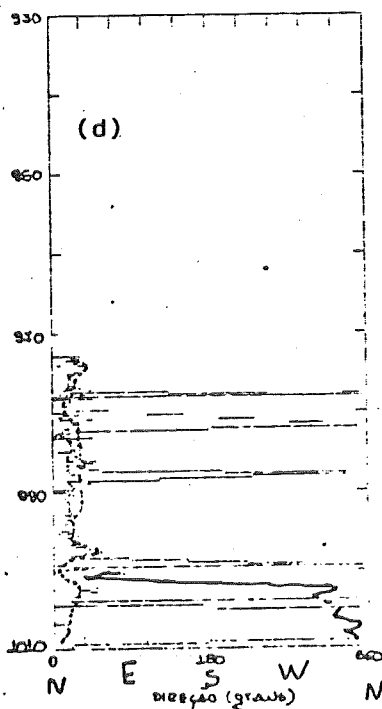
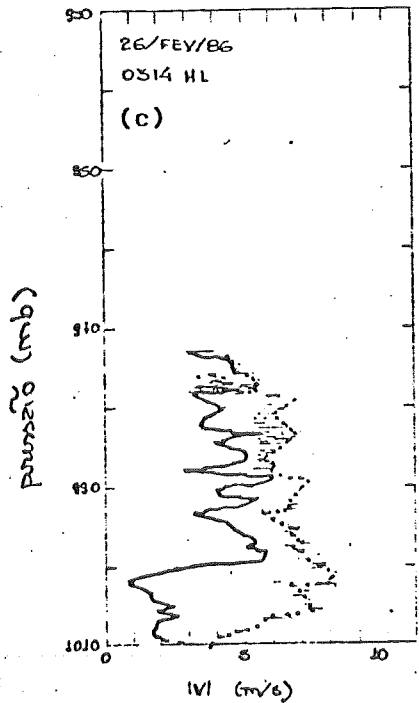
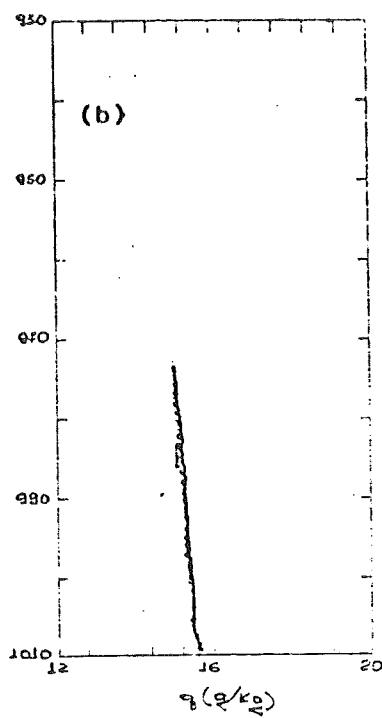
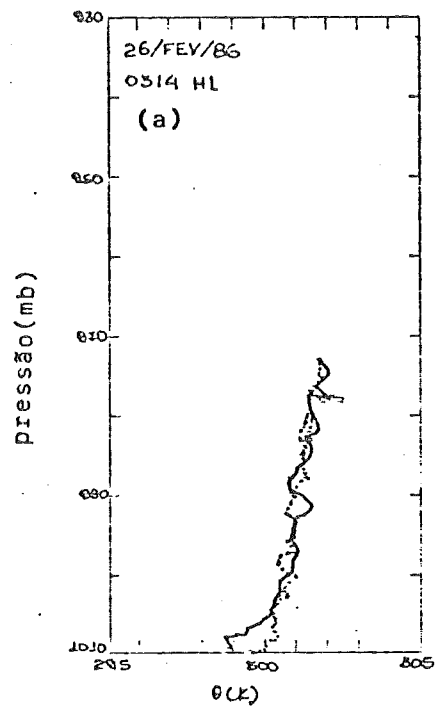


Figura 6.3: Idem a Fig. 6.1.

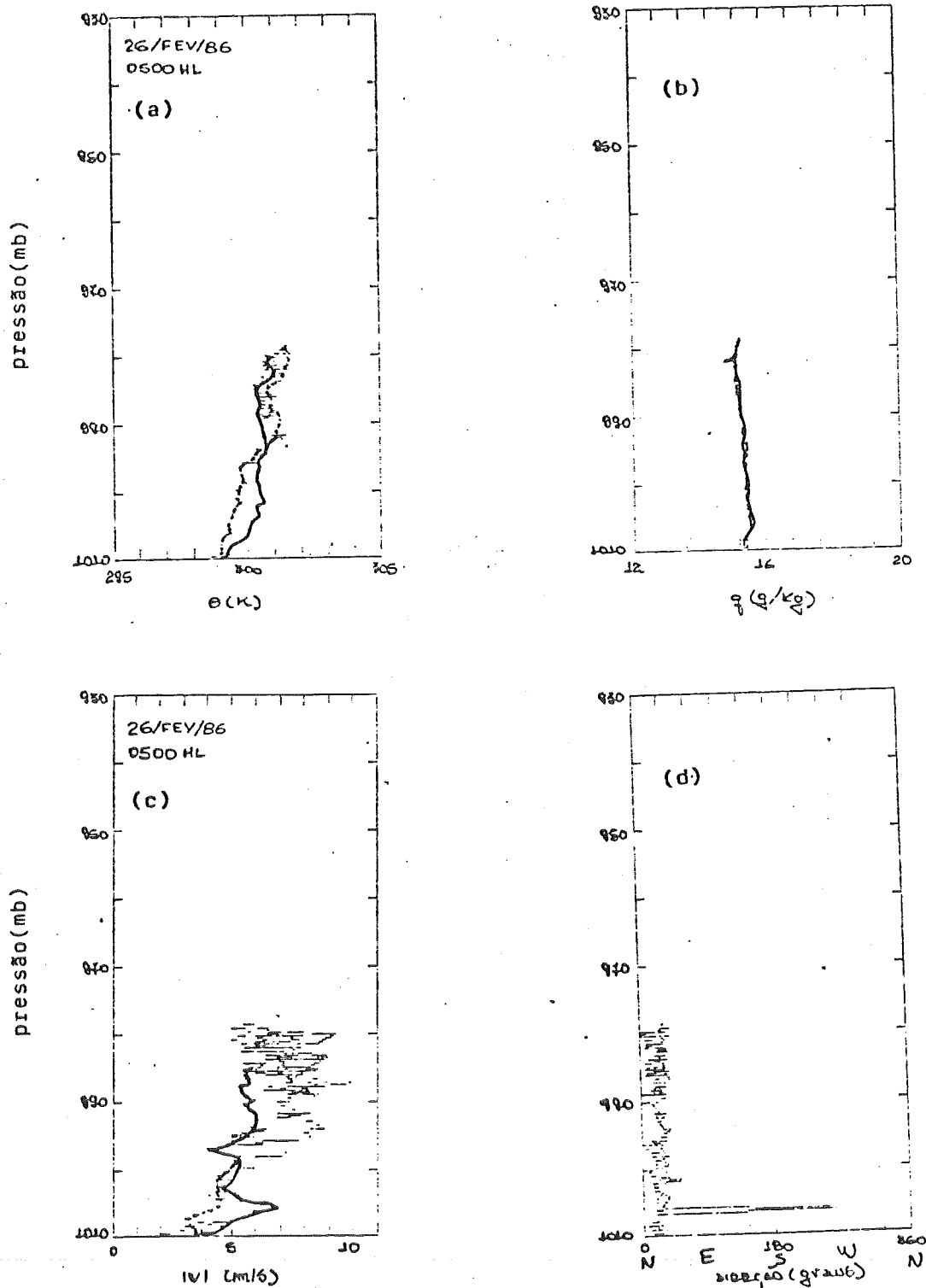


Figura 6.4: ídem a Fig. 6.1.

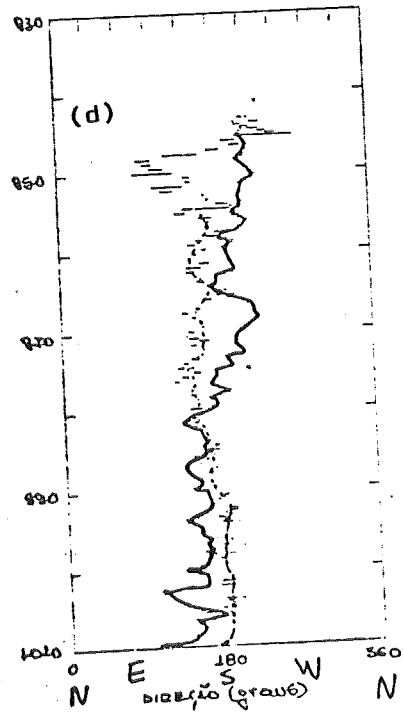
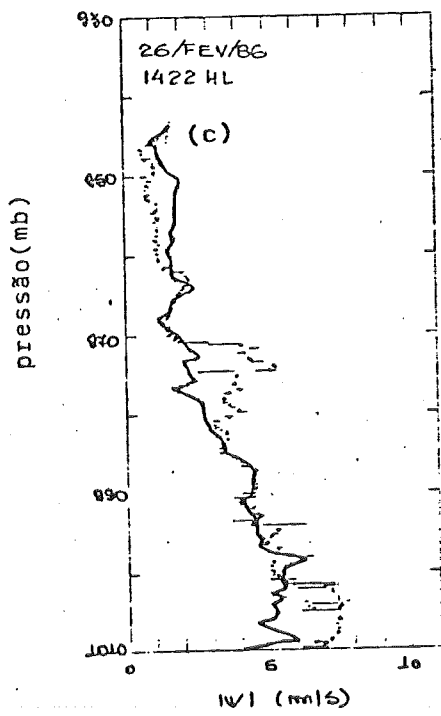
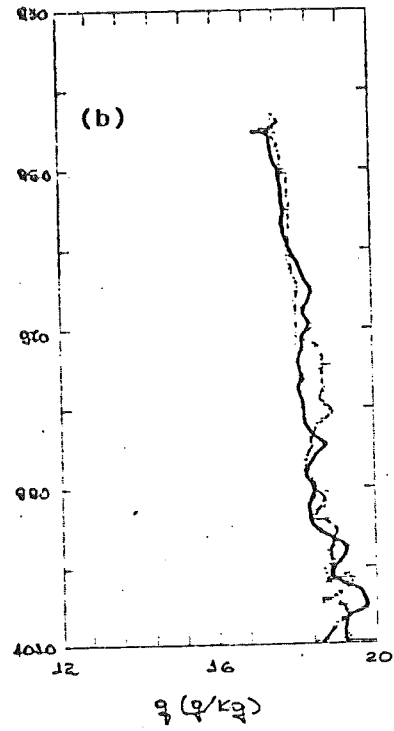
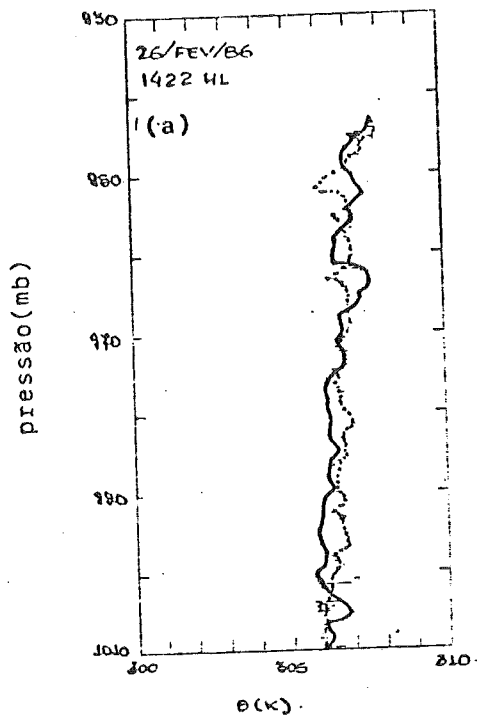


Figura 6.5: ídem a Fig. 6.1.

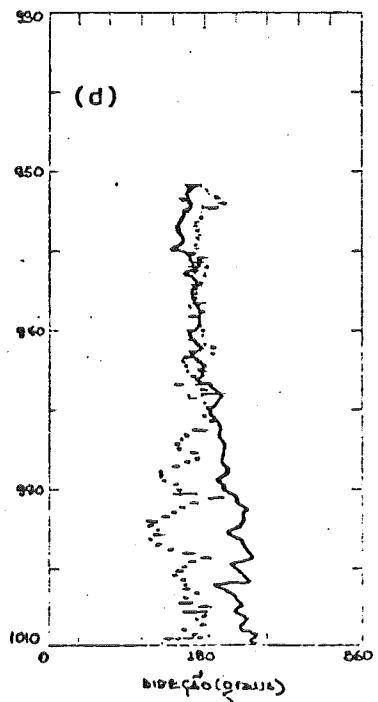
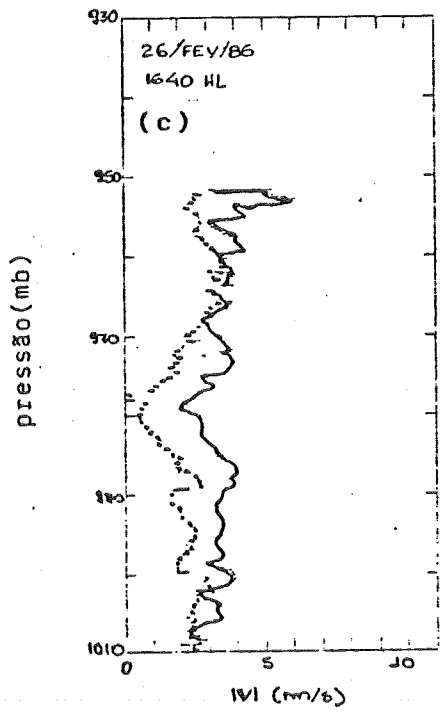
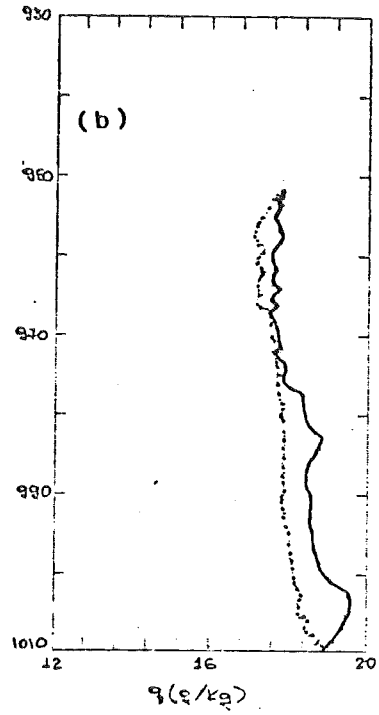
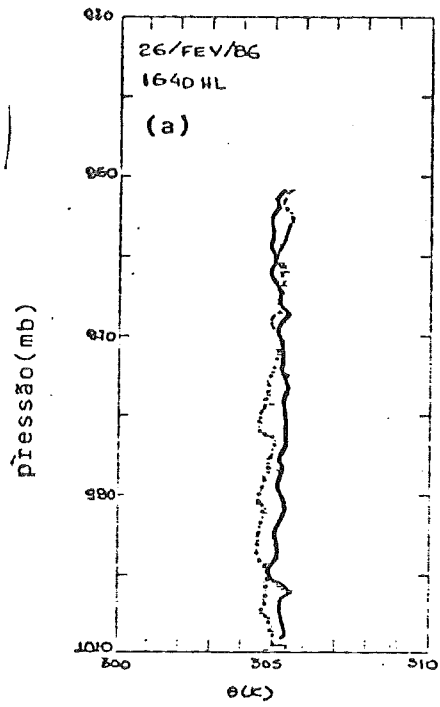


Figura 6.6: Ídem a Fig. 6.1.

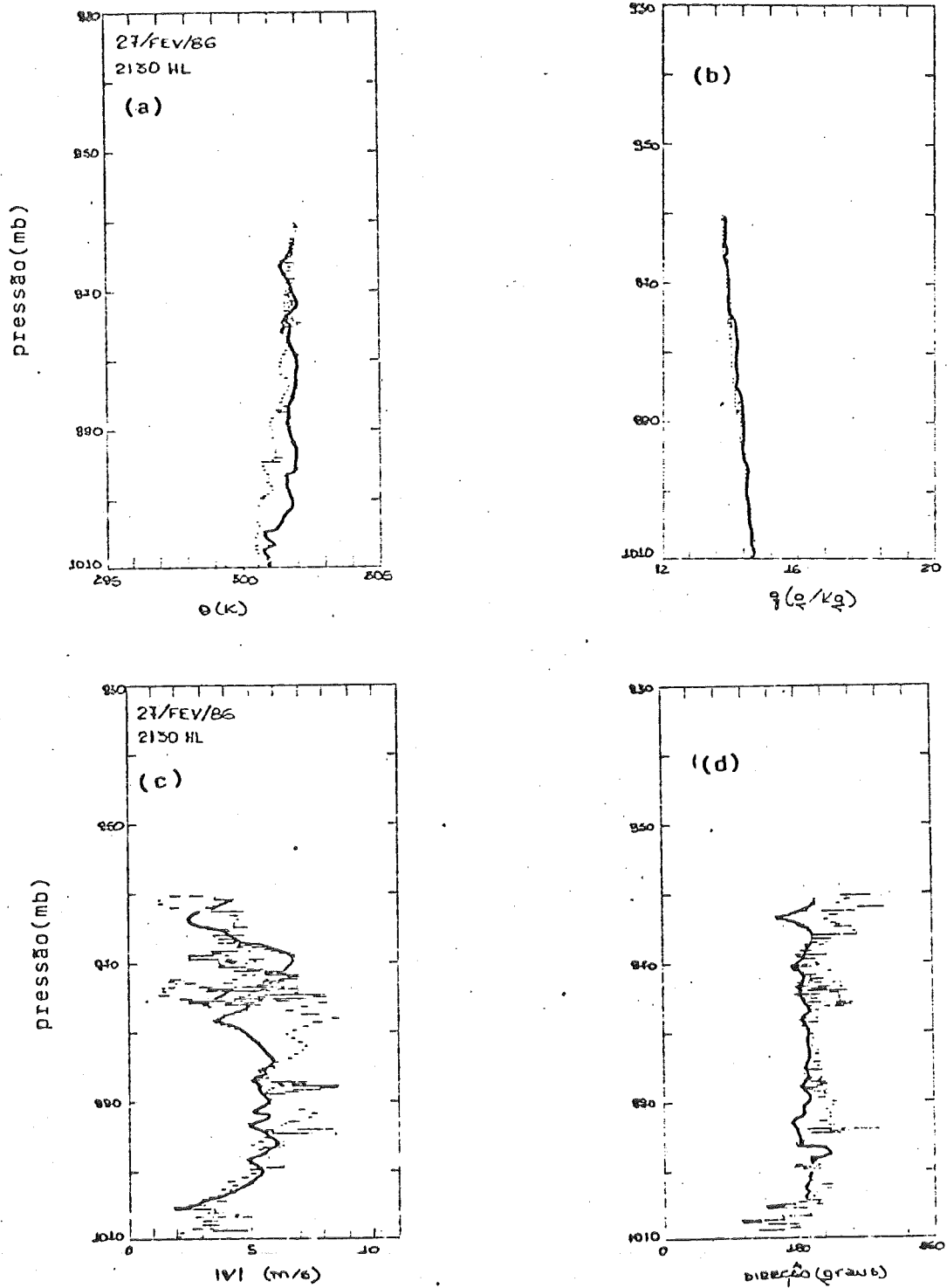


Figura 6.7: Idem a Fig. 6.1.

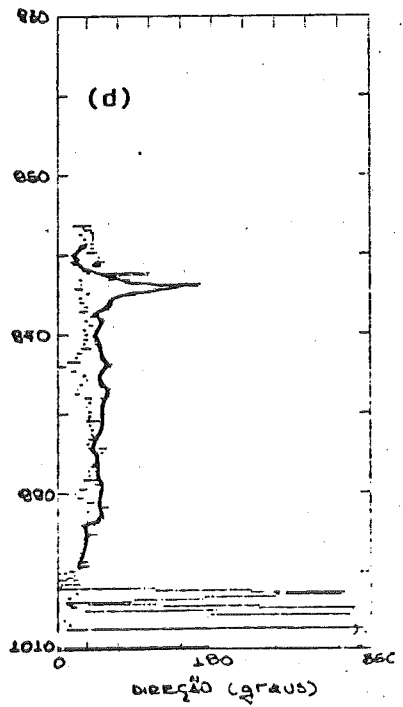
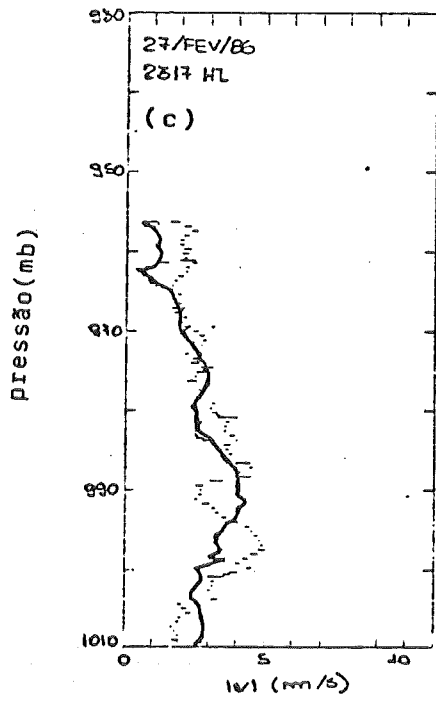
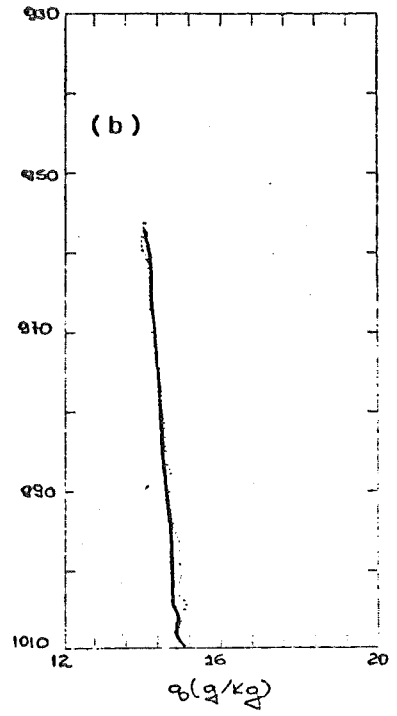
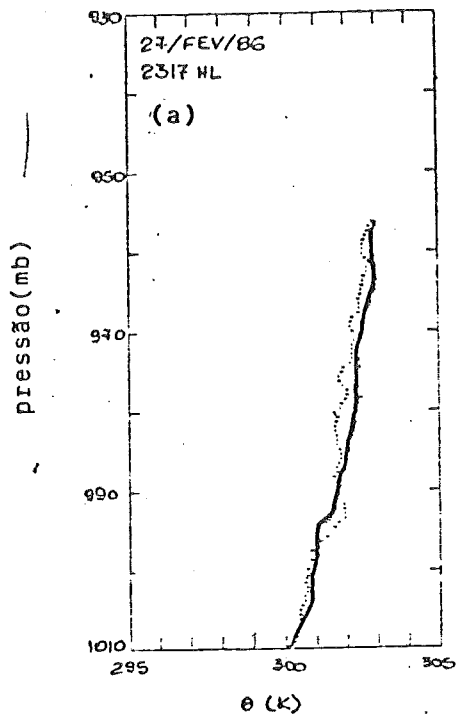


Figura 6.8: Idem a Fig. 6.1.

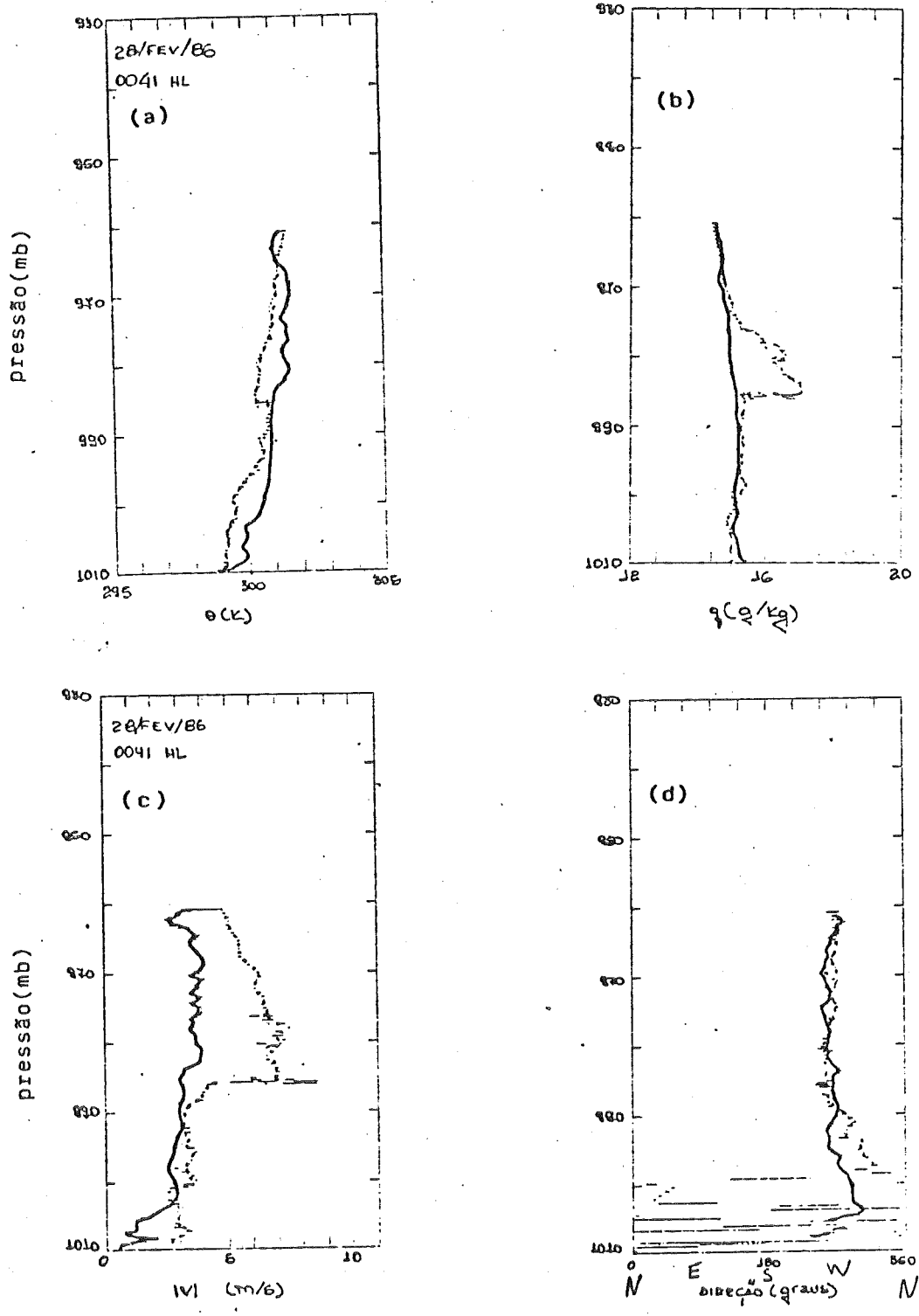


Figura 6.9: Ídem a Fig. 6.1.

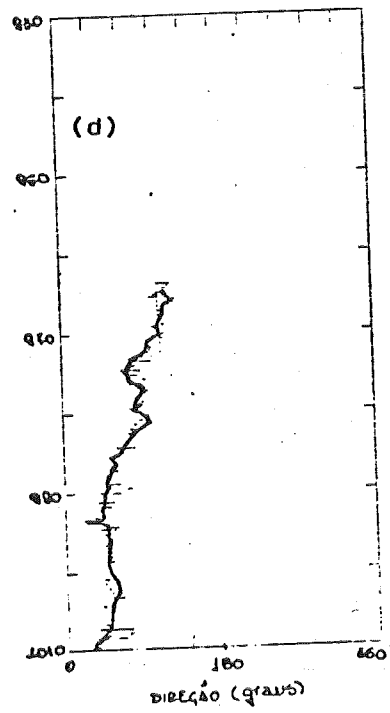
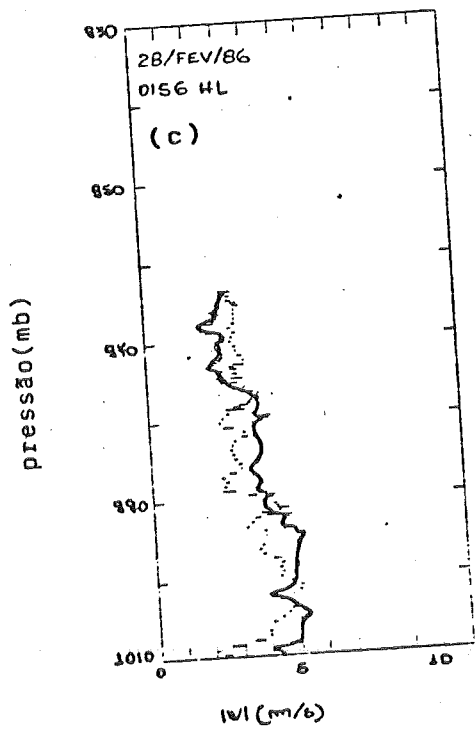
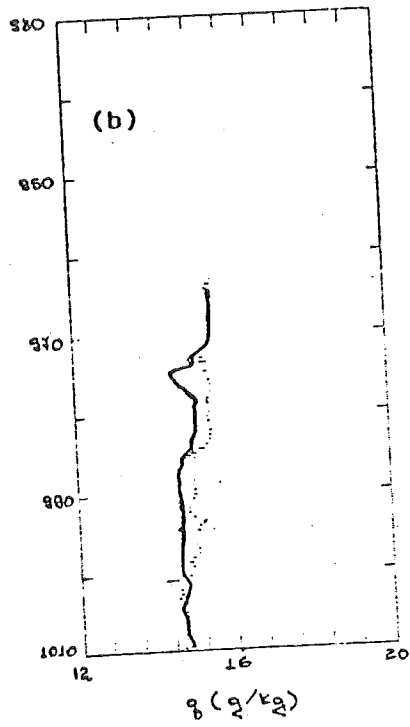
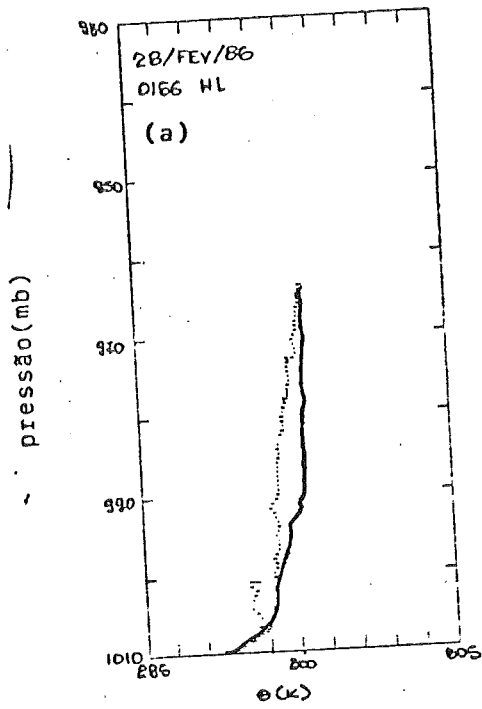


Figura 6.10: Idem a Fig. 6.1.

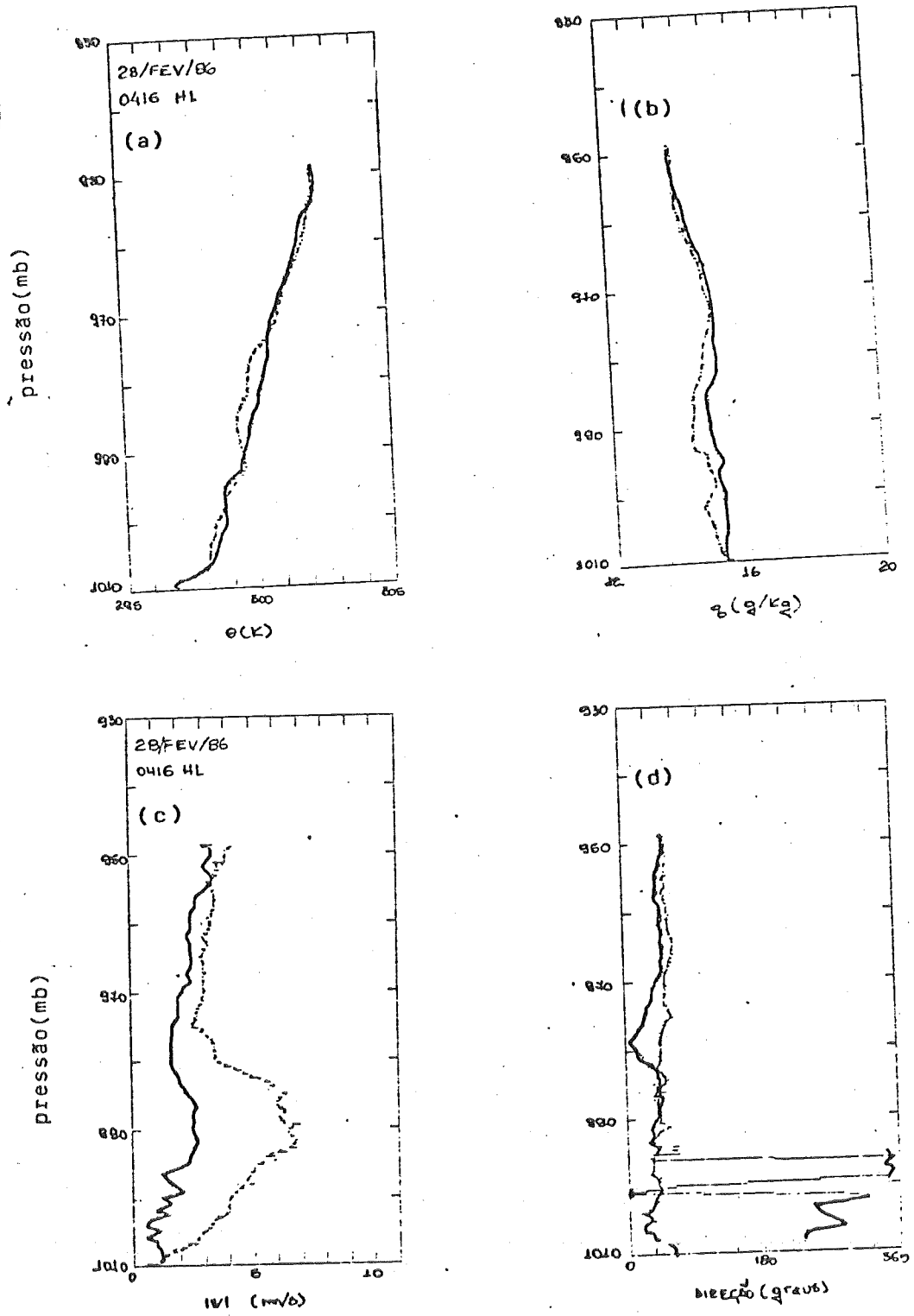


Figura 6.11: Idem a Fig. 6.1.

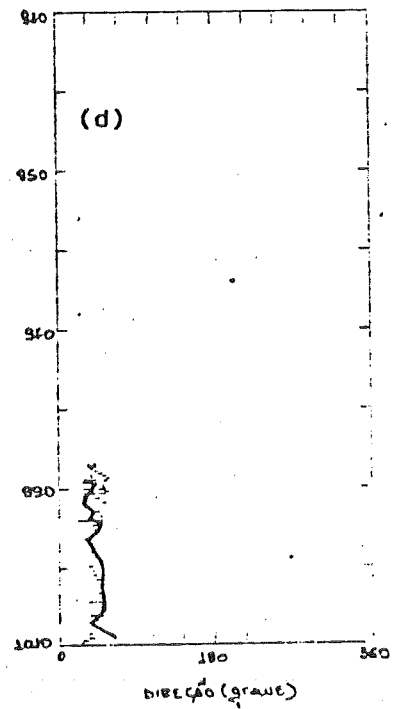
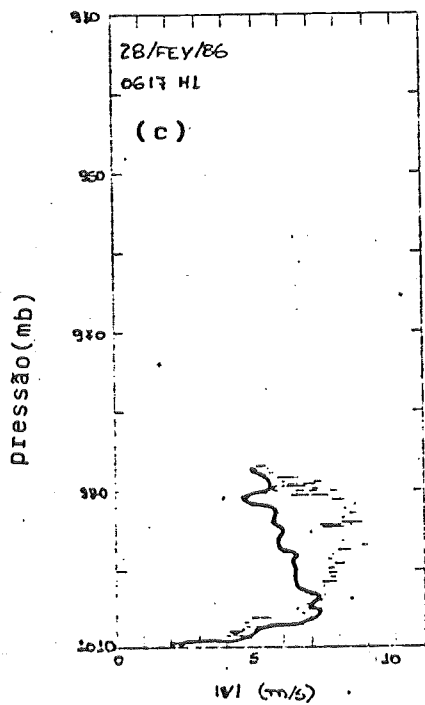
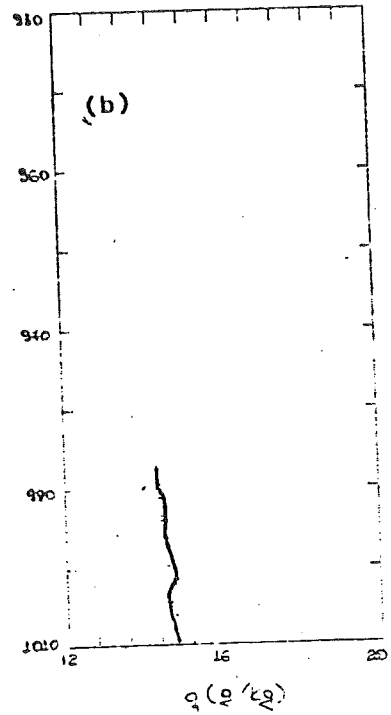
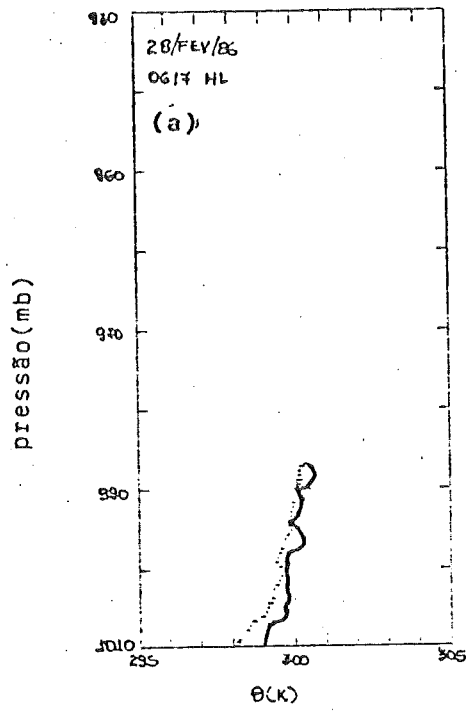


Figura 6.12: Idem a Fig. 6.1.

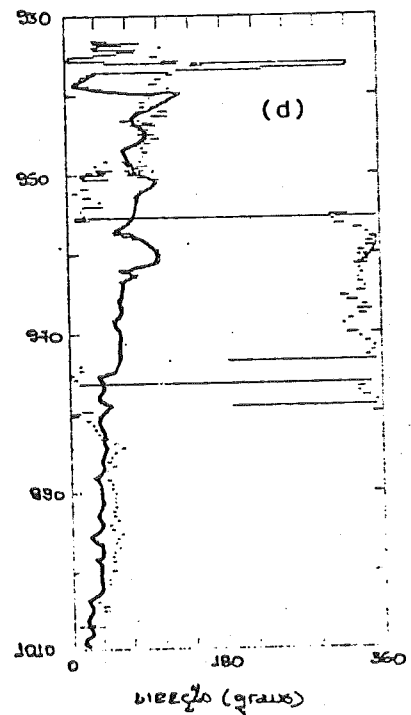
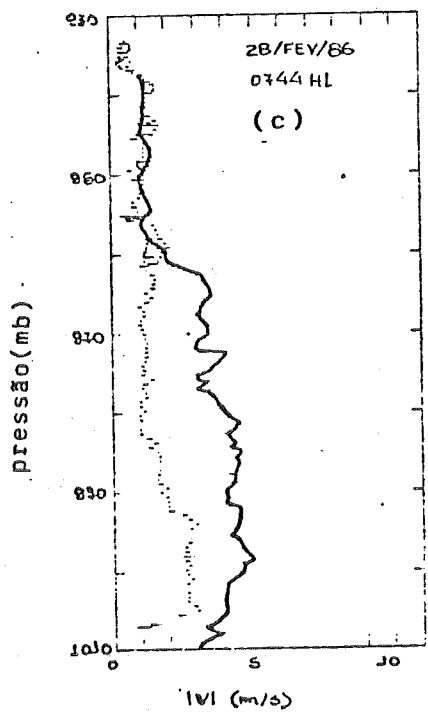
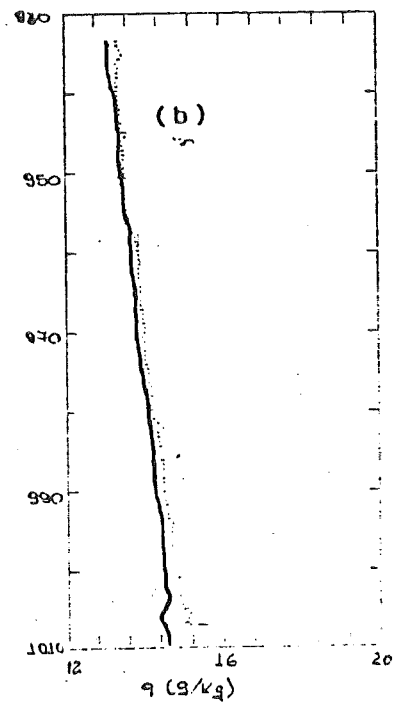
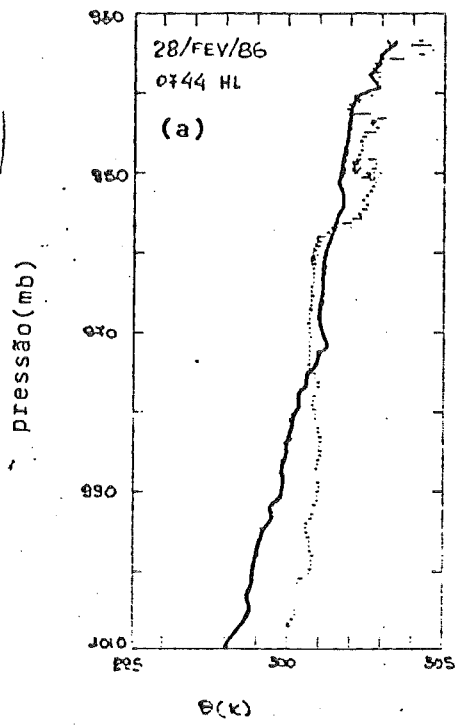


Figura 6.13: Ídem a Fig. 6.1.

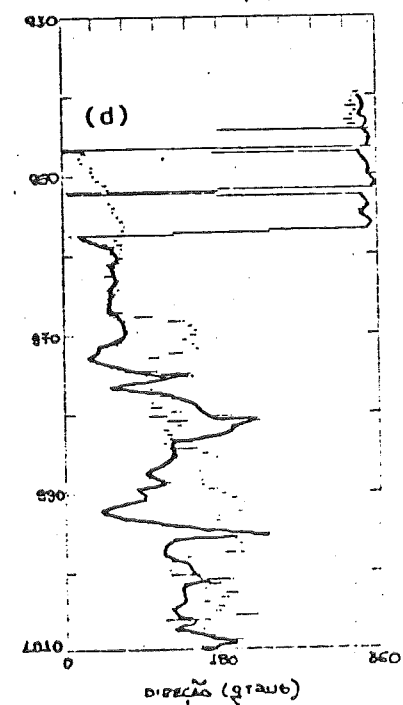
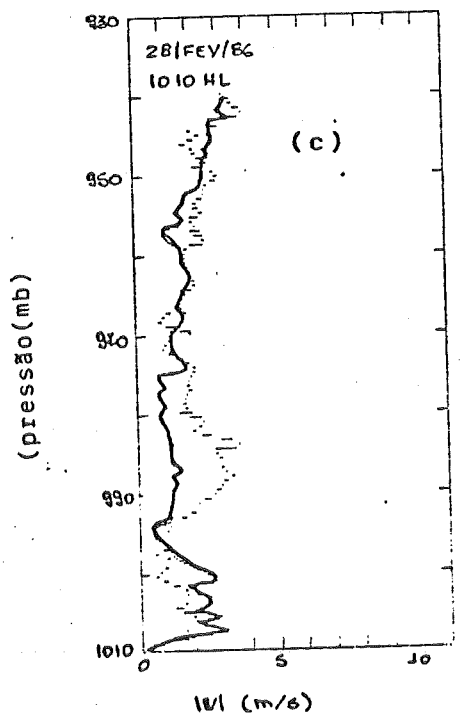
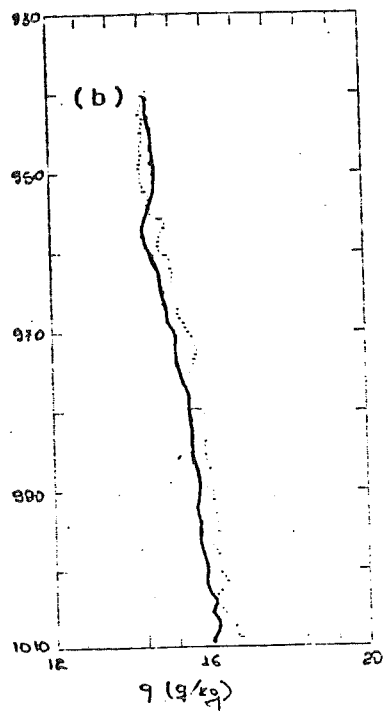
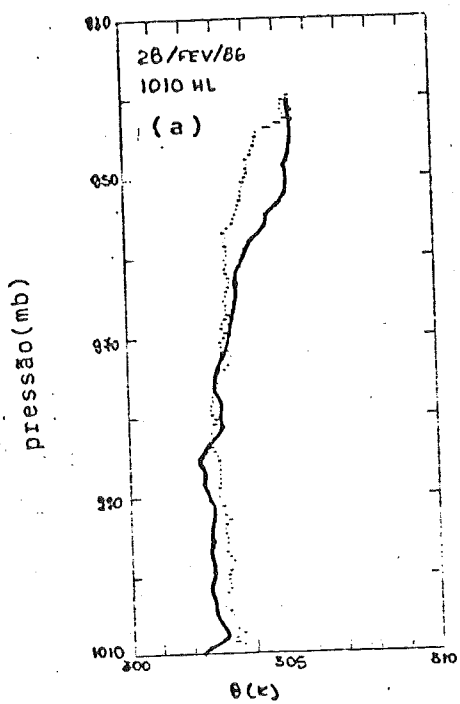


Figura 6.14: Ídem a Fig. 6.1.

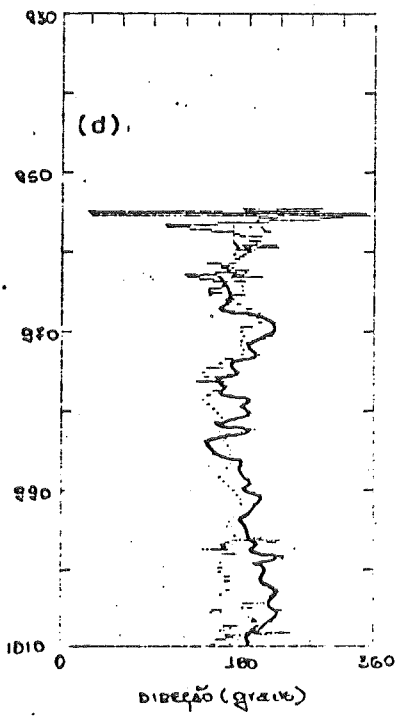
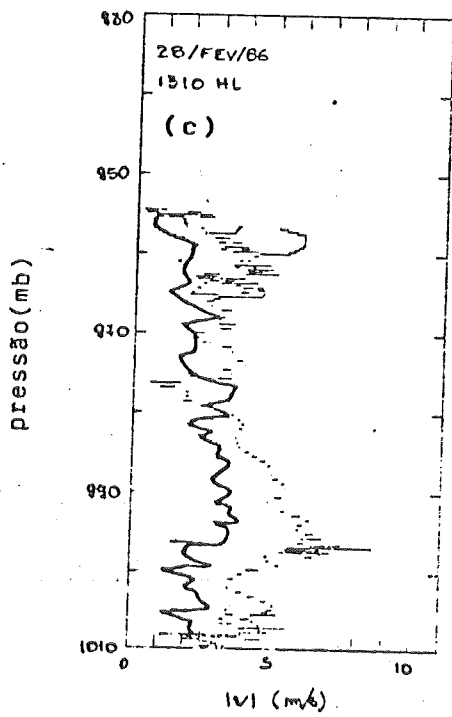
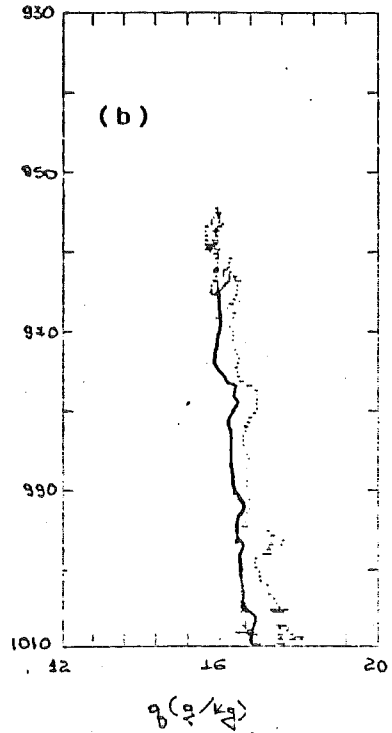
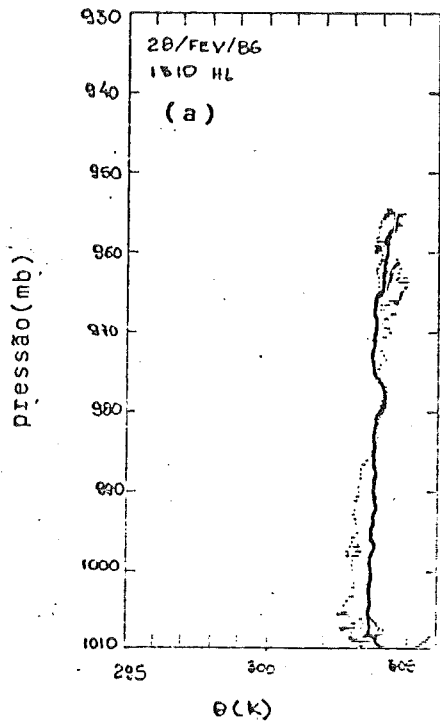


Figura 6.15: Idem a Fig. 6.1.

7. EVOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL - BALÃO PILOTO.

A descrição a seguir está baseada em gráficos de perfil vertical de velocidade e direção do vento nas três estações de lançamento de balão piloto COS, CBO e CAS (Figs. 7.1 a 7.21) e em algumas trajetórias do balão, projetadas no plano horizontal (Figs. 7.22 a 7.24). Apenas algumas características marcantes serão descritas neste relatório.

Os primeiros perfis obtidos na estação COS são da tarde do dia 24 continuando no dia 25. No dia 26 começam a operar CBO e CAS. A partir do dia 27 operam apenas COS e CBO dado o problema técnico de falta de H para o balão cativo. Nem todos os horários apresentam simultaneidade dos três lançamentos; isso se deve normalmente a falta de visibilidade, o que explica também as diferentes alturas atingidas. Foram projetadas as trajetórias no plano apenas para os casos em que havia pelo menos duas estações funcionando e os perfis de pelo menos uma medida fosse a mais de 500 m.

A Fig. 7.22a mostra as trajetórias em CBO e CAS no dia 26 as 10:00 HL. A Fig. 7.7a e b mostra os perfis correspondentes. Em CBO o vento nos baixos níveis é de norte girando para NW acima de 1400m. Em CAS a direção predominante é de sul em praticamente toda a camada da superfície até 2000 m. Em baixos níveis essa situação corresponde a existir convergência de massa entre CBO e CAS. É possível que a linha de convergência corresponda a frente de brisa marítima que se propaga do litoral para o interior. A Fig. 7.22b mostra que as 11:00 HL perdura situação em baixos níveis, com a concordância da trajetória detectada em COS com aquela de CBO. CAS tem vento SE até 100 m virando para Norte logo acima. As 14 hrs, a Fig. 7.22c mostra que CAS tem vento SE, CBO vento sul e COS vento SW em baixos níveis virando, tanto em CAS como em CBO, para NW nos níveis superiores. Nota-se nesse caso que a brisa marítima detectada em CAS tem a direção prevista, perpendicular a costa, dando vento SE. No entanto a progressiva penetração do ar marítimo na região de Cubatão parece ser gradualmente defletido pela topografia penetrando no Vale do Mogi que tem a direção NE-SW. Nos níveis superiores a direção do vento de NW corresponde a direção observada em Congonhas no nível de 850 mb que corresponde a aproximadamente 1500 m acima do NMM. (veja Fig. 8.3c).

Na Fig. 7.22, as 17:00 HL observa-se a mesma situação do horário anterior.

Durante a noite do dia 26 e madrugada do dia 27, nas Figs. 7.11, 7.12 e 7.13, parece haver a influencia de ventos catabáticos e brisa terrestre. Em CAS e CBO, às 21:00 HL (dia 26), o vento sopra, em baixos níveis, de NE. As 2:00 HL do dia 27 (Fig. 22) o vento oscila entre NE nos baixos níveis para NW a

100 m de altura. O dia 27 pela manhã assemelha-se ao dia 26. No entanto o primeiro horário de medidas (9:00 HL, Fig. 7.23a) por ser uma hora mais cedo mostra que em CAS o vento sopra de NE em baixos níveis, assim como em COS e CBO, aparentemente canalizado pelo Vale do Mogi, virando para NW em níveis superiores. A carta de 850 mb (Fig. 8.4c) mostra vento de NNE em São Paulo, ou seja diferente daquele detectado sobre Cubatão. Apenas às 14:00 HL (Fig. 7.23c) o vento em níveis altos mostra semelhança com o vento detectado pela sondagem em S. Paulo. Às 11:00 HL (Fig. 7.23b) a situação é semelhante a do dia 26 com a frente da brisa em um ponto intermediário entre CAS e CBO; às 14:00 (Fig. 7.23c) CBO já mostra vento em direção ao vale do Mogi. É curioso notar que às 17:00 HL CBO tem ventos de W em baixo girando para SE A 700 m (veja Fig. 7.17b) e em CAS o vento é de SSW até 300 m.

Durante a madrugada do dia 28 (Fig. 7.18) COS tem vento de NE e CBO inicialmente de S e logo acima oscilando entre NE e E.

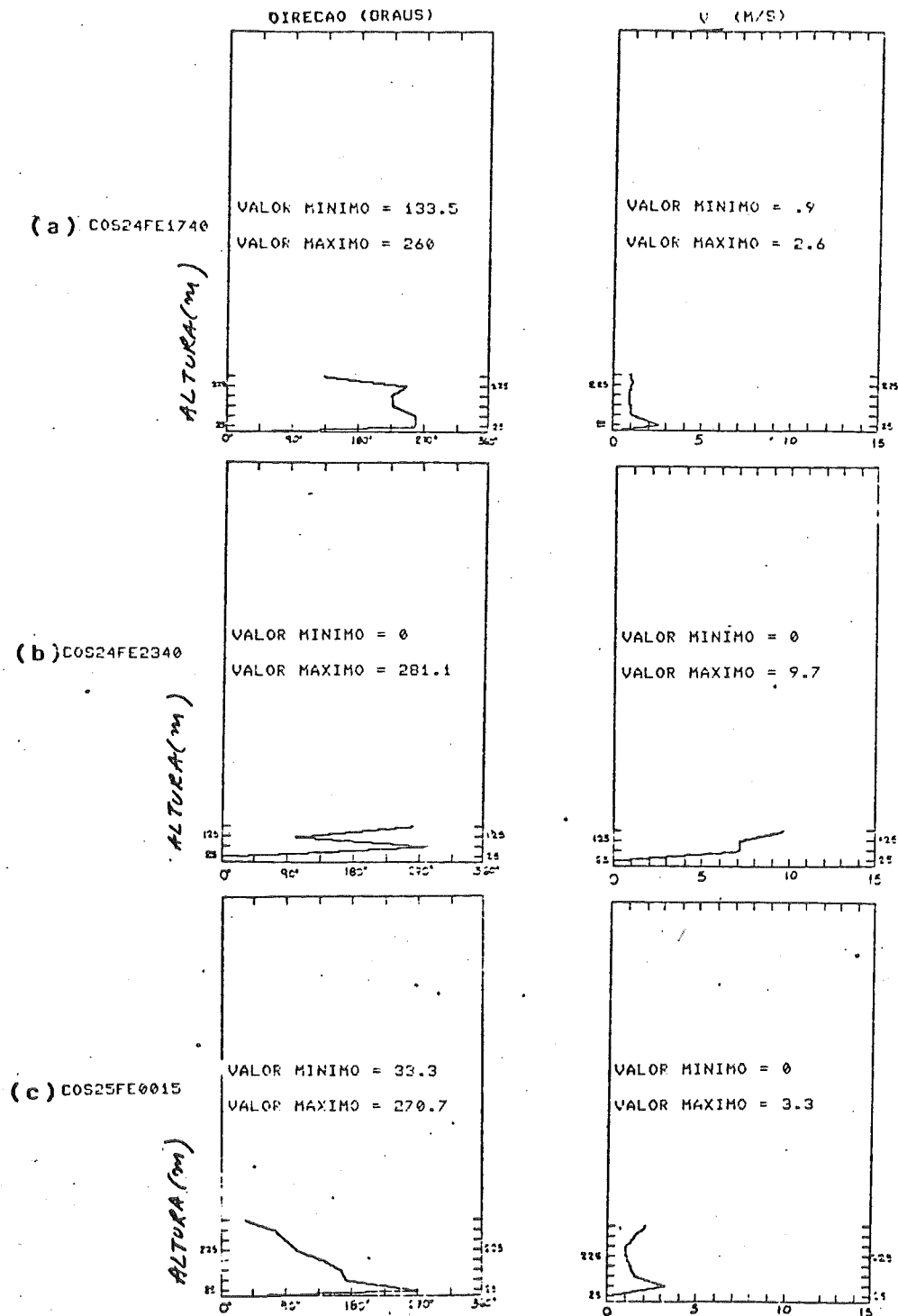


Figura 7.1: Perfis de vento (direção e velocidade) obtidos com balão piloto. Estação (EEE) data (ddmm) e hora (hhhh) indicados em cada figura com o formato EEEddmmhhhh.

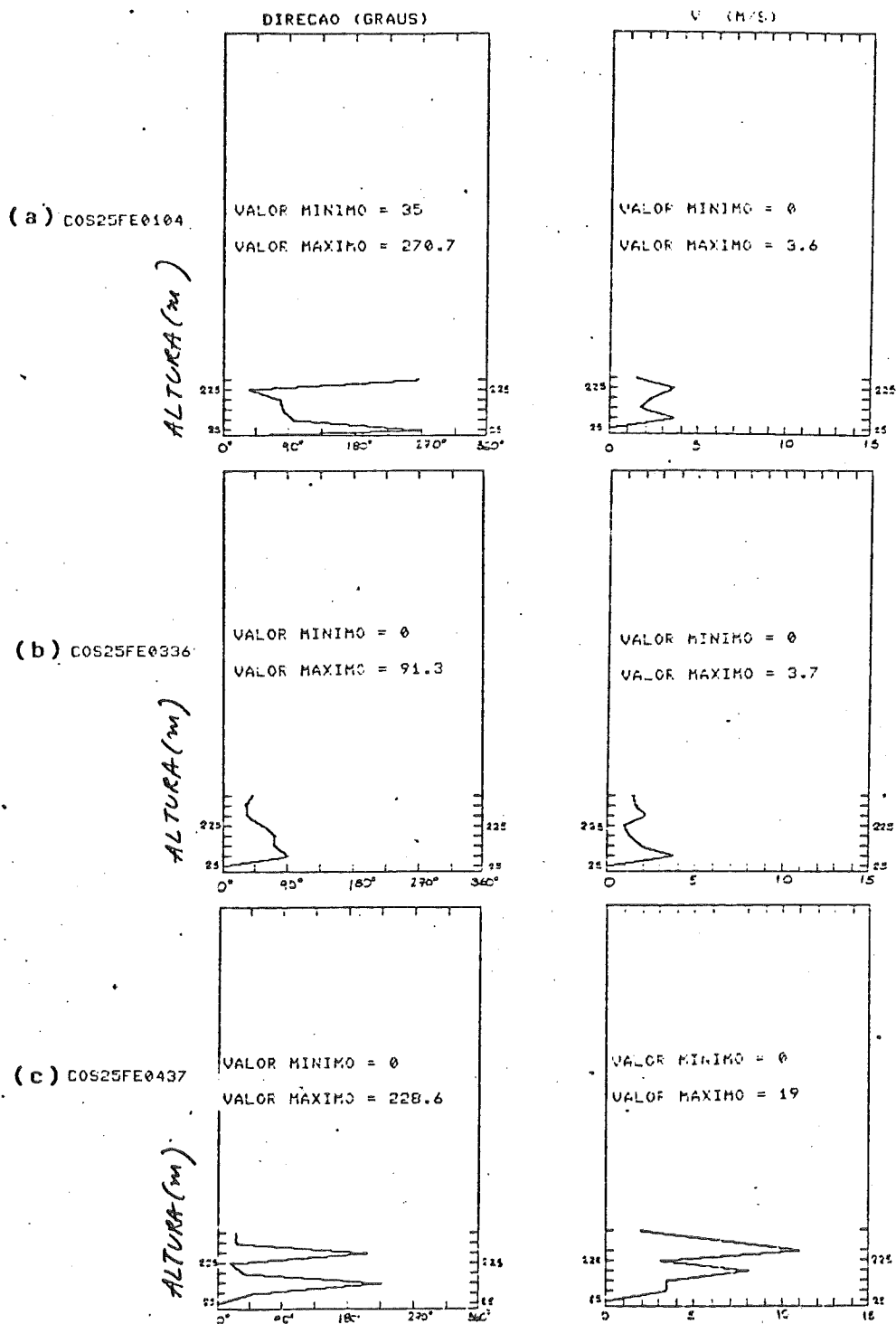


Figura 7.2: Ídem a Fig. 7.1.

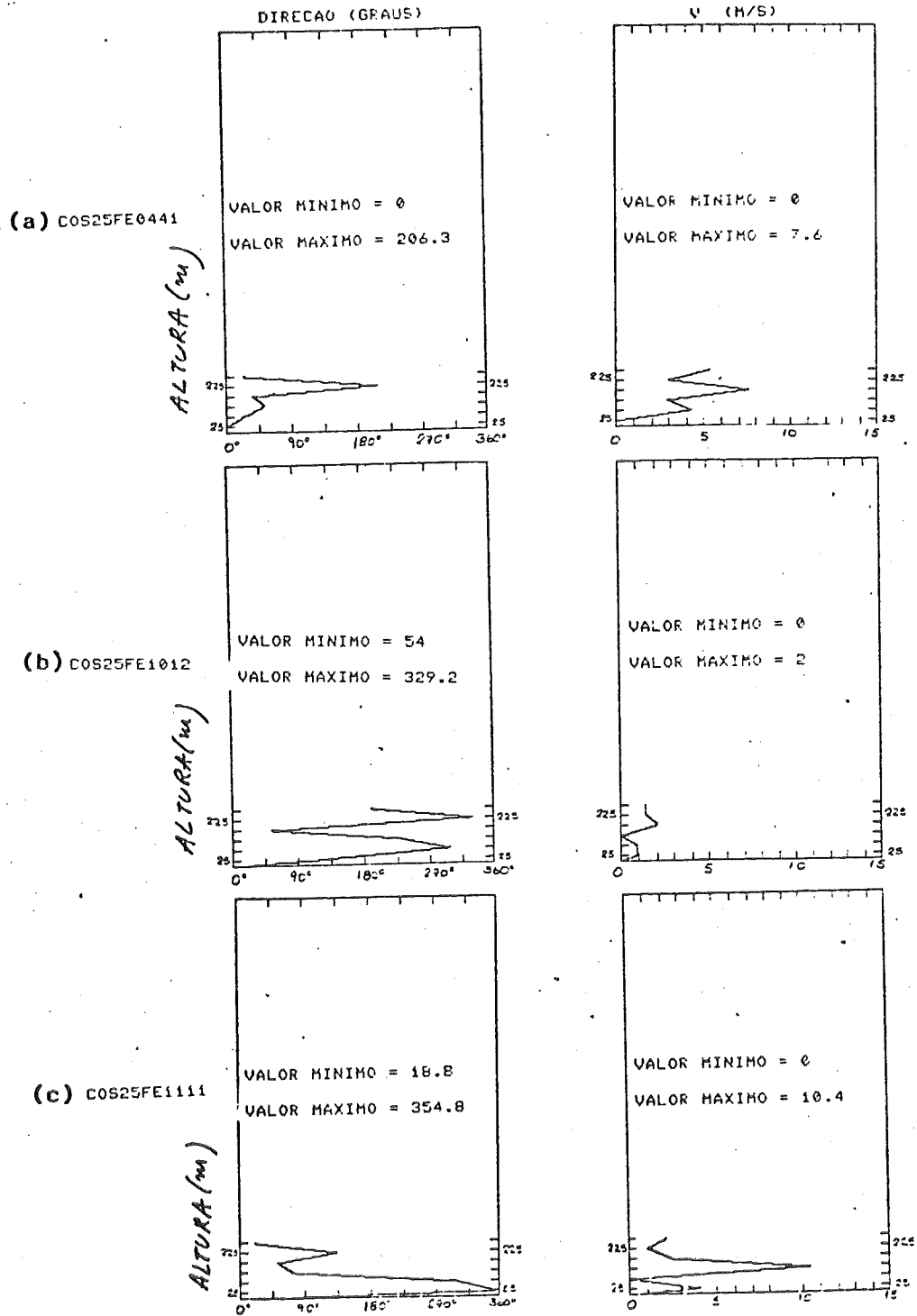


Figura 7.3: ídem a Fig. 7.1.

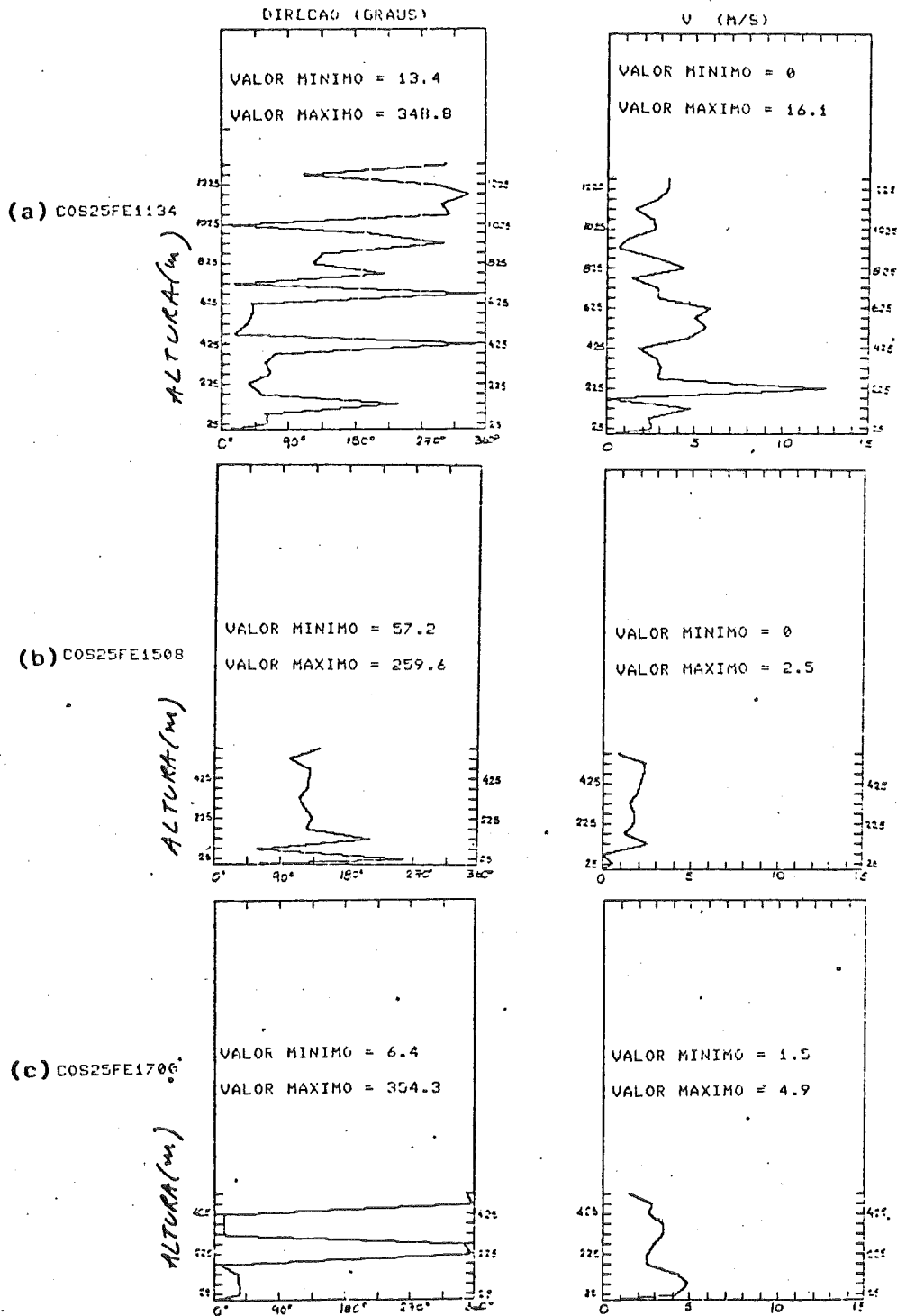


Figura 7.4: idem a Fig. 7.1.

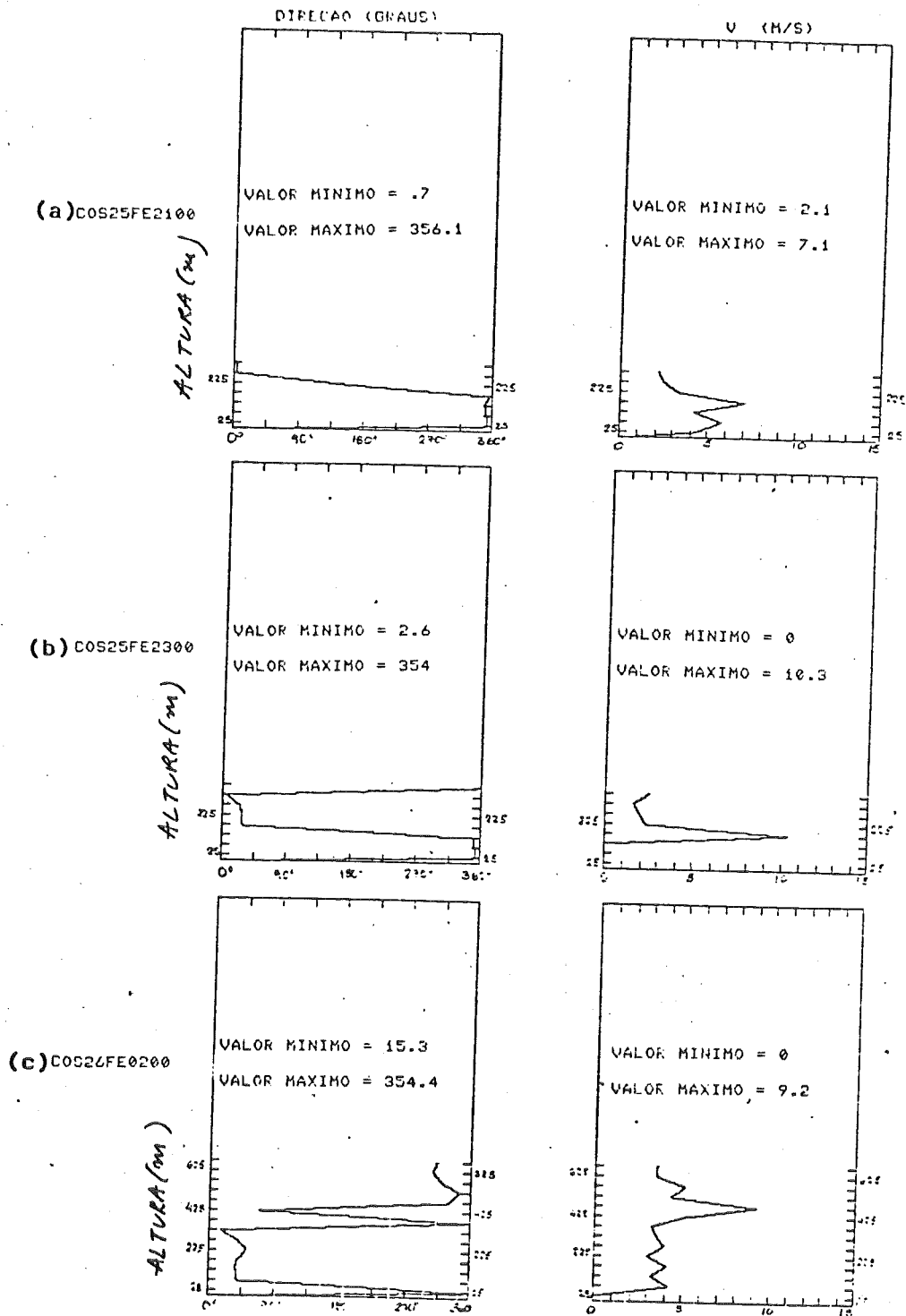


Figura 7.5: Idem a Fig. 7.1.

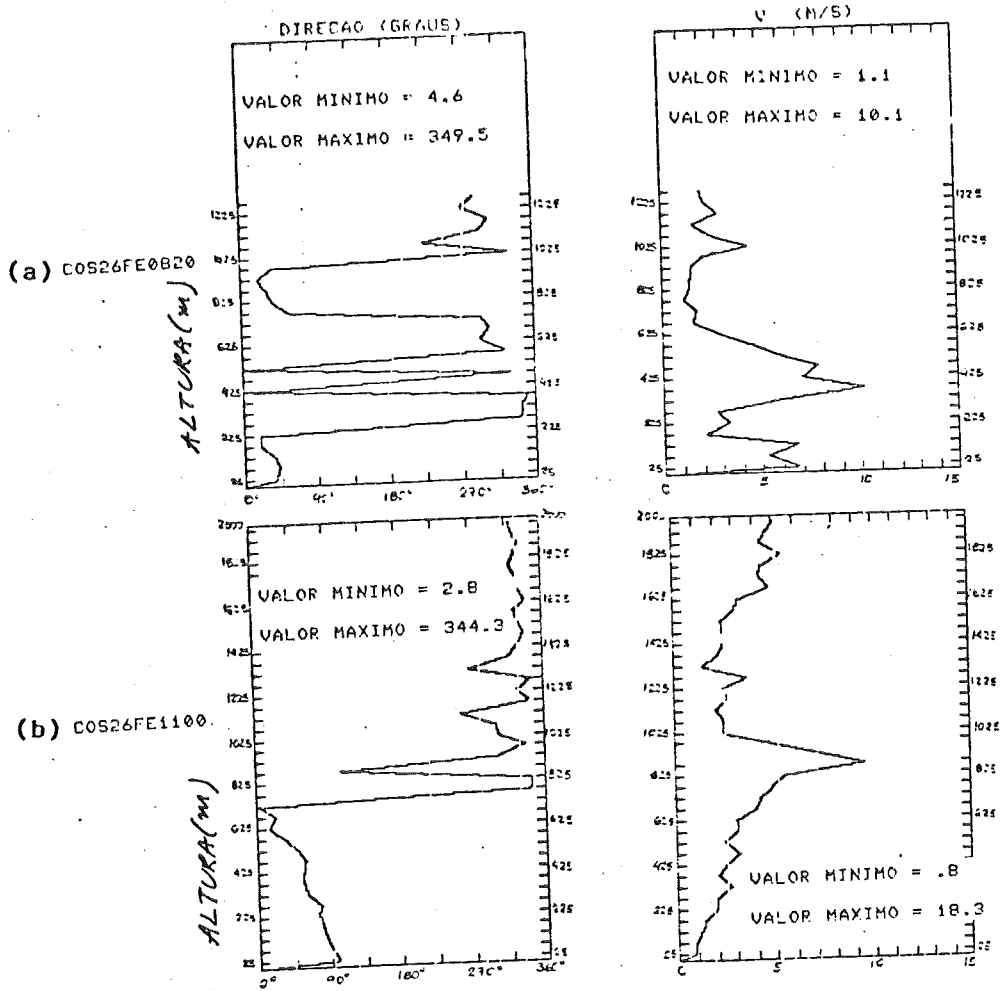
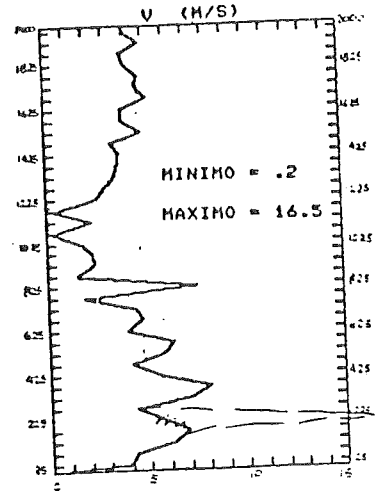
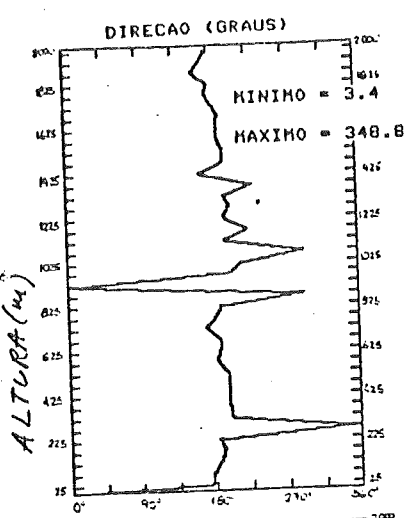


Figura 7.6: Idem a Fig. 7.1.

(a) CAS26FE1000



(b) CB026FE1000

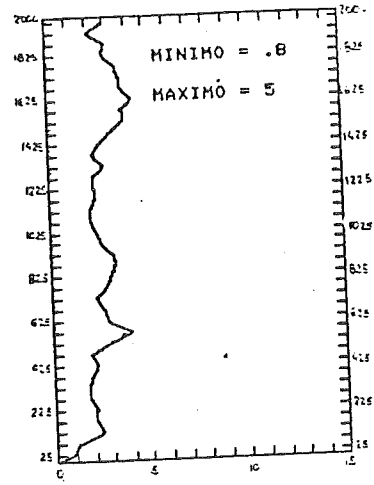
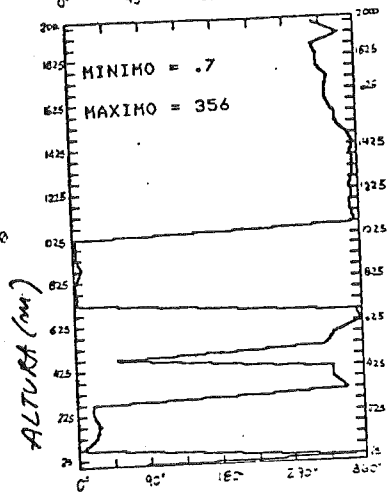


Figura 7.7: ídem a Fig. 7.1

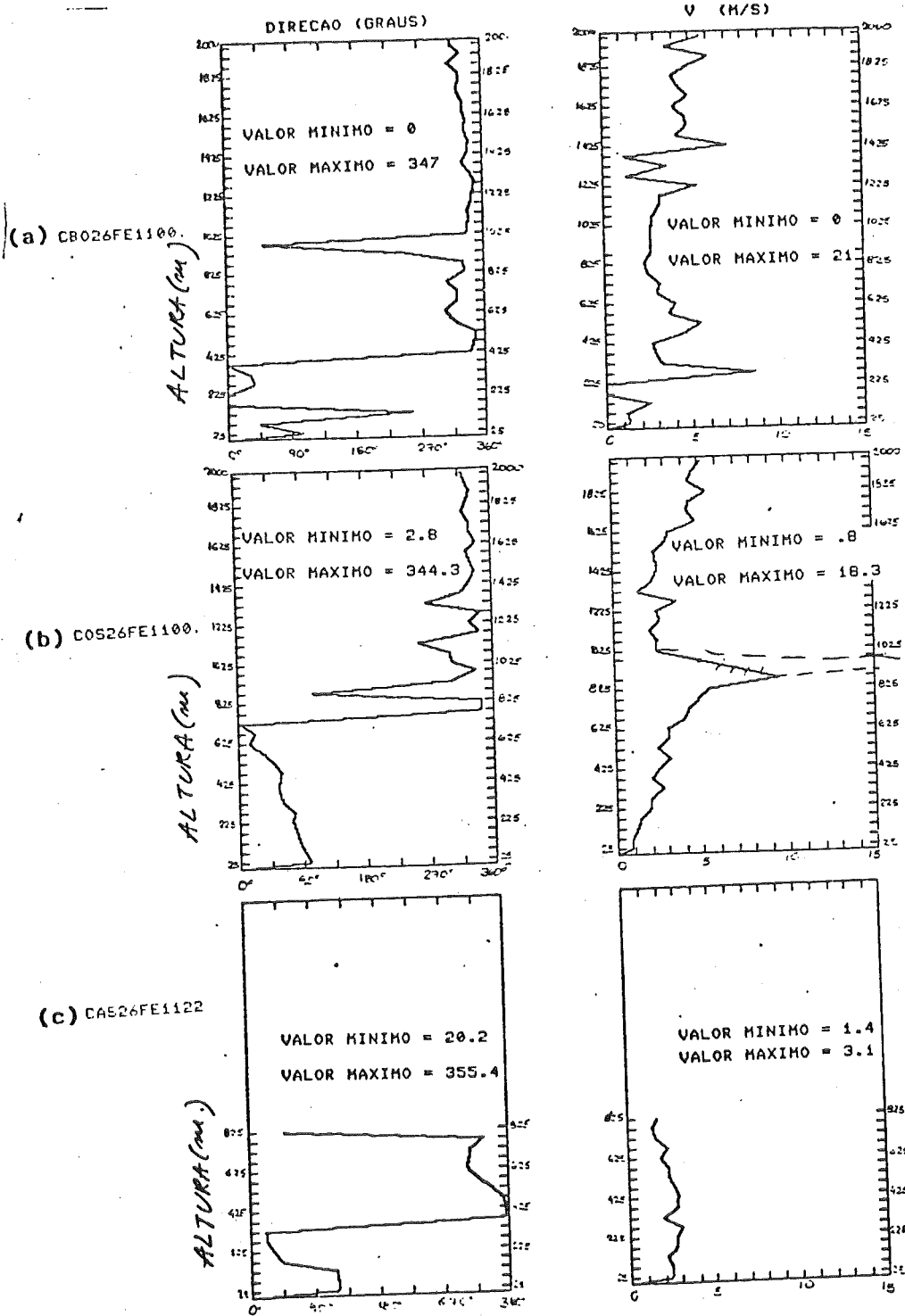


Figura 7.8: idem a Fig. 7.1.

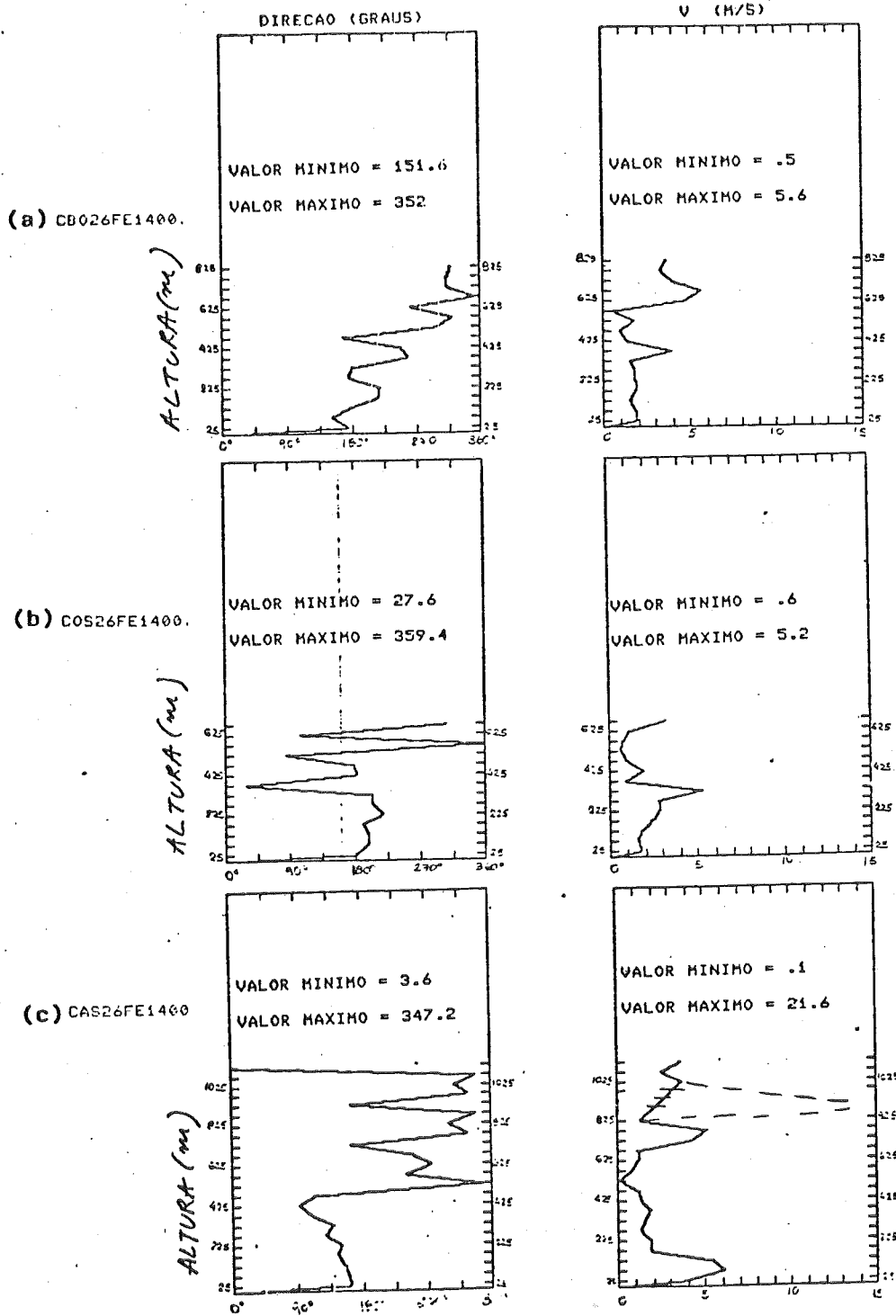


Figura 7.9: Idem a Fig. 7.1.

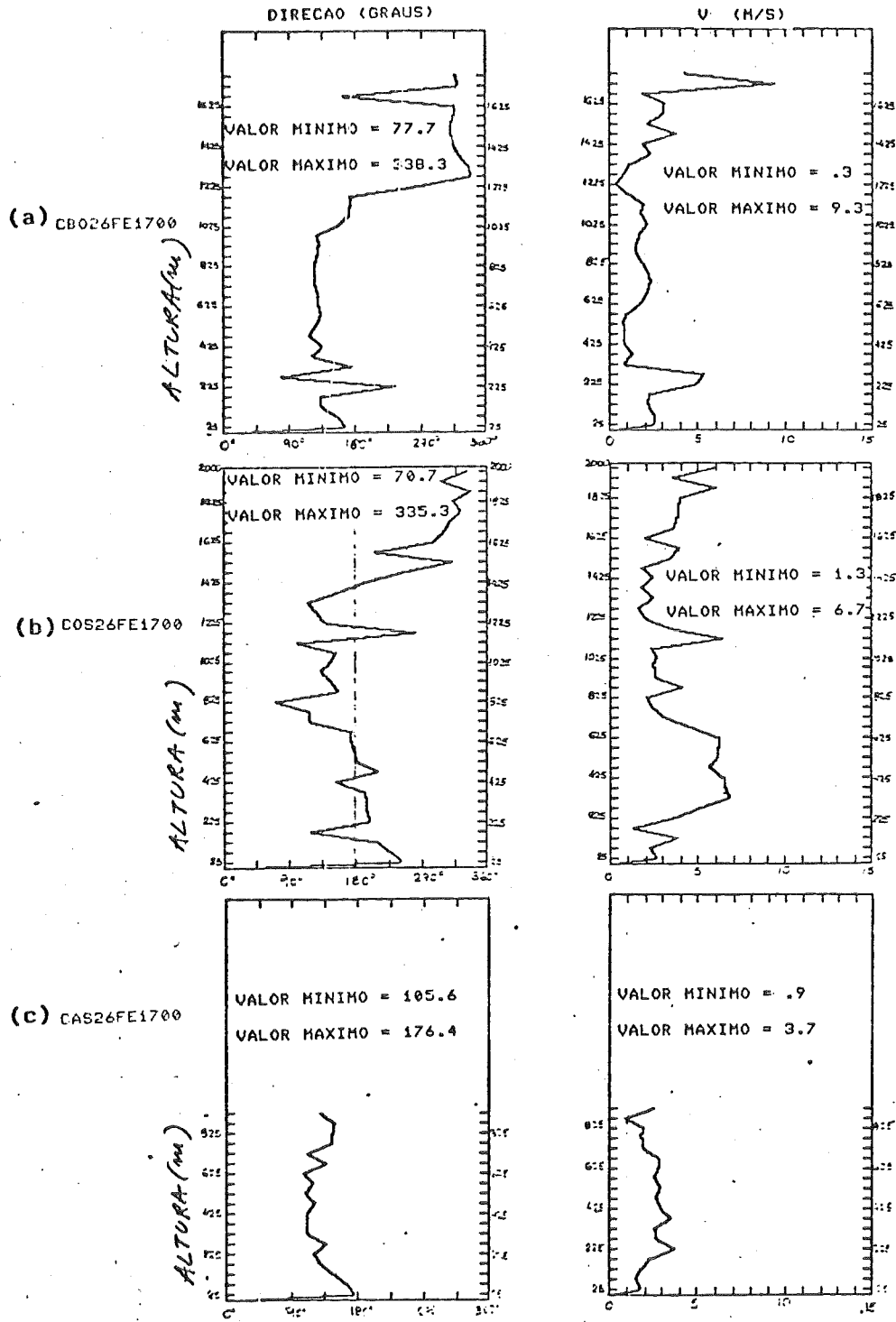


Figura 7.10: idem a Fig. 7.1

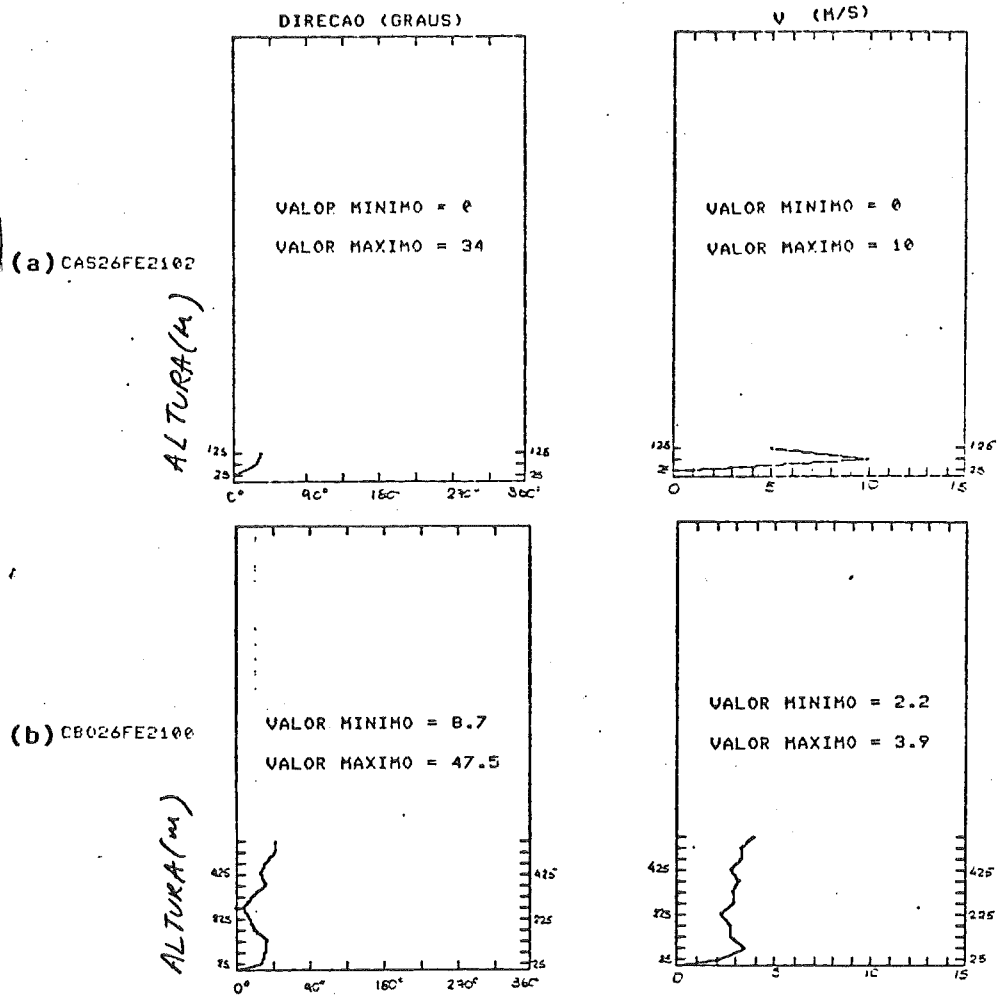


Figura 7.11: idem a Fig. 7.1.

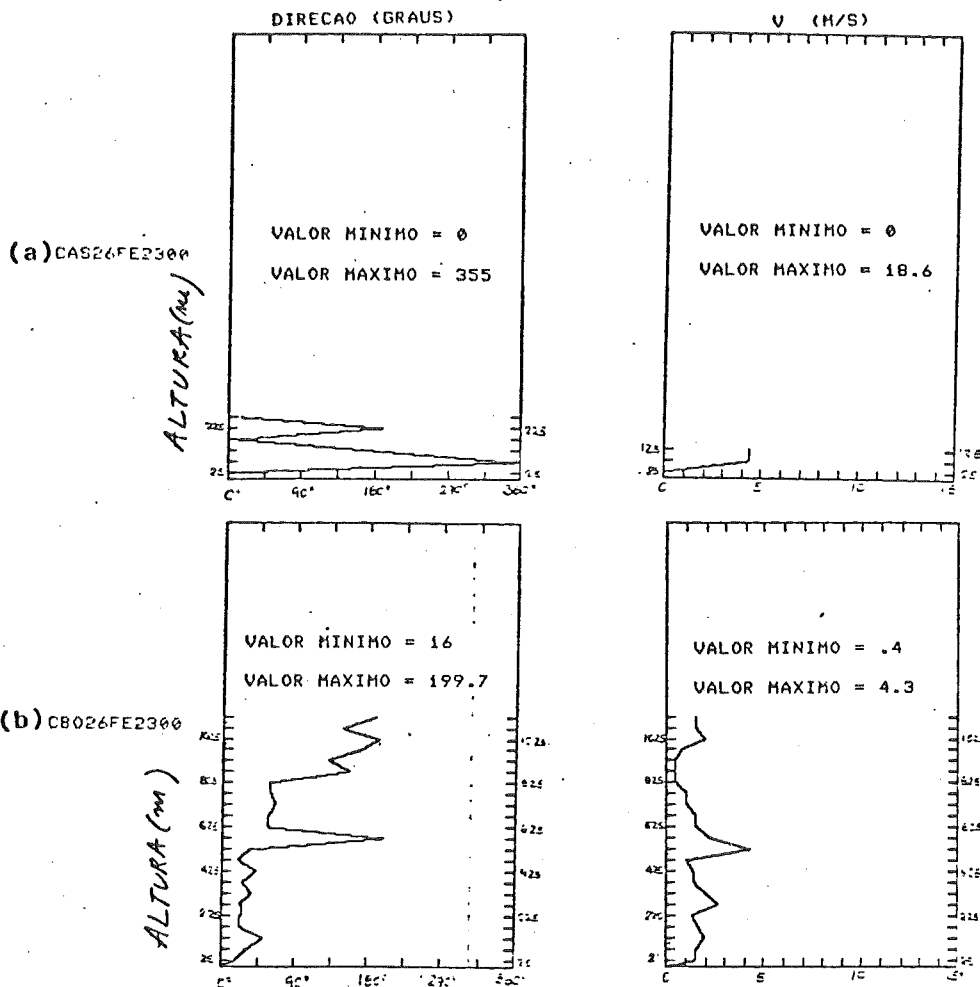


Figura 7.12: idem a Fig. 7.1.

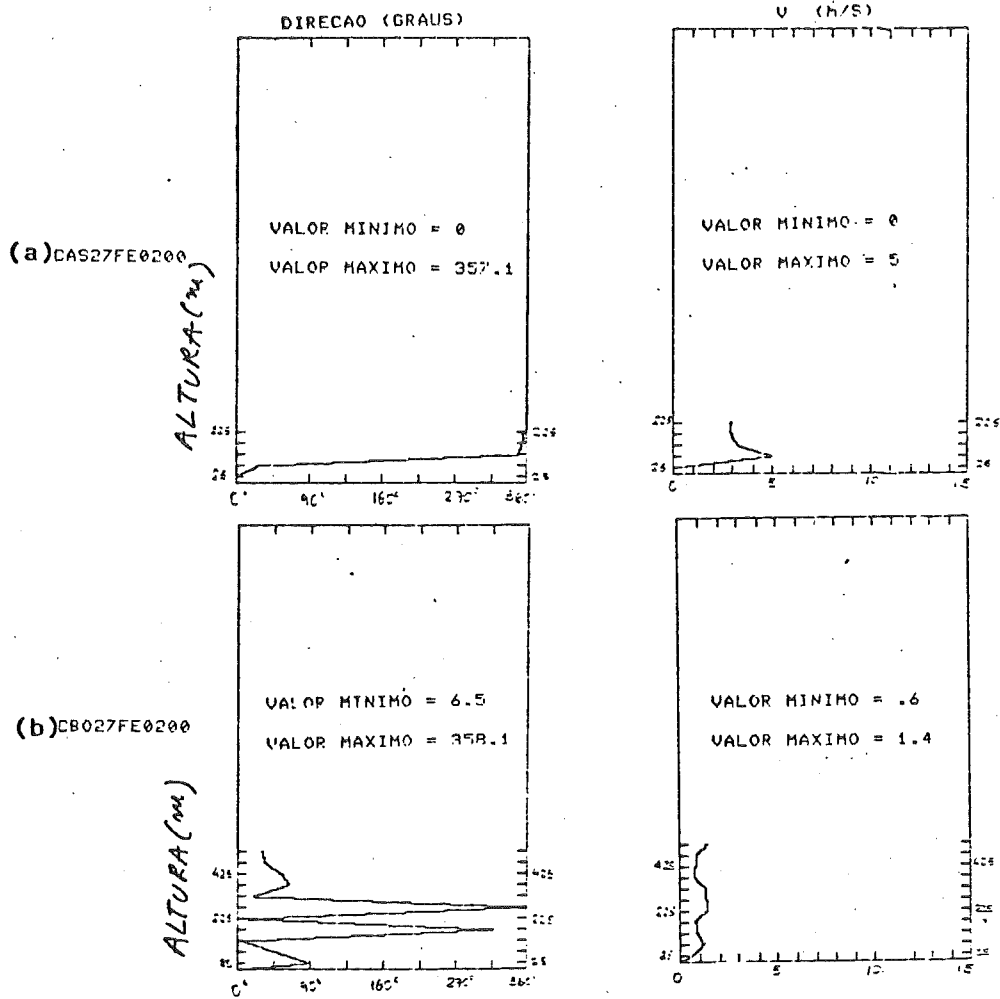


Figura 7.13. ídem a Fig. 7.1.

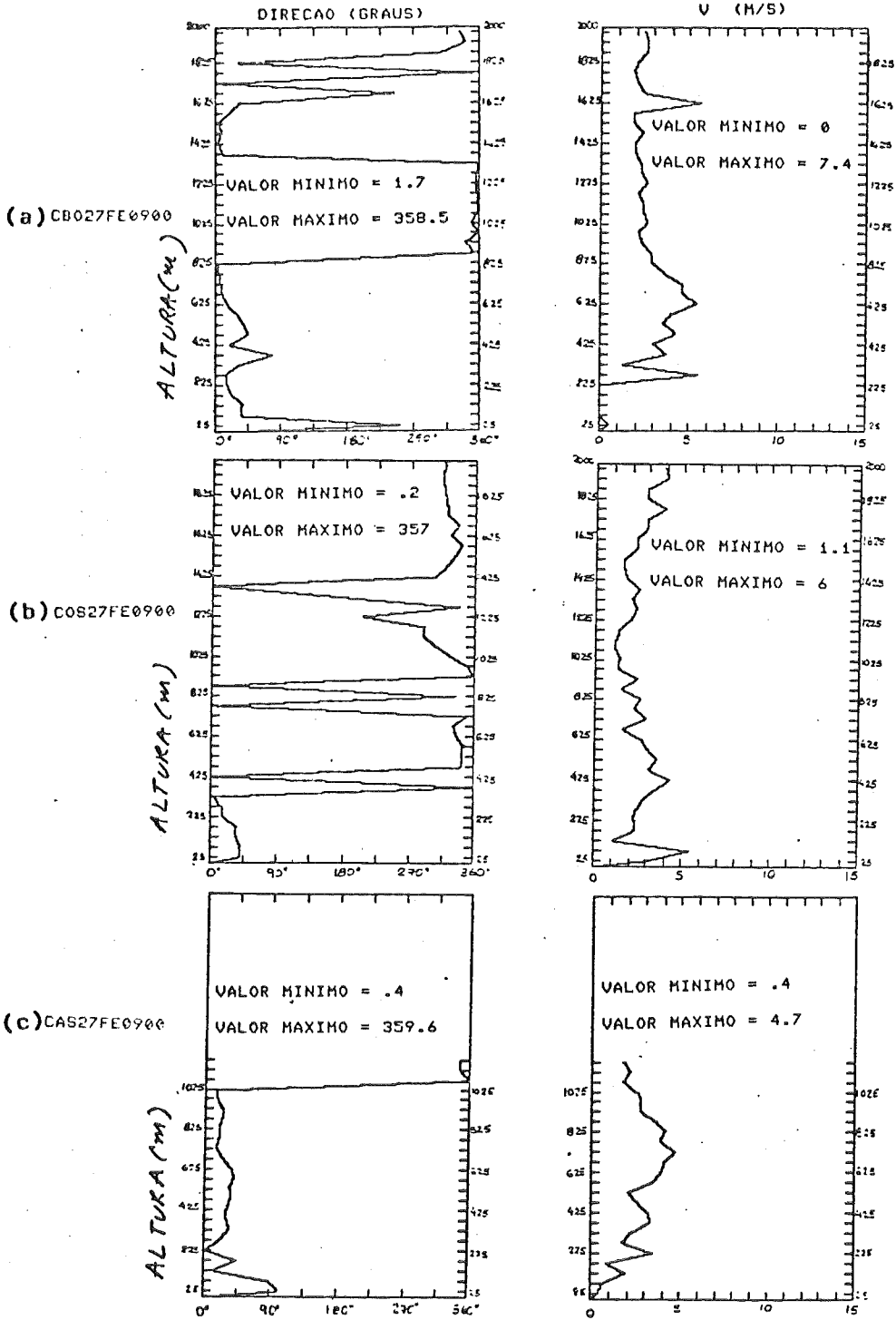
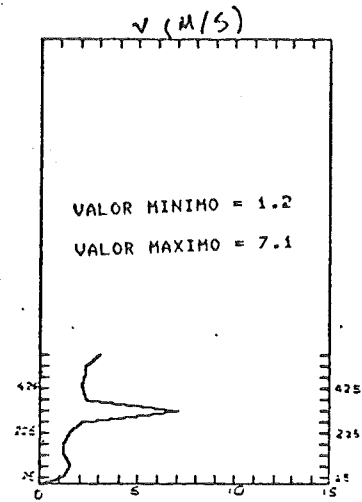
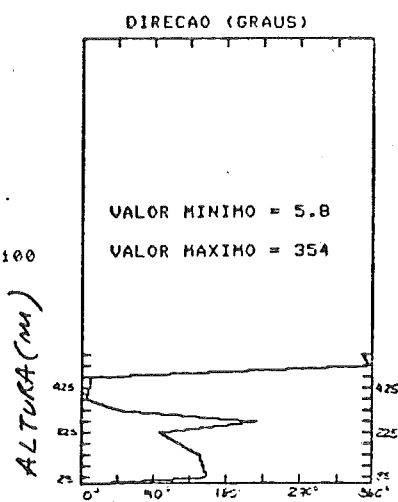


Figura 7.14: Idem a Fig. 7.1.

(a) CAS27FE1100



(b) CR027FE1100

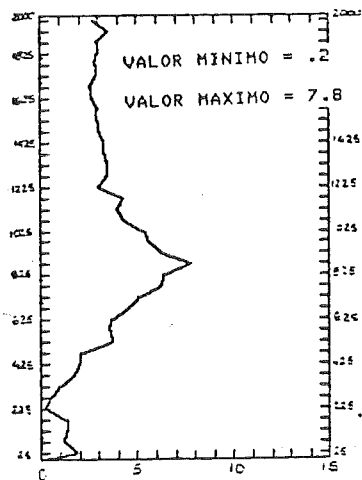
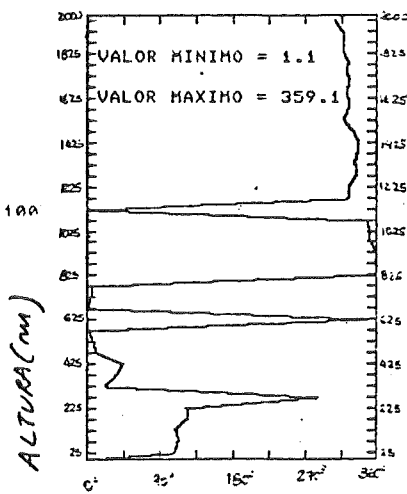


Figura 7.15: Idem a Fig. 7.1.

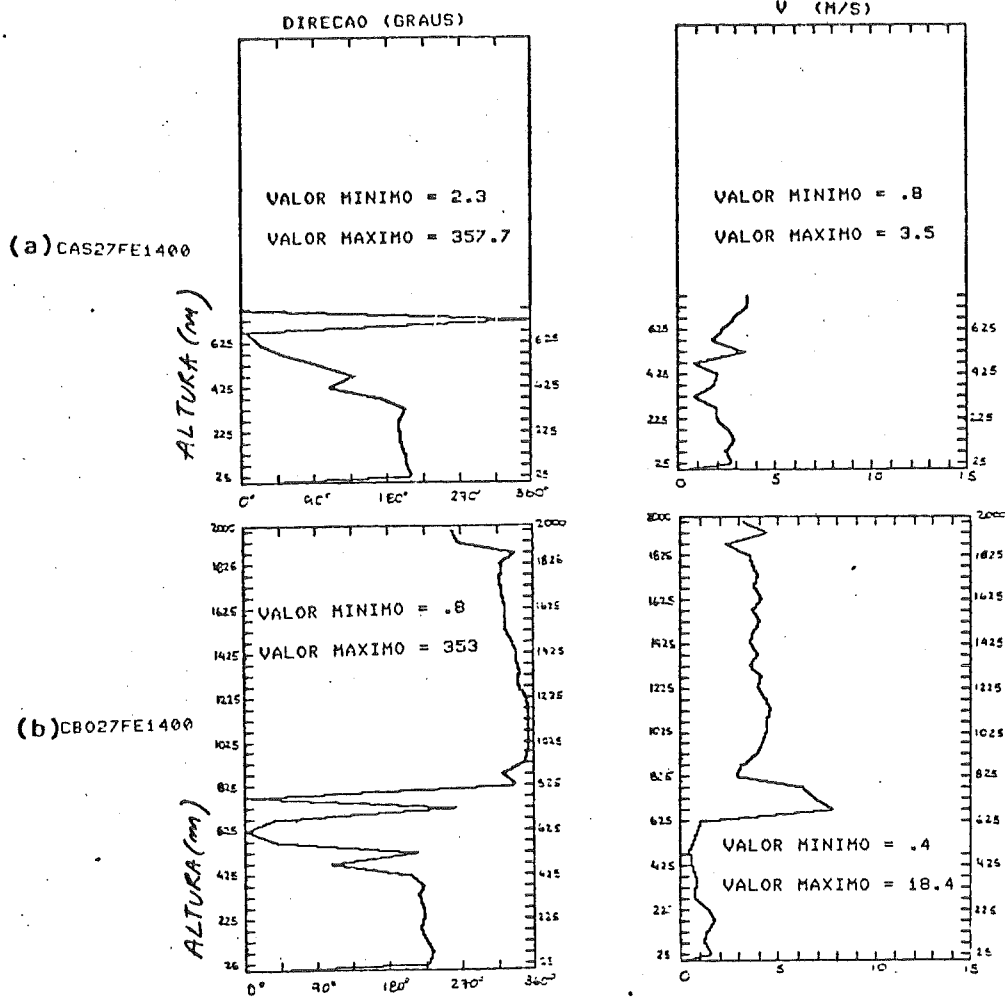
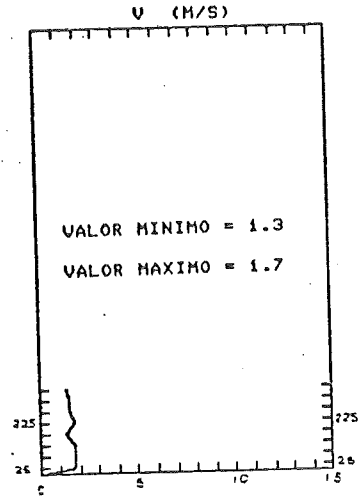
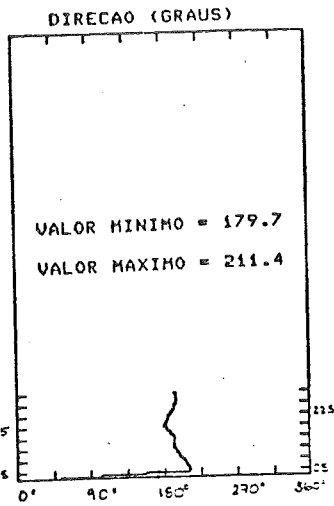


Figura 7.16: idem a Fig. 7.1.

(a) CAS27FE1700

ALTURA (m)



(b) CB027FE1700

ALTURA (m)

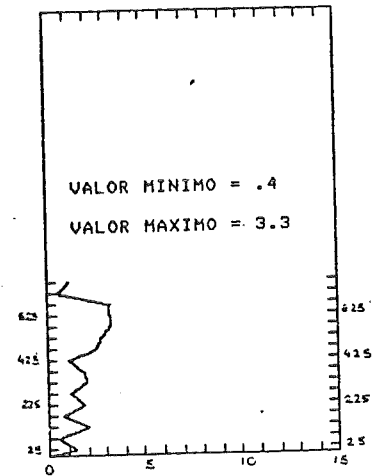
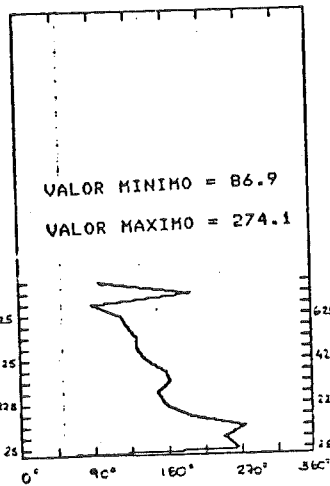


Figura 7.17: ídem a Fig. 7.1.

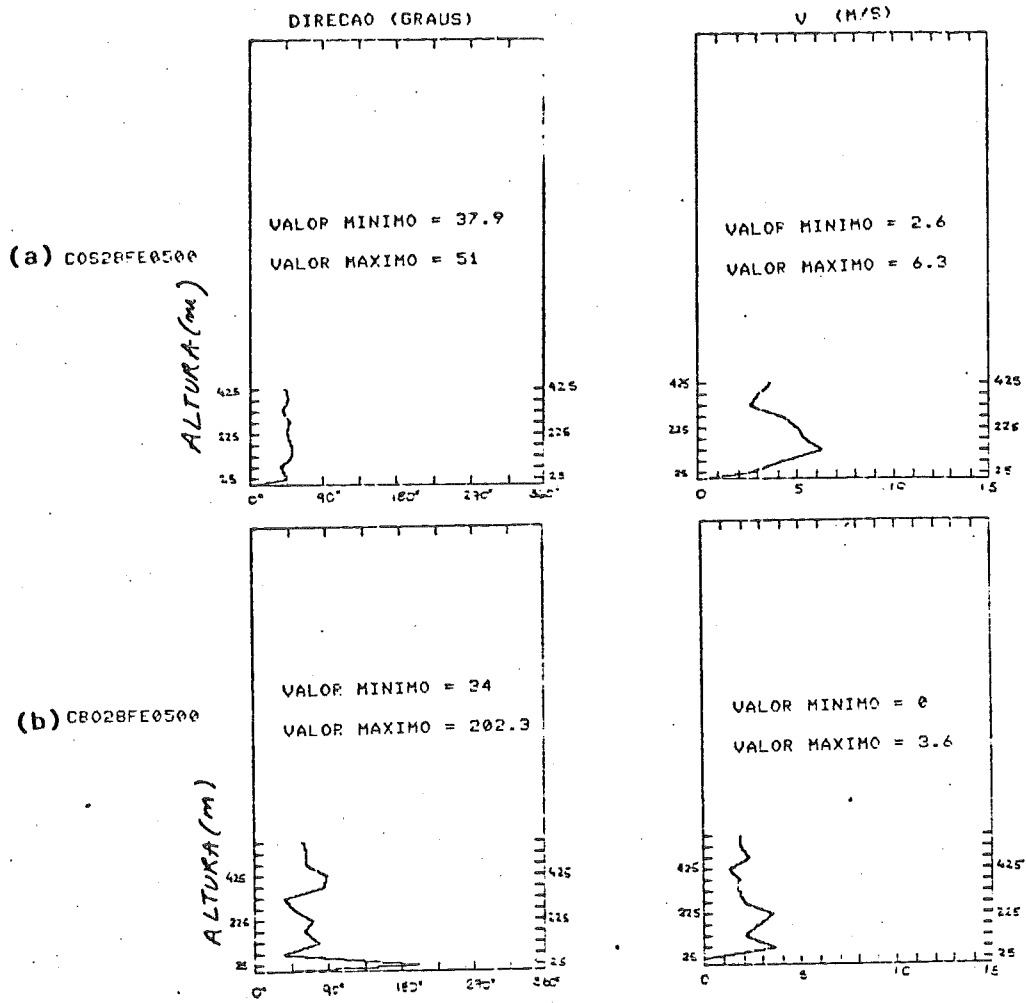


Figura 7.18: ídem a Fig. 7.1.

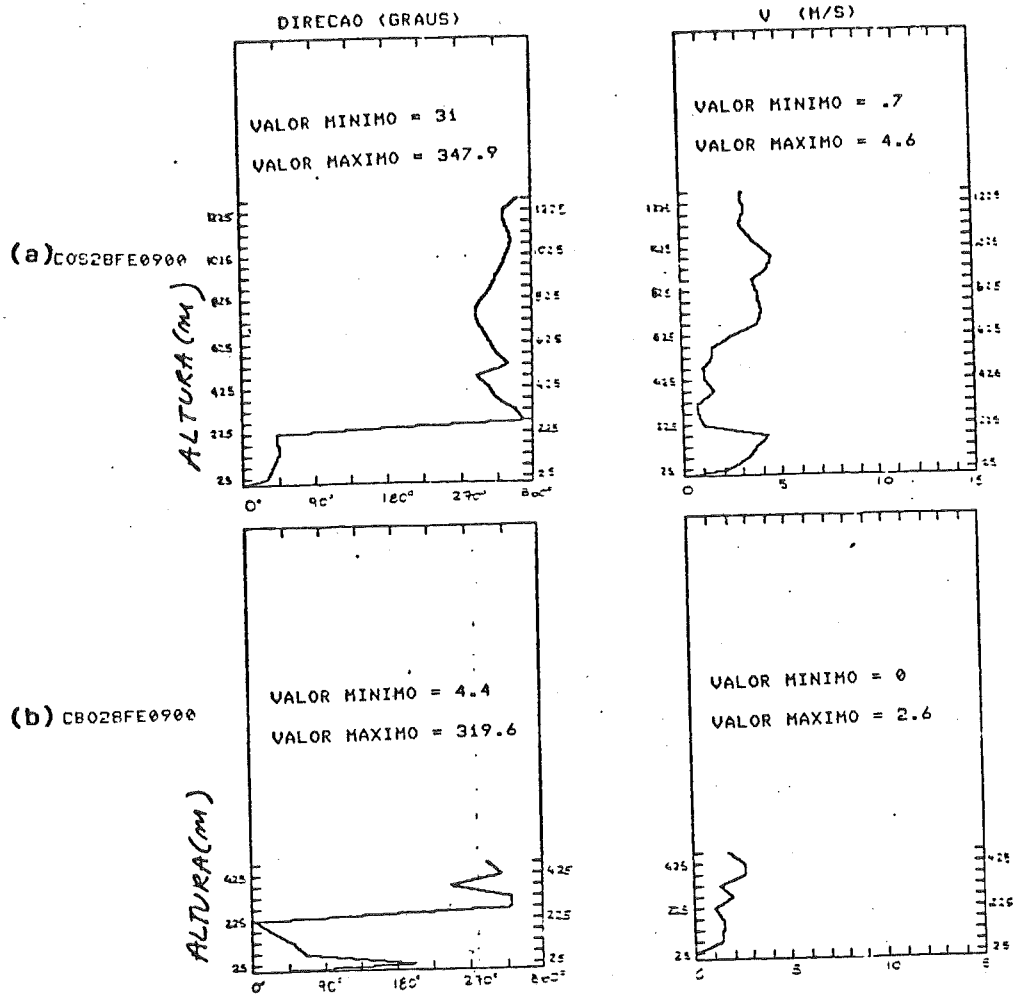


Figura 7.19: ídem a Fig. 7.1.

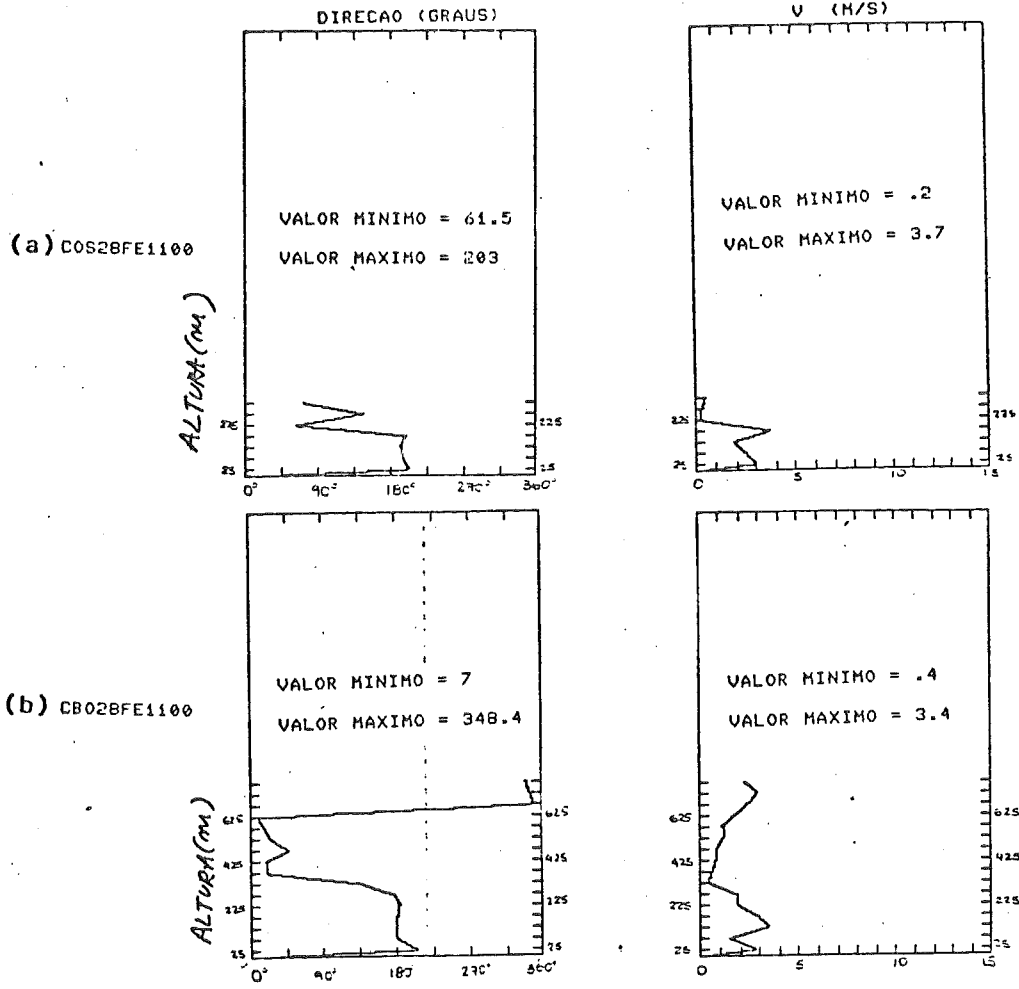


Figura 7.20: idem a Fig. 7.1.

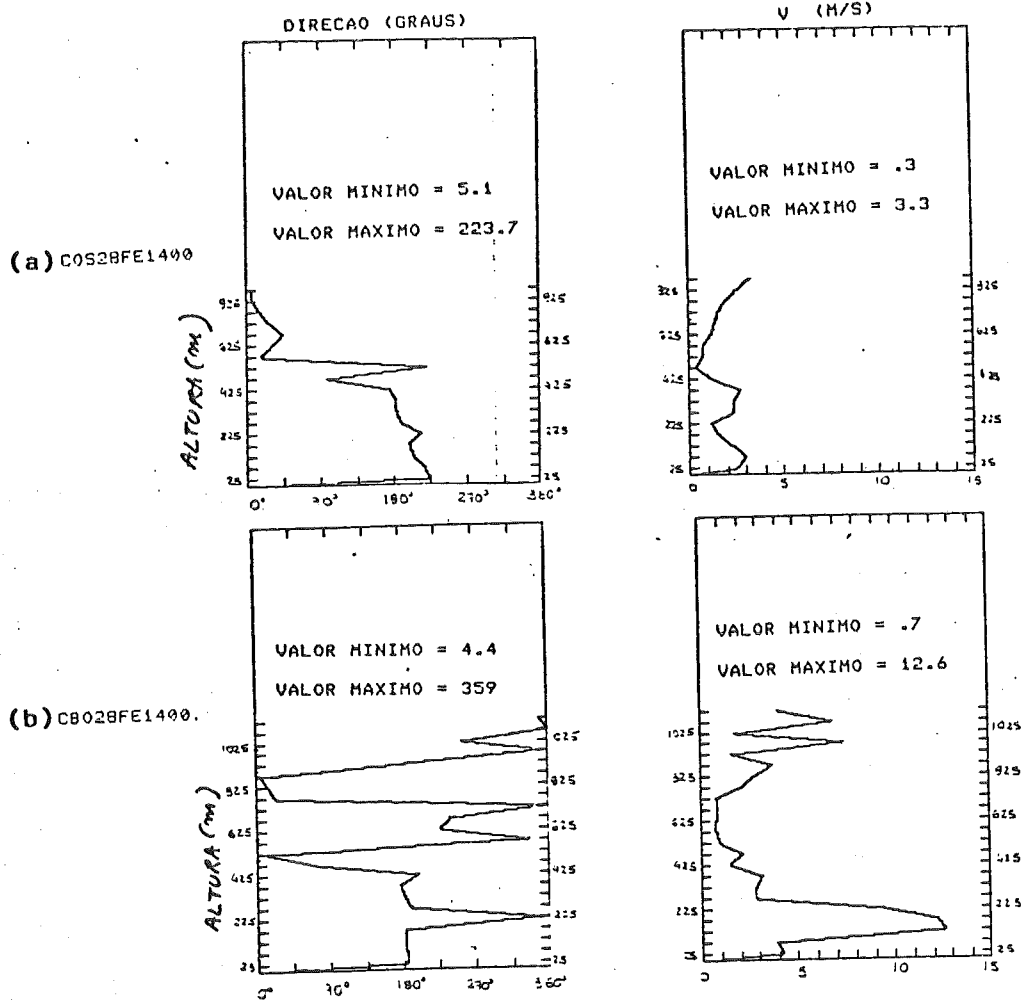
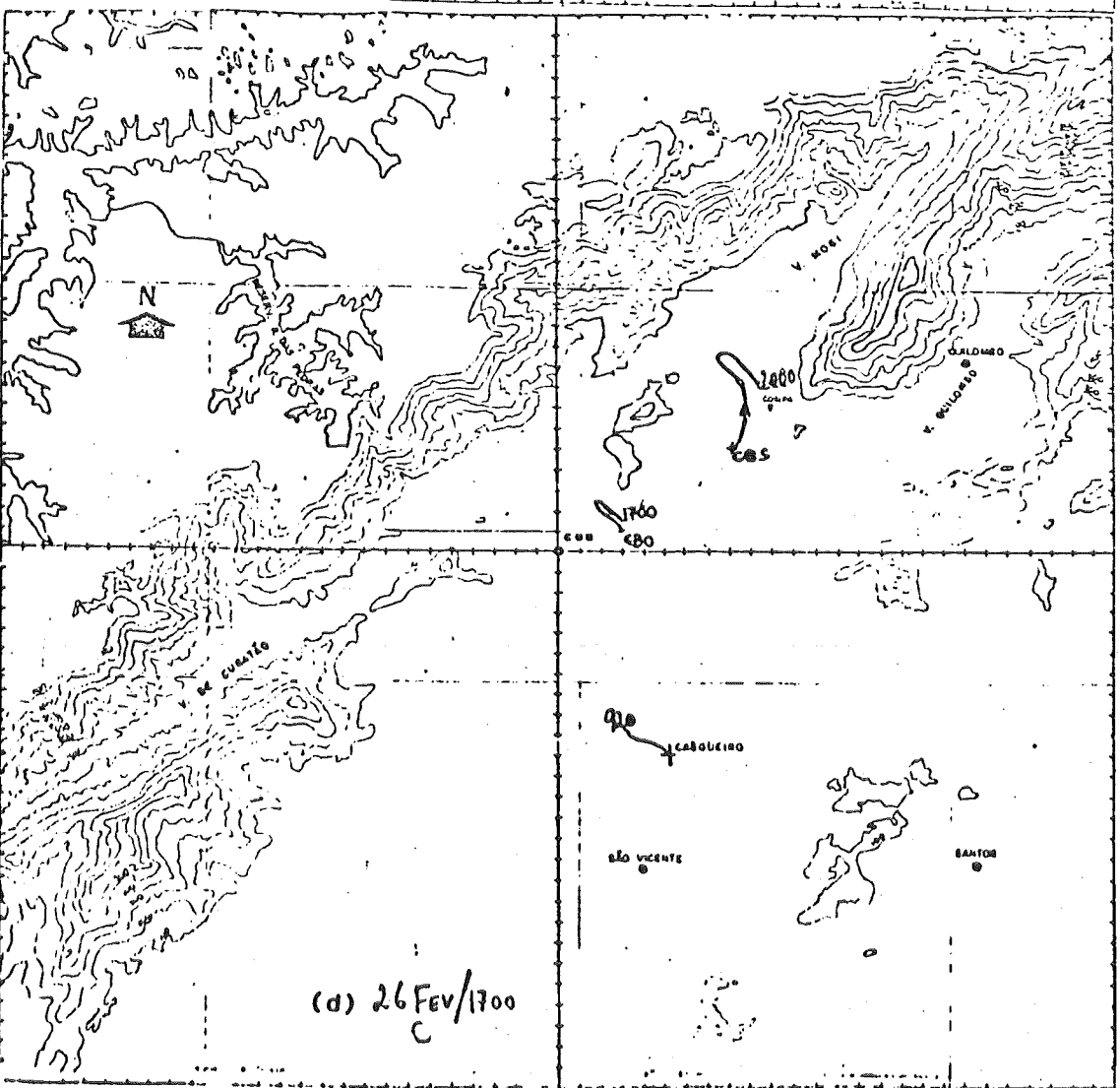
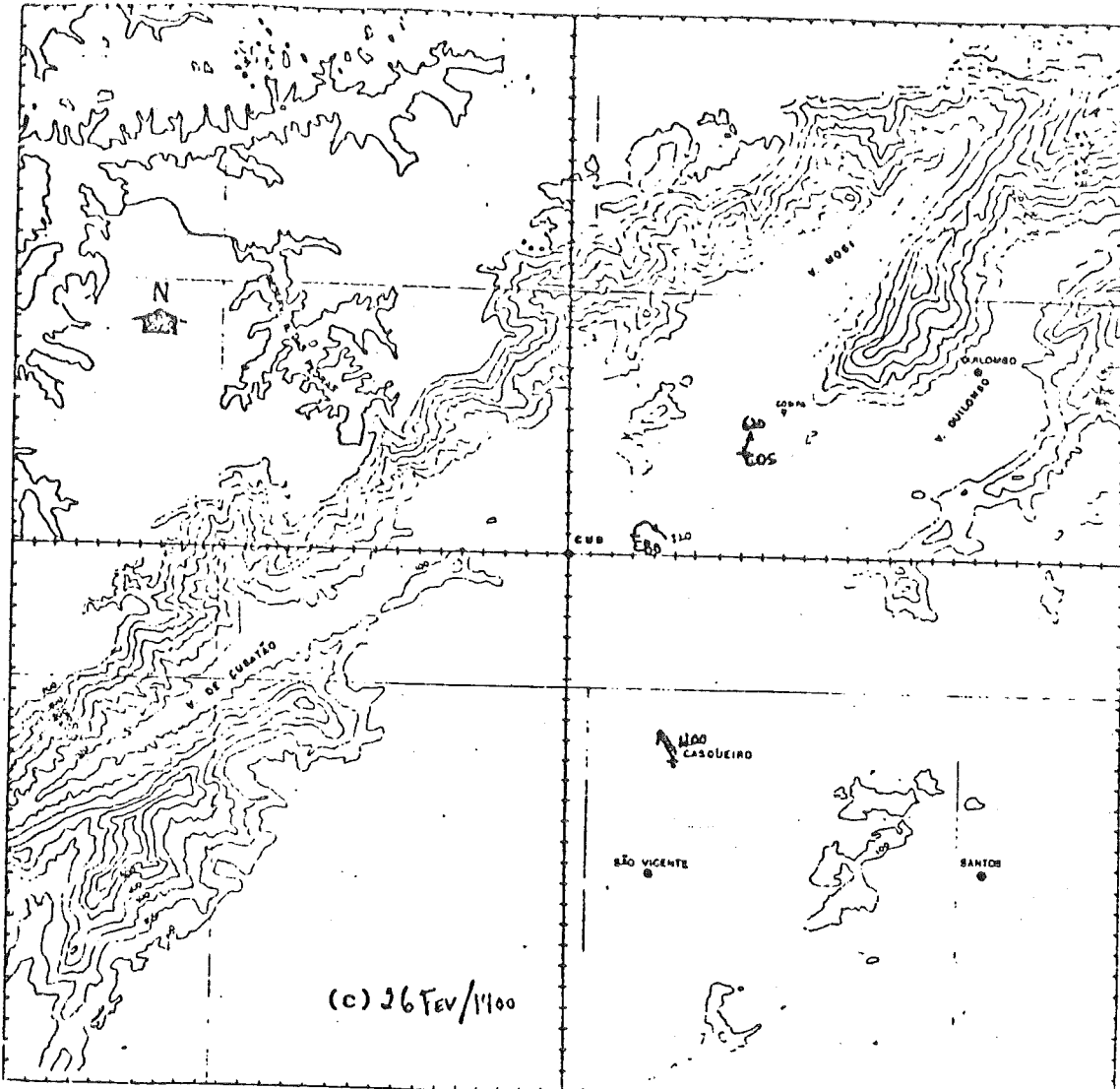


Figura 7.21: ídem a Fig. 7.1.



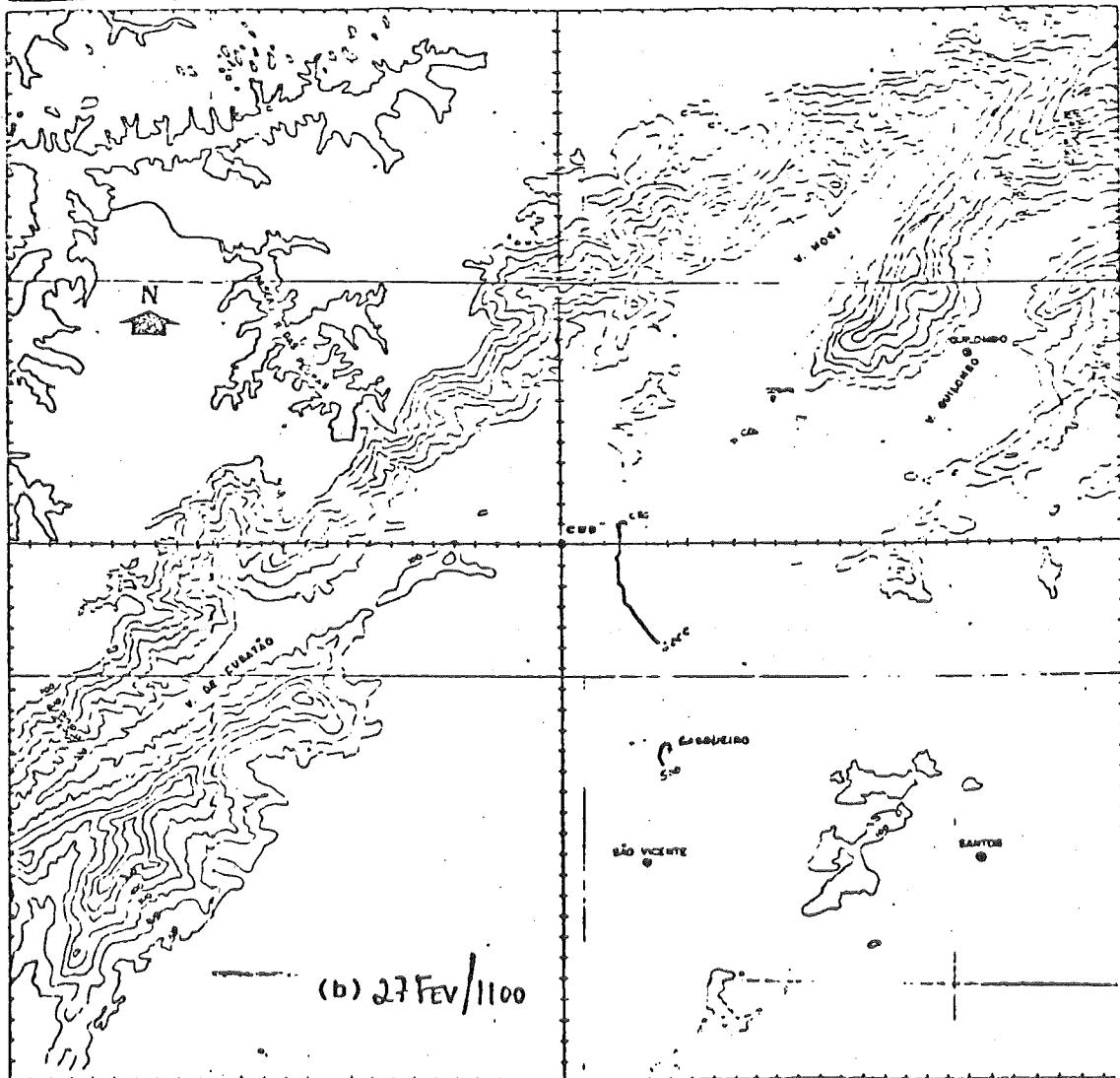
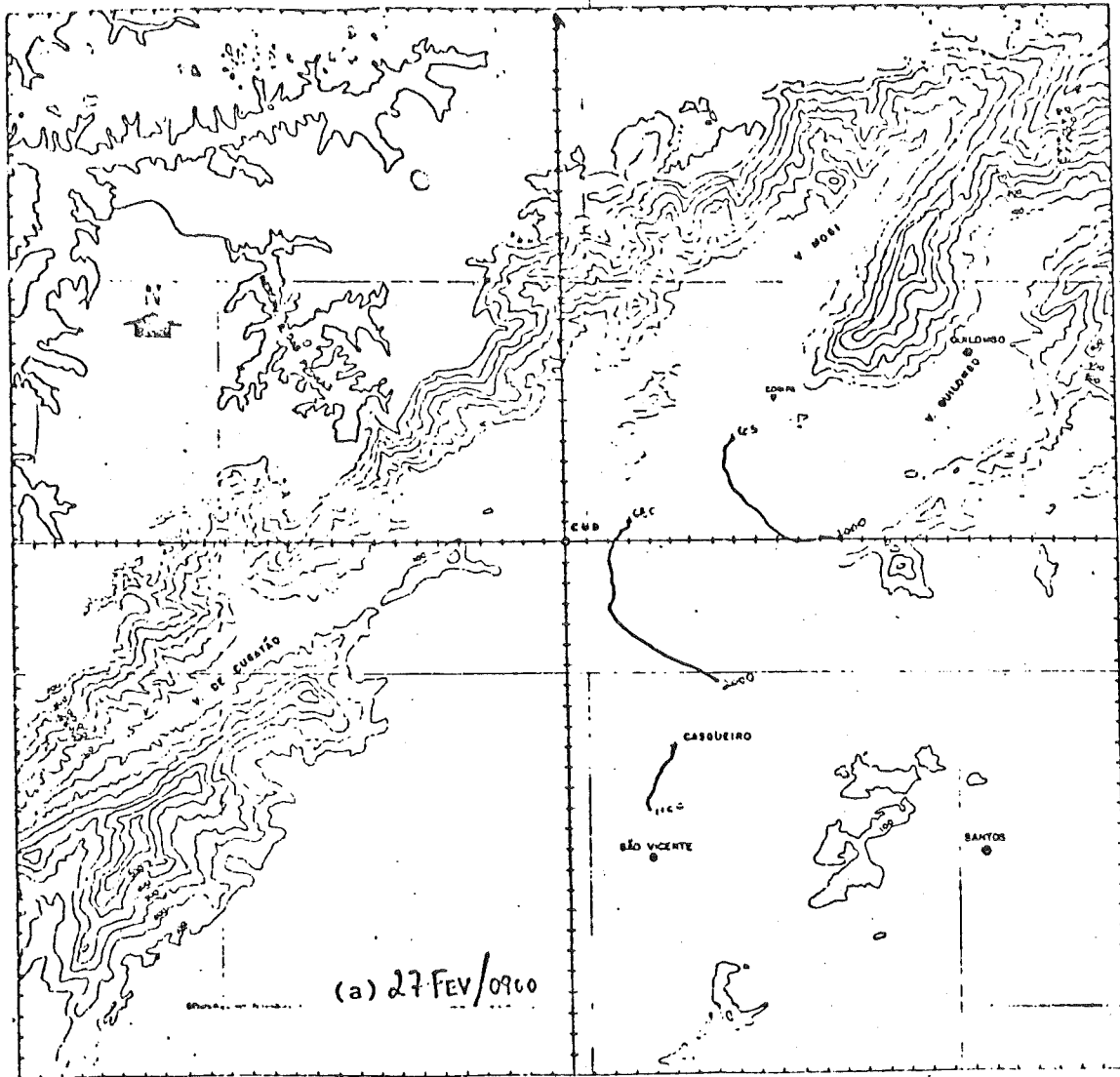
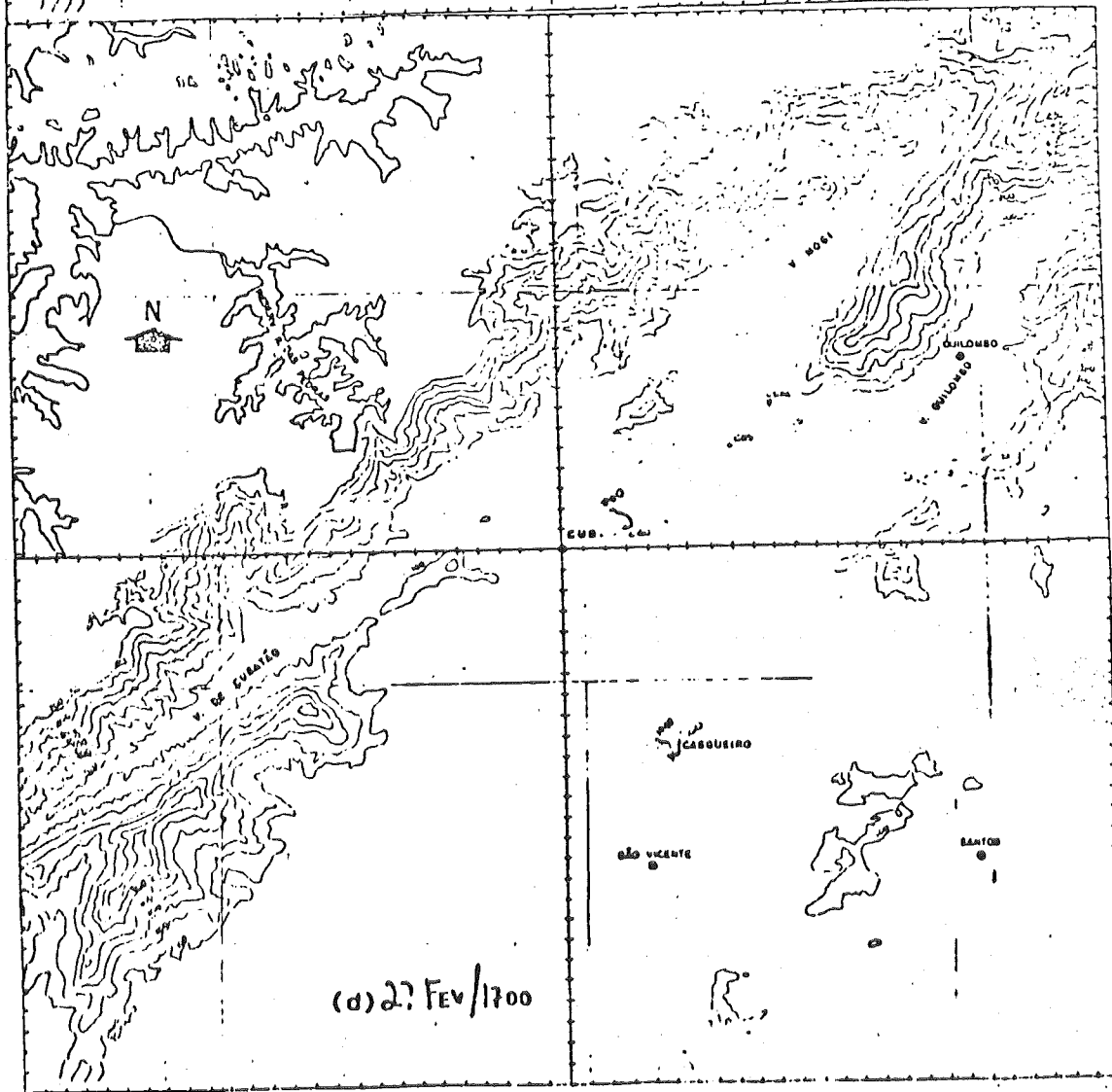
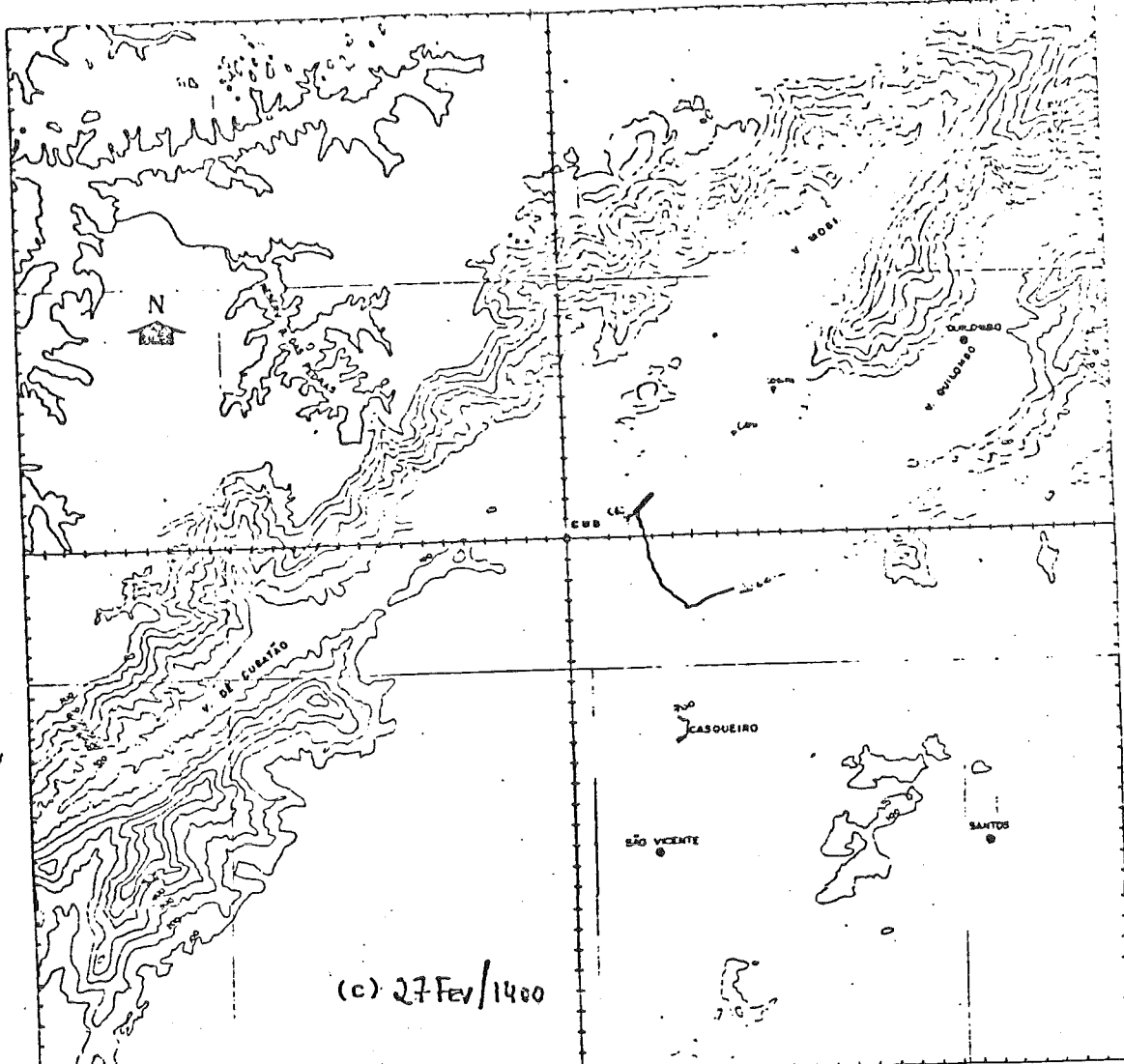


Figura 7.23: Idem a Fig. 7.22.



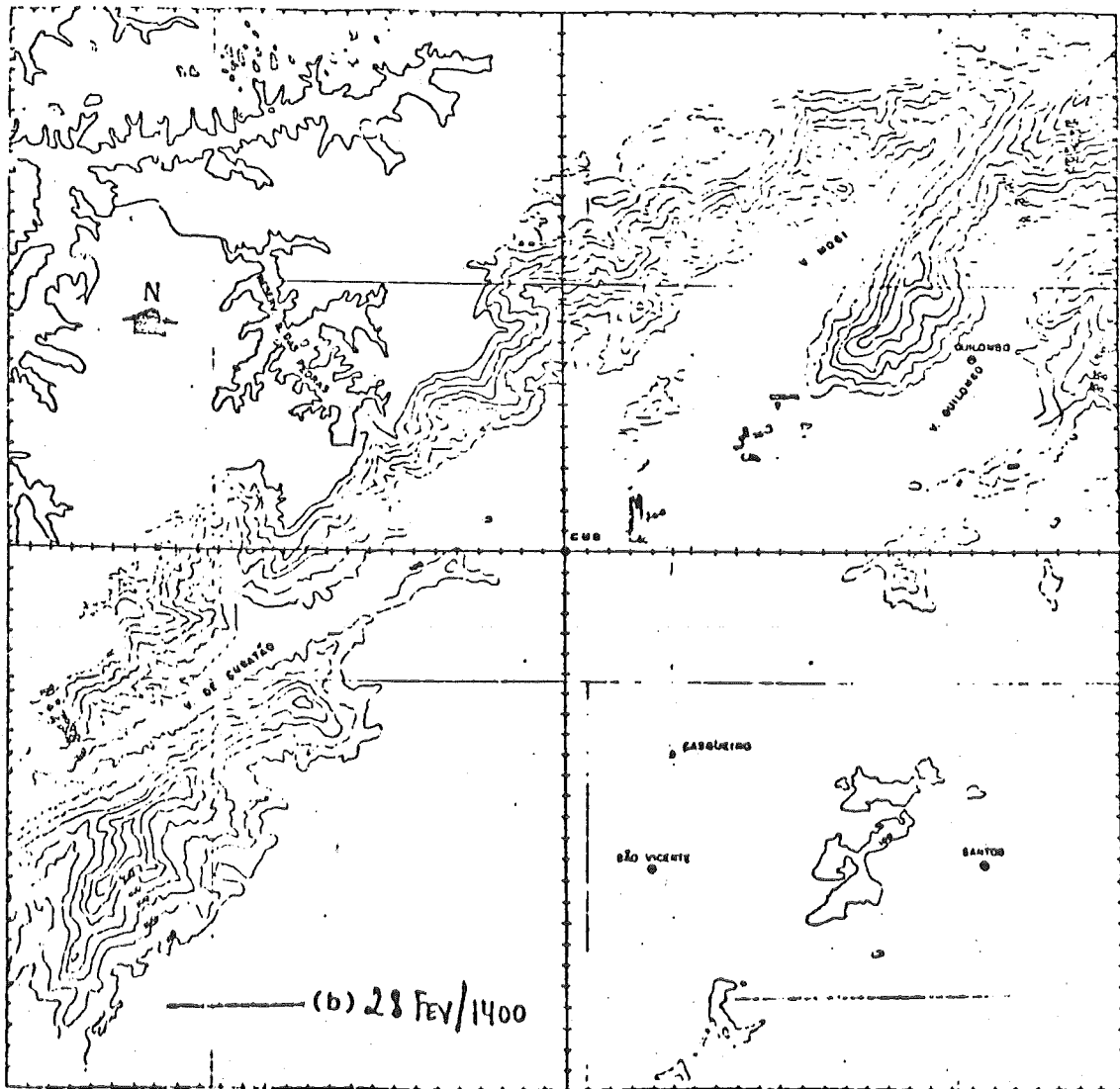
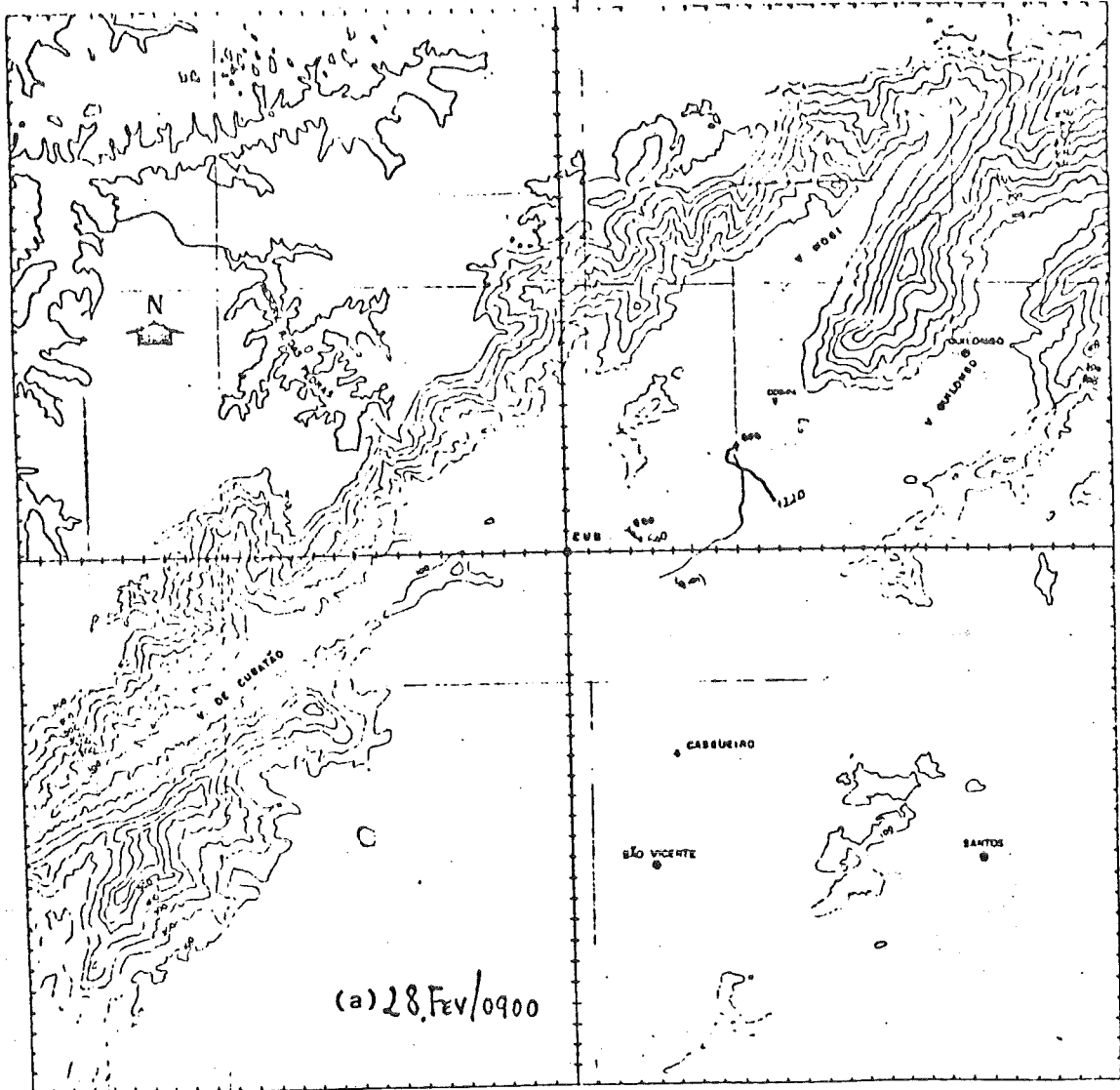


Figura 7.24: Ídem a Fig. 7.22.

8. ANÁLISE SINÓTICA REFERENTE AO PERÍODO DE 24 A 28 DE FEV/86.

A seguir será descrita a situação sinótica, de forma resumida. Os mapas sinóticos dos níveis superfície (12 e 18 TMG) e 850 mb e 700 mb (12 TMG) podem ser analisados nas Figs. 8.1 a 8.5. A Fig. 8.6 mostra as sondagens realizadas em Congonhas.

Dia 24/02/86

SUPERFÍCIE - 12 TMG - Fig. 8.1a

- A região do estado de São Paulo, as 12 TMG esta sob o domínio da crista de um anticiclone (Fig. 8.1a).

- A temperatura mínima e máxima em Santos foi de 25 C e 31 C respectivamente.

- Céu parcialmente nublado com predominância de cúmulos.

- A visibilidade horizontal de 2 a 4 km.

- Na região de Santos foi detectado ocorrência de chuviscos no tempo passado (12 TMG). A umidade relativa variando entre 80% e 60%.

- De acordo com a radiossonda de São Paulo, (Fig. 8.6a) ocorreu inversão térmica a altura da base estava em 236 m e o topo em 532 m, caracterizando uma situação de atmosfera estável na camada limite no planalto. Porém o índice de Showalter indicava atmosfera ligeiramente instável ao longo de toda coluna. O vento de superfície varia entre calmo e fraco, soprando de sudeste (SE) durante o dia e de nordeste (NE) à noite. Na sondagem da manhã, o vento é de nordeste (NE) até o nível de 900 mb e de noroeste (NW), a partir de 850 mb. Isto faz sentido uma vez que o estado do Paraná já estava sob a influência de um cavado associado à linha de instabilidade que provocava chuvas em todo o estado de caráter bastante significativo.

NÍVEL DE 850 MB - Fig. 8.1c

- Neste nível todo o fluxo era de NM com a atmosfera relativamente seca em São Paulo e Rio de Janeiro e bastante úmida em Curitiba, entretanto interior dos Estados de Minas

São Paulo, Paraná e Mato Grosso sob a influência de um sistema anticiclônico.

Dia 25/02/86

SUPERFÍCIE - 12 TMG - Fig. 8.2a

- O sistema anticiclônico sofreu um rápido deslocamento para o oceano e a pressão atmosférica sofreu uma queda de 5 mb, caracterizando o avanço da zona de baixa pressão.

- A temperatura variou entre a mínima de 23°C e a máxima se 32°C. A umidade relativa variou entre 90 e 70%.

- Um sistema frontal se deslocou de Paranaguá e atingiu a Costa de São Paulo. Este sistema foi caracterizado como de fraca atividade.

- Ocorreu chuva fraca no período. À tarde o céu permaneceu nublado com chuviscos esparsos e ocorrência de trovoadas isoladas.

- O vento de superfície soprava em todo o estado de noroeste (NW), e variando entre fraco e moderado. Concomitantemente a radiossondagem mostrava atmosfera estável relativamente seca e o vento soprando de noroeste ao longo de toda coluna. O vento variou de 4 kts na superfície até 16 kts nos 750 mb. A partir daí enfraquece a velocidade caracterizando ocorrência de um jato de baixos níveis sobre o planalto.

NÍVEL DE 850 MB - Fig. 8.3c

-Detectou-se uma zona de convergência sobre São Paulo com pouca atividade com o fluxo de noroeste, porém relativamente seca, de acordo com a passagem do sistema frontal nos baixos níveis. Tanto SP, Curitiba como RJ., apresentavam baixo teor de umidade relativa.

Dia 26/02/86

SUPERFÍCIE - 12 TMG - Fig. 8.3a

-De manhã a parte oeste do estado se encontrava sob a influência de uma crista anticiclônica e a Capital e o litoral afetados por circulação ciclônica devido ao domínio de sistema frontal semiestacionário no Paraná.

-A temperatura variou entre a mínima de 24°C e a máxima de 32 C, a umidade relativa oscilou entre 90% e 65%.

-A visibilidade horizontal variou entre 2 a 4 km. O céu nublado com predominância de cúmulus com topos de pouca nitidez.

-O tempo em geral foi instável com ocorrência de chuva fraca no tempo passado.

-A pressão atmosférica apresentou um ligeiro aumento de 2 mbs.

-O vento soprou de norte (N) pela manhã e de noroeste (NW) à tarde.

SUPERFÍCIE - 18 TMG - Fig. 8.3b

À tarde, a zona de baixa pressão mostrou-se mais definida sobre o estado a pressão atmosférica voltou à cair cerca de 2 mbs e a nebulosidade persistiu com predominância de cúmulus mais desenvolvidas. Ocorreu, também algumas trovoadas

isoladas com formação de linha de instabilidade fraca ao longo da costa norte do estado.

-Na radiossondagem (Fig. 8.6 c) detectou-se uma inversão térmica com base em 314 m e topo em 511m, acima da superfície; coluna estava bastante seca até os 700 mb. A umidade relativa era de 60%. Imediatamente acima da inversão térmica o vento intensificou (2 kts) e logo acima enfraqueceu, mantendo um "jato" logo acima da inversão. De acordo com o índice Showalter a atmosfera estava bastante estável.

Dia 27/02/86

SUPERFÍCIE -12 TMG - Fig. 8.4a

-Neste horário a situação se mostrou relativamente pouco complexa: a crista do anticiclone dominou sobre todo estado, mantendo uma zona de convergência ao longo de toda costa permitindo a formação de linha de trovoadas e raios.

-A temperatura variou entre 23°C e 30°C e a umidade relativa esteve entre 95% a 70%. A visibilidade horizontal entre 2 e 3 km. O céu parcialmente nublado com predominância de cúmulos e a pressão atmosférica aumentou cerca de 5 mb.

-O vento de superfície variou entre calmo e fraco com direção mais predominante de norte.(N).

SUPERFÍCIE - 12 TMG - Fig. 8.4b

-Formou-se um núcleo de baixa pressão de mesoescala permitindo a formação de uma linha de instabilidade entre a capital e o litoral norte. No prolongamento de linha registrou-se a ocorrência de trovoadas, raios e Cumulus nimbus (Cb). A temperatura máxima foi superior 33°C, e o vento de superfície persistiu fraco de noroeste (NW).

NÍVEL DE 850 MB - Fig. 8.4c

-A altura geopotencial aumentou cerca de 32 mpp, caracterizando o aumento do efeito da subsidência e de acordo com a virada do vento passando a soprar de norte definindo o domínio da célula de alta pressão.

-A radiossondagem (Fig. 8.6d) mostra o aumento do total de água precipitável ao longo de toda coluna definindo uma situação de alta instabilidade caracterizando a possibilidade de ocorrência de chuvas. No nível da superfície o vento foi de nordeste e de noroeste a norte-noroeste no nível de

850 mb, com velocidade entre 6 e 10 nós. A umidade relativa esteve entre 65% a 70%.

Dia 28/02/86

SUPERFÍCIE - 12 TMG - Fig. 8.5a

-Frente semi-estacionária se estendendo sobre todo estado do Paraná associada à zona de baixa pressão determinando área de instabilidade sobre todo estado.

-A temperatura oscilou entre 23° e 24° C e a umidade relativa entre 70% e 80%. Do dia 27 para 28 ocorreram chuviscos na madrugada. Céu com predominância de núvens médias do tipo alto cúmulus (Ac) em bancos e em transformação.

-A visibilidade horizontal entre 2 e 4 km.

-O vento de superfície variou entre calmo e fraco do quadrante norte.

SUPERFÍCIE - 18 TMG - Fig. 8.5b

-À tarde o sistema se intensificou e definiu o domínio da zona de baixa pressão. Porém não houve dados sinóticos significativos.

NÍVEL DE 850 MB - Fig. 8.5c

-Neste nível configurou-se um cavado bem definido sobre a costa de São Paulo. Este cavado confirma a atuação de uma zona de convergência que se acopla com uma baixa na superfície. Porém a umidade relativa sobre São Paulo é baixa, caracterizando um efeito de subsidência na área.

Na radiosondagem (Fig. 8.6e) o efeito de subsidência é demonstrado e se estende até o nível de 700 mb. Nos 850 mb a umidade relativa é da ordem de 39% e na superfície 65%. O vento dentro desta camada se mantém soprando de noroeste.

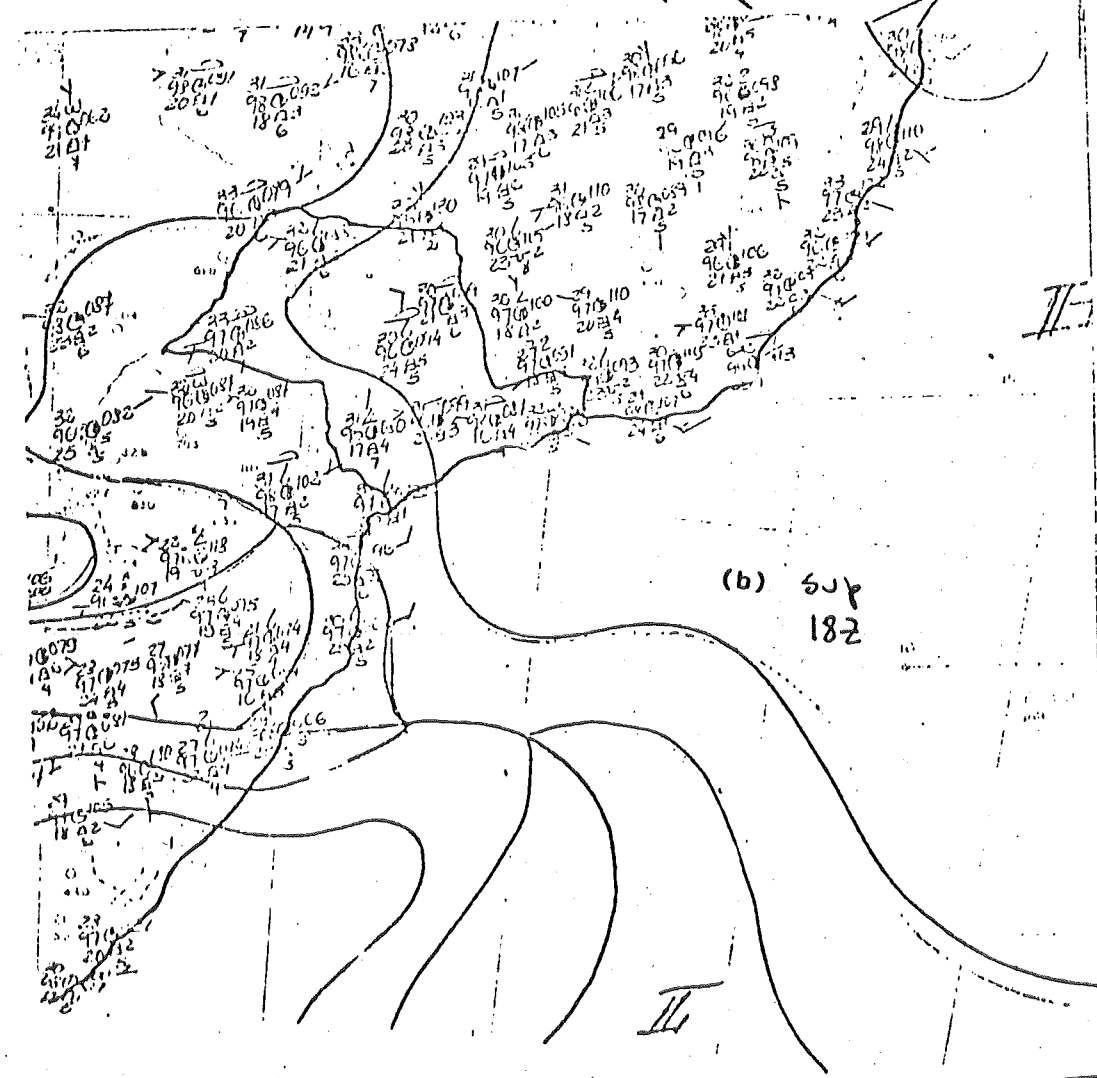
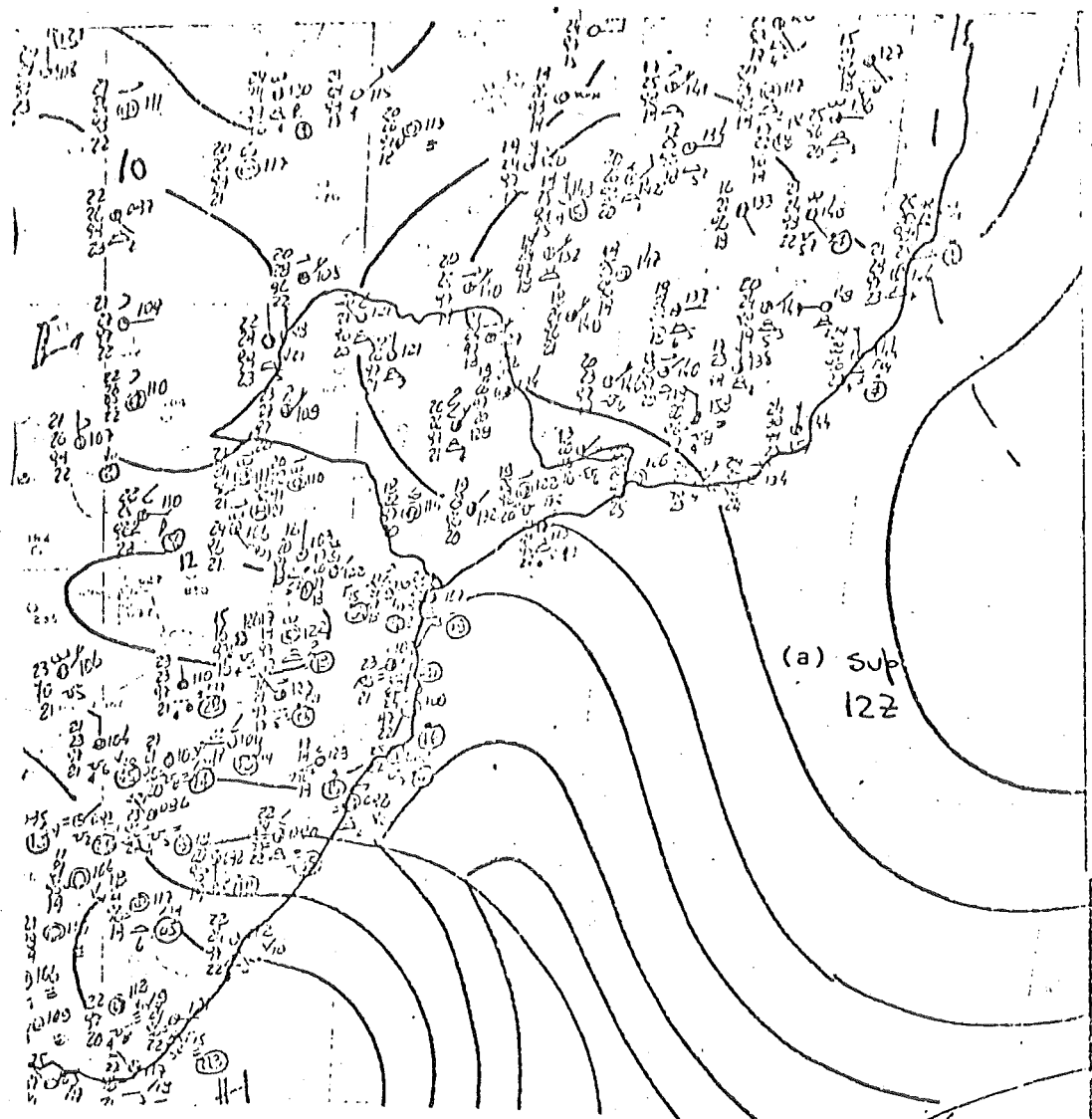
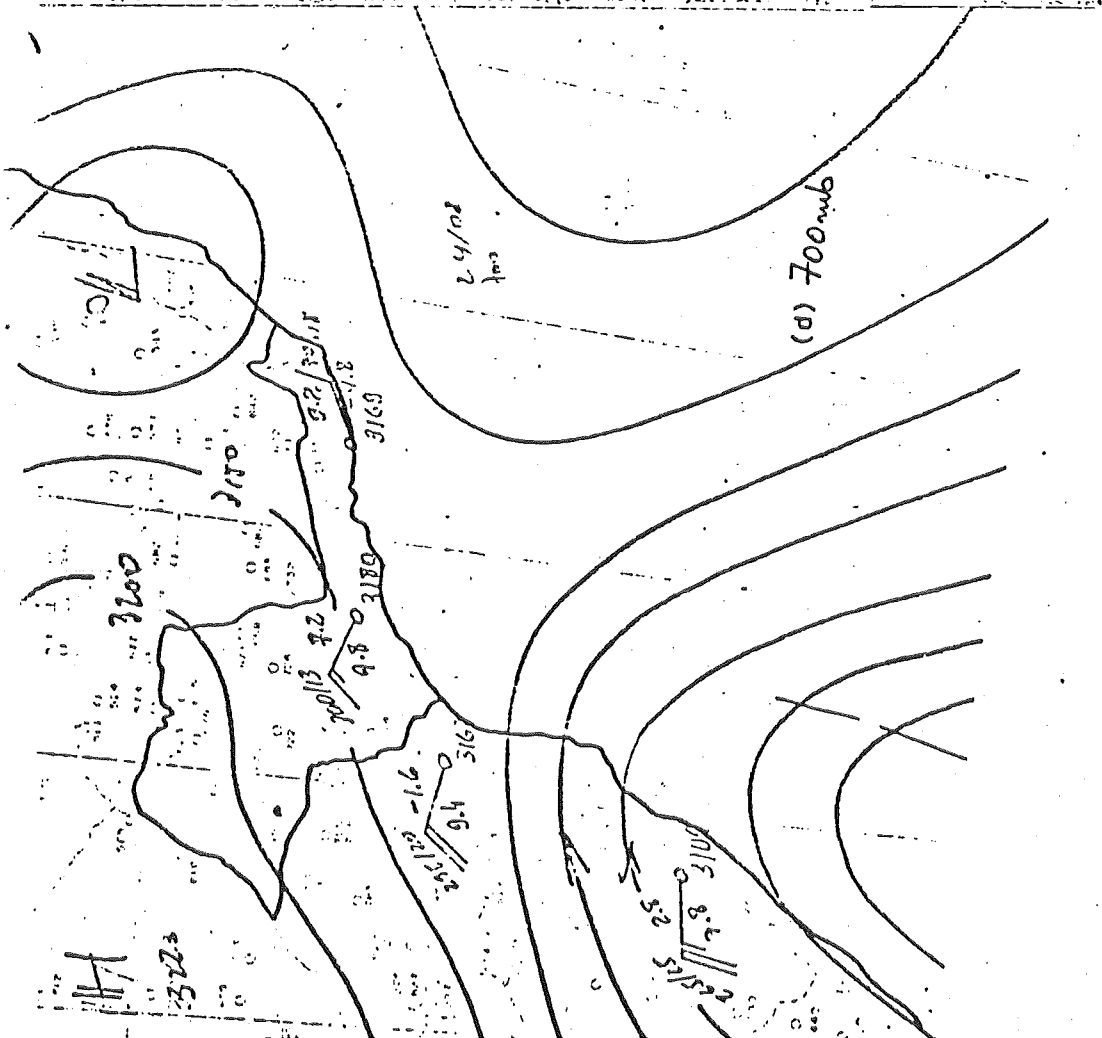
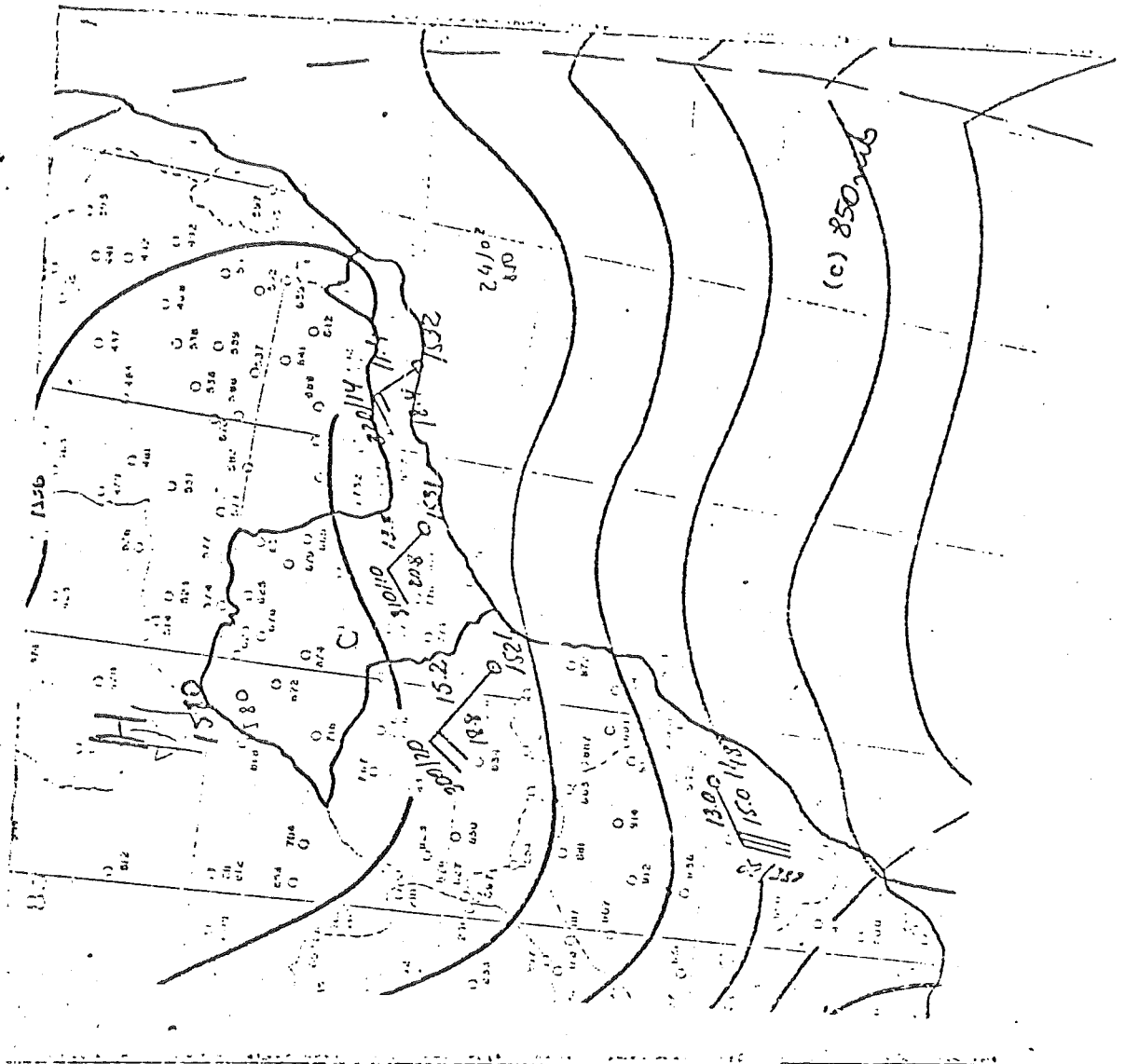


Figura 8.1: Mapas sinóticos de superfície (a) e (b) e de 850 mb (c) 700 mb (d) para o dia 24/02/86.



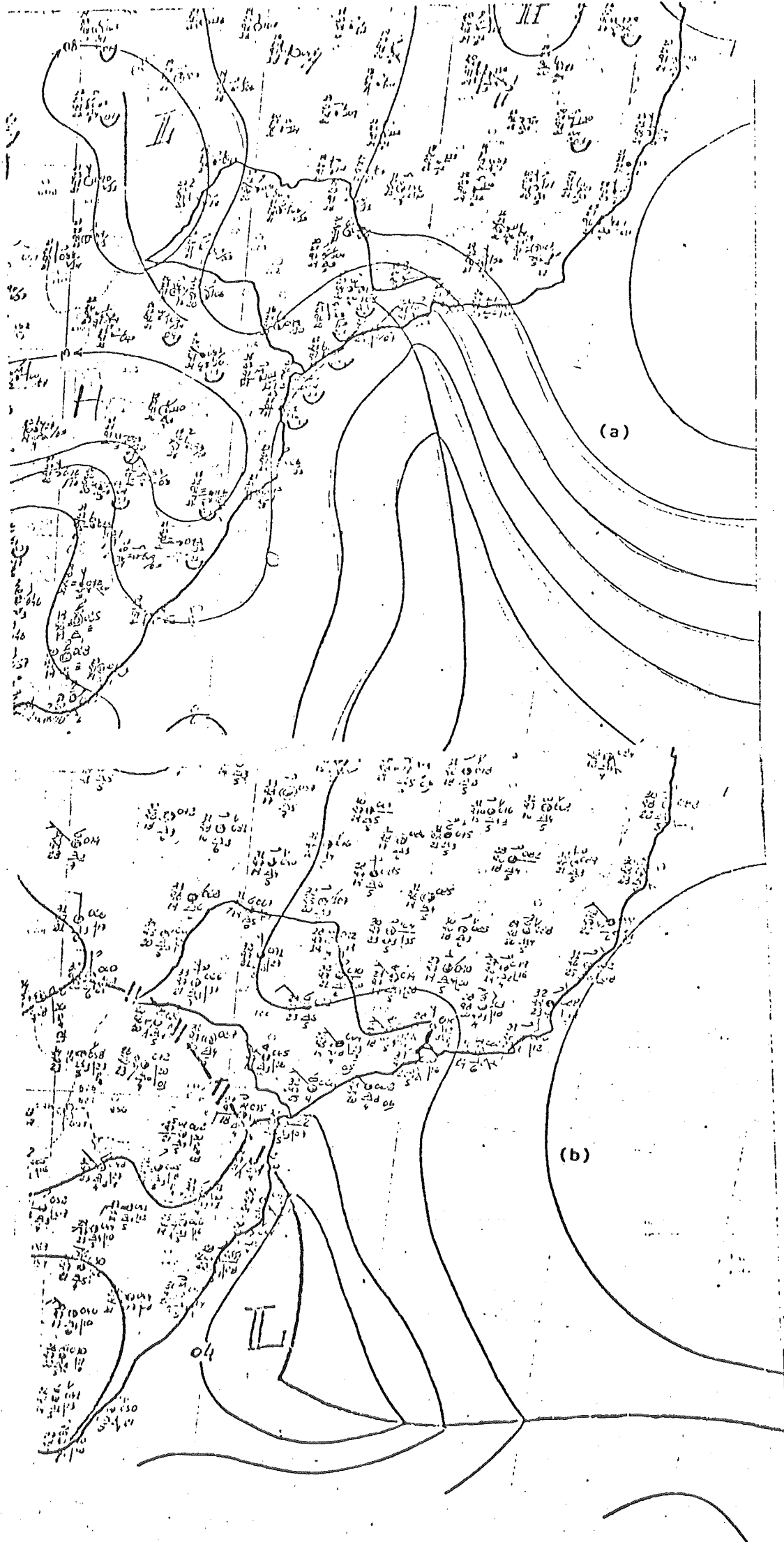
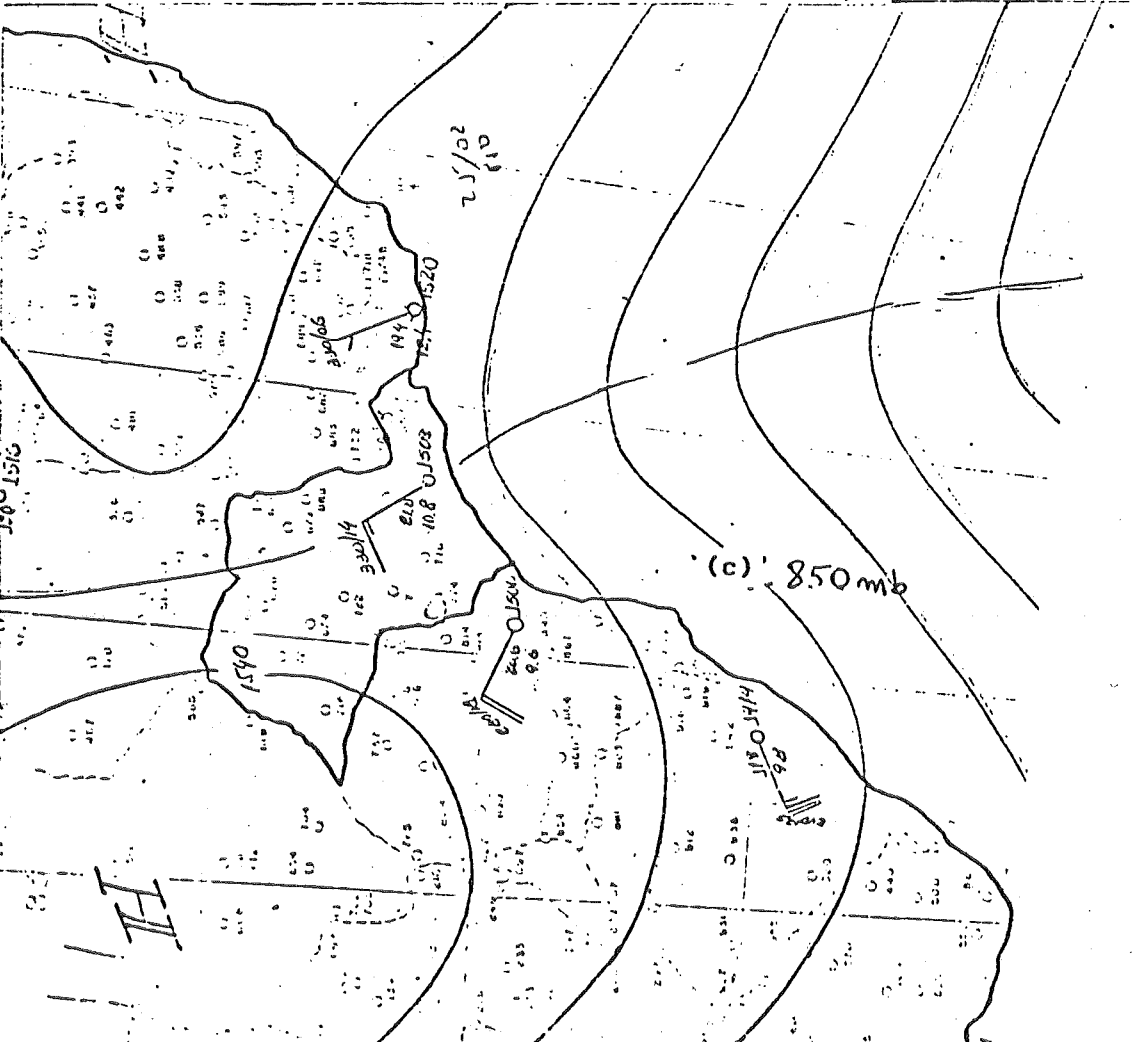
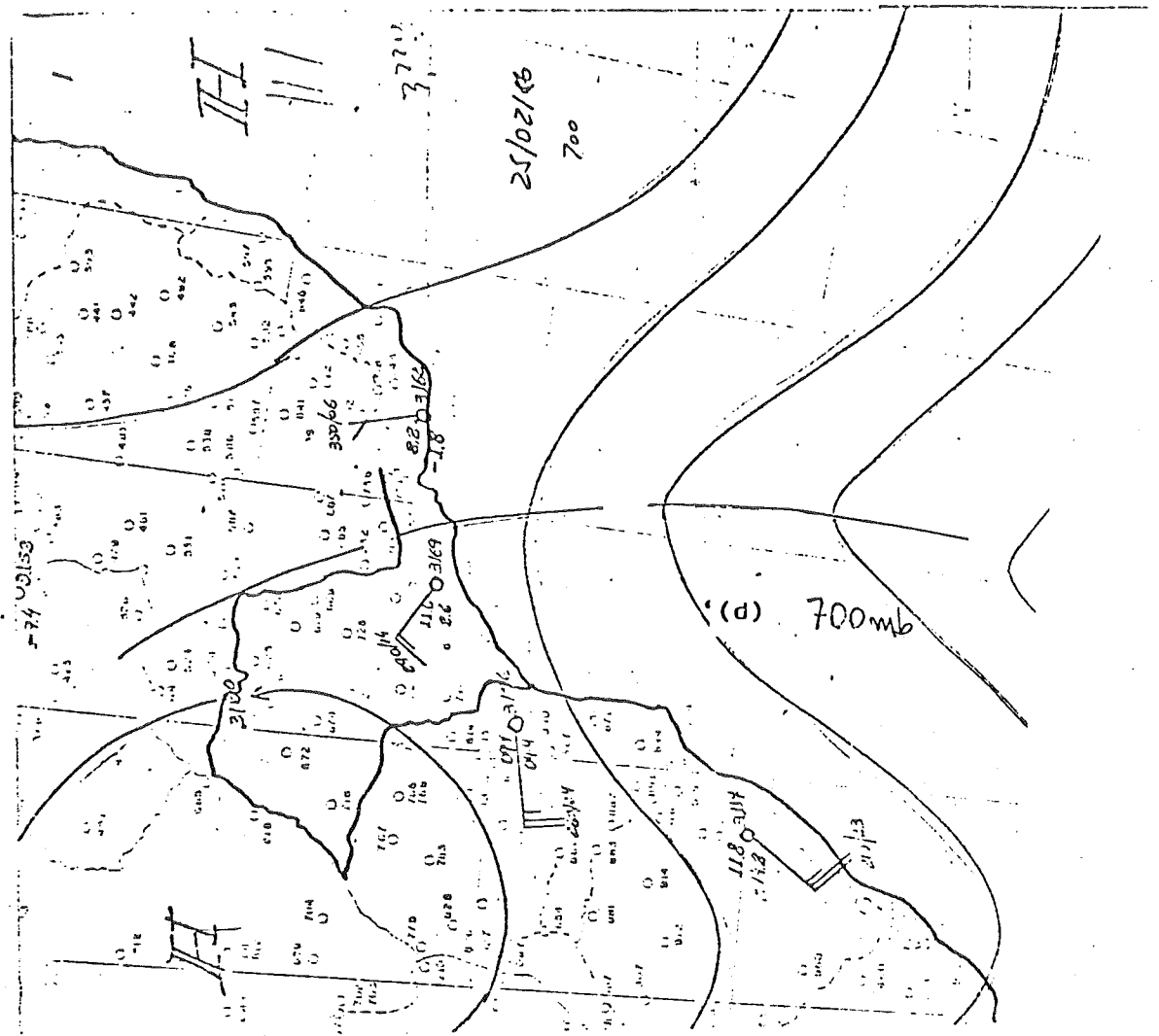


Figura 8.2: Idem a Fig. 8.1 para o dia 25/02/86.



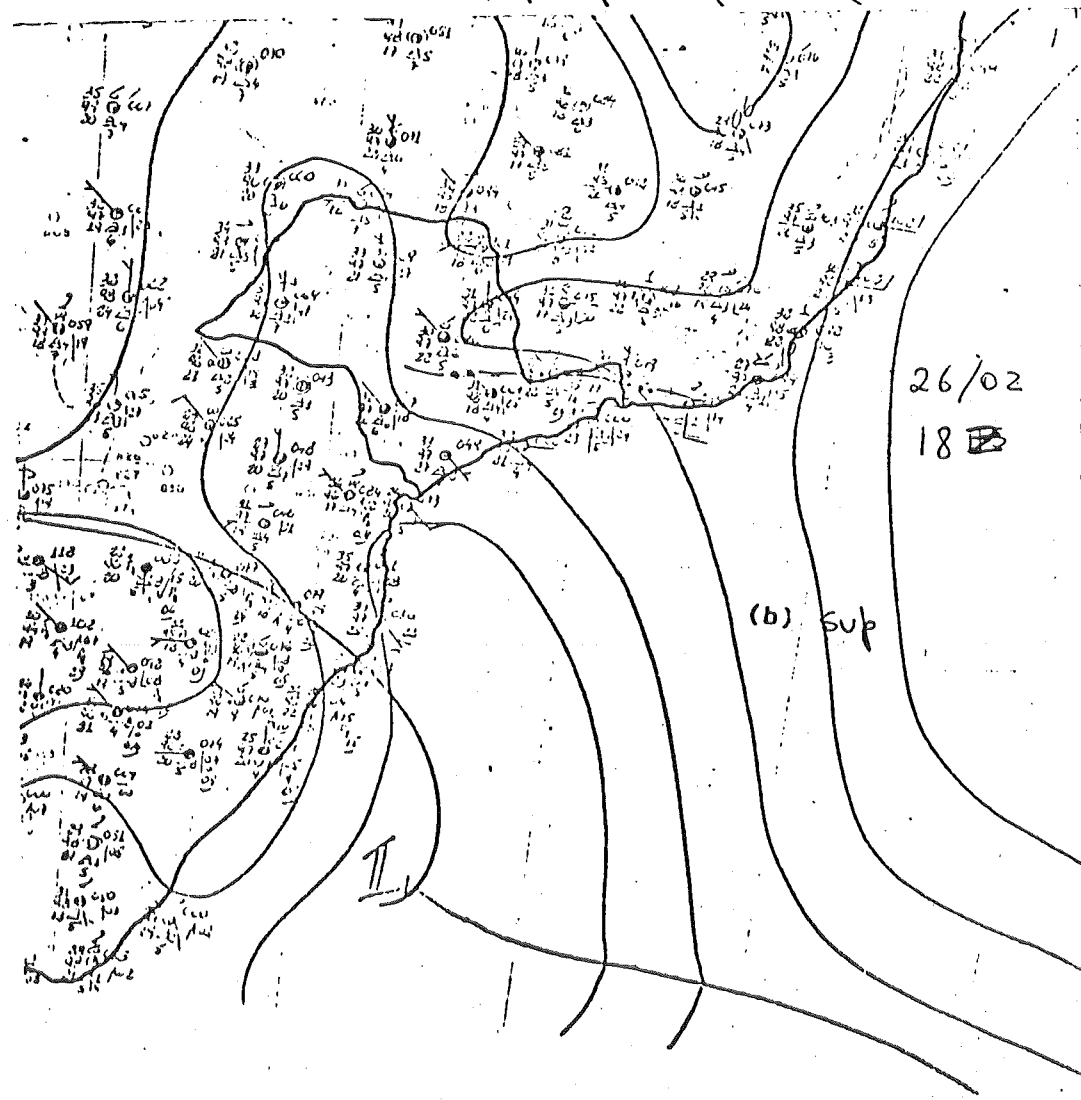
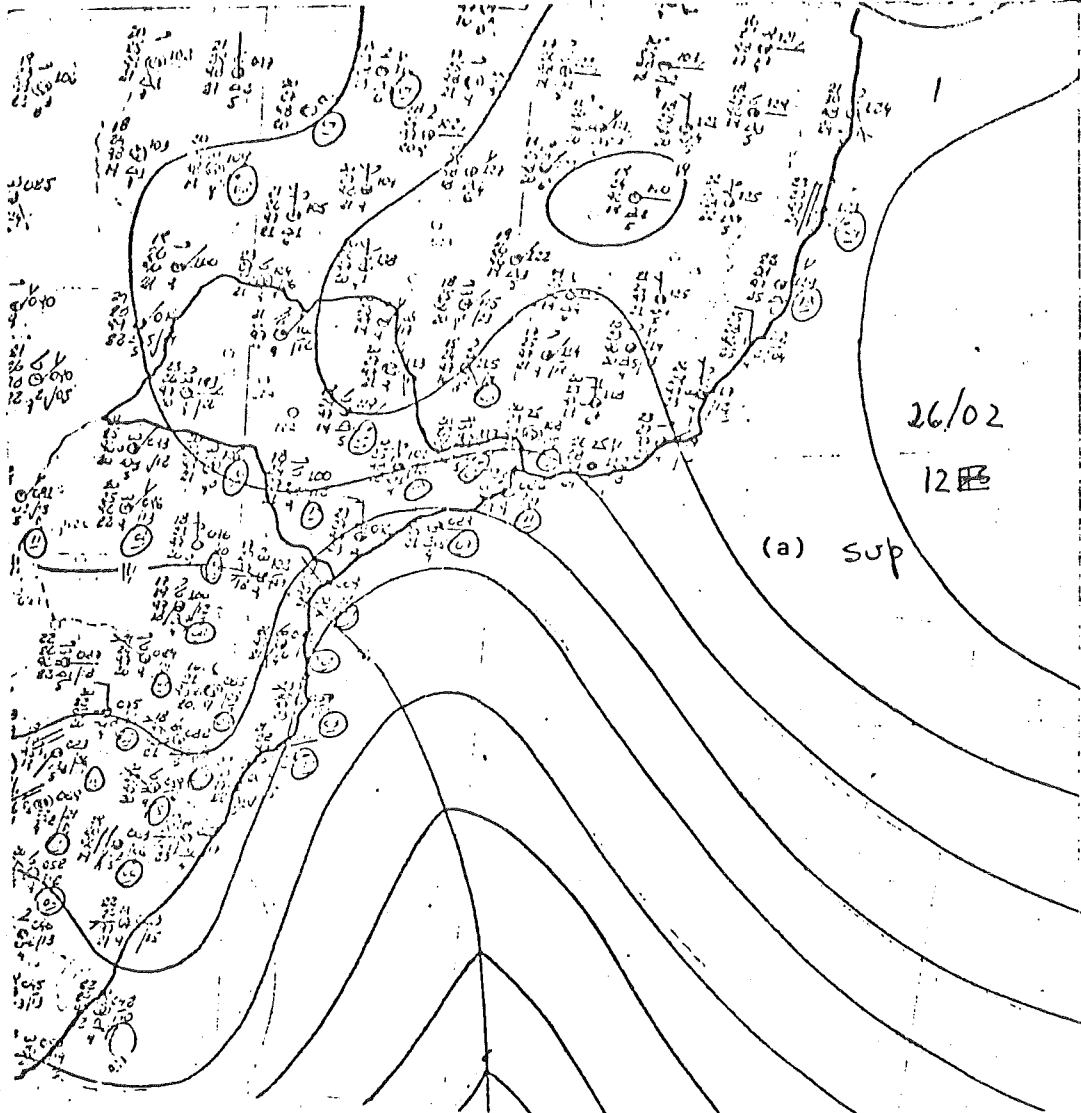
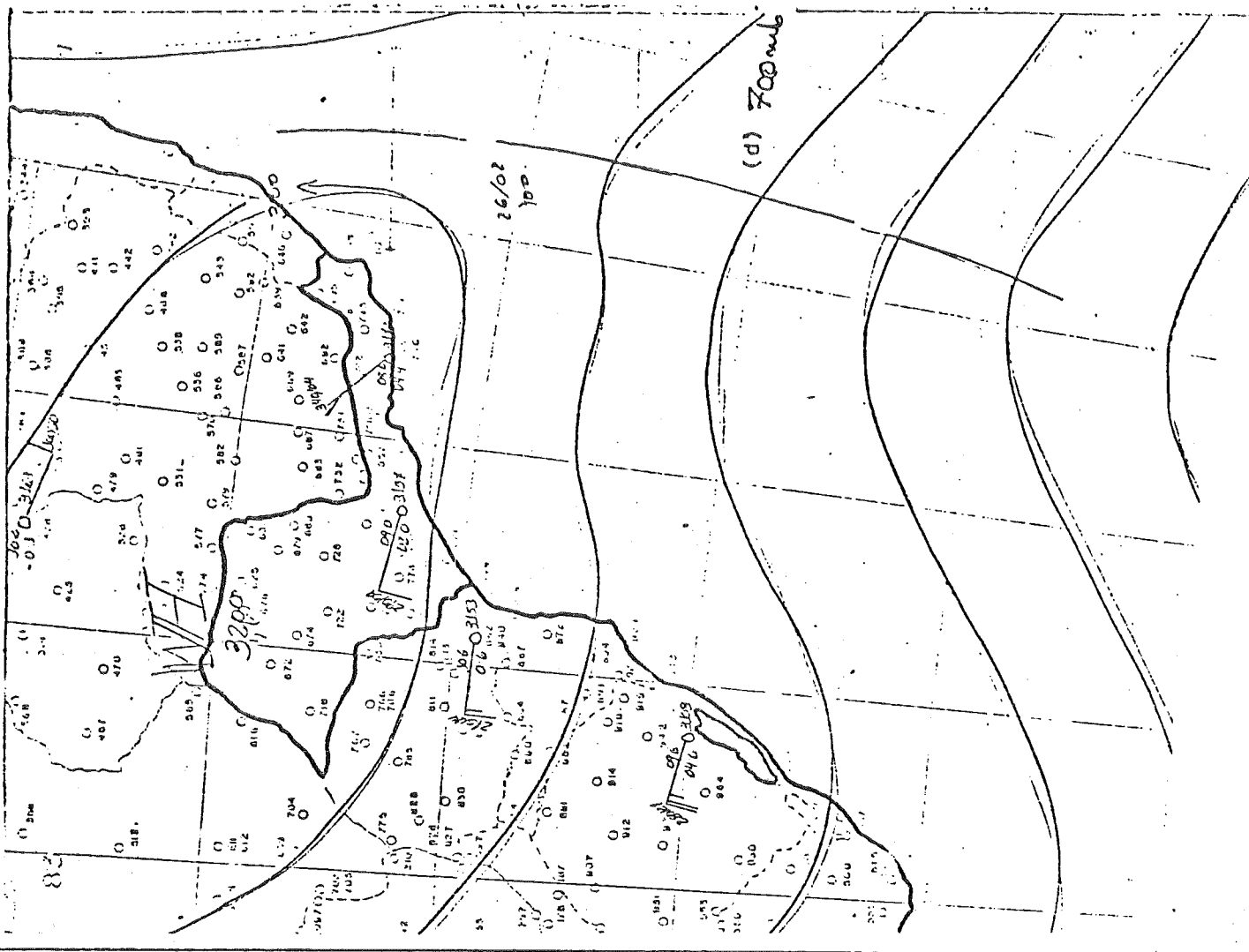
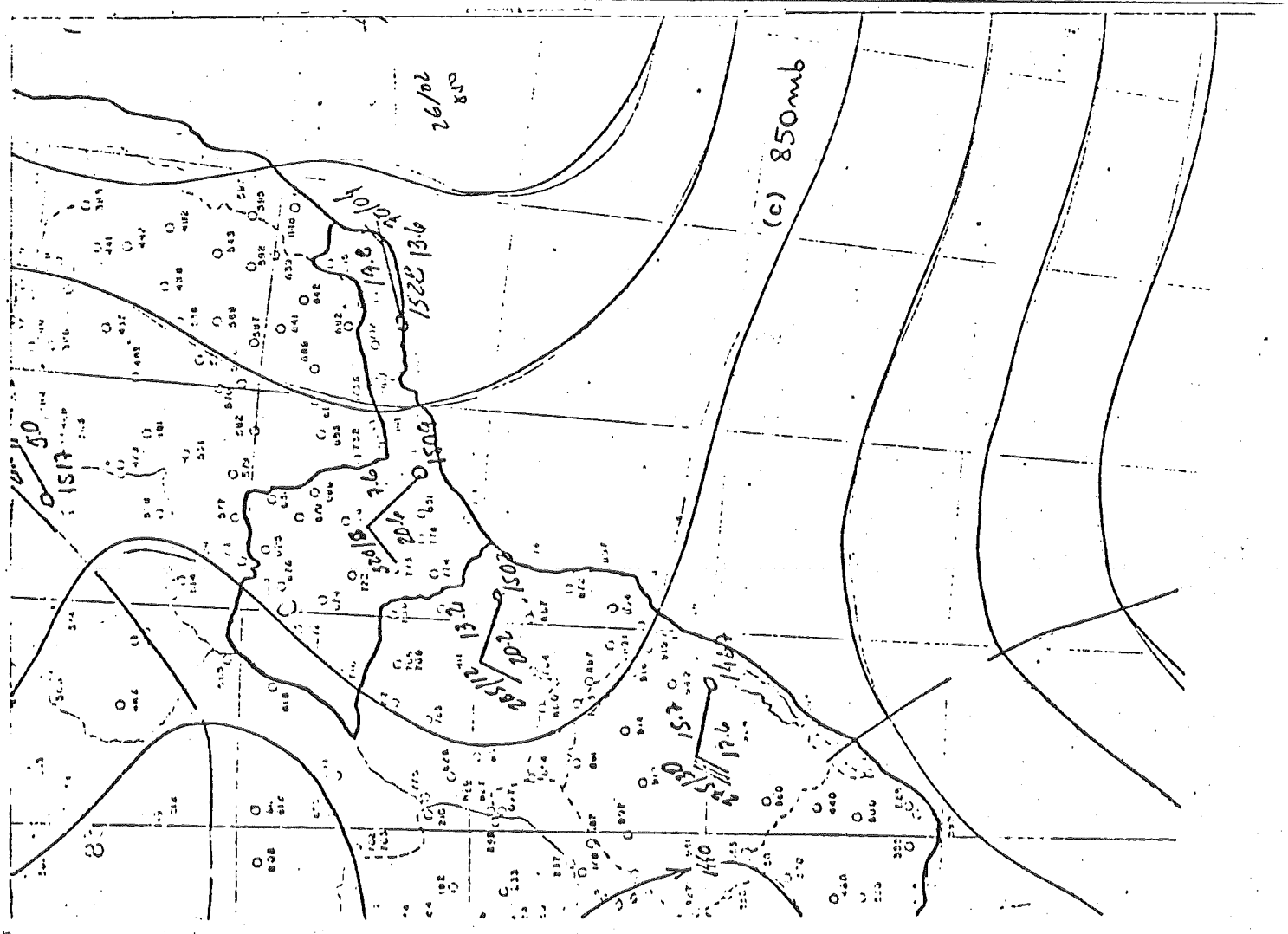


Figura 8.3: Ídem a Fig. 8.1. para o dia 26/02/86.



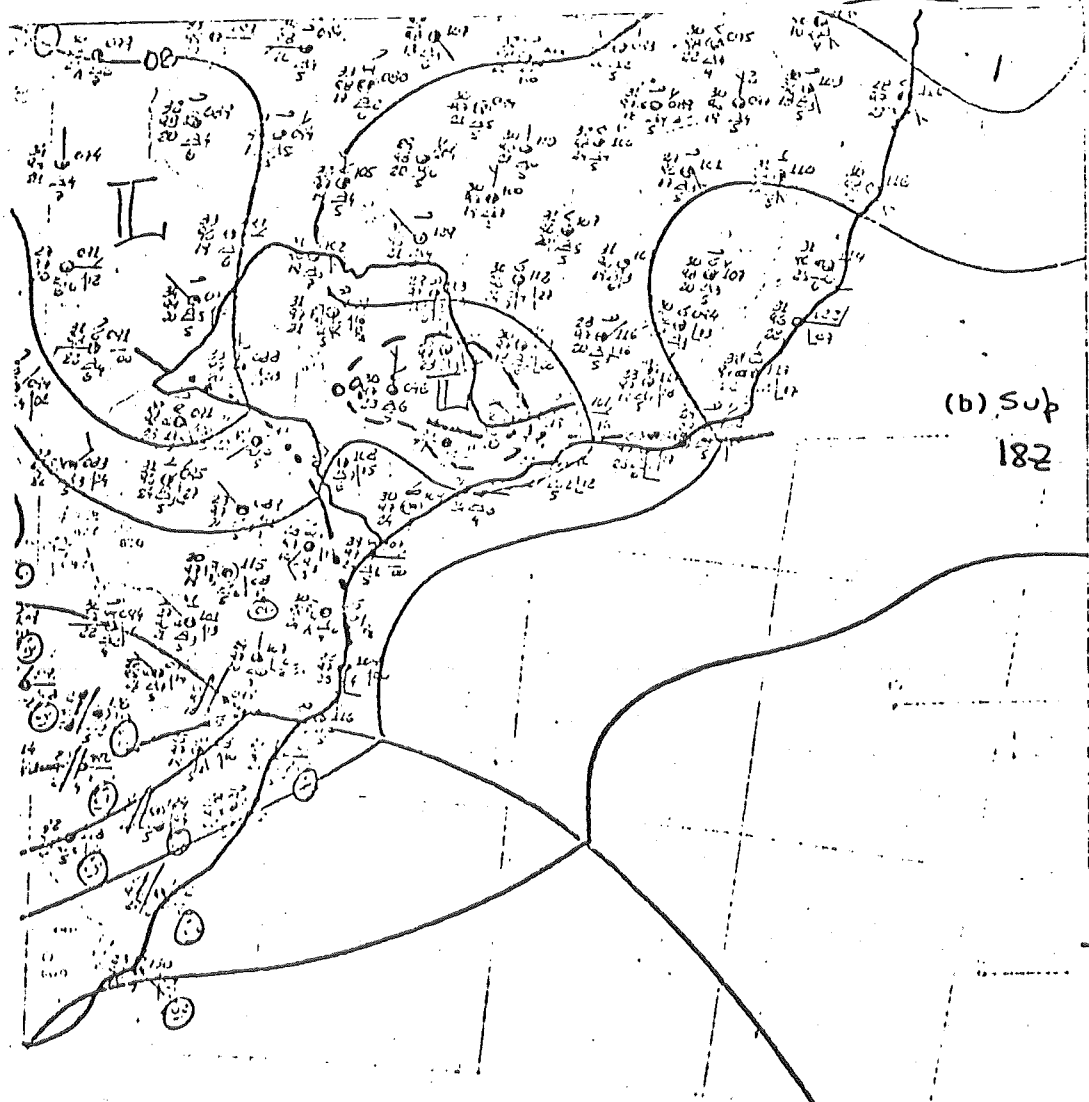
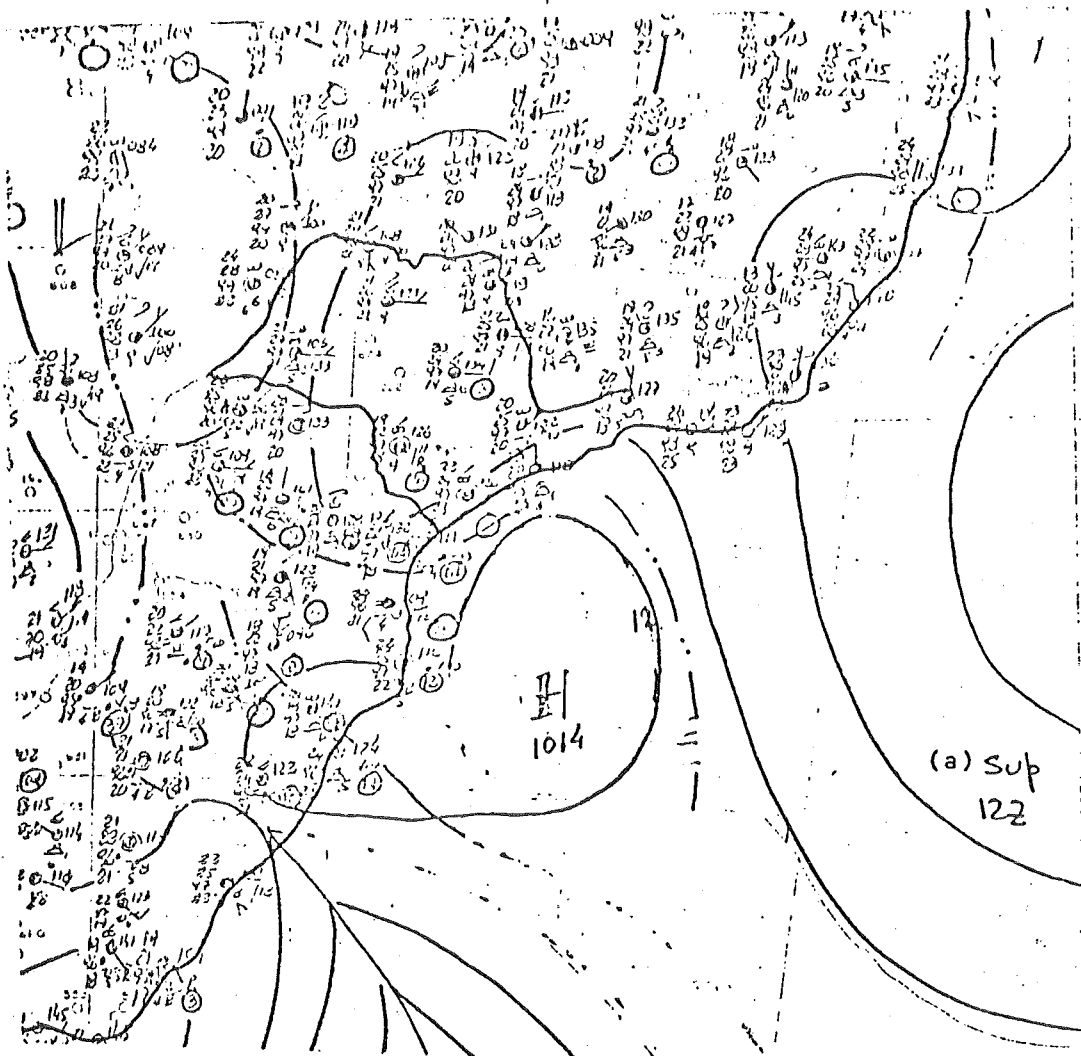


Figura 8.4: Idem a FIG. 8.1 para o dia 27/02/86.

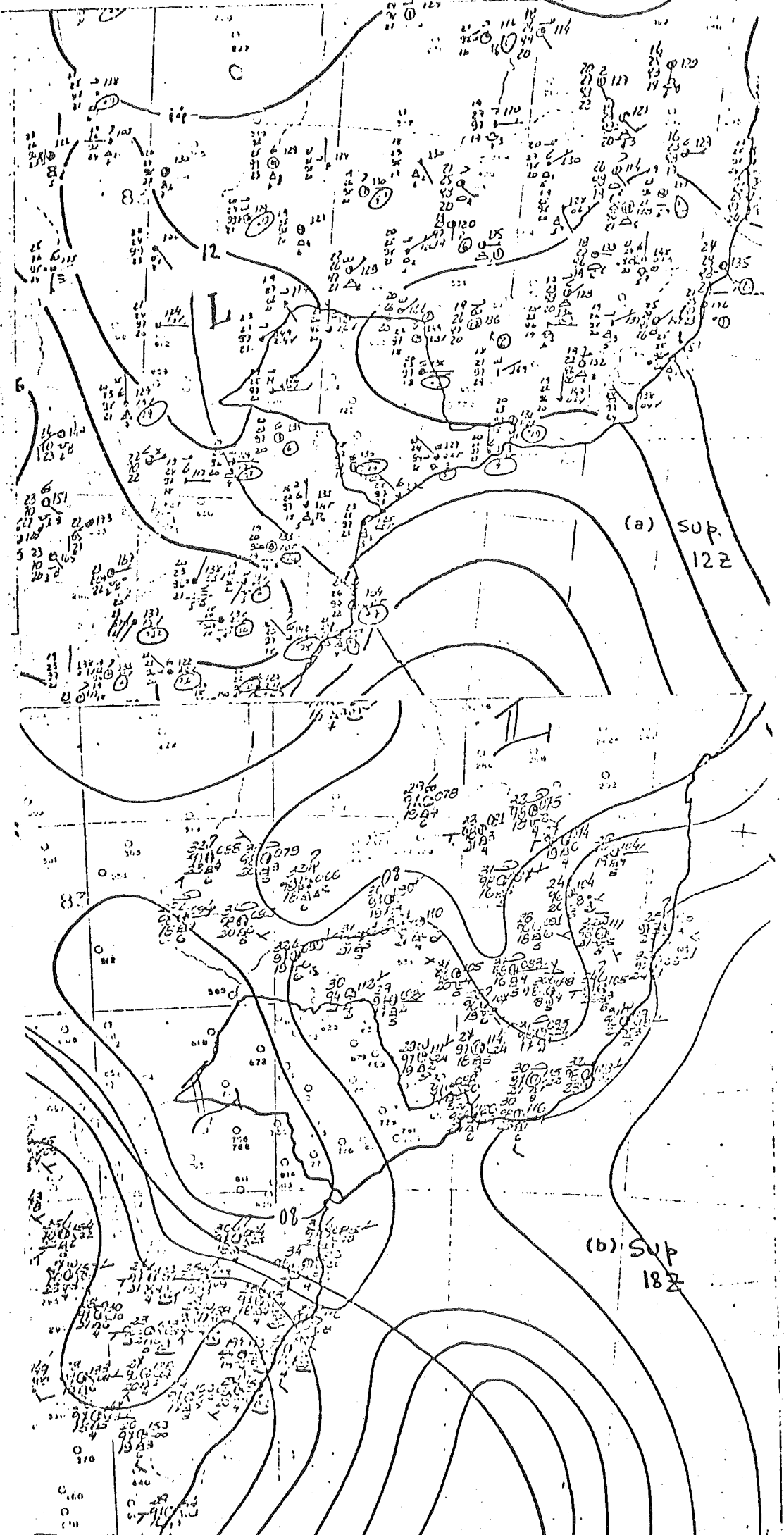


Figura 8.5: 'Idem a Fig. 8.1 para o dia 28/02/86.

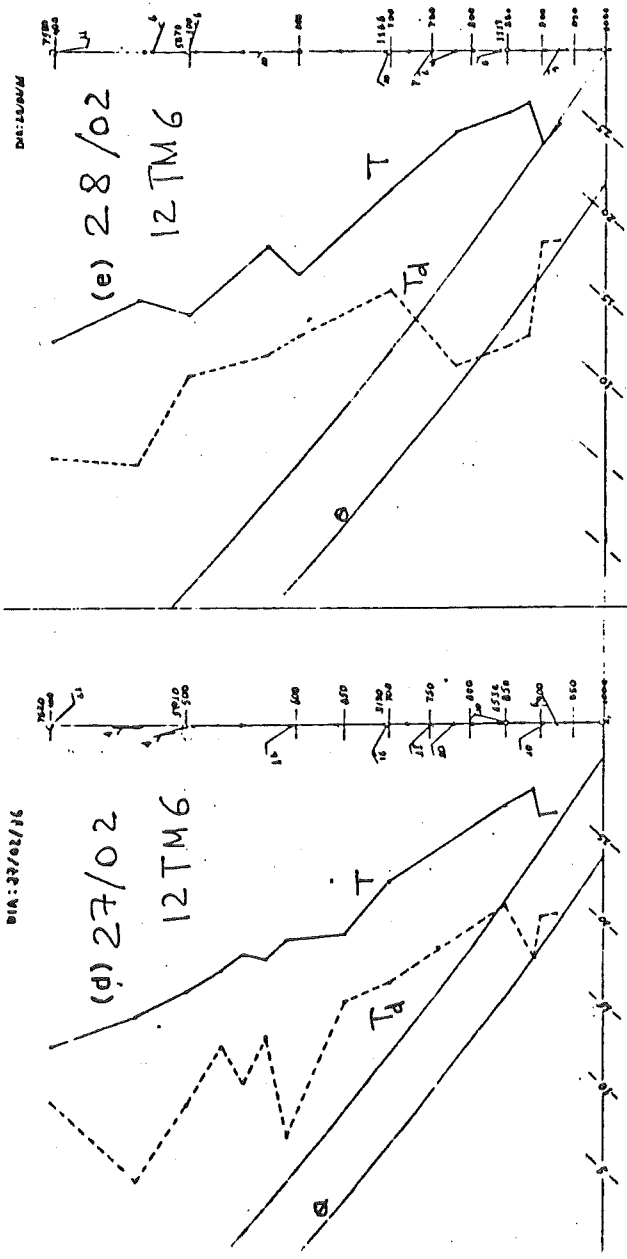
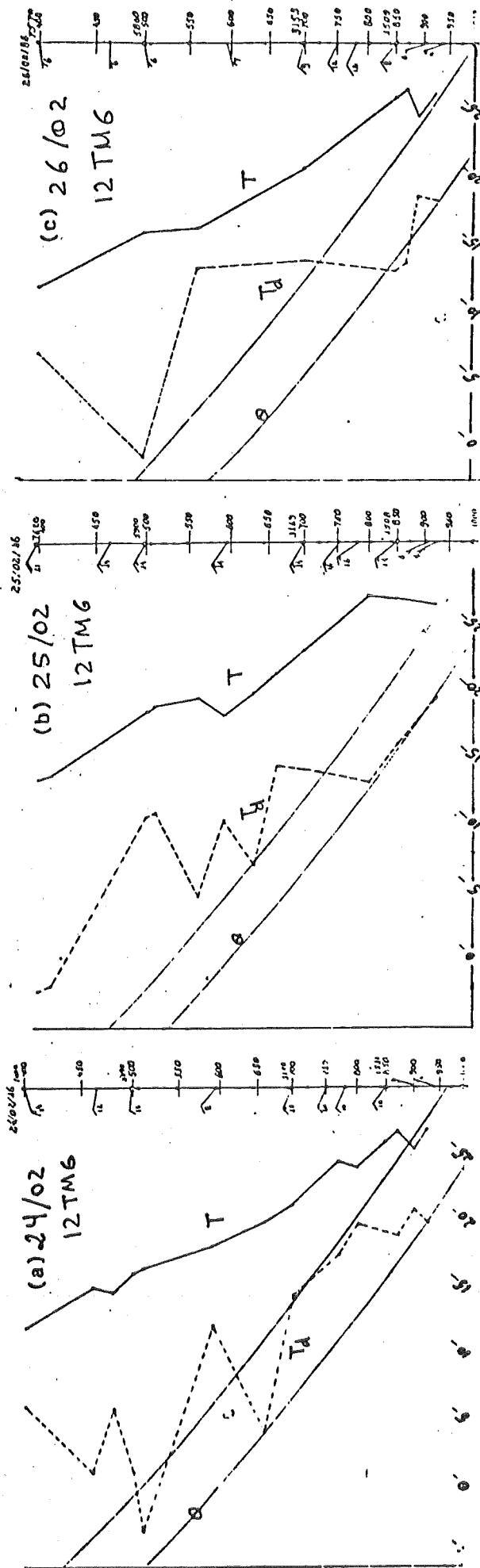


Figura 8.6: Radiosondagem em Congonhas-SP.

9. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO E DIÓXIDO DE ENXÓFRE

Nas Figs. 9.1 e 9.2 são apresentadas a concentração de SO_2 , em ppb, médias de uma hora, observada respectivamente em Cubatão centro e em Vila Parisi, durante o período do experimento. Nestas figuras pode-se observar a presença sistemática de máximos relativos de SO_2 entre 0 e 8 HL dos dias 24, 26, 27 e 28, em Cubatão Centro e nos dias 26, 27 e 28 em Vila Parisi.

Na Fig. 9.3 é apresentada a concentração de material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), médias de uma hora, observadas em Vila Parisi. Nesta figura não se observa qualquer padrão diurno. Na Fig. 9.4 é apresentado um gráfico da extensão vertical da intensidade da inversão térmica em função da hora do dia. Pode-se observar a sistemática formação de inversão térmica de superfície no período da madrugada e manhã, em todos os dias do período considerado. Além disso, notam-se inversões térmicas de superfície nos dias 25, 26, 27 e 28, entre 12 e 16 horas.

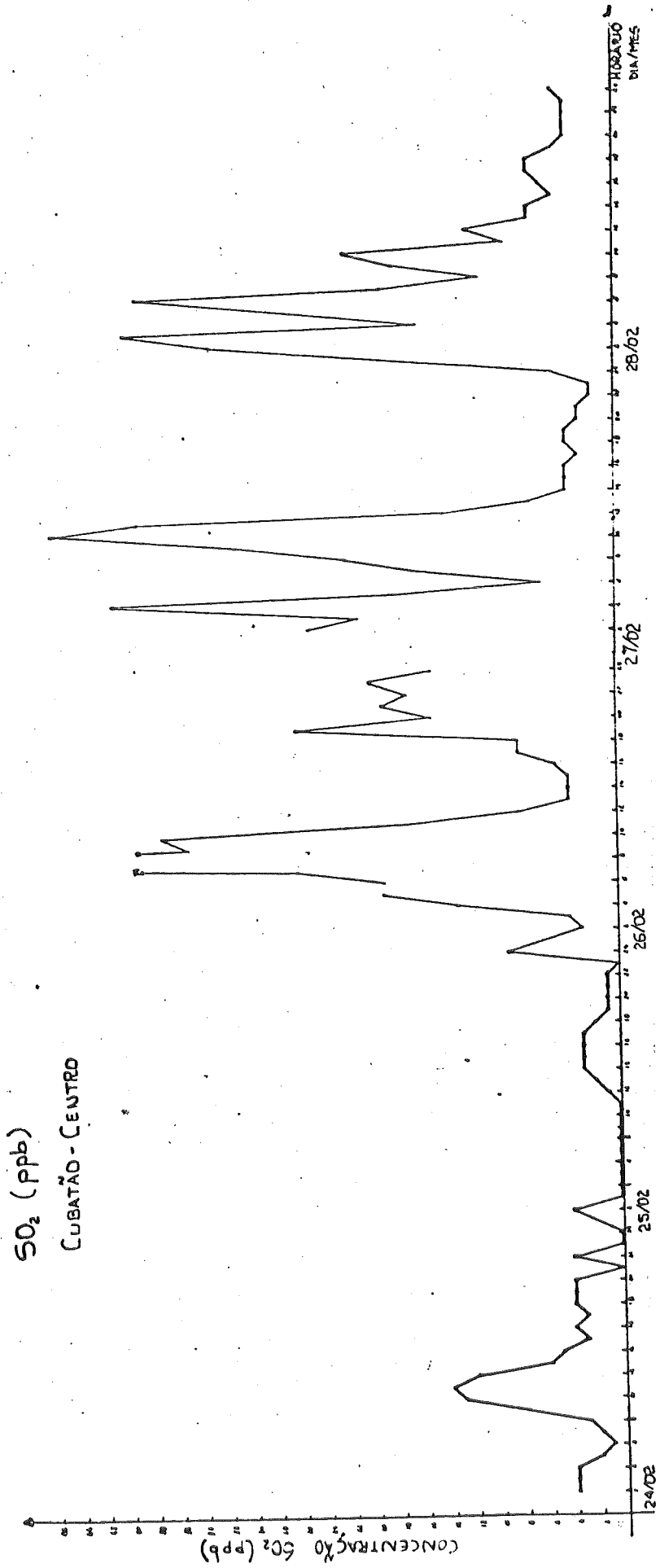


Figura 9.2: Concentração de SO₂ (média horária) na superfície, observadas durante 24 a 28 de fevereiro de 1986.

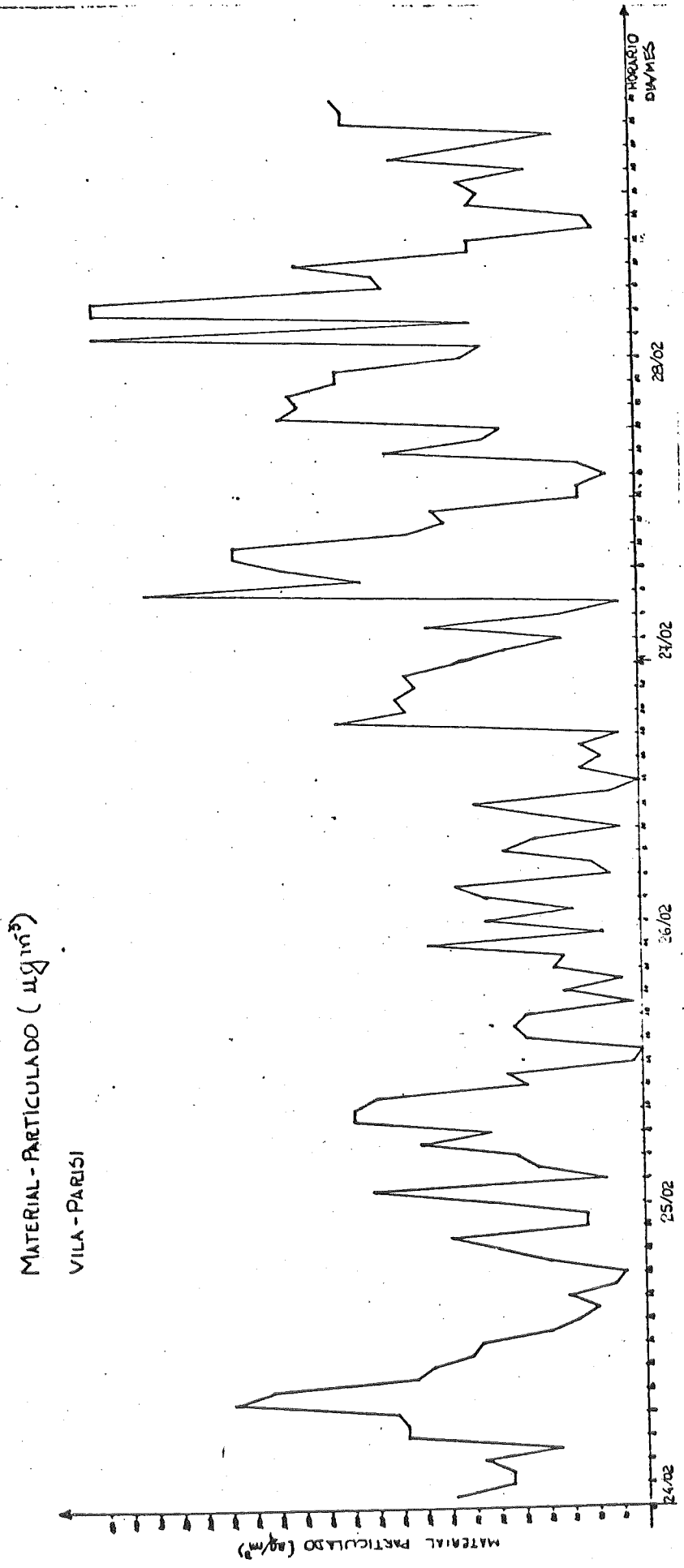


Figura 9.3: Concentração de material particulado (média horária) medidos na superfície de 24 a 28 de fevereiro de 1986 em Vila Parisi, Cubatão.

EXTENSÃO VERTICAL DA
INVERSÃO TÉRMICA
CUBATÃO-CENTRO

□
▨
■

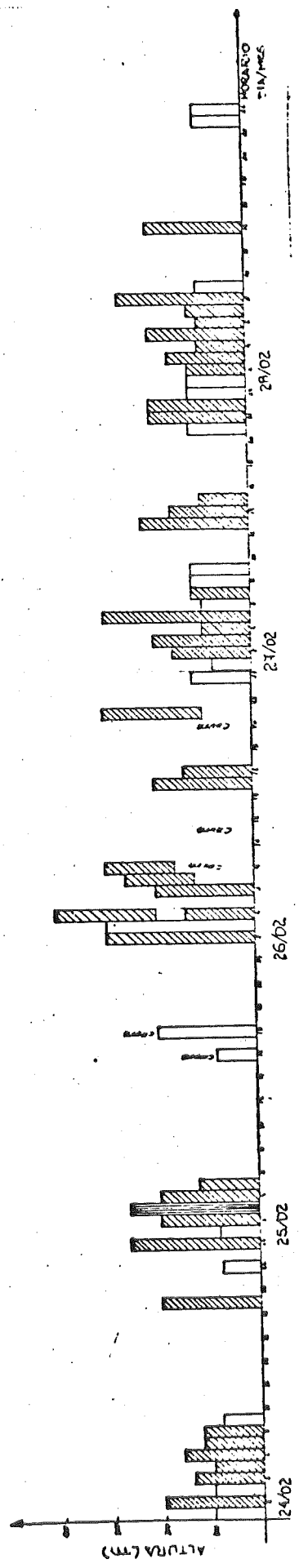


Figura 9.4: Extensão vertical da Inversão térmica observada através do radar acustico da CETESB em Cubatão Centro de 24 a 28 de fevereiro de 1986. Intensidade: □ fra- ca; ▨ forte e ■ intensa.

10. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Este relatório teve a finalidade de apresentar os dados obtidos no Projeto CIRCUII chamando a atenção a algumas características que são consideradas importantes para a compreensão da circulação local em Cubatão.

Dada a complexidade identificada com a modesta rede de medidas deste experimento, é patente a necessidade de, em experimentos futuros, expandir a capacidade de observação da circulação tridimensional com pelo menos mais quatro pontos de observação. Seria conveniente, também, que todas as estações de observação fossem equipadas com psicrômetro e anemômetro para completar a caracterização da estrutura térmica e de umidade, que só foi amostrada na vertical.

No entanto, os dados colhidos no Projeto CIRCUII já abrem a possibilidade a alguns estudos que poderão ser abordados a seguir pelos pesquisadores envolvidos. Entre esses estudos se encontram os seguintes tópicos, que ficam como sugestões:

- 1) Avaliar a evolução da concentração de SO_2 e material particulado em função das variações da circulação local e das características termodinâmicas.
- 2) Avaliar o campo de divergência de massa e relacioná-lo com a evolução da circulação.
- 3) Avaliar a subsidência na área de Cubatão através de modelo de camada de mistura.

Data Agnis.:
Indic.:
Livrante:
Preço: 5.4
Data Tomha: 10-12-87