

ESTIMATIVA DO FLUXO DE CALOR SENSÍVEL NA  
ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ

Regina Célia dos Santos  
Paulo Roberto Pelufo Foster  
Yelisetty Viswanadham

Instituto de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12.201 São José dos Campos - SP

RESUMO: As regiões antárticas desempenham um papel importante no clima global. A determinação dos vários fluxos em tais áreas faz-se necessário. Resultados preliminares dos fluxos de calor sensível ( $Q_S$ ) na estação antártica brasileira, Comandante Ferraz ( $62^{\circ}05'08''$  S,  $58^{\circ}23'37''$  W) foram obtidos usando conjunto de dados medidos de vento e temperatura para diferentes situações. Os resultados mostram que existe diminuição de  $Q_S$  em dias nublados. Observa-se também que a variação de  $Q_S$  dia a dia não é sistemática.

ABSTRACT: The antarctic regions play an important role in world climates. Determination of various fluxes in such areas are necessary. A preliminary results of sensible heat fluxes ( $Q_S$ ) at an antarctic brazilian station, Comandante Ferraz ( $62^{\circ}05'08''$  S,  $58^{\circ}23'37''$  W) are obtained using measured wind and temperature data sets for differents situations. The results show that there is a decrease of  $Q_S$  on a cloudy day. It is also observed that the variation of  $Q_S$  from day to day is not sistematic on all the three days.

## 1 - INTRODUÇÃO

Na Antártica, a radiação é a componente mais importante no balanço de energia da superfície. O gelo modifica consideravelmente o clima antártico pois reflete a radiação solar e impede a troca de calor latente e sensível entre o oceano e a atmosfera (Weller, 1986)<sup>1</sup>. Medidas em algumas estações do platô (Weller, 1980)<sup>2</sup> mostram balanços de energia negativos, mas comparações com estações costeiras indicam que as trocas de energia são mais intensas na costa do que no interior da Antártica. Desta forma, a principal fonte de calor global encontra-se nas camadas mais altas da atmosfera antártica. Mais recentemente, Carrol (1982)<sup>3</sup> fez medidas do balanço de energia na Estação Polo Sul e verificou que, durante a noite polar estas

medidas apresentam um alto grau de variabilidade devido ao frequente influxo do ar marítimo.

Observações micrometeorológicas de superfície em Adélie Land, oeste da Antártica, incluindo um estudo do balanço de calor, revelam que a taxa de radiação solar é a maior fonte de energia, que pode destruir a inversão de temperatura na superfície durante o dia (Wender e André, 1986)<sup>4</sup>. Portanto, medidas da troca de energia na superfície juntamente com medidas do perfil através da camada limite permitem avaliar detalhadamente a energética do vento catabático.

Como a região antártica desempenha um importante papel no clima global, este estudo avalia o fluxo diário de calor sensível na Estação Antártica Comandante Ferraz, localizada na Ilha Rei George, Antártica. É ilustrada a variabilidade desta componente do balanço de radiação em situações distintas, isto é, um dia de céu claro, um dia parcialmente coberto e um dia com tempestade.

## 2 - DADOS E MÉTODOS

As estimativas de calor sensível baseiam-se em informações obtidas na Estação Antártica Comandante Ferraz - Ilha Rei George (latitude 62°05'08''S, longitude 58°23'37''W e altitude 16,5 m) (Figura 1). Para os cálculos utilizou-se dados horários de temperatura obtidas no abrigo meteorológico e na superfície, bem como dados de vento (velocidade e direção). Para caracterizar as situações distintas considerou-se os dias 06/02/89, dia totalmente claro, 14/02/89, parcialmente nublado e 25/02/89, um dia com tempestade.

A equação aerodinâmica volumétrica utilizada para o cálculo do fluxo turbulento de calor sensível (Malkus, 1962)<sup>5</sup> é:

$$Q_S = \rho C_p C_H U_{10} (T_{sup} - T_{ar})$$

onde  $\rho$  é a densidade do ar ( $1,4 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $C_p$  é o calor específico do ar ( $10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ C}^{-1}$ ),  $C_H$  é o coeficiente de transferência para calor sensível,  $U_{10}$  é a velocidade do vento em 10 m ( $\text{m s}^{-1}$ ),

$T_{\text{sup}}$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $T_{\text{ar}}$  é a temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ). O coeficiente de transferência variou de acordo com a estabilidade atmosférica. Sob condições atmosféricas instáveis o coeficiente para  $C_H$  é  $1,2 \times 10^{-3}$  enquanto que em condições estáveis ( $T_{\text{sup}} < T_{\text{ar}}$  e  $U_{10} < 4 \text{ m s}^{-1}$ ) utilizou-se  $C_H = 0,85 \times 10^{-3}$ . A validade do método aerodinâmico tem sido comprovada em estudos de fluxo de calor oceano/atmosfera (Walker e Mey, 1988)<sup>6</sup> bem como na Antártica (Wendler e André, 1986)<sup>4</sup>.

Nos dois primeiros dias, o vento foi observado a altura de 10 m enquanto que no dia com tempestade as observações (direção e velocidade) foram efetuadas a altura de 1,80 m. A temperatura na superfície foi medida através de um termômetro padrão FUESS (modelo 3264) enquanto que a temperatura no abrigo foi medida através de termômetro padrão WEATHERMEASURE (modelo 4411). O vento em 10 m foi medido por um anemômetro HOBECO (modelo AH-1111/1121) e em 1,80 m por um anemômetro totalizador SIAP (modelo AM 9). As medidas representam a variação espacial com acurácia de  $0,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$  para os termômetros de bulbo seco e úmido. A acurácia dos anemômetros é  $0,25 \text{ m s}^{-1}$  e  $0,50 \text{ m s}^{-1}$  para os modelos da HOBECO e SIAP, respectivamente.

### 3 - RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a velocidade e a direção do vento (a), as temperaturas da superfície e do ar (b) bem como o fluxo de calor sensível (c) no dia 06/02/89. Verifica-se que os ventos são predominantemente de sudoeste enquanto que as temperaturas mínimas são encontradas nas primeiras horas da manhã. A temperatura máxima ocorreu às 19 horas TMG e a partir deste horário ela diminuiu simultaneamente com o vento. Esta diminuição da intensidade do vento é explicado pela teoria do vento geostrófico, ou seja, com o aumento da pressão ocorre diminuição do vento conforme observa-se nos valores de pressão mostrados na Tabela 1. O fluxo de calor sensível, tal como as temperaturas, são mais ou menos constantes nas primeiras horas da manhã, atinge o valor mínimo às 11 horas e o máximo às 18 horas, coincidindo portanto com a máxima velocidade do vento.

Embora este dia tenha sido totalmente claro, observa-se que durante 12 horas o fluxo de calor sensível foi negativo.

TABELA 1

VALORES HORÁRIOS DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA (hPa)  
AO NÍVEL DA ESTAÇÃO PARA OS DIAS ESTUDADOS

HORA	06/02	14/02	25/02	HORA	06/02	14/02	25/02
00	1003,0	987,0	1001,0	12	1005,0	985,0	985,0
01	1003,2	987,5	1001,0	13	1005,0	984,7	982,0
02	1003,5	987,0	1001,0	14	1005,0	984,0	980,0
03	1003,6	986,5	1000,5	15	1006,0	985,0	980,0
04	1003,2	986,0	1000,0	16	1006,5	985,0	980,0
05	1003,0	986,0	999,0	17	1006,7	984,3	979,5
06	1003,0	985,0	998,0	18	1007,0	984,0	979,0
07	1003,0	985,5	996,0	19	1007,6	983,9	978,5
08	1003,0	986,0	994,0	20	1008,0	983,0	978,0
09	1003,0	985,7	992,0	21	1008,2	983,0	976,0
10	1004,0	985,5	990,0	22	1008,5	982,5	975,0
11	1004,3	985,2	987,0	23	1009,0	982,0	974,0

No caso do dia parcialmente coberto e com neve fraca (14/02/89) verifica-se que os ventos predominam do sul (Figura 3a). A amplitude da velocidade,  $U_{10\text{m}\text{áx}} - U_{10\text{m}\text{ín}}$ , igual a  $9 \text{ m s}^{-1}$  é superior àquela do caso anterior ( $6 \text{ m s}^{-1}$ ). Nota-se que a partir das 20 horas há uma diminuição da velocidade do vento que sopra de  $270^\circ$  (direção oeste). Isto ocorre porque existe um obstáculo natural nesta direção e próximo do local de instalação do anemômetro. Quanto às temperaturas da superfície e do ar (Figura 3b) as amplitudes ( $T_{\text{sup máx}} - T_{\text{sup mín}}$ ,  $T_{\text{ar máx}} - T_{\text{ar mín}}$ ) são maiores do que àquelas encontradas no dia 06/02/89 porém, neste caso a amplitude da temperatura do ar é superior a da superfície com uma diferença da ordem de  $0,8^\circ\text{C}$  enquanto que a diferença naquele caso foi  $0,3^\circ\text{C}$ . O fluxo máximo de calor sensível (Figura 3c) ocorreu às 3 horas (coincidindo com o valor encontrado às 6 horas) enquanto que os valores máximos de temperatura foram registrados às 23 horas na superfície e às 21 horas no abrigo. O fluxo mínimo neste caso, ocorreu às 18 horas e difere do anterior em aproximadamente

$8 \text{ W m}^{-2}$  porém, indicam o transporte de calor sensível da atmosfera para a superfície.

Para o caso característico de situação extrema, ou seja, dia com tempestade (25/02/89), observa-se através da Figura 4a que a direção do vento é, durante quase todo o dia, de norte e a amplitude é superior aquelas encontradas nos dias anteriores ( $35 \text{ m s}^{-1}$ ). Neste caso específico, o vento foi observado à altura de 1,80 m e entre as 18 e as 21 horas observou-se vento do setor oeste, como no caso do dia anterior. Salienta-se as baixas amplitudes das temperaturas (Figura 4b), ou seja,  $1,1^{\circ}\text{C}$  para  $T_{\text{sup}}$  e  $1,3^{\circ}$  para  $T_{\text{ar}}$ . A temperatura máxima do ar foi idêntica àquela encontrada no dia de céu limpo ( $4,8^{\circ}\text{C}$ ) e difere pouco daquela encontrada na superfície. Com relação ao fluxo de calor sensível (Figura 4c) nota-se maiores flutuações neste dia com os valores mínimo ocorrendo às 12 horas e o máximo às 16 horas.

A Tabela 2 sumariza os fluxos totais médios do calor sensível nos três dias estudados e verifica-se uma diminuição sensível do fluxo médio quando há nebulosidade. No dia totalmente claro, o fluxo médio de calor sensível é positivo, indicando que a superfície ganha calor da atmosfera, ou seja, durante o dia a atmosfera aquece a superfície e registra a maior diferença entre as temperaturas médias da superfície e do ar (igual a  $-0,2^{\circ}\text{C}$ ), enquanto que nos dois outros dias, os fluxos são negativos e a superfície perde calor para a atmosfera.

TABELA 2

FLUXOS TOTAIS ( $\Sigma Q_S$ ) E MÉDIOS ( $\bar{Q}_S$ ) DE  
CALOR SENSÍVEL ( $\text{W m}^{-2}$ ) NA ESTAÇÃO  
ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ

DATA	$\Sigma Q_S$	$\bar{Q}_S$	S.D.
06/02/89	0,454	0,019	1,298
14/02/89	-66,719	-2,780	4,026
25/02/89	-102,802	-4,283	6,300

S.D. é o desvio padrão.

#### 4 - CONCLUSÕES

As variações diárias dos parâmetros meteorológicos considerados nas três situações não mostram variações regulares. Isto indica situações de tempo bastante distintas, dia a dia, na região Antártica. Ressalta-se que as intensidades do vento do setor oeste são baixas devido a atenuação provocada por obstáculos naturais próximos à estação.

É importante salientar que este estudo deve no futuro, ser estendido para um conjunto mais completo de dados que podem completar as conclusões acima.

AGRADECIMENTOS: Os autores expressam seus agradecimentos às autoridades do Programa Antártico Brasileiro, em especial ao Dr. Alberto Setzer como responsável pelo projeto Meteorologia na Antártica pelo apoio e à seção de desenho do INPE pela confecção das figuras.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WELLER, G. Meteorology. Antartic Journal, 21(1):2-12, June 1986.

WELLER, G. Spatial and temporal variations in the south polar surface energy balance. Monthly Weather Review, 108:2006-2014, 1980.

CARROLL, J. J. Long-term means and short-term variability of the surface energy balance components at the South Pole. Journal of Geophysical Research, 87(C6):4277-4286, May 20, 1982.

WENDLER, G.; ANDRÉ, J. C. Atmospheric boundary measurements in eastern Antarctica. Antartic Journal, 21(5):242-243, 1986.

MALKUS, J. S. Large-scale interactions. In: The Sea, vol 1, Physical Oceanography, Wiley Interscience, New York, 1962.

WALKER, N. D. ; MEY, R. D. Ocean/Atmosphere heat fluxes within the Agulhas Retroflexion Region. Journal of Geophysical Research, 93(C12):15473-15483, December, 1988.

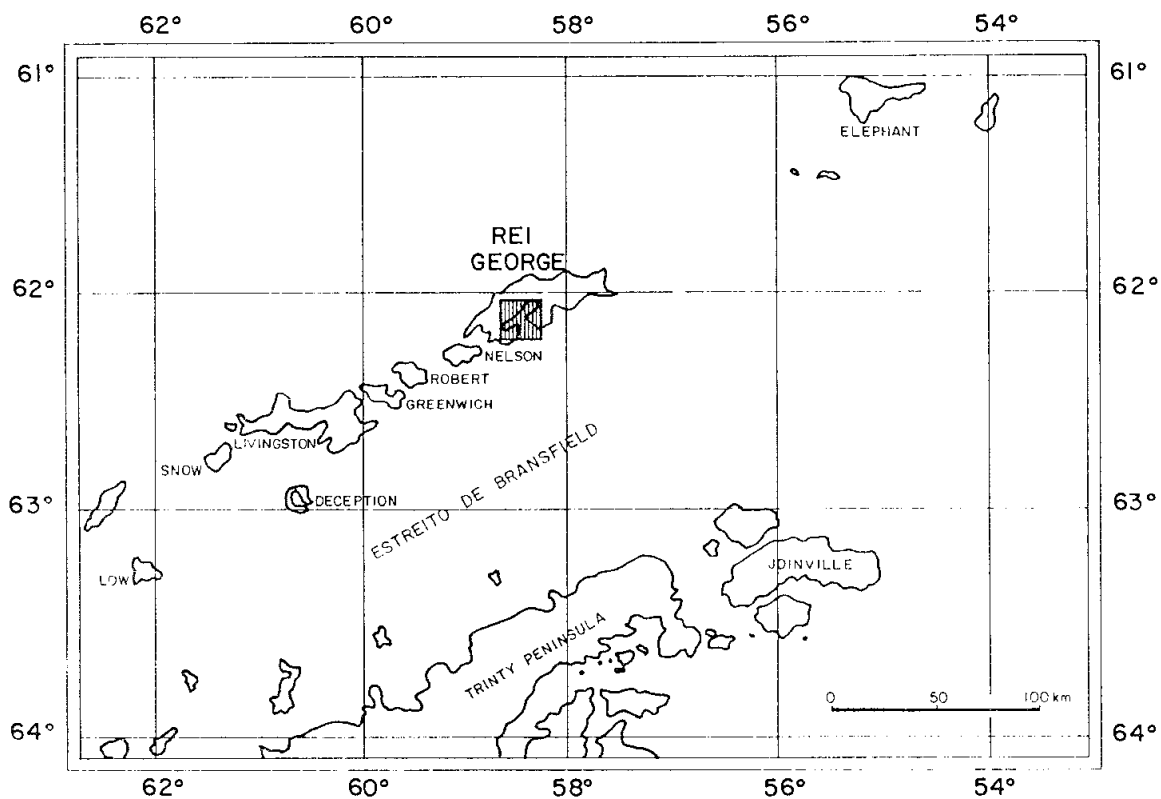


Figura 1 - Localização geográfica da Estação Brasileira Comandante Ferraz ( $62^{\circ}05'08''$  S,  $58^{\circ}23'37''$  W) (indicada pela área hachuriada) em relação à Península Antártica.

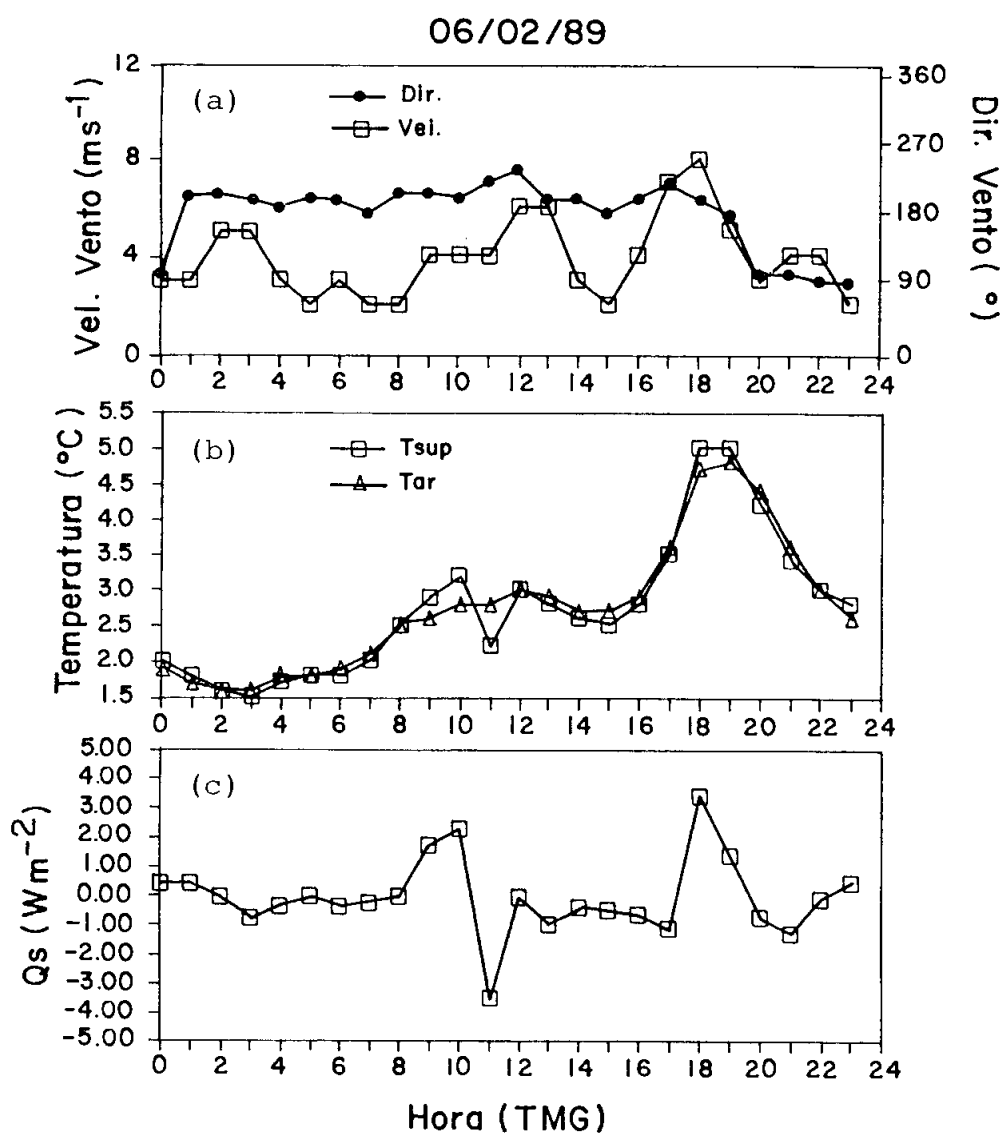


Figura 2 - Variação diária (06/02/89) dos vários parâmetros na Estação Antártica Cmte. Ferraz: (a) velocidade e direção do vento; (b) temperatura da superfície (Tsup) e temperatura do ar (Tar), e (c) fluxo de calor sensível (Qs).



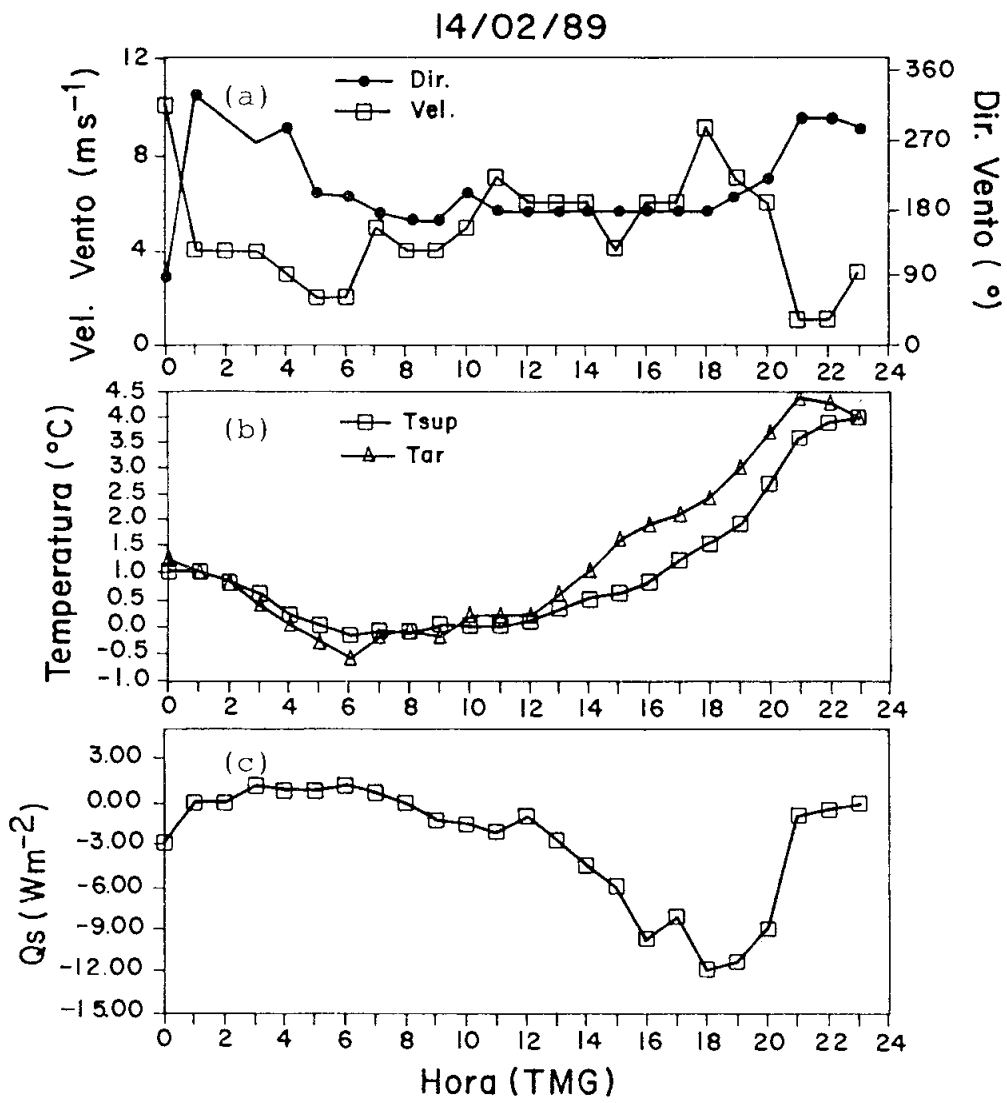


Figura 3 - Ídem para o dia 14/02/89.

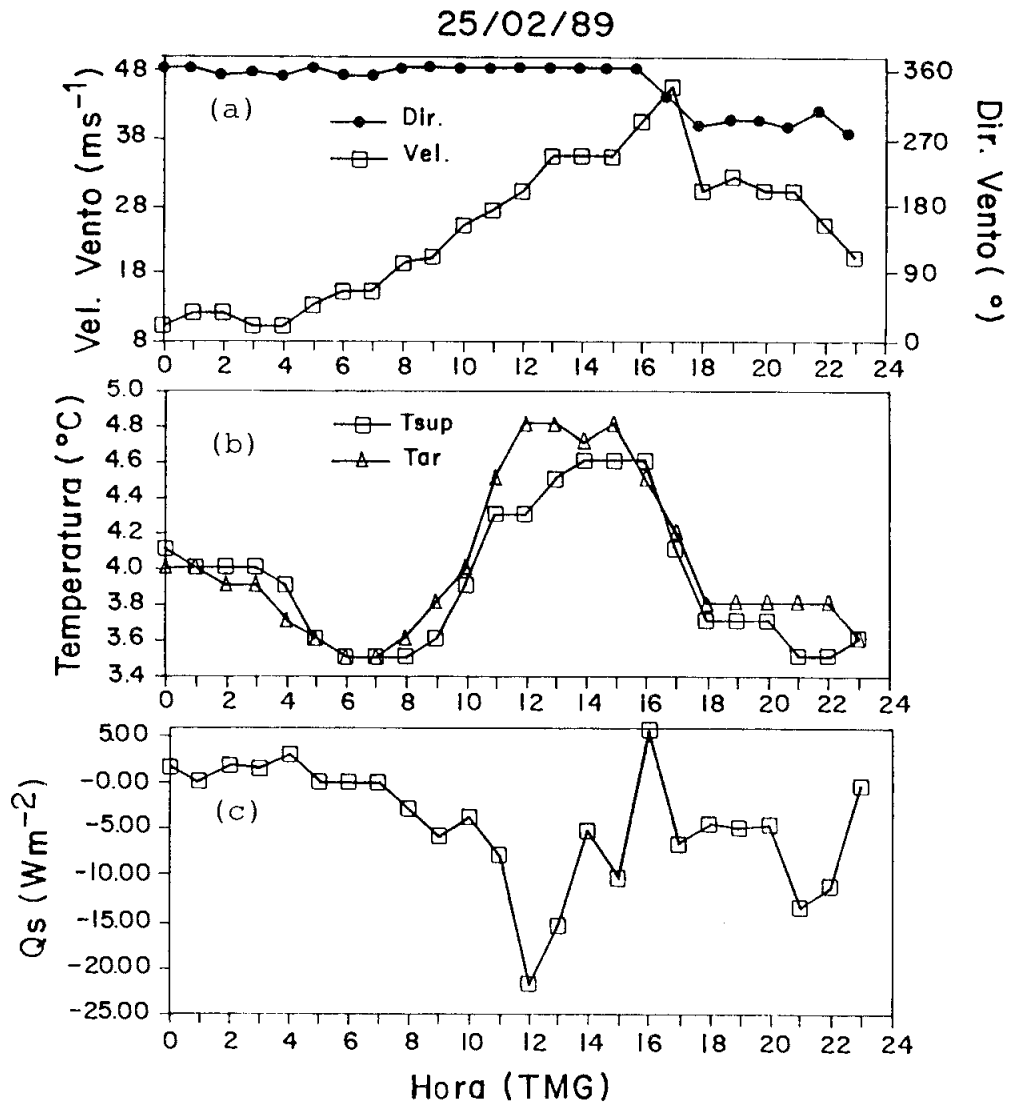


Figura 4 - Ídem para o dia 25/02/89.