

DETERMINAÇÃO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO
DO BALANÇO DE ENERGIA - Análise de erros instrumentais

JOSÉ HOLANDA CAMPELO JÚNIOR

Orientador: Jesus Marden dos Santos

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-
dade de São Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agrometeorologia.

PIR A Ç I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Março, 1978

À Zuleide Cabral Campelo

À Maria Helena Goes Campelo

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. JESUS MARDEN DOS SANTOS, pela orientação fornecida.

Aos Professores Dr. AFONSO DECICO, Dr. JOSÉ CARLOS OMETTO, Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA, Dr. KLAUS REICHARDT e Dr. HERMANO VAZ DE ARRUDA, pela dedicação ao Curso de Agrometeorologia.

Aos amigos Dr. JOSÉ LUCIANO DOMINGUES CAMPOS, Dr. GODOFREDO DE CASTRO FILHO e Dr. HELMUT FORTE DALTRO, pelo incentivo e apoio.

Ao PEAS e FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, pelas condições de trabalho e estudo oferecidas durante o Curso de Agrometeorologia.

À EMBRAPA e FAPESP pelo equipamento cedido.

Aos companheiros de curso pelo ambiente de amizade e cooperação.

INDICE

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
4. MATERIAL	8
4.1. Caracterização do campo experimental	8
4.1.1. Local	8
4.1.2. Solo e cultura	8
4.1.3. Época e condições de umidade	9
4.2. Instrumental	10
4.2.1. Radiômetro líquido	10
4.2.2. Placa medidora de fluxo de calor no solo	10
4.2.3. Psicrômetros	10
4.2.4. Sistema de aquisição dos dados	11
5. MÉTODO	12
5.1. Instalação do equipamento	12
5.2. A equação do balanço de energia	13
5.3. A distribuição da "energia disponível"	14
5.4. Erro instrumental	19
5.5. Propagação de erros	20
5.6. Estimativa dos erros quando são efetuadas medidas absolutas de temperatura	22
5.7. Estimativa dos erros quando são efetuadas medidas diretas das diferenças de tem- peraturas entre os níveis	24
6. RESULTADOS	29
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	59

Página

7.1. A escolha do intervalo de tempo	59
7.2. As alturas de medida	60
7.3. A homogeneidade da superfície	61
7.4. Convenção de sinais	61
7.5. Densidade de fluxo de calor no solo x Radiação líquida	62
7.6. As medidas psicrométricas	63
7.7. O sistema de aquisição dos dados	64
7.8. Os valores de β	64
7.9. Os valores de LE	65
7.10. Erros instrumentais	65
7.10.1. Medida das temperaturas	66
7.10.2. Medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis	68
7.10.3. Medida das temperaturas x medida das diferenças de temperaturas entre os níveis	71
7.11. Erros sistemáticos ou grosseiros em β x Erros casuais nas medidas psicrométricas	72
8. CONCLUSÕES	73
9. SUMMARY	75
10. LITERATURA CITADA	76

1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito dos erros instrumentais no cálculo da evapotranspiração pelo método do balanço de energia, comparando os efeitos dos erros de medida das temperaturas psicrométricas em dois níveis com os de medida direta das diferenças de temperatura entre estes mesmos níveis.

O modelo aqui adotado foi simplificado às transferências verticais, desprezando-se ainda as variações na energia armazenada no sistema.

O erro instrumental em $R_n - G$ foi de 10% e o erro psicrométrico foi de 1% de calibração, mais o limite de resolução de 0,01 mV nas medidas potenciométricas, utilizando-se termômetros de par termoelétrico cobre-constantan.

O efeito dos erros das medidas psicrométricas no cálculo da evapotranspiração foi proporcional ao valor da razão de Bowen. A utilização de medidas de temperaturas acarretou maiores erros do que as medidas de diferenças de temperatura entre os níveis. Neste último caso, tanto para diminuir o erro quanto facilitar sua análise, o valor de s deve ser obtido a partir de medidas independentes das temperaturas dos bulbos úmidos nos níveis.

2. INTRODUÇÃO

O conhecimento do ambiente físico natural em que as plantas vivem reveste-se de capital importância para a atividade agrícola.

O princípio de conservação de energia proporciona o entendimento de importantes processos que controlam esse meio físico.

O balanço de energia aqui utilizado é a aplicação desse princípio ao sistema solo-planta-atmosfera, tendo como objetivo determinar a evapotranspiração, através da energia transferida sob a forma de calor latente.

Além de fornecer subsídios para um melhor conhecimento do meio físico, o balanço de energia em campos cultivados pode ser utilizado para estimar a resposta da planta ao ambiente, através da resistência que a comunidade vegetal oferece às trocas de massa com a atmosfera. Desta forma a utilização dos estudos de balanço de energia estende-se à determinação de alterações no comportamento da planta, provocadas pela introdução de modificações no meio físico, bem como à competição de variedades.

Entretanto, a validade dos resultados obtidos

com esse método de estudo está presa ao conhecimento dos erros que a aplicação do método impõe, assim como dos erros nas medidas.

A simplificação clássica do balanço de energia às transferências verticais de energia, assim como a exclusão das variações na energia armazenada no sistema, no cômputo geral só podem ter seus efeitos avaliados pela comparação com ou tros cálculos que os incluam. Inversamente, os efeitos dos erros instrumentais podem ser avaliados, ou com o auxílio de cálculo diferencial ou através de tentativas aritméticas, bastando para isto o conhecimento do erro de medida com cada instrumento.

O objetivo deste trabalho é determinar o efeito dos erros instrumentais no cálculo da evapotranspiração pelo método do balanço de energia, comparando os efeitos dos erros da medida das temperaturas psicrométricas em dois níveis com a medida direta das diferenças de temperaturas entre os dois níveis.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A simplificação do balanço de energia de um sistema às trocas verticais de energia entre o sistema e o meio, em condições naturais, tem sido adotada em vários trabalhos; FUCHS e TANNER (1967), PRUITT et alii (1968), VILLA NOVA (1973), PERRIER et alii (1975), THOM et alii (1975), PEDRO Júnior (1976). Os termos referentes às variações na energia armazenada no sistema tem sido desprezados em virtude de apresentarem, na maior parte do período diurno, a mesma grandeza dos erros nas medidas dos outros componentes, ROSENBERG (1974). No que diz respeito às trocas laterais de energia, elas tem sido minimizadas pela montagem dos experimentos em áreas tão extensas e homogêneas quanto possível.

A determinação, de forma independente, dos diversos termos da equação, tem mostrado que a simplificação na estimativa do balanço de energia pode conduzir a excelentes resultados práticos. Através deste procedimento, BROWN e COVEY (1966), estudando o balanço de energia em milho, verificaram que, entre 5 e 19 horas, os fluxos verticais perfaziam cerca de 97% da radiação líquida acima da cultura. HOGSTROM (1974), encontrou resultado semelhante com erro de $\pm 12\%$ em 37 determinações.

O conceito da razão entre os fluxos de calor

sensível e calor latente provenientes de uma superfície natural foi introduzido por BOWEN (1926).

A adoção dos mesmos coeficientes de difusão para os fluxos de calor sensível e de calor latente, tem sido comentada como sendo uma fonte de erro quando da utilização da razão de Bowen em estudos de balanço de energia, TANNER (1960) e VILLA NOVA (1973).

A restrição dos estudos aos resultados obtidos em regimes de turbulência predominantemente forçada, foi a solução encontrada por VILLA NOVA (1973), para contornar os casos de coeficientes de difusão desiguais. Para tanto utilizou os limites estabelecidos estatisticamente por PRIESTLEY (1955), que, a partir de dados experimentais, determinou limites para os regimes de transferência em função do número de Richardson.

Entretanto, DYER e HICKS (1970), não encontraram diferença significativa entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e calor latente quando $-0,01 > R_i < -1,00$.

CAMPBELL (1973), encontrou erros inferiores a 10% na estimativa da razão de Bowen devidos a adoção dos mesmos coeficientes de difusão turbulenta na faixa $-2,50 < R_i < 0,025$.

Indiretamente, estudos micrometeorológicos tem indicado que a adoção dos mesmos coeficientes de difusão para os fluxos de calor sensível e calor latente é correta, mesmo quando a camada limite superficial não se acha em condições neutras, PANOFISKY (1963), DYER e HICKS (1970), WEBB (1970), BUSINGER et alii (1971), PRUITT et al (1973). Em todos estes trabalhos verifica-se que aqueles coeficientes de difusão devem ser corrigidos semi-empiricamente em função do número de Richardson, através do que se tem convencionado chamar fator

de estabilidade F.

Além dos erros instrumentais, a diversidade entre as funções de correção encontradas talvez possa ser explicada pela variação no deslocamento do plano zero, como discutiu MONTEITH (1973), já que, geralmente, este parâmetro foi considerado constante e calculado em condições de neutralidade na maioria dos estudos. Provavelmente, a unanimidade em torno da função de correção não será encontrada enquanto não forem consideradas as evidências teóricas apresentadas por TENNEKES (1968), que sugeriu a dependência entre a constante de von Karman e o número de Reynolds. Há também a correção de umidade para o número de Richardson, DYER e HICKS (1970).

Para análise de erros instrumentais é valiosa a contribuição de TIMONER et alii (1973), onde é abordada a aplicação do cálculo diferencial à teoria dos erros.

FUCHS e TANNER (1970) foram os primeiros a analisar erros instrumentais em estudos de balanço de energia. Utilizando medidas psicrométricas com erro de calibração de 1% e limite de resolução de $0,01^{\circ}\text{C}$, eles encontraram valores de densidade de fluxo de calor latente com erros entre 33 e 87%, sendo $\beta > 1$ com erros entre 35 e 87%. Ficou patente que a contribuição dos erros das medidas psicrométricas para os erros no cálculo da evaporação estava na dependência direta do valor da razão de Bowen. Sua análise sugeriu que os erros poderiam ser substancialmente reduzidos se as temperaturas dos fluxos de ar que atingissem os termômetros de bulbo úmido fossem igualadas, utilizando-se para isso a técnica descrita por SLATYER e BIERHUIZEN (1964).

A aplicação da análise de erros aos resultados obtidos por PASQUILL (1949), onde foram encontrados valores diferentes de β ao longo da camada limite superficial, mostra que o erro instrumental deve ter sido o responsável por essa apa-

rente incoerência.

GRANT (1975), comparou, através da análise de erros instrumentais, três métodos de determinação de LE a nível horário. Os resultados experimentais, comparados às medidas obtidas em lisímetro, indicaram como melhor um método combinado (balanço de energia - aerodinâmico), no qual as medidas de umidade do ar são evitadas. Esta conclusão comprovava os resultados da análise de erros instrumentais.

4. MATERIAL

4.1. Caracterização do campo experimental

4.1.1. Local

O experimento foi instalado em área pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", no Município de Piracicaba, São Paulo.

As coordenadas geográficas do local são:

longitude: $47^{\circ}38' W$

latitude: $22^{\circ}42' S$

altitude: 575 metros

A área ocupada pelo experimento foi de 35 x 110m localizada 100m ao Sul do Posto Agrometeorológico da ESALQ-USP, na margem esquerda da estrada que dá acesso ao Posto, com o menor comprimento orientado na direção E - W.

4.1.2. Solo e cultura

O solo da área foi classificado como Terra Roxa

Estruturada, série Luiz de Queiroz, RANZANI et alii (1966).

No preparo do solo foram efetuadas uma aração com 20cm de profundidade, seguida de gradagem e destorroamento com enxada rotativa.

A adubação consistiu na incorporação 0,5 t/ha de mistura NPK 6-4-3 no sulco.

A cultura utilizada foi o milho, Zea mays, L., variedades Piranão e Centralmex. O plantio foi efetuado em 7/12/76, com as linhas orientadas na direção N - S.

A área do experimento foi dividida em quatro parcelas; duas de 40 x 17m e duas de 70 x 17m. As duas menores foram ocupadas pela variedade Piranão nos espaçamentos 80cm entre linhas e 20cm entre plantas e 40 - 80cm entre linhas e 20cm entre plantas. As outras duas pela variedade Centralmex nos mesmos espaçamentos. Os plantios mais densos com as duas variedades ocuparam o lado Leste. Esses quatro tratamentos seriam usados em estudos de arquitetura foliar desenvolvidos no Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, não sendo intenção do presente trabalho, portanto, compará-los.

4.1.3. Época e condições de umidade

As observações foram efetuadas nos dias 24 e 25 de fevereiro de 1977, sem nebulosidade no período.

No período antecedente às observações, o mais próximo dia com chuva foi o dia 7 de fevereiro. Este fato associado ao aspecto geral da cultura indicava um elevado déficit na umidade do solo.

Na época das observações a altura média da cultura nas imediações do equipamento de medida foi de 1,70m.

4.2. Instrumental

4.2.1. Radiômetro líquido

O radiômetro líquido utilizado foi um Thermal Radiometer Beckman & Whitley, Mdl. N188-19, Ser. 282, com resposta de $0,075 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min/mV}$, adotada em calibração posterior ao estudo.

4.2.2. Placa medidora de densidade de fluxo de calor no solo

A placa medidora de densidade de fluxo de calor no solo foi construída pelo autor no Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, utilizando junções cobre-constantan montadas sobre um suporte de fenolite e impermeabilizadas com cola. As dimensões da placa eram $10,0 \times 1,0 \times 0,1 \text{ cm}$. Sua resposta, adotada em calibração anterior ao estudo era $0,03 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min/mV}$.

4.2.3. Psicrômetros

Nos psicrômetros, também construídos no Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, utilizou-se o par termo-elétrico cobre-constantan.

Um mastro situava as junções quentes dos termômetros nas alturas de medida, enquanto a junção fria de referência ficava imersa em uma garrafa térmica contendo gelo fundente. As junções quentes foram montadas sob abrigos termométricos móveis de PVC.

O umedecimento de uma das junções em cada nível

de medida foi obtido por um cadarço de algodão disposto entre a junção e um depósito contendo cerca de 50 cm³ de água.

A transformação da unidade de f.e.m. (mV) em unidades de temperatura (°C) baseou-se na National Bureau of Standards Circular 561, com interpolação aritmética adotada em vista da linearidade da resposta.

4.2.4. Sistema de aquisição dos dados

O sistema de aquisição dos dados foi instalado a 30 metros de distância, constituindo-se de um potenciômetro Cambridge, type 44228, Nº L700009, fabricado pela H.W.Sullivan Limited, England. Seu limite de resolução era de 0,01 mV, com erro de $\pm 1\%$.

5. MÉTODO

5.1. Instalação do equipamento

Todos os sensores foram instalados na área ocupada pela variedade Piranão.

O radiômetro líquido foi colocado em um suporte de madeira de modo que seu sensor foi disposto horizontalmente a 1,90m do solo, a uma distância de 10,0m da linha de contorno mais próxima.

A placa medidora de densidade de fluxo de calor no solo foi enterrada a 1,0cm de profundidade na segunda linha do menor espaçamento, a contar de oeste para leste. Desta forma a placa foi colocada ao norte das linhas leste - mastro psicrométrico - oeste e leste - radiômetro líquido - oeste, evitando-se assim a sombra dos outros instrumentos.

O mastro contendo os termômetros secos e úmidos foi colocado no centro da área, com as alturas de medida psicrométrica sendo de 1,80m e 2,60m acima do solo.

5.2. A equação do balanço de energia

Em um sistema constituído por um volume de controle confinado a um campo cultivado homogêneo, limitado verticalmente à sua altura e à superfície do solo, a equação do balanço de energia pode ser escrita sob a forma:

$$R_n = H + D + G + A + J \quad (1)$$

onde,

R_n = radiação líquida na faixa de 0,3 a 100 μ de comprimento de onda.

H = energia líquida resultante dos processos de troca vertical de calor sensível e calor latente com a atmosfera.

D = energia líquida resultante dos processos de troca lateral de calor sensível e calor latente.

G = energia líquida resultante das trocas com o solo ou densidade de fluxo de calor no solo.

A = energia líquida armazenada bioquimicamente.

J = energia líquida armazenada fisicamente.

Admitindo que a soma D+A+J seja muito pequena em relação aos outros componentes a serem determinados, a equação pode ser simplificada para:

$$R_n = H + G \quad (2)$$

A equação (2) representa um balanço de energia vertical simplificado, já que não considera a energia armazenada no sistema.

No presente trabalho, cada termo da equação (2) representa uma densidade de fluxo média em um período de 30 mi

nutos, durante o qual foram efetuadas 2 observações.

O termo H, ou a "energia disponível" para as trocas verticais de calor sensível e calor latente pode ser calculado a partir de:

$$H = C + LE \quad (3)$$

onde,

C = densidade de fluxo de calor sensível.

LE = densidade de fluxo de calor latente.

5.3. A distribuição da "energia disponível"

A distribuição da "energia disponível" em calor sensível e calor latente pode ser feita através da razão de Bowen (β) definida como:

$$\beta = \frac{C}{LE} \quad (4)$$

Na camada limite superficial os fluxos de calor sensível e calor latente ocorrem predominantemente através da difusão turbulenta, de modo que:

$$C = -\rho c_p K_h \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5)$$

$$LE = -\rho L K_w \frac{\partial w}{\partial z} \quad (6)$$

onde,

ρ = densidade do ar.

c_p = calor específico do ar, HODGMAN (1951) =
= 0,24 cal/g. $^{\circ}$ C.

K_h = coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível.

$\frac{\partial T}{\partial z}$ = gradiente vertical de temperatura.

L = calor latente de vaporização da água, HODGMAN (1951).

K_w = coeficiente de difusão turbulenta de calor latente.

$\frac{\partial w}{\partial z}$ = gradiente vertical de razão de mistura. w = razão entre a massa de vapor contida em uma amostra de ar úmido e a massa de ar seco da amostra.

$$w = \frac{M_{\text{vapor}}}{M_{\text{ar}}} = \frac{e M_v}{P_a M_a} = 0,622 \frac{e}{P_a} \quad (7)$$

onde,

e = pressão de vapor.

M_v = molécula-grama da água (18 g).

M_a = "molécula-grama" do ar (29 g).

P_a = pressão parcial do ar seco.

Como $P_a = P - e$ — onde P é a pressão total da amostra — e $P \gg e$, então a equação (7) pode ser modificada para:

$$w = 0,622 \frac{e}{P} \quad (8)$$

Fazendo $\frac{c_p \cdot P}{0,622L} = \gamma$, constante psicrométrica,

a equação (6) pode ser escrita sob a forma:

$$LE = \frac{\rho c_p}{\gamma} K_w \frac{\partial e}{\partial z} \quad (9)$$

Admitindo $K_h = K_w$ e comparação as equações (5) e (9), a razão de Bowen pode ser simplificada para:

$$\beta = \frac{\gamma \cdot \partial T}{\partial e} \quad (10)$$

Na prática as medidas devem ser feitas separadas de uma altura tanto maior quanto menos sensíveis forem os psicrômetros, respeitados os contornos da camada limite. Portanto, uma notação mais conveniente seria:

$$\beta = \frac{\gamma \cdot \Delta T}{\Delta e} \quad (11)$$

onde,

ΔT = diferença na temperatura do ar entre dois níveis.

Δe = diferença na tensão de vapor entre dois níveis.

As temperaturas utilizadas devem ser médias de períodos cuja amplitude permite uma boa representatividade espacial. Os dados aqui utilizados representam médias de duas medidas em trinta minutos.

A tensão de vapor (e) de uma amostra de ar úmido é dada por:

$$e = e_u^* - \gamma (T - T_u) \quad (12)$$

onde,

e_u^* = tensão de saturação à temperatura T_u .

T = temperatura do ar.

T_u = temperatura do bulbo úmido.

A tensão de saturação pode ser calculada pela expressão:

$$e_u^* = e_o^* \exp - \frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (13)$$

onde,

e_o^* = tensão de saturação à temperatura de referência T_o .

R_w = constante específica do vapor d'água.

$$R_w = \frac{R}{M_v}$$

com R = constante geral dos gases, RESNICK e HALLIDAY (1967).

A diferença entre tensões de vapor é então:

$$\Delta e = \Delta e_u^* - \gamma (\Delta T - \Delta T_u) \quad (14)$$

onde,

ΔT_u = diferença na temperatura do bulbo úmido entre dois níveis

$$\Delta e_u^* = e_{u_2}^* - e_{u_1}^*$$

onde,

Δe_u^* = diferença entre as tensões de saturação à temperatura úmida.

$e_{u_1}^*$ = tensão de saturação à temperatura T_{u_1} .

$e_{u_2}^*$ = tensão de saturação à temperatura T_{u_2} .

A diferencial de e em relação às temperaturas é:

$$\partial e = \partial e_u^* - \gamma (\partial T - \partial T_u) \quad (15)$$

substituindo (15) em (11), tem-se:

$$\beta = \frac{\gamma \cdot \partial T}{\partial e u^* - \gamma (\partial T - \partial T_u)}$$

$$\beta = \left[\frac{\partial e u^* - \gamma \cdot \partial T + \gamma \cdot \partial T_u}{\gamma \cdot \partial T} \right]^{-1}$$

$$\beta = \left[\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial e u^*}{\partial T} - 1 + \frac{\partial T_u}{\partial T} \right]^{-1}$$

$$\beta = \left[\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial e u^*}{\partial T_u} \cdot \frac{\partial T_u}{\partial T} + \frac{\partial T_u}{\partial T} - 1 \right]^{-1}$$

Fazendo:

$$\frac{\partial e u^*}{\partial T_u} = S \tag{16}$$

$$\beta = \left[\frac{S}{\gamma} \cdot \frac{\partial T_u}{\partial T} + \frac{\partial T_u}{\partial T} - 1 \right]^{-1}$$

$$\beta = \left[\left(\frac{S}{\gamma} + 1 \right) \frac{\partial T_u}{\partial T} - 1 \right]^{-1} \tag{17}$$

ou

$$\beta = \left[\left(\frac{S}{\gamma} + 1 \right) \frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1 \right]^{-1} \tag{18}$$

Considerando que $\frac{\Delta e_u^*}{\Delta T_u}$ é igual à tangente à curva de saturação (equação 13) no ponto médio $T_u = \frac{T_{u1} + T_{u2}}{2}$,

s é dado por:

$$S = \frac{L}{R_w} \cdot \frac{e_o^* \cdot \exp - \frac{L}{R_w} \cdot \left(\frac{1}{\bar{T}_u} - \frac{1}{T_o} \right)}{(\bar{T}_u)^2} \quad (19)$$

A partir das determinações da radiação líquida, da densidade de fluxo de calor no solo e da razão de Bowen, a densidade de fluxo de calor latente pode ser estimada pela relação:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (20)$$

5.4. Erro instrumental

Além das limitações impostas pela simplificação do balanço de energia, como se pode deduzir dos dois itens anteriores, os erros de medida afetam os resultados encontrados no emprego do presente método.

Uma das fontes de erro em um radiômetro do tipo Beckman-Whitley é seu grande tamanho, que implica em sombreamento da superfície subjacente. O envelhecimento das superfícies negras do sensor e a proximidade do suporte sobre o qual o aparelho é instalado, podem aumentar o erro das medidas.

A placa utilizada na determinação da densidade de fluxo de calor no solo foi calibrada a partir de três ou-

tras fabricada por Middleton & Co., com diferentes sensibilidades e com erro de $\pm 5\%$.

As placas e o radiômetro líquido não dispunham de qualquer indicação sobre seu envelhecimento.

Estas considerações levaram a estimar o erro de $R_n - G$ em 10%.

$$\left| \frac{\delta (R_n - G)}{R_n - G} \right| = 0,10 \quad (21)$$

O símbolo δ é utilizado para denotar erro.

Os psicrômetros utilizados apresentavam um erro constituído por dois componentes: um oriundo de calibragem ($\pm 1\%$), e o outro proveniente do limite de resolução do sistema ($\pm 0,01$ mV ou $\pm 0,25^\circ\text{C}$). Deste modo o erro na medida de temperatura é dado por:

$$\delta T = r + A \quad (22)$$

onde,

r = erro de calibração.

A = limite de resolução do sistema.

5.5. Propagação de erros

Se a grandeza V a ser determinada está relacionada com as grandezas x, y, \dots, z pela equação:

$$V = f(x, y, \dots, z) \quad (23)$$

a existência de erros em x, y, \dots, z induzirá o aparecimento de um erro δV quando do cálculo de V pela equação (23).

A diferencial total de V é dada por:

$$dV = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \dots + \frac{\partial f}{\partial z} dz \quad (24)$$

Desde que os erros relativos sejam finitos mas suficientemente pequenos, a equação (24) pode ser escrita sob a forma:

$$\delta V = \frac{\partial f}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \delta y + \dots + \frac{\partial f}{\partial z} \delta z \quad (25)$$

onde,

$\delta x, \delta y, \dots, \delta z$ são os erros em x, y, \dots, z , respectivamente.

Se o erro é indeterminado, tem-se:

$$|\delta V| = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \delta x \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \delta y \right| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \delta z \right| \quad (26)$$

Do mesmo modo, para o erro relativo indeterminado, tem-se:

$$\left| \frac{\delta V}{V} \right| = \left| \frac{\partial f / \partial x}{f} \delta x \right| + \left| \frac{\partial f / \partial y}{f} \delta y \right| + \dots + \left| \frac{\partial f / \partial z}{f} \delta z \right| \quad (27)$$

Assim sendo, no caso do erro indeterminado, os valores $V \pm \delta V$ serão os valores extremos de V .

Se os erros forem da mesma ordem de grandeza das medidas, os extremos determinados pelo cálculo diferencial são superados. Neste caso os extremos podem ser encontrados por tentativa, quando a lei f é aplicada diretamente a todas as combinações possíveis entre as medidas com seus respectivos erros.

5.6. Estimativa dos erros quando são efetuadas medidas absolutas de temperatura

Como todas as medidas de temperaturas foram tomadas com referência à mistura de água e gelo (0°C), as diferenças ΔT e ΔT_u são dadas por:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (28.A)$$

$$\Delta T_u = T_{u2} - T_{u1} \quad (28.B)$$

onde,

T_1 = temperatura do ar em graus centígrados na altura de 1,80m do solo.

T_2 = temperatura do ar em graus centígrados na altura de 2,60m do solo.

T_{u1} = temperatura do bulbo úmido em graus centígrados na altura de 1,80m do solo.

T_{u2} = temperatura do bulbo úmido em graus centígrados na altura de 2,60m do solo.

A partir das equações (22), (26) e (28.A) tem-se que:

$$|\delta \Delta T| = |r_1| + |r_2| + |2A| \quad (29)$$

onde,

r_1 = erro de calibração referente ao termômetro 1.

r_2 = erro de calibração referente ao termômetro 2.

Da mesma forma, para a temperatura do bulbo úmido tem-se:

$$|\delta \Delta T_u| = |r_{u1}| + |r_{u2}| + |2A| \quad (30)$$

onde,

r_{u1} = erro de calibração referente ao termômetro úmido 1.

r_{u2} = erro de calibração referente ao termômetro úmido 2.

A partir das equações (14) e (26), considerando se desprezíveis as variações de γ , tem-se:

$$|\delta\Delta e| = |\delta\Delta e^*| + \gamma \left(|\delta\Delta T| + |\delta\Delta T_u| \right) \quad (31)$$

onde,

$$|\delta\Delta e^*| = |\delta e_{u1}^*| + |\delta e_{u2}^*| \quad (32)$$

O erro na tensão de saturação à temperatura úmida, considerando-se desprezíveis as variações em L, é encontrado a partir das equações (13) e (26), ou:

$$|\delta e_u^*| = e_o^* \cdot \left\{ \exp \left[-\frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_o} \right) \right] \right\} \cdot \frac{L}{R_w} \cdot \frac{1}{(T_u)^2} \cdot |\delta T_u| \quad (33)$$

Desde que $\frac{\delta\Delta e}{\Delta e}$ e $\frac{\delta\Delta T}{\Delta T}$ sejam pequenos, o erro na razão de Bowen, calculada de acordo com a equação (11), é dado por:

$$|\delta\beta| = \frac{|\Delta e \cdot \delta\Delta T| + |\Delta T \cdot \delta\Delta e|}{(\Delta e)^2} \quad (34)$$

Para pequenos valores de $\frac{\delta\beta}{\beta}$ e $\frac{\delta(R_n - G)}{R_n - G}$,

a densidade de fluxo de calor sensível fica afetada de um erro

instrumental dado por:

$$\left| \delta LE \right| = \frac{\left| (1 + \beta) \cdot \delta (R_N - G) \right| + \left| (R_N - G) \cdot \delta \beta \right|}{(1 + \beta)^2} \quad (35)$$

5.7. Estimativa dos erros quando são efetuadas medidas diretas das diferenças de temperaturas entre os níveis

Se a diferença de temperatura entre dois níveis for medida diretamente, isto é, se esta diferença for medida com um par termoeletrico cobre-constantan cujas junções estejam nas temperaturas T_1 e T_2 , o erro na medida da diferença de temperatura do ar é:

$$\delta' \Delta T = r' + A \quad (36)$$

onde,

$\delta' \Delta T$ = erro na medida direta de ΔT .

r' = erro de calibração na medida direta de ΔT .

Da mesma forma, para a diferença de temperatura do bulbo úmido tem-se:

$$\delta' \Delta T_u = r'_u + A \quad (37)$$

onde,

$\delta' \Delta T_u$ = erro na medida direta de ΔT_u .

r'_u = erro de calibração na medida direta de ΔT_u .

Para o cálculo da razão de Bowen através da equação (11) ou da equação (18), são necessárias medidas absolutas da temperatura do bulbo úmido para que possam ser determinados

os valores de Δe ou S , respectivamente.

Como

$$\Delta e = S \cdot \Delta T_u - \gamma \cdot (\Delta T - \Delta T_u) \quad (38.A)$$

então

$$\delta' \Delta e = S \cdot \delta' \Delta T_u + \Delta T_u \cdot \delta S + \gamma (\delta' \Delta T_u + \delta' \Delta T) \quad (38.B)$$

onde,

$\delta' \Delta e$ = erro da diferença nas tensões de vapor entre os dois níveis, quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre aquelas duas posições.

Desde que $\delta' \Delta e$ e $\delta' \Delta T$ sejam relativamente pequenos, o erro na razão de Bowen pode ser encontrado de acordo com a seguinte relação:

$$\left| \delta' \beta \right| = \frac{\left| \Delta e \cdot \delta' \Delta T \right| + \left| \Delta T \cdot \delta' \Delta e \right|}{(\Delta e)^2} \quad (39)$$

No caso de utilização da equação (18), desde que S e ΔT_u sejam independentes, o erro na razão de Bowen pode ser encontrado através das equações (18) e (26), como se segue:

$$|\delta'\beta| = \left| \frac{\partial\beta}{\partial S} \cdot \delta S \right| + \left| \frac{\partial\beta}{\partial\Delta T_u} \cdot \delta'\Delta T_u \right| + \left| \frac{\partial\beta}{\partial\Delta T} \cdot \delta'\Delta T \right|$$

$$|\delta'\beta| = \left| \frac{\frac{\Delta T \cdot \Delta T_u \cdot \delta S}{\gamma}}{\left[\left(1 + \frac{S}{\gamma}\right)\Delta T_u - \Delta T \right]^2} \right| + \left| \frac{\Delta T \cdot \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) \cdot \delta'\Delta T_u}{\left[\left(1 + \frac{S}{\gamma}\right)\Delta T_u - \Delta T \right]^2} \right| +$$

$$+ \left| \frac{\left[\left(1 + \frac{S}{\gamma}\right)\Delta T_u - \Delta T \right] \cdot \delta'\Delta T + \Delta T \cdot \delta'\Delta T}{\left[\left(1 + \frac{S}{\gamma}\right)\Delta T_u - \Delta T \right]^2} \right|$$

$$|\delta'\beta| = \frac{\beta^2}{(\Delta T)^2} \left[\left| \frac{\Delta T \cdot \Delta T_u \cdot \delta'S}{\gamma} \right| + \left| \Delta T \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) \delta'\Delta T_u \right| + \left| \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right)\Delta T_u \cdot \delta'\Delta T \right| \right]$$

$$|\delta'\beta| = \frac{\beta^2}{(\Delta T)^2} \left[\Delta T \cdot T_u \cdot \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) \right] \cdot \left[\left| \frac{\delta S}{S + \gamma} \right| + \left| \frac{\delta'\Delta T_u}{\Delta T_u} \right| + \left| \frac{\delta'\Delta T}{\Delta T} \right| \right]$$

Fazendo $\psi = \left| \frac{\delta S}{S + \gamma} \right| + \left| \frac{\delta' \Delta T_u}{\Delta T_u} \right| + \left| \frac{\delta' \Delta T}{\Delta T} \right|$ tem

se:

$$|\delta' \beta| = \beta^2 \left[\frac{\Delta T_u \cdot \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right)}{\Delta T} \right] \cdot \psi$$

$$|\delta' \beta| = \beta^2 \left[\frac{\left| \Delta T_u \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) \right|}{|\Delta T|} \right] \cdot \psi$$

$$|\delta' \beta| = \beta^2 \left[\frac{\left| \Delta T_u \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) - \Delta T + \Delta T \right|}{|\Delta T|} \right] \cdot \psi \quad (40)$$

Desde que $|\Delta T| < \left| \Delta T_u \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) \right|$ quando $\beta > 0$ e $\Delta T < 0$ quando $\beta < 0$, então a equação (40) torna-se:

$$|\delta' \beta| = \beta^2 \left[\frac{\left| \Delta T_u \left(1 + \frac{S}{\gamma}\right) - \Delta T \right| + |\Delta T|}{|\Delta T|} \right] \cdot \psi$$

$$|\delta' \beta| = \beta^2 \left[\frac{1}{|\beta|} + 1 \right] \cdot \psi$$

$$|\delta'\beta| = |\beta| \left(1 + |\beta| \right) \cdot \psi \quad (41)$$

A equação (41) tem seu uso restrito a valores, relativamente pequenos de δS , $\delta'\Delta T_u$ e $\delta'\Delta T$.

O erro δS pode ser encontrado a partir das equações (19) e (26), como indicam as expressões abaixo.

$$|\delta S| = \left| \frac{(\bar{T}_u)^2 \cdot \frac{L}{R_w} \cdot e_o^* \cdot \left[\exp - \frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{\bar{T}_u} - \frac{1}{T_o} \right) \right] \cdot \frac{L}{R_w} \cdot \frac{\delta\bar{T}_u}{(\bar{T}_u)^2} - \frac{L}{R_w} \cdot e_o^* \cdot \left[\exp - \frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{\bar{T}_u} - \frac{1}{T_o} \right) \right] \cdot 2\bar{T}_u \cdot \delta\bar{T}_u}{(\bar{T}_u)^4} \right|$$

$$|\delta S| = \left| \frac{\frac{L}{R_w} \cdot e_o^* \cdot \left[\exp - \frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{\bar{T}_u} - \frac{1}{T_o} \right) \right] \cdot \delta\bar{T}_u \cdot \left(\frac{L}{R_w} - 2\bar{T}_u \right)}{(\bar{T}_u)^4} \right|$$

$$|\delta S| = \left| \frac{S \cdot \left(\frac{L}{R_w} - 2\bar{T}_u \right) \cdot \delta\bar{T}_u}{(\bar{T}_u)^2} \right|$$

Desde que $\delta'\beta$ seja relativamente pequeno, a densidade de fluxo de calor latente pode estar afetado de um erro de até:

$$|\delta'LE| = \frac{\left| (1 + \beta) \delta(R_N - G) \right| + \left| (R_N - G) \delta'\beta \right|}{(1 + \beta)^2} \quad (43)$$

6. RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados a seguir na forma de tabelas, em número de 34, e de figuras, num total de 12.

Tabela 1. Medidas instantâneas. 24/02/77.

Hora	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_{u1} (°C)	T_{u2} (°C)	R_n <u>a/</u>	G <u>a/</u>
08:15	26,25	24,75	23,00	22,00	0,33	0,01
08:45	27,75	25,75	23,00	22,00	0,45	0,01
09:15	31,25	28,75	25,25	23,00	0,56	0,01
09:45	30,25	29,25	25,00	24,00	0,67	0,02
10:15	31,25	29,50	25,50	22,50	0,78	0,02
10:45	31,50	30,25	26,00	23,25	0,87	0,02
11:15	30,50	30,00	26,00	23,75	0,92	0,03
11:45	33,25	32,25	26,00	24,75	0,95	0,05
12:15	32,75	31,00	25,50	23,75	1,01	0,04
12:45	33,25	31,75	27,50	25,25	1,06	0,05
13:15	34,25	33,00	27,50	26,00	0,97	0,04
13:45	31,50	31,50	27,00	25,25	0,91	0,03
14:15	36,25	32,75	27,00	24,75	0,83	0,04
14:45	36,25	33,50	28,50	26,00	0,73	0,03
15:15	34,25	33,25	26,50	25,25	0,67	0,01
15:45	32,75	33,25	26,25	25,00	0,57	0,01
16:15	35,50	34,25	27,25	25,75	0,55	0,01
16:45	36,25	33,75	27,00	25,00	0,39	0,00
17:15	30,50	30,50	24,25	24,00	0,08	0,00

a/ cal/cm².min

Tabela 2. Medidas instantâneas. 25/02/77.

Hora	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_{u1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{u2}(^{\circ}\text{C})$	R_n <u>a/</u>	G <u>a/</u>
08:15	26,75	25,75	23,00	22,25	0,31	0,01
08:45	27,50	26,75	23,50	22,75	0,43	0,01
09:15	29,25	27,50	24,25	23,50	0,56	0,01
09:45	29,75	29,00	25,50	23,50	0,67	0,02
10:15	31,75	30,75	24,75	23,50	0,75	0,02
10:45	30,75	30,25	25,00	23,50	0,81	0,03
11:15	33,00	32,50	27,00	24,75	0,94	0,02
11:45	33,25	33,25	27,00	25,00	1,01	0,06
12:15	32,75	32,25	27,25	25,75	1,03	0,05
12:45	35,75	34,75	26,50	24,75	1,07	0,03
13:15	35,75	34,50	25,25	25,00	1,14	0,04
13:45	35,75	34,25	28,50	25,25	1,00	0,01
14:15	33,25	31,75	25,50	24,50	0,29	0,01

a/ cal/cm².minTabela 3. Médias das observações em trinta minutos.
24/02/77.

Hora	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_{u1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{u2}(^{\circ}\text{C})$	R_n <u>a/</u>	G <u>a/</u>
08:30	27,00	25,25	23,00	22,00	0,39	0,01
09:00	29,50	27,25	24,13	22,50	0,51	0,01
09:30	30,75	29,00	25,13	23,50	0,62	0,02
10:00	30,75	29,38	25,25	23,25	0,73	0,02
10:30	31,38	29,88	25,75	22,88	0,83	0,02
11:00	31,00	30,13	26,00	23,50	0,90	0,03
11:30	31,88	31,13	26,00	24,25	0,94	0,04
12:00	33,00	31,63	25,75	24,25	0,98	0,05
12:30	33,00	31,38	26,50	24,50	1,04	0,05
13:00	33,75	32,38	27,50	25,63	1,02	0,05
13:30	32,88	32,25	27,25	25,63	0,94	0,04
14:00	33,88	32,13	27,00	25,00	0,87	0,04
14:30	36,25	33,13	27,75	25,38	0,78	0,04
15:00	35,25	33,38	27,50	25,63	0,70	0,02
15:30	33,50	33,25	26,38	25,13	0,62	0,01
16:00	34,13	33,75	26,75	25,38	0,56	0,01
16:30	35,88	34,00	27,13	25,38	0,47	0,01
17:00	33,38	32,13	25,63	24,50	0,24	0,00

a/ cal/cm².min

Tabela 4. Médias das observações em trinta minutos.
25/02/77.

Hora	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_{u1}(^{\circ}\text{C})$	$T_{u2}(^{\circ}\text{C})$	R_h a/	G a/
08:30	27,13	26,25	23,25	22,50	0,37	0,01
09:00	28,38	27,13	23,88	23,13	0,50	0,01
09:30	29,50	28,25	24,88	23,50	0,61	0,02
10:00	30,75	29,88	25,13	23,50	0,71	0,02
10:30	31,25	30,50	24,88	23,50	0,78	0,03
11:00	31,88	31,38	26,00	24,13	0,87	0,03
11:30	33,13	32,88	27,00	24,88	0,98	0,04
12:00	33,00	32,75	27,13	25,38	1,02	0,06
12:30	34,25	33,50	26,88	25,25	1,05	0,04
13:00	35,75	34,63	25,88	24,88	1,10	0,04
13:30	35,75	34,38	26,88	25,13	1,07	0,03
14:00	34,50	33,00	27,00	24,88	0,64	0,01

a/ cal/cm²·min

Tabela 5. Valores básicos para o cálculo da
razão de Bowen. 24/02/77.

Hora	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_u(^{\circ}\text{C})$	$\bar{T}_u(^{\circ}\text{C})$	s a/
08:30	-1,75	-1,00	22,50	1,20
09:00	-2,25	-1,63	23,32	1,25
09:30	-1,75	-1,63	24,32	1,32
10:00	-1,37	-2,00	24,25	1,32
10:30	-1,50	-2,87	24,32	1,32
11:00	-0,87	-2,50	24,75	1,35
11:30	-0,75	-1,75	25,13	1,38
12:00	-1,37	-1,50	25,00	1,37
12:30	-1,62	-2,00	25,50	1,41
13:00	-1,37	-1,87	26,57	1,49
13:30	-0,63	-1,62	26,44	1,48
14:00	-1,75	-2,00	26,00	1,44
14:30	-3,12	-2,37	26,57	1,49
15:00	-1,87	-1,87	26,57	1,49
15:30	-0,25	-1,25	25,76	1,42
16:00	-0,38	-1,37	26,07	1,45
16:30	-1,88	-1,75	26,26	1,46
17:00	-1,25	-1,13	25,07	1,37

a/ mm Hg/^oC

Tabela 6. Valores básicos para o cálculo da razão de Bowen. 25/02/77.

Hora	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta T_u(^{\circ}C)$	$T_u(^{\circ}C)$	$s \frac{a/}{}$
08:30	-0,88	-0,75	22,88	1,22
09:00	-1,25	-0,75	23,51	1,27
09:30	-1,25	-1,38	24,20	1,31
10:00	-0,87	-1,63	24,20	1,31
10:30	-0,75	-1,38	24,32	1,32
11:00	-0,50	-1,87	25,07	1,37
11:30	-0,25	-2,12	25,95	1,44
12:00	-0,25	-1,75	26,26	1,46
12:30	-0,75	-1,63	26,07	1,45
13:00	-1,12	-1,00	25,39	1,40
13:30	-1,37	-1,75	26,01	1,44
14:00	-1,50	-2,12	25,95	1,44

$\frac{a/}{}$ mm Hg/ $^{\circ}C$

Tabela 7. Tensão de vapor (mm Hg). 24/02/77.

Hora	* eu_1	* eu_2	* Δeu	Δe
08:30	20,50	19,29	-1,21	-0,86
09:00	21,92	19,89	-2,03	-1,74
09:30	23,27	21,12	-2,15	-2,09
10:00	23,44	20,80	-2,64	-2,94
10:30	24,14	20,35	-3,79	-4,43
11:00	24,50	21,12	-3,38	-4,15
11:30	24,50	22,09	-2,41	-2,88
12:00	24,14	22,09	-2,05	-2,11
12:30	25,23	22,41	-2,82	-3,00
13:00	26,75	23,96	-2,79	-3,03
13:30	26,36	23,96	-2,40	-2,87
14:00	25,97	23,09	-2,88	-3,00
14:30	27,13	23,61	-3,52	-3,17
15:00	26,75	23,96	-2,79	-2,79
15:30	25,05	23,27	-1,78	-2,25
16:00	25,59	23,61	-1,98	-2,45
16:30	26,18	23,61	-2,57	-2,51
17:00	23,96	22,41	-1,55	-1,49

Tabela 8. Tensão de vapor (mm Hg). 25/02/77.

Hora	e_{u_1}	e_{u_2}	Δe_u	Δe
08:30	20,80	19,89	-0,91	-0,85
09:00	21,60	20,66	-0,94	-0,71
09:30	22,93	21,12	-1,81	-1,87
10:00	23,27	21,12	-2,15	-2,51
10:30	22,93	21,12	-1,81	-2,11
11:00	24,50	21,92	-2,58	-3,22
11:30	25,97	22,93	-3,04	-3,92
12:00	26,18	23,61	-2,57	-3,28
12:30	25,80	23,44	-2,36	-2,77
13:00	24,32	22,93	-1,39	-1,33
13:30	25,80	23,27	-2,53	-2,71
14:00	25,97	22,93	-3,04	-3,33

Tabela 9. Determinação de LE com a omissão dos erros instrumentais. 24/02/77.

Hora	$R_n - G^a/$	β	$LE^a/$
08:30	0,38	0,96	0,19
09:00	0,50	0,61	0,31
09:30	0,60	0,39	0,43
10:00	0,71	0,22	0,58
10:30	0,81	0,16	0,70
11:00	0,87	0,10	0,79
11:30	0,90	0,12	0,80
12:00	0,93	0,31	0,71
12:30	0,99	0,25	0,79
13:00	0,97	0,21	0,80
13:30	0,90	0,10	0,82
14:00	0,83	0,27	0,65
14:30	0,74	0,46	0,51
15:00	0,68	0,32	0,52
15:30	0,61	0,05	0,58
16:00	0,55	0,07	0,51
16:30	0,46	0,35	0,34
17:00	0,24	0,39	0,17

$a/$ cal/cm².min

Tabela 10. Determinação de LE com a omissão dos erros instrumentais. 25/02/77.

Hora	$R_n - G^a/$	β	$LE^a/$
08:30	0,36	0,49	0,24
09:00	0,49	0,83	0,27
09:30	0,59	0,31	0,45
10:00	0,69	0,16	0,59
10:30	0,75	0,17	0,65
11:00	0,84	0,07	0,79
11:30	0,94	0,03	0,91
12:00	0,96	0,04	0,92
12:30	1,01	0,13	0,89
13:00	1,06	0,40	0,76
13:30	1,04	0,24	0,84
14:00	0,63	0,21	0,52

$a/$ cal/cm².min

Tabela 11. Erros absolutos das determinações psicrométricas quando da medida das temperaturas. 24/02/77.

Hora	ΔT_a	T_{u1}	T_{u2}	ΔT_u	ΔT_u	ΔT_u	$\frac{a}{e_{u1}}$	$\frac{b}{e_{u1}}$	$\frac{a}{e_{u2}}$	$\frac{b}{e_{u2}}$	$\frac{a}{\Delta e_{u1}}$	$\frac{b}{\Delta e_{u1}}$	$\frac{a}{\Delta e_{u2}}$	$\frac{b}{\Delta e_{u2}}$	$\frac{a}{s}$	$\frac{b}{s}$
08:30	1,02	0,48	0,47	0,95	0,48	0,59	0,55	1,14	2,07	0,03						
09:00	1,07	0,49	0,48	0,97	0,49	0,64	0,57	1,21	2,17	0,03						
09:30	1,10	0,50	0,49	0,99	0,50	0,69	0,62	1,31	2,29	0,03						
10:00	1,10	0,50	0,48	0,98	0,49	0,69	0,60	1,29	2,27	0,03						
10:30	1,11	0,51	0,48	0,99	0,50	0,73	0,59	1,32	2,31	0,03						
11:00	1,11	0,51	0,49	1,00	0,50	0,74	0,62	1,36	2,35	0,04						
11:30	1,13	0,51	0,49	1,00	0,50	0,74	0,64	1,38	2,38	0,04						
12:00	1,15	0,51	0,49	1,00	0,50	0,73	0,64	1,37	2,38	0,04						
12:30	1,14	0,52	0,50	1,02	0,51	0,77	0,67	1,44	2,46	0,04						
13:00	1,16	0,53	0,51	1,04	0,52	0,83	0,72	1,55	2,58	0,04						
13:30	1,15	1,52	0,51	1,03	0,52	0,80	0,72	1,52	2,54	0,04						
14:00	1,16	0,52	0,50	1,02	0,51	0,79	0,68	1,47	2,49	0,04						
14:30	1,19	0,53	0,50	1,03	0,52	0,84	0,70	1,54	2,58	0,04						
15:00	1,19	0,53	0,51	1,04	0,52	0,83	0,72	1,55	2,60	0,04						
15:30	1,17	0,51	0,50	1,01	0,51	0,74	0,69	1,43	2,45	0,04						
16:00	1,18	0,52	0,50	1,02	0,51	0,78	0,70	1,48	2,51	0,04						
16:30	1,20	0,52	0,50	1,02	0,51	0,80	0,70	1,50	2,54	0,04						
17:00	1,16	0,51	0,50	1,01	0,51	0,72	0,67	1,39	2,41	0,04						

a/ Módulo em °C.

b/ Módulo em mm Hg.

c/ Módulo em mm Hg/°C.

Tabela 12. Erros absolutos das determinações psicrométricas quando da medida das temperaturas. 25/02/77.

Hora	ΔT_u^a	T_{u1}^a	T_{u2}^a	ΔT_u^a	\bar{T}_u^a	$\frac{b}{e_{u1}}$	$\frac{b}{e_{u2}}$	$\frac{b}{\Delta e_u}$	$\frac{c}{s}$
08:30	1,03	0,48	0,48	0,96	0,48	0,60	0,57	1,17	0,03
09:00	1,05	0,49	0,48	0,97	0,49	0,63	0,60	1,23	0,03
09:30	1,08	0,50	0,49	0,98	0,49	0,68	0,62	1,30	0,03
10:00	1,11	0,50	0,49	0,99	0,49	0,68	0,62	1,30	0,03
10:30	1,12	0,50	0,49	0,98	0,49	0,68	0,62	1,30	0,03
11:00	1,13	0,51	0,49	1,00	0,50	0,74	0,65	1,39	0,04
11:30	1,16	0,52	0,50	1,02	0,51	0,79	0,68	1,47	0,04
12:00	1,16	0,52	0,50	1,03	0,51	0,80	0,70	1,50	0,04
12:30	1,18	0,52	0,50	1,02	0,51	0,79	0,70	1,49	0,04
13:00	1,21	0,51	0,50	1,01	0,50	0,74	0,68	1,42	0,04
13:30	1,20	0,52	0,50	1,02	0,51	0,79	0,68	1,47	0,04
14:00	1,18	0,52	0,50	1,02	0,51	0,79	0,68	1,47	0,04

a/ Módulo em °C.

b/ Módulo em mm Hg.

c/ Módulo em mm Hg/°C.

Tabela 13. Erros absolutos das determinações psicrométricas quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis.

24/02/77.

Hora	$\Delta T^a/$	$\Delta T_u^a/$	$\Delta e^b/$
08:30	0,27	0,26	0,59
09:00	0,27	0,27	0,64
09:30	0,27	0,27	0,66
10:00	0,26	0,27	0,67
10:30	0,27	0,28	0,72
11:00	0,26	0,28	0,73
11:30	0,26	0,27	0,69
12:00	0,26	0,27	0,68
12:30	0,27	0,27	0,71
13:00	0,26	0,27	0,72
13:30	0,26	0,27	0,71
14:00	0,27	0,27	0,72
14:30	0,28	0,27	0,75
15:00	0,27	0,27	0,72
15:30	0,25	0,26	0,66
16:00	0,25	0,26	0,67
16:30	0,27	0,27	0,71
17:00	0,26	0,26	0,65

a/ Módulo em °C. b/ Módulo em mm Hg.

Tabela 14. Erros absolutos das determinações psicrométricas quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis.

25/02/77.

Hora	$\Delta T^a/$	$\Delta T_u^a/$	$\Delta e^b/$
08:30	0,26	0,26	0,58
09:00	0,26	0,26	0,59
09:30	0,26	0,26	0,62
10:00	0,26	0,26	0,63
10:30	0,26	0,26	0,62
11:00	0,26	0,27	0,69
11:30	0,25	0,27	0,71
12:00	0,25	0,27	0,70
12:30	0,26	0,27	0,69
13:00	0,26	0,26	0,64
13:30	0,26	0,27	0,71
14:00	0,27	0,27	0,72

a/ Módulo em °C. b/ Módulo em mm Hg.

Tabela 15. Erros relativos das determinações psicrométricas quando da medida das temperaturas. 24/02/77.

Hora	$\Delta T_a^a/$	$\Delta T_u^a/$	Δe	$T_u^a/$	$s_a^a/$
08:30	58,29	95,00	240,70	2,13	2,50
09:00	47,56	59,51	124,71	2,10	2,40
09:30	62,86	60,74	109,57	2,06	2,27
10:00	80,29	49,00	77,21	2,02	2,27
10:30	74,00	34,49	52,14	2,06	2,27
11:00	127,59	40,00	56,63	2,02	2,96
11:30	150,67	57,14	82,64	1,99	2,90
12:00	83,94	66,67	112,80	2,00	2,92
12:30	70,37	51,00	82,00	2,00	2,84
13:00	84,67	55,61	85,15	1,96	2,68
13:30	182,54	63,58	88,50	1,97	2,70
14:00	66,29	51,00	83,00	1,96	2,78
14:30	38,14	43,46	81,39	1,96	2,68
15:00	63,64	55,61	93,19	1,96	2,68
15:30	468,00	80,80	108,89	1,98	2,82
16:00	310,53	74,45	102,45	1,96	2,76
16:30	63,83	58,29	101,20	1,94	2,74
17:00	92,80	89,38	161,74	2,03	2,92

a/ Módulos em %.

Tabela 16. Erros relativos das determinações psicrométricas quando da medida das temperaturas. 25/02/77.

Hora	$\Delta T_a^a/$	$\Delta T_u^a/$	Δe	$T_u^a/$	$s_a^a/$
08:30	117,05	128,00	248,24	2,10	2,46
09:00	84,00	129,33	307,04	2,08	2,36
09:30	86,40	71,01	121,39	2,02	2,29
10:00	127,59	60,74	91,24	2,02	2,29
10:30	149,33	71,01	108,53	2,01	2,27
11:00	226,00	53,48	74,22	1,99	2,92
11:30	464,00	48,11	63,52	1,97	2,78
12:00	464,00	58,86	77,13	1,94	2,74
12:30	157,33	62,58	90,97	1,96	2,76
13:00	108,04	101,00	184,96	1,97	2,86
13:30	87,59	58,29	92,62	1,96	2,78
14:00	78,67	48,11	75,08	1,97	2,78

a/ Módulos em %.

Tabela 17. Erros relativos das determinações psicrométricas quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 24/02/77.

Hora	$\Delta T_a^a/$	$\Delta T_u^a/$	Δe
08:30	15,43	26,00	68,60
09:00	12,00	16,56	36,78
09:30	15,43	16,56	31,58
10:00	18,98	13,50	22,79
10:30	18,00	9,76	16,25
11:00	29,89	11,20	17,59
11:30	34,67	15,43	23,96
12:00	18,98	18,00	32,23
12:30	16,67	13,50	23,67
13:00	18,98	14,44	23,76
13:30	41,27	16,67	24,74
14:00	15,43	13,50	24,00
14:30	8,97	11,39	23,66
15:00	14,44	14,44	25,81
15:30	100,00	20,80	29,33
16:00	65,79	18,98	27,35
16:30	14,36	15,43	28,29
17:00	20,80	23,01	43,62

a/ Módulo em %.

Tabela 18. Erros relativos das determinações psicrométricas quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 25/02/77.

Hora	$\Delta T_a^a/$	$\Delta T_u^a/$	Δe
08:30	29,55	34,67	68,24
09:00	20,80	34,67	83,10
09:30	20,80	18,84	33,16
10:00	29,89	15,95	25,10
10:30	34,67	18,84	29,38
11:00	52,00	14,44	21,43
11:30	100,00	12,74	18,11
12:00	100,00	15,43	21,34
12:30	34,67	16,56	24,91
13:00	23,21	26,00	48,12
13:30	18,98	15,43	26,20
14:00	18,00	12,74	21,62

a/ Módulo em %.

Tabela 19. Determinação dos valores extremos da razão de Bowen quando da medida das temperaturas. 24/02/77.

Hora	$\Delta T(^{\circ}C)$		$\Delta e(mm\ Hg)$		β	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	-0,73	-2,77	1,21	-2,93	*	*
09:00	-1,18	-3,32	0,43	-3,91	*	*
09:30	-0,65	-2,85	0,20	-4,38	*	*
10:00	-0,27	-2,47	-0,67	-5,21	1,73	0,02
10:30	-0,39	-2,61	-2,12	-6,74	0,58	0,03
11:00	0,24	-1,98	-1,80	-6,50	0,52	-0,06
11:30	0,38	-1,88	-0,50	-5,26	1,73	-0,36
12:00	-0,22	-2,52	0,27	-4,49	*	*
12:30	-0,48	-2,76	-0,54	-5,46	2,40	0,04
13:00	-0,21	-2,53	-0,45	-5,61	2,64	0,02
13:30	0,52	1,78	-0,33	5,41	2,54	0,74
14:00	-0,59	2,91	-0,51	5,49	2,68	0,05
14:30	-1,93	4,31	-0,59	5,75	3,43	0,16
15:00	-0,68	3,06	-0,19	5,39	7,57	0,06
15:30	0,92	1,42	0,20	-4,70	*	*
16:00	0,80	-1,56	0,06	-4,96	*	*
16:30	-0,68	-3,08	0,03	-5,05	*	*
17:00	-0,09	-2,41	0,92	-3,90	*	*

* Indeterminado

Tabela 20. Determinação dos valores extremos da razão de Bowen quando da medida das temperaturas. 25/02/77.

Hora	$\Delta T(^{\circ}C)$		$\Delta e(mm\ Hg)$		β	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	0,15	-1,91	1,26	-2,96	*	*
09:00	-0,20	-2,30	1,47	-2,89	*	*
09:30	-0,17	-2,33	0,40	-4,14	*	*
10:00	0,24	-1,98	-0,22	-4,80	4,23	-0,51
10:30	0,37	-1,87	0,18	-4,40	*	*
11:00	0,63	-1,63	-0,83	-5,61	0,92	-0,36
11:30	0,91	-1,41	-1,43	-6,41	0,46	-0,30
12:00	0,91	-1,41	-0,75	-5,81	0,88	-0,57
12:30	0,43	-1,93	-0,25	-5,29	3,63	-0,81
13:00	0,09	-2,33	1,13	-3,79	*	*
13:30	-0,17	-2,57	-0,20	-5,22	6,04	0,02
14:00	-0,32	-2,68	-0,83	-5,83	1,52	0,02

* Indeterminado

Tabela 21. Razão de Bowen quando da medidas das temperaturas. 24/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	*	*	*
09:00	*	*	*
09:30	*	*	*
10:00	0,88	0,86	97,73
10:30	0,31	0,28	90,32
11:00	0,23	0,29	126,09
11:30	0,69	1,05	152,17
12:00	*	*	*
12:30	1,22	1,18	96,72
13:00	1,33	1,31	98,50
13:30	0,90	1,64	182,22
14:00	1,37	1,32	96,35
14:30	1,80	1,64	91,11
15:00	3,82	3,76	98,43
15:30	*	*	*
16:00	*	*	*
16:30	*	*	*
17:00	*	*	*

a/ Módulob/ Módulo em %

* Indeterminado

Tabela 22. Razão de Bowen quando da medida das temperaturas. 25/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	*	*	*
09:00	*	*	*
09:30	*	*	*
10:00	1,86	2,37	127,42
10:30	*	*	*
11:00	0,28	0,64	228,57
11:30	0,08	0,38	475,00
12:00	0,16	0,73	456,25
12:30	2,22	1,41	157,45
13:00	*	*	*
13:30	3,03	3,01	99,34
14:00	0,77	0,75	97,40

a/ Módulob/ Módulo em %

* Indeterminado

Tabela 23. Determinação dos valores extremos da razão de Bowen quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 24/02/77.

Hora	$\Delta T(^{\circ}C)$		$\Delta e(mm\ Hg)$		β	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	-1,48	-2,02	-0,27	-1,45	3,52	0,48
09:00	-1,98	-2,52	-1,10	-2,38	1,08	0,39
09:30	-1,48	-2,02	-1,46	-2,75	0,65	0,26
10:00	-1,11	-1,63	-2,27	-3,61	0,34	0,14
10:30	-1,23	-1,77	-3,71	-5,15	0,22	0,11
11:00	-0,61	-1,13	-3,42	-4,88	0,16	0,06
11:30	-0,49	-1,01	-2,19	-3,57	0,22	0,06
12:00	-1,11	-1,63	-1,43	2,79	0,54	0,19
12:30	-1,35	1,89	-2,29	3,71	0,39	0,17
13:00	-1,11	1,63	-2,31	3,75	0,33	0,14
13:30	-0,37	0,89	-2,16	3,58	0,19	0,05
14:00	-1,48	2,02	-2,28	3,72	0,42	0,19
14:30	-2,84	3,40	-2,42	3,92	0,66	0,34
15:00	-1,60	2,14	-2,07	3,51	0,49	0,21
15:30	0,00	0,50	-1,59	-2,91	0,15	0,00
16:00	-0,13	0,63	-1,78	-3,12	0,17	0,02
16:30	-1,61	2,15	-1,80	-3,22	0,56	0,24
17:00	-0,99	1,51	-0,84	-2,14	0,84	0,22

Tabela 24. Determinação dos valores extremos da razão de Bowen quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 25/02/77.

Hora	$\Delta T(^{\circ}C)$		$\Delta e(mm\ Hg)$		β	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	-0,62	-1,14	-0,27	-1,43	1,98	0,20
09:00	-0,99	-1,51	-0,12	-1,30	5,91	0,36
09:30	-0,99	-1,51	-1,25	-2,49	0,57	0,19
10:00	-0,61	-1,13	-1,88	-3,14	0,28	0,09
10:30	-0,49	-1,01	-1,49	-2,73	0,32	0,08
11:00	-0,24	-0,76	-2,53	-3,91	0,14	0,03
11:30	0,00	-0,50	-3,21	-4,63	0,07	0,00
12:00	0,00	-0,50	-2,58	-3,98	0,09	0,00
12:30	-0,49	-1,01	-2,08	-3,46	0,23	0,07
13:00	-0,86	-1,38	-0,69	-1,97	0,94	0,21
13:30	-1,11	-1,63	-2,00	-3,42	0,38	0,15
14:00	-1,23	-1,77	-2,61	-4,05	0,32	0,14

Tabela 25. Razão de Bowen quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 24/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	2,00	1,52	76,00
09:00	0,74	0,35	47,30
09:30	0,46	0,20	43,48
10:00	0,24	0,10	41,67
10:30	0,17	0,06	35,29
11:00	0,11	0,05	45,45
11:30	0,14	0,08	57,14
12:00	0,37	0,18	48,65
12:30	0,28	0,11	39,29
13:00	0,24	0,10	41,67
13:30	0,12	0,07	58,33
14:00	0,31	0,12	38,71
14:30	0,50	0,16	32,00
15:00	0,35	0,14	40,00
15:30	0,08	0,08	100,00
16:00	0,10	0,08	80,00
16:30	0,40	0,16	40,00
17:00	0,53	0,31	58,49

a/ Módulo

b/ Módulo em %

Tabela 26. Razão de Bowen quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 25/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	1,09	0,89	81,65
09:00	3,14	2,78	88,54
09:30	0,38	0,20	52,63
10:00	0,19	0,10	52,63
10:30	0,20	0,12	60,00
11:00	0,09	0,06	66,67
11:30	0,04	0,04	100,00
12:00	0,05	0,05	100,00
12:30	0,15	0,08	53,33
13:00	0,58	0,37	63,79
13:30	0,27	0,12	44,44
14:00	0,23	0,09	39,13

a/ Módulo

b/ Módulo em %

Tabela 27. Determinação dos valores extremos de LE quando da medida das temperaturas. 24/02/77.

Hora	$R_n - G$ cal/cm ² ·min		$1 + \beta$		LE cal/cm ² ·min	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	0,42	0,34	*	*	*	*
09:00	0,55	0,45	*	*	*	*
09:30	0,66	0,54	*	*	*	*
10:00	0,78	0,64	2,73	1,02	0,76	0,23
10:30	0,89	0,73	1,58	1,03	0,86	0,46
11:00	0,96	0,78	1,52	0,94	1,02	0,51
11:30	0,99	0,81	2,73	0,64	1,55	0,30
12:00	1,02	0,84	*	*	*	*
12:30	1,09	0,89	3,40	1,04	1,05	0,26
13:00	1,07	0,87	3,64	1,02	1,05	0,24
13:30	0,99	0,81	3,54	0,26	3,81	0,23
14:00	0,91	0,75	3,68	1,05	0,87	0,20
14:30	0,81	0,67	4,43	1,16	0,70	0,15
15:00	0,75	0,61	8,57	1,06	0,71	0,07
15:30	0,67	0,55	*	*	*	*
16:00	0,61	0,49	*	*	*	*
16:30	0,51	0,41	*	*	*	*
17:00	0,26	0,22	*	*	*	*

* Indeterminado

Tabela 28. Determinação dos valores extremos de LE quando da medida das temperaturas. 25/02/77.

Hora	$R_n - G$ cal/cm ² ·min		$1 + \beta$		LE cal/cm ² ·min	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	0,40	0,32	*	*	*	*
09:00	0,54	0,44	*	*	*	*
09:30	0,65	0,53	*	*	*	*
10:00	0,76	0,62	5,23	0,49	1,55	0,12
10:30	0,83	0,67	*	*	*	*
11:00	0,92	0,76	1,92	0,64	1,44	0,40
11:30	1,03	0,85	1,46	0,70	1,47	0,58
12:00	1,06	0,86	1,88	0,43	2,47	0,46
12:30	1,11	0,91	4,63	0,19	5,84	0,20
13:00	1,17	0,95	*	*	*	*
13:30	1,14	0,94	7,04	0,98	1,16	0,13
14:00	0,69	0,57	2,52	0,98	0,70	0,23

* Indeterminado

Tabela 29. Determinação dos valores extremos de LE quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 24/02/77.

Hora	$R_n - G$ cal/cm ² ·min		$1 + \beta$		LE cal/cm ² ·min	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	0,42	0,34	4,52	1,48	0,28	0,08
09:00	0,55	0,45	2,08	1,39	0,40	0,22
09:30	0,66	0,54	1,65	1,26	0,52	0,33
10:00	0,78	0,64	1,34	1,14	0,68	0,48
10:30	0,89	0,73	1,22	1,11	0,80	0,60
11:00	0,96	0,78	1,16	1,06	0,91	0,67
11:30	0,99	0,81	1,22	1,06	0,93	0,66
12:00	1,07	0,84	1,54	1,19	0,86	0,55
12:30	1,09	0,89	1,39	1,17	0,93	0,64
13:00	1,07	0,87	1,33	1,14	0,94	0,65
13:30	0,99	0,81	1,19	1,05	0,94	0,68
14:00	0,91	0,75	1,42	1,19	0,76	0,53
14:30	0,81	0,67	1,66	1,34	0,60	0,40
15:00	0,75	0,61	1,49	1,21	0,62	0,41
15:30	0,67	0,55	1,15	1,00	0,67	0,48
16:00	0,61	0,49	1,17	1,02	0,60	0,42
16:30	0,51	0,41	1,56	1,24	0,41	0,26
17:00	0,26	0,22	1,84	1,22	0,21	0,12

Tabela 30. Determinação dos valores extremos de LE quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 25/02/77.

Hora	$R_n - G$ cal/cm ² ·min		$1 + \beta$		LE cal/cm ² ·min	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
08:30	0,40	0,32	2,98	1,20	0,33	0,11
09:00	0,54	0,44	6,91	1,36	0,40	0,06
09:30	0,65	0,53	1,57	1,19	0,55	0,34
10:00	0,76	0,62	1,28	1,09	0,70	0,48
10:30	0,83	0,67	1,32	1,08	0,77	0,51
11:00	0,92	0,76	1,14	1,03	0,89	0,67
11:30	1,03	0,85	1,07	1,00	1,03	0,79
12:00	1,06	0,86	1,09	1,00	1,06	0,79
12:30	1,11	0,91	1,23	1,07	1,04	0,74
13:00	1,17	0,95	1,94	1,21	0,97	0,49
13:30	1,14	0,94	1,38	1,15	0,99	0,68
14:00	0,69	0,57	1,32	1,14	0,61	0,43

Tabela 31. Densidade de fluxo de calor latente ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) quando da medida das temperaturas. 24/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	*	*	*
09:00	*	*	*
09:30	*	*	*
10:00	0,50	0,27	54,00
10:30	0,66	0,20	30,30
11:00	0,77	0,26	33,77
11:30	0,93	0,63	67,74
12:00	*	*	*
12:30	0,66	0,40	60,61
13:00	0,65	0,41	63,08
13:30	2,02	1,79	88,61
14:00	0,54	0,34	62,96
14:30	0,43	0,28	65,12
15:00	0,39	0,32	82,05
15:30	*	*	*
16:00	*	*	*
16:30	*	*	*
17:00	*	*	*

a/ Módulo

b/ Módulo em %

* Indeterminado

Tabela 32. Densidade de fluxo de calor latente ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) quando da medida das temperaturas. 25/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	*	*	*
09:00	*	*	*
09:30	*	*	*
10:00	0,84	0,72	85,71
10:30	*	*	*
11:00	0,92	0,52	56,52
11:30	1,03	0,45	43,69
12:00	1,47	1,01	68,71
12:30	3,02	2,82	93,38
13:00	*	*	*
13:30	0,65	0,52	80,00
14:00	0,47	0,24	51,06

a/ Módulo

b/ Módulo em %

% Indeterminado

Tabela 33. Densidade de fluxo de calor latente ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 24/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	0,18	0,10	55,56
09:00	0,31	0,09	29,03
09:30	0,43	0,10	23,26
10:00	0,58	0,10	17,24
10:30	0,70	0,10	14,29
11:00	0,79	0,08	10,13
11:30	0,80	0,14	17,50
12:00	0,71	0,16	22,54
12:30	0,79	0,15	18,99
13:00	0,80	0,15	18,75
13:30	0,81	0,13	16,05
14:00	0,65	0,12	18,46
14:30	0,50	0,10	20,00
15:00	0,52	0,11	21,15
15:30	0,58	0,10	17,24
16:00	0,51	0,09	17,65
16:30	0,34	0,08	23,53
17:00	0,17	0,05	29,41

a/ Módulo

b/ Módulo em %

Tabela 34. Densidade de fluxo de calor latente ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis. 25/02/77.

Hora	Valor mais provável	Erro absoluto <u>a/</u>	Erro relativo <u>b/</u>
08:30	0,22	0,11	50,00
09:00	0,23	0,17	73,91
09:30	0,45	0,11	24,44
10:00	0,59	0,11	18,64
10:30	0,64	0,13	20,31
11:00	0,78	0,11	14,10
11:30	0,91	0,12	13,19
12:00	0,93	0,14	15,05
12:30	0,89	0,15	16,85
13:00	0,73	0,24	32,88
13:30	0,84	0,16	19,05
14:00	0,52	0,09	17,31

a/ Módulo

b/ Módulo em %

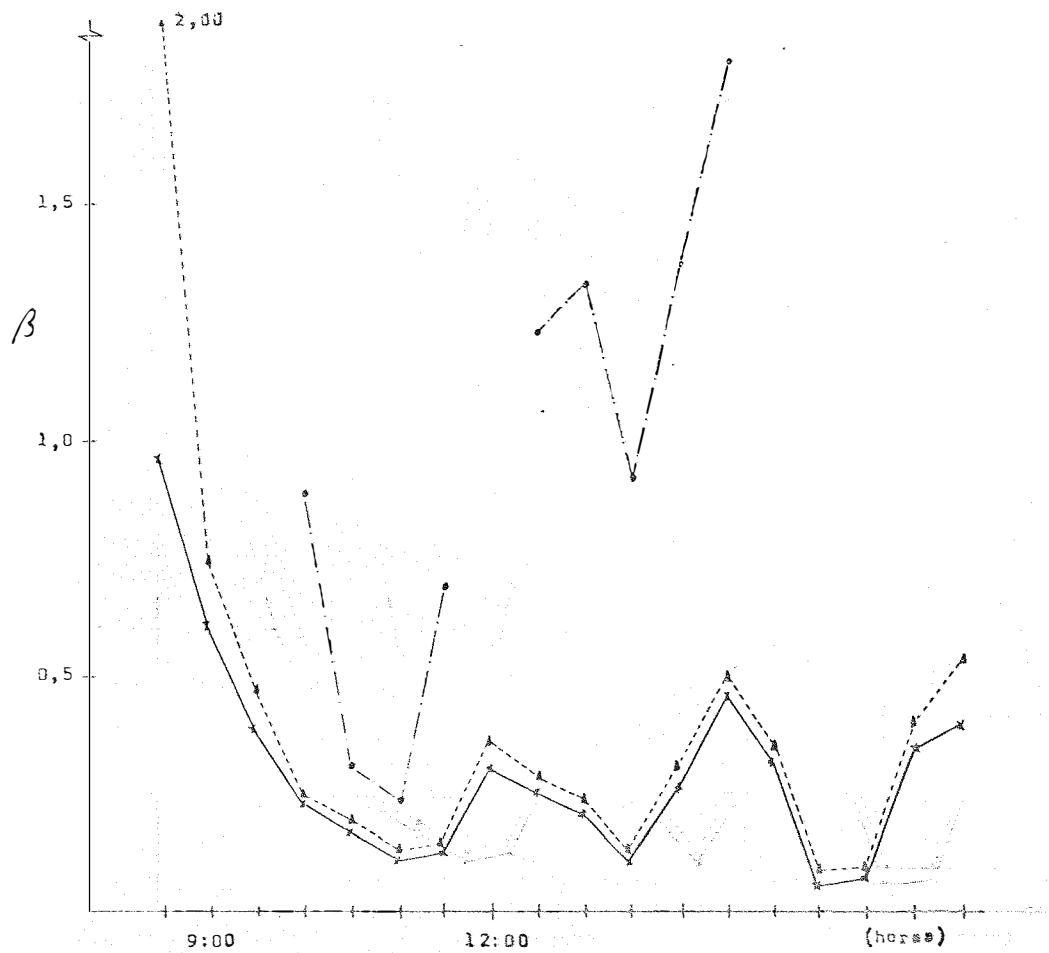


Fig. 1. Valores de β . Com a omissão dos erros (x). Valor mais provável quando da medida das temperaturas (•). Valor mais provável quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis (^). 24/02/77.

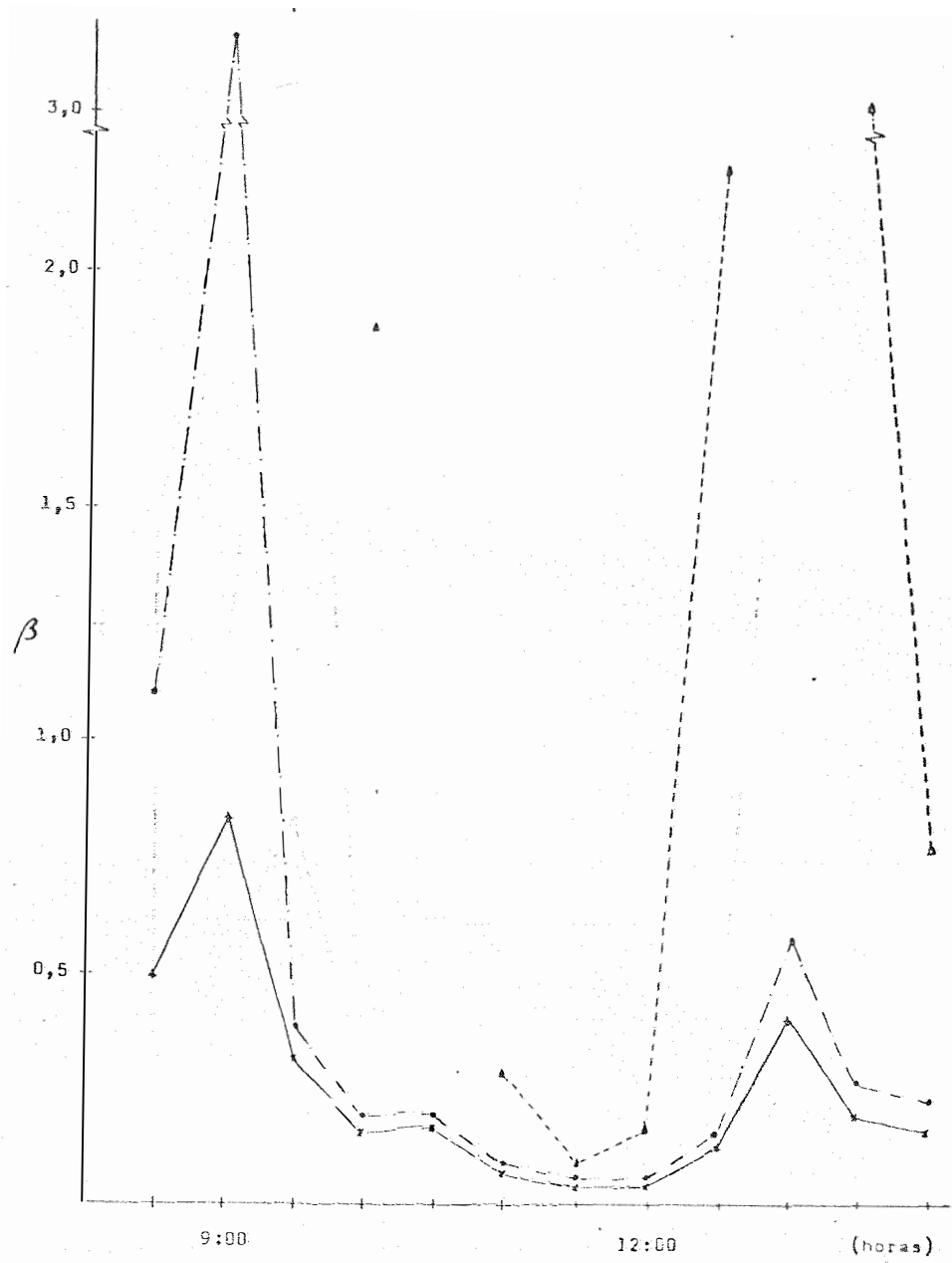


Fig. 2. Valores de β . Com a omissão dos erros (x). Valor mais provável quando da medida das temperaturas (▲). Valor mais provável quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis (•). 25/02/77.

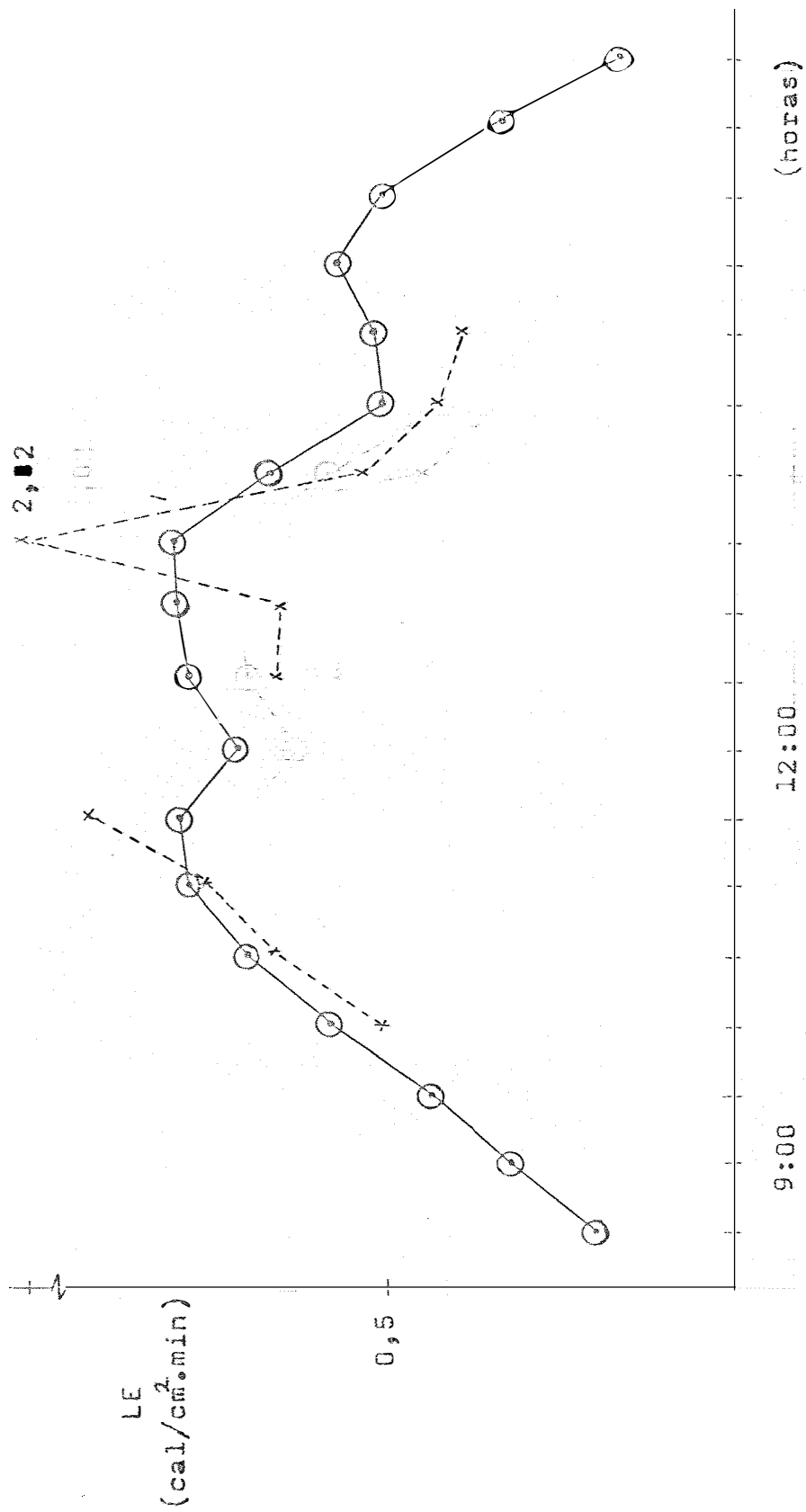


Fig. 3. Valores de LE. Com a omissão dos erros (O). Valor mais provável quando da medida das temperaturas (x). Valor mais provável quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis (•). 24/02/77.

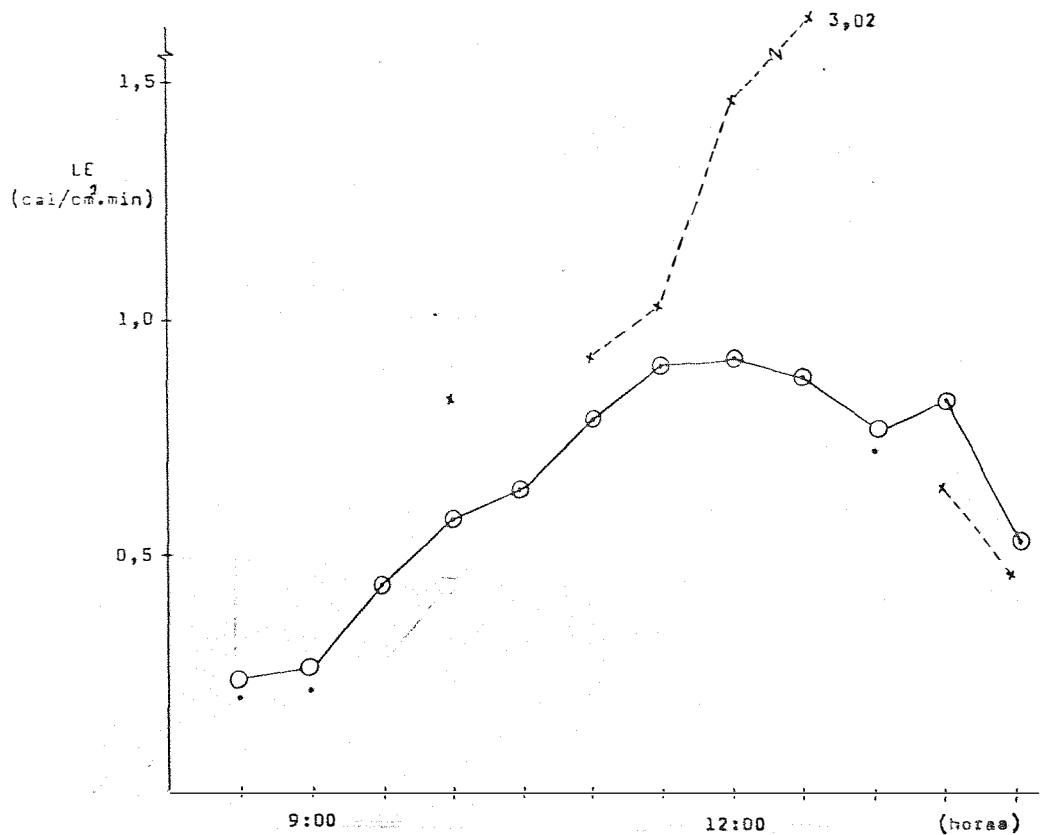


Fig. 4. Valores de LE. Com a omissão dos erros (O). Valor mais provável quando da medida das temperaturas (*). Valor mais provável quando da medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis (•). 25/02/77.

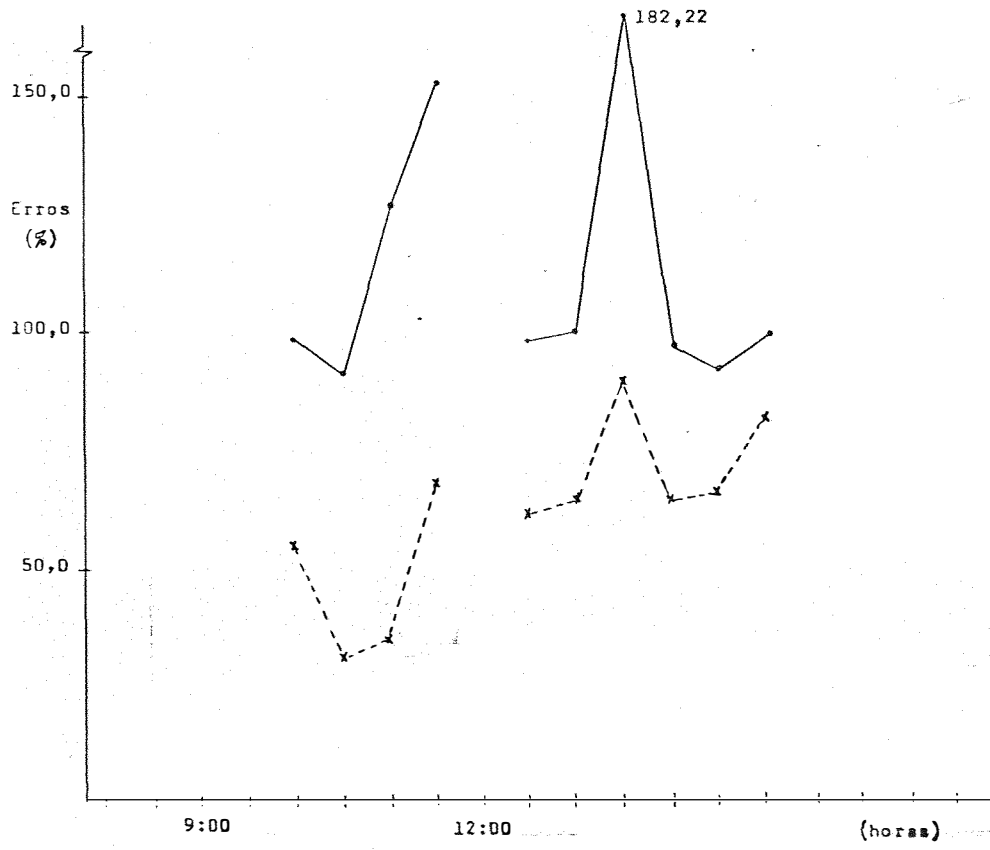


Fig. 5. Valores de $\frac{\delta\beta}{\beta}$ (*) e de $\frac{\delta LE}{LE}$ (x).

24/02/77.

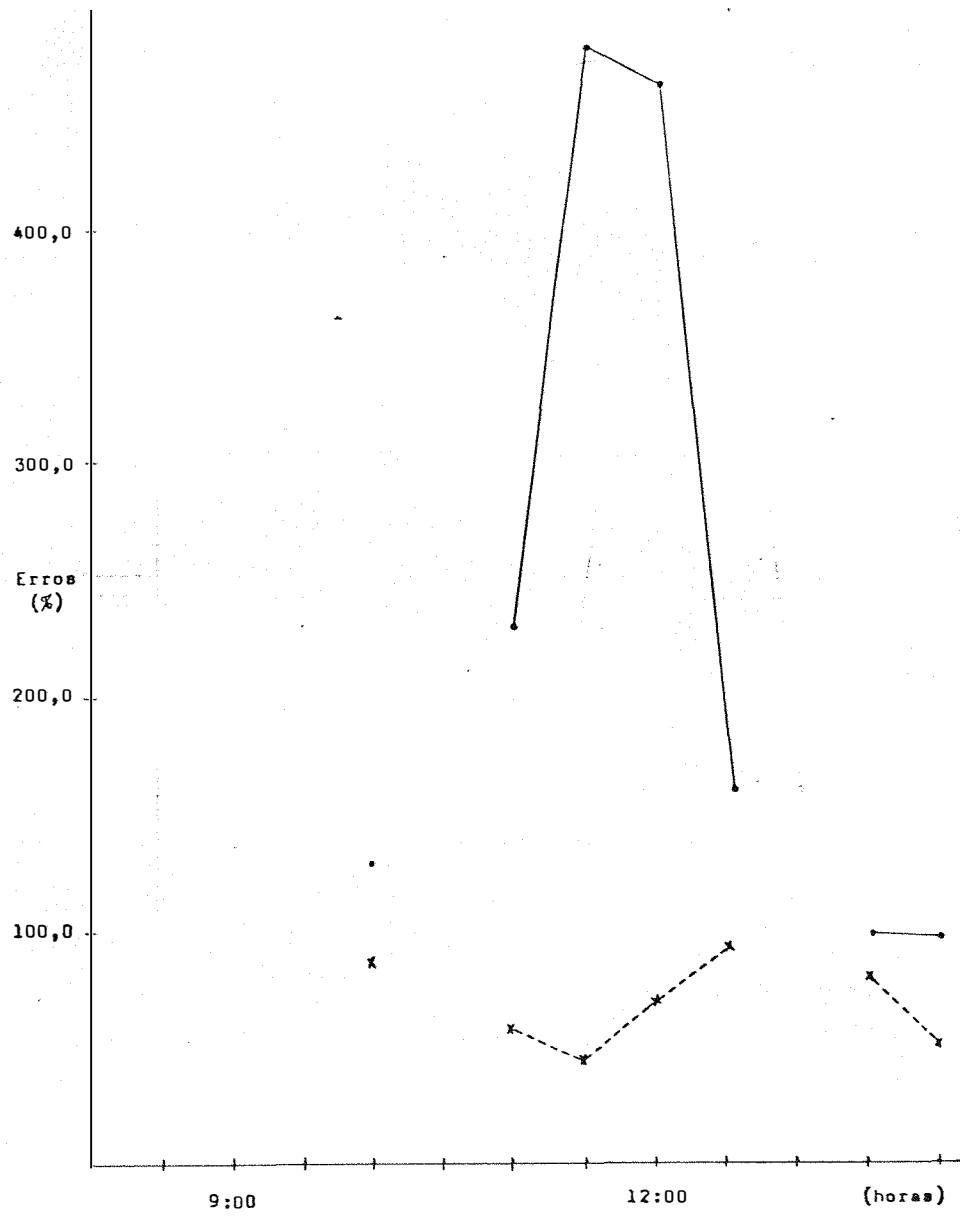


Fig. 6. Valores de $\frac{\delta\beta}{\beta}$ (•) e de $\frac{\delta LE}{LE}$ (x).

25/02/77.

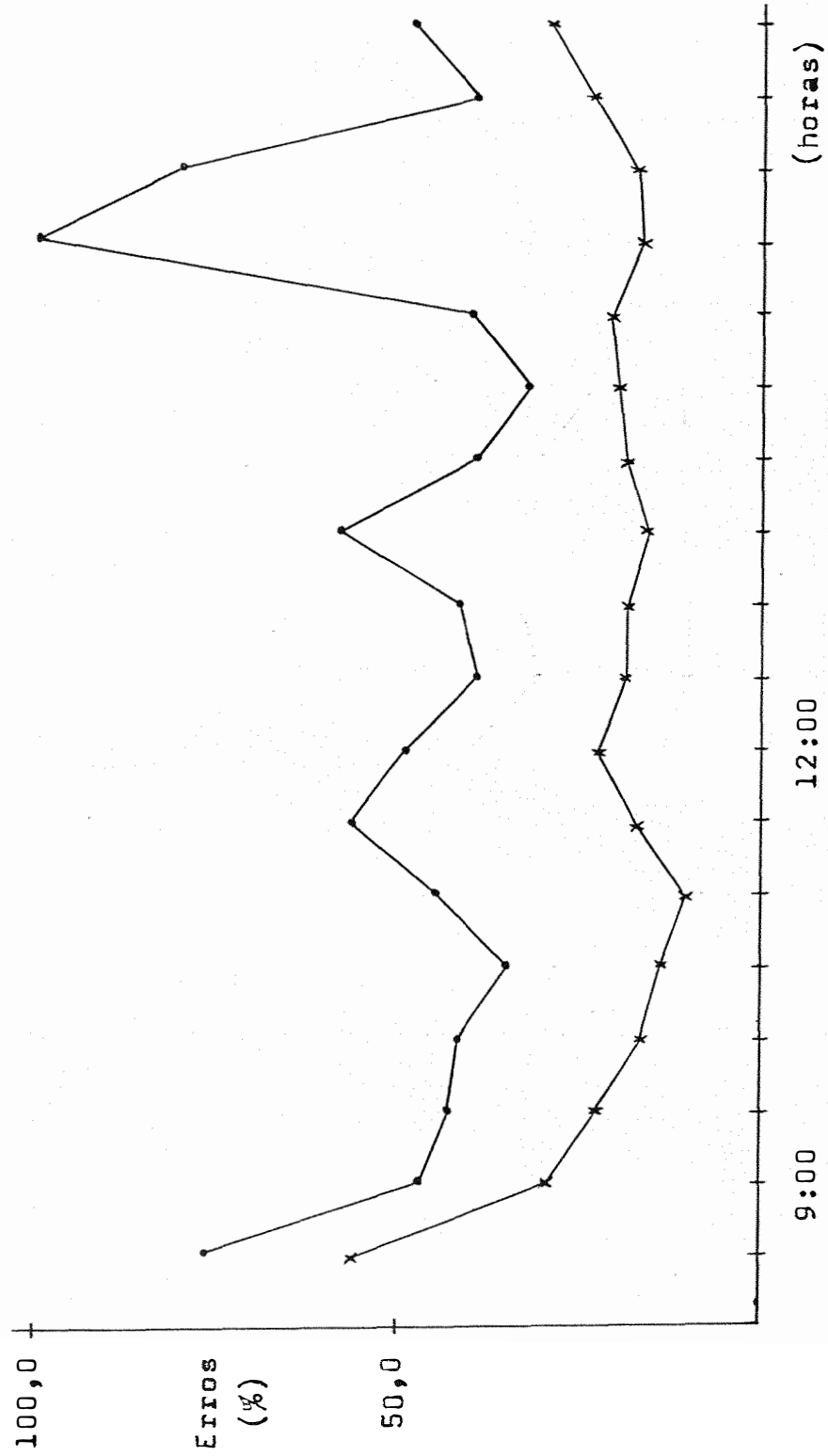


Fig. 7. Valores de $\frac{\delta' \beta}{\beta}$ (•) e $\frac{\delta' LE}{LE}$ (x). 24/02/77

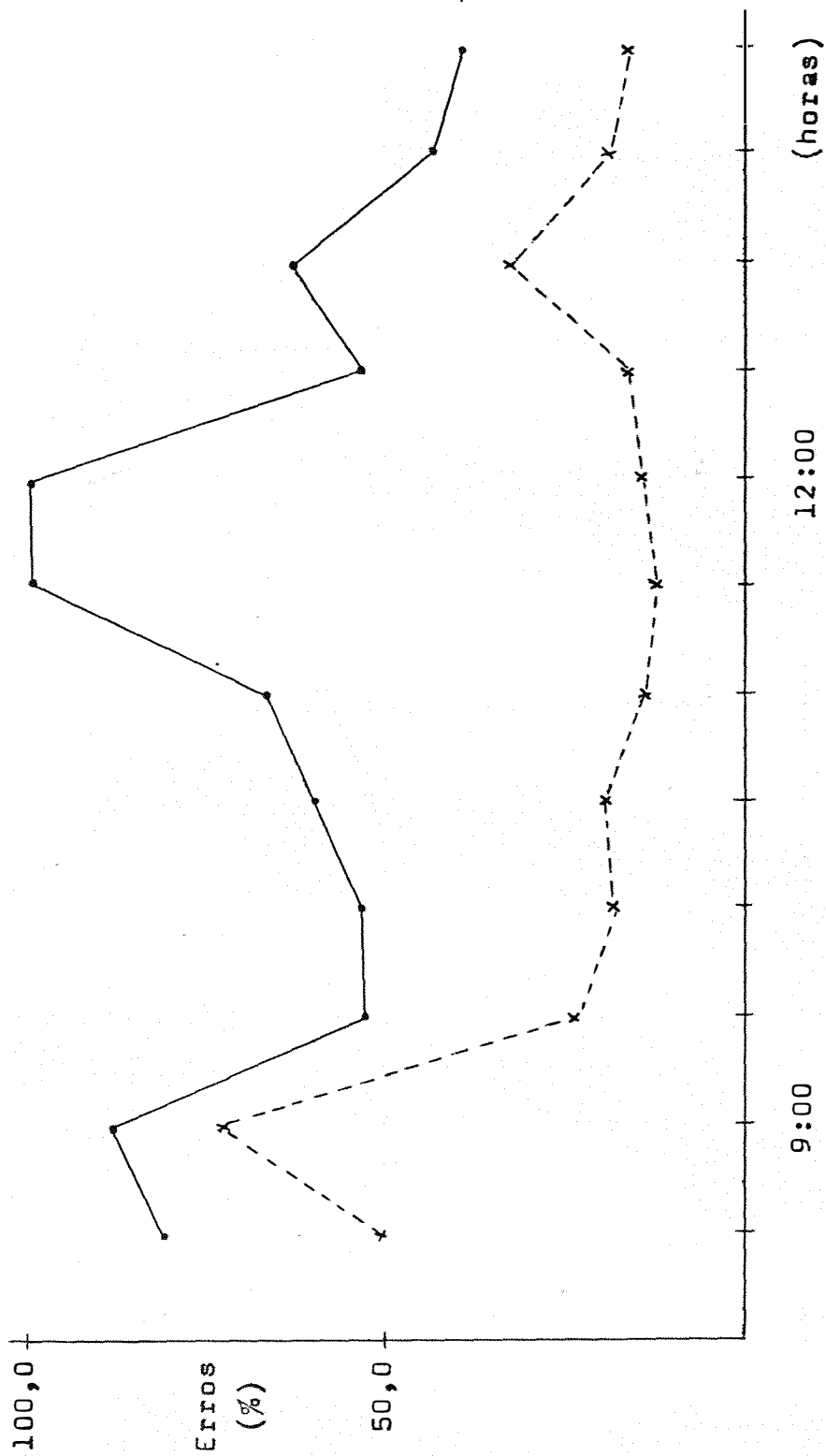


Fig. 8. Valores de $\frac{\delta'\beta}{\beta}$ (•) e de $\frac{\delta'LE}{LE}$ (x). 25/02/77

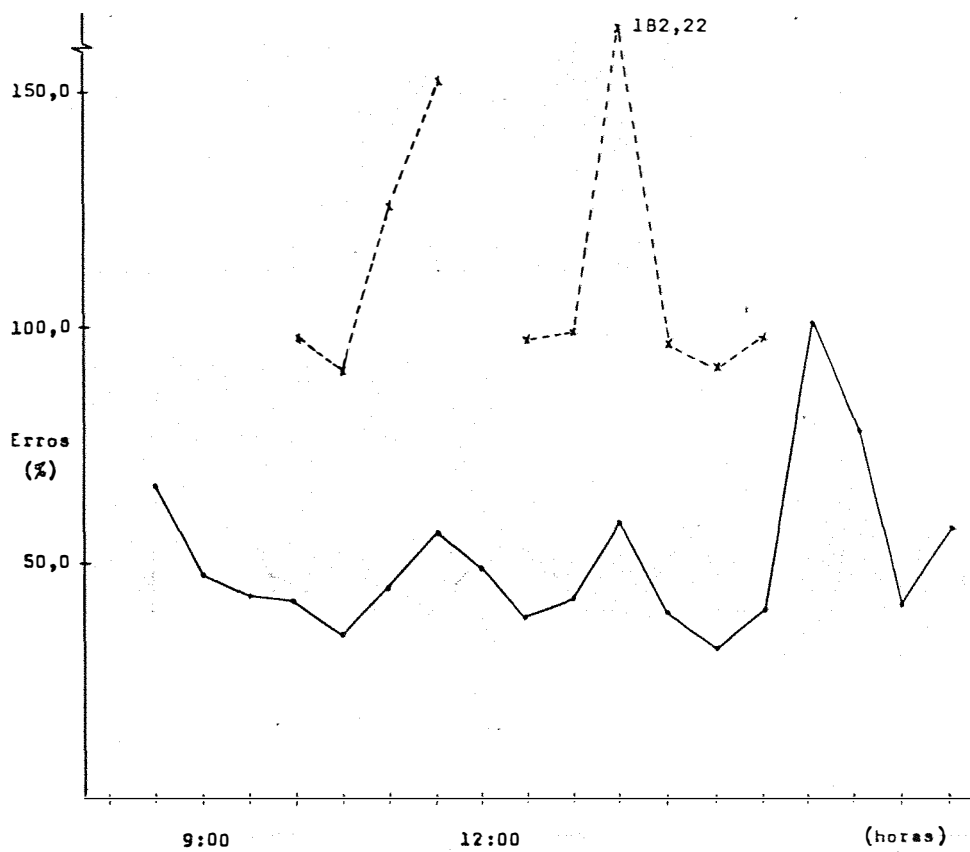


Fig. 9. Valores de $\frac{\delta \beta}{\beta}$ (x) e de $\frac{\delta' \beta}{\beta}$ (•).

24/02/77.

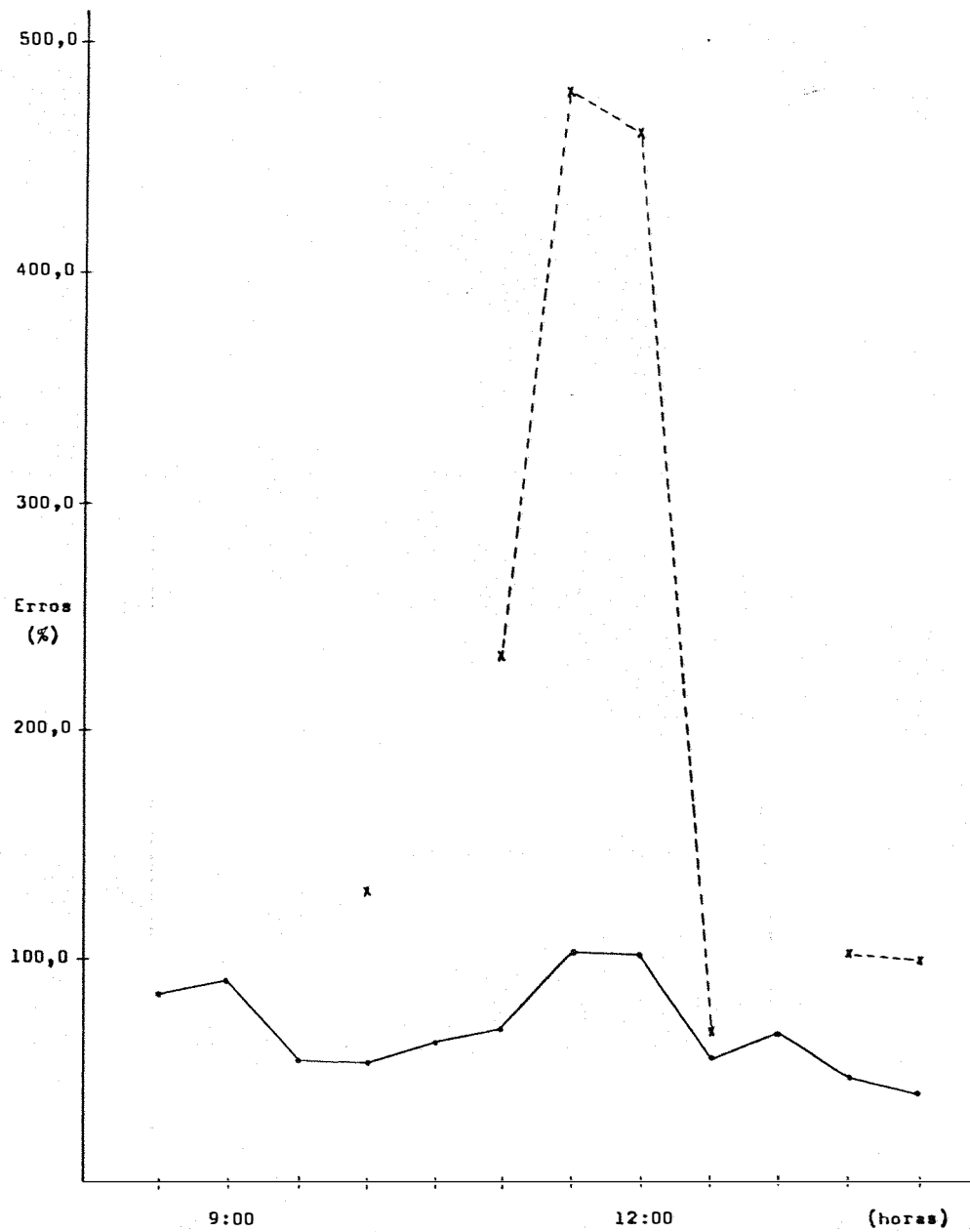


Fig. 10. Valores de $\frac{\delta\beta}{\beta}$ (x) e de $\frac{\delta'\beta}{\beta}$ (•).

25/02/77.

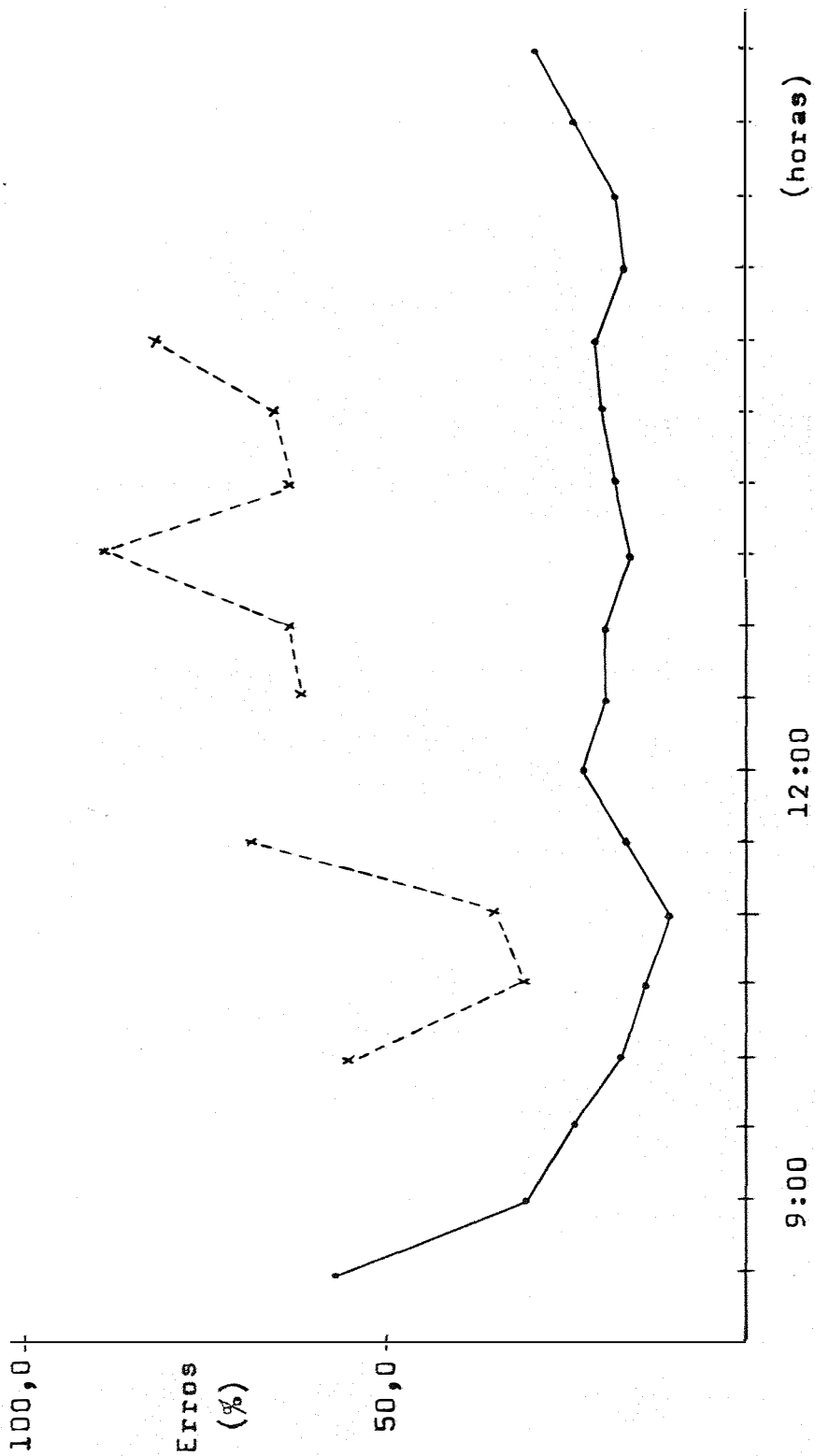


Fig. 11. Valores de $\frac{\delta'LE}{LE}$ (*) e de $\frac{\delta''LE}{LE}$ (•). 24/02/77.

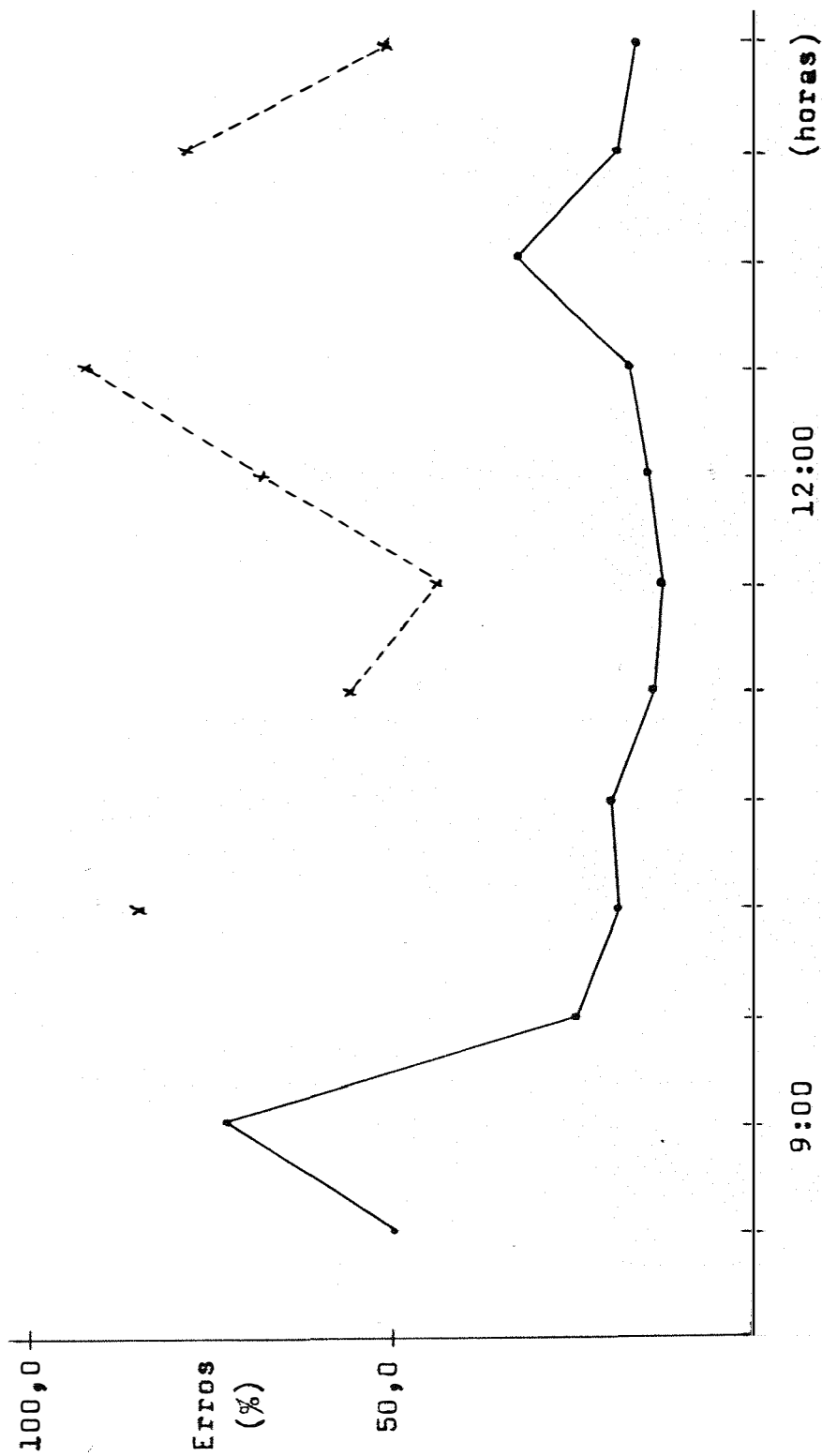


Fig. 12. Valores de $\frac{\delta LE}{LE}$ (x) e de $\frac{\delta' LE}{LE}$ (•). 25/02/77.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1. A escolha do intervalo de tempo

Quando medidas de temperaturas e umidade são efetuadas em locais diferentes, mas numa igual altura acima de uma superfície homogênea, os valores instantâneos obtidos são diferentes. Entretanto, comparando-se valores médios no tempo, há um período no qual as umidades e as temperaturas médias são, respectivamente, as mesmas. A média deste período em um único local é portanto suficiente para representar toda a superfície.

Trabalhos experimentais executados sobre as mais diversas superfícies indicam que esse período não deve ser inferior a 10 nem superior a 60 minutos.

A determinação do período a ser escolhido em cada caso particular demanda instrumental sensível e de registro rápido, não sendo uma prática rotineira em estudos de balanço de energia, quando, geralmente, é feita uma escolha arbitrária entre os limites antes expostos.

No presente estudo o uso arbitrário do período de 30 minutos bem como o fato da média ser obtida a partir de

apenas duas medidas, dentro deste espaço de tempo, já implicam numa simplificação do método. Consequentemente os fluxos calculados devem ter sofrido a influência desses fatos, provavelmente afastando-se de seus valores reais.

7.2. As alturas de medida

A área da superfície subjacente, impõe uma restrição à altura até onde os parâmetros medidos podem ser usados para o cálculo dos fluxos originados na superfície.

Este limite é expresso pela relação exigida entre a cota do sensor acima da superfície e a distância, em direção paralela à do vento, entre o mastro dos sensores e o bordo da superfície situado à montante.

A relação exigida depende das diferenças aerodinâmicas entre a superfície em estudo e a superfície vizinha, situada à montante em relação ao vento. Genericamente, as relações aceitas variam de 1:25 a 1:200 para pequenas e grandes diferenças, respectivamente.

No presente estudo estas relações estiveram entre os limites extremos de 1:20 e 1:100, considerando a maior cota de medida. Estes extremos foram determinados a partir das dimensões do campo experimental e da posição do mastro psicrométrico, já que foram registrados ventos de todos os quadrantes nos dois períodos estudados — anemógrafo situado a 100m de distância.

As relações altura x bordadura encontrados nesse estudo podem ter acarretado em algum erro nas densidades de fluxo calculadas, já que elas restringiram o número de sensores instalados no perfil. Os gradientes de temperatura e umidade podem assim estar sujeitos a erros grosseiros e/ou siste-

máticos, não detectáveis nos perfis obtidos a partir de apenas duas medidas.

Medidas comparativas - nas mesmas condições para ambos os psicrômetros - foram efetuadas após o experimento, a fim de contornar o problema de erros sistemáticos. Entretanto, este cuidado pode ser de pouca valia na determinação da temperatura do bulbo úmido nas condições de campo, já que o umedimento constante da junção é um grande problema no instrumento utilizado.

A instalação do radiômetro líquido a 20cm acima da cultura e a dez metros da linha de contorno mais próxima conduziu a uma razão máxima altura x bordadura de 1:50, o que minimizou o efeito reflectivo das superfícies vizinhas ao campo de milho.

7.3. A homogeneidade da superfície

A "superfície" estudada, constituída de um campo de milho com duas variedades e dois espaçamentos tem sua homogeneidade comprometida. Entretanto este fato, aliado às demais limitações já discutidas, não invalida a análise de erro instrumental.

7.4. Convenção de sinais

Combinando as equações (2) e (3) tem-se a equação do balanço de energia na forma simplificada:

$$RN = C + LE + G \quad (44)$$

A convenção de sinais aqui utilizada estabelece que:

- RN > 0 : Entrada de energia radiante para o sistema.
RN < 0 : Saída de energia radiante do sistema:
C > 0 : Fluxo de calor sensível do sistema para o meio.
C < 0 : Fluxo de calor sensível da atmosfera para o sistema.
LE > 0 : Fluxo de calor latente do sistema para a atmosfera
(evapotranspiração).
LE < 0 : Fluxo de vapor da atmosfera para o sistema.
G > 0 : Fluxo de calor para o interior do solo.
G < 0 : Fluxo de calor do solo para o sistema.

A aplicação desta convenção de sinais às equações (5) e (6) resulta em:

- a) Se o gradiente de temperatura do ar for negativo, ou, se a temperatura do ar decresce com a altura, o fluxo de calor sensível ocorre do sistema para a atmosfera. O contrário acontece quando há inversão no gradiente de temperatura.
- b) Se a umidade decresce com a altura, o fluxo de calor latente é no sentido ascendente. O fluxo descendente de vapor ocorre quando o gradiente de umidade é positivo.

7.5. Densidade de fluxo de calor no solo x Radiação líquida

O radiômetro líquido e a placa de fluxo foram colocados na metade do campo ocupada pela variedade Piranão. O primeiro sobre o maior espaçamento e a segunda sob a cobertura mais densa na linha.

Esta disposição deve ter resultado numa superestimativa da "energia disponível" H do campo como um todo, já que o maior índice de área foliar deve levar a uma diminuição

na densidade de fluxo de calor no solo. Por outro lado não se deve esperar variações significativas do albedo e, portanto, da radiação líquida.

A profundidade da placa deve ter contribuído para subestimar G , devido às variações na energia armazenada no primeiro cm de solo.

Coerentemente, os valores máximos de G não foram superiores a 6% de R_n , contrariando o que seria de esperar em condições de seca.

Desta forma, as medições de densidade de fluxo de calor no solo devem ter contribuído para superestimar a evapotranspiração calculada (LE).

7.6. As medidas psicrométricas

De acordo com os dados obtidos nos dois períodos, os valores extremos de temperatura do ar foram observados no dia 24/02/77, sendo de $24,75^{\circ}\text{C}$ e $36,25^{\circ}\text{C}$ (valores instantâneos dos níveis superior e inferior, respectivamente).

As medidas indicaram que a diferença média entre as temperaturas do ar nos dois níveis oscilou entre os extremos de $-0,25^{\circ}\text{C}$ e $-3,12^{\circ}\text{C}$.

Os extremos observados na temperatura do bulbo úmido foram de $22,00^{\circ}\text{C}$ e $28,50^{\circ}\text{C}$, coincidindo no tempo e no espaço com os extremos da temperatura do ar. A diferença média entre os dois níveis variou entre $-0,75^{\circ}\text{C}$ e $-2,87^{\circ}\text{C}$.

A partir das medidas de temperatura do ar adotou-se o valor de 580 cal/g para o calor de vaporização da água. Este é o valor tabelado para 30°C .

Considerar constante o calor de vaporização já se constitui um procedimento clássico no método do balanço de energia, mesmo porque a correção, aditiva com a diminuição da temperatura é, em média, inferior a 1% por °C entre 20 e 30°C.

A "constante" psicrométrica ($\gamma = \frac{c_p \cdot P}{0,622 \cdot L}$), como já foi vista, deveria apresentar variações de acordo com a temperatura do ar. Não obstante, seu valor foi considerado invariável de 0,47 mm Hg/°C, assumindo-se a pressão média de 710 mm Hg.

Rigorosamente, portanto, uma correção na "constante" psicrométrica deveria ter o mesmo sinal da variação na temperatura. Entretanto, o método do balanço de energia, como vem sendo empregado, não faz uso desta correção.

7.7. O sistema de aquisição dos dados

Na prática, a utilização do potenciômetro, além de tornar tediosa a aquisição dos dados e impedir a obtenção de grande número de medidas dentro do intervalo de 30 minutos, não permitiu a fiscalização permanente dos sensores.

Desta forma, em estudos posteriores, recomenda-se, sempre que possível, sua substituição por potenciôgrafos.

7.8. Os valores de β

Nos dois períodos estudados, os valores de β foram inferiores a 1. Exceção feita ao intervalo compreendido entre às 8:30 e 9:00 horas (quando altos valores de β são esperados devido as variações da temperatura do ar), a razão de Bowen foi inferior a 0,5.

Uma explicação para estes valores de β , baixos em relação aos já encontrados em estudos semelhantes, pode ser a hipótese de superestimativa de $|\Delta e|$.

O sistema de umedecimento para a medida da temperatura do bulbo úmido pode ser insuficiente, tornando-se crítico com o aumento da altura de medida. A níveis mais altos, as maiores velocidades do vento podem provocar uma demanda superior ao fluxo de água para o psicrômetro. A temperatura do bulbo úmido medida no nível superior, pode ser maior do que a real. Nas condições do estudo diminuiria o $|\Delta T_u|$, consequentemente, aumentaria $|\Delta e|$ e diminuiria β .

7.9. Os valores de LE

As simplificações impostas pela metodologia, as possíveis deficiências do instrumental, ou mesmo a maneira como foi utilizado parecem indicar que os valores de LE calculados, não considerando os erros casuais nas medidas, constituem uma superestimativa.

Entretanto, deve-se assinalar a aparentemente grande quantidade de orvalho observada na época do plantio, que poderia justificar os valores elevados de LE para a época de seca.

7.10. Erros instrumentais

Em princípio, deve-se salientar que a presente análise prende-se a duas observações efetuadas num período de 30 minutos e pressupõe a inexistência de erros sistemáticos ou grosseiros. Assim, o erro da média das observações é igual à média dos erros das medidas.

7.10.1. Medida das temperaturas

Como as diferenças de temperaturas entre os dois níveis foram pequenas, os erros nestas diferenças tornaram-se relativamente grandes. Estes erros não apresentaram, em termos absolutos, grandes variações ao longo dos períodos em questão. Entretanto, dada a variação de ΔT_u e, principalmente, de ΔT , variaram bastante em termos relativos. O erro no gradiente de temperatura do ar oscilou entre 38 e 310% no dia 24 e entre 78 e 464% no dia 25. No gradiente de temperatura do bulbo úmido variou de 34 a 95% no dia 24 e entre 48 e 129% no dia 25.

O erro instrumental em ϵ_u^* , calculado de acordo com a equação (33), apresentou grande precisão, pois $\frac{\delta T_u}{T_u}$ foi muito pequeno quando se utilizou a temperatura em graus Kelvin, conforme exige a equação. Este fato associado a forma direta como estão relacionados $\Delta \epsilon_u^*$ e ΔT_u , permite atribuir-se grande confiança nos erros calculados pela equação (31).

Em termos absolutos, os erros de $\Delta \epsilon$ não apresentaram grande variação ao longo dos períodos, ficando em torno de 2,50 mm Hg. Em termos relativos, o erro no gradiente de tensão de vapor variou entre 52 e 240%, ao longo do dia 24 e entre 63 e 307% no dia 25.

Embora $\Delta \epsilon$ possa ser calculado através da equação (38.A), $\delta \Delta \epsilon$ não pode ser obtido de forma análoga a $\delta' \Delta \epsilon$ usando a equação (38.B), já que S e ΔT_u foram obtidos através de medidas efetuadas simultaneamente com os mesmos instrumentos, e, conseqüentemente, $\delta \Delta T_u$ e δS não são independentes.

Como, ao longo dos períodos, $\frac{\delta S}{S}$ foi pequeno e $\frac{\delta \Delta T_u}{\Delta T_u}$ foi grande, $\delta \Delta \epsilon$ poderia também ser obtido a partir de:

$$\delta\Delta e = S \cdot \delta\Delta T_u$$

Os erros relativamente grandes em ΔT e Δe resultam em que os erros em β calculados de acordo com a equação (34) sejam subestimativas, pois uma boa aproximação com uso do cálculo diferencial só seria possível se aqueles erros fossem inferiores a 10%.

Desta forma os erros em β foram encontrados por tentativa; adotando-se os extremos em $\gamma \cdot \Delta T / \Delta e$, utilizando-se os erros em ΔT e Δe . As tabelas 19 e 20 mostram os resultados assim obtidos, onde verifica-se que, quando $\frac{\delta\Delta e}{\Delta e}$ foi igual ou superior a $\pm 100\%$, β foi indeterminado. Neste caso os valores críticos do erro da temperatura do bulbo úmido foram inferiores aos da temperatura do ar.

Excetuando-se os casos de indeterminação, os erros em β variaram entre 90 e 182% no dia 24 e entre 63 e 475% no dia 25.

De posse dos erros em $R_n - G$ e β obteve-se δLE de forma semelhante à já utilizada no cálculo de $\delta\beta$, levando-se em conta os relativamente elevados valores deste último.

Como os erros em β foram inferiores a $1 + \beta$, à exceção dos casos em que $\frac{\delta\Delta e}{\Delta e} \geq 100\%$, foi possível determinar LE em todos os casos onde β foi determinado.

Assim sendo, os erros em LE estiveram entre 30 e 88% no dia 24 e entre 43 e 93% no dia 25.

Considerando que $\frac{\delta(R_n - G)}{R_n - G} = 10\%$, a maior parte do erro deveu-se às imperfeições dos psicrômetros.

Através das figuras 1, 2, 5 e 6, verifica-se que,

para a determinação de LE, os erros em β tornaram-se tão mais significativos quanto maiores foram os valores de β .

As figuras 1 e 2 mostram que a omissão dos erros no cálculo de β implicou na tendência em subestimá-lo, isto é, no gráfico, o valor mais provável de β , calculado com a inclusão dos erros, foi sempre superior ao encontrado pela utilização direta das medidas.

O valor mais provável de LE, nas figuras 3 e 4 esteve abaixo ou acima do valor obtido com omissão de erros. Quando $\delta\beta/\beta < 127\%$, o cálculo direto de LE apresentou tendência em subestimar, o contrário ocorrendo quando o erro em β foi superior a 127%.

Os erros em LE foram sempre inferiores aos erros em β .

7.10.2. Medida direta das diferenças de temperaturas entre os níveis

O cálculo dos erros na medida direta das diferenças não se baseou em resultados obtidos pela utilização desta técnica de medida. Na presente discussão admitiu-se que as medidas de ΔT e ΔT_u seriam as mesmas obtidas pelas diferenças entre as medidas realmente efetuadas.

Ao longo dos períodos estudados os erros nas diferenças de temperaturas entre os dois níveis ficaram próximos a $0,27^\circ\text{C}$. O elevado limite de resolução foi o responsável pela quase totalidade deste erro.

Em termos relativos, o erro no gradiente de temperatura do ar esteve entre 9 e 100% no dia 24 e entre 79 e 464% no dia 25. No gradiente de temperatura do bulbo úmido variou entre 10 e 26% no dia 24 e entre 18 e 100% no dia 25.

O erro instrumental em S, calculado de acordo com a equação (42), apresentou grande precisão, visto que $\frac{\delta T_u}{\bar{T}_u}$ foi muito pequeno quando se utilizou a temperatura em graus Kelvin, como exige a equação.

A temperatura média \bar{T}_u pode ser obtida a partir das medidas da temperatura do bulbo úmido em um dos níveis e da diferença ΔT_u . Entretanto, este procedimento resultará em um \bar{T}_u com erro superior àquele encontrado através das medidas de T_{u1} e T_{u2} . A elevação do erro provocada pela medida de uma única temperatura deverá aumentar quando o gradiente é obtido de medidas em mais de dois níveis, como seria mais recomendável.

A determinação de $\delta' \Delta e$ através da equação (38.B) só foi possível devido ao fato de ΔT_u e \bar{T}_u terem sido medidos independentemente. A interrelação entre δS e $\delta' \Delta T_u$, não recomenda a obtenção de \bar{T}_u como aventado no primeiro período do parágrafo anterior, se se pretende analisar erros.

Em termos absolutos o erro em Δe variou entre 0,59 e 0,75 mm Hg no dia 24 e entre 0,58 e 0,72 mm Hg no dia 25. Em termos relativos, o erro no gradiente de tensão de vapor variou entre 16 e 69% no dia 24 e entre 18 e 68% no dia 25.

Os erros relativamente grandes em ΔT e ΔT_u impediram que uma boa aproximação de $\delta' \beta$ fosse obtida pelo uso da equação (41), a despeito do pequeno erro em S.

Assim sendo o erro em β foi encontrado por tentativa, como mostram as tabelas 23 e 24, onde verifica-se que $\delta' \beta / \beta$ variou entre 32 e 100% no dia 24 e entre 39 e 100% no dia 25.

De posse dos erros em $R_n - G$ e β , obteve-se $\delta' LE$ de modo análogo ao já empregado no cálculo do erro em β . Os

valores relativamente elevados de $\delta'\beta$ não recomendaram a utilização da equação (43).

Foi possível calcular $\delta'LE$ ao longo dos períodos estudados, não havendo casos de indeterminação.

Excetuando-se os casos onde o valor mais provável de β foi superior a 0,50, o erro em LE ficou próximo de 20%. Quanto menor foi o valor de β , menos significativo foi o valor de seu erro.

Desta forma percebe-se que os erros psicrométricos contribuíram na mesma ordem daqueles nas medidas dos outros fluxos envolvidos nesse balanço de energia simplificado.

O valor mais provável de LE coincidiu com aquele obtido no cálculo de LE com omissão de erros, exceto nos casos em que β e $\delta'\beta$ foram muito elevados, quando o cálculo direto tendeu a superestimar.

O cálculo de β com omissão de erros mostrou mais uma vez uma tendência em subestimar β , como mostram as figuras 1 e 2 onde o valor mais provável de β foi tanto maior quanto maior foi seu erro absoluto.

Os erros em LE foram sempre inferiores aos erros em β .

A análise mostra que os menores erros em LE foram obtidos quando ocorreram combinações de elevados ΔT_u e baixos ΔT , não só pela redução de β , mas também pela redução em $\frac{\delta'\Delta e}{\Delta e}$.

Desta forma a aplicação do método do balanço de energia com medida direta das diferenças de temperaturas, deve apresentar resultados ainda melhores quando for mínimo o déficit de umidade no solo. Quando esta condição favorável é encontrada após uma chuva, surge a vantagem adicional da redu-

ção ao mínimo nas trocas laterais de energia.

7.10.3. Medida das temperaturas x Medida das diferenças de temperatura entre os níveis

A redução a praticamente a metade do erro das diferenças de temperaturas, obtida pela medida direta destas diferenças, bem como a grandeza das temperaturas medidas, levam à suposição de que a medida das temperaturas com psicrômetros de limite de resolução igual a $0,01^{\circ}\text{C}$, mas de erro de calibração igual ou superior a 1%, não obteria resultados melhores do que os obtidos pela medida direta das diferenças como foi aqui idealizado.

Em se tratando do aumento do número de observações dentro do período, em termos absolutos, o efeito sobre os erros instrumentais das médias seria menor quando da medida direta das diferenças psicrométricas, já que, neste caso, a qua se totalidade do erro se deve ao limite de resolução.

Nos casos de medida das temperaturas e de medida das diferenças de temperaturas, a omissão da análise de erros mostrou a tendência em subestimar β , maior quando as tem peraturas foram medidas em relação ao gelo fundente.

No caso da medida direta das diferenças de temperaturas, o cálculo de LE desprezando-se os erros, resultou no seu valor mais provável quando os mesmos são considerados. No outro caso, o primeiro cálculo de LE subestimou o valor mais provável de LE em função do erro em β .

Ao longo de ambos os períodos em estudos, os er ros em β e LE foram superiores quando a determinação dos gradientes baseou-se em medidas que tiveram como base de comparação o gelo fundente.

7.11. Erros sistemáticos ou grosseiros em β x Erros casuais nas medidas psicrométricas

Em face da dependência entre o erro psicrométrico casual em LE e o valor de β , como já ficou patente, a existência de erros sistemáticos ou grosseiros que impliquem na superestimativa de β , redundaria no superdimensionamento do efeito do erro psicrométrico casual. O efeito inverso ocorreria se levassem a subestimativas de β .

Desta forma, fica evidenciado que, se verdadeira a hipótese levantada no item 6.8 do umedecimento insuficiente do termômetro superior, o efeito real dos erros psicrométricos casuais teria sido aqui subestimado.

8. CONCLUSÕES

Da discussão dos resultados obtidos chegou-se às seguintes conclusões:

1) O efeito dos erros casuais das medidas psicrométricas no cálculo de densidade de fluxo de calor latente foi proporcional ao valor da razão de Bowen.

2) O erro na determinação da densidade de fluxo de calor latente, fazendo uso do método do balanço de energia com o instrumental aqui empregado, é superior quando são efetuadas medidas de temperaturas em vez de medidas de diferenças de temperaturas entre os níveis, principalmente quando as temperaturas são elevadas como no caso do presente estudo.

3) Dentro da faixa de variação de temperatura do bulbo úmido aqui encontrada, o erro na tangente à curva de saturação (S) não foi superior a 2,96%, quando $\frac{\delta \bar{T}_u}{\bar{T}_u}$ foi de $\frac{\delta \bar{T}_u}{\bar{T}_u}$ foi de até 2,02%. O erro em S está associado ao erro em ΔT_u de forma complexa, quando ambos são obtidos das mesmas medidas.

4) O aumento do número de medidas dentro do pe-

ríodo de tempo onde são retirados os parâmetros médios, no mesmo nível, com o instrumental aqui utilizado, não deverá provocar variações sensíveis nos erros absolutos das temperaturas, dada a natureza dos mesmos, principalmente quando forem efetuadas medidas de diferenças de temperaturas entre os níveis.

5) A obtenção das temperaturas a partir das medidas em um nível e das diferenças de temperaturas entre os níveis, aumenta o erro naquelas e restringe a determinação do erro em Δe à equação (31), pela dependência entre $\delta\Delta T_u$ e δS .

6) Em se tratando da determinação de β , os erros nas medidas dos termômetros úmidos apresentam valores críticos inferiores aos obtidos com os termômetros secos. Quando os erros em Δe são iguais ou superiores a 100%, β é indeterminado.

7) A omissão da análise de erros, dependendo da magnitude dos valores encontrados, pode conduzir à superestimativas de β e superestimativa ou subestimativa de LE.

8) Como os erros em LE foram menores quando $\delta\beta$ e β foram menores, melhores resultados podem ser esperados quando não houver déficit de umidade no solo.

9. SUMMARY

The present paper deals with the determination of the effect of instrumental errors on the calculation of evapotranspiration by the method of energy balance, comparing the effects of errors in temperature of dry and wet bulbs measurements at 2 levels with those regarding the temperature differences between these levels.

The model adopted was simplified to fit the vertical transfer of energy, disregarding the variations in the stored energy in the system.

The instrumental error in $R_n - G$ was of 10% and the psychrometric error was of 1% in calibration, plus the resolution limit of 0.01 mV in the potentiometric measurements, utilizing thermocouples of copper-constantan.

The effect of errors in the psychrometric measurements on the calculation of evapotranspiration was proportional to the Bowen ratio value. The utilization of temperature measurements brought about larger errors than the measurements of differences in temperature between levels. In the latter case, in order to make the error smaller and facilitate its analysis as well, the S value must be obtained from independent measurements of the temperatures of the humid bulbs at both levels.

10. LITERATURA CITADA

- BOWEN, I.S., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Physiol. Rev. Ithaca, 27:779-787.
- BROWN, K.W. e W.COVEY, 1966. Energy budget evaluation of the micrometeorological transfer processes. Agricultural Meteorology, 3:73-94.
- BUSINGER, J.A., J.C.WYNGAARD, Y.YZUMI e E.F.BRADLEI, 1971. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. J. of the Atmos. Science. Lancaster, 28:189-191.
- CAMPBELL, A.P., 1973. The effect of stability on evaporation rates measured by the energy balance method. Agricultural Meteorology. Amsterdam, 11:261-267.
- DYER, A.J. e B.B.HICKS, 1970. Flux-gradient relationships in the constant flux layer. Quart. J. R. Met. Soc., London, 96:715-721.
- FUCHS, M. e C.B.TANNER, 1967. Evaporation from drying soil. Jour. of Applied Meteorology. Lancaster, 6:852-857.

FUCHS, M. e C.B.TANNER, 1970. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. Agricultural Meteorology. Amsterdam, 7:329-334.

GRANT, D.R., 1975. Comparison of evaporation measurements using different methods. Quart. J. R. Met. Soc., London, 101:543-550.

HODGMAN, C.D., 1951. Handbook of Chemistry and Physics. 33a. ed. Cleveland, Chemical Rubber Publishing Co. 2894 p.

HOGSTRÖM, U., 1974. A field study of the turbulent fluxes of heat, water vapour and momentum at a "typical" agricultural site. Quart. J. R. Met. Soc., London, 100:624-639.

MONTEITH, J.L., 1973. Principles of Environmental Physics. London, Edward Arnold Limited. 241 p.

PANOFSKY, H.A., 1963. Determination of stress from wind and temperature measurements. Quart. J. R. Met. Soc., London, 89:85-94.

PASQUILL, F., 1949. Eddy diffusion of water vapour and heat near the ground. Proc. R. Soc., London, 198:116-140.

PEDRO JÚNIOR, M.J., 1976. Balanço de Energia em Soja, Glycine max (L) Merrill. Piracicaba, ESALQ-USP. (Tese de Mestrado).

PERRIER, A., B. ITIER, J.M. BERTOLINI e A.B. de PABLOS, 1975. Mesure automatique du bilan d'énergie d'une culture. Exemples d'application. Ann. Agron., Paris, 26:19-40.

PRIESTLEY, C.H.B., 1955. Free and forced convection in the atmosphere near the ground. Quart. J. R. Met. Soc., London, 81:139-143.

PRUITT, W.O., D.L.MORGAN e F.J.LOURENCE, 1968. Energy, momentum and mass transfers above vegetative surfaces. Technical Report ECOM. Davis, 0447(E)-F. 59 p.

PRUITT, W.O., D.L.MORGAN e F.J.LOURENCE, 1973. Momentum and mass transfers in the surface boundary layer. Quart. J. R. Met. Soc., London, 99:370-386.

RANZANI, G., O.FREIRE e T.KINJO, 1966. Cartas de Solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ-USP. 85 p.

RESNICK, R. e D.HALLIDAY, 1967. Física - Parte I - Mecânica Acústica - Calor. Rio de Janeiro. Ao Livro Técnico S.A. 750 p.

ROSENBERG, N.J., 1974. Microclimate. New York, John Wiley & Sons, Inc. 301 p.

SLATYER, R.O. e J.F.BIERHUIZEN, 1964. Differential psychrometer for continuous measurements of transpiration. Plant Physiology. Lancaster, 39:1051-1056.

TANNER, C.B., 1966. Comparison of energy balance and mass transport methods for measuring evaporation. American Society of Agricultural Engineers Proceedings. St. Joseph. 45-48.

TENNEKES, H., 1968. Outline of a second-order theory of turbulent pipe flow. AIAA Journal. New York, 6:1735-1740.

THOM, A.S., J.B.STEWART, H.R.OLIVER e J.H.C.GASH, 1975. Comparison of aerodynamic and energy budget estimates of fluxes over a pine forest. Quart. J. R. Met. Soc., London, 101:93-105.

- TIMONER, A., F.S.MAJORANA e W.HAZOFF, 1973. Manual de Laboratório de Física-Mecânica, Calor, Acústica. São Paulo, Editora Edgard Blucher. 207 p.
- VILLA NOVA, N.A., 1973. Estudos sobre o Balanço de Energia em Cultura de Arroz. Piracicaba, ESALQ-USP, 78 p. (Tese de Livre-Docência).
- WEEB, E.K., 1970. Profile relationships: the log-linear range, and extension to strong stability. Quart. J. R. Met. Soc., London, 96:67-90.