

1. Classificação <i>INPE-COM. 3/RPI</i> <i>C.D.U.: 551.551:631</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>CAMADA LIMITE;</i> <i>BALANÇO DE ENERGIA</i>			interna <input checked="" type="checkbox"/> externa <input type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-1981-RPI/033</i>	6. Data <i>Janeiro, 1981</i>	7. Revisado por <i>Ralf Gielow</i> <i>Ralf Gielow</i>	
8. Título e Sub-Título <i>UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS</i> <i>PARA CARACTERIZAR AMBIENTES AGRONÔMICOS</i>		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
10. Setor <i>DME</i>	Código	11. Nº de cópias <i>04</i>	
12. Autoria <i>Romisio G. B. André</i> <i>Yelisetty Viswanadham</i>		14. Nº de páginas <i>17</i>	
13. Assinatura Responsável <i>Y. Viswanadham</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Foi dado um enfoque, do ponto de vista experimental, dos fatores que governam os transportes turbulentos de momentum, calor sensível e vapor d'água sobre uma superfície vegetada (cultura de soja). Foram realizadas medidas dos componentes do balanço de energia à superfície. Os resultados indicaram que a razão de Bowen, o coeficiente térmico e o coeficiente de transformação em ondas longas, são importantes propriedades descritivas da superfície do solo. O albedo mostrou uma variação diurna usual e apresentou valor médio diário de 0,24. Foi discutida a importância e econômica dos parâmetros micrometeorológicos para ambientes agronômicos.</i>			
17. Observações <i>Submetido à publicação na Revista Ciência e Cultura</i>			

1981

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS PARA  
CARACTERIZAR AMBIENTES AGRONÔMICOS

Romísio G. B. André<sup>1</sup>

e

Yelisetty Viswanadham<sup>2</sup>

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e  
Tecnológico  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
12.200 - São José dos Campos - SP - Brasil

<sup>1</sup> *Professor Adjunto da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias -  
(UNESP)*

<sup>2</sup> *Pesquisador Associado*

## RESUMO

Foi dado um enfoque, do ponto de vista experimental, dos fatores que governam os transportes turbulentos de momentum, calor sensível e vapor d'água sobre uma superfície vegetada (cultura de soja). Foram realizadas medidas dos componentes do balanço de energia à superfície. Os resultados indicaram que a razão de Bowen, o coeficiente térmico e o coeficiente de transformação em ondas longas, são importantes propriedades descritivas da superfície do solo. O albedo mostrou uma variação diurna usual e apresentou valor médio diário de 0,24. Foi discutida a importância econômica dos parâmetros micrometeorológicos para ambientes agronômicos.

## ABSTRACT

*An account is given of an experimental study of the factors which control the vertical turbulent transport of momentum, water vapour and heat in the first 8 m of a vegetative surface "soja". Measurement of the heat-balance components was attempted. The results of the study indicate that the Bowen ratio the heating coefficient and the long-wave exchange coefficient are found to be important in the descriptive categories of soils. The albedo was found to give the usual diurnal trend and a mean value of 0.24 is obtained for albedo. The economical importance of the micrometeorological parameters for an agricultural country is discussed.*

## 1 - INTRODUÇÃO

A Micrometeorologia é o ramo da meteorologia que trata dos processos físicos ocorrentes na camada limite superficial da atmosfera, ou sejam, na região em contato com a superfície e que se estende por uma espessura de cerca de 50 metros.

É nesta camada, parte importante da Biosfera, que se desenvolvem atividades do homem, dos animais e das plantas, fazendo com que os problemas micrometeorológicos sejam de real importância para estudos ecológicos, hidrológicos, agrônômicos, e para aproveitamento da energia e poluição ambiental.

Com o surgimento e agravamento dos problemas ambientais, no países desenvolvidos, a Micrometeorologia experimentou um grande desenvolvimento na última década. Problemas surgidos devido à mudança das propriedades radiativas das superfícies pela substituição de grama por campo arado, de floresta por asfalto ou concreto, construção de edifícios, drenagem de pântanos ou irrigação de culturas, acarretaram grandes modificações na Biosfera, que se procura explicar, utilizando parâmetros meteorológicos e, também, analisando modificações nos balanços hídricos e térmicos à superfície.

Para estudar os processos físicos da camada limite superficial, devem-se considerar suas interações com a superfície do solo, bem como com a camada imediatamente adjacente, chamada camada limite planetária.

As características essenciais que devem ser determinadas são os fluxos de momentum, calor sensível e vapor d'água à superfície e, também, a espessura da camada de mistura, a qual pode ser entendida com uma lâmina de ar que vai do solo até o nível da primeira inversão térmica, sendo, portanto, turbulenta e favorecendo a dispersão horizontal e vertical dos materiais suspensos no ar.

Diversos autores iniciaram estudos sobre a camada limite da atmosfera, dada a sua importância, procurando descobrir características que, em conjunto, vão formando uma base de informações importantes. Destacam-se entre estes: Sutton (1953); Priestley (1959); Webb (1965); Lumley e Panofsky (1964); Plate (1971); Monin e Yaglom (1977). No que diz respeito a estudos aplicados a problemas agrônômicos, tais como o uso da água e a partição de energia numa comunidade de plantas, a Micrometeorologia tem sido a base para se conhecer os fluxos à superfície e suas variações temporais e espaciais.

Sendo a grande maioria dos estudos até agora desenvolvidos referentes a superfícies vegetadas saturadas, estudos para superfícies sem vegetação e vegetadas não saturadas são bastante escassos, não se tendo ainda desenvolvido uma parametrização para tais condições (Barton, 1979).

Neste estudo, mostra-se como o balanço de energia em combinação com alguns coeficientes dele derivados podem ser usados para caracterizar o ambiente de uma superfície coberta de vegetação, na fase ativa de crescimento e em condições naturais.

## 2 - TEORIA

Os estudos do balanço de energia de uma superfície ba seiam-se no princípio de conservação de energia. Os primeiros estudos neste sentido foram feitos por Bowen (1926), seguidos por Sutton (1953), Suomi e Tanner (1958), Gerber e Decker (1960), Webb (1960), Tanner e Pelton (1960), Slatyer e McIlroy (1961), Thornthwaite (1965), W.M.O. (1968) e, mais recentemente, Viswanadham (1972), André (1973), e Villa Nova (1973).

A equação geral do balanço de energia, desprezando-se os efeitos da advecção de calor sensível e latente, as variações no armazenamento de energia e a energia gasta nas fotossíntese (André, 1980), torna-se:

$$R_L = H + LE + FC \quad (2.1)$$

onde  $R_L$  é o fluxo saldo de radiação ( $W m^{-2}$ ),  $LE$  o fluxo de vapor d'água ( $W m^{-2}$ ),  $H$  o fluxo de calor sensível ( $W m^{-2}$ ) e  $FC$  o fluxo de calor no solo ( $W m^{-2}$ ). A estimativa desses fluxos foi objeto de estudo de vários pesquisadores, como Penman (1948), Halstead e Clayton (1958), Yap e Oke (1974), Nappo (1975), Nickerson e Smiley (1975), Penman e Long (1976), Zeman e Tennekes (1977) e Yu (1977).

O balanço de energia e seus parâmetros derivados têm se revelado uma importante ferramenta nos estudos de ilhas térmicas e na determinação de déficit de umidade e do uso da água pelas plantas, tornando-se, desta forma, fator de grande ajuda no planejamento econômico, em estudos diagnósticos e em modelos de larga escala. Por outro lado, os estudos sobre a turbulência na camada limite da atmosfera têm mostrado importantes pontos obscuros, no tocante a superfícies ve getadas. Um outro processo a considerar, nesses ambientes, é o da ad vecção de calor sensível, pois sabe-se que a taxa de evaporação chega

a suplantam o saldo de radiação em algumas horas do dia (Motha et al., 1979).

Alguns parâmetros, tais como albedo da superfície, razão de Bowen, coeficientes térmicos e de transformação em ondas longas, têm sido usados para caracterizar ambientes agronômicos, pois refletem as condições da superfície e do ar adjacente a esta. Neste sentido, estão os trabalhos de Monteith e Szeicz (1961), André (1973) e Idso (1971). Estes coeficientes (André 1980) podem ser definidos como segue:

- a) Albedo ou coeficiente de reflexão mostra o poder de reflexão de uma superfície qualquer em relação às ondas curtas, sendo expresso por:

$$\alpha = \frac{R_{ref}}{R_s} \quad (2.2)$$

onde  $R_{ref}$  é a radiação solar refletida pela superfície e  $R_s$  a radiação incidente.

- b) Razão de Bowen, índice que traduz as condições de umidade do experimento, expresso por:

$$B = \frac{H}{LE} \quad (2.3)$$

- c) Coeficiente térmico, que representa a fração do saldo de radiação convertida em onda longa, ou seja, a efetividade de transformação do saldo de radiação disponível em onda longa (N), assim definido:

$$\beta = \frac{dN}{dR_L} \quad (2.4)$$

- d) Coeficiente de transformação em ondas longas, representando a fração do saldo de radiação de onda curta convertida em onda longa, ou seja, a efetividade de transformação em ondas longas, das ondas curtas absorvidas em superfície, e expresso por:

$$\lambda = - \frac{dN}{d(1 - \alpha)R_s} . \quad (2.5)$$

A determinação dos fluxos e parâmetros associados, acima citados, requer a medida de perfis de temperatura, umidade, vento, fluxos de radiação, etc., sendo necessária a realização de um experimento micrometeorológico.

### 3 - EXPERIMENTO MICROMETEOROLÓGICO

O local utilizado para levantamento dos dados foi um campo cultivado com soja (*Glycine max*, Merrill) situado no Campus de Jaboticabal da UNESP (latitude = 21° 15' 22"S, longitude = 48° 18' 58"W, altitude = 595m), numa região plana localizada acerca de 50 m da estação meteorológica. O campo possui dimensões de 125 x 300 m, sendo suas extremidades também ligadas a campos cultivados (Fig.1).

A radiação solar incidente foi medida através de um piranômetro Eppley de 50 junções, montado na estação meteorológica a 1,5 m acima da superfície do solo. O saldo de radiação foi obtido por um radiômetro, modelo TCN-188-01 da Teledine. O piranômetro e o radiômetro foram ligados a registradores Speedomax, modelo H, de um canal cada. A radiação refletida pela superfície vegetada foi obtida por um radiômetro, modelo CN-8107, de Middleton Instruments, acoplado a um registrador Rikadenki, modelo K-6.

Os perfis de temperatura seca e úmida do ar foram obtidos por termopares (fio nº 22), montados em cinco níveis, e os perfis de temperatura do solo por termopares (fio nº 16), em sete níveis, todos ligados a um registrador Phillips, modelo PR-4080, de 24 canais. O perfil de velocidade do vento foi obtido através do sistema WTRS 106 da C.W. Thornthwaite Associates.

Todo equipamento foi montado no centro da área experimental, conforme indica a Fig. 1, e sua especificação e detalhes de montagem podem ser vistos em André (1980).

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2 mostra os termos do balanço de energia na fase de crescimento da cultura. Pode-se observar que o fluxo de vapor d'água da superfície (LE) representa uma parcela significativa do fluxo saldo de radiação ( $R_L$ ). O transporte de calor sensível nas primeiras horas da manhã é maior, mas, na parte da tarde, o fluxo de vapor d'água se equipara e até suplanta o fluxo de calor sensível (H). O fluxo de calor para o interior do solo (FC) é bem pequeno neste caso (1 a 2% de  $R_L$ ), pois a cobertura vegetal intercepta boa parte da energia incidente. Pode-se notar, ainda, que o fluxo de vapor d'água (LE) suplanta o saldo de radiação ( $R_L$ ), em alguns horários, isto ocorrendo devido à advecção de calor sensível, fazendo com que o sistema absorva mais energia e, conseqüentemente, use-a na evaporação.

O albedo de uma cultura na fase ativa de crescimento (Fig. 3) mostra grande variação diurna, sendo elevado ao nascer e no por do sol, quando a superfície de exposição e a inclinação dos raios solares favorecem a reflexão da radiação incidente.

A razão de Bowen (Fig. 4) apresenta grande variação diurna, mostrando valores positivos na parte da manhã e negativos à tarde e à noite, devido à inversão do fluxo de calor sensível. Na fase estudada, os valores de B são pequenos na parte da manhã e tarde, crescendo durante a noite; isto acontece por ser o fluxo de vapor grande durante o dia e pequeno à noite.

Com relação aos coeficientes térmicos e de transformação em ondas longas, os valores obtidos de -0,1132 e 0,1276, respectivamente, mostram que a maior parte do saldo de radiação, nesta fase de desenvolvimento da cultura, é convertida em calor latente de evaporação, o que mostra consistência com o balanço de energia apresentado na Fig. 2.

## 5 - CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e discutidos na Seção 4, pode-se concluir o seguinte, para a fase ativa de desenvolvimento de uma cultura:

- 1) O balanço de energia é uma ótima ferramenta para caracterizar ambientes agronômicos, sendo a análise de cada um de seus termos relevante para este propósito. Em particular, nesta fase, o fluxo de vapor d'água representa uma parcela significativa do saldo de radiação.
- 2) A advecção de calor sensível representa, também, uma parcela importante no balanço de energia, nesta fase, pois o fluxo de vapor d'água (LE) suplanta o saldo de radiação ( $R_L$ ) em alguns horários.
- 3) O albedo da superfície vegetada mostra grande variação diurna, sendo a média diária em torno de 0,24.

- 4) A razão de Bowen apresenta, também, grande variação diurna; seus valores são pequenos na parte da manhã e crescem para a tarde e noite, com valor médio diário em torno de 0,11.
- 5) Os coeficientes térmico e de transformação em ondas longas a apresentam valores - 0,1132 e 0,1236, respectivamente, mostrando consistência com o balanço de energia próximo da superfície.

Finalmente, deve-se ressaltar que este tipo de estudo, realizado para as quatro estações do ano, em diferentes campos vegetados, é necessário para conhecer, em detalhes, os aspectos econômicos da agricultura.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Drs. Nelson de Jesus Parada, Diretor e Luiz Gylvan Meira Filho, Coordenador do Departamento de Meteorologia, do Instituto de Pesquisas Espaciais - CNPq, o apoio. Estendem também seus agradecimentos ao Sr. Ralf Gielow pela revisão do texto, à Sra. Tânia Regina Freire Sanchez pelo trabalho de datilografia e aos membros da seção de desenho, pela confecção das figuras. Um dos autores (Romisio), agradece ao CNPq a bolsa concedida no decorrer desta pesquisa. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, sob contrato 3-28-79-001.

## REFERÊNCIAS

1. ANDRÉ, R.G.B., 1973. *Determinação da razão de Bowen para estimativa de evaporação potencial em condições micrometeorológicas*. Tese de Mestrado em Hidráulica e saneamento. São Carlos, EESC-USP.
2. ANDRÉ, R.G.B., 1980. *Um estudo dos transportes verticais de momentum, calor sensível e vapor d'água sobre superfície vegetada nos trópicos*. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE-CNPq.
3. BARTON, I.J., 1979. A parameterization of the evaporation from non-saturated surfaces. *J. Appl. Meteor.*, 18(1): 43-47.
4. BOWEN, I.S., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.*, 27: 779-787.
5. GERBER, J.F. e DECKER, W.L., 1960. Estimation of Bowen ratio by the heat budget measurements of a corn field. *J. Geophys. Res.*, 65(11): 3699-3702.
6. HALSTEAD, M.H. e CLAYTON, W.H., 1958. Evaluation of the fluxes of sensible and latent heat from measurements of wind, temperature and dew point profiles. *Geophys. Res. Papers 59*, Geophys. Res. Directorate A.F. Cambridge Res. Center, 97-122.
7. IDSO, S.B., 1971. Relations between net and solar radiation. *J. Meteor. Soc. of Japan*, 49(1): 1-11.
8. LUMLEY, J.L. e PANOFSKY, H.A., 1964. *The structure of atmospheric turbulence*. New York, John Wiley.

9. MONIN, A.S. e YAGLOM, A.M., 1977. *Statistical Fluid Mechanics; Mechanics of Turbulence*, v.I, Cambridge, Mass., The M.I.T. Press.
10. MONTEITH, J.L. e SZEICZ, G., 1961. The radiation balance of bare soil and vegetation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 87(372): 159-170.
11. MOTHA, R.P., VERMA S.B. e ROSEMBERG, N., 1979. Turbulence under condition of sensible heat advection. *J. Appl. Meteor.*, 18(4): 467-473.
12. NAPPO, JR., C., 1975. Parameterization of surface moisture and evaporation rate in a planetary boundary-layer model, *J. Appl. Meteor.*, 14: 289-296.
13. NICKERSON, E.C. e SMILEY, V.E., 1975. Surface layer energy budget parameterization for mesoscale models. *J. Appl. Meteor.* 14: 297-300.
14. PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.*, 193: 120-145.
15. PENMAN, H.L. e LONG., I.F., 1976. Profiles and evaporation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 102: 841-855.
16. PLATE, E.J., 1971. *Aerodynamic characteristics of atmospheric boundary layers*. Oak Ridge, Tenn., USAEC Division of Technical Information Extension.
17. PRIESTLEY, C.H.B., 1953. *Turbulent transfer in the lower atmosphere*. Chicago, The Univ. of Chicago Press.
18. SLATYER, R.O. e McILROY, I.C., 1961. *Practical Microclimatology*. Australia, CSIRO, UNESCO

- 19 . SUOMI, V.E. e TANNER, C.B., 1958. Evapotranspiration from heat budget measurements over a field crop. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39(2): 298-304.
- 20 . SUTTON, O.G., 1953. *Micrometeorology*. New York, McGraw Hill.
- 21 . THORNTWHAITE, C.W., 1965. The loss of water to the air. *Meteor. Mon.*, 6(28): 163-172.
- 22 . TANNER, C.B. e PELTON, W.L., 1960. Potencial evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. *J. Geophys. Res.*, 10(65): 3391-3414.
- 23 . VILLA NOVA, N.A., 1973. *Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz*. Tese de Livre-Docência. Piracicaba, ESALQ-USP.
- 24 . VISWANADHAM, Y., 1972. Studies on radiation balance at a tropical station. *Pure and Applied Geophys.*, 97: 183-213.
- 25 . WEBB, E.K., 1960. On estimating evaporation with fluctuating Bowen ratio. *J. Geophys. Res.*, 10(65): 3415-3417.
- 26 . WEBB, E.K., 1965. Aerial microclimate. *Meteor.*, 6(28): 27-58.
- 27 . WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (W.M.O.), 1968. *Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration*, Report of a Working Group on Evaporation measurements of the Commission for Instruments and Methods of Observation. Geneva (W.M.O. n° 201, TP. 105, TECHNICAL NOTE n° 83).
- 28 . YAP, D. e OKE, T.R., 1974. Eddy-correlation measurements of sensible heat fluxes over a grass surface. *Boundary-layer Meteor.*, 7: 151-163.

- 29 · YU, T.W., 1977. Parameterization of surface evaporation rate for use in numerical modeling. *J. Appl. Meteor.*, 16: 393-400.
- 30 · ZEMAN, O. e TENNEKES, H., 1977. Parameterization of the turbulent energy budget at the top of the daytime atmospheric boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 34: 111-123.

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 - Vista geral do experimento. (1) abrigo de aparelhos registradores, (2) e (3) localização dos instrumentos.

Fig. 2 - Termos de balanço de energia para uma superfície vegetada.

Fig. 3 - Variação diária do albedo de uma superfície vegetada.

Fig. 4 - Variação diária da razão de Bowen.

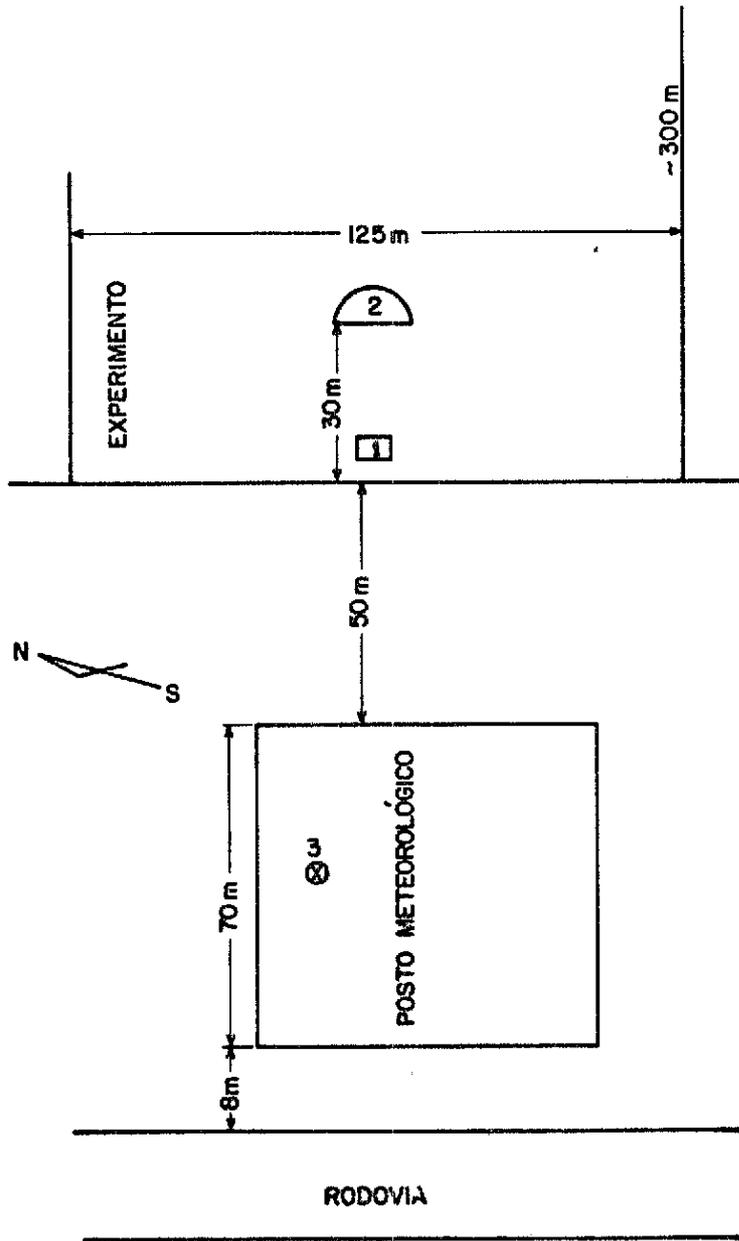


Fig. 1

FIG 1

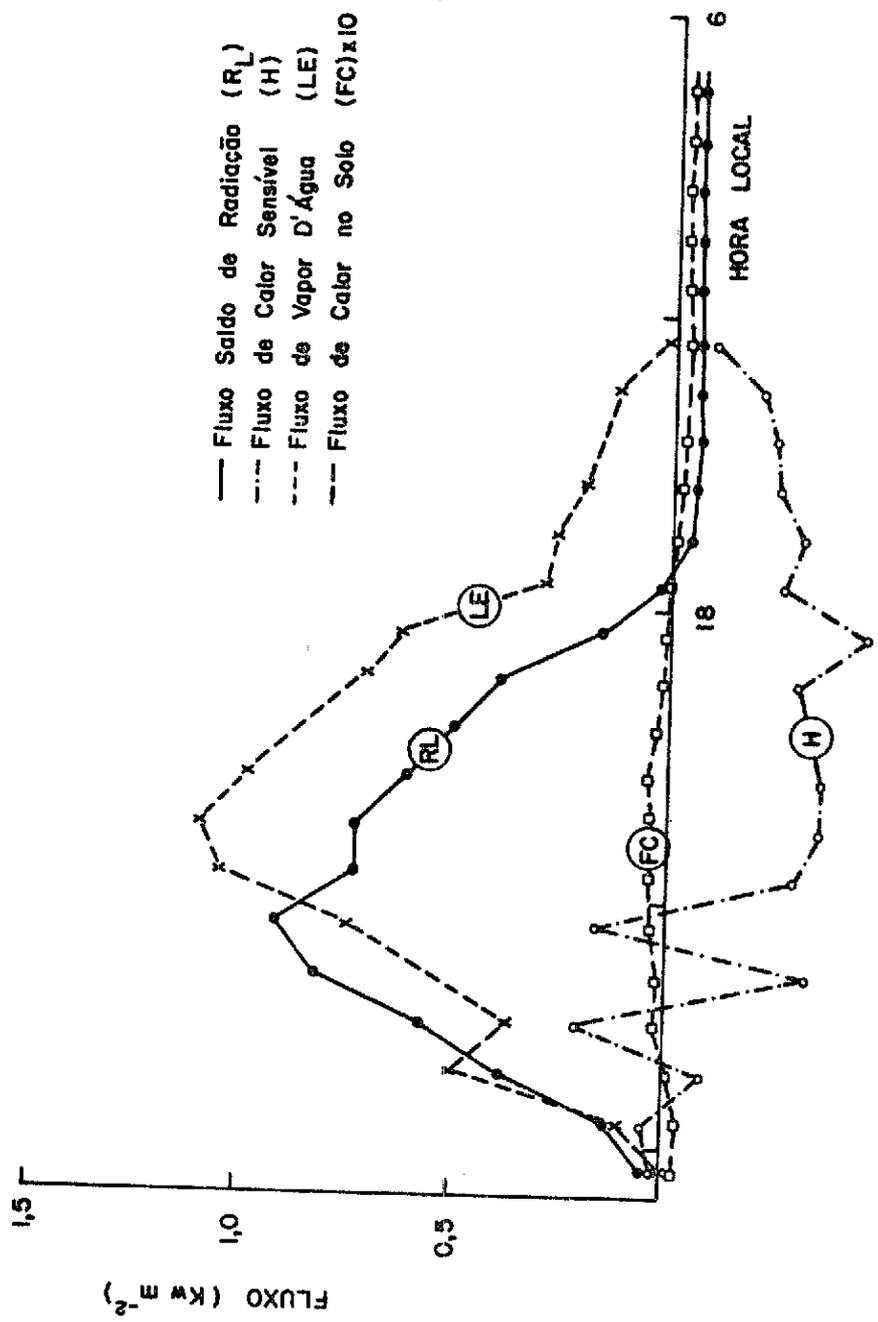


Fig. 2

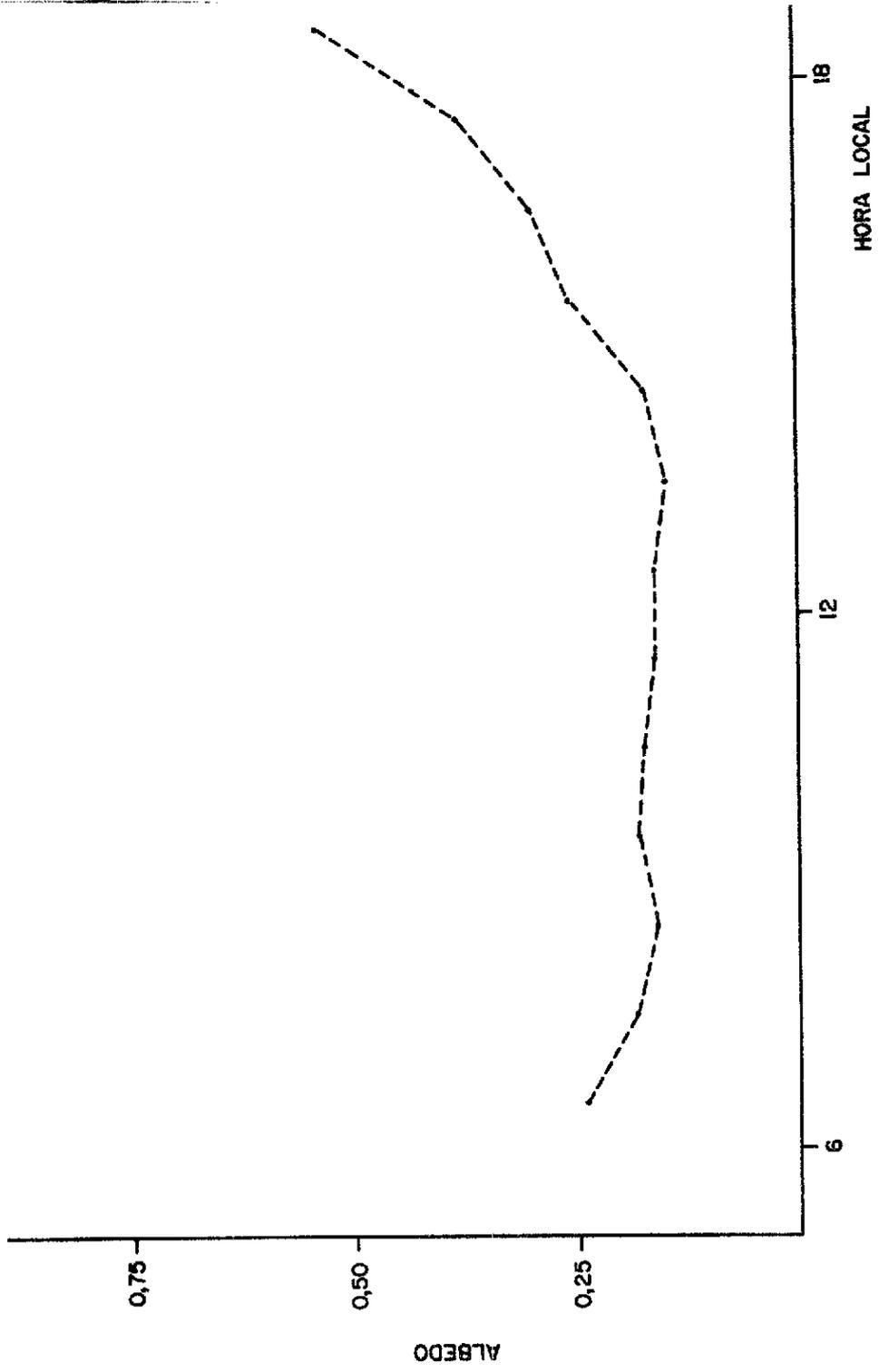


Fig. 3

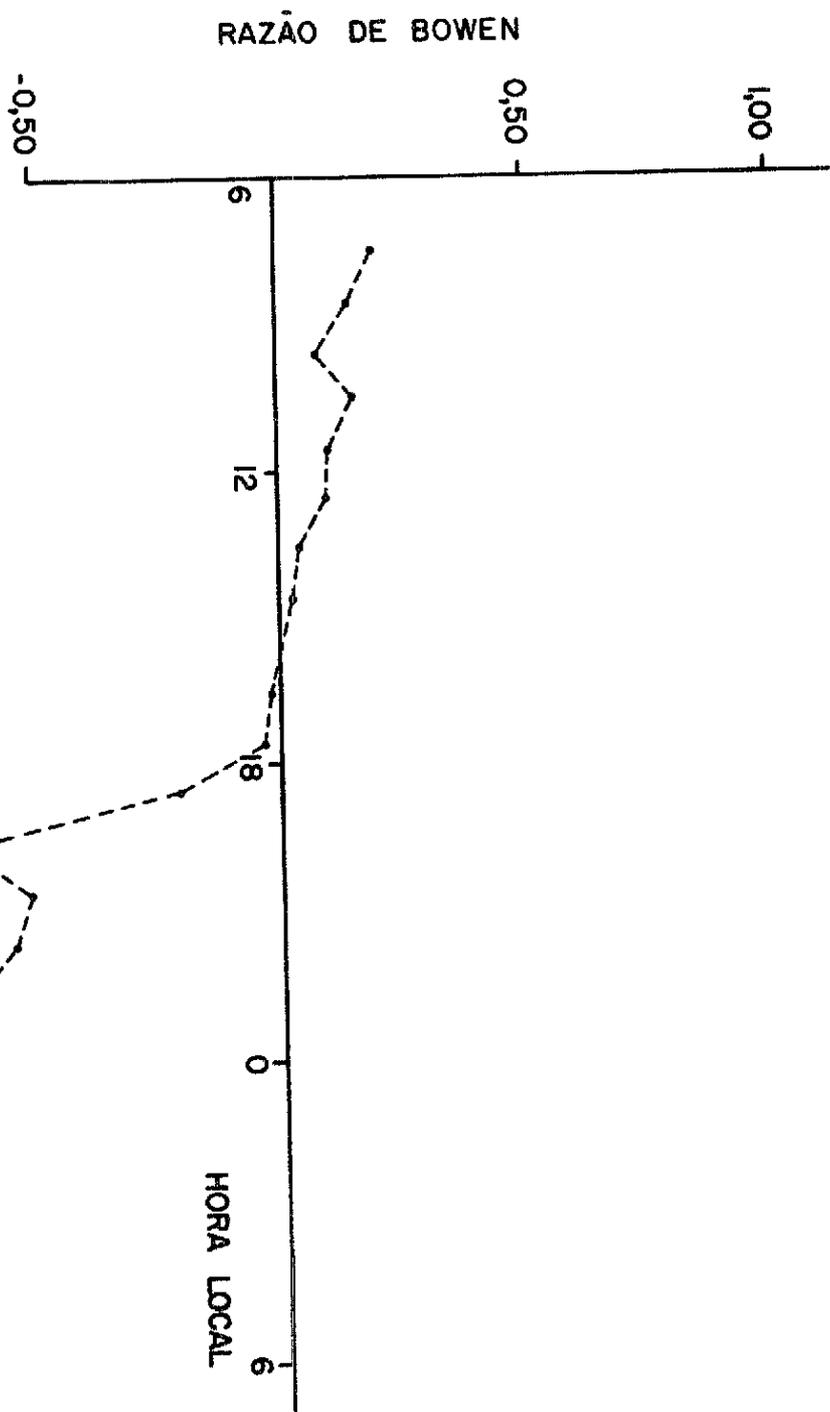


Fig. 4.

Fig. 4