

Denise Cybis Fontana⁽¹⁾; Gilberto R. Cunha^{(1),(2)}; Homero Bergamaschi⁽¹⁾; Ronaldo Matzenauer⁽²⁾ e Aristides C. Buenos⁽²⁾.

(1) Faculdade de Agronomia/UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, 91500, Porto Alegre/RS.

(2) Seção de Ecologia Agrícola-IPAGRO, Secretaria da Agricultura e Abastecimento/RS.

INTRODUÇÃO

O balanço de radiação de uma superfície representa o estudo das trocas verticais de radiação entre a atmosfera e a superfície em estudo. Seu conhecimento é muito significativo visto a influência sobre o comportamento dos vários elementos meteorológicos. As trocas verticais de radiação são constituídas de componentes de ondas curtas (0,30 a 3,0 μm) e de componentes de ondas longas (maior que 3,0 μm). Os componentes de ondas curtas apresentam magnitude maior do que os de ondas longas, sendo a radiação solar global o principal componente atmosférico. Já ao nível da superfície, o principal componente é o albedo. Este último é função da elevação solar, grau de cobertura do solo, estado de umidade do solo e das plantas e quantidade e tipo de cobertura de nuvens (1).

Após as trocas, o que resta é denominado saldo de radiação. O objeto de estudo do balanço de energia é a partição do saldo de radiação nos diversos processos que ocorrem ao nível de uma superfície. Isto permite dimensionar as trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera e avaliar as alterações no microclima da vegetação em função das condições de desenvolvimento da cultura e em função das condições de solo e de atmosfera.

A equação simplificada do balanço de energia, baseada no princípio físico da conservação de energia, refere que o saldo de radiação é utilizado nos fluxos de calor latente de evaporação, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo. A maior porção do saldo de radiação é utilizada nas trocas de calor sensível e latente com a atmosfera. A distribuição proporcional entre estes dois termos depende da disponibilidade de água para evaporação (2), (3), (4). Quando as plantas estão bem supridas de água a maior porção da energia disponível será utilizada no processo de evapotranspiração (5), (6), (7), (8), (9), (10).

Na área agrônômica este método tem sido utilizado, principalmente, para determinação da evapotranspiração das culturas, visto a importância fundamen-

tal deste parâmetro no manejo racional da água.

Neste trabalho procurou-se determinar os componentes do balanço de radiação e a partição do saldo de radiação, medido sobre a cultura do girassol, nos fluxos de calor latente de evaporação, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo, em condições de boa disponibilidade hídrica no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Estação Experimental Fitotécnica de Taquari, situada a uma altitude de 76 m, latitude de 29°48' Sul e longitude de 51°49' Oeste. O clima da região é Cfa, segundo Koeppen. O solo é classificado como laterítico Bruno-Avermelhado distrófico de textura argilosa e relevo suave-ondulado.

Em 29/09/87, numa parcela experimental de aproximadamente 2.400 m², foi semeado o girassol, cultivar Contissol 711. A semeadura foi feita em sucros espaçados de 0,68 m, obtendo-se uma população em torno de 50.000 plantas.ha⁻¹.

Para três dias (18/11, 03/12 e 11/12/87) do ciclo do desenvolvimento do girassol foram feitas determinações da fenologia (escala fenológica de SIDDIQUI, 1975 (11) e do Índice de área foliar (IAF). A superfície foliar foi dada pelo produto do comprimento pela maior largura da folha multiplicado por 0,70. Nas mesmas datas, foram feitas medições micrometeorológicas durante o período das 6:00 às 18:30 horas, em intervalos de 30 min. Os sensores foram instalados próximo ou ao longo de um mastro, no centro da parcela experimental, e acoplados a um sistema de medida composto de uma chave comutadora e um milivoltímetro marca Engro, modelo 2100, com resolução de 0,01 mV. Consistiram de: um piranômetro marca Eppley, modelo preto-e-branco; um saldo radiômetro marca Phillip-Schenck a 2 m acima da cultura; um albedômetro marca Middleton também a 2 m acima da cultura; um conjunto de dois psicrômetros de pares termoelétricos de cobre-constantan, um ao nível do topo da cultura e outro 0,90 m acima; e uma placa medidora de fluxo de calor no solo marca Middleton.

Através de irrigação, por aspersão, o potencial da água no solo foi mantido entre os limites de -0,001 a -0,06 MPa, controlado por tensiômetros de manômetro de mercúrio, instalados à profundidade de 0,15 m.

O balanço de radiação pode ser expresso pela equação:

$$R_n = R_s (1-a) + I \quad (1)$$

sendo R_n o saldo de radiação ($W m^{-2}$); R_s a radiação solar global ($W m^{-2}$), a o albedo; I o saldo de radiação de ondas longas ($W m^{-2}$).

I foi obtido por diferença na equação (1), já que R_n e R_s foram medidos e o albedo foi calculado pela relação R_r/R_s , sendo R_r a radiação refletida de ondas curtas.

Em um sistema cultivado, o balanço de energia vertical é dado pela equação:

$$R_n + LE + H + S = 0 \quad (2)$$

sendo LE o fluxo de calor latente de evaporação ($W m^{-2}$); H o fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$); e S o fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$).

R_n e S foram medidos, H e LE foram determinados utilizando-se o método da razão de Bowen, pelo qual LE é dado por:

$$LE = - \frac{(R_n + S)}{1 + \frac{s + \gamma}{\gamma} \frac{\Delta T_U}{\Delta T}} \quad (3)$$

sendo s o coeficiente angular da curva que relaciona pressão de saturação do vapor e temperatura ($mb \text{ } ^\circ C^{-1}$); γ a constante psinométrica reduzida ao nível domar; ΔT_U as diferenças de leituras de termômetros úmidos colocados aos níveis Z_2 e Z_1 ($^\circ C$) e ΔT as diferenças de leituras de termômetros secos aos níveis Z_2 e Z_1 ($^\circ C$).

O fluxo de calor sensível foi determinado por diferença na equação (2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas Figuras 1, 2 e 3 verifica-se que a radiação solar global é o principal componente do balanço de radiação, determinando o comportamento dos demais. Os valores integrados no período diário variaram de 11,15 a 26,48 $MJ m^{-2} dia^{-1}$, estando coerentes com os valores encontrados em outras culturas, no mesmo local (9) (10).

Para o dia 18/11, verificou-se a ocorrência de valores instantâneos altos, próximos a $1.000 W m^{-2}$, nos horários em torno do meio-dia, associados à nebulosidade. Segundo alguns autores, (10) e (12), a nebulosidade pode determinar uma reflexão direcionada, aumentando os valores dos fluxos de energia no sentido da superfície.

Nos três dias observados, as perdas de radiação de ondas curtas (radiação refletida) foram maiores do que as perdas de radiação de ondas longas, o que confirma outros dados de literatura (10), (11) e (13). Salienta-se, ainda, no dia 11/12 (Figura 3) o ganho de radiação de ondas longas em quatro leituras consecutivas compreendidas entre os horários das 14:00 às 15:30 horas, consequência, possivelmente, da nebulosidade presente nestes horários.

O albedo médio diário encontrado foi de 0,24, variando de 0,23 a 0,25 (Tabela 1). O valor médio do albedo e o formato das curvas nos três dias observados foi semelhante ao encontrado pela maioria dos autores (9), (10), (12) e (13). Os valores máximos ocorreram no início da manhã e no final da tarde, de-

monstrando a dependência deste parâmetro em relação ao ângulo de incidência solar.

Nas Figuras 4, 5 e 6 verificou-se que, em condições de disponibilidade hídrica no solo, a maior porção do saldo de radiação foi utilizada no fluxo de calor latente de evaporação (LE). Para os dias 18/11 e 03/12 LE consumiu 85% do saldo de radiação (Tabela 2), estando este valor coerente com os valores indicados na literatura para diversas culturas agrícolas (3), (7), (9), (10). Já para o dia 11/12, observou-se que 99% do saldo de radiação foi utilizado em LE. Neste dia verificou-se que a razão de Bowen assumiu valores negativos em diversos horários, ou seja, houve transferência de energia do meio para o sistema nestes horários. Este fato determinou LE superestimado neste dia (9).

Para os três dias de medições, a razão de Bowen apresentou valores compreendidos entre -0,4 e 0,5, não apresentando, portanto, valores no intervalo de -0,5 a -1,5, que são considerados inconsistentes (2).

O fluxo de calor no solo (S) apresentou uma relação inversa: com o grau de cobertura do solo, expresso pelo IAF. Apresentou um valor maior (9%) no dia 18/11, quando IAF era de 0,82, e um valor menor, no dia 11/12, quando o IAF era de 1,18 e a disponibilidade energética (Rn) semelhante. Este comportamento é coerente com trabalhos anteriores (5), (9), (10). Pelas Figuras 4, 5 e 6 verificou-se que os valores absolutos deste componente foram maiores nas horas próximas ao meio-dia, consequência da maior disponibilidade de energia nestes horários (6).

O fluxo de calor sensível apresentou um comportamento intermediário, com tendência inversa ao fluxo de calor latente de evaporação.

CONCLUSÕES

A nebulosidade influenciou o comportamento de todos os componentes do balanço de radiação.

As perdas de radiação de ondas curtas foram maiores do que as perdas de radiação de ondas longas.

O albedo foi função do ângulo de incidência solar, apresentando um valor médio de 0,24.

A maior porção do saldo de radiação foi utilizado como fluxo de calor latente de evaporação, em condições de disponibilidade hídrica.

O fluxo de calor no solo representou a menor porção do saldo de radiação, apresentando relação inversa com o índice de área foliar.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- (1) - BLAD, B.L. & BAKER, D.G. Reflected radiation from soybean crop.
Agronomy Journal, 64:277-80, 1972.
- (2) - TANNER, C.B. Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops.
Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 24(1):1-9, 1960.
- (3) - SELLERS, W.D. *Physical Climatology*. Chicago, The University of Chicago Press, 1965. 272p.
- (4) - BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. *Evaporação e evapotranspiração*. Porto Alegre, IPAGRO, Secretaria da Agricultura. 95p. (Boletim Técnico, 7), 1981.
- (5) - VILLA NOVA, N.A. *Estudos sobre o Balanço de Energia em Cultura de Arroz*. Piracicaba, ESALQ, 1973. 89p. Tese, Liv. Doc. 1973.
- (6) - PEDRO JÚNIOR, M.J. *Balanço de Energia em Soja (*Glycine max* (L.) Merrill)*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977. 82p. Tese Mestr. Solos e Nutrição de Plantas.
- (7) - BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência Hídrica em Feijoeiro. II. Balanço de Energia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 23(7):745-757, 1988.
- (8) - ANDRE, R.G.B. & VISWANADHAM, Y. Distribuição de Energia numa Cultura de Soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Revista Brasileira de Meteorologia*, Brasília, 1:20-37, 1986.
- (9) - FONTANA, D.C. *Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) Irrigada e Não Irrigada*. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1987. 121p. Dissertação Mestrado Fitotecnia.
- (10) - CUNHA, G.R. *Estudo Micrometeorológico da Transferência Vertical de Vapor D'Água e Energia em Milho*. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1988. 142p. Dissertação Mestr. Fitotecnia.
- (11) - SIDDIQUI, M.Q.; BRAWN, J.F.; ALLEN, S.F. *Chave Descritiva de Estádios de Desenvolvimento do Girassol*. 1975.
- (12) - MONTEITH, J.L. & SZEICZ, G. The Radiation Balance of Bare Soil and Vegetation. *Quarterly Journal of the Journal Meteorological Society*, Berkshire, 87:159-70, 1960.
- (13) - ANDRÉ, R.G.B. & VISWANADHAM, Y. Radiation Balance of Soybeans Grown in Brazil. *Agric. Meteorol.*, 30:157-73, 1983.

TABELA 1. Componentes do balanço de radiação, estágio de desenvolvimento e índice de área foliar de girassol, cv. Contissol 711. Taquari, RS, 1987/88.

Data	Estádio ^(*)	IAF	Rs	Rn	Rr	Rs(1-a)	I	\bar{a}
18/11/87	3.1	0,82	23,45	16,44	-2,61	18,12	-1,68	0,25
03/12/87	3.3	0,89	11,15	8,26	-1,18	8,74	-0,48	0,25
11/12/87	4.5	1,18	26,48	19,30	-2,94	20,61	-1,31	0,24

(*) Metodologia de SIDDIQUI (1975); IAF - índice de área foliar; Rs - radiação solar global ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); Rn - saldo de radiação ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); Rr - radiação refletida de ondas curtas ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); Rs(1-a) - saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); I - saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); \bar{a} - albedo médio.

TABELA 2. Saldo de radiação (Rn) e relações com o fluxo de calor latente de evaporação (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (S), em diferentes estádios de desenvolvimento e índices de área foliar (IAF). Taquari, RS, 1987/88.

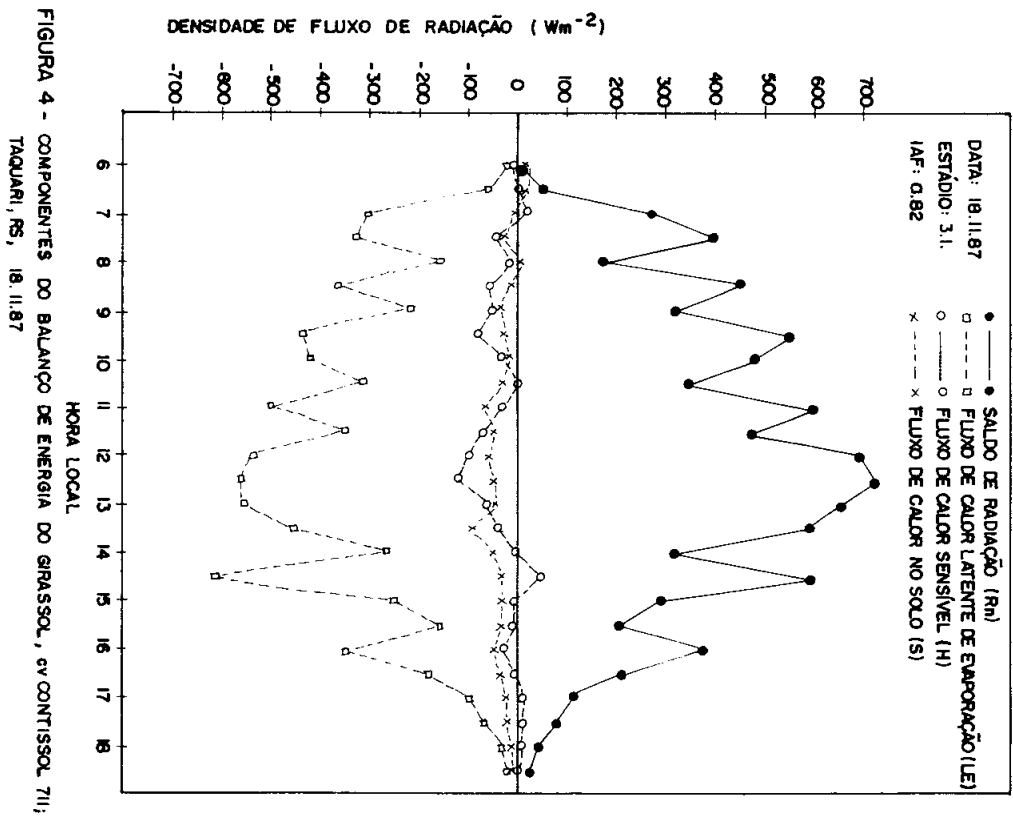
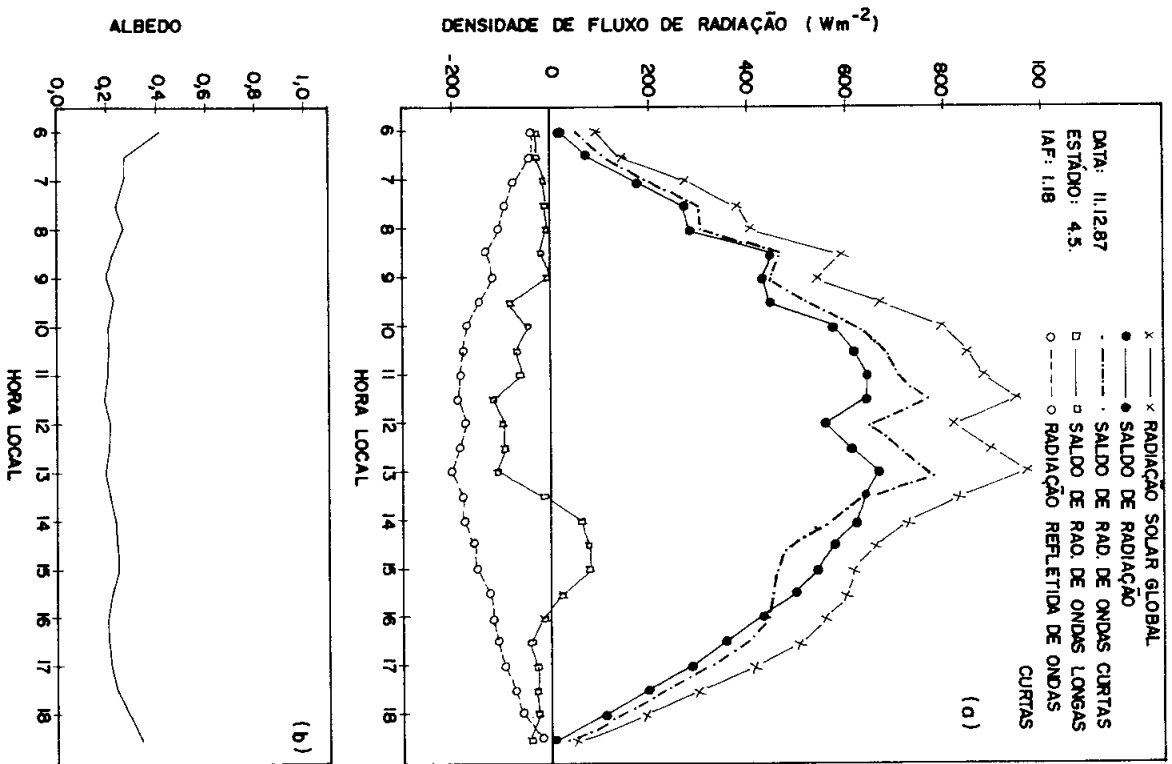
Data	Estádio ^(*)	IAF	Rn ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$)	LE/Rn	H/Rn	S/Rn
18/11/87	3.1	0,82	16,44	-0,85	-0,06	-0,09
03/12/87	3.3	0,89	8,26	-0,85	-0,13	-0,02
11/12/87	4.5	1,18	19,30	-0,99	+0,03	-0,03

(*) Metodologia de SIDDIQUI (1975).

UNIDADE	LE	S	FORMULA
12R	95	2	FORMULA (1975)
10R	72	4	
10R	80	2	UNHA (1981)
6R	10	2	UNHA (1981)
10R	10	1	UNHA (1981)

0,90

na área
de acordo com a fórmula
de Sidiqui (1975)
LE = LE₀ + LE₁
onde LE₀ = constante
e LE₁ = coeficiente
de proporcionalidade
entre a área foliar
e o fluxo de calor
latente.



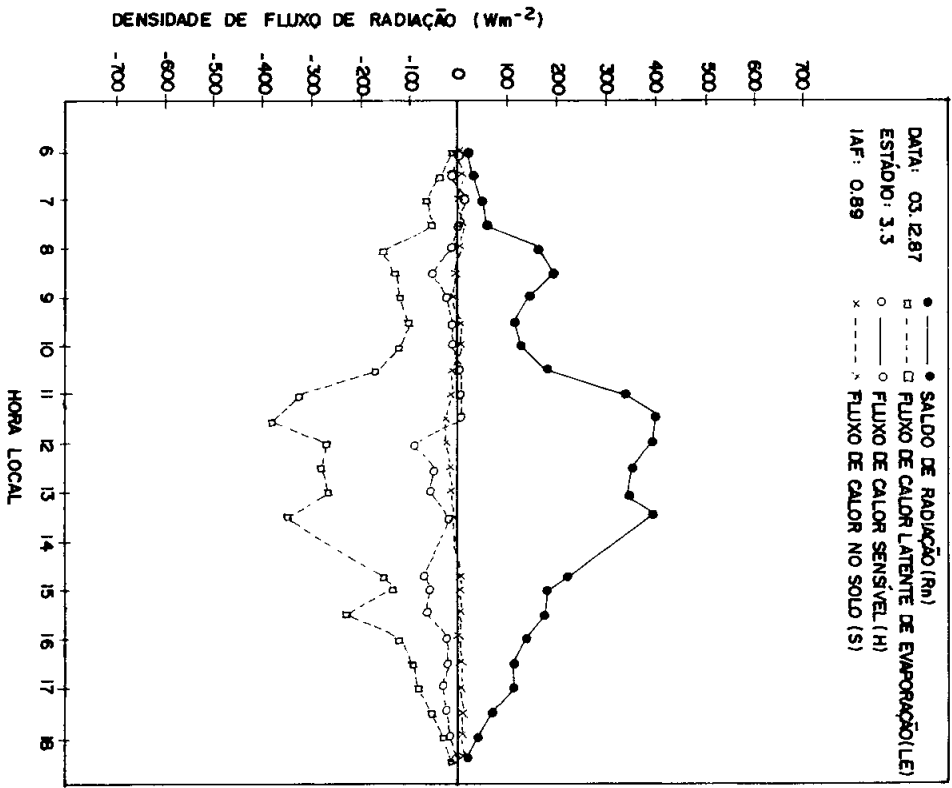


FIGURA 5 - COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA DO GIRASSOL, cv CONTISSOL 711, TAQUARI, RS, 03.12.87

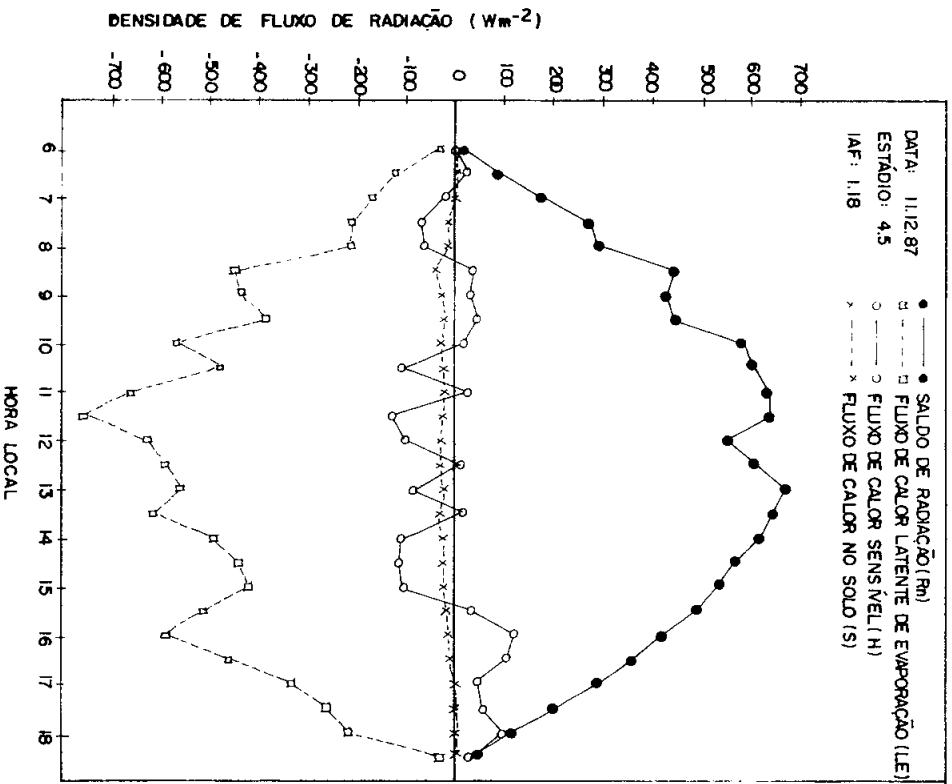


FIGURA 6 - COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA DO GIRASSOL, cv CONTISSOL 711, TAQUARI, RS, 11.12.87