

## BALANÇO DE RADIAÇÃO EM ALFAFA<sup>1</sup>

Gilberto Rocca Cunha<sup>2</sup>, José Roberto Faleiro de Paula<sup>3</sup>, Homero Bergamaschi<sup>4</sup>,  
João Carlos de Saibro<sup>4</sup> e Moacir Antônio Berlatto<sup>4</sup>

### RESUMO

O conhecimento do saldo de radiação é fundamental na parametrização de fluxos de propriedades físicas na atmosfera próxima da superfície terrestre. Para alguns dias do verão, do outono e do inverno foram medidos o saldo de radiação ( $R_n$ ), a radiação solar global incidente ( $R_s$ ) e refletida ( $R_r$ ), a 1,5 m sobre a superfície da cultura, no centro de uma parcela de 90 m x 60 m, cultivada com alfafa, *cv. Crioula*, semeada em linhas espaçadas de 0,30 m, em Eldorado do Sul-RS (30°05'S, 51°39'W e 46 m de altitude), em 1990. A partir das medições instantâneas, foram determinados o albedo ( $\alpha$ ), o balanço de ondas curtas  $[(1-\mu)R_s]$ , o balanço de ondas longas ( $I$ ), o coeficiente térmico ( $\beta$ ), o coeficiente de transformação em ondas longas ( $\lambda$ ), bem como ajustados modelos lineares entre:  $R_n$  e  $R_s$ ;  $R_n$  e  $[(1-\mu)R_s]$ . Em média, o albedo diário, obtido via média dos valores instantâneos, foi igual a 0,24, e o albedo obtido por regressão através da origem entre  $R_r$  e  $R_s$ , foi igual a 0,22. Os coeficientes  $\beta$  e  $\lambda$  foram fisicamente inconsistentes.

**Palavras-chave:** albedo, alfafa, balanço de radiação e saldo de radiação.

### SUMMARY

Information on net radiation is essential for parameterizing the flux of physical properties in near ground atmosphere. Net radiation ( $R_n$ ), global solar radiation ( $R_s$ ) and reflected solar radiation ( $R_r$ ) were measured in 1990 over certain Summer, Fall and Winter days, placed 1,5 m above crop surface, at the center of a 90 m x 60 m plot grown to alfalfa, *cv. Crioula*, sown to rows 0.30 m apart, in Eldorado

<sup>1</sup> Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Agronomia/UFRGS em nov/1991.

<sup>2</sup> Engº Agrº, Dr., EMBRAPA-CNPT. Caixa Postal 569, CEP 99001-970, Passo Fundo-RS.

<sup>3</sup> Engº Agrº, M.Sc. (Doutorando), Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 91501-970, Porto Alegre-RS.

<sup>4</sup> Engº Agrº, Dr., Bolsista do CNPq, Faq. de Agronomia/UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 91501-970, Porto Alegre-RS.

do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil (30°05'S, 51°39'W, and altitude 46 m). The albedo ( $\alpha$ ), net shortwave radiation  $[(1-\mu)R_s]$ , net longwave radiation ( $I$ ), heating coefficient ( $\beta$ ), and longwave exchange coefficient ( $\lambda$ ) were determined from instant measurements, and linear models between:  $R_n$  and  $R_s$ ;  $R_n$  and  $[(1-\mu)R_s]$  were adjusted. In average, the daily albedo, obtained by regression through instant value mean was equal to 0.24 while the albedo obtained by regression through the origin of  $R_r$  and  $R_s$  was 0.22. Coefficients  $\beta$  and  $\lambda$  were physically inconsistent.

**Keywords:** albedo, alfalfa, radiation balance and net radiation.

## INTRODUÇÃO

O saldo de radiação de uma superfície cultivada ( $R_n$ ) constitui-se em uma variável fundamental na modelagem dos fluxos de propriedades físicas (massa e energia) na camada limite planetária. Sobre a magnitude do saldo de radiação interferem diversos fatores relacionados com os componentes de ondas curtas e ondas longas. Dentre estes, destacam-se latitude, altitude, época do ano, cobertura de nuvens, composição espectral da radiação incidente, propriedades espectrais da cultura, grau de cobertura do solo e cultura, disponibilidade hídrica no solo e temperatura da superfície e da atmosfera (BLAD & BAKER, 1972; PABLOS & IRAUNDEGUI, 1975; VISWANADHAM, 1981).

Visando o aprimoramento dos modelos de estimativa do saldo de radiação em superfícies naturais e cultivadas, MONTEITH & SZEICZ (1961) derivaram o coeficiente térmico  $\beta$ , caracterizando-o como uma propriedade da superfície. Posteriormente, GAY (1971) derivou o coeficiente de transformação em ondas longas  $\lambda$ , considerando-o uma propriedade do meio. Entretanto, embora originalmente  $\beta$  e  $\lambda$  fossem considerados coeficientes descritivos, obtidos a partir dos termos do balanço de radiação, pelas análises de IDSO (1968 e 1971), não passam de simples parâmetros empíricos gerados pelos modelos de regressão.

Diversos trabalhos foram realizados no Brasil, visando quantificar os componentes do balanço de radiação, estudar a reflectância das culturas e desenvolver modelos de estimativas do saldo de radiação, conforme pode-se observar em ANDRÉ & VISWANADHAM (1983), ASSIS *et al* (1987), CUNHA *et al* (1989), FONTANA *et al* (1991) e MOTA (1976).

Tendo em vista a cultura da alfafa, *cv. Crioula*, cultivada nas condições da região climática da Depressão Central no Rio Grande do Sul, os objetivos do presente trabalho foram:

- quantificar os componentes do balanço de radiação na superfície da cultura;

- desenvolver modelos de estimativa do saldo de radiação na superfície da cultura em função da radiação solar global incidente e do balanço de ondas curtas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, da Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul-RS, com as coordenadas de 30°05'S de latitude, 51°39'W de longitude e 46 m de altitude. O clima da região, pela classificação de Köppen, é subtropical úmido de verão quente (*Cfa*) e o solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, constituindo-se num Plintossolo.

As determinações dos componentes do balanço de radiação foram feitas em alguns dias do verão, do outono e do inverno de 1990, com instrumental localizado no centro de uma unidade experimental de 90 m x 60 m, cultivada com alfafa (*Medicago sativa*, L.), cv. *Crioula*, em linhas espaçadas de 0,30 m, cujos detalhes de preparo do solo, semeadura, adubação, manejo de cortes, controle de pragas e plantas daninhas encontram-se descritos em CUNHA (1991).

As medições micrometeorológicas foram feitas em intervalos de 30 minutos, durante um período compreendido entre 7h30min e 18h30min, dentro de cada dia de observação, através de um sistema composto de uma chave comutadora e um microvoltímetro, englobando as seguintes variáveis: radiação solar global incidente ( $R_s$ ), com um piranômetro Eppley; radiação solar global refletida ( $R_r$ ), com um albedômetro Middleton e o saldo de radiação ( $R_n$ ), com um saldo-radiômetro Phillip Schenk. Todos os equipamentos foram instalados a 1,5 m acima da superfície da cultura.

Através das medições instantâneas de  $R_s$ ,  $R_r$  e  $R_n$  e considerando-se a equação da resultante das trocas verticais de radiação eletromagnética na superfície da cultura, equação 1, foram calculados os componentes do balanço de radiação: albedo ( $\alpha$ ), balanço de ondas curtas ( $BOC$ ) e de ondas longas ( $I$ ), através das equações 2, 3 e 4, respectivamente.

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

$$\alpha = R_r / R_s \quad (2)$$

$$BOC = (1 - \alpha) R_s \quad (3)$$

$$I = R_n - [(1 - \alpha)R_s] \quad (4)$$

O albedo, em nível diário, foi caracterizado pela média aritmética dos valores instantâneos determinados pela equação 2, sendo denominado de  $\alpha_1$ , ou ajustado por meio de regressão passando pela origem, relacionando  $R_r$  e  $R_s$  (método dos quadrados mínimos), sendo denominado de  $\alpha_2$ .

Para estimativa do saldo de radiação foram ajustados modelos lineares, pelo método dos quadrados mínimos, relacionando o saldo de radiação com o balanço de radiação de ondas curtas e com a radiação solar global incidente, em  $W.m^{-2}$ . Os coeficientes térmico ( $\beta$ ) e de transformação de ondas longas ( $\lambda$ ) foram determinados, para os diferentes dias de observação, através das equações 5 e 6.

$$b = (1 - b) / b \quad (5)$$

$$I = b - 1 \quad (6)$$

onde,  $b$  é o coeficiente de regressão linear entre o saldo de radiação e o balanço de radiação de ondas curtas, considerando esta última como variável independente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes do balanço de radiação integrados no período diurno, em alguns dias de verão, outono e inverno, a partir de medições instantâneas realizadas sobre a cultura da alfafa, encontram-se na Tabela 1.

Constata-se que a densidade de fluxo de radiação solar global incidente ( $R_s$ ) foi a principal determinante da variação na magnitude dos demais componentes do balanço de radiação da superfície, verificando-se, em módulo, uma relação direta entre  $R_s$  e os outros fluxos de energia radiante. Comportamento semelhante foi observado nas determinações do balanço de radiação feitas por CUNHA *et al* (1989) em milho, FONTANA *et al* (1989) em girassol, FONTANA *et al* (1991) em soja e MEDEIROS *et al* (1990) em milheto forrageiro, todos executados na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

As variações da radiação solar global incidente são dependentes das condições atmosféricas e, em função da latitude, da época do ano. Estes aspectos ficam evidenciados pelas representações dos

balanços de radiação nas Figuras 1, 2 e 3.

Analisando-se a Figura 1, dias 07/02/90 e 08/02/90, ambos no período de verão, constata-se o efeito da nebulosidade sobre a magnitude dos fluxos instantâneos de energia radiante. No dia 07/02/90 (claro), foram comuns, durante a parte central do dia, valores de  $R_s$  superiores a  $800 \text{ W.m}^{-2}$ . Por sua vez, no dia 08/02/90 (nublado), durante a maior parte do dia, os fluxos de  $R_s$  foram inferiores a  $600 \text{ W.m}^{-2}$ , com exceção do período entre 15h 30min e 16h, quando foram superiores a  $600 \text{ W.m}^{-2}$ . Este fato determinou que os valores integRados fossem  $22,34 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  no dia 07/02/90, e  $12,66 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  no dia 08/02/90, cuja diferença pode ser atribuída, unicamente, às condições meteorológicas. Pelos mesmos motivos, no dia 09/02/90 (parcialmente nublado),  $R_s$  foi um pouco inferior ao dia 07/02/90.

O efeito da época do ano sobre  $R_s$  pode ser visualizado pelo confronto entre dois dias claros em épocas diferentes. No caso, o dia 07/02/90, representante do verão (Figura 1) e o dia 30/08/90 representante do inverno (Figura 3). Conforme foram citados anteriormente, no dia 07/02/90 foram comuns densidades de  $R_s$  superiores a  $800 \text{ W.m}^{-2}$ . Já no dia 30/08/90, embora sendo um dia completamente sem nuvens, não se constatou valores de  $R_s$  superiores a  $800 \text{ W.m}^{-2}$ . Este fato, conseqüentemente, interferiu nos totais integrados de energia.

**TABELA 1 . Valores dos componentes do balanço de radiação em alfafa, cv. Cricula, Eldorado do Sul - RS, 1990.**

DATA	DAC <sup>(*)</sup>	ALBEDO		MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>				
		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$R_n$	$R_s$	$R_r$	$(1-\alpha)R_s$	$I$
07/02/90	9	0,18	0,18	16,82	22,34	-3,95	18,40	-1,58
08/02/90	10	0,20	0,17	9,61	12,66	-2,23	10,44	-0,77
09/02/90	11	0,20	0,19	14,74	19,05	-3,66	15,40	-0,66
19/04/90	49	0,26	0,24	10,48	14,29	-3,45	10,84	-0,36
20/04/90	50	0,23	0,22	9,20	12,43	-2,76	9,67	-0,46
29/08/90	47	0,28	0,26	12,20	17,77	-4,65	13,11	-0,91
30/08/90	48	0,29	0,25	11,95	17,81	-4,57	13,23	-1,28
31/08/90	49	0,25	0,25	8,34	11,66	-2,91	8,74	-0,40

(\*) DAC - dias após o corte,  $\alpha_1$  -albedo médio;  $\alpha_2$  - albedo ajustado por regressão pela origem entre  $R_n$  e  $R_s$ ;  $R_n$  - saldo de radiação;  $R_s$  - radiação solar global;  $R_r$  - Radiação de ondas curtas refletida;  $[(1-\alpha)R_s]$  e  $I$  - balanços de ondas curtas e longas, respectivamente.

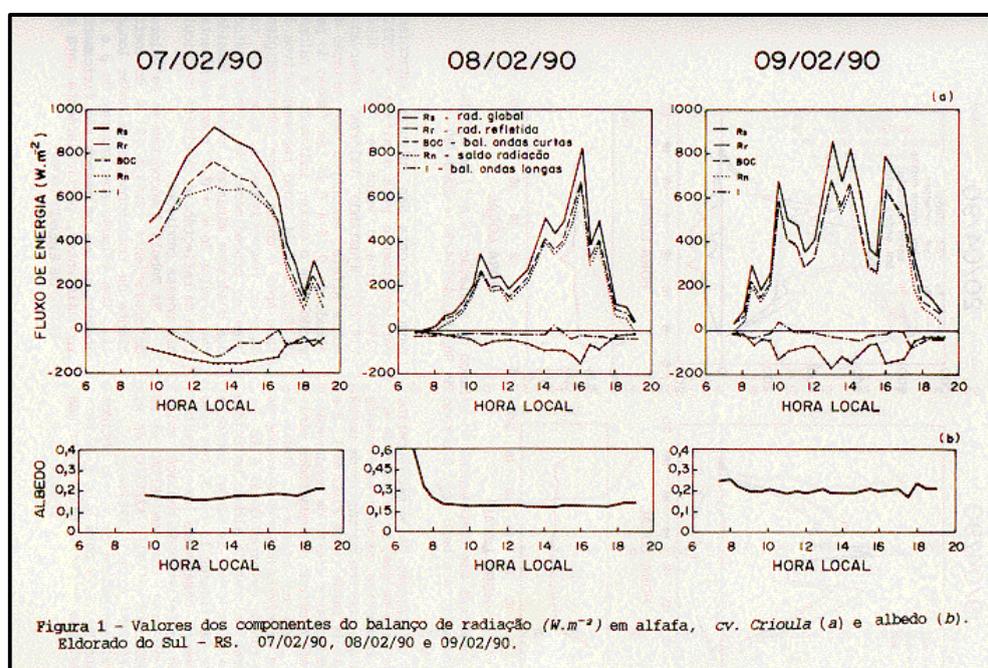
Com relação à perda de energia radiante pelo sistema, verifica-se em função dos valores absolutos da Tabela 1 e visualmente nas Figuras 1, 2 e 3, que a perda por reflexão de ondas curtas supera a radiação terrestre efetiva (balanço de ondas longas). Assim, parece relevante considerar, principalmente, este componente com vistas à modificação do balanço de radiação em uma cultura. Em outros trabalhos de balanço de radiação em sistemas cultivados no Rio Grande do Sul, também ficou evidenciada a reflexão como a principal forma de perda de energia radiante (CUNHA *et al* 1989; MEDEIROS 1990; FONTANA *et al* 1989 e 1991).

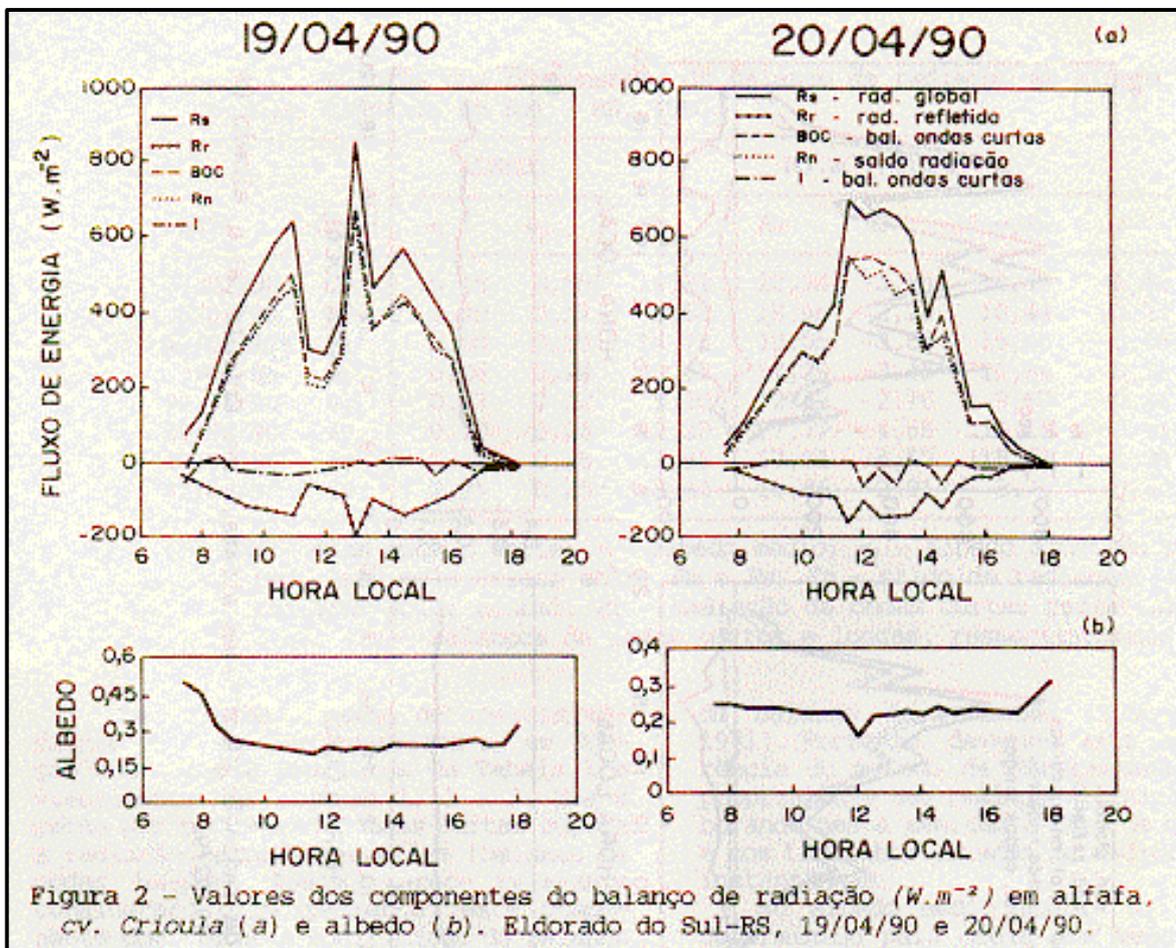
Nas Figuras 1, 2 e 3 observa-se que, em alguns instantes do dia, o balanço de ondas longas ( $I$ ) foi positivo, significando, aparentemente, que o fluxo de contra-radiação foi superior à radiação emitida pela superfície da cultura. Embora esta tenha sido a explicação encontrada por FONTANA *et al* (1989) E MEDEIROS (1990) para justificar valores instantâneos positivos do balanço de ondas longas, não é fisicamente a mais adequada, pois o grau de incerteza na determinação do balanço de ondas longas é alto, uma vez que corresponde a um valor pequeno, resultante de dois grandes fluxos atmosféricos, obtido por diferença na equação do balanço de radiação (IDSO, 1968 e 1971). Portanto, deve ser mais uma decorrência do método de determinação do que propriamente uma realidade física, colaborando neste sentido o fato de que neste e nos trabalhos citados as medições foram instantâneas.

O albedo médio diário da cultura, determinado pela média dos valores instantâneos ( $\alpha_1$ ) e por regressão através da origem, relacionando radiação solar global refletida ( $R_r$ ) e radiação solar global ( $R_s$ ) ( $\alpha_2$ ), encontra-se na Tabela 1.

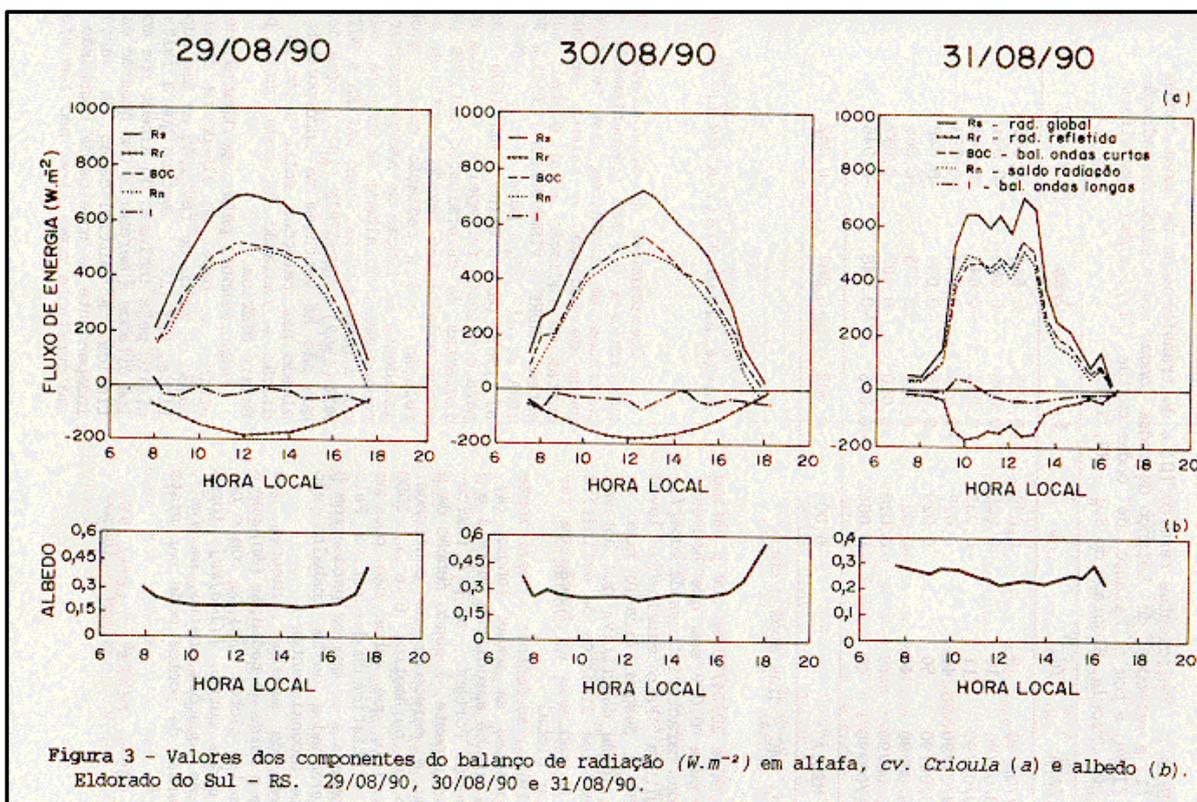
Analisando-se os valores de  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , constata-se uma tendência de relação direta entre o grau de cobertura da cultura, expressa em função do número de dias após o corte ( $DAC$ ), e os valores de albedo, de modo análogo ao observado por BLAD & BAKER (1972) com a cultura da soja, principalmente confrontando-se os valores obtidos nos dias 07/02/90 e 09/02/90 com os demais. Entretanto, os maiores valores de albedo nos dias de outono e inverno também podem decorrer de uma interação entre as características da superfície e a maior inclinação dos raios solares que atingem a latitude de 30°05'S, nesta época do ano.

Os valores de  $\alpha_1$ , foram superiores a  $\alpha_2$ , comportamento também observado por DAVIES & BUTTIMOR (1969) e NKEMDIRIM (1973). A explicação de  $\alpha_1$  ser superior deve-se ao fato de que, no cômputo de  $\alpha_1$ , por média aritmética, os valores elevados de albedo que ocorrem no início da manhã ou no final da tarde (vide Figuras 1, 2 e 3) exercem um maior efeito de ponderação. Por sua vez, o método dos quadrados mínimos, utilizado no ajuste 2, atenua o efeito dos possíveis valores elevados





de albedo em função de pares de  $Rr$  e  $Rs$ .



Maiores valores de albedo no início da manhã e/ou no final da tarde, conforme se observa nas figuras 1, 2 e 3, tem sido freqüentemente observados em trabalhos que tratam da reflexão de radiação solar sobre as culturas, como em LEITÃO *et al* (1989), MEDEIROS (1990), AZEVEDO *et al* (1991) e FONTANA *et al* (1991).

Os valores médios de albedo obtidos neste trabalho, 0,24 para  $\alpha_1$  e 0,22 para  $\alpha_2$ , encontram-se dentro da faixa observada para a maioria das culturas agrícolas. Particularmente para a alfafa, MONTEITH (1965) cita o valor de 0,25 e SILVA (1977), ajustando valores observados sobre alfafa, encontrou uma variação do albedo de 0,19 a 0,26, em função do período após o corte, indicando os valores de 0,22 e 0,24, como representativos da fase após o corte e com cobertura plena do solo, respectivamente. No entanto, com base no procedimento de ajuste (método dos quadrados mínimos), pode-se considerar o valor de  $\alpha_2 = 0,22$  como representativo da reflectância da alfafa cv Crioula nas nossas condições.

Na Tabela 2 encontram-se os valores do coeficiente térmico ( $\beta$ ) e do coeficiente de transformação em ondas longas ( $\lambda$ ). Com relação aos valores de  $\beta$  e  $\lambda$ , observa-se que os mesmos são fisicamente inconsistentes, particularmente para os dias 19/04/90 e 20/04/90 em que  $\beta$  variou de -0,023 para 0,029 sem que houvesse alteração das características da superfície da cultura. Fato semelhante levou IDSO (1968) a desqualificá-lo como de alguma utilidade descritiva que aprimorasse os modelos lineares de estimativa do saldo de radiação em função de radiação solar global.

TABELA 2. Coeficientes térmico ( $\beta$ ) e de transformação de ondas longas ( $\lambda$ ) e relações do balanço de ondas longas com o saldo de radiação ( $I/R_n$ ) e com o balanço de ondas curtas [ $I/(1-a)R_s$ ], em alfafa, cv. Crioula. Eldorado do Sul - RS, 1990.

DATA	DAC <sup>(*)</sup>	$\beta$	$\lambda$	$I/R_n$	$[I/(1-a)]$
07/02/90	9	0,079	-0,073	-0,094	-0,086
08/02/90	10	-0,005	0,005	-0,080	-0,074
09/02/90	11	-0,031	0,032	-0,043	-0,043
19/04/90	49	0,023	-0,024	-0,034	-0,033
20/04/90	50	0,029	-0,028	-0,050	-0,048
29/08/90	47	-0,021	0,021	-0,075	-0,069
30/08/90	48	-0,010	0,010	-0,107	-0,097
31/08/90	49	0,006	-0,006	-0,048	-0,046
MEDIA		0,003	-0,002	-0,067	-0,062

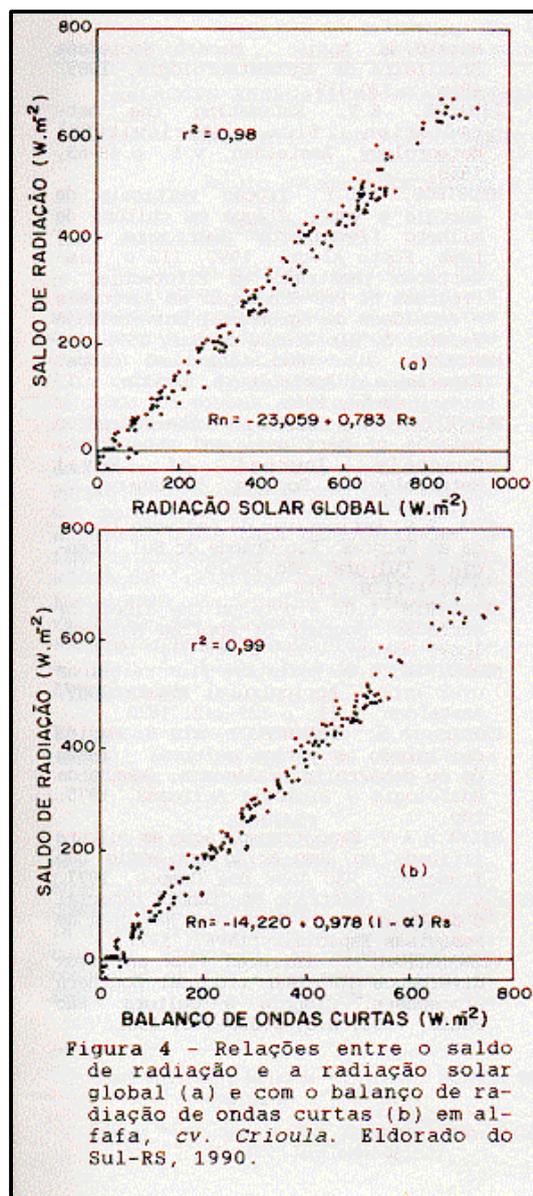
(\*) DAC - dias após o corte

GAY (1971), ao definir o coeficiente de transformação em ondas longas ( $\lambda$ ), demonstrou que há associação entre  $\beta$  e  $\lambda$  e do tipo  $\lambda=b\beta$ . Portanto, se  $\beta$  é fisicamente inconsistente,  $\lambda$  sendo função de  $\beta$  também não é merecedor de confiança. Analisando os parâmetros  $\beta$  e  $\lambda$ , IDSO (1971) concluiu que ambos não possuem utilidade estatística ou descritiva. Pelo exposto, constata-se que os parâmetros  $\beta$  e  $\lambda$ , determinados neste trabalho são fisicamente inconsistentes.

$$R_n = -23,059 + 0,783R_s \quad (r^2 = 0,98)$$

$$R_n = 14,220 + 0,978(1 - \alpha)R_s \quad (r^2 = 0,99)$$

Através de modelos lineares que relacionam o saldo de radiação ( $R_n$ ) com a radiação solar global ( $R_s$ ) ou com o balanço de ondas curtas  $[(1-\alpha)R_s]$ , foram ajustadas as equações abaixo, em  $W.m^{-2}$ , cuja dispersão de pontos pode ser vista na Figura 4.



Coefficientes de determinação ( $r^2$ ) superiores a 0,9 são freqüentemente encontrados em trabalhos que relacionam saldo de radiação e balanço de ondas curtas ou radiação solar global, entre estes, ANDRÉ & VISWANADHAN (1983) e FONTANA *et al* (1991) para a soja, CUNHA *et al* (1989) para o milho e MEDEIROS (1990) para o milheto forrageiro. Os altos coeficientes de determinação obtidos para ambos modelos tem levado a optar-se pela relação com a radiação solar global incidente em função de não necessitar do conhecimento do albedo da cultura, sendo que alguns autores, como DAVIES & BUTTIMOR (1969) e NKEMDIRIM (1972), consideram que não há vantagem na incorporação do albedo nas relações entre saldo de radiação e radiação de onda curta para totais diários.

Entretanto, pela importância que se atribui ao papel do albedo na determinação do saldo de radiação em uma superfície, GAY (1971) destaca que a falta de efeito pela inclusão do albedo nos modelos citados é meramente uma questão estatística. A multiplicação da variável independente em modelos de regressão por uma constante como  $(1-\mu)$  não tem efeito sobre os desvios de regressão, sendo altamente recomendável o uso, quando possível, do modelo que inclui o albedo.

Em função do grau de empirismo destes tipos de relações, conforme destacado por LINACRE (1968), deve ser salientado que estas equações são válidas para a cultura da alfafa, *cv. Crioula*, cultivada sob condições similares às utilizadas neste trabalho.

## CONCLUSÕES

1. A perda de energia pela cultura da alfafa através da reflexão de ondas curtas é superior à perda pela emissão efetiva terrestre de ondas longas.
2. Existe uma associação entre o albedo médio diário da cultura da alfafa e grau de cobertura do solo pela cultura, a época do ano e o método de determinação.
3. Os coeficientes térmico ( $\beta$ ) e de transformação de ondas longas ( $\lambda$ ) são fisicamente inconsistentes.
4. Pode-se estimar o saldo de radiação ( $R_n$ ) sobre a cultura da alfafa através do balanço de ondas curtas ou da radiação solar global incidente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdan, v.30, p.157-173, 1983.

- ASSIS, F.N., MENDEZ, M.E.G., MARTINS, S.R. *et al.* Balanço de radiação na cultura do sorgo sacarino **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.4, p.349-352, 1987.
- AZEVEDO, P.V., LEITÃO, M.M.V.B.R., RAO, T.R., *et al.* Reflectância e requerimentos térmicos de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1991, Viçosa, MG. **Resumos...**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. 314p. p.39-41.
- BLAD, B.L., BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.277-280, 1972.
- CUNHA, G.R. **Evapotranspiração e a função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa.** Porto Alegre, 1991, 197p. Tese (Doutorado em Agronomia) -Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. *et al.* Balanço de radiação em cultura de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491p. p.322-329.
- DAVIES, J. A., BUTTIMOR, P.H. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Sincoe, Southern Ontario. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.6, p.373-386, 1969.
- FONTANA, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.3, p.411-418, 1991.
- FONTANA, D.C., CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., *et al.* Balanço de radiação e balanço de energia em cultura de girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491p. p.313-321.
- GAY, L.W. The regression of net radiation upon solar radiation. **Archiv fuer Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie - Serie B**, Berlim, v.19, p.1-14, 1971.
- IDSO, S. An analysis of de heating coefficient concept. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.7., p.716-717, 1968.
- IDSO, S. Relations between net and solar radiation. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, Tokio, v.49, n.1, p.1-11, 1971.
- LEITÃO, M.M.V.B.R., AZEVEDO, P.V., COSTA, J.P.R. Reflectância de uma cultura de soja irrigada nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491p. p.330-337.
- LINACRE, E.T. Estimating the net-radiation flux. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.5, p.49-63,

1968.

- MEDEIROS, S.L.P. **Trocas verticais de energia e vapor d'água em cultura de milho (*Pennisetum americanum*, L.) Leek.** Porto Alegre, 1990, 112 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.
- MONTEITH, J.L. Radiation and crops. **Experimental Agriculture**, London, v.1, n.4, p.46-56, 1965.
- MONTEITH, J.L., SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, Berkshire, v. 87, p.159-170, 1961.
- MOTA, F.S. Estimativas da radiação líquida em Pelotas, Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.28, n.10, p.1174-1178, 1976.
- NKEMDIRIM, L.C. A note on the albedo of surfaces. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.11, p.867-874, 1972.
- NKEMDIRIM, L.C. Radiative flux relations over crops. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.11, p.229-242, 1973.
- PABLOS, A.B., IRAUNDEGUI, Y.J.G. **Medida del albedo em vários cultivos y fases de su desarrollo.** Salamanca: Centro de Edafología y Biología Aplicada, 1975. 10p.
- SILVA, M.A.V. **Evapotranspiração em cultura irrigada no semi-árido sub-médio São Francisco.** São José dos Campos, 1977. 97p. Tese (Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1977.
- VISWANADHAM, Y. Infrared flux and flux divergence in clear tropical Southern atmosphere. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.33, n.3, p.330-390, 1981.