

# ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS FLUXOS DE ENERGIA SUPERFICIAS PARA UMA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO

ANDRÉA U. TIMM<sup>1</sup>, DÉBORA R. ROBERTI<sup>2</sup>, VIRNEI S. MOREIRA<sup>3</sup>, JULIO  
SENA<sup>4</sup>, OSVALDO L.L. DE MORAES<sup>5</sup>, GERVÁSIO A. DEGRAZIA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Física, Doutoranda do PPG em Física, Depto. de Física – INPE/CRS, UFSM, Santa Maria – RS, Fone: (0 xx 55) 3220 8616, [anddri@gmail.com](mailto:anddri@gmail.com).

<sup>2</sup>Dra. em Física, Prof. Adjunto, Depto. de Física – INPE/CRS/ UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>3</sup>Mestre em Física, Doutorando do PPG em Física, Depto. de Física – INPE/CRS/ UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>4</sup>Lic. Em Física, Mestrando do PPG em Meteorologia, CRS/INPE/UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>5</sup>Dr. em Física, Prof. Adjunto, Depto. de Física – INPE/CRS/ UFSM, Santa Maria – RS.

<sup>6</sup>Dr. em Física, Prof. Adjunto, Depto. de Física – INPE/CRS/ UFSM, Santa Maria – RS.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011  
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

**RESUMO:** O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, destacando-se como o principal entre os países ocidentais, com cerca de 11 milhões de toneladas produzidas. A variabilidade da partição de energia para esse tipo de cultura é de fundamental importância para a descrição correta nos modelos que descrevem a interação superfície-atmosfera de áreas irrigadas. Nessa direção, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento dos fluxos de energia superficiais e o fechamento do balanço de energia para uma região com arroz irrigado. A partir dos resultados pode-se perceber que o balanço de energia apresenta uma maior defasagem justamente no período com a presença da lâmina de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** arroz irrigado, fluxos superficiais, balanço de energia

## **ABSTRACT: STUDY OF THE BEHAVIOR OF SURFACE ENERGY FLUXES FOR A RICE CULTURE**

Brazil is among the top ten world producers of rice, standing out as chief among the Western countries, with about 11 million tons. The variability of the partition of energy for this type of culture is crucial for the correct description of the models that describe the surface-atmosphere interaction in irrigated areas. In this direction, the objective of this work was to study the behavior of surface energy fluxes and energy balance closure for a region with rice. The results show that the surface energy balance present a greater discrepancy just in the period with the presence of the irrigation.

**KEYWORDS:** rice paddies, surface fluxes, energy balance

## **1. Introdução**

O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, destacando-se como o principal entre os países ocidentais, com cerca de 11 milhões de toneladas produzidas. A área cultivada com arroz irrigado no Brasil atinge aproximadamente 1,3 milhões de hectares por ano, com uma produtividade média de 5200 Kg/ha. O cultivo do arroz irrigado, presente em todas as regiões brasileiras, destaca-se na Região Sul que é responsável, atualmente, por 60% da produção total do produto.

O estudo da variabilidade quanto à partição de energia desta cultura é de fundamental importância para a descrição correta de modelos que descrevem a interação superfície-atmosfera, já que o arroz é cultivado em condições de irrigação na maior parte do seu estágio de crescimento (Tsai et al., 2007). Este fato afeta substancialmente as componentes do balanço de energia em relação a outras culturas não-irrigadas, ciclo da água, *runoff*,

armazenagem de água no solo (Terjung et al., 1989; Wu et al., 2001) e possíveis mudanças climáticas (Simmonds et al., 1999). Regiões com agricultura de irrigação geralmente não são representadas em modelos.

Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo do comportamento dos fluxos de energia superficiais para uma cultura de arroz irrigado na região central do Rio Grande do Sul, ou seja, verificar como se dá a partição de energia entre calor latente, sensível e do solo (levando em conta o período em que o arroz encontra-se com uma lâmina de água e os períodos de pousios).

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Descrição do sítio

Os experimentos de campo foram realizados sobre um terreno homogêneo com arroz irrigado no Sul do Brasil. O sítio experimental estava localizado na cidade de Paraíso do Sul (29°44'39,6''S; 53°8'59,8''W; 108 m). Esta região tem cultivado arroz irrigado desde a década de 80. Anteriormente a área era de banhado.

O período de estudo deste trabalho foi entre 22 de Julho de 2003 e 21 de Julho de 2004. O arroz foi plantado em 25 de Novembro de 2003 e colhido em 04 de Abril de 2004. O restante do período a superfície permaneceu coberta somente com vegetação rasteira e durante praticamente o ciclo inteiro do cultivo do arroz (final de Dezembro à final de Março) a superfície permaneceu coberta com uma camada de água de 7-10 cm. O cultivar utilizado foi IRGA 416, cultivar de ciclo precoce, lançada em 1991, com alta produtividade e excelente aspecto visual dos grãos.

### 2.2. Medidas contínuas de *eddy-covariance* e dados meteorológicos

Os registros de fluxos de calor latente e sensível foram obtidos usando a técnica de *eddy-covariance*. A partir de medidas de alta frequência de velocidade do vento, temperatura e umidade, a técnica determina os fluxos verticais pelo cálculo da covariância entre as flutuações da velocidade do vento vertical e as propriedades termodinâmicas da atmosfera.

O sistema *eddy-covariance* consiste de um anemômetro sônico 3D (CSAT 3, Campbell Scientific Inc., Logan, UT) para medidas de turbulência e um analisador de gás infravermelho caminho aberto (LI-COR, LI6556) para medidas de concentração de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, ambos medindo a uma taxa de 16 Hz e instalados a 10 m de altura. Em adição, foram realizadas medidas de temperatura e umidade relativa (HMP45C), temperatura do solo em cinco níveis (0.02, 0.05, 0.1, 0.2 e 0.5 m - STPO1-Hukseflux Thermal Sensors), umidade do solo em seis níveis (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6 e 1m -Delta T Device Profile Prob PR1), velocidade e direção do vento (Young 8100), pressão (PTB101B - Vaisala), precipitação (Rain Gauge TB4), radiação de onda longa (pyrgeometer CG1 - Kipp and Zonen) e radiação de onda curta (pyranometer CM6B - Kipp and Zonen), todos estes operando a 1Hz.

## 3. Resultados e Discussões

O balanço de energia na superfície pode ser representado pela transferência turbulenta de energia na forma de calor para aquecer a atmosfera (calor sensível) e evaporar a água (calor latente) e pela transferência por condução para aquecer o solo (fluxo de calor no solo).

A Figura 1a-c mostra as diferenças no balanço de energia no sítio de Paraíso do Sul-RS para os diferentes períodos ao longo de um ano (Pousio 1: 22/07/03 a 24/11/03; Arroz: 25/11/03 a 04/04/04 e Pousio 2: 05/04/04 a 21/07/04), no qual o ciclo do arroz compreende o

período desde a sementeira até a colheita (132 dias). O fluxo de calor latente (Le) foi sempre superior ao fluxo de calor sensível (H) durante todo o período. No entanto, verifica-se que o fluxo de calor no solo (G) é superior para o Pousio 1. A Figura 1a, enquanto para os demais períodos G tem seus valores diminuídos. Este fato ocorre principalmente porque no Pousio 1 é o período quando o solo está mais exposto, pois é neste período que ocorre a preparação da lavoura, facilitando assim que os raios solares cheguem até a superfície mais facilmente. Porém, no período com arroz, à medida que a vegetação vai cobrindo o solo, os raios solares são interceptados pela planta, diminuindo consideravelmente a quantidade de energia que chega à superfície. Além disso, cabe ressaltar que a cultura do arroz permanece irrigada durante praticamente todo o período, o que também contribui para que a temperatura do solo não alcance valores tão elevados, justificando assim a defasagem apresentada, principalmente no período com arroz e no Pousio 2. No Pousio 2 a lavoura permanece com os restos da colheita e ervas daninhas que se desenvolvem no local, contribuindo para que a superfície não sofra grandes variações de temperatura. O fluxo de calor sensível (H), por sua vez, apresenta valores maiores que o fluxo de calor no solo durante praticamente todo o período, com exceção do período entre a metade da tarde e o entardecer, devido à defasagem apresentada pelo fluxo de calor no solo (G), neste período o fluxo de calor no solo apresenta valores superiores ao fluxo de calor sensível (H).

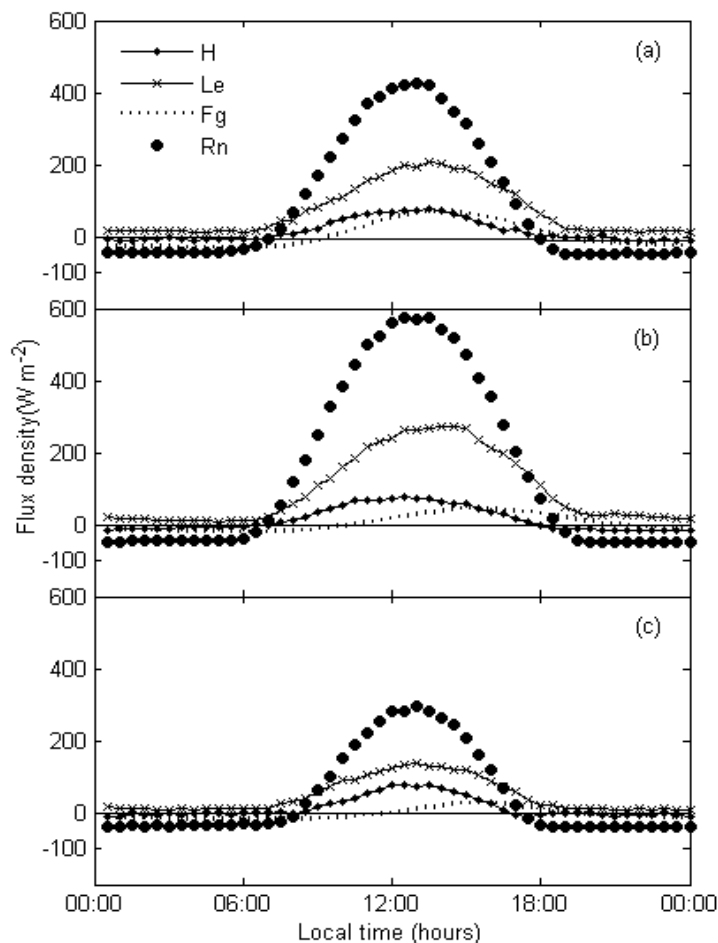


Figura 1. Ciclo diurno médio das componentes do balanço de energia para (a) Pousio 1: 22Jul03 a 24Nov03; (b) Arroz: 25Nov03 a 04Abr04 e (c) Pousio 2: 05Abr04 a 21Jul04.

A Figura 2 mostra os diagramas de dispersão do balanço de energia na superfície contra Rn para o período de Pousio 1, arroz e Pousio 2, respectivamente. Além disso, é

apresentada a variação diurna média da energia residual. Para ambos os períodos, o efeito dos termos de armazenamento do balanço de energia na superfície foi examinado comparando a soma dos termos dos fluxos turbulentos de calor H, Le e G contra Rn. Para o período de Pousio 1, arroz e Pousio 2 a inclinação do ajuste linear foi de 0.48, 0.39 e 0.61, respectivamente, indicando que toda energia não pode ser contabilizada somente como calor sensível, latente e do solo. A energia residual ( $R_n - (H+Le+G)$ ) exibe um padrão diário caracterizado por valores negativos durante a noite e valores positivos durante o dia. Durante o período com arroz a energia residual assume valores superiores aos períodos de Pousios, sendo que no Pousio 1 os valores da energia residual são ligeiramente superiores.

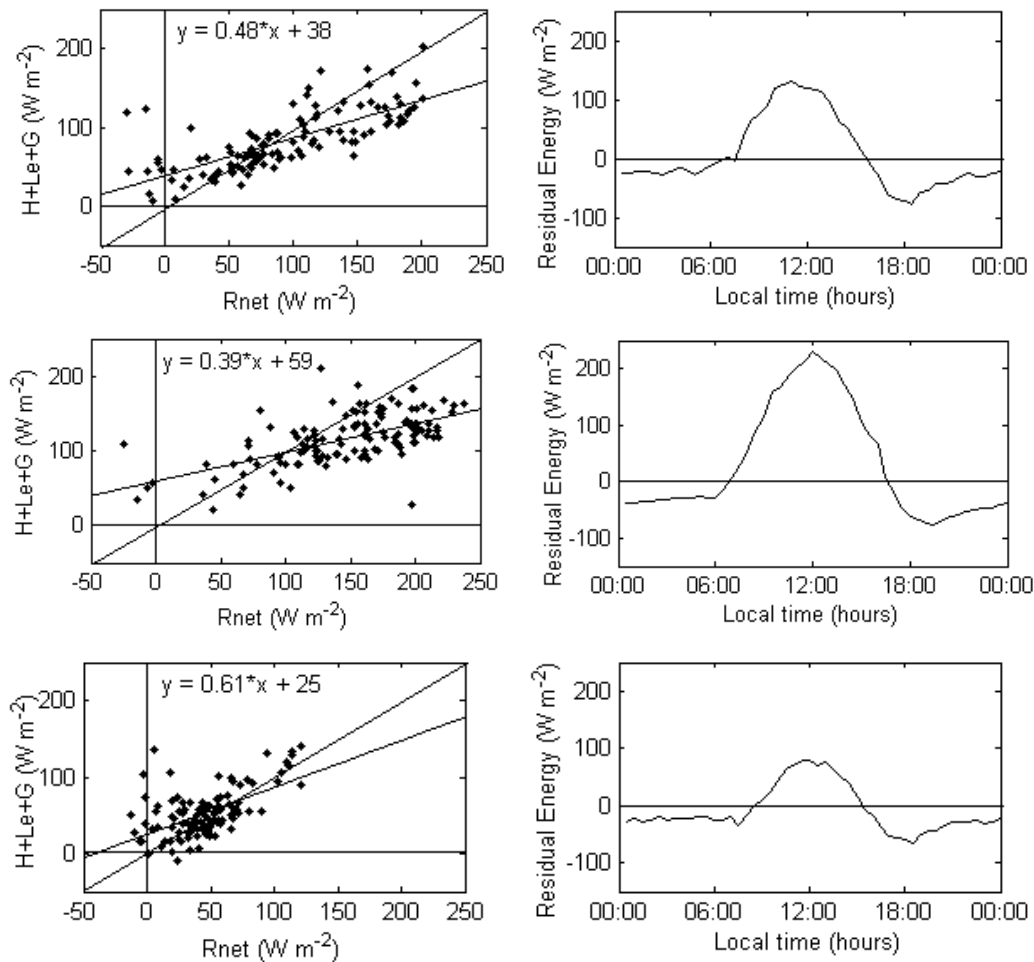


Figura 2. Diagrama de dispersão da energia disponível (radiação líquida) versus a soma dos fluxos de calor sensível, latente e do solo calculados para (a) Pousio 1, (c) Arroz e (e) Pousio 2. A linha preta tracejada representa o ajuste linear dos dados. Para referência, a linha 1:1 é também mostrada (linha preta sólida). Variação diurna média da energia residual ( $R_n - (H+Le+G)$ ) calculada a partir dos dados medidos para (b) Pousio 1, (d) Arroz e (f) Pousio 2.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho foi apresentado um estudo sobre o comportamento dos fluxos de energia superficiais com o objetivo de verificar como ocorre a partição de energia em culturas de arroz irrigado, já que regiões com agricultura de irrigação não são representadas em modelos que descrevem a interação superfície-atmosfera.

A partir dos resultados pode-se observar que o fechamento do balanço de energia diminui à medida que ocorre o crescimento da planta. A presença da água na lavoura provoca o aumento no fluxo de calor latente, logo nesse período pouca energia está sendo utilizada para aquecer a superfície e a atmosfera. Também verifica-se, de forma mais acentuada, que a energia residual assume valores bem superiores quando comparado aos períodos de pousios, o que se deve justamente pela presença da lâmina de água durante praticamente todo o período da cultura.

## 5. Referências

SIMMONDS, I.; Bi, D. and Hope, P. Atmospheric water vapor flux and its association with rainfall over China in summer. **Journal of Climate**, v.12, p.1353-1367.

TERJUNG, W.H. *et al.* Effects of monsoonal fluctuations on grains in China. Part II: Crop water requirements. **Journal of Climate**, v.2, p.19-37, 1989.

TSAI, J.-L. *et al.* Surface energy components and land characteristics of a rice paddy. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.46, p.1879-1900, 2007.

WU, R.S. *et al.* A simulation model for investigating the effects of rice paddy fields on the runoff system. **Mathematical and Computer Modelling**, v.33, p.649-658, 2001.