

# **ANÁLISE DO BALANÇO DE RADIAÇÃO EM SUPERFÍCIE DO EXPERIMENTO CHUVA – VALE DO PARAÍBA PARA DIAS SECOS E CHUVOSOS**

Thomas KAUFMANN<sup>1</sup>, Gilberto FISCH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INPE – São José dos Campos – São Paulo – tom.kaufmann@cptec.inpe.br

<sup>2</sup>IAE/DCTA – São José dos Campos – São Paulo – fisch.gilberto@gmail.com

**RESUMO:** Neste trabalho, analisou-se o impacto da nebulosidade e da chuva no saldo de radiação à superfície, utilizando os dados meteorológicos e de fluxo de radiação e energia do Experimento CHUVA – Vale do Paraíba. Observou-se que, de uma forma geral, sob condições de céu variando entre claro e nublado ou mesmo na ausência de chuva, o ciclo diurno do balanço radiativo à superfície apresentou as maiores amplitudes do período analisado, com máximos de 800 W/m<sup>2</sup>. Por outro lado, os dias de chuva apresentaram as menores amplitudes de balanço radiativo (até 60% menores).

**ABSTRACT:** The aim of this work is to analyze the impact of the clouds and the precipitation in the radiation budget. For this purpose, meteorological and flux datasets from CHUVA Experiment – Vale do Paraíba were used to characterize the weather conditions and the diurnal cycle of the surface fluxes. In general, under clear sky conditions or even in absence of precipitation, the diurnal cycle of the surface radiation budget showed the highest amplitudes in the analyzed period, with maximum values of 800 W/m<sup>2</sup>. On the other hand, the rainy days showed shorter amplitudes of surface radiation budget (up to 60% lower).

## **1 – INTRODUÇÃO**

A presença ou não de nuvens e de precipitação têm importante influência na magnitude do fluxo de radiação solar que chega até a superfície (Machado et al., 2002). Segundo Guichard et al. (2004), as nuvens interagem fortemente com fluxos superficiais de calor (sensível e latente), através da modulação do fluxo radiativo líquido (ondas curtas e longas) em superfície. Os fluxos de calor entre a superfície e a atmosfera, por sua vez, impactam outros fatores, tal como a temperatura do ar, a formação de nebulosidade e de chuva.

Assim, o objetivo deste trabalho é divulgar a análise do balanço de radiação à superfície, feita com base no conjunto de dados obtidos do Experimento CHUVA – Vale do Paraíba, para três condições de tempo distintas, a saber: caso seco (condição não-precipitante: 9 de novembro de 2011), caso frontal (condição precipitante: 15 de novembro de 2011), e caso convectivo (condição precipitante: 22 de novembro de 2011).

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

Nesta análise, considerou-se os dados (resolução temporal de 60 minutos) de fluxo (radiação de onda curta incidente e refletida, radiação de onda longa incidente e emitida, fluxo de momentum, fluxo de calor no solo, fluxos de calor sensível e latente) e dados meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, e velocidade e direção do vento). Durante o experimento, os instrumentos micrometeorológicos e a estação meteorológica de superfície estiveram localizados nas dependências do Instituto de Estudos Avançados do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (IEAv/DCTA), localizado na cidade de São José dos Campos / SP.

Neste trabalho, utilizou-se os dados coletados no período entre 7 de novembro e 22 de dezembro de 2011. Através da variável radiação de onda curta e longa para as componentes incidentes e refletida ou emitida, obteve-se o balanço radiativo, o albedo médio (entre 0900 e 1500 HL (Horário Local)) e o fluxo radiativo integrado entre o nascer e o por-do-sol (0600 e 1800 HL, respectivamente). As variáveis meteorológicas auxiliaram na caracterização das condições do tempo durante o período selecionado, *i.e.*, evolução da nebulosidade e ocorrência ou não de precipitação. Ao todo, foram identificados nove eventos de precipitação (dias 11, 13–16, 22–23, e 28 de novembro e dias 01–02, 08–10, 14–15, 18 e 20 de dezembro).

## 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 – Caso seco

No dia 9 de novembro de 2011 (Figura 1), uma massa de ar seco atuava sobre a região do Vale do Paraíba. A condição de tempo variava entre céu claro e nublado. Em função disso, foi identificado um máximo de radiação solar incidente ( $\sim 1190 \text{ W/m}^2$ ) em torno das 1200 HL, como mostra a Figura 1a. Próximo às 1200 HL, também se observou um máximo de radiação emitida pela superfície (Figura 1a) da ordem de  $50 \text{ W/m}^2$ . No entanto, os máximos de fluxo de calor no solo ( $\sim 115 \text{ W/m}^2$ ) (Figura 1b) e de fluxo de calor sensível ( $\sim 290 \text{ W/m}^2$ ) (Figura 1c) apresentaram uma leve defasagem (já esperada), ambos ocorrendo em torno de 1330 HL. Foram observados dois máximos de fluxo de calor latente, um máximo principal às 1200 HL ( $\sim 200 \text{ W/m}^2$ ) e outro máximo secundário às 1500 HL ( $\sim 180 \text{ W/m}^2$ ). Entre esses dois horários, ocorreu um contínuo aumento do albedo superficial (entre 0,15 e 0,20) (Figura 1d); um máximo de temperatura do ar e um mínimo de umidade relativa (não mostrados). Foram observados no balanço (Figura 1a) alguns decréscimos isolados dos valores de radiação de onda curta em resposta à presença diurna de nuvens do tipo cumulus. O saldo radiativo ao longo desse dia apresentou valores negativos da ordem de  $-50 \text{ W/m}^2$  antes do nascer do Sol; valores positivos a partir do nascer até o por do Sol, valor máximo ( $\sim 800 \text{ W/m}^2$ ) em torno das 1200 HL; tornando-

se novamente negativo após o por do Sol (da ordem de  $-50 \text{ W/m}^2$ ) em função da perda radiativa noturna / resfriamento da superfície.

### **3.2 – Caso frontal ou convecção forçada**

No dia 15 de novembro de 2011 (Figura 2), um sistema frontal atuava sobre a região. Foram observadas algumas características típicas associadas a essa condição de tempo (não mostradas): decréscimo de 9 hPa em 24 h na pressão atmosférica, decréscimo de  $8^\circ\text{C}$  na temperatura do ar, valores de umidade relativa acima de 80%, ventos com velocidades fracas (inferiores a 3,0 m/s) e direções variadas, e precipitação constante de fraca intensidade durante aproximadamente 24 horas (acumulado: 57 mm). Esse fato fez com que o ciclo diurno de radiação de onda curta e longa apresentasse pouca amplitude, devido à presença das nuvens e da chuva (Figura 2a). Por essa razão, os valores de fluxo de calor no solo e albedo superficial (Figuras 2b e 2d, respectivamente) acompanharam essa tendência, uma vez que pouca energia chegava até a superfície. Não foi possível averiguar o comportamento dos fluxos de calor sensível e latente (Figura 2c), já que os dados coletados pelos sensores de resposta rápida (*eddy-correlation*) foram influenciados pelo acúmulo de gotículas sobre os sensores. Ainda assim, o saldo radiativo (Figura 2a) foi consideravelmente baixo (valor máximo menor que  $300 \text{ W/m}^2$ ) se comparado ao caso seco (cujo máximo alcançou aproximadamente  $800 \text{ W/m}^2$ ).

### **3.3 – Caso convectivo natural / livre**

Dá-se ênfase ainda um caso de chuva não-frontal, ocorrido em 22 de novembro de 2011 (Figura 3), no qual houve registro de precipitação às 1500 HL (acumulado: 0,5 mm) e entre 1800 – 2300 HL (acumulado: 13 mm). Observou-se que o comportamento da pressão atmosférica, da temperatura do ar, da umidade relativa, da velocidade e direção do vento foram os mesmos do caso frontal (descrito na seção 3.2), no entanto, essas variações aconteceram apenas durante e ligeiramente após o horário da chuva. Por outro lado, assim como no caso seco (seção 3.1), o máximo de radiação solar incidente ocorreu próximo das 1200 HL (Figura 3a). Houve então o aquecimento gradual da superfície. Próximo às 1200 HL, como também se observa na Figura 3.1, ocorreu o máximo de radiação emitida pela superfície. Porém, os máximos de fluxo de calor no solo ( $70 \text{ W/m}^2$ , Figura 3b) e de fluxos de calor sensível e latente ( $175 \text{ W/m}^2$  e  $190 \text{ W/m}^2$ , respectivamente; Figura 3c) ocorreram antes das 1200 HL. Novamente, não foi possível averiguar o comportamento dos fluxos de calor sensível e latente após o início da precipitação (1500 HL). A Figura 3d mostra que houve duas tendências significativas de diminuição do albedo superficial entre 1200 e 1500 HL, bem como oscilações menores nesse período devido a presença da nebulosidade e da precipitação. Também, notou-se que o saldo radiativo acompanhou essa tendência e decresceu uma hora antes e durante os horários da chuva. Após a chuva das 1500 HL, houve um ligeiro acréscimo no fluxo de radiação de onda curta devido à

dispersão momentânea das nuvens mais espessas. A partir das 1800 HL, a precipitação havia recomeçado e como também já se aproximava do horário do por-do-sol, se observou outro decréscimo na incidência de radiação de onda curta e do saldo radiativo.

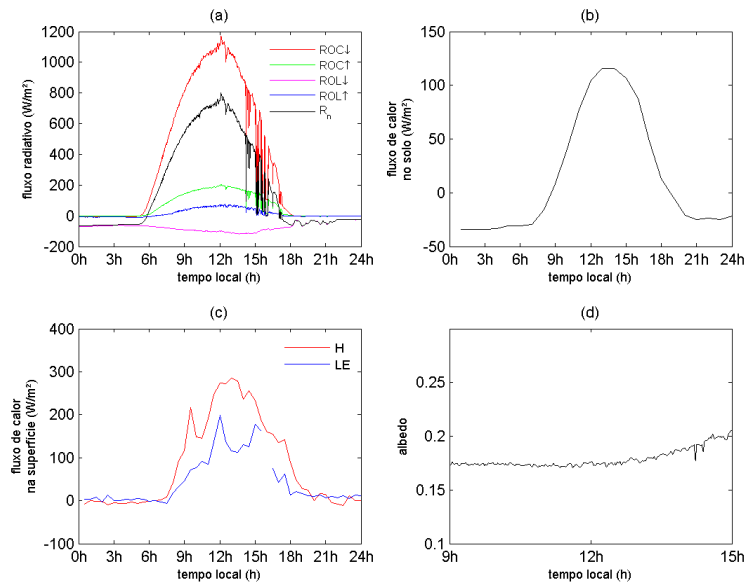


Figura 1. Séries temporais de (a) radiação de onda curta ROC e longa ROL, (b) fluxo de calor no solo, (c) fluxos de calor sensível H e latente LE e (d) albedo superficial para o dia 9 de novembro de 2011.

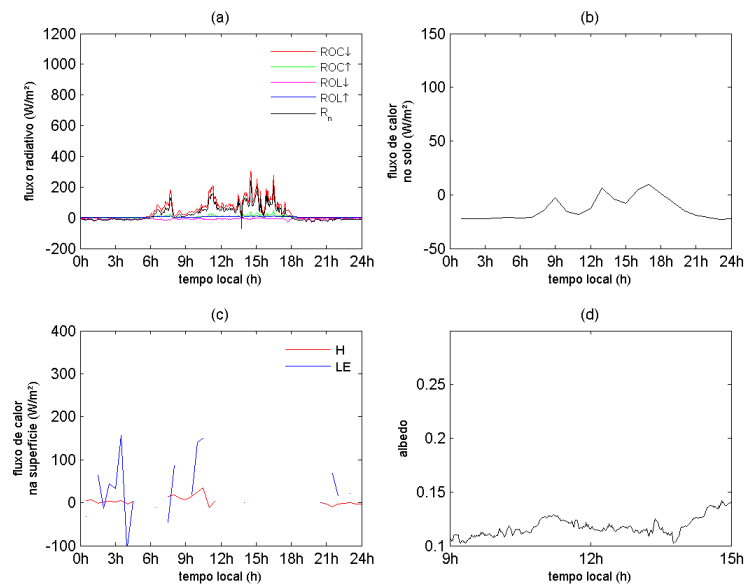


Figura 2. Séries temporais de (a) radiação de onda curta ROC e longa ROL, (b) fluxo de calor no solo, (c) fluxos de calor sensível H e latente LE e (d) albedo superficial para o dia 15 de novembro de 2011.

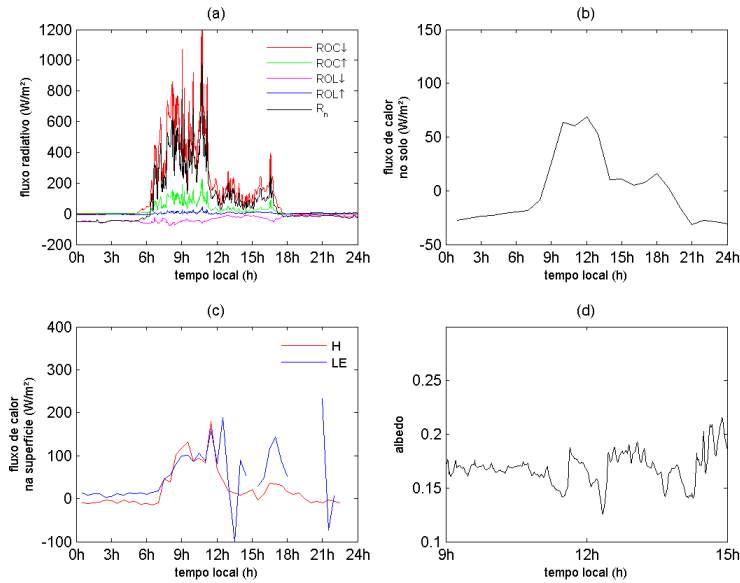


Figura 3. Séries temporais de (a) radiação de onda curta ROC e longa ROL, (b) fluxo de calor no solo, (c) fluxos de calor sensível H e latente LE e (d) albedo superficial para o dia 22 de novembro de 2011.

#### 4 – CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que, de uma forma geral, os dias chuvosos apresentaram a menor variação no saldo radiativo se comparados ao caso seco (valores até 60% menores) e, portanto, variação menor também nos fluxos radiativos de onda longa. O ciclo diurno da radiação afeta direta e indiretamente também o comportamento da pressão atmosférica, dos ventos, da temperatura e da umidade do ar; no entanto, observou-se que essas variáveis são influenciadas de forma mais efetiva durante a atuação de sistemas de escala sinótica. O caso que melhor ilustra isso foi o de chuva do tipo frontal, que ocorreu entre os dias 13–16 de novembro de 2011, quando o balanço radiativo na superfície foi fortemente afetado devido à presença das nuvens e da chuva na camada baixa da atmosfera. Com exceção dos nove casos chuvosos, os demais dias apresentaram um ciclo radiativo diurno típico de dias de céu claro para essa época do ano no Vale do Paraíba.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUICHARD, F.; e co-autores. Modelling the diurnal cycle of deep precipitating convection over land with cloud-resolving models and single-column models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2004, 130: 3139–3172, doi: 10.1256/qj.03.145.
- MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; LIMA, A. A. The diurnal march of convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(D20), 8064, doi: 10.1029/2001JD000338.