

ESTUDO NUMÉRICO DA INTERAÇÃO ENTRE CONVECÇÃO RASA E RADIAÇÃO COM ÊNFASE NO CICLO DIURNO DO BALANÇO DE ENERGIA À SUPERFÍCIE: COMPARAÇÃO ENTRE DUAS SIMULAÇÕES

Zilurdes Fonseca Lopes¹, Ênio Pereira de Souza², Josiclêda Domiciano Galvêncio³

¹ Doutoranda em Geografia - UFPE – zilurdes@gmail.com

² Prof. do Dept. de Ciências Atmosféricas da UFCG – esouza@dca.ufcg.edu.br

³ Prof.^a do Dept. de Ciências Geográficas da UFPE – josicleda@hotmail.com

Artigo recebido em 09/10/2011 e aceito em 09/03/2012

RESUMO

A finalidade deste estudo foi verificar se mais umidade do solo no modelo BRAMS proporcionará maior cobertura de cúmulos rasos que por sua vez influenciará no ciclo diurno do balanço de energia à superfície na Amazônia. A comparação foi feita com duas simulações uma com 50% de umidade do solo e a outra com 70% para dois regimes de vento. Dois experimentos foram executados: o primeiro denominado de SHA com convecção rasa e sem interação com a radiação solar e o segundo denominado de RAD, com convecção rasa e interação com a radiação solar. A mudança de umidade do solo no modelo fez com que os fluxos ficassem mais próximos ao observados, principalmente, o experimento que possuía interação entre convecção rasa e radiação.

Palavras-chave: Brams, convecção rasa, radiação

NUMERICAL STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN SHALLOW CONVECTION AND RADIATION WITH EMPHASIS ON THE DIURNAL CYCLE OF THE SURFACE ENERGY BALANCE: A COMPARISON BETWEEN TWO SIMULATIONS

ABSTRACT

The purpose of this study was to verify if more soil moisture in the BRAMS model will provide greater coverage of shallow cumulus clouds which in turn influence the diurnal cycle of the surface energy balance in the Amazon. The comparison was made with two simulations with a 50% soil moisture and the other with 70% for two wind regimes. Two experiments were performed: the first called SHA shallow convection with and without interaction with the solar radiation and the second called RAD, with shallow convection and interaction with solar radiation. The change in soil moisture in the model caused the flows to stay closer to observed mainly the experiment that had shallow interaction between convection and radiation.

Key words: Brams, shallow convection, radiation.

INTRODUÇÃO

As nuvens exercem papel importantíssimo no balanço de radiação da Terra. Elas não somente transportam calor e umidade verticalmente na atmosfera, mais também afetam fortemente os balanços de radiação solar e terrestre de escalas global e local. Devido a sua importância os seus efeitos são estudados em modelos de previsão numérica, sendo que as nuvens profundas, que têm escala aproximadamente de 10^2 e 10^3 m são as mais estudadas devido as suas altas taxas de precipitação que produzem.

Devido às nuvens rasas não precipitarem, elas recebem pouca atenção em modelos numéricos. As nuvens estratocúmulos foram as primeiras nuvens rasas consideradas importantes em modelos de clima global devido a sua influência no balanço de radiação da terra (Lilly, 1968 citado por Deng e Seaman, 2003). As nuvens rasas tipo cúmulos representam importante papel para a manutenção da camada de nuvem. Elas representam uma fonte de calor e um sumidouro de umidade na parte superior da camada de mistura, causando aquecimento e secagem na região em contorno da base da nuvem. Devido às nuvens cúmulos não precipitarem e pela presença de uma camada mais estável e seca acima da camada de cúmulos, a

reevaporação causa resfriamento e umedecimento da parte superior da nuvem o que causa um transporte líquido de calor para baixo e de umidade para cima na região em que a convecção rasa atua (Betts, 1975).

Em modelos numéricos os efeitos dos cúmulos rasos (aquecimento, resfriamento evaporativo, mistura, etc) são determinados explicitamente através de parametrizações devido eles terem escala típica na ordem de 1km. Souza (1999) propôs uma parametrização para a convecção rasa no modelo RAMS (Regional Atmospheric Modelling System), para calcular o fluxo de massa pela convecção durante o RBLE-3 (Rondônia Boundary Layer Experiment-3).

Suas simulações representaram melhor os perfis termodinâmicos da atmosfera. Vários estudos têm mostrados como a implementação da convecção rasa em modelos numéricos tem melhorado a estrutura vertical termodinâmica, ciclo diurno (Zhu e Pretherton, 2004; Souza e Silva, 2003) e balanço de energia (Souza e Silva, 2004). Siebesma et al. (2003) mostraram a intercomparação da convecção cúmulos rasos em modelos de simulação de grandes turbilhões e averiguaram que uma simulação de 6 horas teve excelente concordância da estrutura vertical termodinâmica

observada de modelo para modelo. Os esquemas de convecção rasa podem simular ambientes sinóticos diferentes e as condições de mudanças bruscas associadas com fortes fluxos de superfície Deng et al. (2003). Os resultados de Souza et al., 2009 mostraram que a consideração da interação entre convecção rasa e radiação podem produzir simulações mais realistas do balanço de energia a superfície.

O objetivo deste trabalho é averiguar se mais umidade no solo no modelo BRAMS proporcionará cobertura de nuvem cúmulos rasos maior no período do ciclo diurno do balanço de energia à superfície na Amazônia, isso é feito comparando duas simulações: uma com 50 % de umidade no solo e outra com 70%.

MATERIAL E MÉTODOS

O “*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*” – BRAMS, foi o modelo utilizado neste trabalho e o mesmo foi desenvolvido a partir do RAMS sua estrutura básica é descrita em Pielke et al. (1992). As parametrizações físicas utilizadas são: radiação de onda longa e de onda curta, de acordo com Chen e Cotton (1983). A turbulência na Camada Limite Planetária foi calculada segundo Mellor e Yamada (1986). A

microfísica segue o esquema descrito por Walko et al. (1995). A convecção profunda que é do tipo Kuo (Kuo, 1974), modificada por Molinari (1985) e Molinari e Corsetti (1985). A interação superfície-atmosfera foi efetuada no BRAMS através do modelo LEAF-2 (Walko et al. 2000).

Parametrização de cúmulos rasos

O esquema de cúmulos rasos segue a formulação desenvolvida em Souza (1999) do tipo fluxo de massa que se baseia no princípio que uma vez que a atmosfera é forçada pelo fluxo de energia à superfície um fluxo de massa é necessário para que a atmosfera tente estabelecer uma relação de equilíbrio radiativo convectivo local. Isso estabelece uma relação direta entre o fluxo de massa convectivo e o forçante de superfície, reproduzindo uma característica observacional (Wilde et al., 1984).

As equações usadas para entalpia e umidade específica total são:

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} (\overline{w' s_1'}) = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{M_c}{\rho} (s_c - L q_1 - \bar{s}) \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{q}_t}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} (\overline{w' q_t'}) = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{M_c}{\rho} (q_{lc} + q_{vc} - \bar{q}_t) \right) \quad (2)$$

nas quais, $s = c_p T + gz$ é a energia estática seca, c_p o calor específico do ar seco sob pressão constante, T a temperatura

absoluta, g a aceleração da gravidade, z a altura hidrostática, $q_t = q_v + q_l$ a umidade específica total, q_l é a umidade específica da água líquida, $s_l = s - Lq_l$ a energia estática da água líquida e L calor latente específico de vaporização. As quantidades marcadas com uma linha referem-se a perturbações causadas pela presença de convecção. M_c é o fluxo de massa dado por:

$$M_c = \frac{\eta F_{ab}}{TCAPE} \quad (3)$$

em que ρ é a densidade do ar, σ área fracional coberta por correntes ativas dentro da nuvem e w_c a velocidade vertical, η é a eficiência termodinâmica, F_{abs} é o fluxo de energia absorvida pelo sistema, e $TCAPE$ a energia potencial convectiva total disponível.

Os perfis verticais das propriedades da nuvem foram obtidos através das equações do esquema de Arakawa e Schubert (1974), para uma única nuvem (Albrecht et al., 1986). As propriedades da nuvem indicadas pelo símbolo c são obtidas através do modelo de entranhamento contínuo.

$$\frac{\partial h_c}{\partial z} = -\lambda_z (h_c - \bar{h}) \quad (4)$$

$$(s_c - \bar{s}) \approx \frac{1}{1 + \gamma_v} (h_c - \bar{h}_s) \quad (5)$$

$$q_{vc} = \bar{q}_s + \frac{\gamma_v}{(1 + \gamma_v)L} (h_c - \bar{h}_s) \quad (6)$$

nas quais, $\gamma_v \equiv \left(\frac{L}{c_p} \frac{\partial q_{vs}}{\partial T} \right)_p$, e o subscrito

s refere-se a valores das variáveis à saturação. Uma vez determinado o perfil de q_{vc} , o perfil de q_{tc} (sem conversão de água de nuvem para água de chuva) pode ser obtido de:

$$\frac{\partial q_{lc}}{\partial z} = -\frac{\partial q_{vc}}{\partial z} = -\lambda(q_{vc} - \bar{q}_v) - \lambda q_{lc} \quad (7)$$

Parametrização de cobertura de nuvens cúmulos

Albrecht (1981) definiu o decaimento das nuvens pela diferença do teor de água entre nuvem e o ambiente, ele também estabeleceu que a nuvem é aproximadamente não flutuante quando sua evaporação é completa, em tal caso, para uma nuvem individual, a evolução temporal do teor de água dentro da nuvem é governada por uma função de decaimento exponencial com o tempo, dada por:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau} \quad (8)$$

em que, $Q = q_c + q_l - \bar{q}$ é a diferença do teor de água total entre a nuvem e o ambiente e τ é o tempo de decaimento exponencial. Baseado nesse princípio, Albrecht (1981), definiu que o campo total da cobertura de nuvem é:

$$C = \frac{SR - 1}{SR - RH} \quad (9)$$

em que: $RH = \bar{q}/\bar{q}_s$ é a umidade relativa do ambiente e $SR = (q_{c0} + q_{l0})/\bar{q}_s$ é a

razão de saturação. Porém, essa equação não é aplicada para nuvens com empuxo negativo, nas quais SR seria menor que 1, resultando em uma cobertura de nuvem negativa, o que seria fisicamente inaceitável.

Haiden (1996), solucionou o problema definindo uma nova razão de saturação (SR). Ele utilizou a energia estática úmida no processo de decaimento pelo balanço de calor, dada por: $h = c_p T + gz + Lq$, onde: z é a altura, g aceleração da gravidade, L é o calor latente de evaporação e c_p é o calor específico do ar a pressão constante, sendo que a evolução temporal da energia estática úmida é governada por uma equação análoga à Equação (8) dada por:

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{H}{\tau} \quad (10) \text{ onde } H = h_c - \bar{h}.$$

Após a integração e algumas combinações de equações, tem-se a equação para a cobertura de nuvem escrita na seguinte forma:

$$\sigma = \frac{1}{1 + \frac{\delta \bar{q}}{(1 + \gamma) l_0}} \equiv \frac{1}{1 + \frac{1}{m}} \quad (11)$$

Os valores do conteúdo de água líquida (Equação 7) e de cobertura de nuvem (Equação 11) são passados para a rotina de radiação, que usa esses valores para aumentar a espessura óptica na camada de nuvem. Dessa forma, acontece a interação dos cúmulos rasos com a radiação de onda curta e de onda longa.

DADOS E EXPERIMENTOS

Os dados utilizados são os da campanha do WETAMC/LBA, realizado no período de 10 de janeiro a 28 de fevereiro de 1999. A simulação foi feita com duas grades, a primeira com resolução horizontal de 80 km, cobrindo todo o território do Brasil e vizinhança e a segunda com 20 km, centrada no estado de Rondônia. Foram considerados nove níveis do solo e dois experimentos foram realizados, o primeiro denominado de SHA com convecção rasa e sem interação com a radiação solar, o segundo denominado de RAD, onde a convecção e a interação com a radiação foi ativada. As simulações foram feitas para dois regimes de vento: regime de vento de oeste para o período de três dias, entre 05 de fevereiro a 00 UTC até 08 a 00 UTC, e regime de vento de leste compreendendo o período de 10 de fevereiro a 00 UTC até 13 de fevereiro a 00 UTC. Embora haja outros períodos de ventos característicos (Rickenbach et al., 2002), infelizmente somente para esses dois regimes de vento têm dados observados tanto de calor sensível como de calor latente, saldo de radiação, temperatura do ar e pressão atmosférica com três dias consecutivos para fazer as comparações entre as simulações e as observações.

RESULTADOS

Em Souza et al, 2009 foi analisado o ciclo diurno do balanço de energia com ênfase na cobertura de nuvens cúmulos rasos com a umidade do solo de 50 % (padrão do BRAMS). Aqui, as análises serão feitas comparando essa simulação com outra com modelo aumentará a cobertura de nuvens cúmulos rasos o que refletirá no balanço de energia à superfície. As Figuras 1a, 1b, 2a e umidade do solo com 70 % com o propósito de averiguar se mais umidade do solo no 2b mostram o ciclo médio da cobertura de nuvem cúmulos rasos para os experimentos SHA (sem interação entre a radiação e a convecção rasa) e RAD (com interação entre a radiação e a convecção rasa) para o regime de vento de oeste (que daqui por diante será chamado de W_2) e para o regime de vento de este (que daqui por diante será chamado de E_2) com umidade no solo com 50% e 70%, respectivamente. O padrão da cobertura de nuvens segue o mesmo nas duas simulações. Houve queda na cobertura de nuvem máxima do E_3 nos dois experimentos quando mudou a umidade do solo de 50% para 70%. No entanto, a variação da cobertura com umidade do solo com 70% (U_{s70}) é maior que aquela com a simulação com umidade do solo com 50% (U_{s50}), principalmente, para o experimento RAD.

É interessante notar, como os experimentos mostram uma variabilidade bem maior do que aquela para U_{s50} .

No saldo de radiação, as diferenças maiores foram observadas no E_3 e são contempladas na variabilidade, bem como na amplitude de seus picos, os quais são bem destacados e a hora da ocorrência do fluxo máximo, coincide com a observada. Fato este que se pode atribuir à diminuição acentuada da cobertura de nuvem as 12hl. Ainda nesse regime, ao invés da cobertura de nuvem aumentar, com o acréscimo de umidade no solo, ela diminuiu, porém não se observa aumento significativo no seu saldo de radiação. Isso sugere que a radiação de onda longa emitida pela superfície foi predominante, o que explica o decréscimo da cobertura de cúmulos quando se aumentou a umidade do solo (Figuras 4a e 4b). As mudanças sucedem no horário da ocorrência da máxima radiação no experimento RAD, o que corresponde às observações. O ciclo diurno médio do saldo de radiação foi maior para o E_3 , o que encontra correspondência com o observado. O saldo médio de radiação, em termos quantitativos, é melhor representado pelo experimento sem interação com a radiação no W_2 nas duas simulações (Figuras 3a, 3b), ao passo que, o RAD

representou melhor o E_3 tanto quantitativamente como qualitativamente.

Figura 1. Ciclo médio diurno da cobertura de cúmulos rasos para os experimentos SHA e RAD para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 (b) de umidade do solo.

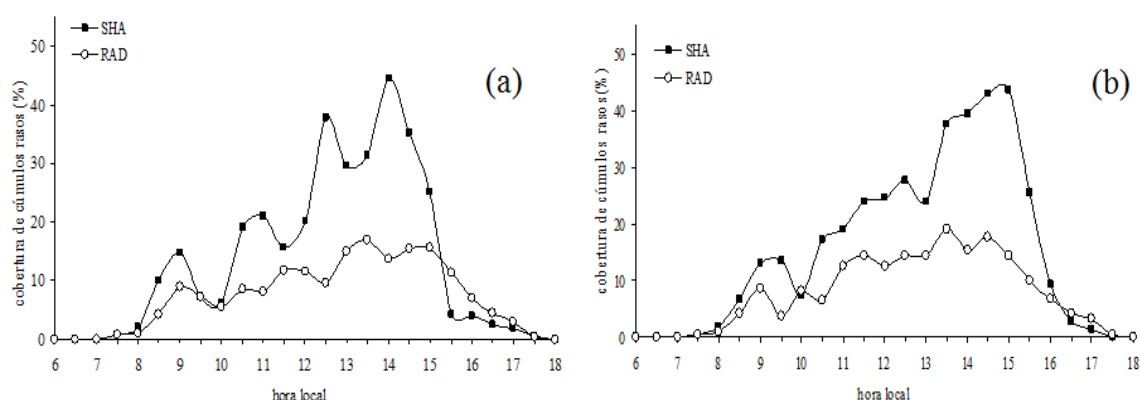


Figura 2 - Ciclo médio diurno da cobertura de cúmulos rasos para os experimentos SHA e RAD para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70 (b) de umidade do solo.

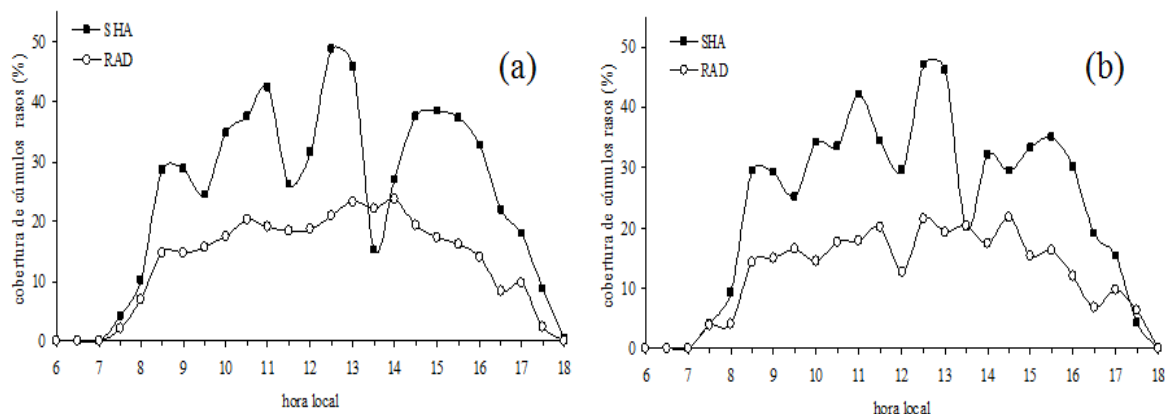


Figura 3 - Ciclo médio diurno do saldo de radiação para os experimentos SHA e RAD para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

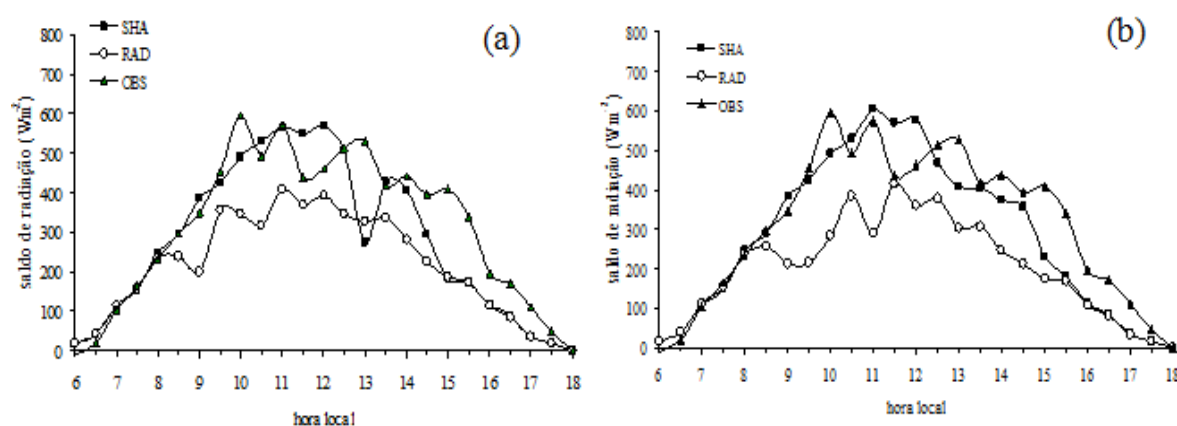
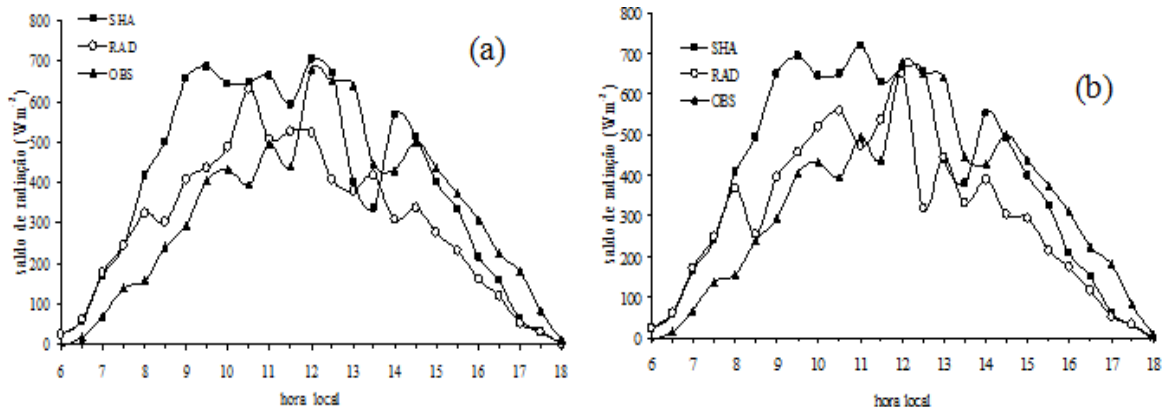


Figura 4 - Ciclo médio diurno do saldo de radiação para os experimentos SHA e RAD para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70% (b) de umidade do solo.



O W_2 , Figura 5, com a mudança da umidade do solo o fluxo de calor sensível apresentou melhor correlação com as observações do que E_3 . Com a queda no fluxo de calor sensível do modelo, o experimento RAD superestima as observações somente as 12 hl devido a grande queda no fluxo de calor sensível observado. O experimento SHA com exceção das 11hl tem fluxo de calor sensível semelhante ao observado e no restante do ciclo ora subestima ora superestima as observações. O pico que as observações apresentam no fluxo de calor sensível às 11 hl chega a ser maior, cerca de $148,3 \text{ Wm}^{-2}$ para o RAD e $67,31 \text{ Wm}^{-2}$ para o SHA, no W_2 (Figura 5a e 5b). Houve proximidade do fluxo do experimento RAD, E_3 (Figura 6), na primeira metade do ciclo diurno devido à diminuição do fluxo de calor sensível. Observa-se queda no fluxo de calor sensível nos dois experimentos tanto nos seus valores médios quanto nos máximos, nos dois regimes de vento. A redução é

maior para seu valor máximo nos dois experimentos no W_2 .

Já no E_3 , o experimento SHA tem pequena queda em seus os valores médios e máximos, e o RAD manifesta maior redução no seu fluxo máximo. O experimento RAD é o que melhor expressa o ciclo diurno médio do fluxo de calor sensível nos dois regimes de vento. O ciclo médio diurno do fluxo de calor sensível do experimento SHA se correlaciona melhor com os regimes de vento. O fluxo de calor sensível do W_2 foi menor que o de E_3 o que corresponde o fluxo de calor sensível observado.

O fluxo de calor latente para o W_2 teve diminuição nos experimentos o que proporcionou uma proximidade entre o fluxo do modelo e o observado, sendo que em alguns horários o fluxo do experimento RAD chega a ser igual ao das observações (Figura 7). Entretanto, a variabilidade que antes o experimento RAD apresentava com U_{50} diminuiu. No E_3 (Figura 8) os dois experimentos

apresentaram variações que são parecidas com as observadas e o fluxo máximo

ocorreu no mesmo horário que o observado.

Figura 5 - Ciclo médio diurno do fluxo de calor sensível para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

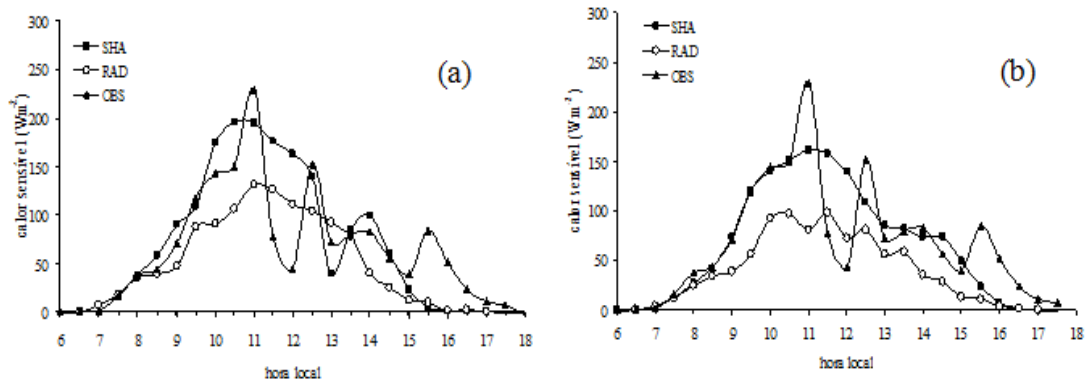
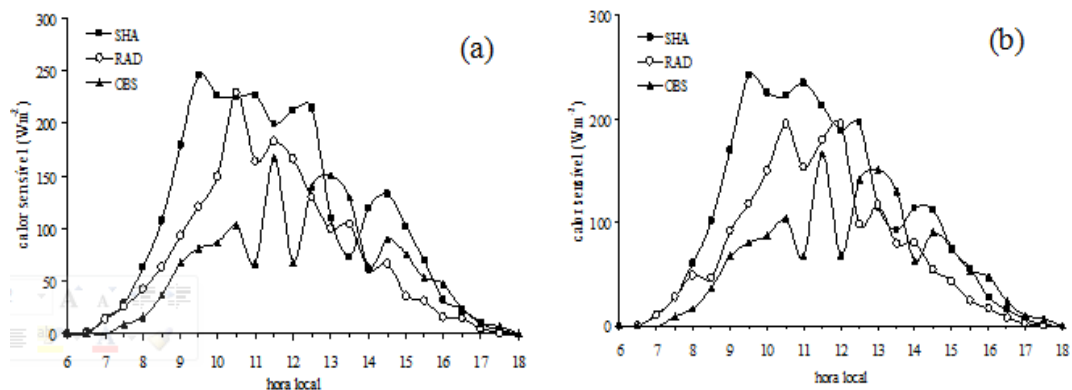


Figura 6 - Ciclo médio diurno do fluxo de calor sensível para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.



O fluxo de calor latente apresentou-se com contraste entre os regimes. No W_2 houve queda no fluxo médio e máximo dos dois experimentos, com maior redução no fluxo máximo no RAD que se percebe queda de quase 84 Wm^{-2} . Essa diminuição no fluxo de calor latente maior para o experimento RAD pode ser explicada pela cobertura de nuvem maior que influenciou no saldo de radiação e consequentemente no desenvolvimento da convecção, e assim no fluxo de calor latente. Isso foi mais

expressivo para o experimento RAD porque o mesmo tem interação com a radiação. Os experimentos do E_3 tiveram também pequeno aumento no seu fluxo médio e máximo, não obstante, como no W_2 , o experimento RAD é que exibe o máximo valor com $59,4 \text{ Wm}^{-2}$ de aumento. Para esse regime, mais água disponível no solo, não aumentou a cobertura de cúmulos rasos, pelo contrário, houve uma redução e a energia disponível, tudo indica, foi mais utilizada na forma de calor latente, visto que o

fluxo de calor sensível foi negativo. O ciclo médio diurno do fluxo de calor latente no regime de leste foi maior que o

de oeste o que está de acordo o fluxo observado.

Figura 7 - Ciclo médio diurno do fluxo de calor latente para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo

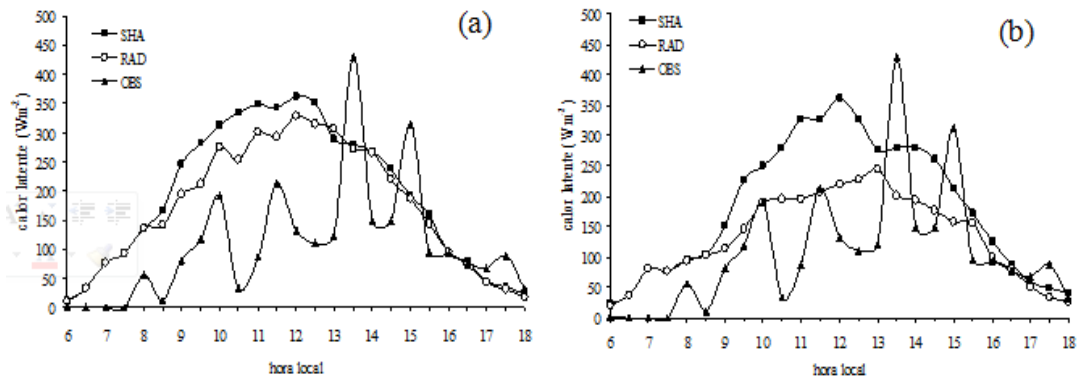
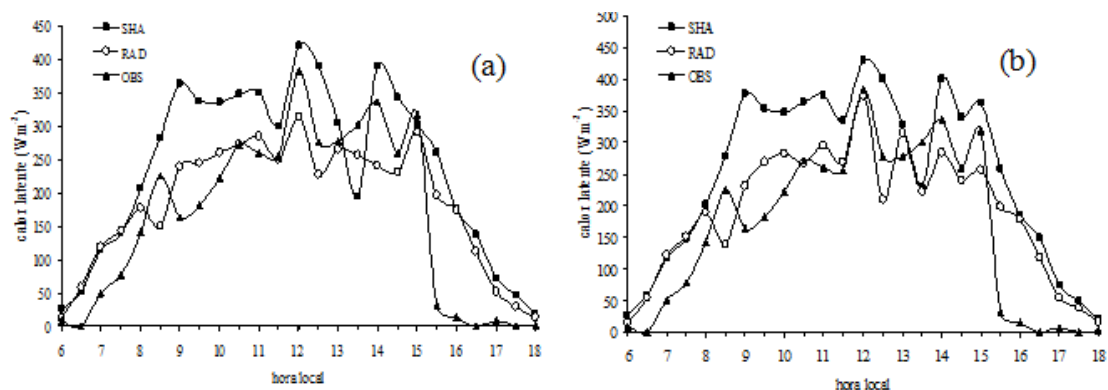


Figura 8 - Ciclo médio diurno do fluxo de calor latente para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.



O cálculo da fração evaporativa (FE) foi obtida de acordo com Betts e Jakob (2002) como: $FE = LE/(LE+H)$ em que LE é o fluxo de calor latente e H é o fluxo de calor sensível. As variações da fração evaporativa (FE) do experimento SHA no W_2 (Figura 9) são mais uniformes, o pico apresentado às 13 h

com 50 % de umidade do solo desapareceu. A variabilidade da fração evaporativa do experimento RAD é melhor assim como a diferença entre os dois experimentos. A FE se correlaciona bem com o fluxo de calor latente (Figura 7b), uma vez que o fluxo de calor latente diminuiu e a FE também apresentou uma

pequena queda. O E_3 (Figura 10) apresenta-se contrário ao mesmo regime com umidade do solo de 50%. A fração evaporativa que apresentava variação em todo o período diurno com U_{50} , no experimento RAD, passa a ter crescimento constante com o decorrer do período. Todavia, a FE corresponde bem à queda do fluxo de calor sensível e o aumento no fluxo de calor latente no modelo Figura 6b e 8b, respectivamente. Observa-se ainda, que a FE observada é superior que a do modelo em todo o ciclo diurno, que se pode atribuir ao fluxo de calor sensível observado, o qual é muito pequeno.

Na Figura 11, observou-se que a razão de mistura dos dois experimentos para o W_2 com 70% de umidade do solo ficou mais próxima da observada. Principalmente no período de maior atividade dos cúmulos rasos, a razão de mistura apresentou maior queda, devido à quantidade de água disponível no solo ser maior. O que se verifica no E_3 , Figura 12, foi que 20 % a mais de umidade do solo no modelo não teve nenhuma mudança significativa na razão de mistura.

A temperatura potencial manifesta queda nos experimentos tanto no W_2 (Figura 13) quanto no E_3 (Figura 14) que tem redução superior a 1 K no experimento RAD, o que ocasionou diferença maior entre a temperatura do

modelo e aquela observada, sendo que no período de máxima atividade dos cúmulos rasos diferença foi menor. Os dois experimentos expressaram diferença maior do que a observada na simulação com 50 % de umidade do solo. A temperatura média do modelo foi menor que a do W_2 . Porém, a temperatura do E_3 na simulação de 50 % de umidade do solo é superior e na simulação com 70 % é inferior.

A condensação devida à saturação na escala da grade serve para avaliar o impacto da configuração dos fluxos de superfície em algumas variáveis do modelo. A condensação diminuiu nos dois experimentos para o W_2 (Figura 15). O experimento com interação com a radiação mostra pequena variabilidade na simulação com U_{50} e há uma defasagem da condensação no decorrer do período com relação à simulação com U_{50} . Outra diferença foi com relação ao horário do término da condensação de nuvem, que se antecipou duas horas. O experimento SHA tem também decréscimo na condensação de nuvem, a amplitude dos seus picos também diminuiu. No E_3 , verifica-se uma amplitude menor de seus picos no experimento SHA enquanto que o experimento RAD tem um pequeno aumento na condensação de nuvem (Figura 16).

Figura 9 - Ciclo médio diurno da fração evaporativa para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

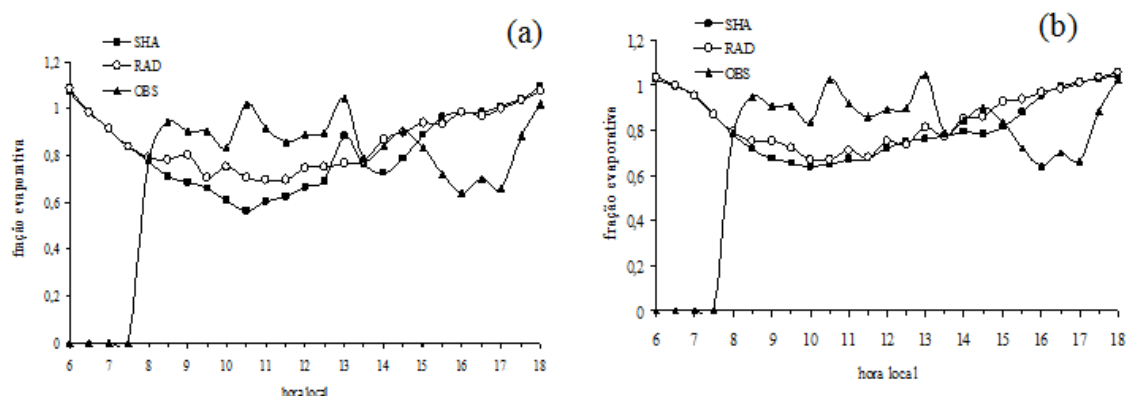


Figura 10 - Ciclo médio diurno da fração evaporativa para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

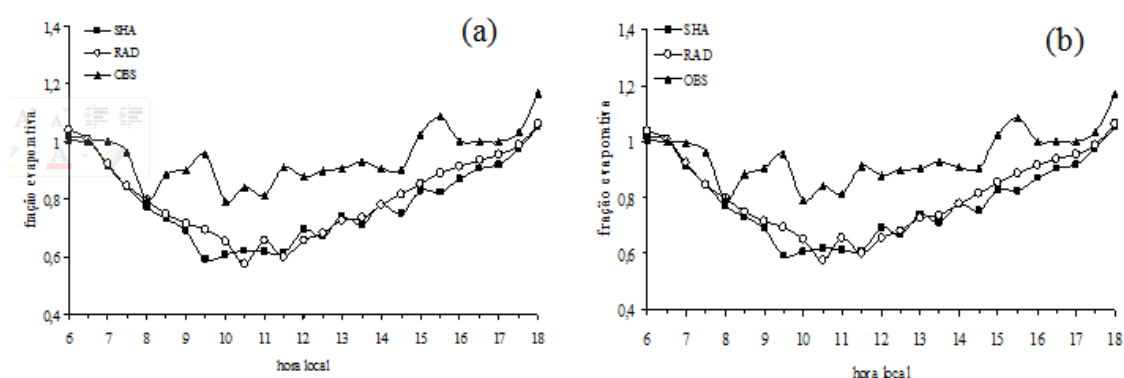


Figura 11 - Ciclo médio diurno da razão de mistura para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

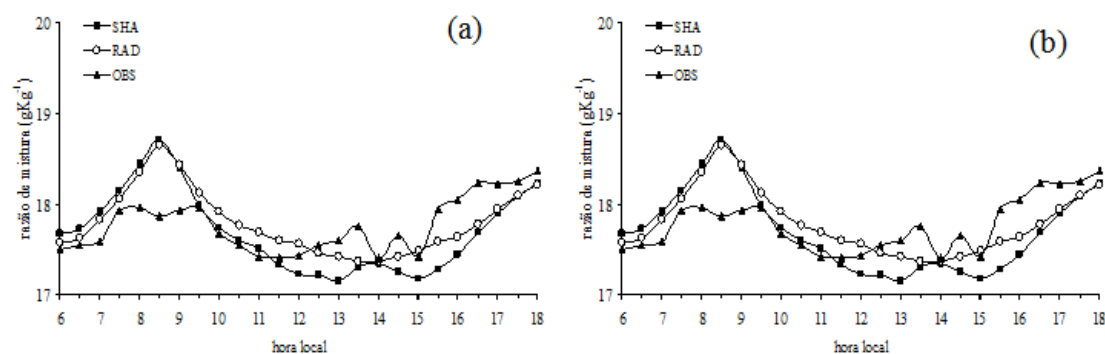


Figura 12 - Ciclo médio diurno da razão de mistura para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70% (b) de umidade do solo.

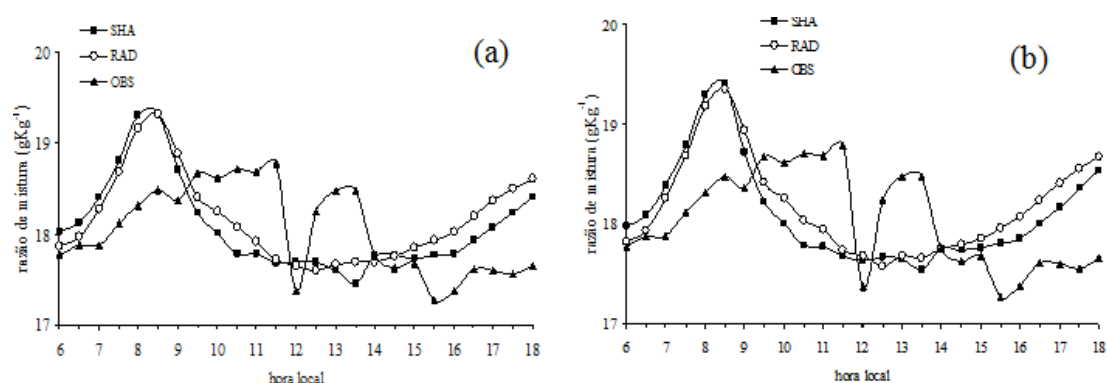


Figura 13 - Ciclo médio diurno da temperatura potencial para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

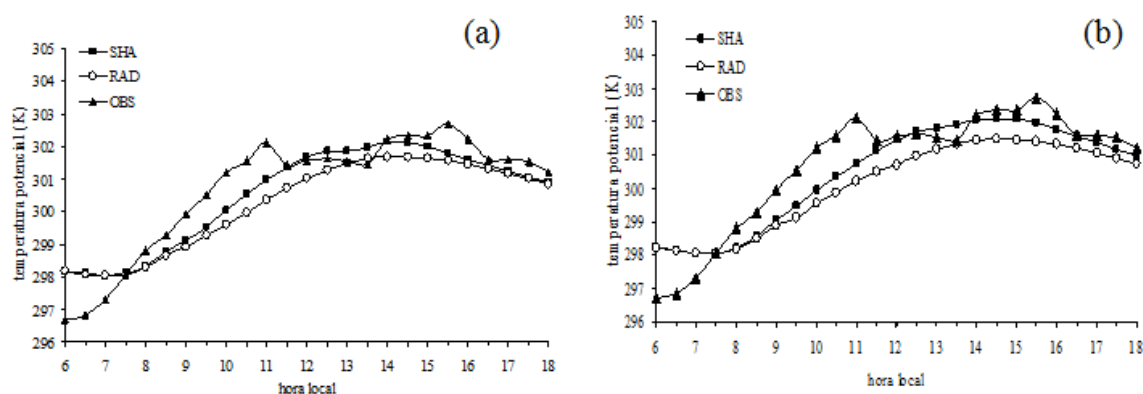


Figura 14 - Ciclo médio diurno da temperatura potencial para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

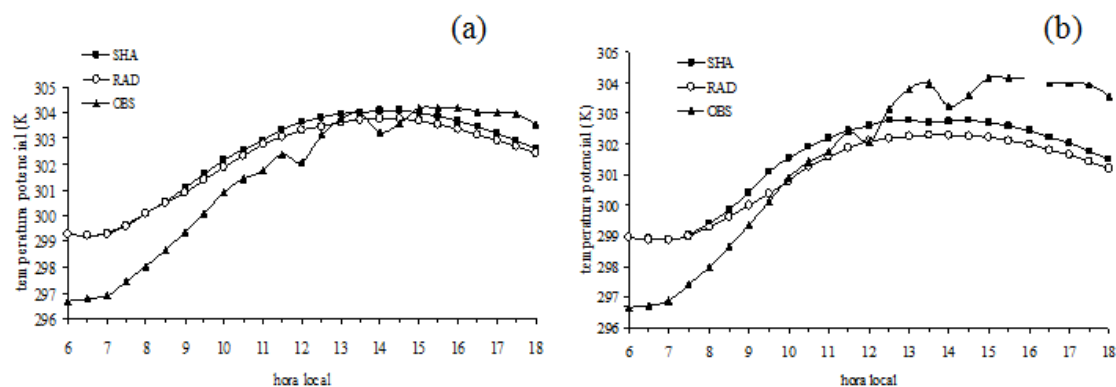


Figura 15 - Ciclo médio diurno da condensação formada na escala da grade do modelo para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de oeste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.

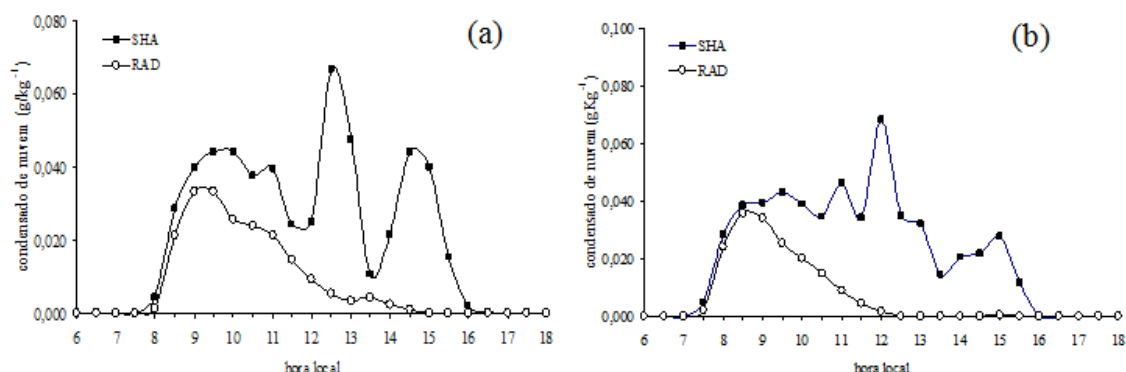
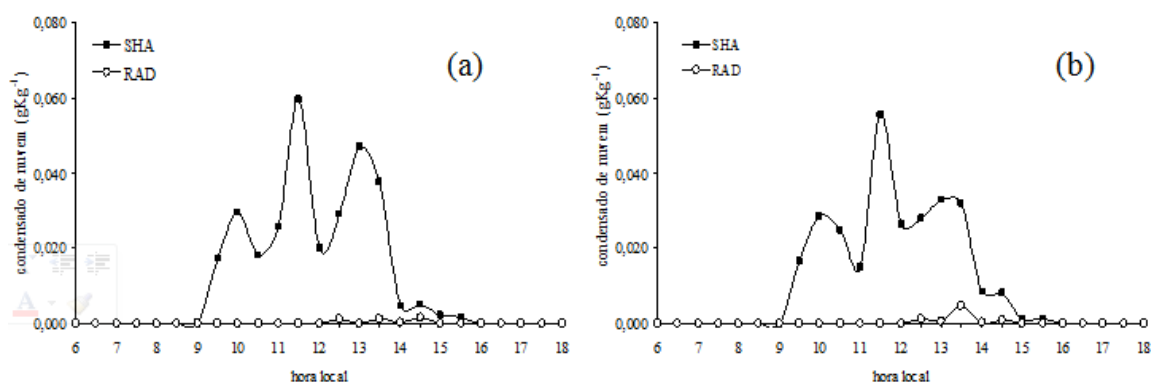


Figura 16 - Ciclo médio diurno da condensação formada na escala da grade do modelo para os experimentos SHA e RAD e observado para o regime de vento de leste com 50 % (a) e 70 % (b) de umidade do solo.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fluxos foram bastante sensíveis à cobertura de cúmulos rasos. Isso foi mais destacado no regime de oeste quando se mudou a umidade do solo de 50 % para 70 %. Quando houve a mudança na umidade do solo, o sombreamento foi bem maior, principalmente, no experimento com interação entre nuvem e radiação, que diminuiu ainda mais seus fluxos a superfície devido a grande atenuação no forçante convectivo. No caso do regime de

leste, a mudança na umidade do solo, não alterou a cobertura de cúmulos rasos com relação ao ponto de vista quantitativo. Em termos qualitativos a simulação com 70 % de umidade do solo proporcionou fluxos mais semelhantes ao observados, isso foi mais evidente no experimento com interação entre nuvem e radiação, devido à reciprocidade entre os dois.

A diferença entre os dois regimes no que tange ao impacto dos cúmulos rasos, nos fluxos a superfície, pode ser

explicada pela diferença entre a atmosfera observada nos dois regimes. O regime de vento de oeste era típico de céu nublado e mais umidade no solo inibiu o desenvolvimento da convecção, devido maior atenuação na radiação. Enquanto que o regime de leste era típico de céu claro, a mudança de umidade de 50 % para 70 % favoreceu o desenvolvimento da convecção, porque a radiação de onda longa foi predominante, isso foi refletido nos fluxos a superfície. Motivo pelo qual, o experimento com interação entre convecção forçada termicamente e a radiação representaram melhor o regime de leste, e o sem interação, o regime de oeste.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no período em que Zilurdes Fonseca Lopes foi bolsista do curso de Pós-Graduação em Meteorologia na Universidade Federal de Campina Grande. Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, B.A. Parameterization of trade-cumulus cloud amounts. *Journal of the Atmospheric Sciences*: v.38, p.97-105, 1981.
- ALBRECHT, B.A.; RAMANATHAN, V.; BOVILLE, B.A. The effects of

cumulus moisture transports on the simulation of climate with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. v. 43, p.2443-2462, 1986.

ARAKAWA, A; SCHUBERT, W.H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the Large-scale Environment. Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences*: v.31, p.674-701, 1974.

BETTS, A.K. Parametric interpretation of trade-wind cumulus budget studies. *Journal of the Atmospheric Sciences*: v.32, p.1934-1945, 1975.

CHEN, C.; COTTON, E.W. R. A One-dimensional simulation of the stratocumulus capped mixed layer. *Boundary-Layer Meteorology*: v.25, p.289-321, 1983.

DENG, A.J; SEAMAN, N.L; KAIN, J.S . A Shallow-convection parameterization for mesoscale models. part II: verification and sensitivity studies. *Journal of the Atmospheric Sciences*: v.60, p.57-78, 2003.

HAIDEN, T. Generalization of Albrecht's cumulus cloud amount parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences*. v.53, p.3164-3167, 1996.

KUO, H. L. Further Studies of the Parametrizations of the influence of cumulus convective on large-scale flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*: v.31, p.1232-1240, 1974.

MELLOR, G.L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model geophysical fluid problems. *Rev. Geophysics Space Physics*: v.20, p.851-857, 1986.

MOLINARI, J. A general form of Kuo's cumulus parameterization. *Monthly Weather Review*. vol. 113, 1411-1416, 1985.

MOLINARI, J.; CORSETTI, T.,
Incorporation of cloud-scale and
mesoscale downdrafts into a cumulus
parametrization: results of one – and
three-dimensional integrations. *Monthly
Weather Review*: v.113, p.485-501,
1985.

PIELKE, R. A.; COTTON, W. R.;
WALKO R. L.; TREMBACK, C. J.;
LYONS, W. A.; GRASSO, L. D.;
NICHOLS, M. E.; MORAN, M. D.;
WESLEY, D. A.; LEE, T. J.;
COPELAND, J. H. A comprehensive
meteorological modeling system-RAMS.
Meteorology and Atmospheric Physics.
v. 49, p.69-91, 1992.

RICKENBACH, T. M., R. N.;
FERREIRA, J.; HALVERSON, and
SILVA DIAS, M. A. F.. Mesoscale
properties of convection in western
Amazonia in the context of large-scale
wind regimes. . *Journal of Geophysical
Research*.v 107, 10.1029/
2000JD000263, 2002.

SIEBESMA, A. P *et al*; A Large Eddy
Simulation intercomparison study of
shallow cumulus convection. *Journal of
the Atmospheric Sciences*: v. 60 n.10, p.
1201-1219, 2003.

SOUZA, E. P. *Estudo teórico e
numérico da relação entre convecção e
superfícies heterogêneas na região
amazônica*. 1999. 121 p. Tese
(Doutorado em Meteorologia) –
Universidade de São Paulo, São Paulo,
1999.

SOUZA, E. P.; SILVA, E. M. Impacto
da implementação de uma
parametrização de convecção rasa em
um modelo de mesoescala: descrição e
testes de sensibilidade do esquema.
Revista Brasileira de Meteorologia:
v.18, p.33-42, 2003.

SOUZA, E.P; LOPES, Z. F; ARAÚJO,
T. L. Estudo numérico da interação entre
convecção rasa e radiação convênfase
no ciclo diurno do balanço de energia à
superfície na Amazônia.

SOUZA, E.P; SILVA DIAS, P.L.
Interação entre nuvens convectivas não
precipitantes e radiação. *Anais do XIII
Congresso Brasileiro Meteorologia*.
Fortaleza – Ceará, 2004.

WALKO, R. L., COTTON, W.R.,
MEYERS, M.P., HARRINGTON, J.Y.
New rams cloud microphysics
parameterization. 1. The Single-Moment
Scheme. *Atmospheric Research*: v.38,
p.29-62, 1995.

WILDE, N. P.; STULL, R. B.;
ELORANTA, E. W. The LCL zone and
cumulus onset. *Journal of Climate and
Applied Meteorology*. vol. 24, 640-657,
1984.

ZHU, P.; BRETHERTON, C.S. A
Simulation study of shallow moist
convection and its impact on the
atmospheric boundary layer. *Monthly
Weather Review*: v.132 n.10, p.2391-
2406, 2004.