



PIBIC/CNPq/UFPG-2010

IMPACTO DA CONSIDERAÇÃO DE UMA REGIAO URBANIZADA NO BALANÇO DE ENERGIA EM SUPERFICIE

Roberta Everllyn Pereira Ribeiro¹, Enio Pereira de Souza²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar algumas variáveis meteorológicas de superfície, bem como as componentes do balanço de energia para a Região Metropolitana de Recife – RMR, que apresenta forte urbanização. Considerou-se o período entre o dia 30 de julho a 2 de agosto de 2000, que corresponde à ocorrência de um fenômeno de alta pluviometria, causando destruição, alagamentos na região. Fez-se uso do modelo *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System – BRAMS*, que permite que se considerem regiões urbanizadas com o esquema *Town Energy Budget – TEB*. Foram realizados dois experimentos numéricos: um utilizando a parametrização TEB e outro sem o seu uso. A quantidade de precipitação foi sensível à parametrização urbana com mais precipitação no experimento TEB. Os fluxos de superfície também foram sensíveis à quantidade de água do solo.

Palavras-chave: chuva urbana, TEB, BRAMS.

IMPACT OF CONSIDERING AN URBAN AREA ON THE SURFACE ENERGY BUDGET

ABSTRACT

The objective of this work was studying some meteorological variables as well as the components of the energy budget for the strongly urbanized Metropolitan Region of Recife – RMR. The study covers the time period between 30 July and 2 August 2000, when a heavy raining system reached the region causing damage and urban flooding. We used the *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System – BRAMS* which allows the consideration of urban regions through the *Town Energy Budget – TEB* scheme. Two simulations were performed, one with TEB on and the other with TEB off. Precipitation was sensitive to the urban parameterization with higher values in the TEB experiment. The surface fluxes were also sensitive to the amount of water in soil.

Key words: urban rain, TEB, BRAMS

¹ Aluna do Curso de Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, UFPG, Campina Grande, E-mail: robertaeverllyn@hotmail.com

² Professor Associado II, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, UFPG, Campina Grande, E-mail: esouza@dca.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, alterações na cobertura do solo têm causado variações nos padrões de precipitação regional. Em particular, o aumento das áreas e das atividades urbanas tem alterado o clima sobre as cidades. Uma das consequências é que a frequência de sistemas precipitantes extremos vem aumentando consideravelmente.

A modelagem numérica é uma das formas de se estudar as mudanças na atmosfera de uma cidade ligadas à presença de uma superfície urbanizada. Recentemente, Freitas (2003) implementou o módulo *Town Energy Budget* – TEB no modelo *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System* – BRAMS. Com isso, é possível estudar o efeito de uma superfície urbanizada e seu papel na intensificação de fenômenos chuvosos sobre áreas urbanas.

Entre o fim do mês de julho e o início de agosto de 2000, houve a incidência de um fenômeno de elevada pluviometria em curto intervalo de tempo no Nordeste do Brasil – NEB, identificado como Distúrbio Ondulatório de Leste – DOL, sobre parte do NEB, mais precisamente sobre o Estado de Pernambuco, trazendo consequências para a população, como enchentes, alagamentos e desmoronamentos em algumas cidades. (Bezerra, 2002).

O objetivo do presente trabalho é avaliar algumas variáveis meteorológicas, bem como as componentes do balanço de energia para a Região Metropolitana do Recife, através do modelo BRAMS fazendo-se o uso da parametrização TEB na consideração da existência da região urbana e testando o impacto de suas características no balanço de energia em superfície.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do Modelo Numérico BRAMS

O modelo numérico utilizado neste trabalho foi o *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System* – BRAMS, na versão 4.2, que constitui uma versão brasileira desenvolvida a partir do *Regional Atmospheric Modeling System* – RAMS, cuja estrutura básica é descrita por Pielke et al. (1992). O BRAMS é um modelo regional de mesoescala integrado na versão não-hidrostática. As parametrizações físicas utilizadas neste trabalho através do modelo BRAMS são a radiação de onda longa e de onda curta de acordo com Chen e Cotton (1983), a turbulência na Camada Limite Planetária – CLP sendo esta calculada segundo Mellor e Yamada (1986), a microfísica de nuvens que segue o esquema descrito por Walko et al. (1995), a convecção profunda do tipo Kuo (Kuo, 1974), modificada por Molinari (1985) e Molinari e Corsetti (1985), a interação superfície-atmosfera, feita através do modelo LEAF-2 segundo Walko et al, (2000) e a convecção rasa calculada segundo Souza (1999).

Descrição da Parametrização TEB

Atualmente tornou-se possível estudar a complexa superfície das cidades e o seu efeito no clima local e regional. Quando se tentava estudar os efeitos da cobertura de uma região, geralmente se atribuía à

cobertura do solo características de deserto ou semi-deserto, sendo necessário para a melhoria das simulações uma representação mais realista do solo urbano.

Recentemente Freitas (2003) implementou no BRAMS o esquema *Town Energy Budget – TEB*, proposto por Masson (2000), como parte integrante de um SVAT desenvolvido pelo *Meteo-France* denominado *ISBA – Interface Soil Biosphere Atmosphere* (Noilhan e Mahfouf, 1996) que é capaz de fazer uma representação mais realista da cidade. O TEB consiste numa parametrização para representar áreas urbanizadas. Sua esquematização é feita utilizando uma geometria de *canyon* local (o espaço entre as faces de duas construções é definido como *canyon*) em vez da representação usual de solo nu ou da modificação dos parâmetros da vegetação.

De acordo com Freitas (2003), devido à forma complexa da malha urbana das cidades, são realizados três balanços de energia em superfície: para o telhado, para as ruas e para as paredes. Os efeitos de orientação são mediados para ruas e paredes. Com isso, os efeitos da extinção da radiação solar em virtude do meio absorvente, o aquecimento urbano devido ao aumento da capacidade calorífica e os fluxos antrópicos são representados de forma mais realista.

O esquema TEB possui características peculiares para as regiões urbanas. Cabe destacar que os edifícios têm as mesmas dimensões (largura e altura), estão dispostos em ruas idênticas (em qualquer orientação), sendo que o comprimento das ruas é bem maior que a largura.

O balanço de energia considera as paredes em conjunto, mesmo que algumas estejam sombreadas. Para caracterizar a temperatura da superfície urbana, levam-se em consideração as três superfícies: dos telhados (T_R), ruas (T_r) e paredes (T_w). O tratamento dos fluxos de condução para/do interior das construções (telhados ou paredes) ou solo (ruas), discretiza cada tipo de superfície em várias camadas. As equações que descrevem a evolução da temperatura das camadas são baseadas em considerações de balanço de energia. (Freitas, 2003).

O módulo TEB também permite distinguir se uma determinada área é formada por edifícios altos ou baixos, como o tipo de atividade exercida (residencial, comercial ou industrial). Na simulação realizada com o esquema TEB foram utilizadas as características que mais se adéquam ao tipo de ocupação urbana da RMR. Esses parâmetros são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Configurações de parâmetros referentes à ocupação urbana introduzidas no esquema TEB para o experimento.

Parâmetro	Ocupação Urbana
Altura das construções	5m
Largura das construções	5m
Z_0	0,6m
Fonte veicular de calor sensível	20 W/m ² (máximo)
Fonte veicular de calor latente	5 W/m ² (máximo)
Fonte industrial de calor sensível	30 W/m ²
Fonte industrial de calor latente	50 W/m ²

Características da cidade de Recife e da RMR

Recife, capital do Estado de Pernambuco, é uma das três maiores aglomerações urbanas da Região Nordeste. Localizada às margens do Oceano Atlântico, a cidade do Recife passa a maior parte do ano sobre a influência de ventos de leste, associados a Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS. A Região Metropolitana do Recife – RMR localiza-se na porção oriental do Nordeste, apresenta um clima tropical chuvoso com precipitação total anual acima de 750 mm e temperatura média do ar superior a 18 °C. Devido à proximidade com o litoral, a umidade relativa do ar é alta, variando entre 79,2% e 90,7% nos meses mais chuvosos, entre abril e junho, chegando a atingir 100% em alguns municípios, como é o caso de Recife.

Descrição dos Experimentos

O modelo BRAMS foi integrado para um período de quatro dias, a partir de 00 UTC de 30 de julho de 2000. Esse período foi escolhido pela ocorrência de um evento extremo de precipitação na costa do Nordeste, denominado ondas de leste, causando chuvas intensas que provocaram fortes alagamentos no Recife (Bezerra, 2002). A resolução horizontal da grade 1 foi de 16 km, com 80 pontos na direção x e 80 na direção y. Foi aninhada uma segunda grade, com 4 km de resolução, centrada na cidade de Recife. Essa grade é de 78 pontos na direção x e 78 na direção y. Os dados de saída foram gerados a cada 1 hora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras apresentadas a seguir são resultados dos cálculos computados no modelo numérico BRAMS, geradas no aplicativo GrADS. Foram feitas duas análises: uma delas utilizando a parametrização TEB e outra sem o uso da parametrização. A latitude varia de 7,98°S a 8,31°S e a longitude de 34,80°W a 35,10°W. A Figura 1 representa a área mais urbanizada da RMR, conforme detectado no arquivo de vegetação do BRAMS. O arquivo possui resolução de 1 x 1 km e a Figura 1 mostra o resultado para uma grade de 4 x 4 km. As figuras mostradas em seguida correspondem a uma média em torno do núcleo urbano, destacado na Figura 1. Note-se que, internamente essa área é maior, mas aparece menor por causa da resolução da grade 2, que é de 4 km. Como o resultado apresenta uma interpolação, os valores correspondentes à superfície de água, a leste, fazem com que os valores em torno de 19 (código que o modelo interpreta como água) fiquem restritos a uma menor superfície.

A Figura 2 representa a precipitação acumulada para a área de domínio do modelo na grade 2, em torno da RMR, durante os quatro dias analisados. Valores da precipitação acumulada para as curvas com (linha preta) e sem (linha verde) o TEB são visualizados. Nos dois primeiros dias (30/07 e 31/07) os valores são praticamente muito pequenos, chegando a ter um pequeno aumento em torno de 2,0 mm a partir das 12 UTC do primeiro dia. Somente após a 00 UTC do dia 01/08 a precipitação aumenta chegando ao fim do quarto dia a acumular por volta de 70,0 mm para a curva com o TEB e 40,0 mm para a curva sem o TEB.

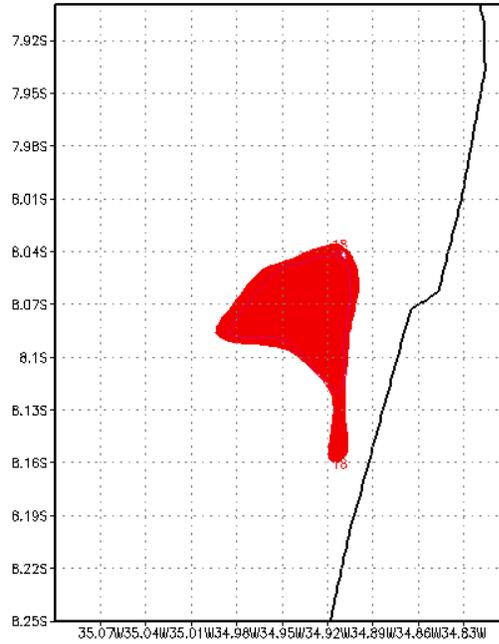


Figura 1: Área urbanizada de Recife detectada pelo arquivo de uso do solo. A área em vermelho destaca o núcleo urbano do Recife, detectado pelo arquivo de vegetação.

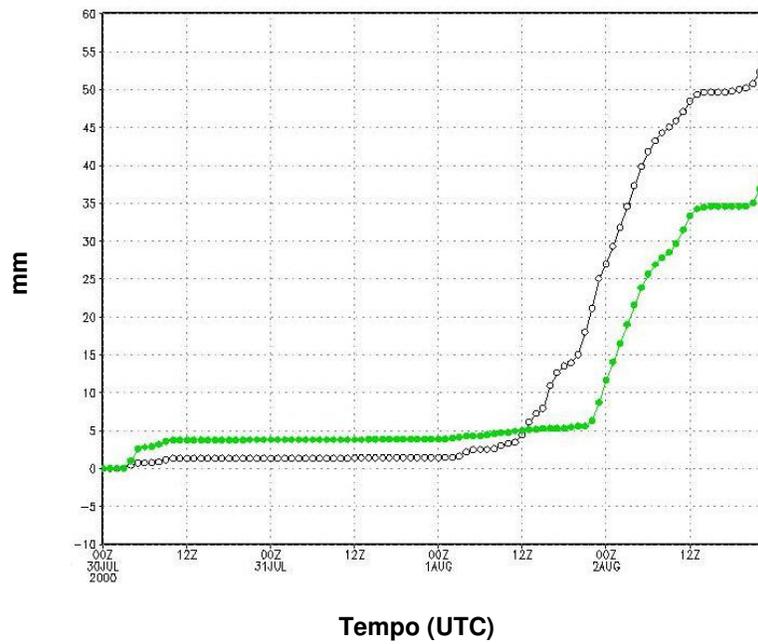


Figura 2: Precipitação acumulada (mm) de 30/07 a 02/08 de 2000, com a ativação do parâmetro TEB (linha preta) e sem a ativação TEB (linha verde).

As curvas na Figura 3 geradas para o saldo de radiação representam ciclos diários para os quatro dias analisados que praticamente repetem-se a cada dia, com pequenas variações. Os valores mínimos ocorrem geralmente no período noturno, a partir das 20 UTC até às 09 UTC. Os valores máximos ocorrem por volta das 15 UTC.

Ainda na Figura 3 os valores mínimos são praticamente os mesmos durante os quatro dias (em torno de $30,0 \text{ Wm}^{-2}$ com a ativação do TEB e sem o TEB em torno de $-10,0 \text{ Wm}^{-2}$). O valor máximo atingido para a curva com o TEB mantém-se em torno de $730,0 \text{ Wm}^{-2}$ nos dois primeiros dias (30/07 e 31/07). Sem o TEB a variação é de $620,0 \text{ Wm}^{-2}$ para o dia 30/07 e de $680,0 \text{ Wm}^{-2}$ para o dia 31/07. O que se observa no dia 01/08 é um aumento considerável do valor máximo na curva com o TEB, em torno de $800,0 \text{ Wm}^{-2}$ (a curva sem o TEB mantém o mesmo valor do dia anterior). No último dia o valor máximo na curva com o TEB diminui chegando a atingir $780,0 \text{ Wm}^{-2}$. Para a curva sem o TEB há um aumento do valor máximo em torno de $720,0 \text{ Wm}^{-2}$.

Com o TEB ativado é notável uma diferença no saldo de radiação ao passar dos dias, dos quais os valores máximos e mínimos serão maiores comparados com a curva sem o TEB, principalmente no dia em que o sistema precipitante atua diretamente sobre a região (01/08). Devido à grande capacidade calorífica observada em regiões urbanizadas, a RMR absorve bastante calor durante o dia, agindo como uma ilha de calor urbana. Por outro lado, à noite a dissipação de calor será mais lenta resultando no aumento dos valores mínimos. Isso explica a diferença entre as curvas.

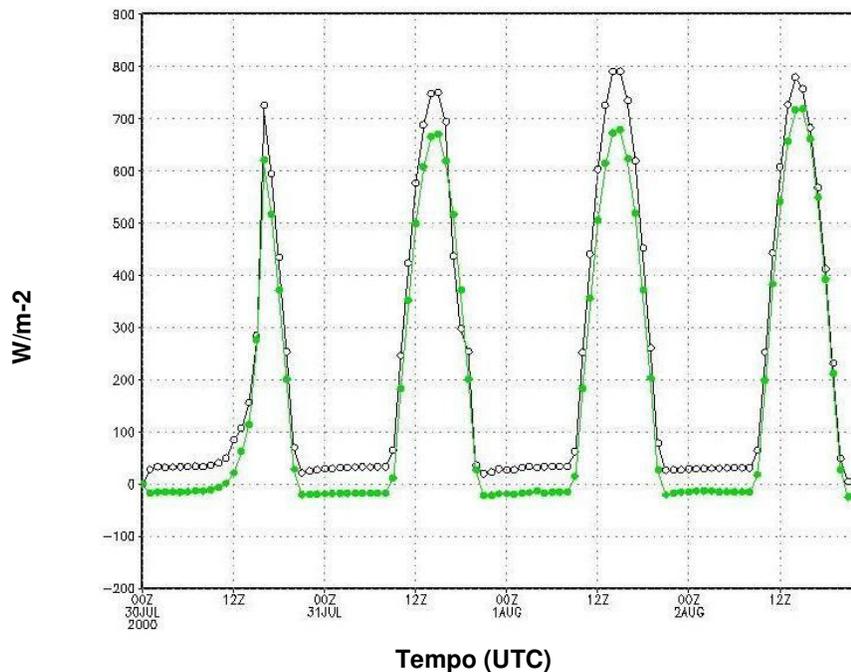
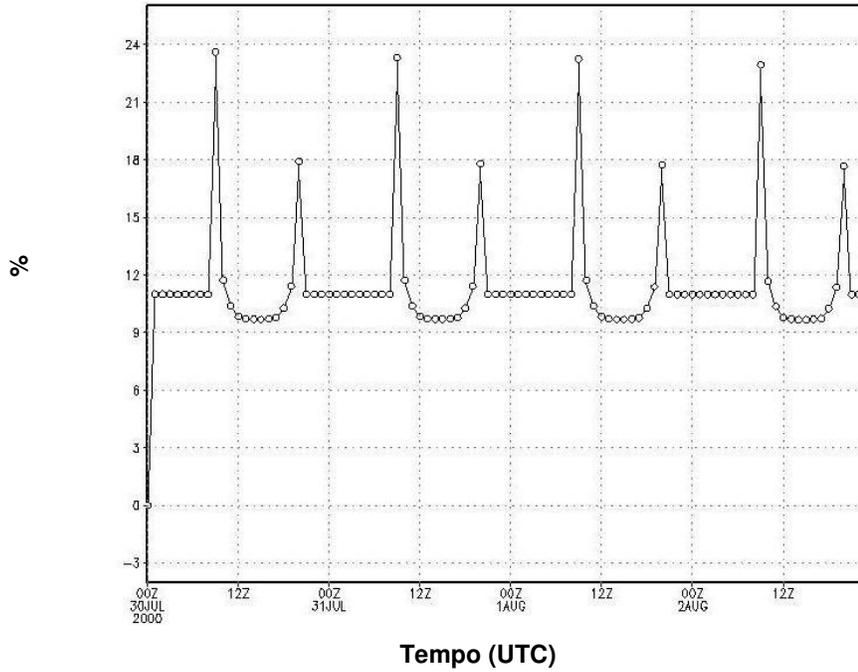


Figura 3: Ciclo diário do saldo de radiação (Wm^{-2}) para as curvas com o parâmetro TEB ativado e sem a ativação do TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).

As Figuras 4 e 5 para o albedo e saldo de radiação de onda longa apresentam a explicação necessária para a variação ocorrida no saldo de radiação (Figura 3). A Figura 4a apresenta praticamente o mesmo ciclo de variação diário no decorrer dos dias. Observam-se dois picos com valores máximos: um por volta das 09 UTC (aproximadamente 24%) e outro por volta das 20 UTC (aproximadamente 18%). A curva

torna-se constante a partir das 21 UTC, por todo o período noturno até as 08 UTC do dia seguinte (aproximadamente 11%) e entre os dois máximos, das 12 UTC às 17 UTC (aproximadamente 10%). A Figura 4b mostra a diferença de albedo entre as simulações com TEB e sem TEB. Note-se que o albedo com o TEB é menor (resultando em valores com sinais negativos). Com isso, a superfície urbana reflete menos radiação solar, aumentando o saldo.

(a)



(b)

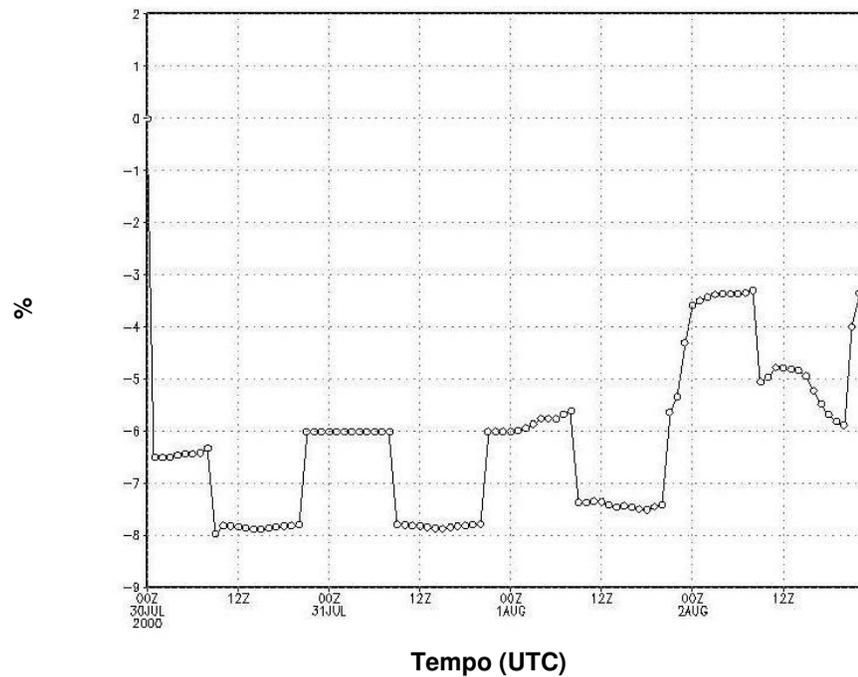


Figura 4: (a) Ciclo diário do albedo em superfície com o parâmetro TEB ativado; (b) Diferença de albedo entre os experimentos com TEB e sem TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).

Já a Figura 5 mostra que o saldo de radiação de onda longa foi maior no experimento com o TEB. Essa diferença explica o maior saldo de radiação encontrado no experimento com o TEB durante a noite. Essa variável também explica parte da diferença encontrada no saldo de radiação durante o dia. Ela é responsável pelo afastamento das curvas no dia 01/08 e pela aproximação das curvas no dia 20/08, observadas na Figura 3.

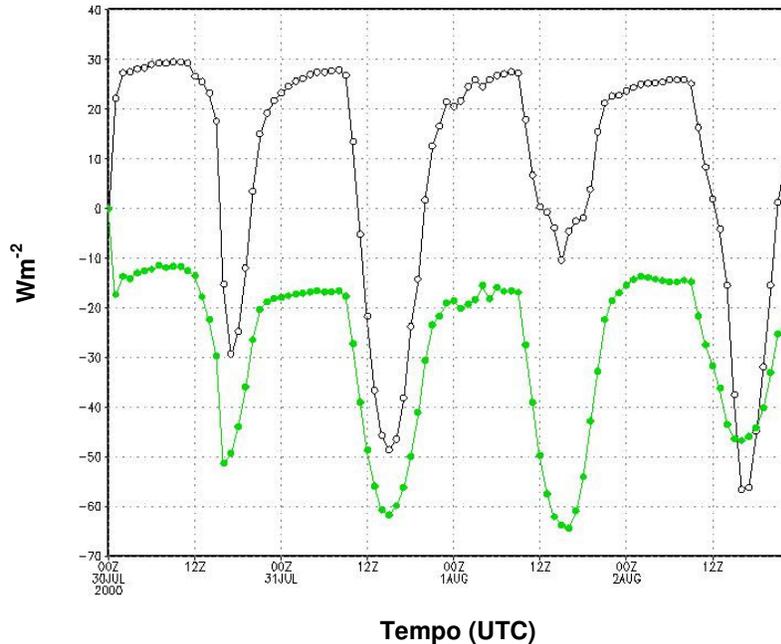


Figura 5: Saldo de radiação de onda longa. Experimentos com TEB (linha preta) e sem TEB (linha verde).

A Figura 6 apresenta os fluxos de calor sensível com o TEB ativado e sem a ativação do parâmetro TEB. Os mínimos ocorrem no período noturno. Com o TEB ativado, os valores mínimos são em torno de $10,0 \text{ Wm}^{-2}$ e a curva sem o TEB tem valores mínimos com uma variação diferente para cada dia (entre $0,0 \text{ Wm}^{-2}$ e $-50,0 \text{ Wm}^{-2}$). Os valores máximos com o TEB variam mais e ocorrem por volta das 16 UTC. Nos dois primeiros dias (30 e 31 de julho) percebe-se um aumento do fluxo de calor sensível em ambas as curvas, das quais a curva com o TEB apresenta picos de máximos valores ($350,0 \text{ Wm}^{-2}$ e $450,0 \text{ Wm}^{-2}$) menores que a curva sem o TEB ($450,0 \text{ Wm}^{-2}$ e $550,0 \text{ Wm}^{-2}$). No dia 01 de agosto com a atuação do sistema, a curva com o TEB tem valores máximos (cerca de $150,0 \text{ Wm}^{-2}$). Esses valores são bem menores que a curva sem o TEB ($450,0 \text{ Wm}^{-2}$). Somente no último dia observado as curvas invertem, ou seja, a curva com o TEB tem maiores valores. Portanto no dia em que chove mais (01/08), o aquecimento foi bem menor e a curva com o TEB teve uma sensibilidade maior, resultando em valores menores sendo então mais realistas e mais confiáveis.

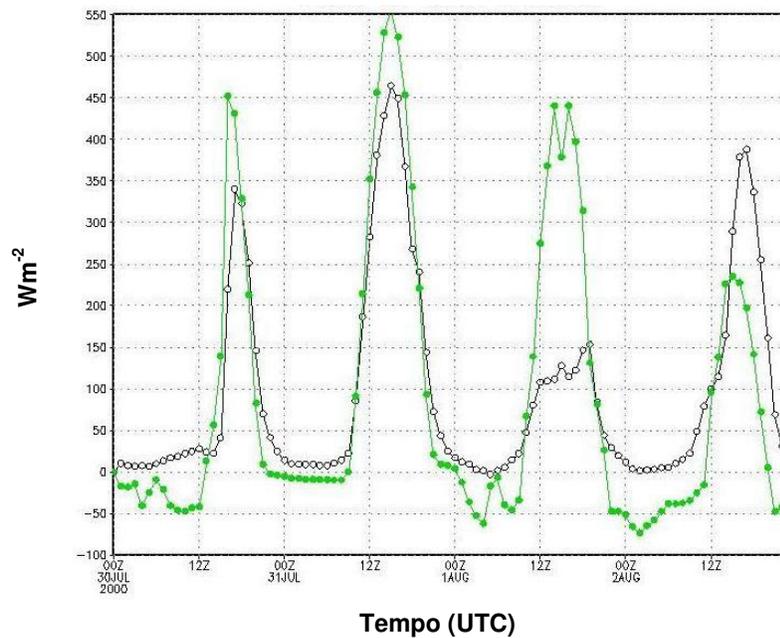


Figura 6: Ciclo diário dos fluxos de calor sensível (Wm^{-2}) com a ativação do módulo TEB (linha preta) e sem a ativação do TEB (linha verde) (de 30/07 a 02/08 de 2000).

O fluxo de calor latente (Figura 7) apresenta muitas variações. Inicialmente, a curva com o TEB é maior que a curva sem o TEB para os três primeiros dias. Nos dias 30 e 31 os fluxos são quase constantes com pequenas variações apresentando apenas valores mínimos (em torno de $70,0 Wm^{-2}$ com o TEB e $20,0 Wm^{-2}$ sem o TEB). Para o dia 01/08 a curva com o TEB apresenta máximo em torno de $450,0 Wm^{-2}$ e sem o TEB em torno de $230,0 Wm^{-2}$. Apenas no último dia as curvas invertem de posição, ou seja, a curva com o TEB passa a ter menores valores ($400,0 Wm^{-2}$ com o TEB e $530,0 Wm^{-2}$ sem o TEB).

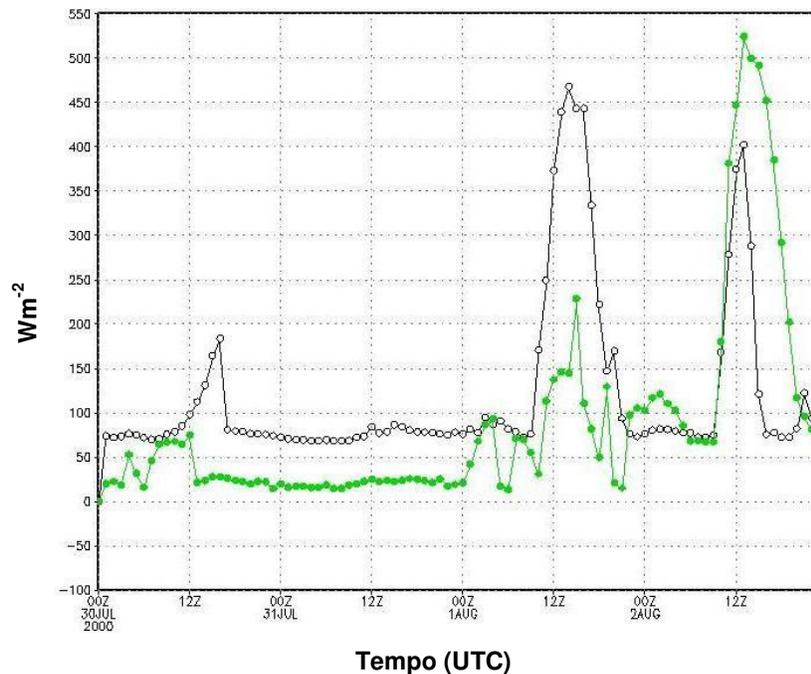


Figura 7: Ciclo diário dos fluxos de calor latente (Wm^{-2}) com a ativação do módulo TEB (linha preta) e sem a ativação do TEB (linha verde) (de 30/07 a 02/08 de 2000).

Comparando-se as Figuras 6 e 7, percebe-se que as curvas estão coerentes, pois quando há um aumento no fluxo de calor sensível, há por outro lado uma diminuição no fluxo de calor latente para ambas as curvas. O comportamento das duas figuras é explicado pelo seguinte fato: nos dois primeiros dias quando se observa um aumento nos valores do fluxo de calor sensível (Figura 6), significa que a área em estudo está bem quente e há uma secagem na atmosfera, provavelmente devido a algum processo de advecção local. Por outro lado, ocorre o contrário para o fluxo de calor latente (Figura 7). Como não há muita umidade, a evaporação do vapor é reduzida, resultando numa diminuição do fluxo de calor latente. No dia 01/08, quando o sistema incide sobre a região, o calor latente aumenta consideravelmente pela presença de umidade, reduzindo o calor sensível pelo resfriamento da superfície. Esse fato está mais claro para a curva com o TEB ativado. Por fim, no último dia quando a intensidade de precipitação diminui, ocorre uma inversão entre as curvas para ambas as figuras, resultando numa diminuição dos valores máximos para a Figura 6 e aumento destes para a Figura 7. Neste caso a discussão resulta da característica dos experimentos em simular precipitação apenas nos últimos dias do experimento.

CONCLUSÃO

Os resultados discutidos neste estudo permitem concluir que:

A consideração do efeito da área urbana, através do TEB, leva a simulação de chuvas de maior intensidade. O saldo de radiação é afetado porque a área urbana diminui o albedo da superfície e aumenta o saldo de radiação de onda longa. Os fluxos de superfície respondem bem a alteração na quantidade de água na superfície. O fluxo de calor sensível é maior durante os períodos secos. Essa partição se inverte após um evento chuvoso e o fluxo de calor latente passa a ser maior.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e pela concessão da bolsa PIBIC, o que possibilitou a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, P. C. **Efeito da resolução horizontal na simulação de um evento chuvoso extremo**. Campina Grande: UFCG, 2002. 65p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.

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.

FREITAS, E. D.. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes**. São Paulo: USP, 2003. 156f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v.20, p.851-857, 1986.

MOLINARI, J. A general form of Kuo's cumulus parameterization. **Monthly Weather Review**. v. 113, p.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.

SOUZA, E. P. **Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica**. São Paulo: USP, 1999. 121p. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo.

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.

WALKO, R.L. BAND, L.E., BARON, J., KITTEL, T.G.F, LAMMERS, R., LEE, T.J., OJIMA, D., PIELKE Sr, R., TAYLOR, C., TAGUE, C., TREMBACK, C.J., VIDALE, P.L. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. **Journal of Applied meteorology**. v. 39, p. 931-944, 2000.