

## **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE UMA ÁREA URBANIZADA EM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS ATRAVÉS DO USO DO MODELO BRAMS**

*Herika Pereira Rodrigues<sup>1</sup> Ênio Pereira de Souza<sup>2</sup>, Everson Batista Mariano<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Mestranda em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Paraíba – PB, Bra. herika\_hpr@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Prof. Dr. em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba – PB, Bra. esouza@dca.ufcg.edu.br*

<sup>3</sup>*Mestrando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Paraíba – PB, Bra. ellmariano@hotmail.com*

*Artigo recebido em 20/05/2011 e aceito em 20/09/2011*

### **RESUMO**

O objetivo do presente trabalho foi 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. O TEB reproduziu características típicas das cidades, como temperatura relativamente maior durante o dia, em virtude de um menor albedo e relativamente maiores durante a noite em virtude do acúmulo de energia durante o dia. A quantidade de precipitação também foi sensível à parametrização urbana com mais precipitação no experimento TEB.

**Palavras-Chaves:** ilha de calor urbana, RMR, TEB, BRAMS

## **AN ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF WEATHER VARIABLES URBANIZED AREA IN USING THE MODEL BRAMS**

### **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. TEB reproduced typical characteristics of cities such as relatively higher temperature during daytime due to the city's lower albedo and relatively warm nighttime due to a greater storage of energy in previous hours. Precipitation was also sensitive to the urban parameterization with higher values in the TEB experiment.

**Keywords:** urban heat island, RMR, TEB, BRAMS.

## INTRODUÇÃO

Atualmente a humanidade vem lidando com consequências ocasionadas pela variação climática. A temperatura tem aumentado em regiões que até então não sofriam com variações bruscas no clima. Isso reflete em mudanças nas variáveis meteorológicas e na intensidade e frequência dos fenômenos de pequena, média e grande escala.

A ocupação urbana destrói as paisagens naturais trazendo consequências drásticas para a cidade visto que os ambientes urbano e industrial aumentam a poluição e conseqüentemente mudam o clima local pela maior emissão de gases do efeito estufa. O clima urbano local é fortemente influenciado pelo efeito chamado ilha de calor urbana, que consiste no acúmulo de energia em áreas urbanizadas durante o dia, associado ao fluxo de calor antropogênico, resultando num aumento de temperatura à noite.

A Região Metropolitana de Recife – RMR apresenta sinais de degradação ambiental, tais como desmatamento, contaminação dos recursos hídricos, poluição, deslizamentos e erosão de encostas, resultados da ação antrópica. Outro fator preocupante é a ocorrência de alagamentos das áreas próximas à planície do Recife. Essas se transformaram em áreas de cotas baixas, sem desníveis, devido à ocupação

urbana do espaço natural feito sem cuidados, não respeitando as condições de escoamento das águas pluviais. (Clementino e Souza, 2009). Por esse motivo, os sistemas extremos de precipitação causam tanto problemas para a população.

A frequência de sistemas precipitantes extremos vem aumentando consideravelmente. O Nordeste do Brasil – NEB é um dos maiores exemplos desse fato, tendo em vista que normalmente sofre com secas intensas durante quase todo o ano. 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, 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).

A modelagem numérica é uma das formas de se estudar as mudanças na atmosfera de uma cidade ligadas à presença de uma superfície urbanizada. Freitas (2003), em seus estudos implementou o módulo *Town Energy Balance* – TEB no modelo numérico *Regional Atmospheric Modeling System* – RAMS. Com isso, o efeito de uma região metropolitana sobre o clima local já pode ser estudado.

O objetivo do presente trabalho é avaliar algumas variáveis meteorológicas, bem como as componentes do balanço de energia para a RMR, 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

### Características da Região

#### Metropolitana do Recife – RMR

A Região Metropolitana do Recife – RMR localiza-se na porção oriental do Nordeste, a 8° 04' 03" de latitude Sul e 34° 55' 00" de longitude Oeste, configurando uma faixa alongada no sentido norte-sul situada no litoral pernambucano. Possui 3.337.565 habitantes distribuídos em 14 municípios que juntos conformam uma área de 2.766 km<sup>2</sup>, com uma densidade de 1.207 hab/km<sup>2</sup>.

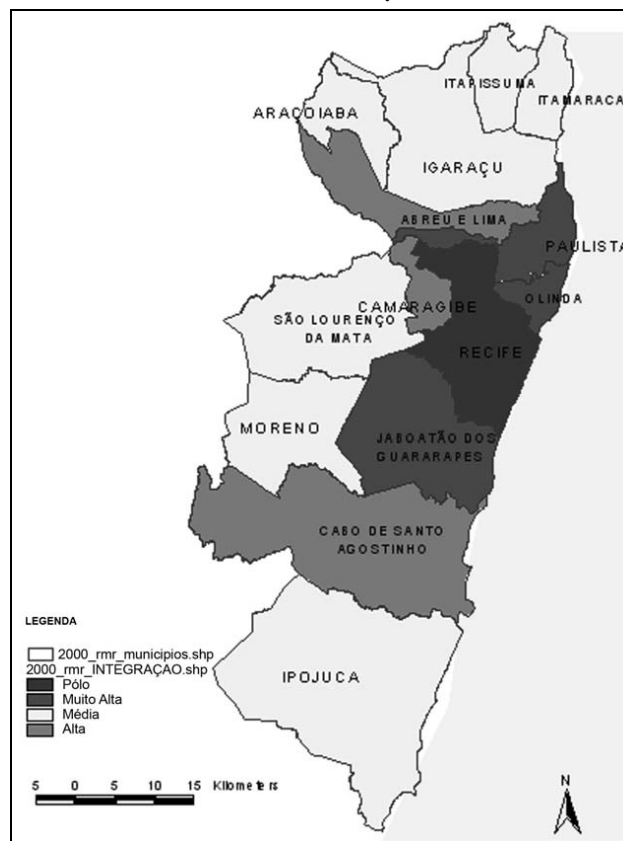
Apresenta um clima tropical chuvoso com precipitação total anual acima de 750 mm e temperatura média do ar superior a 18 °C. Devido à proximidade com o litoral, a umidade relativa do ar é alta, variando entre 79,2% e 90,7% nos meses mais chuvosos, entre abril e junho, chegando a atingir 100% em alguns municípios, como é o caso de Recife.

Recife representa cerca de 7,2 % da área metropolitana e concentra 42 % dos habitantes da região. A RMR representa cerca de 3% da área do território pernambucano onde se insere, porém concentra 42% da população e conta atualmente com 14 municípios: Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ipojuca, Itamaracá, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata. (Figura 1).

Segundo Correa (2006, p. 89), “os processos superficiais nas áreas urbanas, sobretudo nas grandes metrópoles como o Recife, são influenciados pelo microclima urbano, que difere substancialmente das áreas não urbanas adjacentes.”.

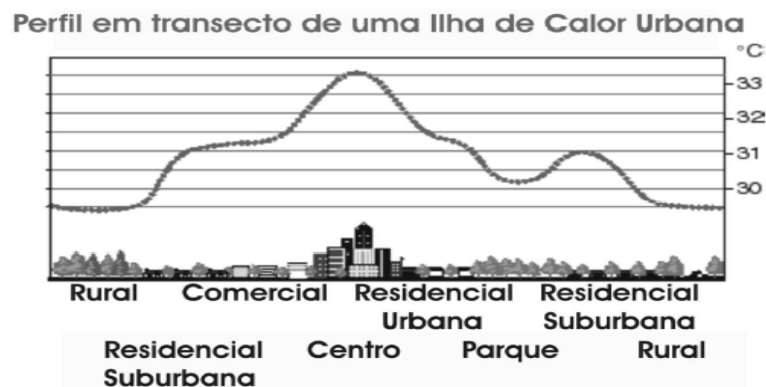
O perfil de temperatura sobre o efeito de uma ilha de calor urbana é diferente para cada tipo de região. Pode-se observar na Figura 2 que as áreas centrais são as que mais sofrem com o aumento de temperatura. Tomando como foco a RMR, as superfícies urbanas (como asfalto, concreto ou vidro), conduzem três vezes mais calor que as superfícies naturais, mantendo-as mais aquecidas, tanto durante o dia quanto durante a noite, com perda de calor mais lenta à noite, tendo como conseqüências um aumento das temperaturas máximas e mínimas.

Figura 1 - Grau de Integração das Cidades – Região Metropolitana de Recife (RMR).



Fonte: Observatório das Metrôpoles – IPPUR / PPGE0 / FASE

Figura 2 - Ilha de calor urbana (modificado de Christopherson, 1994).



Fonte: Correa (2006, p. 90).

### 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).

Para a execução do BRAMS utilizaram-se como condições iniciais e de contorno, dados do modelo atmosférico global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE (<http://www.cptec.inpe.gov.br>),

baixados diariamente via ftp.

A visualização dos dados ambientais foi feita através do aplicativo auxiliar *Grid Analysis and Display System – GrADS*, que é muito utilizado em vários estudos e pesquisas, para manipulação de dados e geração de representações gráficas, através de expressões fornecidas por linhas de comando.

### **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 o autor, 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.

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 (TR), ruas (Tr) e paredes (Tw). 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 adequam ao tipo de ocupação urbana da RMR. (Tabela 01).

### **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 40 pontos na direção x e 40 na direção y.

Os dados de saída foram gerados a cada 1 hora.

Tabela 01 - 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 <sup>2</sup> (máximo)
Fonte veicular de calor latente	5 W/m <sup>2</sup> (máximo)
Fonte industrial de calor sensível	30 W/m <sup>2</sup>
Fonte industrial de calor latente	50 W/m <sup>2</sup>

## 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 3 representa a precipitação acumulada para a área de domínio do modelo (grade 01) durante os quatro dias analisados. A Figura 4 apresenta a área urbanizada detectada pelo modelo BRAMS, com o uso da parametrização TEB (grade 02). Note-se que, internamente essa área é maior, mas aparece menor por

causa da resolução da grade 02, 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.

As figuras abaixo foram geradas para um ponto central sobre a RMR, passando pelas coordenadas (8,12° S; 34,93° W). Foram feitas duas simulações obtendo duas curvas: uma com o esquema TEB ativado (curva preta) e outra sem a parametrização TEB (curva verde).

As curvas na Figura 5 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 as 09 UTC. Os valores máximos ocorrem por volta das 15 UTC.

Figura 3 - Precipitação acumulada (mm) para a região Nordeste, durante o período compreendido entre o dia 30 de julho e 02 de agosto de 2000.

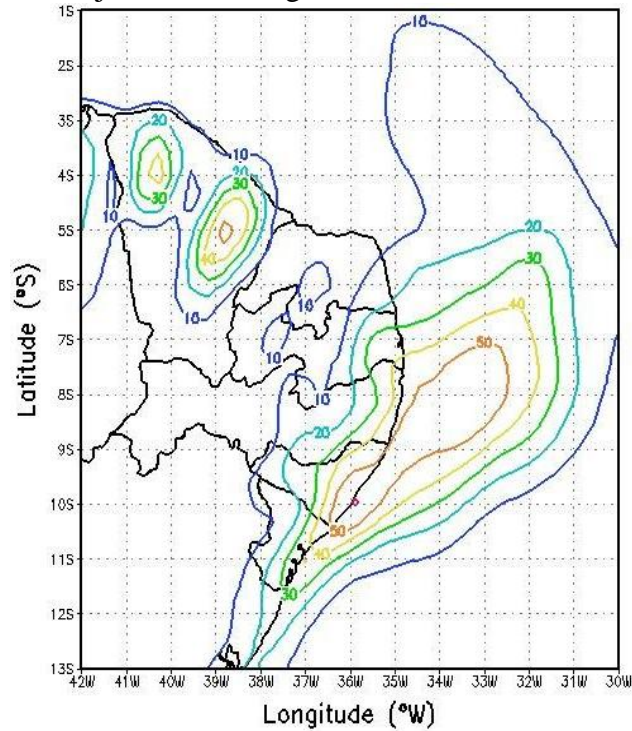
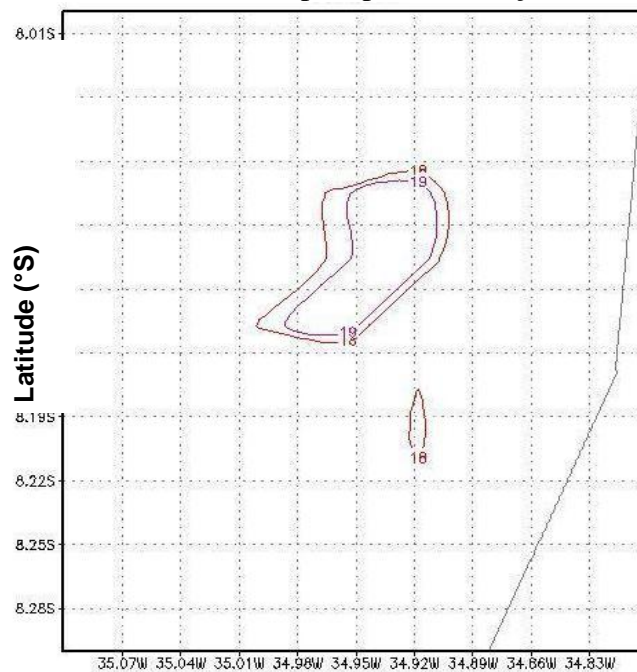


Figura 4 - Área urbanizada de Recife detectada pela parametrização TEB acionada.





Ainda na Figura 5 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.

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.

A Figura 6 para o albedo apresenta a explicação necessária para a variação ocorrida no saldo de radiação (Figura 5). A Figura 6a 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 6b 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.

Figura 5 - 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).

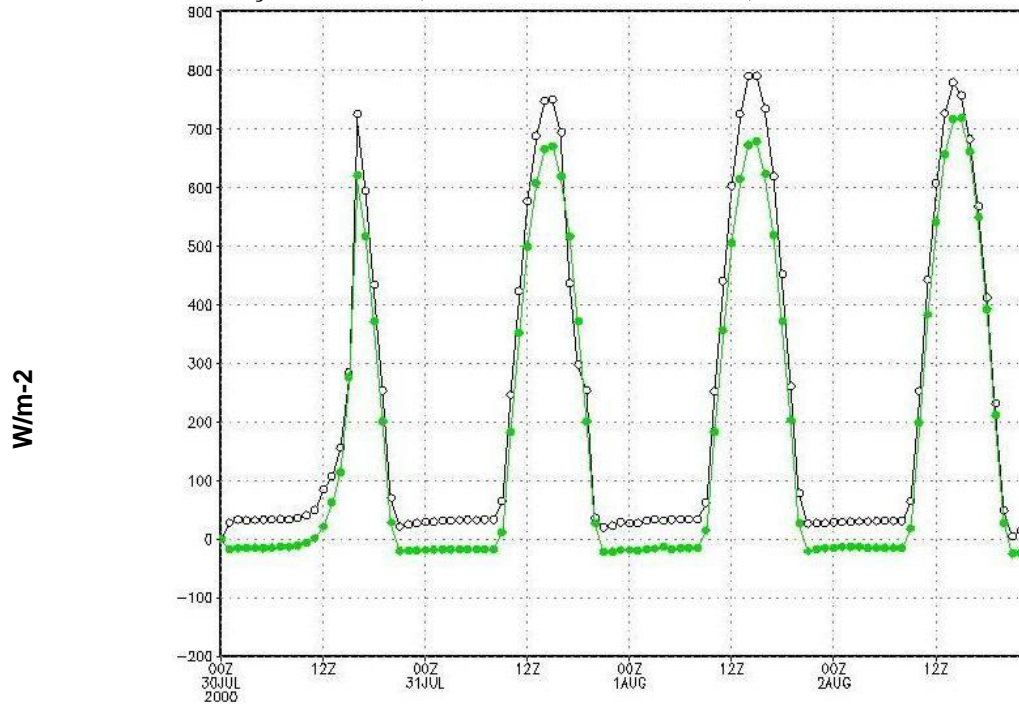
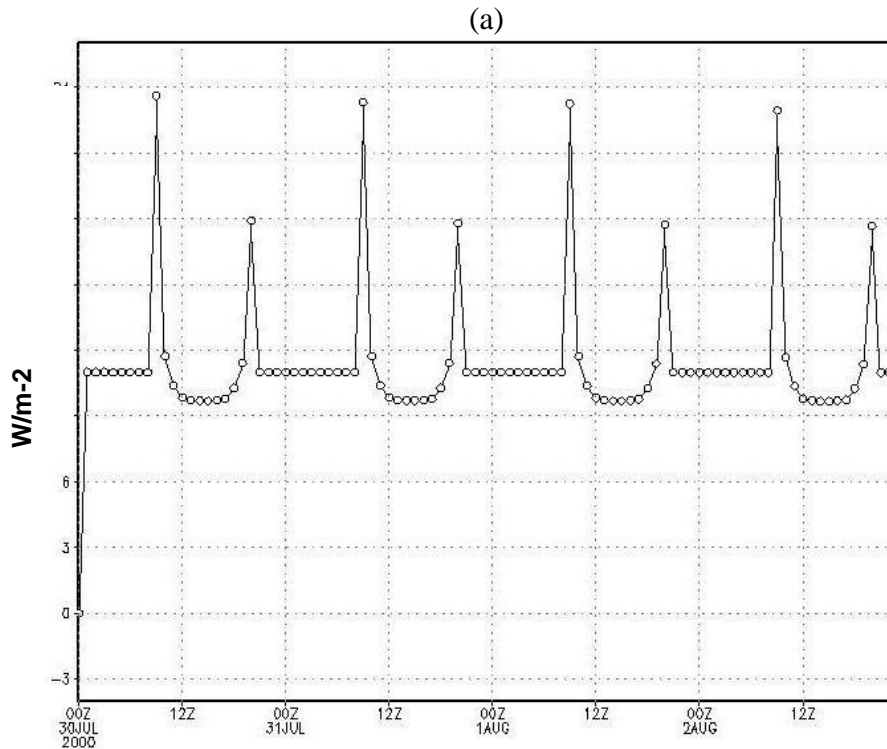
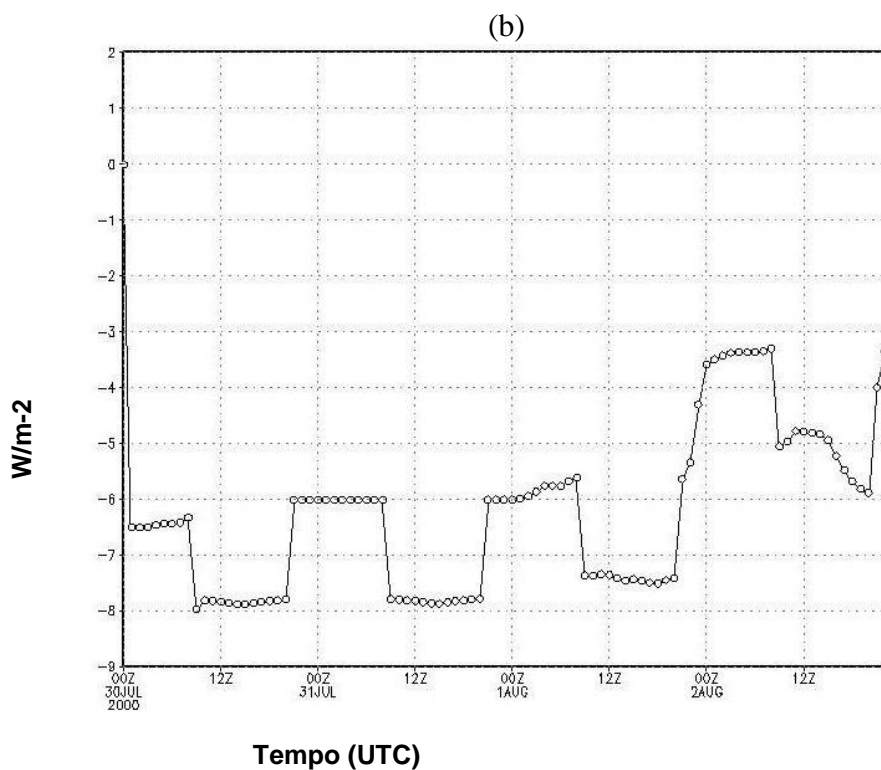


Figura 6 - (a) Ciclo diário do albedo em superfície com o parâmetro TEB ativado; (b) Diferença de albedo entre os experimentos com TEB e sem TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).





A Figura 7 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

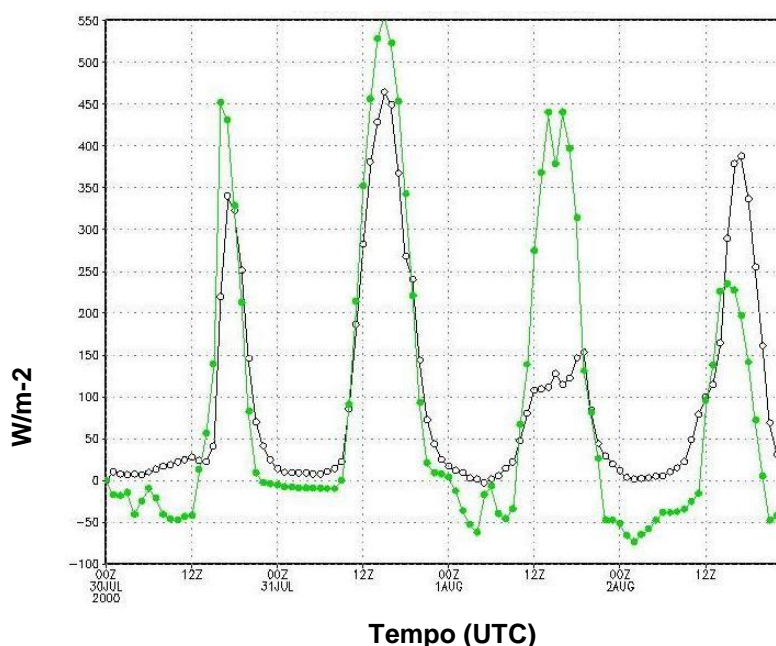
$150,0 \text{ Wm}^{-2}$ ) bem menores que a curva sem o TEB ( $450,0 \text{ Wm}^{-2}$ ). Somente no último dia observado as curvas invertem, ou seja, a curva com o TEB tem maiores valores. Portanto no dia em que chove mais (01/08), o aquecimento foi bem menor e a curva com o TEB teve uma sensibilidade maior, resultando em valores menores sendo então mais realísticos e mais confiáveis.

O fluxo de calor latente (Figura 8) apresenta bastantes 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  $70,0 \text{ Wm}^{-2}$  com o TEB e  $20,0 \text{ Wm}^{-2}$  sem o TEB). Para o dia

01/08 a curva com o TEB apresenta máximo em torno de  $450,0 \text{ Wm}^{-2}$  e sem o TEB em torno de  $230,0 \text{ Wm}^{-2}$ . Apenas no último dia as curvas invertem de posição,

ou seja, a curva com o TEB passa a ter menores valores ( $400,0 \text{ Wm}^{-2}$  com o TEB e  $530,0 \text{ Wm}^{-2}$  sem o TEB).

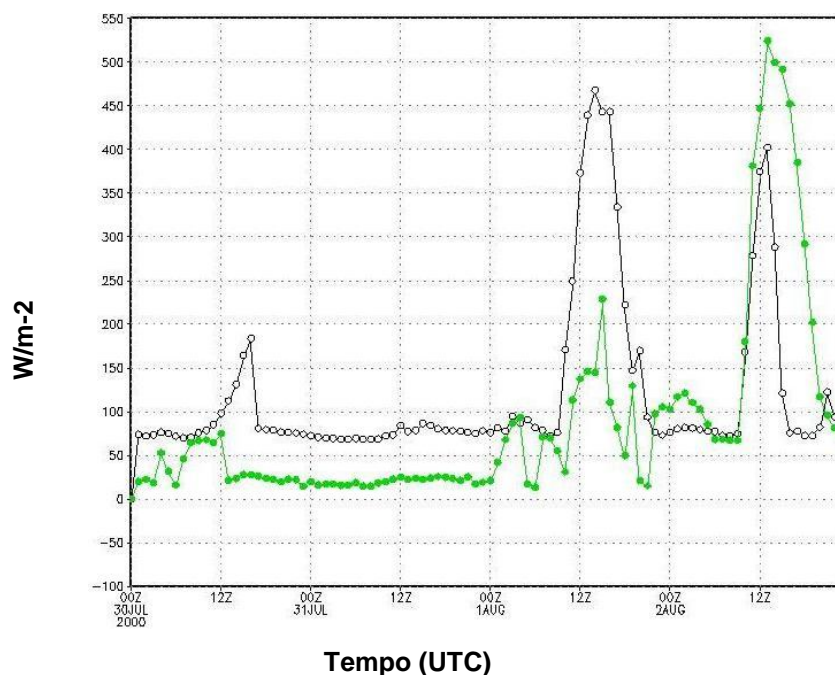
Figura 7 - Ciclo diário dos fluxos de calor sensível ( $\text{Wm}^{-2}$ ) com a ativação do parâmetro TEB e sem a ativação do TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).



Comparando-se as Figuras 7 e 8, 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 7), 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 8). 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 sensível pelo resfriamento da superfície. Esse fato está mais claro para a curva com o TEB ativado. Por fim, no último dia quando a frequência de precipitação diminui, ocorre uma inversão entre as curvas para ambas as figuras, resultando numa diminuição dos valores máximos para a Figura 7 e aumento destes para a Figura 8.

Figura 8 - Ciclo diário dos fluxos de calor latente ( $Wm^{-2}$ ) com a ativação do parâmetro TEB e sem a ativação do TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).



Neste caso a discussão acima resulta da característica dos experimentos em simular precipitação apenas nos últimos dias do experimento.

Valores da precipitação acumulada para as curvas com e sem o TEB são visualizados na Figura 9. Nos dois primeiros dias (30/07 e 31/07) os valores são praticamente 0,0 mm, 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.

Para uma melhor visualização dos fluxos sobre a região analisada e da diferença

entre os valores das curvas geradas com e sem o parâmetro TEB, foi feito um corte latitudinal ( $8,12^{\circ}S$ ) na resolução inicial para a área de cobertura vista na Figura 4 (passando exatamente sobre o ponto em vermelho enfatizado). No eixo das abscissas estão os valores longitudinais variando de  $34,80^{\circ}W$  a  $35,10^{\circ}W$ , e no eixo das ordenadas a variação temporal a partir da 00 UTC do dia 30 de julho até a 00 UTC do dia 03 de agosto.

Os maiores valores de temperatura com o TEB (Figura 10) ocorrem nos dois primeiros dias (30/07 e 31/07) entre 16 UTC e 18 UTC, ( $27,5^{\circ}C$  e  $28,5^{\circ}C$  respectivamente). Com a incidência do sistema no dia 01/08 há uma queda dos valores máximos da temperatura,

chegando a atingir cerca de 25,5 °C. Os valores de temperatura não decrescem tanto por conta da sensibilidade do parâmetro TEB tendo em vista a interferência da área urbanizada. Outro

fator de influência é a localização da região em estudo. Como Recife é uma cidade litorânea, o gradiente de temperatura é um pouco mais elevado

Figura 9 - Precipitação acumulada (mm) com a ativação do parâmetro TEB e sem a ativação TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).

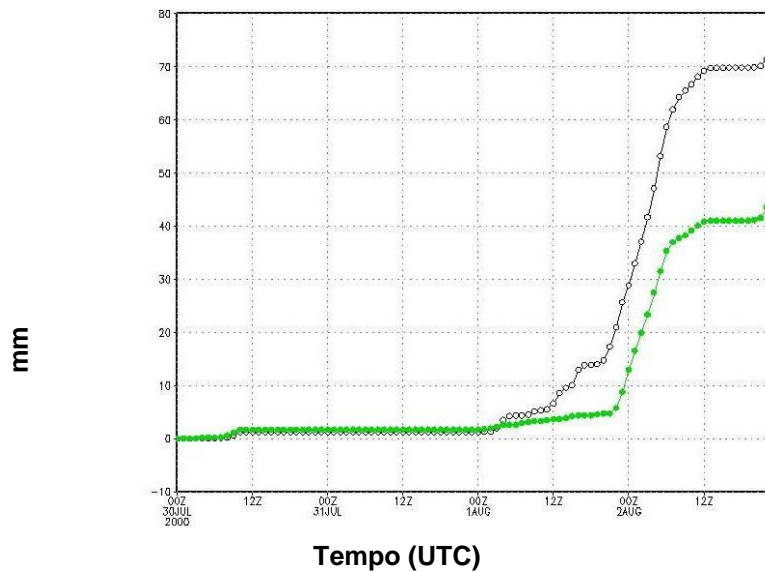
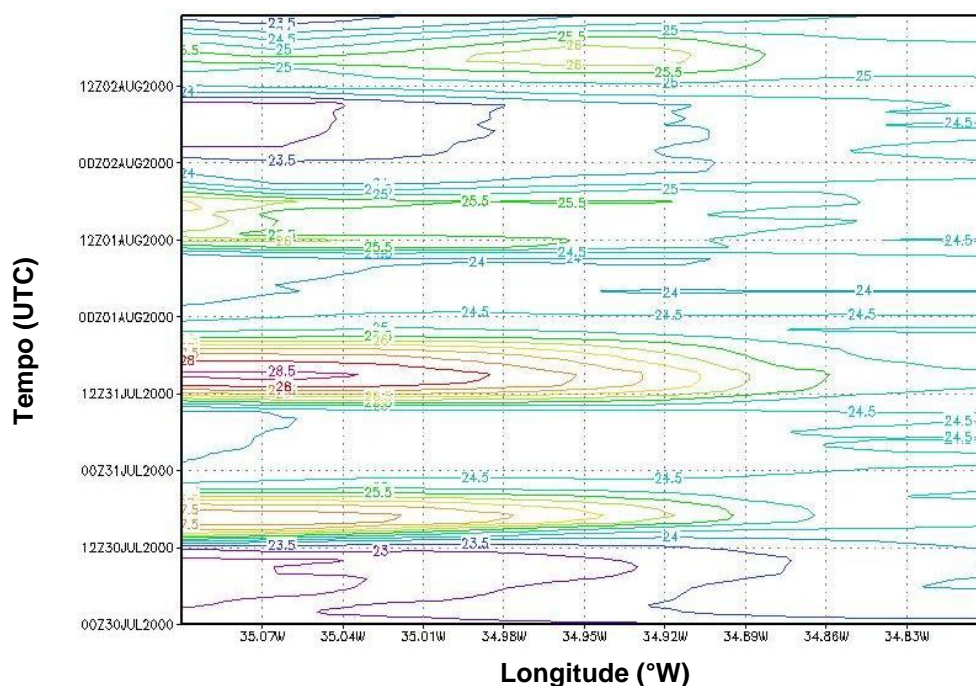


Figura 10: Temperatura do ar (°C) com o TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).



Houve um maior aquecimento nos dois primeiros dias provocando um aumento gradativo nos valores do fluxo de calor sensível (Figura 11). Por outro lado, ocorreu uma diminuição nos valores do fluxo de calor latente (Figura 10) para esses dias. Os fluxos máximos de calor sensível observados são  $600,0 \text{ Wm}^{-2}$  para o dia 30/07, e  $700,0 \text{ Wm}^{-2}$  para o dia 31/07, ambos por volta das 15 UTC. Já os fluxos de calor latente observados são nulos para os mesmos dias provavelmente por causa de uma secagem atmosférica que ocorre antes da atuação do sistema. No dia seguinte (01/08) quando o sistema atua na área em estudo, os valores do fluxo de calor sensível diminuem, e os de calor

latente aumentam. Significa que a área torna-se úmida, aumentando o fluxo de calor latente relacionado à evaporação. Os valores máximos atingidos para o fluxo de calor latente são  $800,0 \text{ Wm}^{-2}$  e  $900,0 \text{ Wm}^{-2}$ , nos dias 01/08 e 02/08, respectivamente. Ambos os valores máximos ocorrem no período após as 15 UTC.

Na Figura 13, a precipitação advinda do oceano começa a incidir no continente por volta das 12 UTC no dia 31/07, com 10,0 mm de chuva aproximadamente. Somente no fim do dia 02/08 a precipitação acumulada observada atingiu cerca de 80,0 mm.

Figura 11 - Fluxo de calor sensível ( $\text{Wm}^{-2}$ ) com o TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).

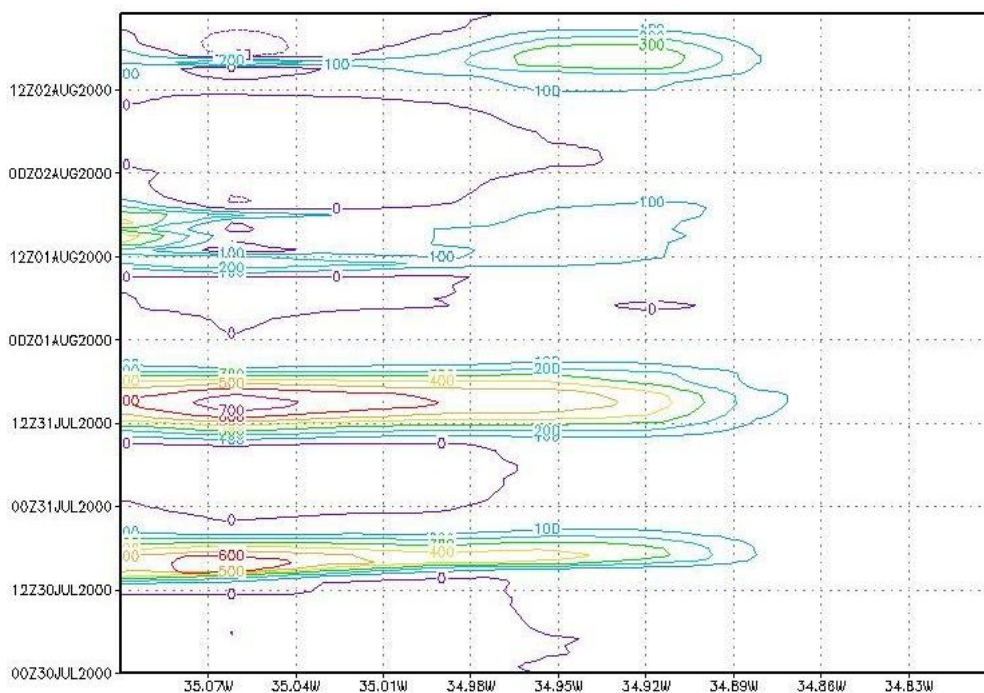


Figura 12 - Fluxo de calor latente ( $Wm^{-2}$ ) com o TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).

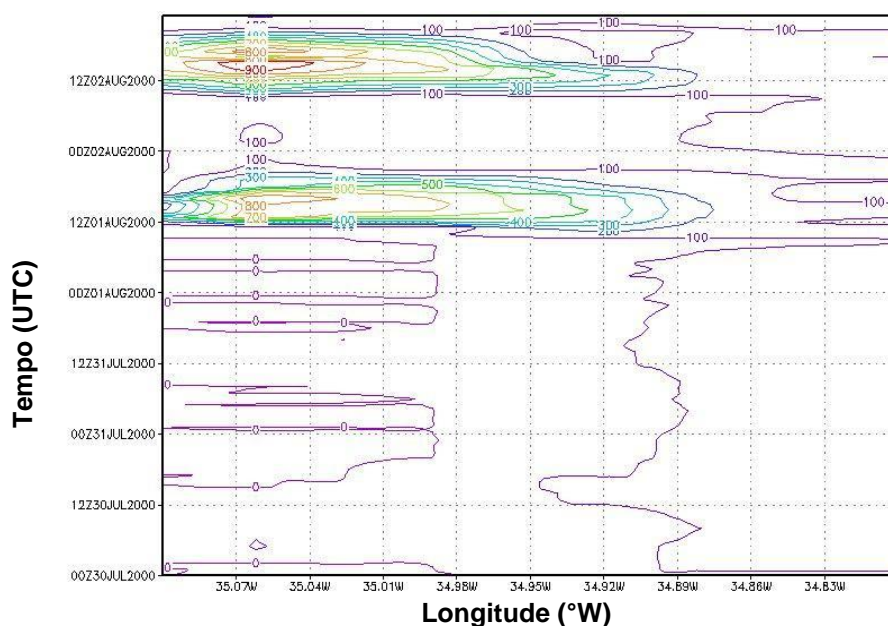
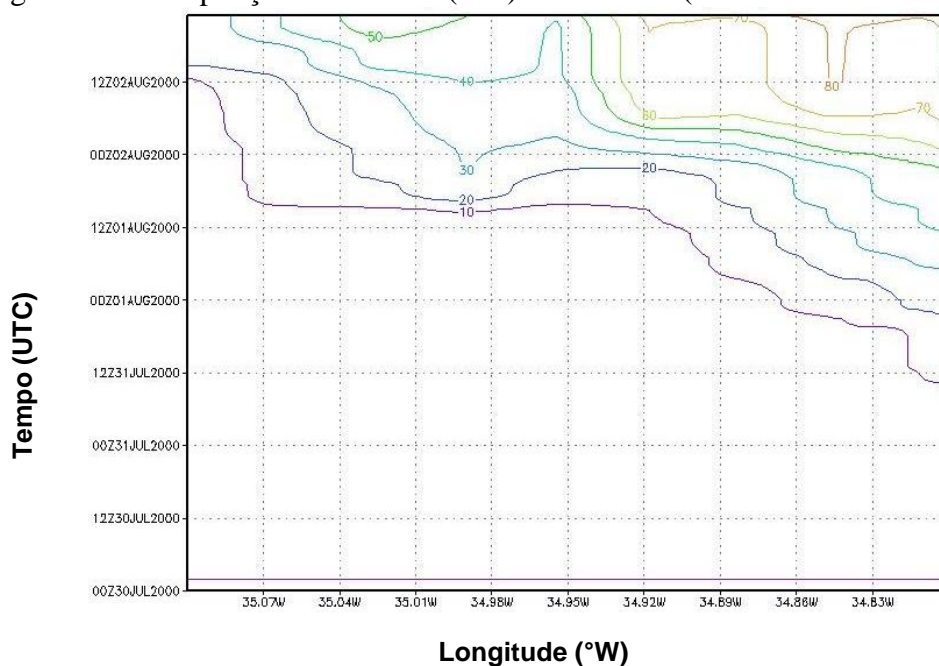


Figura 13 - Precipitação acumulada (mm) com o TEB (de 30/07 a 02/08 de 2000).



## CONCLUSÃO

De acordo com as comparações feitas para as variáveis meteorológicas analisadas sobre a RMR em estudo, percebe-se que a modelagem feita com a ferramenta TEB

ativada apresenta valores mais realistas para a região urbanizada.

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 a parametrização TEB. Devido à grande capacidade calorífica observada em regiões urbanizadas, a região metropolitana de Recife absorve bastante calor durante o dia. Por outro lado, à noite a dissipação de calor será mais lenta resultando no aumento dos valores mínimos, agindo como uma “ilha de calor urbana”. Isso explica a diferença entre as curvas com a parametrização TEB ativada e sem o uso da parametrização.

Para o fluxo de calor sensível, 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 quanto a isso resultando em valores menores sendo então mais realísticos e mais confiáveis. O contrário ocorre com o fluxo de calor sensível.

A quantidade de precipitação também é sensível à parametrização urbana, apresentando valores maiores para a precipitação acumulada.

O TEB tende a reproduzir características típicas das cidades, que são temperatura relativamente maior durante o dia, em virtude de um menor albedo e relativamente maiores durante a noite em virtude do acúmulo de energia durante o

dia. Há também a tendência de deixar as grandes regiões metropolitanas mais úmidas à noite e secas durante o dia.

Pode-se concluir que TEB é importante para a estimativa dos fluxos, uma vez que possibilita uma maior precisão em seus valores sobre as regiões metropolitanas.

## 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.

CLEMENTINO, M.L.M.; SOUZA, M. A. A.. Como andam Natal e Recife. Rio de Janeiro. *Letra Capital: Observatório das Metrôpoles*. v.6, p. 252, 2009.

CORREA, A. C. B.. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 23, p. 86-101, 2006.

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.

LIN, W. S; et al. A numerical study of the influence of urban expansion on monthly climate in dry autumn over the

- Pearl River Delta, China. *Theoretical and Applied Climatology*. v. 89, p. 63-72, 2007.
- MASSON, V. A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Bound-Layer Meteorol.*, v. 94, p. 357-397, 2000.
- 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.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de. Teoria e clima urbano. São Paulo, IGEOUSP. Series teses e monografias, n. 25, 1976.
- NIACHOU, K.; LIVADA, I.; SANTAMOURIS, M.. A study of temperature and distribution inside two urban street canyons in Athens. International conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment". Santorini – Grécia, 2005.
- NOBRE, P.. Aquecimento Global, Oceanos e Sociedade. *InterfaceHS* (Ed. português), v. 3, n.1, p. 1-15, jan./ abril 2008.
- NOILHAN, J. & MAHFOUF, J. F. The ISBA land surface parameterization scheme. *Global and Planetary Change*, 13, 1-4, p. 145-159. 1996.
- OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva. Cidade apropriada ao clima. A forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília, Ed. UnB (textos universitários), 1988.
- 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.
- SILVA, A. B. P.; MOLION, L. C. B.. Extremos de precipitação sobre a costa Leste do Nordeste do Brasil: o evento de agosto de 2000. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, n. 12. 2002, Foz do Iguaçu. Anais. Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2002. 1 CD-Rom.
- 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.
- TRUSILOVA, K.; JUNG, M. Urbanization impacts on the climate in Europe: numerical experiments by the PSU-NCAR Mesoscale Model (MM5). *Journal of applied meteorology climatology*. v. 47, p. 1442-1455, 2008.
- 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.

---