



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



A Influência da Convecção Rasa na Distribuição Espacial da Precipitação Sobre uma Região Urbanizada: Um Estudo de Caso para Recife-PE

Taciana Lima Araujo¹; Enio Pereira de Souza²; Soetânia Santos de Oliveira³.

1 - Professora Dra. da Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. taciana.lima@ig.com.br

2 – Professor Dr. da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. esouza@dca.ufcg.edu.br

3 – Graduada em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. soetania@yahoo.com.br

Artigo recebido em 12/07/2013 e aceito em 07/11/2013

RESUMO

A distribuição espacial da precipitação para todo o entorno da Região Metropolitana do Recife - RMR é estudada neste trabalho, através da modelagem numérica da atmosfera, utilizando o modelo *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System* – BRAMS acoplado ao *Town Energy Budget* – TEB. Foram estudados dois casos distintos, um para o período de tempo seco e outro para um episódio chuvoso. Para entender o efeito individual da dinâmica da cidade e o da convecção rasa, assim como a sua interação não linear, foi utilizado o método de separação de fatores proposto por Stein e Alpert (1993). A consideração do efeito conjunto da dinâmica urbana e dos cúmulos rasos produzem resultados mais realistas, mostrando que a cidade pode contribuir para aumentar ou diminuir a precipitação, dependendo do momento em que os eventos chuvosos ocorrem.

Palavras-chave: clima urbano, convecção rasa, BRAMS, TEB.

The Influence of the Shallow Convection on the Areal Precipitation Distribution of an Urbanized Region: A Case Study for Recife-PE

ABSTRACT

The spatial distribution of precipitation around the Metropolitan Area of Recife – MAR is studied in this work through atmospheric numerical modeling using the *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System* – BRAMS coupled to *Town Energy Budget* – TEB. We studied two cases, one of them for a dry period and the other for a rainy episode. To better understand the sole effect of both the urban dynamics as well as the effect of the shallow convection, we used the method of factor separation of Stein and Alpert (1993). Considering the joint effect of the urban dynamics and shallow cumulus produced more realistic results, suggest that the urban area may contribute to increasing or decreasing the precipitation, depending on the timing of rainy events occurrence. Our results suggest that the urban area may contribute to increasing or decreasing the precipitation, depending on the timing of rainy events occurrence.

Keywords: urban climate, shallow convection, BRAMS, TEB.

Introdução

Devido à diversidade e complexidade das cidades as conclusões obtidas a partir de estudos sobre a interação áreas urbanizadas-atmosfera, na maioria das vezes, são limitadas, quer por um determinado local ou pelos processos físicos que atuam dentro da Camada Limite Urbana - CLU. O dossel

urbano se distingue do rural em vários aspectos: na resposta dinâmica ao escoamento, devido aos obstáculos rígidos, na resposta ao forçamento radiativo, relacionado à geometria do dossel e à constituição dos materiais, no balanço de energia, que depende da permeabilidade do solo, capacidade e

difusividade térmica dos materiais e disponibilidade de água.

As chuvas urbanas também merecem destaque. Sabe-se que as cidades desenvolvem suas próprias chuvas e tempestades. Porém, o processo exato ainda é desconhecido para a comunidade científica, afirma Shepherd (2009). A tendência mundial é de que as cidades, com o decorrer dos anos, continuem crescendo, podendo alterar os padrões climáticos em escalas cada vez maiores. Algumas das hipóteses estudadas por Carrio et al. (2010) relacionam o crescimento urbano e os efeitos dos aerossóis sobre a intensidade da convecção e precipitação local e em áreas circunvizinhas. O efeito da ilha de calor urbana na intensificação da precipitação também é investigado por Freitas et al. (2009).

Atualmente, estudos numéricos são direcionados para simular a climatologia urbana. Porém, a representação fiel da superfície urbana é muito difícil de obter porque necessita de modelos complexos e demanda uma grande quantidade de dados empíricos que, em geral, são difíceis de medir. Por essa razão modelos mais simples têm sido bastante explorados em virtude dos poucos parâmetros necessários para utilizá-los.

Em termos de modelagem das áreas urbanas o interesse tem sido o acoplamento em modelos atmosféricos de mesoescala. O esquema *Town Energy Budget* – TEB, utilizado neste trabalho, visa simular os fluxos turbulentos para a atmosfera, representando tanto a superfície urbana quanto a subcamada de rugosidade, de modo a fornecer a condição de fronteira inferior a modelos de mesoescala na forma de uma única camada. O Esquema TEB deve ser considerado como parte da parametrização de superfície do modelo atmosférico.

O objetivo desse estudo é o de testar o impacto que a Região Metropolitana do Recife pode ocasionar na intensidade da precipitação sobre a própria cidade e adjacências, através da modelagem numérica da atmosfera, utilizando o modelo *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* - BRAMS.

Material e Métodos

A área de estudo:

Recife é a capital do estado de Pernambuco. Está localizada no litoral do Nordeste brasileiro, mais precisamente no centro leste da região, entre as coordenadas 8°03'14" S e 34°52'51" W. A cidade está situada sobre uma planície flúvio-marinha constituída por ilhas, penínsulas, alagados e manguezais envolvidos por cinco rios (Beberibe, Capibaribe, Tejió e braços do Jaboatão e do Pirapama). Sua altitude média varia entre 4 a 10 metros acima do nível do mar, correspondendo a uma área de aproximadamente 218 km² e uma população de 1,536 milhão de habitantes ou 3,688 milhões, considerando a Região Metropolitana do Recife (IBGE, 2010).

O clima regional é caracterizado como tropical atlântico de costa oriental e o tipo climático é o As' (clima quente com chuvas de outono-inverno), sem inverno térmico em que as temperaturas médias mensais são superiores a 18 °C. Apresenta temperaturas equilibradas ao longo do ano devido à proximidade com o mar e devido aos ventos alísios que sopram do oceano Atlântico. Apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25 °C, amplitude térmica anual inferior a 5 °C, umidade relativa do ar com valores médios anuais de 84% e índice pluviométrico anual médio acima de 1.600 mm. Por causa da sua posição geográfica, Recife recebe, na maior parte do ano, ventos oriundos do mar (MOREIRA e GALVÍNCIO, 2007).

Descrição do modelo numérico utilizado:

Neste trabalho o modelo numérico utilizado é a versão brasileira do RAMS, o *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* – BRAMS (PIELKE et al., 1992; COTTON et al., 2003). A versão do modelo de interação Solo-Vegetação-Atmosfera atualmente implementado no BRAMS é o LEAF-3 (WALKO e TREMBACK, 2005). O LEAF-3 permite o refinamento dos balanços radiativos, calor turbulento, fluxos de superfície e, principalmente, trata os efeitos dos diferentes tipos de uso do solo e suas influências uns sobre os outros e sobre a

atmosfera. Um dos aspectos importantes do LEAF-3 é a sua capacidade de representar variações de pequena escala nas características da superfície, tais como tipo de vegetação, inclinação do terreno, tipo de solo, umidade e corpos d'água, os quais frequentemente variam consideravelmente sobre curtas distâncias horizontais. Cada tipo de superfície responde às influências da atmosfera adjacente de uma maneira própria. Outro aspecto relevante é a maneira como as simulações de chuva são tratadas.

Como o LEAF-3 foi desenvolvido para tratar exclusivamente de áreas vegetadas, de solo nu e corpos d'água, faz-se necessário um tratamento mais apropriado e específico para áreas urbanas. Então, quando os *patches* são identificados com algum tipo de solo urbano, o LEAF-3 utiliza-se de outro esquema de parametrização de superfície, que é capaz de fazer uma representação mais realista da cidade, chamado *Town Energy Budget* – TEB, proposto por Masson (2000). No TEB, a representação de áreas urbanizadas é feita utilizando uma geometria de *canyon* local em vez da representação usual de solo nu ou da modificação dos parâmetros da vegetação. A versão atual do TEB foi implementada no BRAMS por Freitas (2003).

Descrição dos experimentos:

Objetivando melhorar a representação dos processos que ocorrem em áreas urbanas, foram realizados experimentos nos quais o BRAMS foi utilizado com o TEB acionado e com o TEB não acionado, além de testar a resposta à presença ou não de convecção rasa. Note-se que o que se investiga aqui é o efeito da dinâmica da cidade e não da cobertura em si, ou seja, o mapa de uso, que é lido pelo BRAMS tende a detectar o solo com cobertura urbana em todos os experimentos. A diferença é que quando o TEB é ativado, a termodinâmica da cidade é considerada. Com o TEB não ativado, a termodinâmica da cidade é ignorada.

Para a validação do esquema TEB acoplado ao modelo BRAMS, foram necessários vários conjuntos de simulações buscando-se um melhor ajuste as condições da cidade do Recife e do seu entorno. Valores

médios horários de temperatura e precipitação acumulada medidos foram utilizados para validar os resultados obtidos pelos experimentos. Os dados utilizados para Recife foram da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br).

Método de Separação de Fatores:

No método de separação de fatores proposto por Stein e Alpert (1993), realiza-se um determinado número de experimentos que seja representativo do número possível de combinações existentes na variação de determinados fatores sobre o campo estudado. Para estudar-se o efeito de n fatores, são necessários 2^n experimentos. Na análise de dois fatores, fator 1 e fator 2, os experimentos são planejados da seguinte forma: no experimento f_0 , o modelo é integrado com ambos os fatores desativados. No experimento f_1 , o modelo é integrado com o fator 1 ativado e com o fator 2 desativado. No experimento f_2 , o modelo é integrado com o fator 1 desativado e com o fator 2 ativado. E no experimento $f_{1,2}$ o modelo é integrado com os fatores 1 e 2 ativados de modo que a interação não-linear entre os dois fatores possa ser analisada.

Segundo Stein e Alpert (1993), os fatores são expressos por:

$$\hat{f}_1 = f_1 - f_0 \quad (01)$$

$$\hat{f}_2 = f_2 - f_0 \quad (02)$$

$$\hat{f}_{12} = f_{12} - (f_1 + f_2) + f_0 \quad (03)$$

De modo que quando se analisa o comportamento de uma determinada variável meteorológica $\hat{f}_1$ representa a contribuição isolada do fator 1; $\hat{f}_2$ representa a contribuição isolada do fator 2 e $\hat{f}_{12}$ representa a contribuição da interação não linear entre os fatores 1 e 2.

Configuração dos experimentos:

Foram escolhidos dois períodos distintos para a realização dos experimentos, um para um período chuvoso e outro para um

período seco. O critério para a escolha de cada período foi a disponibilidade de dados observacionais para a validação dos experimentos. Para o período chuvoso foi escolhido o período entre 01 e 07 de janeiro de 2007 e para o período seco foi escolhido o período entre 01 e 07 de outubro de 2007. Para todos os experimentos foram geradas saídas com frequência de 1 hora. Os resultados para Recife-PE foram validados a

partir de dados da estação de superfície. Os dados observacionais têm resolução de 1 hora.

Para cada período foram realizados quatro experimentos numéricos. A Tabela 1 mostra a denominação dos experimentos e a Tabela 2 mostra a descrição e denominação dos fatores e da interação não-linear entre os fatores.

EXPERIMENTOS	TEB	CONVECÇÃO RASA	DENOMINAÇÃO
f_0	NÃO	Desativada	0000
f_1	SIM	Desativada	TB00
f_2	NÃO	Ativada	CR00
f_{12}	SIM	Ativada	TBCR

Tabela 1: Denominação dos experimentos

FATORES	DESCRIÇÃO	DENOMINAÇÃO
$\hat{f}_1 = f_1 - f_0$	TB00 - 0000	$\hat{f}_1$
$\hat{f}_2 = f_2 - f_0$	CR00 - 0000	$\hat{f}_2$
$\hat{f}_{12} = f_{12} - (f_1 + f_2) + f_0$	TBCR - (TB00 + CR00) + 0000	$\hat{f}_{12}$

Tabela 2: Descrição e denominação dos fatores

A precipitação foi simulada através do esquema Grell e Dévényi (2002), com fechamento do tipo Kain-Fritsh. Todos os experimentos têm como características gerais: o modelo BRAMS que foi integrado durante um período de 7 dias. Foram utilizados dados diários de reanálises do NCAR/NCEP, para gerar as condições de contorno 4D para o modelo.

As simulações foram feitas com dois espaçamentos diferentes de grade horizontal, com as coordenadas centrais em 8° S e 34,5° W. A resolução da grade 1 foi de 16 km, com

80 pontos de grade distribuídos na direção x e 80 pontos na direção y . Esse domínio abrange quase que a totalidade do Nordeste do Brasil, como mostra a Figura 1. A resolução da grade 2 foi de 4 km, com 120 pontos na direção x , como também na direção y , é centralizada de modo a fazer uma boa representação da Região Metropolitana do Recife - RMR. Na vertical o modelo conta com 42 níveis atmosféricos e foram considerados nove níveis do solo.

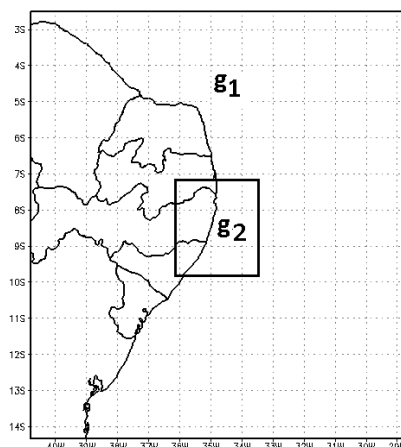


Figura 1: Domínio de integração mostrando as grades 1 e 2.

A Figura 2 mostra a RMR, de diferentes formas. A Figura 2a mostra a RMR a partir de uma imagem do Google Earth (www.google.com/earth). A Figura 2b mostra a RMR a partir do levantamento de uso do solo realizado no projeto ProVeg-NEB, com resolução de 1 km (VIEIRA et al., 2007). Como o arquivo original disponível no BRAMS não representava bem a RMR, um novo arquivo foi gerado usando informações das Figuras 2a e 2b para melhorar a caracterização da RMR. A Figura 2c mostra os resultados para a grade 2, com resolução de

4 km. Os resultados que serão apresentados para a RMR correspondem a uma média sobre um retângulo, com as coordenadas: 8,05° a 8,18° S e 34,9° a 35° W, que contém a área marcada na Figura 2c. Vale salientar que a Figura 2c é referente a dois tipos de solo identificados pelo TEB. A linha em vermelho é equivalente ao parâmetro “urbano tipo 2” e a linha em preto ao parâmetro “urbano tipo 1”, explicados na Tabela 3.

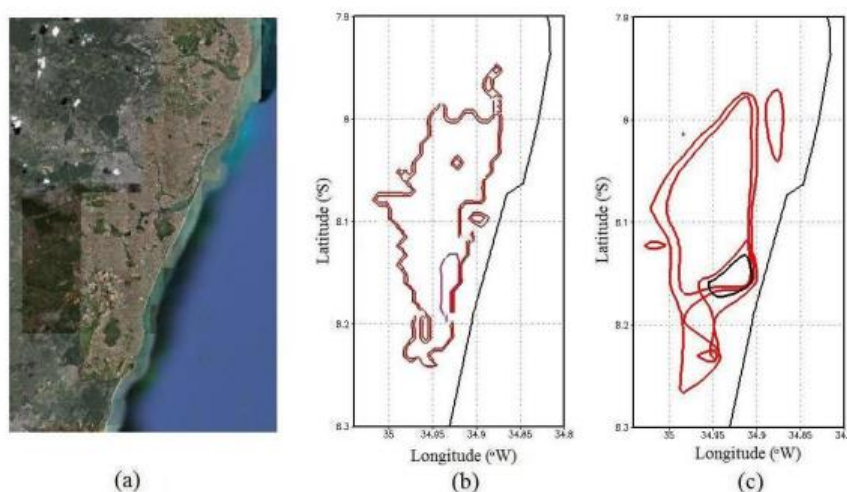


Figura 2: Detalhamento da grade 2, mostrando os pontos com solo urbano.

Configuração do Town Energy Budget – TEB:

Nas simulações realizadas com o esquema TEB acionado foram utilizadas duas configurações correspondentes a dois tipos de

ocupação urbana, urbano tipo 1 (código 21) e urbano tipo 2 (código 19), identificadas pelo modelo para a RMR. A Tabela 3 mostra as diferenças entre estas.

PARÂMETRO	URBANO TIPO 1	URBANO TIPO 2
-----------	---------------	---------------

Altura das construções	30 m	5 m
Largura das construções	10 m	10 m
Rugosidade - z_0	5,0 m	0,5 m
Fração ocupada por construções	50 %	70 %
Fonte veicular de calor sensível	90 Wm^{-2} (máximo)	60 Wm^{-2} (máximo)
Fonte veicular de calor latente	20 Wm^{-2} (máximo)	15 Wm^{-2} (máximo)
Fonte industrial de calor sensível	10 Wm^{-2}	14 Wm^{-2}
Fonte industrial de calor latente	30 Wm^{-2}	50 Wm^{-2}

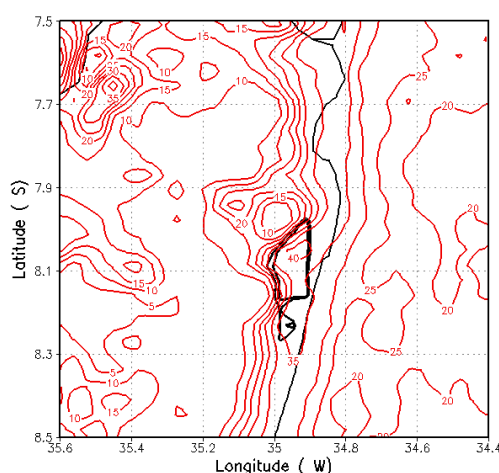
Tabela 3. Parâmetros do esquema TEB.

Resultados e discussões

Como é sabido que o impacto da cidade não é apenas local (SHEPHERD et al., 2002; SHEPHERD, 2006), serão discutidos agora os fatores associados a precipitação acumulada nos dois períodos. A Figura 3 mostra a precipitação acumulada nas primeiras 36 h do experimento TBCR. A área da RMR aparece em destaque. A distribuição de precipitação é razoavelmente uniforme sobre a região, que inclui parte do oceano. Os maiores valores acumulados ($>40 \text{ mm}$) são encontrados na parte norte da RMR.

Durante esse período, o vento médio em baixos níveis, sobre a cidade e adjacências, soprou de sudeste para noroeste como mostra a Figura 4.

A Figura 5 mostra a contribuição isolada da dinâmica da cidade para a precipitação nas primeiras 36 h. O resultado mostra que a cidade contribui de forma marcante para o aumento da precipitação sobre sua própria área. Na sua periferia os valores são negativos, indicando que a cidade induz um padrão de circulação que favorece a convergência sobre a RMR. A cidade isoladamente está induzindo menos precipitação a sotavento, o que não está de acordo com estudos anteriores, que indicam que o maior efeito está a sotavento da cidade (BORNSTEIN e LEROY, 1990; SHEPHERD et al., 2002). Talvez esse tipo de efeito possa ser verificado quando se faz a análise de um evento isolado, como no estudo de Lei et al. (2008).

**Figura 3:** Precipitação acumulada (em mm) entre 0000 UTC do dia 1 e 1200 UTC do dia 2 de Janeiro de 2007 (experimento TBCR). A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

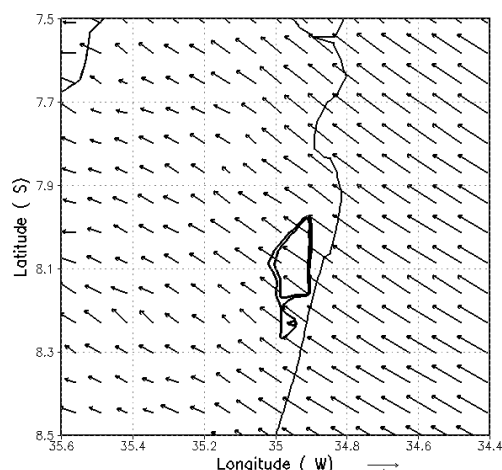


Figura 4: Vento médio (em ms^{-1}) entre 0000 UTC do dia 1 e 1200 UTC do dia 2 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

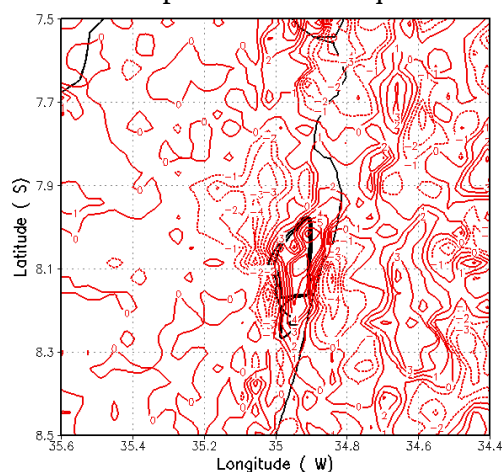


Figura 5: Contribuição isolada da cidade para a precipitação acumulada (em mm) entre 0000 UTC do dia 1 e 1200 UTC do dia 2 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

A Figura 6 mostra que a convecção rasa atua isoladamente para aumentar a precipitação sobre a cidade. Mas esse aumento é espalhado por uma região maior, principalmente sobre o oceano. Este aumento está de acordo com os resultados clássicos da interação entre convecção rasa e convecção profunda (YANAI et al., 1973).

Para esse período, a Figura 7 mostra que a interação não linear entre a convecção

rasa e a dinâmica da cidade tende a causar um efeito negativo, principalmente sobre o continente. Sobre o oceano, há uma alternância entre valores positivos e negativos, o que indica alternância de localização dos valores de precipitação entre os diferentes experimentos.

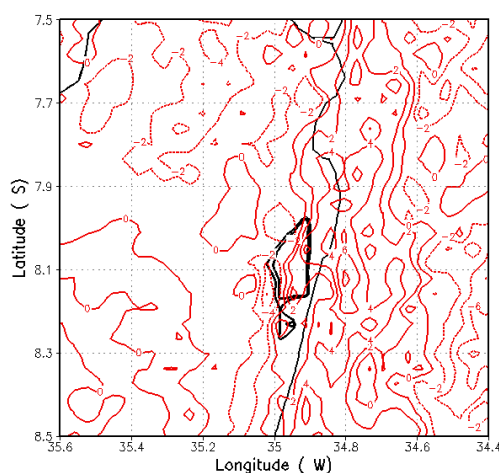


Figura 6: Contribuição isolada da convecção rasa para a precipitação acumulada (em mm) entre 0000 UTC do dia 1 e 1200 UTC do dia 2 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

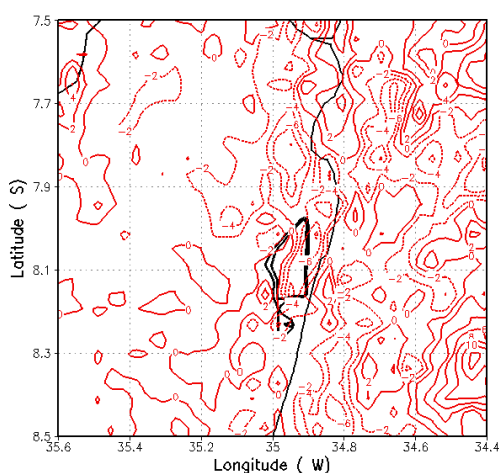


Figura 7: Contribuição da interação não linear entre a cidade e a convecção rasa para a precipitação acumulada (em mm) entre 0000 UTC do dia 1 e 1200 UTC do dia 2 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

A Figura 8 mostra que a precipitação acumulada no período entre 36 e 72 horas de simulação no experimento TBCR é mais concentrada na faixa costeira de Pernambuco e em uma pequena área nas proximidades da fronteira de Pernambuco com a Paraíba. Pode-se ver uma tendência de os menores valores da costa serem encontrados sobre a RMR. O vento médio em baixos níveis, a exemplo do período anterior, é de sudeste em todo o domínio (Figura 9).

A Figura 10 mostra que a cidade contribuiu isoladamente para diminuir a precipitação acumulada em até 25 mm, na parte norte da RMR. É interessante notar que esse efeito é propagado para norte-noroeste da RMR, causando também uma redução da precipitação. Aparentemente, a repetição dos eventos chuvosos cria uma condição de estabilização sobre a cidade, que é advectada pelo vento e atinge a área a sotavento.

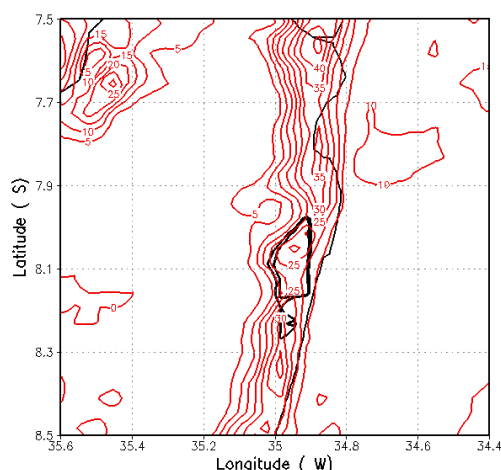


Figura 8: Precipitação acumulada (em mm) entre 1200 UTC do dia 2 e 0000 UTC do dia 4 de Janeiro de 2007 (experimento TBCR). A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

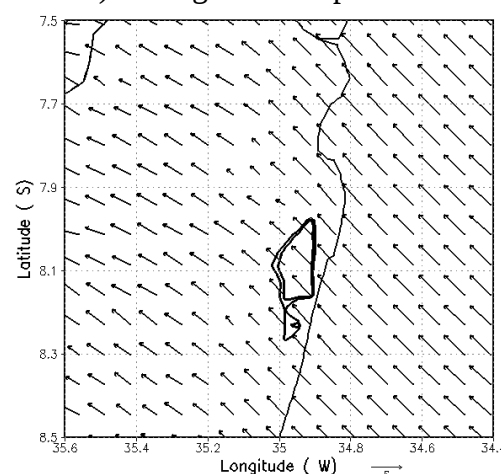


Figura 9: Vento médio (em ms^{-1}) entre 1200 UTC do dia 2 e 0000 UTC do dia 4 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

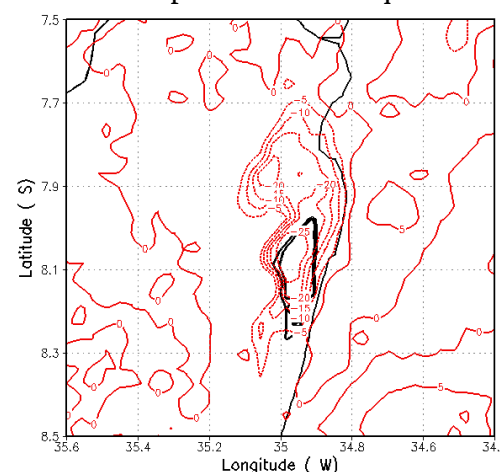


Figura 10: Contribuição isolada da cidade para a precipitação acumulada (em mm) entre 1200 UTC do dia 2 e 0000 UTC do dia 4 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

A contribuição isolada dos cúmulos rasos (Figura 11) atua para reduzir a precipitação em toda a costa de Pernambuco. Como seria de se esperar, a abrangência da área de atuação da convecção rasa é maior. A

magnitude do efeito dos cúmulos rasos em reduzir a precipitação é maior que a da cidade.

A interação não linear entre a dinâmica da cidade e os cúmulos rasos é

mostrada na Figura 12. Pode-se ver que o efeito tende a ser positivo, na região onde a contribuição isolada da cidade é negativa. Isso mostra o quanto o mecanismo de interação

entre a convecção rasa e a cidade pode ser importante para reduzir o efeito isolado de ambos os fatores.

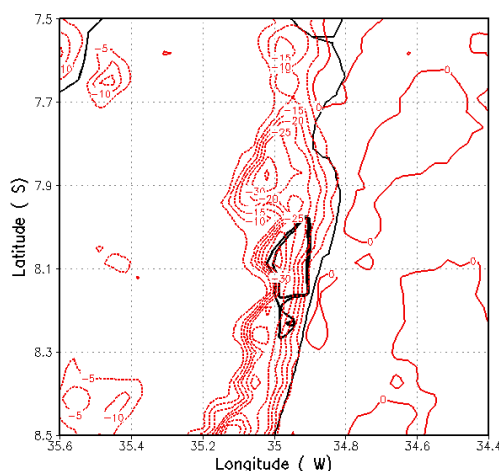


Figura 11: Contribuição isolada da convecção rasa para a precipitação acumulada (em mm) entre 1200 UTC do dia 2 e 0000 UTC do dia 4 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

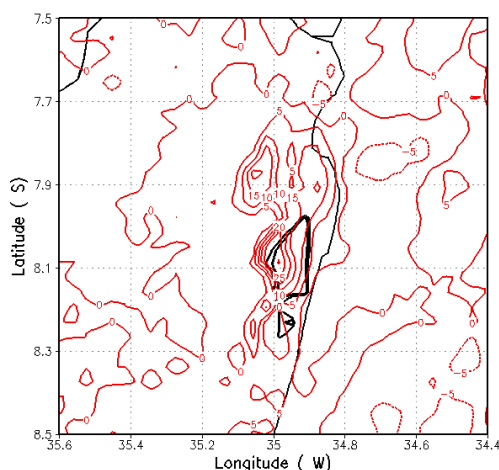


Figura 12: Contribuição da interação não linear entre a cidade e a convecção rasa para a precipitação acumulada (em mm) entre 1200 UTC do dia 2 e 0000 UTC do dia 4 de Janeiro de 2007. A Região Metropolitana do Recife aparece em destaque.

A discussão mostra que o efeito local da cidade e o efeito sobre a vizinhança precisam ser mais bem estudados. Os resultados obtidos aqui concordam com os da literatura, que dizem que a cidade atua para aumentar a precipitação local. Contudo, os resultados também indicam que há casos, após um período chuvoso prolongado, em que as condições criadas pela cidade contribuem para uma redução da precipitação a sotavento. É necessário, portanto, investigar a extensão desse tipo de resultado para que o efeito da cidade possa ser mais bem estabelecido.

Conclusões

1- A dinâmica da cidade e a convecção rasa tendem a favorecer ou inibir um aumento da precipitação. Isso depende do momento em que o evento ocorre. Quando segue um período seco, esses mecanismos atuam para favorecer a precipitação. Após um período chuvoso, a atmosfera sobre a cidade se estabiliza e a precipitação passa a ser inibida.

2- A existência da cidade parece impactar as regiões circunvizinhas, principalmente aquelas a sotavento. Contudo,

é necessário cautela para afirmar se esse efeito é sempre positivo. Pode ser que o impacto ao longo de vários dias não seja tão importante quanto o causado por eventos isolados.

Agradecimentos:

Os autores agradecem a UFCG e ao CNPQ pelo suporte a execução deste trabalho.

Referências

- Araujo, T. L. (2010). Estudo numérico da interação entre uma região urbanizada e a convecção rasa. Tese de doutorado, UFCG, 129f.
- Bornstein, R.; Leroy, M. (1990). Urban barrier effects on convective and frontal thunderstorms. Fourth AMS Conference on Mesoscale Processes, p. 25 - 29.
- Carrio, G. G.; Cotton, W. R.; Cheng, W. Y. Y. (2010). Urban growth and aerosol effects on convection over Houston: Part I: The August 2000 case. *Atmospheric Research*, v. 96, p. 560 - 574.
- Cotton, W.R.; Pielke, R. A.; Walko, R. L.; et al. (2003). RAMS 2001: Current Status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*. v. 82, p.5 - 29.
- FREITAS, E. D. (2003). Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes. Tese de doutorado (Departamento de ciências atmosféricas), Universidade de São Paulo, 156f.
- Freitas, E. D.; Silva Dias, P. L.; Carvalho, V. S. B.; et al. (2009). Factors involved in the formation and development of severe weather conditions over the megacity of São Paulo. In: 89th AMS Annual Meeting, Phoenix-AZ.
- IBGE/2010
(<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2010>).
- LEI, M.; NIYOGI, D.; KISHTAWAL, C.; et al. (2008). Effect of explicit urban land surface representation on the simulation of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India. *Atmospheric Chemistry and Physics*. v. 8, p. 5975 – 5995.
- Masson, V. (2000). A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 94, p. 357 - 397.
- Moreira, E. B. M.; Galvêncio, J. D. (2007). Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM-Landsat 7. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 24, p. 101-115.
- Pielke, R. A.; Cotton, W. R.; Walko, R. L.; et al. (1992). A comprehensive meteorological modeling system – RAMS. *Meteorological and Atmospheric Physics*, v. 49, p. 69 - 91.
- Shepherd, J. M.; Pierce, H.; Negri, A. J. (2002). Rainfall Modification by Major Urban Areas: Observations from Spaceborne Rain Radar on the TRMM Satellite, *Journal of Applied Meteorology*, v. 41, p. 689 - 701.
- Shepherd, J. M. (2006). Evidence of Urban-induced precipitation variability in arid climate regimes, *Journal of Applied Meteorology*, v. 67, p. 607 - 628.
- Shepherd, J. M. (2009). (<http://earthobservatory.nasa.gov/study/urbanrain>).
- Stein, U.; Alpert, P. (1993). Factor separation in numerical simulations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 50, p. 2107 – 2115.
- Vieira, R. M. S. P.; Carvalho, V. C.; Alvalá, R. C. S.; et al. (2007). Melhorias no mapeamento do uso da terra da região Nordeste do Brasil para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, p. 1923 - 1930.
- WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J. (2005). Technical Note 1, Modifications for the Transition from LEAF-2 to LEAF-3, ATMET

Technical Note, Boulder, Colorado 80308-2195, <http://www.atmet.com/html/docs/rams/>.

YANAI, M., ESBENSEN, S., CHU, J. H. (1973). Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 30, p. 611 - 627.