

## **Análise de padrões de áreas: estudo de caso na RA - Araçatuba a partir de técnicas de análise espacial**

Daniela de Azeredo França  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{franca, bernardo}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Brazil is the major producer of sugarcane in the world and beside its economic relevance it causes some damages to the environment. The practice of sugarcane straw burning to easy the harvest procedure causes the emission to the atmosphere of particulate material, greenhouse gases and tropospheric ozone precursors with negative impacts, particularly, in occurrence of respiratory tract diseases. Although there are environmental policies to eliminate the pre-harvest burning practice in Brazil before 2020, the effectiveness of this regulation is still questionable and the environmental damage during the harvest period is significant. Therefore, it is necessary to evaluate the negative impacts due to sugarcane cultivation for ethanol and sugar production in Brazil. This work deals with the use of spatial analysis techniques to detect spatial patterns of sugarcane straw burning and hospitalizations caused by respiratory tract diseases in the region of Araçatuba, São Paulo State, Brazil, in 2006. The results showed differences between area patterns of hospitalizations caused by respiratory tract diseases and area patterns of sugarcane straw burning. The diversity in the spatial distribution of these hospitalizations is likely to be related to others socioeconomic and environmental factors.

**Palavras-chave:** agricultural areas, emissions, respiratory tract diseases, áreas agrícolas, emissões, doenças respiratórias

### **1. Introdução**

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Esta produção é igualmente dividida na fabricação de açúcar e de etanol. Mais da metade do açúcar fabricado é exportado, enquanto que o etanol é todo consumido no mercado interno. Contudo, o Brasil tem potencial para se tornar um grande exportador de etanol para atender uma futura demanda do mercado externo, a fim de substituir parcialmente os combustíveis fósseis por renováveis como alternativa para mitigação do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007).

No entanto, apesar da grande importância que assumiu para a economia nacional, especialmente devido à crescente demanda pela produção de etanol, a cultura da cana-de-açúcar pode apresentar um elevado potencial de impacto ambiental. Isto se deve à emissão de material particulado, gases estufa e precursores do ozônio troposférico para a atmosfera, quando praticada a queima da palha da cana, no período da colheita. Além disso, impactos associados à mudança do uso do solo, induzidos pela alteração do padrão interação superfície-atmosfera, também podem ocorrer. Este fato mostra que ainda existem algumas limitações quanto ao emprego de biocombustíveis, os quais podem até mesmo ter custos ambientais muito elevados.

No estado de São Paulo, visando à extinção da prática da queima da palha de cana-de-açúcar, a Secretaria de Meio Ambiente (SMA) do Estado de São Paulo e a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) firmaram, em agosto de 2007, um protocolo de intenções no qual esta prática deve ser reduzida gradativamente até a sua completa eliminação em 2017, sendo que até o ano 2014 nas áreas mecanizáveis (Aguiar et al., 2009). Entretanto, esta prática poderá continuar causando prejuízos no decorrer deste período, como os que têm sido observados nos ecossistemas e na saúde da população localizados próximos às áreas de queimada. Além disso, como a direção e a intensidade dos ventos influenciam a dispersão dos poluentes atmosféricos, um maior número de pessoas estará sujeito aos seus efeitos, caso os

ventos predominantes dirijam-se para áreas mais densamente povoadas (Ribeiro e Assunção, 2002). Lopes e Ribeiro (2006) verificaram a existência de correlação entre os produtos das queimadas da palha de cana-de-açúcar e a incidência de problemas respiratórios nas regiões afetadas, no estado de São Paulo, por meio de técnicas de geoprocessamento. Neste estudo, observou-se uma maior incidência de doenças respiratórias nas regiões com a ocorrência desta prática. Do mesmo modo, Ribeiro (2008) constatou que uma grande parcela da população (sobretudo idosos, crianças e asmáticos) tem a sua saúde prejudicada pela queima da cana-de-açúcar, demandando atendimento dos serviços de saúde e onerando-os, bem como as suas famílias.

Neste contexto, existe a necessidade de aprimorar o conhecimento científico acerca dos impactos ambientais do aumento da produção do etanol de cana-de-açúcar no Brasil, nos últimos anos, especialmente no que se refere aos impactos dos poluentes gerados pela queima da palha da cana na saúde humana. Vale lembrar que a disponibilidade de informações deste tipo também é de grande importância para o planejamento agrícola e regional.

Sendo assim, este trabalho propõe o uso de técnicas de análise espacial para detectar os padrões espaciais dos valores observados de queima da palha da cana e de internações hospitalares por doenças respiratórias, na Região Administrativa de Araçatuba – São Paulo, em 2006. Utilizaram-se técnicas de análise exploratória de dados espaciais (*Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA*), as quais permitem a descrição e visualização de distribuições espaciais, a identificação de situações anômalas e de padrões de associação espacial, clusters, bem como a indicação de regimes espaciais ou formas de heterogeneidade espacial (Anselin e Bao, 1997). A aplicação destas técnicas se mostra fundamental em estudos na área de saúde, pois segundo Gurgel (2003) uma das maneiras de se conhecer de forma mais detalhada as condições da saúde da população é por meio de mapas que permitam observar a distribuição espacial de situações de risco e dos problemas de saúde. Ainda segundo esta autora, a abordagem espacial permite a integração de dados demográficos, socioeconômicos e ambientais, promovendo o inter-relacionamento das informações de diversos bancos de dados. O presente estudo visa, também, verificar diferenças e semelhanças entre os padrões de queima da palha da cana-de-açúcar e de internações hospitalares e captar as diferenças entre os 43 municípios da RA de Araçatuba – SP.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Área de Estudo**

Para a realização deste trabalho, foi escolhida a Região Administrativa de Araçatuba, localizada no noroeste do estado de São Paulo, conforme ilustrado na Figura 1.

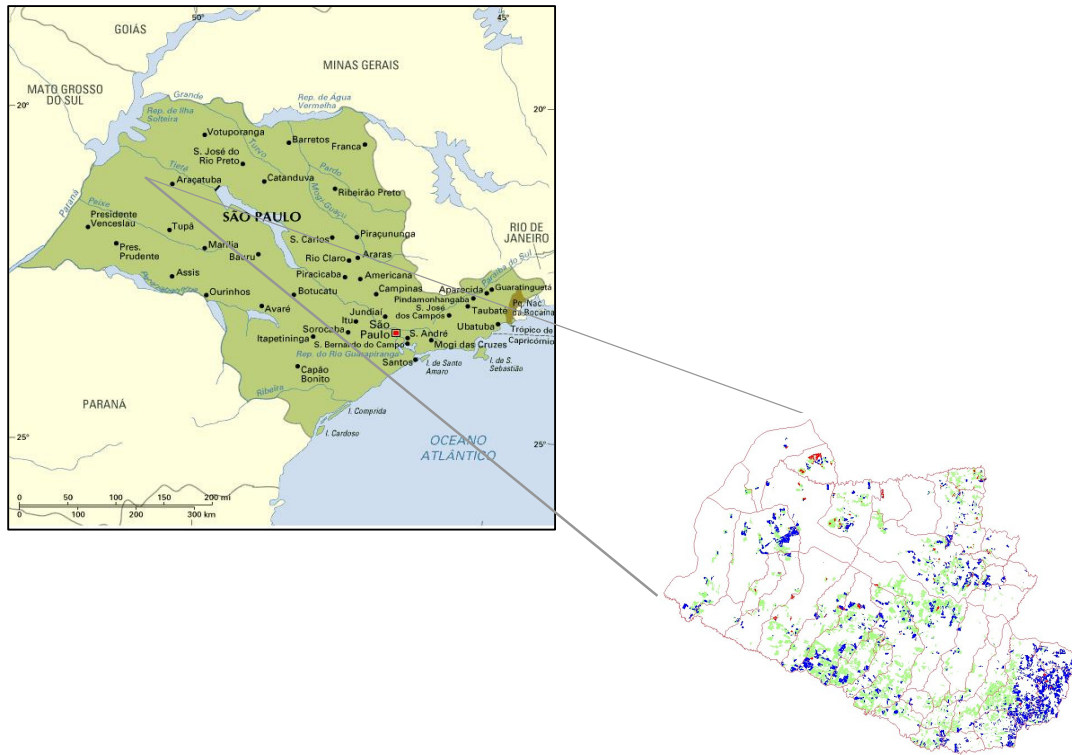


Figura 1. Localização da área de estudo. Ilustração com áreas cultivadas com cana-de-açúcar no ano de 2006 (Fonte: Projeto Canasat).

## 2.2 Materiais e Métodos

A fim de atingir os objetivos propostos, foram empregados dados de internações hospitalares por doenças respiratórias pertencentes ao Movimento de Autorização de Internação Hospitalar (AIH) do Sistema Único de Saúde, que compreende o Cadastro de Hospitais e o Cadastro de Terceiros e corresponde a uma das formas de disponibilizar os dados do Sistema de Internações Hospitalares (SIH-SUS). Como a época de colheita da cana-de-açúcar ocorre principalmente de abril a dezembro, utilizaram-se os totais mensais de internações levantados para este período, no ano de 2006, de cada um dos municípios que fazem parte da RA-Araçatuba, neste trabalho.

Foi usado, também, o mapeamento das áreas nas quais houve colheita de cana-de-açúcar com a prática da queima no estado de São Paulo referente ao ano de 2006. O mesmo foi produzido pelo subprojeto “Mapeamento da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo” (Figura 2), no contexto do projeto Canasat (Rudorff et al., 2010). O mapeamento das manchas urbanas para o estado de São Paulo gerado por este projeto, a partir de imagens de sensores TM/Landsat e CCD/CBERS adquiridas no período de março a novembro de 2006, foi igualmente utilizado. Após a preparação do banco de dados, no Spring 4.3.3, os mapas foram recortados, a fim de que ficassem com o limite da Região Administrativa de Araçatuba.

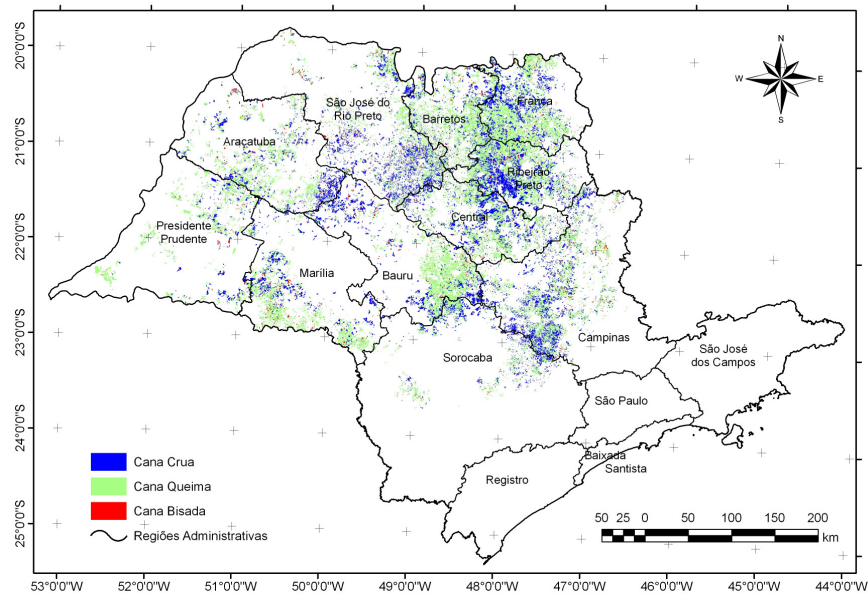


Figura 2. Mapeamento do modo de colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, para o ano de 2006 (Fonte: Projeto Canasat).

Com relação aos dados de internações hospitalares, primeiramente, somaram-se os valores dos meses de abril a dezembro a fim de obter o número de internações do período de interesse para cada município. Como não seria adequado utilizar os valores absolutos destes totais de internações por doenças respiratórias dos municípios para compará-los, devido à existência de uma diferença considerável quanto ao total da população de um município em relação a outro, foi calculada uma taxa de internações por doenças respiratórias, por 1.000 habitantes. Posteriormente, estes valores pertencentes a uma tabela não-espacial foram inseridos na tabela de atributos do SPRING, onde cada um destes atributos foi associado ao objeto (município) correspondente. Dessa forma, a tabela original de atributos foi modificada com a inclusão do valor total de internações, de abril a dezembro, a cada um dos municípios da RA-Araçatuba.

Foi realizada uma análise exploratória, na qual se visualizou a distribuição espacial dos dados, por meio das técnicas de agrupamento Passo Igual, Quantil e Estatístico, e exploraram-se os dados de área, através de técnicas de autocorrelação espacial, gerando o Índice Global de Moran e o Índice Local de Associação Espacial (LISA).

A primeira etapa da análise exploratória constou da visualização de padrões de área. Foi feita a visualização com Intervalos Iguais, na qual os valores máximos e mínimos foram divididos pelo número de classes. Esta mostra a dispersão dos dados, mas os *outliers* podem mascarar as diferenças. Em seguida, a visualização por Quantis foi realizada. Neste tipo de visualização, os agrupamentos possuem o mesmo número de elementos. Entretanto, pode mascarar diferenças significativas em valores extremos. Foi desempenhada, ainda, uma visualização por Desvios Padrão, na qual a distribuição da variável é feita em gradação de cores para valores acima e abaixo da média.

Ao passo que a segunda etapa da análise exploratória correspondeu à exploração dos dados de área, na qual foi empregado o Indicador Global de Autocorrelação Espacial. Gerouse o Índice Global de Moran (*Moran's I*) a fim de detectar similaridade entre áreas e explorar a dependência espacial, mostrando como os valores estão correlacionados no espaço.

Por sua vez, o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), que produz um valor específico para cada área (objeto), foi utilizado com o intuito de identificar *clusters* (objetos

com valores de atributos semelhantes), *outliers* (objetos anômalos), assim como a presença de mais de um regime espacial.

Cada uma destas ferramentas gerou resultados tanto para os dados de taxas de internação por doenças respiratórias (por 1.000 habitantes) quanto para os dados de áreas nas quais houve queima da palha da cana-de-açúcar, em 2006, os quais foram comparados.

### 3. Resultados

Na etapa de visualização de padrões de área, foram comparados os mapas gerados para taxas de internação por doenças respiratórias (por 1.000 habitantes) e para áreas nas quais houve queima da cana-de-açúcar, na RA-Araçatuba em 2006. Observaram-se diferenças quanto aos padrões de áreas entre os mapas destas duas variáveis.

No que diz respeito à exploração dos dados de área, obteve-se um Índice Global de Moran equivalente a 0,32 para áreas com queima da cana. Isto mostra uma autocorrelação espacial positiva para esta variável.

O diagrama de espalhamento de Moran também foi gerado. Este diagrama descreve espacialmente o relacionamento entre valores do vetor de desvios Z e os valores das médias locais, permitindo a indicação de diferentes regimes espaciais presentes nos dados (Figura 3). Os quadrantes 1 e 2 indicam uma associação espacial positiva. Municípios com valores nestes quadrantes possuem vizinhos com valores semelhantes. Enquanto que Q3 e Q4 mostram uma associação espacial negativa, na qual uma localização possui vizinhos com valores distintos, conforme ilustrado na Figura 3.

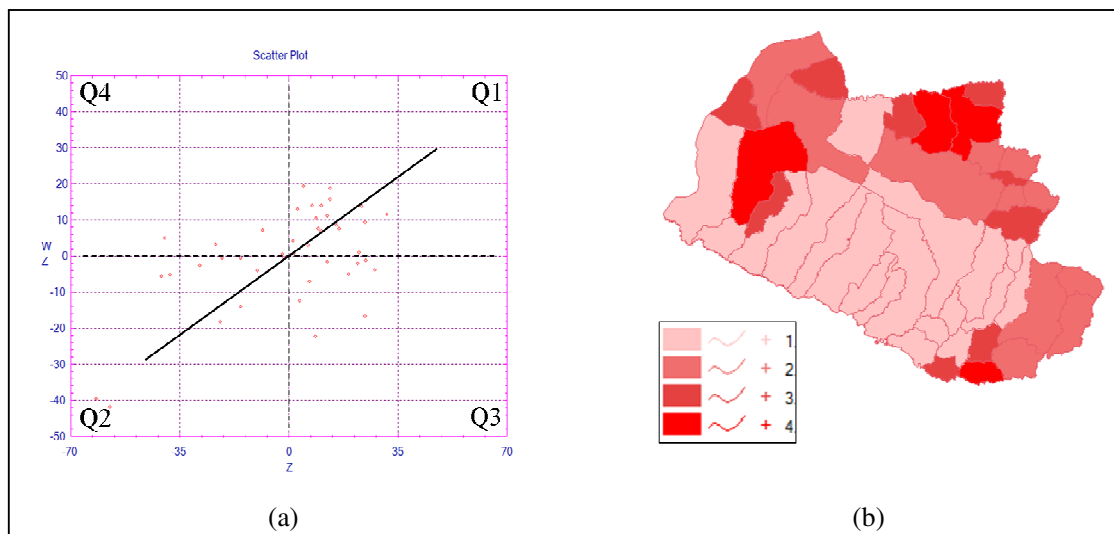


Figura 3. Diagrama de espalhamento de Moran (a) e Box Map do diagrama de espalhamento de Moran (b), para áreas com ocorrência de queima da cana-de-açúcar, na RA de Araçatuba.

A Figura 3 mostra que os municípios cujos valores estão localizados nos quadrantes 3 e 4 correspondem a extremos, pois estão afastados da reta de regressão linear e não possuem o mesmo processo de dependência espacial dos demais municípios. Deste modo, podem representar regiões de transição entre regimes espaciais distintos.

Do mesmo modo, observou-se uma autocorrelação espacial positiva para internações hospitalares, uma vez que foi obtido um Índice Global de Moran igual a 0,18 para esta variável. No entanto, foram verificadas diferenças quanto ao seu padrão de autocorrelação espacial, em relação ao das áreas com queima da cana, como mostra a Figura 4.

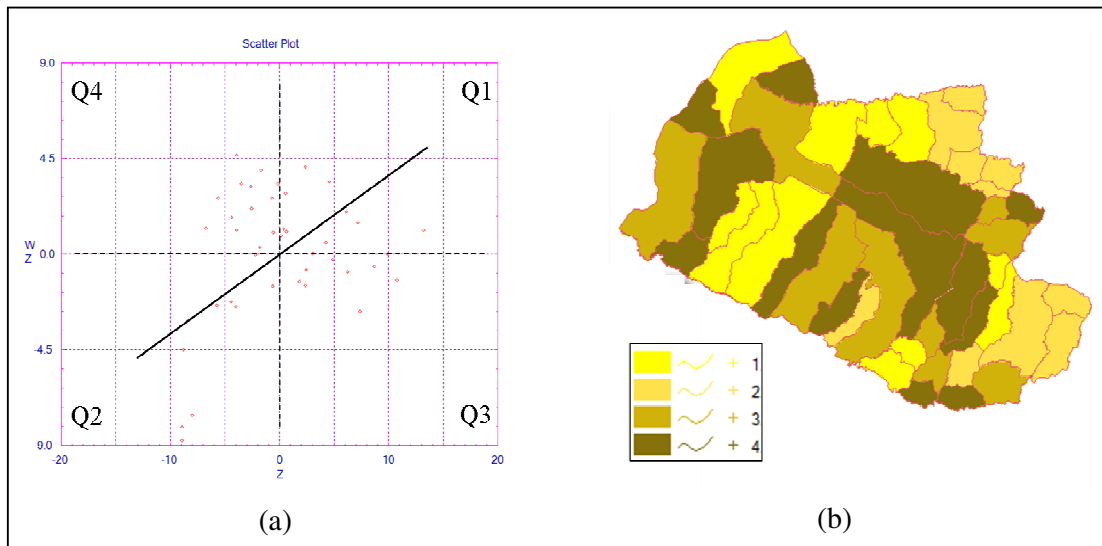


Figura 4. Diagrama de espalhamento de Moran (a) e Box Map do diagrama de espalhamento de Moran (b), para internações hospitalares, na RA de Araçatuba – SP.

Em uma escala de maior detalhe, verificou-se a distinção entre os padrões espaciais de correlação local das áreas com queima da palha da cana e das internações hospitalares. Mapas indicando as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do resto dos dados foram gerados. No LISA MAP, os índices locais foram associados aos seguintes grupos: 0 → sem significância, 1 → significância de 95%, 2 → significância de 99% e 3 → significância de 99,9%.

No MORAN MAP, os índices locais são associados ao diagrama de espalhamento de Moran. Somente os objetos para os quais os valores dos índices foram considerados significantes são apresentados, sendo classificados em quatro grupos, conforme o quadrante aos quais pertencem no gráfico de espalhamento ou classificados como sem significância (Figuras 5 e 6).

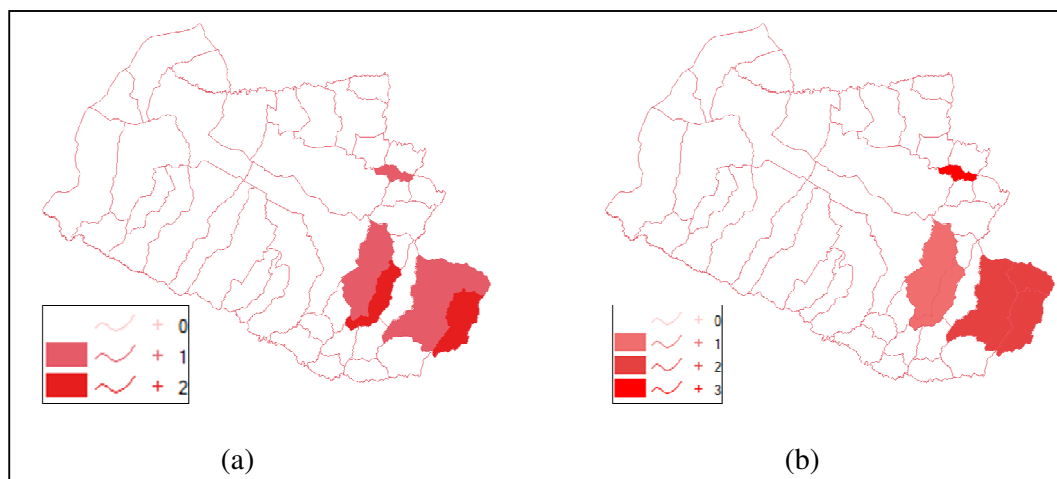


Figura 5. LISA MAP (a) e MORAN MAP (b), para áreas com queima da cana, na RA de Araçatuba – SP.

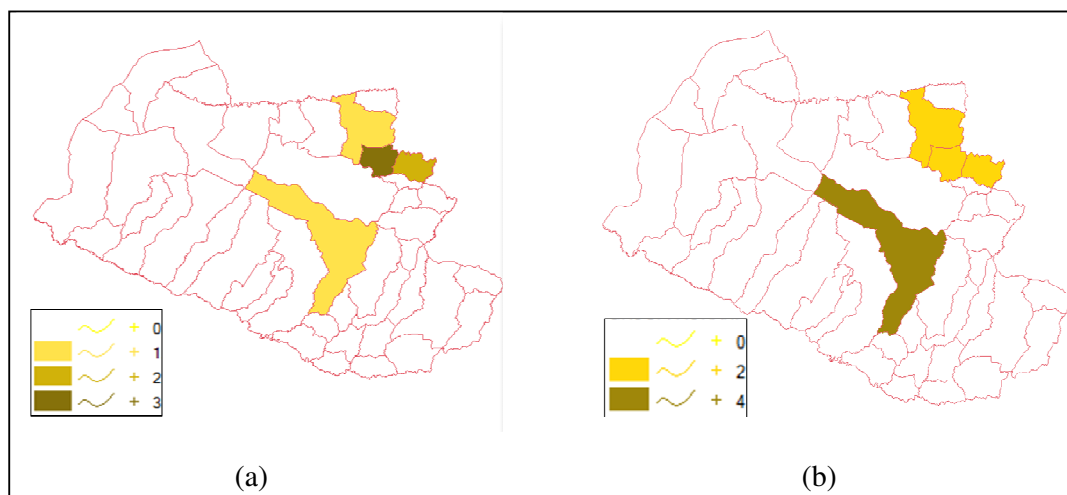


Figura 6. LISA MAP (a) e MORAN MAP (b), para internações hospitalares, na RA de Araçatuba – SP.

#### 4. Considerações Finais

Os mapas gerados mostraram a aplicabilidade das ferramentas de análise espacial empregadas neste trabalho para estudos desta natureza.

A análise de padrão de áreas realizada neste trabalho possibilitou a identificação de diferenças entre os padrões de áreas das variáveis queima cana e internações hospitalares, na RA-Araçatuba em 2006. O padrão diferente encontrado para a distribuição espacial das internações hospitalares pode estar vinculado também a outros fatores socioeconômicos e ambientais.

Deste modo, foi constatada a necessidade de uma análise mais profunda, que considere, por exemplo, as relações existentes entre a variável resposta “número de internações hospitalares” e as variáveis explicativas: concentração de poluentes, direção dos ventos, temperatura e umidade relativa.

#### Agradecimentos

Ao Subgrupo de Vigilância Epidemiológica de Araçatuba em Andradina (pertencente ao GVE XI - Araçatuba), pelo fornecimento dos dados do SIH/SUS (Sistema de Informações Hospitalares do SUS) utilizados neste trabalho.

#### Referências Bibliográficas

Aguiar, D. A.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 3, p. 440-451, 2009.

Anselin, L.; Bao, S. Exploratory spatial data analysis linking SpaceStat and ArcView. In: Fischer, M. M.; Getis, A. *Recent developments in spatial analysis*. New York: Springer, 1997. p. 35-59.

Gurgel, H. A utilização das geotecnologias em estudos epidemiológicos: o exemplo da relação entre a malária e o NDVI em Roraima. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 1303-1310. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: <[http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.14.31/doc/12\\_308.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.14.31/doc/12_308.pdf)>. Acesso em: 07 dez. 2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007. The physical science basis: part of the working group I contribution to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: Cambridge University, 2007.

Lopes, F. S.; Ribeiro, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Rev. Bras. Epidemiol.**, v. 9, n. 2, p. 215-225, 2006.

Ribeiro, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Rev. Saúde Pública**, v. 42, n. 2, p. 370-376, 2008.

Ribeiro, H.; Assunção, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estud. Av.**, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D. A.; Silva, W. F.; Sugawara, L. M.; Adami, M.; Moreira, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.