

# ESTUDO DOS AGLOMERADOS ESPACIAIS DO DENGUE NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, BRASIL.

Paulo Cesar de Holanda Furtado<sup>1</sup>, Pedro Rafael Diniz Marinho<sup>2</sup>, Liliane dos Santos Machado<sup>3</sup>, Ronei Marcos de Moraes<sup>4</sup>

**Abstract** – O dengue é hoje uma das principais doenças nos países tropicais e subtropicais. Este trabalho tem o objetivo de identificar aglomerados espaciais do dengue na cidade de João Pessoa, PB, Brasil, no ano de 2005, utilizando análise espacial de dados pontuais. Foram georeferenciados 419 ocorrências, 61,9% do total, utilizando-se GPS. Foi utilizada a técnica de estimativa por Kernel, técnica que promove o alisamento da intensidade dos pontos levando em consideração a variabilidade dos dados, mantendo suas características locais. Os aglomerados espaciais foram gerados a partir do estimador Kernel Quartic. Dentre os testes realizados, o raio de 363,27 metros mostrou-se significativo. Verificou-se que o dengue está presente em toda área urbana do município e que os maiores aglomerados ocorrem de forma mais intensa na zona norte e sudeste da cidade.

**Index Terms** – Dengue, epidemiologia, sistema de informação geográfica, análise espacial de padrões pontuais.

## INTRODUÇÃO

As doenças transmitidas por vetor têm sido, e continuam sendo o maior e mais importante problema de saúde do mundo, representando um sério risco às populações [1]. Entre estas temos a febre do dengue que ocorre principalmente nos países tropicais onde a temperatura e a umidade favorecem a proliferação do mosquito vetor [2]. O dengue é a causa principal da morbidade e da mortalidade pediátrica em muitos países do Sudeste Asiático [3]. Estima-se que de 50 a 100 milhões de pessoas, a cada ano, contraem o dengue e que dois quintos da população humana correm o risco de contrair a doença [4]-[5].

O dengue é uma doença viral transmitida principalmente pela fêmea infectada dos mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*. No Brasil, embora presente desde 1986, ainda não existem indícios de que o *Aedes albopictus* seja responsável pela transmissão de dengue, no entanto o *Aedes*

*albopictus* seja um importante vetor na região rural do sudeste asiático [2][4]-[10].

Uma tecnologia que vem se destacando nos estudos epidemiológicos, pois tem permitido incluir a componente espacial, é o Sistema de Informação Geográfica, SIG (*Geographical Information System*) [5][11][12]. Os SIG são sistemas computacionais que permitem, entre outras aplicações, armazenar, manipular e analisar informações geograficamente referenciadas, descrevem o comportamento e distribuição analisando padrões espaciais de doenças e vetores [5][12][13].

Dentre as aplicações de SIG, tem se sobressaído a análise de padrões de pontos. Esta análise consiste no estudo do comportamento da distribuição de fenômenos espaciais representados por pontos amostrais, onde a variável (pontos amostrais) está caracterizada por sua localização geográfica. Através desta análise pode-se verificar se os pontos representam uma distribuição aleatória, se estão regularmente distribuídos ou se apresentam aglomerados espaciais [13]. Sendo detectada a presença de aglomerados espaciais, pode-se obter uma estimativa visualizada da densidade de ocorrências por unidade de área [14].

Um dos primeiros a usar análise pontual na elucidação de um problema espacial foi o Dr. John Snow, em Londres, na Inglaterra, que associou as ocorrências do cólera a uma fonte de água (poços) [15]. Estudos recentes tem utilizado as análises de padrões de pontos no estudo epidemiológicos, entre eles, o dengue. Shootman et al. [11] comparam duas aplicações de SIG, análise de padrões de pontos e análise cadastral no estudo de asma em crianças tratadas no Hospital das Crianças, em St. Louis, Missouri, USA, entre os meses de setembro e outubro nos anos de 1999 a 2001. Ali et al. [16] usam a análise de padrões de pontos para identificar áreas de aumento na transmissão do dengue em Dhaka, Bangladesh, no ano de 2000. Bohra e Andrianasolo [17], em estudo realizado entre os meses de dezembro de 2000 e julho de 2001, tentam relacionar fatores socioculturais à ocorrência de aglomerados espaciais do dengue. Siqueira et al. [18], em 2001, utilizam análise espacial de padrões de

<sup>1</sup> Paulo Cesar de Holanda Furtado, Aluno do Mestrado do Departamento de Informática e prof. do Departamento de Estatística da Universidade Federal da Paraíba, Rua Antônio Leopoldo Batista, 100, room 302, 58.051-110, João Pessoa, PB, Brasil, paulofurt@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Pedro Rafael Diniz Marinho, Aluno do Bacharelado em estatística do Departamento de Estatística da Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária s/n - CEP 58.051-900 - João Pessoa - PB, Brasil, pedro.rafael.marinho@gmail.com

<sup>3</sup> Liliane dos Santos Machado, Prof. Dr. do Departamento de Informática da Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária s/n - CEP 58.051-900 - João Pessoa - PB, Brasil, liliane@di.ufpb.br

<sup>4</sup> Liliane dos Santos Machado, Prof. Dr. do Departamento de Informática da Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária s/n - CEP 58.051-900 - João Pessoa - PB, Brasil, liliane@di.ufpb.br Ronei Marcos de Moraes, Prof. Dr. do Departamento de Estatística da Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária s/n - CEP 58.051-900 - João Pessoa - PB, Brasil, ronei@de.ufpb.br

pontos com base em fatores de risco do dengue na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil.

A análise pontual está difundida na literatura para o estudo de casos como o deste estudo. Este trabalho pretende verificar a presença de aglomerados espaciais das ocorrências do dengue no município de João Pessoa, Paraíba, Brasil, no ano de 2005.

## METODOLOGIA

O estudo se deu sobre a população do município de João Pessoa, Brasil, considerando o ano de 2005. Com base nos dados cedidos pela Secretaria de Saúde do Município foram coletados, utilizando GPS (*Sistema de Posicionamento Global*), as localizações geográficas das ocorrências do dengue (residências). Com as localizações geográficas das ocorrências do dengue foi feita uma análise de padrão pontual de forma a identificar padrões espaciais e conglomerados (*cluster*). Para o estudo pontual, foi considerado o modelo de Aleatoriedade Espacial Completa (*Complete Spatial Randomness-CSR*).

Para a análise do comportamento da distribuição espacial do fenômeno estudado são considerados os efeitos de primeira e segunda ordem. Tais efeitos representam as características mais relevantes do comportamento de um processo espacial estocástico [14].

Os efeitos de primeira ordem se referem à intensidade do processo, ou seja, o número de eventos por unidade de área,  $\lambda(s)$  considerando-o constante, verificando como o valor esperado varia no processo em termos da sua média e mediana. Os efeitos de segunda ordem representam a dependência espacial do processo, correspondendo a aproximação do cálculo da covariância entre as variáveis aleatórias [14].

Para a análise do comportamento pontual dos eventos considerados (aleatoriedade, regularidade ou aglomerados), foram usadas as funções  $G$ ,  $F$ ,  $K$  e  $L$  (explicitadas a seguir) que consideram os efeitos de segunda ordem. Os resultados obtidos com a aplicação de tais funções servem de subsídios para o mapeamento das regiões de possíveis aglomerações espaciais.

A função  $G$  considera a distância de evento para evento, ou seja, ela identifica aglomeração entre pontos. Refere-se à probabilidade de que distância de uma amostra escolhida aleatoriamente até seu vizinho mais próximo seja menor ou igual à  $r$  (*raio de influência*). O gráfico da distribuição estimada  $\hat{G}(r)$  versus a *distribuição simulada*, permite verificar a existência de desvios referentes a aleatoriedade. Se a hipótese *CSR* for válida para os dados observados, o gráfico da curva deve ser praticamente linear com um ângulo de 45 graus. Caso as linhas estejam acima da linha de 45 graus, os dados apresentam tendências para agrupamentos espaciais. Caso contrário, em que as linhas estejam abaixo da linha de 45 graus, os dados apresentam padrões de regularidade. O cálculo da função é dado pela expressão (1):

$$\hat{G}(r) \equiv \frac{\sum_{i=0}^n I(r_i \leq r)}{n} \quad (1)$$

onde  $r_i$  é a distância do  $i$ -ésimo evento para o evento mais próximo,  $r > 0$ ,  $I$  é a função indicadora que vale 1 quando a expressão é verdadeira e 0 caso contrário e  $n$  o número de eventos.

Através da função  $F$ , podemos identificar aglomerados de espaços vazios. Tal informação se dá estimando a probabilidade de que a distância de um ponto aleatório ao seu vizinho mais próximo seja menor ou igual a  $r$ . Se a curva estimada for menor que a teórica de  $F$  pode-se sugerir aglomerados espaciais; se maior significa regularidade espacial. O cálculo da função  $F$  é dado pela expressão abaixo:

$$\hat{F}(r) \equiv \frac{\sum_{i=0}^n I(r_i^* \leq r)}{n} \quad (2)$$

onde  $r_i$  é a amostra observada e  $n$  o número de eventos.

Para obter informações mais efetivas da dependência espacial de um padrão espacial abrangendo grandes distâncias, o melhor método é a função  $K$ . A função  $K(h)$  é uma função de densidade de probabilidade que considera a variância de todas as distâncias entre todos os eventos. Esta função procura captar a dependência espacial entre diferentes regiões do processo pontual. Então, define-se a função  $K$  como:

$$K(h) \equiv \lambda^{-1} E(\#) \quad (3)$$

onde  $\#$  é o número de eventos extras contidos a uma distância  $h$  de um evento arbitrário,  $E(\#)$  é o número esperado de pontos por unidade de área e  $\lambda$  é a intensidade ou o número médio de pontos por unidade de área, que é assumido constante.[13] Foram desenvolvidos vários estimadores da função  $K$ , que diferem um do outro pela suposição do processo e na forma de tratar as correções dos efeitos de borda [11]. Sejam  $(s_1, \dots, s_n)$  eventos definidos sobre uma região  $A$ ,  $N \equiv N(A)$  a localização de todos os eventos na região  $A$  e  $(d_1, \dots, d_n)$  distâncias entre os eventos aos limites mais próximos de  $A$ . Um estimador para a função  $K$ , assumindo estacionariedade e isotropia [13], é definido por (4):

$$\hat{K}(h) = \hat{\lambda}^{-1} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n w(s_i, s_j)^{-1} / \mathbb{1}_{\|s_i - s_j\| \leq h}}{N} \quad (4)$$

onde  $h > 0$ ;  $w(s_i, s_j)$  é a proporção da circunferência centrada em  $s_i$  e que é interna a região de estudo  $A$  e  $\lambda = N/|A|$  é uma estimativa da intensidade de  $\lambda$ . Para a hipótese de um

processo aleatório a função é definida como  $K(h) = \pi h^2$ ,  $h > 0$ ; para a hipótese de regularidade  $K(h) < \pi h^2$  e para hipótese de aglomeração  $K(h) > \pi h^2$ .

Uma forma de visualizar graficamente as estimativas de  $K$  com um conjunto de dados com padrão  $\pi h^2$  seria usando a função  $\hat{L}(h)$ , que é uma transformação de  $K$ , e definida por (5) [13].

$$\hat{L}(h) = \sqrt{\frac{\hat{K}(h)}{\pi}} - h \quad (5)$$

Se for verificado aglomerados espaciais no estudo do efeito de segunda ordem passa-se ao estudo dos efeitos de primeira ordem, onde se utiliza o Estimador de Intensidade de Kernel derivado de  $\lambda(s)$ . Através de mapa coroplético, gerado pela função, é possível identificar o comportamento padrão de um conjunto de amostras pontuais de uma região [13].

Seja  $s = (s_1, \dots, s_n)$  as localizações de  $n$  eventos localizados em uma região  $S \subset \mathbb{R}^2$ , onde  $n = N(S)$  e  $s_i$  as localizações genérica cujo valor se quer estimar, então a intensidade  $\lambda(s)$  [13], em  $s$  é estimada por (6):

$$\lambda(s) = \lim_{ds \rightarrow 0} \frac{E(N(ds))}{ds} \quad (6)$$

onde  $ds$  é uma sub-área de  $S$  em torno no ponto  $s$ ,  $N(ds)$  é o número aleatório de eventos na sub-área e  $E(N(ds))$  é o valor esperado de eventos na região  $ds$ .

A função Kernel faz uma contagem dos eventos em cada quadrante construindo uma superfície com valor proporcional a intensidade do número de eventos por quadrante. O estimador de intensidade por Kernel necessita de uma correção devido às bordas, posições de fronteira, levando em consideração apenas os eventos dentro da região de estudo. O estimador corrigido é dado por (7):

$$\hat{\lambda}(s) = \frac{1}{\delta_\tau(s)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s - s_i}{\tau}\right) \quad (7)$$

onde  $k$  representa a ponderação pela função Kernel, centrada na origem e com volume unitário sobre a curva e  $\tau > 0$  que é proporcional ao raio de uma circunferência centrada em  $s$ .

Para o cálculo do raio foi considerado a função do raio ideal. Tal função apresentada em (8), considera o número de pontos por unidade de área e o tamanho da região de estudo [13].

$$r = 0,68 \times (\text{área}) \times (\text{número de pontos})^{-0,2} \quad (8)$$

Toda a metodologia e resultados descrito acima foi aplicada e obtidas no *software* estatístico *R*. Para gerar os

gráficos das funções descritas acima, assim como o *Kernel*, foram usados as bibliotecas *Dcluster*, *shapefiles*, *splanx* e *spatstat* [19].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise pontual dos casos de dengue em 2005 foi possível identificar o tipo de distribuição espacial das ocorrências do dengue no município de João Pessoa. Utilizando técnicas de análise de padrões pontuais, foram identificados as coordenadas de cada ocorrência do dengue registrado em 2005, como pode ser observado na Figura 01. Vemos em azul a Reserva Florestal Mata do Buraquinho, e os pontos em vermelhos representando as localidades onde foram registrados os casos de dengue no ano considerado.

No município de João Pessoa, em 2005, foram registrados, 676 ocorrências de dengue. Deste total foram coletadas as coordenadas geográficas de 419 ocorrências, que corresponde a 62% do total notificado. Os 38% restantes não foram localizados por falta ou erro na informação do endereço.

Iniciou-se o estudo analisando os efeitos de segunda ordem, ou seja, verificando se as ocorrências se comportam se forma aleatória, regular ou apresenta aglomerados espaciais. Com os gráficos das funções  $G$ ,  $F$  e  $L$  foi verificou-se a presença de conglomerados espaciais tanto de pontos como de espaços vazios.

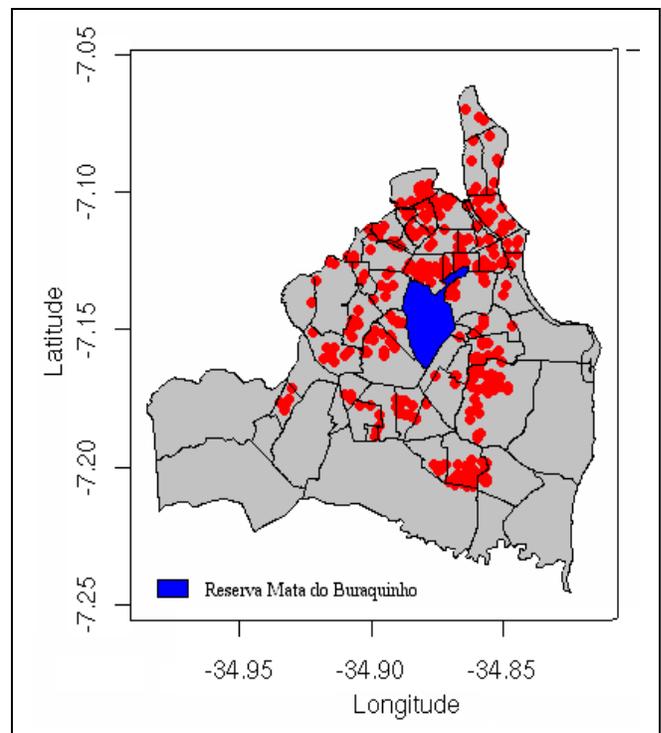


Figura 01

Casos de dengue registrado na cidade de João Pessoa no ano de 2005.

Os Gráficos 01, 02 e 03 representam o comportamento das funções  $G(r)$ ,  $F(r)$  e  $L(r)$  respectivamente. Nestes gráficos a linha preta representa a função estimada, a linha vermelha a representa o modelo teórico do método utilizado e as linhas verde e azul o envelope de simulação. Pode-se observar no Gráfico 01 a função estimada está acima dos limites do envelope de simulação, no Gráfico 02 a função estimada está abaixo do envelope de simulação e no Gráfico 03 temos que a função estimada está acima dos envelopes de simulação. Em todos os casos, os comportamentos das funções caracterizam comportamento de aglomeração espacial de espaços.

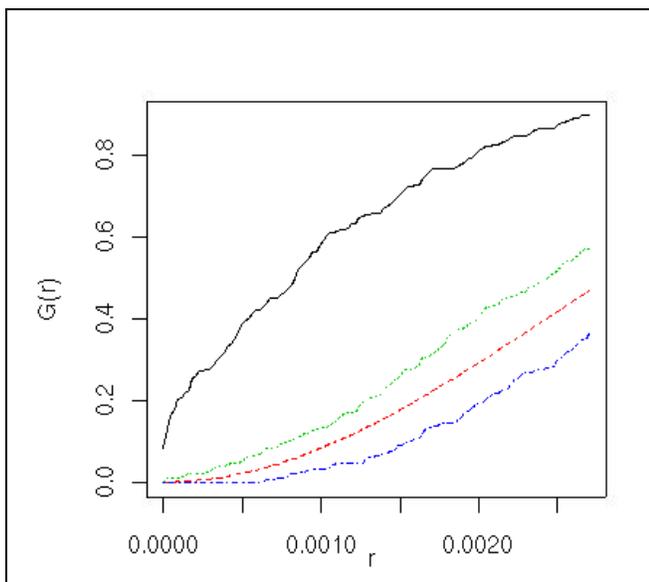


Gráfico 01  
Função G para quinhentas simulações.

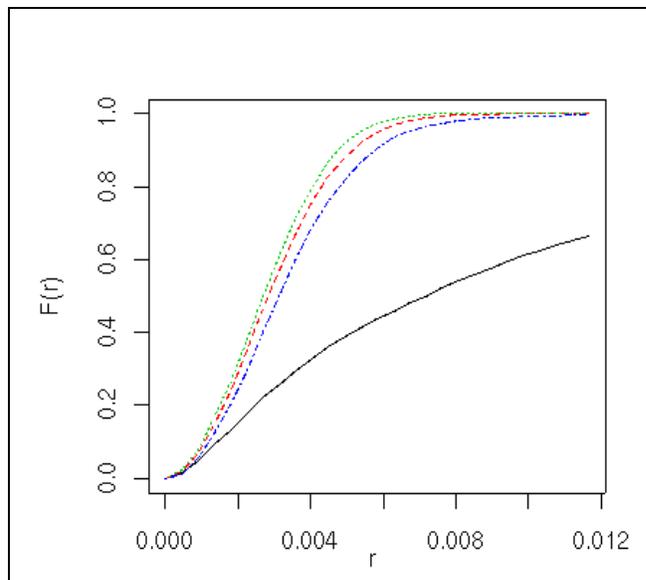


Gráfico 02  
Função F para quinhentas simulações.

Esses resultados motivaram o cálculo do estimador de intensidade de primeira ordem. Observando o mapa coroplético gerado pelo estimador de *Kernel*, foi possível identificar as regiões apresentando aglomerados do dengue. Com o cálculo do Kernel ideal dado por (8), foi considerado o raio de influência de  $r = 0,003272731$  graus, que equivale 363,2731 metros, visto que 1 grau equivale à 111 quilômetros. Com o uso do raio ideal, teve-se uma melhor representação do fenômeno em estudo.

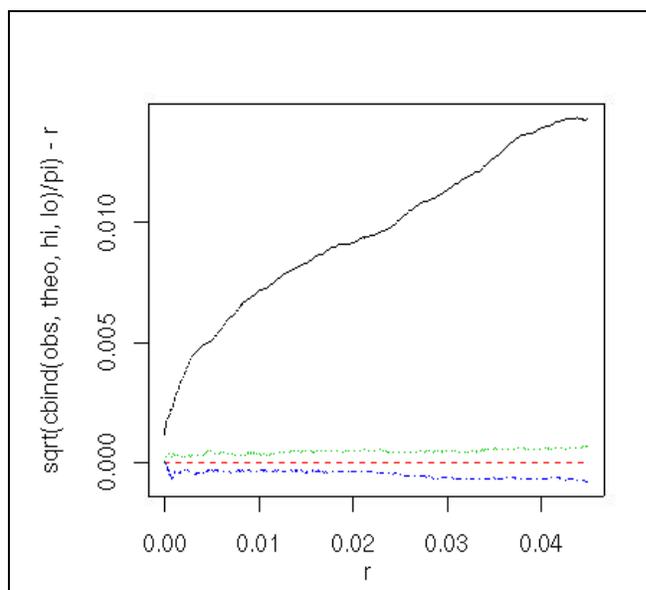


Gráfico 03  
Função L para quinhentas simulações.

Como pode ser observado na Figura 02, as regiões manchadas representam áreas onde foram identificados aglomerados do dengue no período de estudo. As maiores regiões de aglomerados estão situados na região norte do município, compreendendo os bairros da Torre, Expedicionários, dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio e Auto do Céu. Destacam-se também as regiões sudeste e leste, compreendendo os bairros de Mangabeira, Valentina, a sudeste e Cruz das Armas a leste. Estas regiões possuem alta densidade demográfica e são regiões baixo poder aquisitivo. Como pode ser visto na Figura 01, não foram notificados ocorrência do dengue nos bairros de fronteira na zona sul e leste da cidade.

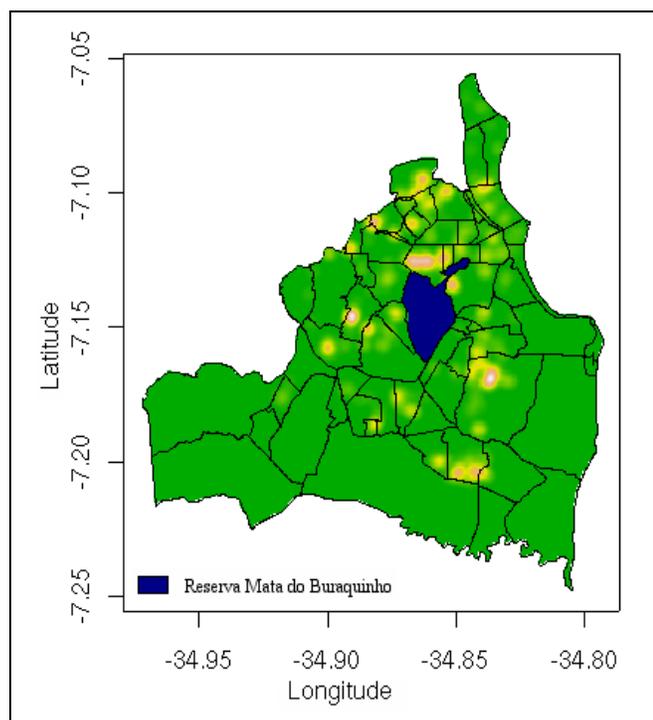


Figura 02  
Estimador de Kernel para a cidade de João Pessoa  
no ano de 2005.

## REFERÊNCIAS

[1] ANDRIANA SOLO, H.; NAKHAPAKORN, K.; GONZALEZ, J. P. Remote sensing and GIS modelling applied to viral disease in Nakhonpathom Province, Thailand. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, v. 5, 2000, pp.1996-1998.

[2] TAUIL, P. L. Aspectos críticos do controle o dengue no Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, v. 18, n. 3, 2002, pp. 867-871.

[3] HAY, S. I.; MYERS M. F.; MAYNARD, N.; ROGERS, D. J. From remote sensing to relevant sensing in human health. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 68, n. 2, 2002, pp. 109-111.

[4] TAUIL, P. L. Urbanização e ecologia do dengue. *Caderno de Saúde Pública*, v. 17, supl., 2001, pp.99-102.

[5] MORRISON, A. C.; GETIS, A.; SANTIAGO, M.; RIGAU-PEREZ, J. G.; REITER, P. Exploratory space-time analysis of reported dengue

cases during an outbreak in Florida, Puerto Rico, 1991–1992. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 58, n. 3, 1998, pp. 287–298. [online] Disponível em: <<http://www.ajtmh.org/cgi/content/abstract/58/3/287>>. Acesso em: 15 out 2007.

[6] FORATTINI, O. P. Identificação de *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) no Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v.20, n. 3, 1986, pp. 244-245.

[7] ALMEIDA, P. S. de; FERREIRA, A. D.; PEREIRA, V. L.; et al. Distribuição espacial de *Aedes albopictus* na região sul do Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, n. 6, 2006, pp. 1094-1100.

[8] SILVA, V. C. da; SCHERER, P. O., FALCÃO, S. S.; et al. Diversity of oviposition containers and buildings where *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* can be found. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, n. 6, 2006, pp. 1106-1111.

[9] CHIARAVALLI-NETO, F.; DIBO, M. R.; BARBOSA, N. A. C.; et al. *Aedes albopictus* (S) in the region of São José do Rio Preto, SP, Brazil: a study of its infestation in an area where *Aedes aegypti* was already established and a discussion of its role as a possible vector of dengue and yellow fever. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 35, n. 4, 2002, pp. 351-357.

[10] URBINATTI, P. R.; MENEZES, R. M. T. de; NATAL, D. *Aedes albopictus* seasonality in a protected area in the city of São Paulo, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 41, n. 3, 2007, pp.478-81.

[11] SCHOOTMAN, M.; STERLING, D. A.; STRUTHERS, J.; Y. YAN; et al. Positional Accuracy and Geographic Bias of Four Methods of Geocoding in Epidemiologic Research. *Annals of Epidemiology*, v. 17, 2007, pp. 464-470.

[12] TRAN, A.; DEPARIS, X.; DUSSART, P; et al. Dengue Spatial and Temporal Patterns, French Guiana, 2001. *Emerging Infectious Diseases*, v. 10, n. 4, 2004, pp. 615-621.

[13] CRESSIE, N. A. C. *Statistics for spatial data revised edition – Wiley series in probability and mathematical statistics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

[14] SANTOS, A. A. da C. e ASSUNÇÃO, R. M. Aplicação de estruturas de dados espaciais eficientes na estimação de intensidade de processos pontuais. *Brazilian Symposium on Geoinformatics - GEOINFO2003*. Campos do Jordão, 2003 [online]. Disponível em: <<http://www.geoinfo.info/geoinfo2003/papers/geoinfo2003-54.pdf>> Acesso em 24 ago 2005.

[15] HINO, P.; VILLA, T. C. S.; SASSAKI, C. M.; et al. Geoprocessamento aplicado à área da Saúde. *Revista Latino-americano em Enfermagem*, v.14, n. 6, 2006, pp. 939-943.

[16] ALI, M.; WAGATSUMA, Y.; EMCH, M.; and BREIMAN, R. F. USE OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR DEFINING SPATIAL RISK FOR DENGUE TRANSMISSION IN BANGLADESH: ROLE FOR Aedes ALBOPICTUS IN AN URBAN OUTBREAK. *American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 69, n. 6, 2003, pp. 634–640. [online] Disponível em: <<http://intl.ajtmh.org/cgi/content/abstract/69/6/634>>. Acesso em: 27 out 2007.

[17] BOHRA, A. and ANDRIANASOLO, H. Application of GIS in Modeling of Dengue Risk Based on Sociocultural Data: Case of Jalore, Rajasthan, India. *Dengue Bulletin*, v. 25, 2001, pp. 92-102.

[18] SIQUEIRA, J. B.; MARTELLI, C. M. T. ; MACIEL, et al. HOUSEHOLD SURVEY OF DENGUE INFECTION IN CENTRAL BRAZIL: SPATIAL POINT PATTERN ANALYSIS AND RISK FACTORS ASSESSMENT. *American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 71, n. 5, 2004, pp. 646–651. [online] Disponível em:

<<http://www.ajtmh.org/cgi/content/abstract/71/5/646>>. Acesso em: 18 nov 2007.

[19] The R Project, The R Project for Statistical Computing, <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 21 out 2007.