



## ANÁLISE DO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CASOS DE TUBERCULOSE EM ARAPIRACA/AL, PERÍODO 2000-2005

Carlos Mauricio Rocha Barroso

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente,  
Maceió, AL, Brasil  
[cmrb@igdema.ufal.br](mailto:cmrb@igdema.ufal.br)

José Vicente Ferreira Neto

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente,  
Maceió, AL, Brasil  
[jvferreiraneto@igdema.ufal.br](mailto:jvferreiraneto@igdema.ufal.br)

**RESUMO** – Avaliou-se o padrão de distribuição espacial dos novos casos de tuberculose (TB) entre 2000 e 2005, na zona urbana do município de Arapiraca, Estado de Alagoas. Para a análise do padrão pontual dos eventos considerados (aleatoriedade, regularidade ou aglomerados), foi aplicado o modelo de Aleatoriedade Espacial Completa (Complete Spatial Randomness-CSR), através da função **K** que considera os efeitos de segunda ordem. A função **K** aplicada às localizações geográficas das ocorrências dos casos de TB mostrou que o padrão da distribuição dos casos de tuberculose não é aleatório, indicando agrupamentos em todos os anos do período estudado. O método Kernel ratificou a presença de aglomeração espacial dos casos, assim como permitiu detectar onde os eventos estavam concentrados. As áreas Centro – Nordeste e Centro-Sudeste destacam-se, sendo a primeira com maior intensidade

Palavras-chave: Geoestatística; Aglomeração espacial; Função Kernel; Controle da tuberculose.

## ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION PATTERN OF TUBERCULOSIS CASES IN ARAPIRACA/AL, PERIOD 2000-2005

**ABSTRACT** – It was evaluated the spatial distribution pattern of tuberculosis new cases (TB) between years 2000 and 2005, in the urban area of Arapiraca city, Alagoas State. For the pattern analysis of the events considered (randomness, regularity or clusters), was applied the Complete Spatial Randomness model - CSR, through the K function that considers the second-order effects. The K function applied to geographical locations of TB cases occurrences showed that the distribution pattern of tuberculosis cases is not random, indicating clusters in all years of the period studied. The Kernel method confirmed the presence of spatial agglomeration of cases, as well as allowed to detect where the events were concentrated. The Center – Northeast and Center – Southeast areas stand out, being the first with greater intensity.

Keywords: Geostatistics; Spatial agglomeration; Kernel function; Tuberculosis control.

### INTRODUÇÃO

Em 1992, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou a tuberculose (TB) em estado de emergência no mundo, sendo ainda hoje a maior causa de morte por doença infecciosa em adultos. Segundo estimativas da OMS, dois bilhões de pessoas, correspondendo a um terço da população mundial, estão infectadas pelo *Mycobacterium tuberculosis*. Destes, oito milhões desenvolverão a doença e 2 milhões morrerão a cada ano (<http://www.who.int/health-topics/tb.htm>). No Brasil, estima-se uma prevalência de 50 milhões de infectados, e, segundo o

Sistema de Informação de Agravos de Notificação do Ministério de Saúde (SINAN/MS), são notificados, ao ano, 85 mil casos novos (correspondendo a um coeficiente de incidência de 47/100.000 habitantes) ocorrendo cerca de 6.000 óbitos anualmente.

Diante do quadro de persistência da tuberculose, em vários municípios do País, o Ministério da Saúde estabeleceu o Plano Nacional de Controle da Tuberculose (PNCT) cujas metas eram integrar na luta contra a doença, 100% dos municípios brasileiros; descobrir, até 2001, 92% dos casos existentes, curando 85% dos casos diagnosticados; além de reduzir a incidência em no mínimo 50%, e em 2/3 a mortalidade por tuberculose, até 2007 (MS, 1999).

Em 2004, foram registrados no SINAN/MS 1.324 casos novos de tuberculose no estado de Alagoas. A incidência por 100 mil hab. foi de 44,9 para caso de todas as formas. A coorte de tratamento, considerando os sete municípios prioritários inclusos no PNCT, mostrou uma cura de 72,1%, estando abaixo da meta nacional de 85% (Sistema Nacional de Vigilância em Saúde/MS, 2006).

A compreensão dos processos envolvidos na determinação das enfermidades na população tem sido aquela na qual as relações sociais também são entendidas como determinantes do padrão de ocupação do espaço de uma cidade. A Geografia tem como objeto de estudo o espaço. A Geografia da Saúde, como pertencente à ciência geográfica, considera o espaço geográfico e parte do processo saúde-doença de uma determinada população no território.

A análise dos fenômenos espacialmente distribuídos, os casos de TB, por exemplo, ressaltam características diretamente ligadas à sua localização espacial. Estes estão na forma de um conjunto de pontos, distribuídos dentro de uma região de estudo, determinado por este fenômeno e sua análise produz resultados mais significativos que uma análise realizada ignorando-se a dimensão espacial. Mais precisamente, segundo Bailey e Gatrell (1995), os dados em questão estão disponíveis em algum processo que está operando no espaço e essa análise procura explicar ou descrever o comportamento desse processo e suas possíveis relações com outros fenômenos espaciais.

O maior interesse nesses processos pontuais, aqueles que advêm de fenômenos identificados como pontos localizados no espaço, é a compreensão e interpretação dos padrões dessas distribuições espaciais. Segundo Câmara et al. (2004), além da percepção visual do fenômeno, é muito útil também conhecer os padrões existentes e fazer considerações objetivas e mensuráveis. Busca-se detectar se a distribuição espacial destas ocorrências é aleatória, apresenta-se aglomerada ou estão regularmente distribuídas.

Nos últimos anos tem se manifestado um crescente interesse no desenvolvimento de métodos para a análise espacial de eventos na saúde (FONSECA, 1996; WERNECK, 1997; BAILEY, 2001; CÂMARA e VIEIRA, 2001; SERPA et al, 2003; SOUZA 2003); PAULA HINO et al, 2005; SOUZA et al, 2005). Esses métodos são utilizados com o propósito de identificar áreas onde residem populações prioritárias de intervenção em função da incidência de diversas enfermidades, entre elas a tuberculose.

O trabalho tem como propósito maior identificar o padrão espacial pontual dos casos de tuberculose na cidade de Arapiraca/AL, no período do estudo considerado, como alternativa metodológica para auxiliar no planejamento e monitoramento das ações em uma das cidades inclusa no Plano Nacional de Controle da Tuberculose – PNCT.

## METODOLOGIA

### Dados

A área geográfica de estudo compreende a zona urbana do município de Arapiraca/AL, localizada no Agreste Alagoano, a 125 km da capital. A cidade é considerada polo das Regiões do Agreste e Sertão do estado, concentrando, segundo o censo IBGE (2000), um contingente populacional de 152.354 habitantes.

As informações relativas aos casos de tuberculose corresponderam aos dados do SINAN/MS, período janeiro de 2000 a dezembro de 2005, coletados na Vigilância Epidemiológica das Secretarias Estadual e Municipal de Saúde.

O objeto de interesse é a localização espacial dos eventos representantes do fenômeno em estudo. O processo de georreferenciamento (coordenadas UTM) das residências dos 468 casos de tuberculose notificados no período de estudo na cidade de Arapiraca foi efetuado através de etapas de campo, utilizando para tal receptor GPS marca BRUNTON, modelo MNS, tendo como base as informações do endereço residencial constante da base de dados do SINAN/MS e dos descritores de limites dos setores Censitários do IBGE (considerados como unidade básica na análise dos dados).

O mapa base utilizado foi o de Setores Censitários do IBGE 2000 (Figura 1), digitalizado. Para o aferimento dos limites dos 118 setores censitários, foi utilizada imagem de satélite, escala 1:2.500, coordenadas em UTM, (Datum SAD-69), com 13 pontos de controle existentes.

**Figura 1** - Mapa base com os 118 setores censitários da zona urbana de Arapiraca/AL.



## ANÁLISE DO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CASOS DE TUBERCULOSE

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 (SANTOS e

ASSUNÇÃO, 2005). 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 à aproximação do cálculo da covariância entre as variáveis aleatórias (SANTOS e ASSUNÇÃO, 2005).

Para a análise do padrão pontual dos eventos considerados (aleatoriedade, regularidade ou aglomerados), foi aplicado o modelo de Aleatoriedade Espacial Completa (Complete Spatial Randomness - CSR), através da função  $K$  que considera os efeitos de segunda ordem. O resultado obtido com a aplicação de tal função serve de subsídio para o mapeamento das regiões de possíveis aglomerações espaciais.

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:

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

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 (CRESSIE, 1993). 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 (SCHOOTMAN, 2007).

Considerando:  $(s_1, \dots, s_n)$  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 (CRESSIE, 1993), é dado por :

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

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

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

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  $K$ , definida por Cressie, (1993):

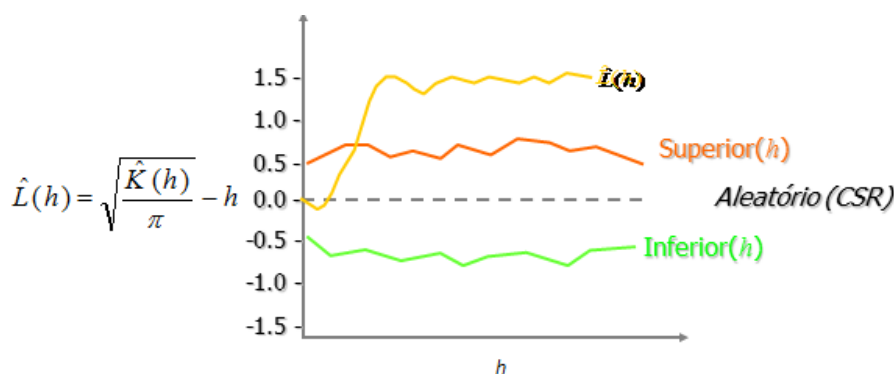
$$\hat{L}(h) = \sqrt{\frac{\hat{K}(h)}{\pi}} - h$$

O gráfico de  $\hat{L}(h)$ , em função da distância  $h$  indica atração espacial entre eventos ou agrupamentos para valores positivos, sendo o agrupamento mais forte em picos positivos, e indica repulsão espacial ou regularidade em pontos de valores negativos. Uma abordagem

similar à do vizinho mais próximo pode ser feita para se estimar a significância dos desvios da distribuição  $\hat{L}(h)$  em relação à condição de aleatoriedade (CSR). Os envelopes inferior e superior são construídos a partir de  $k$  simulações independentes de  $n$  eventos na região  $A$ .

Na análise do gráfico com a distribuição e os envelopes, picos positivos na função estimada  $\hat{L}(h)$ , que estão acima do envelope superior evidencia ocorrência de agrupamento na escala considerada. Portanto, se todos os valores da função  $\hat{L}(h)$ , estiverem acima do envelope superior e com valores positivos, tem-se agrupamentos em todas as escalas. Depressões negativas na função estimada  $\hat{L}(h)$ , que estiverem abaixo do envelope inferior, evidencia regularidade nessa escala, e, se todos os valores de  $\hat{L}(h)$ , estiverem abaixo do envelope inferior e com valores negativos, tem-se regularidade em todas as escalas. A figura 2 mostra o processo ilustrativo para o gráfico de  $\hat{L}(h)$ .

**Figura 2** – Gráfico  $\hat{L}(h)$  com os envelopes superior (h) e inferior (h)



Para os efeitos de primeira ordem, referente à intensidade do processo, ou seja, o número de eventos por unidade de área, foi adotado o estimador Kernel, que tem por objetivo gerar uma grade em que cada célula representa o valor da intensidade. O valor obtido será uma medida de influência das amostras na célula.

A região de influência, dentro da qual os eventos contribuem para o cálculo da intensidade, é um círculo de raio  $\tau$  com centro em  $s$ . Quando se estima o Kernel sobre uma grade, pode-se pensar em uma função tridimensional que visita cada ponto  $s$  dessa grade. Calculam-se as distâncias de cada ponto  $s$  aos eventos observados que estiverem dentro da região de influência limitada pela distância  $\tau$ . Essas distâncias contribuem para o cálculo da intensidade estimada no ponto  $s$ .

A escolha de  $\tau$ , que define a suavização da superfície gerada, deve refletir a escala geográfica da hipótese de interesse e o conhecimento prévio sobre o problema estudado (SANTOS, 1999). Para grandes larguras  $\tau$ , a intensidade estimada é suave e, para pequenas larguras, a intensidade tende a dar picos centrados em  $s$ .

Assim, a função do estimador Kernel é interpolar um valor de intensidade para cada célula de uma grade, considerando uma função simétrica, centrada na célula, utilizando-se para o cálculo os pontos situados até certa distância do centro da célula.

No caso mais simples, em que cada ponto corresponde, apenas, à ocorrência do evento, trata-se de um estimador de intensidade ou "eventos por unidade de área". Se quiser um estimador do valor médio do atributo, pode-se dividir esse valor pelo # de eventos por unidade de área. No caso de estar se trabalhando com polígonos, pode-se associar a esse polígono o seu centroide.

No presente trabalho optou-se pelo método de interpolação e alisamento através de um Kernel gaussiano (BAILEY e GATRELLI, 1995), definido pela equação:

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

Onde,  $\hat{\lambda}(s)$  – valor estimado por área;  $\tau$  – largura da banda (fator de alisamento);  $K()$  – função de ponderação Kernel, no caso uma distribuição gaussiana;  $s$  - centro de cada espaço onde ocorreu o evento;  $s_i$  – local do ponto onde ocorreu o evento e  $y_i$  – valor do evento no ponto (nº de residências por setor censitário)

As simulações para a obtenção dos gráficos de  $\hat{L}(h)$  e para o método Kernel, foram efetuadas através do software CRIMESTAT III, módulo estatístico espacial (The CrimeStat III - Spatial Statistics Program).

Para a realização deste estudo, o projeto foi previamente submetido à apreciação do Comitê de Ética da Universidade Federal de Alagoas, sendo o mesmo aprovado sob o nº 0070048/2007-74. Como o estudo utilizou exclusivamente informações de banco de dados, e este não envolveu a identificação dos doentes, foi dispensado do termo de consentimento livre e esclarecido devido à garantia do sigilo.

## RESULTADOS OBTIDOS

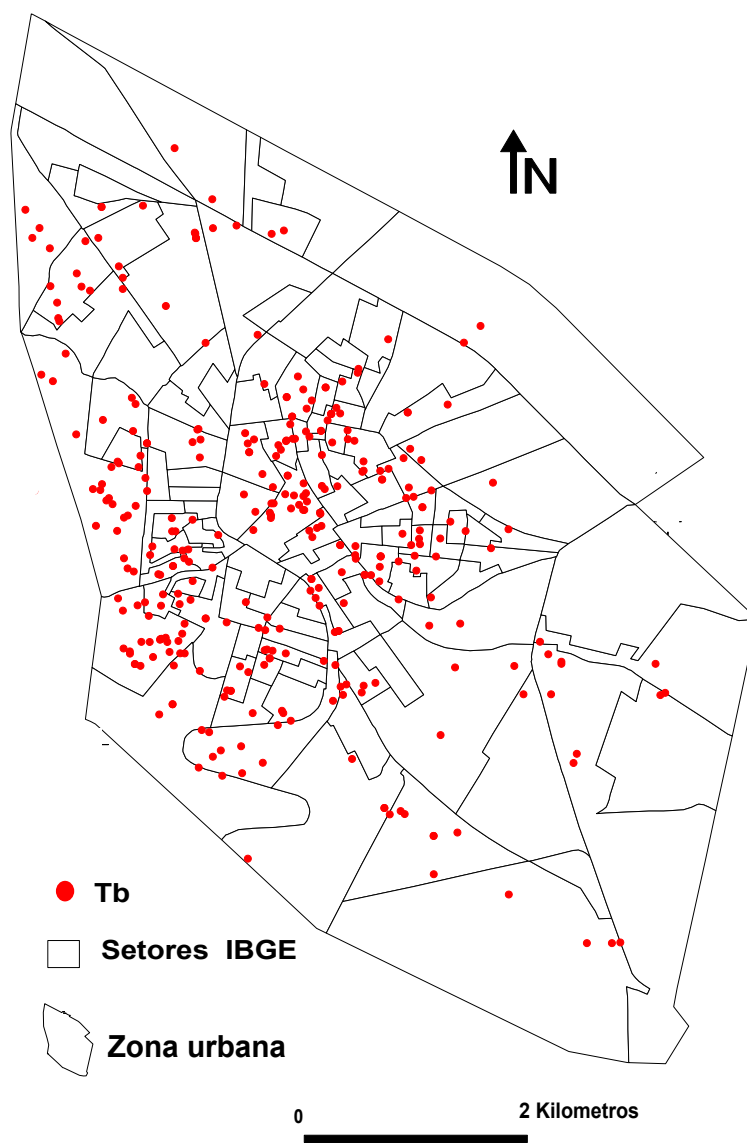
Dos 468 casos de tuberculose registrados no período, 417 estão inseridos na zona urbana, dos quais 350 (83,93%) foram georreferenciados por setor censitário, (tabela 1). Os casos não codificados devem-se, na sua grande maioria, ao confuso modelo de numeração das residências.

**Tabela 1** - Georreferenciamento dos casos de Tuberculose (Tb) diagnosticados no município de Arapiraca/AL, período 2000/2005

Casos Tb	Zona Urbana	Zona Rural	Casos Tb descartados	Casos Tb aptos Zona urbana	Casos Tb Georreferenciados Zona Urbana
468	417	51	44	373	350

Os 350 casos georreferenciados foram plotados no mapa base, como pode ser visto na figura 3.

**Figura 3** - Casos de tuberculose dos 350 residentes na cidade de Arapiraca–AL, Período 2000 - 2005



A zona urbana de Arapiraca/AL contabilizava em 07/2003, centro do período estudado, uma população de 163.608 habitantes, proporcionando, por setor censitário, uma taxa de incidência média de 42,45 casos por 100.000 habitantes. Dos 118 setores, 39% apresentaram taxa de incidência superior à média urbana.

As informações pertinentes aos 350 casos foram tabuladas e expressas através de Indicadores epidemiológicos e operacionais de tuberculose, conforme tabela 2.

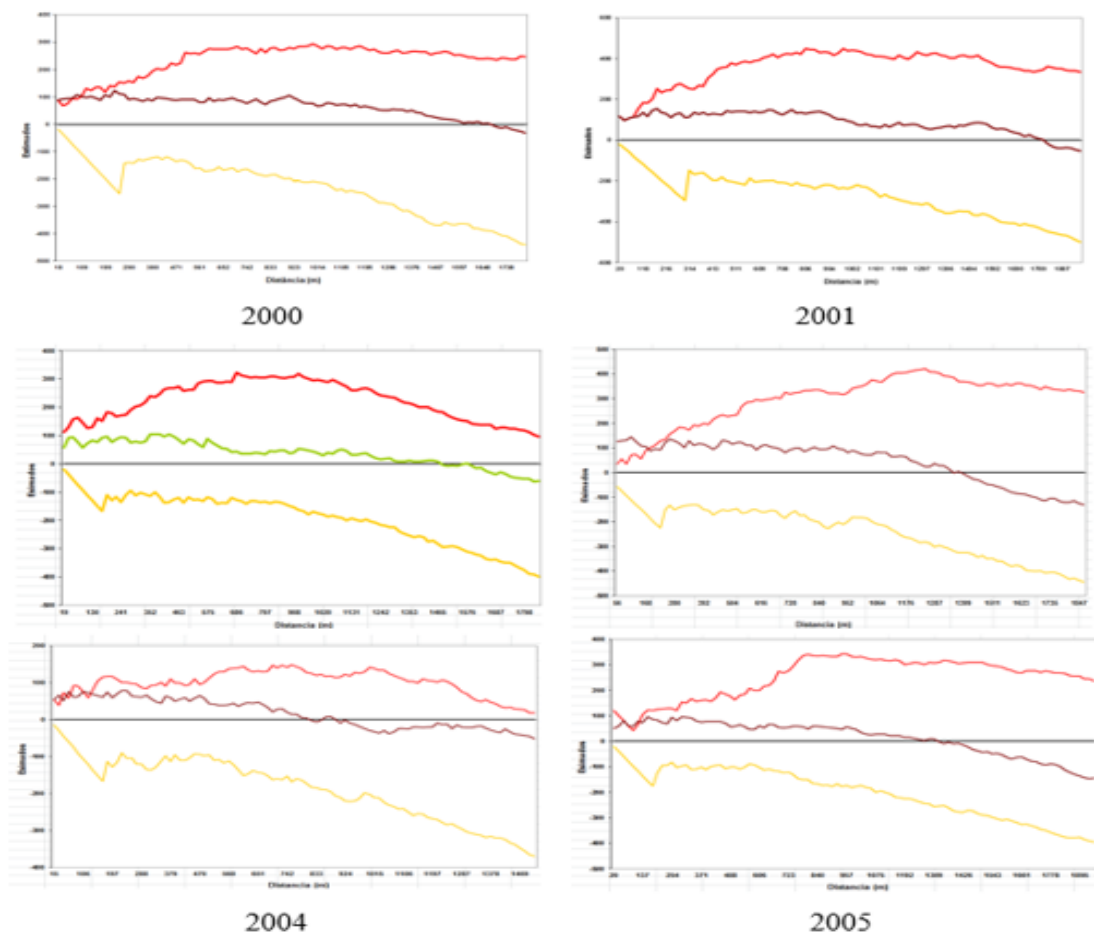
**Tabela 2** - Indicadores epidemiológicos e operacionais de tuberculose, Arapiraca/AL, período 2000/2005

Descrição	Frequência	Total de caso c/ informação	%
Casos do sexo feminino	141	350	40,29

Casos do sexo masculino	194	350	55,43
Faixa etária			
< 15 anos	8	350	2,29
15 a 29 anos	107	350	30,57
30 a 49 anos	83	350	23,71
50 a 64 anos	61	350	17,43
≥ 65 anos	76	350	21,71
Casos de forma pulmonar	302	345	87,54
Baciloscopia realizadas	275	345	79,71
Culturas realizadas	15	343	4,37

Os gráficos da função  $K$  aplicada aos pontos que representam o evento da presente pesquisa, ano a ano no período estudado, estão expostos na figura 4.

**Figura 4** – Gráfico da função  $\hat{L}(h)$  com 100 simulações, para os casos de TB na cidade de Arapiraca/AL, período 2000/2005



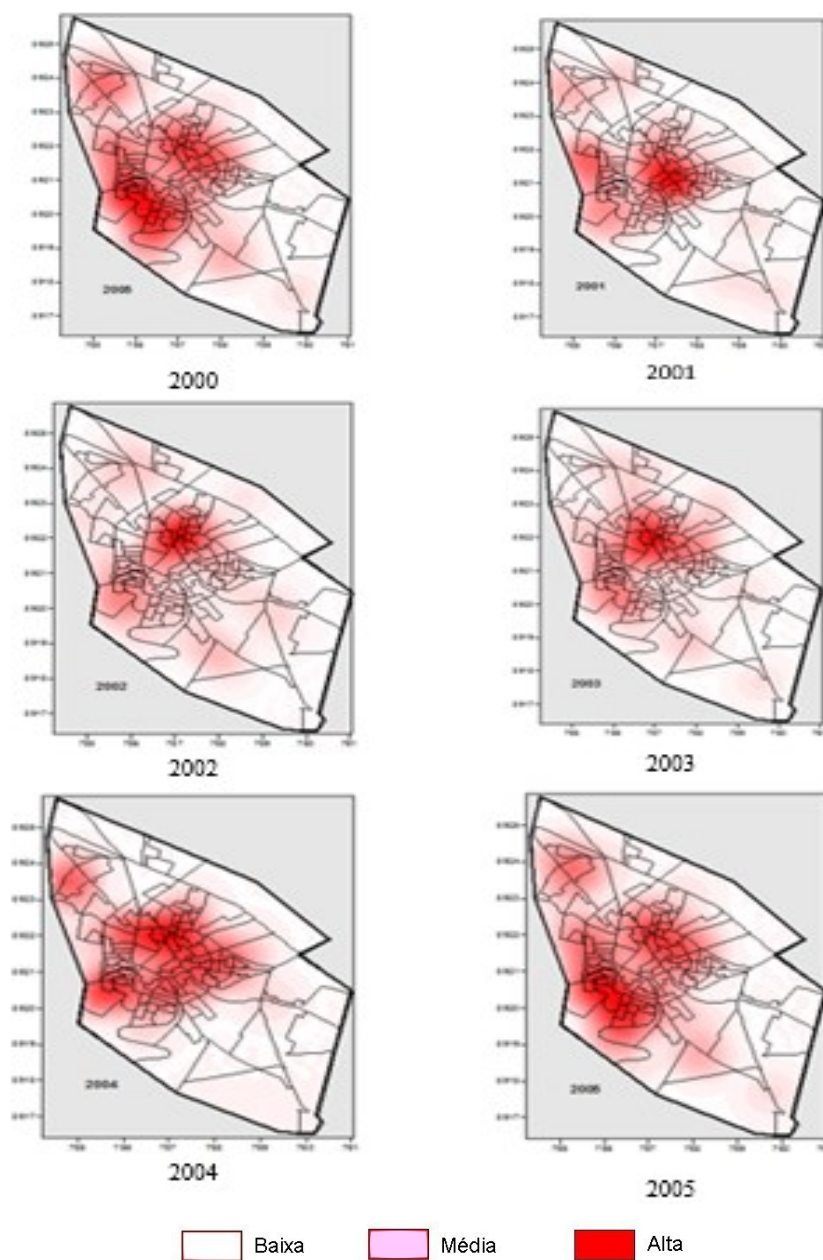


Observa-se que, com exceção do ramo esquerdo no ano de 2003, os valores da função  $\hat{L}(h)$  estão acima do envelope superior e com valores positivos, indicando agrupamentos em todas as escalas.

Esses resultados motivaram o cálculo do estimador de intensidade de primeira ordem através da Função Kernel.

A figura 5 apresenta a distribuição de densidade para os casos de tuberculose dos residentes em Arapiraca, estado de Alagoas.

**Figura 5** - Distribuição de densidade para os casos de tuberculose dos residentes em Arapiraca/AL, Período 2000 – 2005, Método Kernel



Por meio da visualização dos mapas gerados, nota-se que o padrão espacial da densidade de residências de casos de Tb no período, apresenta-se de forma semelhante: Áreas Centro – Nordeste e Centro-Sudeste destacam-se, sendo a primeira com maior intensidade. Observa-se, também, a presença de intensidade média em áreas periféricas e ao Sul.

No ano de 2003 a zona urbana caracteriza-se pela menor área de risco. Apesar da diminuição da intensidade, a porção Centro – Nordeste permanece com o padrão de risco dos anos anteriores. Em 2004, existe um incremento tanto na intensidade quanto na área de risco em relação ao ano anterior. Nota-se, de maneira inequívoca, a concentração e expansão da área de risco na porção central, permanecendo a porção Centro - Nordeste com a maior intensidade, seguida pela Centro – Sudeste. O ano de 2005 repete o padrão de 2004, havendo uma inversão de intensidade entre as porções Centro - Nordeste e Centro-Sudeste.

## CONCLUSÕES

O mapeamento de casos, indubitavelmente, é um instrumento assaz conveniente para a caracterização espacial da tuberculose e pode ser benéfico no sentido de melhor conhecer a distribuição da patologia e tornar mais verossímeis os eventos relacionados à doença.

O estudo mostrou, através da Função *K*, que o padrão da distribuição espacial da tuberculose não é uniforme, mostrando que a TB guarda estreita relação com a categoria espaço e sua organização.

A utilização do estimador kernel forneceu bons resultados. A variação da intensidade do processo foi facilmente visualizada nas aplicações aos dados.

O método de Kernel permitiu detectar onde os eventos estavam concentrados, evidenciando desigualdades de eventos na área geográfica da zona urbana do município, e ratificar a presença de aglomeração espacial dos casos.

Dentre as aglomerações, as áreas Centro – Nordeste e Centro-Sudeste destacam-se, sendo a primeira com maior intensidade.

O estudo corrobora com a proposição de que a avaliação do evento no espaço deva tomar como unidade de análise os menores territórios para os quais existam dados, a exemplo dos setores censitários. Ao se tomar o setor censitário como delimitador do problema foi possível visualizar uma coleção de subconjuntos heterogêneos resultantes da distribuição da doença no espaço urbano.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Saúde - MS, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pelo apoio financeiro ao projeto.

## REFERÊNCIAS

BAILEY, T. C. & GATRELL, A. C., **Interactive Spatial Data Analysis**. Essex: Longman. 1995.

BAILEY, T. C., **Spatial statistical methods in health**. Cadernos de Saúde Pública, 17:1083-1098. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Controle da Tuberculose: uma proposta de integração ensino-serviço**. Rio de Janeiro : FUNASA/CRPHF/SBPT, 2002.

BREILH, J., **Pobreza urbana y salud: Una mirada desde la epidemiología crítica**. In: 10o Congresso Brasileiro de Epidemiologia, Anais, pp. 281-302. Campinas: ABRASCO. 1990.

CÂMARA, G. & MONTEIRO, A. M. V., **Geocomputation: techniques for spatial analysis: Are they relevant to health data?** Cadernos de Saúde Pública, 17: 1059-1071. 2001.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. revised edition – Wileyseries in probability and mathematical statistics. New York: JohnWiley & Sons, Inc., 1993.

FONSECA-NOBRE, F. & CARVALHO, M. S., **Spatial and Temporal Analysis of Epidemiological Data**. May 1999.

HINO, P., dos SANTOS C. B.A., VILLA, T. C.S., **Evolução espaço-temporal dos casos de tuberculose em Ribeirão Preto (SP), nos anos de 1998 a 2002**. Jornal Brasileiro de Pneumologia ;31(6):523-7. 2005.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), **Microdados do Estado de Alagoas**. Rio de Janeiro: 2000.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), **Síntese dos Indicadores Sociais Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE. 2001. Censo Demográfico 2000: Características da População e dos Domicílios - Resultado do Universo. Rio de Janeiro:IBGE, 2001.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1991. **Síntese dos Indicadores Sociais Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE. 1991. Censo Demográfico 1990: Características da População e dos Domicílios - Resultado do Universo. Rio de Janeiro:IBGE. 1991.

MINISTERIO DA SAÚDE, **Plano Nacional de Controle da Tuberculose**. Brasília (DF). 1999.

MINISTERIO DA SAÚDE, **Guia para tratamento da tuberculose para o Programa de Saúde da Família**. Brasília (DF). 2002.