

ANÁLISE E MODELAGEM ESPACIAL PARA A INCIDÊNCIA DE AIDS NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2009-2011

A. T. J. Alves* e F. F. Nobre*

*Programa de Engenharia Biomédica COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

e-mail: andrethiago@peb.ufrj.br

Resumo: Ao longo dos últimos anos o número de novos casos de AIDS tem se mantido estável no Brasil, mas apesar de tal redução, a incidência de AIDS ainda é alta no estado do Rio de Janeiro. Técnicas de análise espacial podem auxiliar no processo de tomada de decisão com fins de intervenção, e tem sido amplamente utilizadas para fins de vigilância no campo da saúde pública. O presente estudo investiga a distribuição espacial dos casos de AIDS notificados no estado do Rio de Janeiro com base na incidência anual de cada município no período 2009-2011. Um mapa coroplético foi utilizado para se analisar a distribuição espacial da incidência de AIDS e o modelo espacial auto regressivo – SAR foi ajustado com o intuito de se identificar possíveis indicadores municipais relacionados à incidência de AIDS. O estudo identificou um agrupamento de municípios com alta incidência ao redor da capital do estado. A abordagem espacial empregada no estudo mostrou-se útil para se identificar e monitorar áreas de alta incidência.

Palavras-chave: análise espacial, incidência de AIDS, vigilância em saúde pública.

Abstract: *In recent years, the AIDS incidence has been stable in Brazil, but in spite of this reduction, the incidence of new AIDS cases is still high in the state of Rio de Janeiro. Spatial analysis can assist decision-making for disease intervention and has been increasingly employed for surveillance purposes in the field of public health. This study investigated the spatial distribution of notified AIDS cases in the State of Rio de Janeiro based on the annual incidence in each municipality for the period 2009-2011. A choropleth map was used to analyze the AIDS incidence distribution and a Spatial Autoregressive Model – SAR was fitted in order identify some municipal indicators related to the AIDS incidence. It was identified a cluster of high AIDS incidence around the State Capital. The spatial approach employed in the study may be useful to identify and monitor high-incidence areas.*

Keywords: *Spatial analysis, AIDS incidence, Public health surveillance.*

Introdução

Apesar de muitos recursos estarem sendo investidos em pesquisas sobre o Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV) e a Síndrome da Imunodeficiência

Adquirida (AIDS), nem vacina e nem a cura da AIDS estão à vista. No início da epidemia, o rápido aumento do número de casos de AIDS no Brasil logo fez com que o país se tornasse responsável por aproximadamente um terço de todos os casos registrados na América Latina, mas a ocorrência de AIDS se estabilizou, e assim permaneceu ao longo dos últimos 10 anos, com uma particular redução de novos casos na região Sudeste [1,2]. Apesar de tal redução, no entanto, o número de novos casos de AIDS ainda é alto no Rio de Janeiro, que possui a quarta maior incidência de AIDS entre os estados brasileiros e a maior incidência da região Sudeste.

Alguns estudos indicam que uma maior incidência de AIDS tende a ocorrer em áreas urbanas, em zonas mais pobres e vulneráveis [3-6]. Estes estudos sugerem que a pobreza pode aumentar a vulnerabilidade à infecção pelo HIV, uma vez que nessas comunidades mais pobres pode haver uma maior dificuldade de acesso à informação, a medidas preventivas e cuidados de saúde. Apesar de localizado na região mais industrializada do país, o estado do Rio de Janeiro possui centenas de comunidades de baixa renda. Grande disparidade ainda existe entre as zonas mais ricas, e as periferias mais pobres e vulneráveis. Outros estudos apontam para a existência de algumas variáveis que podem estar relacionadas ou ajudam a explicar a incidência de AIDS, como o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, [7], a taxa de urbanização [8], o nível de escolaridade ou a incidência de tuberculose [9].

Desde a década de 90, métodos de análise e modelagem espacial e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) têm sido cada vez mais aplicados em estudos ecológicos como ferramentas de análise e visualização de dados espaciais relacionados à saúde [10,11]. Técnicas de análise e modelagem espacial também podem auxiliar no processo de tomada de decisão com fins de intervenção, e tem sido amplamente utilizadas para fins de vigilância no campo da saúde pública.

O presente estudo envolve a modelagem e análise espacial dos casos de AIDS no estado do Rio de Janeiro. Em nosso trabalho, esperamos verificar os municípios com maior incidência de AIDS dentro do estado do Rio de Janeiro e analisar possíveis variáveis sociais e urbanas relacionadas à incidência de AIDS através da modelagem espacial. É nosso entendimento que a abordagem espacial a ser empregada no estudo pode ser

útil para identificar e monitorar áreas de alta incidência no estado.

Materiais e métodos

Desde os anos 1980, a vigilância epidemiológica do HIV/AIDS no Brasil é baseada na notificação compulsória dos casos de AIDS por meio do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), sendo que todos os municípios brasileiros utilizam instrumentos padronizados para a notificação dos casos desde 2003. Nosso estudo inclui todos os casos de AIDS notificados ao Ministério da Saúde pelos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro durante o período 2009-2011. Estes dados podem ser obtidos a partir do SINAN de acordo com o ano de diagnóstico e local de residência do paciente. Informações sobre a população anual residente em cada município fluminense podem ser obtidas a partir das projeções fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O mapa digital do estado do Rio de Janeiro, com as fronteiras de todos os municípios, também pode ser obtidos a partir IBGE.

Para o estudo da distribuição da AIDS será considerada a incidência anual de casos notificados por município. Porém, uma vez que o número de novos casos de AIDS por ano na maioria dos municípios do Rio de Janeiro é relativamente pequeno, geralmente da ordem de poucos casos por cem mil habitantes, a precisão da incidência estimada torna-se bastante contestável, especialmente nos casos de municípios com populações pequenas (da ordem de poucos mil habitantes), onde as incidências apresentam uma grande variabilidade. Faz-se então necessário a aplicação de técnicas de alisamento, por exemplo, para reduzir tal variabilidade nas incidências estimadas. Para contornar esse problema, utilizou-se a média móvel para o período de três anos 2009-2011, reduzindo assim parte dos efeitos que podem ocorrer por conta dos municípios com pouca população e, também, parte dos efeitos relacionados à subnotificação de casos. A média móvel de 3 anos para a incidência de AIDS nos municípios foi calculada utilizando o total do número de casos diagnosticados ao longo do período 2009-2011, dividido por três e, em seguida, dividido pela população de cada município referente ao ano central, no caso, o ano de 2010. Estas incidências estimadas por município serão utilizadas a partir de duas abordagens, a primeira consiste na construção de um mapa coroplético com o intuito de se visualizar a distribuição da incidência de AIDS pelos municípios do estado do Rio de Janeiro. Já a segunda consiste no emprego do modelo espacial auto regressivo misto (Spatial Autoregressive Model – SAR), com intuito de se verificar a relação entre a incidência de AIDS nos municípios e as seguintes variáveis municipais: taxa de urbanização, incidência de tuberculose, índice de Gini e as três componentes do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (Educação - IDHME, Renda - IDHMR e Longevidade - IDHML).

A incidência de AIDS por 100.000 habitantes foi dividida em quatro classes [0-13.32], [13.32-22.26], [22.26-30.02] e [>30.02], que são usadas no mapa coroplético. Estas classes foram construídas a partir do método “Natural Breaks”, que encontra uma partição com a menor diferença entre as amostras dentro de uma mesma classe, e maximiza a diferença entre as classes encontradas [12].

Para avaliar o quanto uma observação em uma área depende de valores de áreas vizinhas, utilizou-se a medida de correlação espacial I de Moran. Por definição, a estatística I de Moran é um coeficiente utilizado para determinar se áreas próximas são mais similares do que seria esperado por uma distribuição aleatória [13]. Esse indicador permite a caracterização da dependência espacial mostrando como os dados estão correlacionados no espaço e fornecendo uma medida geral de associação espacial.

O coeficiente de Moran varia de -1 a +1 e pode ser interpretado da seguinte forma: um valor próximo de 0 indica aleatoriedade espacial, um valor positivo indica autocorrelação positiva e um valor negativo indica autocorrelação negativa. O coeficiente de Moran global é calculado para n observações como segue:

$$I = \frac{\sum_i^n \sum_j^n W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_i^n Z_i^2} \quad (1)$$

onde n é o número de áreas; Z_i é diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos; Z_j é a diferença entre o valor do atributo dos vizinhos do local i e a média de todos os atributos; W_{ij} são os pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j , onde $W_{ij} = 1$ se i e j são vizinhos e $W_{ij} = 0$ em caso contrário.

O modelo espacial SAR é similar a um modelo de regressão clássica, sendo que este último, porém, não inclui em seu desenvolvimento nenhum instrumento que permita uma modelagem que leve em consideração dados espacialmente relacionados. Já o modelo SAR, por sua vez, atribui à variável resposta Y a autocorrelação espacial ignorada na regressão clássica. Formalmente, tem-se:

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

onde W é a matriz de proximidade espacial; WY expressa a dependência espacial em Y ; e ρ é o coeficiente espacial auto regressivo [13].

O software estatístico R, versão 2.14.2 [14] com os pacotes *maptools* [15], *Spatstat* [16] e *Spdep* [17] foi utilizado nas análises, construção do mapa e modelagem espacial.

Resultados

A Figura 1 mostra o mapa e a distribuição espacial da média móvel de 3 anos para a incidência de AIDS por 100.000 habitantes, para cada município. A análise visual da distribuição espacial da incidência aponta para

a predominância de um processo de agrupamento no que diz respeito à ocorrência de AIDS. Os municípios com maior incidência estão localizados em torno da capital do estado, no canto inferior esquerdo da figura. Municípios com incidência intermediária para elevada são vistos no canto superior direito da figura. Áreas de baixa incidência de AIDS podem ser vistas em grande parte do estado e, principalmente, em municípios menores, com pequenas populações.

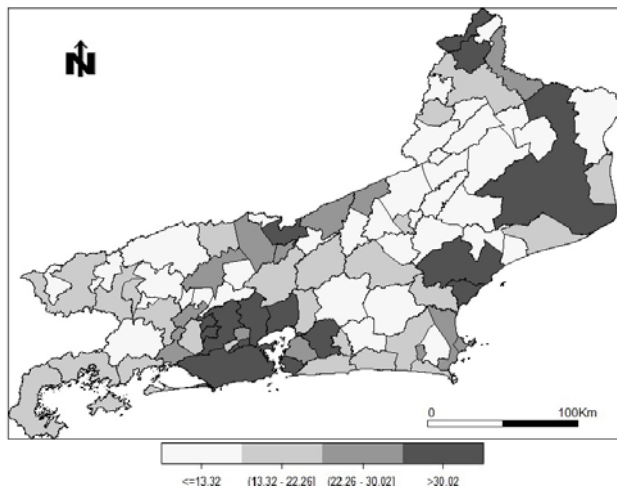


Figura 1: mapa coroplético para a incidência de AIDS por 100.000 habitantes no estado do Rio de Janeiro, 2009-2011. Divisão da incidência de AIDS em quatro classes, baseado no método “natural breaks”.

Através da estatística de autocorrelação espacial I de Moran verificou-se a correlação espacial positiva e significativa (I de Moran = 0,2475, p-valor = 0,0002) para a incidência de AIDS nos municípios. Uma vez observada a existência de autocorrelação espacial, o modelo completo SAR (Tabela 1), que considera a estrutura de dependência espacial entre as áreas, foi estimado por: Incidência AIDS = 0,3624 W (Incidência de AIDS) - 0,4456 + 0,8623 (Índice de Gini) - 0,4013 (IDHM Educação) + 0,4346 (Taxa de Urbanização) + 0,1440 (Taxa de Tuberculose). As variáveis IDHM Renda e IDHM Longevidade foram excluídas do modelo espacial por não apresentarem coeficientes significativos.

A aplicação do modelo SAR pressupõe que os resíduos não apresentem dependência espacial, sejam independentes, com distribuição normal, média zero e variância constante [13]. Para a verificação da validade dos pressupostos do modelo foi realizada uma análise usual de resíduos. Além desta análise, calculou-se o índice de Moran com o intuito de se verificar a ausência de autocorrelação espacial nos resíduos do modelo. Dessa forma, constatou-se a qualidade do ajuste do modelo SAR. Os resíduos possuem distribuição normal ao nível de significância de 5%, (p-valor = 0,9842, teste Shapiro-Wilk). A análise gráfica dos resíduos versus valores ajustados revelou que os resíduos estão distribuídos aleatoriamente em torno da média zero, com variação constante. O índice de Moran para os resíduos foi de 0,0058, (p-valor = 0,8096), indicando

que o modelo SAR se mostrou capaz de capturar a estrutura de autocorrelação espacial presente no conjunto de dados, gerando resíduos não autocorrelacionados.

Tabela 1: Coeficientes do modelo espacial ajustado SAR para a variável resposta Incidência de AIDS

	Estimativa	Erro padrão	Pr(> z)
Intercepto	-0,4456	0,1016	< 0,0001
Índice de Gini	0,8623	0,1888	< 0,0001
IDHM Educação	-0,4013	0,2025	0,0475
Taxa de Urban.	0,4346	0,0682	< 0,0001
Taxa Tuberculose	0,1440	0,0267	< 0,0001

Coefficiente espacial auto regressivo $\rho = 0,36243$, p-valor: 0,010741.

Discussão

A visualização de mapas coropléticos é comumente utilizada por gestores em saúde pública para identificar áreas prioritárias para intervenção, ainda que tal abordagem seja limitada por não considerar a influência de municípios vizinhos no padrão de incidência da doença.

O agrupamento geográfico de novas infecções é um fenômeno comum, especialmente em áreas urbanas [5]. A alta incidência de AIDS, que foi observada na região metropolitana do Rio de Janeiro através da Figura 1, é verificada também em outras áreas metropolitanas, como por exemplo em algumas regiões urbanas e populosas da África do Sul [18], na região metropolitana de Atlanta [4] ou em outras onze regiões metropolitanas dos Estados Unidos [19].

Em 2011, a incidência de AIDS no Brasil foi de 20,2 casos por 100.000 habitantes. Grande parte dos municípios do Rio de Janeiro, especialmente aqueles da região metropolitana, teve uma incidência maior do que a observada em nível nacional durante o período 2009-2011. O número de novos casos de AIDS por ano na capital do Rio de Janeiro e em municípios próximos ainda é muito alto. A região ao redor da capital do estado denominada Baixada Fluminense, por exemplo, é habitada por milhões de indivíduos marginalizados, com pouco acesso à educação de qualidade, vitimados por situações de injustiça social e, também, por doenças endêmicas e epidêmicas. Trata-se de uma região central do estado, urbanizada, com grande população, e onde alta incidência de AIDS vem sendo observada. Tais áreas de alta incidência devem ser vistas como regiões críticas, onde esforços de vigilância devem ser concentrados e intervenções em saúde pública são mais necessárias.

Os resultados do modelo espacial SAR mostram que a incidência de AIDS pode ser significativamente explicada pelas variáveis selecionadas.

O índice de Gini aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos, e

expressa a desigualdade presente em cada município. É a variável que mais explica a incidência de AIDS, indicando que os municípios com maior desigualdade estão mais suscetíveis a apresentar maior incidência. É o que ocorre, por exemplo, no Rio de Janeiro e em Niterói, que possuem a maior desigualdade e uma das mais altas incidências de AIDS no estado – 40,9 e 37,5 casos por 100.000 habitantes, respectivamente.

Em seguida, a taxa de urbanização também tem grande importância para explicar a incidência de AIDS. De fato, as maiores incidências são observadas em áreas urbanas, o que foi verificado no estado do Rio de Janeiro, e o que vem sendo observado também em outros centros urbanos.

O IDHM Educação, por sua vez, contribuiu negativamente com a incidência de AIDS, o que mostra que os municípios com nível educacional mais elevado tendem a ter menor incidência de AIDS.

Por fim, incidência de Tuberculose, ainda que em menor medida, também ajuda a explicar a incidência de AIDS, o que já era esperado, dado a associação entre essas duas doenças expressa pela comorbidade Tuberculose-AIDS.

As variáveis IDHM Renda e IDHM Longevidade não apresentaram coeficientes significativos. Não há uma relação significativa entre a expectativa de vida ao nascer em um município e a incidência de AIDS. No caso da renda, seria de se esperar que as zonas mais pobres tivessem maior incidência de AIDS, o que não foi verificado, em nível significativo, através da utilização da componente de renda do índice de desenvolvimento humano municipal.

Conclusão

Apesar da incidência de AIDS no Brasil ter se mantido estável ao longo dos últimos anos, o Rio de Janeiro é responsável por notificar um grande número de novos casos a cada ano. Diante do cenário de alta incidência que permanece sendo observado em muitos municípios do estado, principalmente os localizados na região metropolitana, a vigilância e contínuo acompanhamento são essenciais para o enfrentamento da dinâmica epidemia de AIDS.

Outra estratégia que pode contribuir para a ação dos gestores em saúde pública é o conhecimento dos possíveis fatores relacionados à incidência de AIDS. O ajuste do modelo espacial SAR revelou que a desigualdade, o nível educacional, a urbanização e a incidência de tuberculose possuem relação com a incidência de AIDS e ajudam a explicar tais incidências nos municípios. O modelo identificou estas variáveis como relacionadas à incidência de AIDS, considerando a estrutura de dependência espacial entre os municípios.

A abordagem espacial empregada no estudo mostrou-se útil para uma maior compreensão dos padrões epidemiológicos da epidemia de AIDS, e pode contribuir para o direcionamento de ações mais específicas nas áreas de maior incidência.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- [1] UNAIDS. 2010. Global Report. p. 1-359.
- [2] MS, 2011. Bol. Epidemiol. AIDS DST. Ministério da Saúde - Secretaria de Vigilância em Saúde - Departamento de DST, AIDS e Hepatites Virais. p. 1-159.
- [3] Greco DB, Simão M. Brazilian policy of universal access to AIDS treatment: sustainability challenges and perspectives. *AIDS Lond Engl*. 2007; 21 Suppl 4:S37-45.
- [4] Hixson BA, Omer SB, del Rio C, Frew PM. Spatial clustering of HIV prevalence in Atlanta, Georgia and population characteristics associated with case concentrations. *J Urban Heal Bull New York Acad Med*. 2011; 88:129-141
- [5] Shacham E, Lian M, Önen NF, Donovan M, Overton ET. Are neighborhood conditions associated with HIV management? *HIV Med*. 2013; 14:624-632.
- [6] S. Pires Araujo E, Friedman RK, Camacho LAB, Derrico M, Moreira RI, Calvet GA, de Oliveira MS, Veloso VG, Pilotto JH, Grinsztejn B. Cascade of access to interventions to prevent HIV mother to child transmission in the metropolitan area of Rio de Janeiro, Brazil. *Braz J Infect Dis*. 2014. p.1-9.
- [7] Grangeiro A, Escuder MML, Castilho EA. Magnitude e tendência da epidemia de Aids em municípios brasileiros de 2002-2006. *Revista de Saúde Pública*. São Paulo, 2010, p. 430-441.
- [8] El-Asfahani AM, Girvan JT. Socio-demographic variables associated with AIDS Epidemic: evidence from the Organization for Economic Cooperation and Development and the african countries. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*. Naircib, 2008; p. 1-16.
- [9] Fonseca MG, Bastos FI, Derrico M, Andrade CLT, Travassos CMR, Szwarcwald CL. AIDS e grau de escolaridade no Brasil: evolução temporal de 1986 a 1996. *Cadernos de Saúde Pública (FIOCRUZ)*, Rio de Janeiro, 2000; v. 16, n.supl 1, p. 77-87.
- [10] Moore DA, Carpenter TE. Spatial analytical methods and geographic information systems: use in health research and epidemiology. *Epidemiol Rev*. 1999; 21:143-161.
- [11] Robinson TP. Spatial statistics and geographical information systems in epidemiology and public health. In: S.I. Hay SER, 2000; 47. p. 81-128.
- [12] Jenks GF, Caspall FC. Error on choroplethic maps: definition, measurement, reduction. *Ann Assoc Am Geogr*, 1971. p. 217-244.
- [13] Bailey TC, Gatrell AC. Interactive spatial data analysis. New York: Longman Scientific & Technical. 1995. 413 pp.

- [14] R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2012.
- [15] Lewin-Koh NJ, Bivand R. Maptools: tools for reading and handling spatial objects. 2012.
- [16] Baddeley A, Turner R. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. *J Stat Softw* 12, 2005.
- [17] Bivand R, Altman M, Anselin L, Assunção R, Berke O, Bernat A, Blanchet G, Blankmeyer E, Carvalho M, Christensen B, Chun Y, Dormann C, Dray S, Halbersma R, Krainski E, Legendre P, Lewin-Koh N, Li H, Ma J, Millo G, Mueller W, Ono H, Peres-Neto P, Piras G, Reder M, Tiefelsdorf M, Yu D. spdep: Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. 2013
- [18] Manda SOM, Lombard CJ, Mosala T. Divergent spatial patterns in the prevalence of the human immunodeficiency virus (HIV) and syphilis in South African pregnant women. *Geospat Health* 2012; 6:221-231.
- [19] Hall HI, Espinoza L, Benbow N, Hu YW, for the Urban Areas HIV Surveillance Workgroup. Epidemiology of HIV Infection in Large Urban Areas in the United States. *PLoS ONE*. 2010; 5:e12756. 1-9.