

Difusão espaço-tempo do dengue no Município do Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2000-2013

Spatial-temporal diffusion of dengue in the municipality of Rio de Janeiro, Brazil, 2000-2013

Difusión espacio-tiempo del dengue en el municipio de Río de Janeiro, Brasil, durante el período de 2000-2013

Diego Ricardo Xavier ¹
Mônica de Avelar Figueiredo Mafra Magalhães ¹
Renata Gracie ¹
Izabel Cristina dos Reis ^{1,2}
Vanderlei Pascoal de Matos ¹
Christovam Barcellos ¹

doi: 10.1590/0102-311X00186615

Resumo

A cidade do Rio de Janeiro, Brasil, apresenta elevado potencial de receptividade para a introdução, disseminação e persistência da transmissão de dengue. A ocupação do município conformou um mosaico heterogêneo e diversificado, com distribuição vetorial diferenciada entre e dentro dos bairros, proporcionando epidemias distintas nesta escala de observação. Este trabalho busca identificar essas epidemias e o padrão de difusão da transmissão do dengue sob a dimensão de tempo e espaço. Foi utilizado um modelo para a identificação de epidemias considerando os anos e meses de pico epidêmico, a distribuição espacial e a permanência das epidemias levando-se em conta o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013. Foram contabilizados 495 picos epidêmicos, e na escala de tempo evidenciou-se maior ocorrência nos meses de março, abril e fevereiro, respectivamente. Alguns bairros parecem apresentar um quadro persistente de incidência de dengue e o comportamento da difusão da doença permite identificar trajetórias e meses oportunos para a intervenção.

Dengue; Análise Espaço-Temporal; Epidemias

Correspondência

D. R. Xavier
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz.
Av. Brasil 4365, Rio de Janeiro, RJ 21040-900, Brasil.
diegoricardox@gmail.com

¹ Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.

² Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.



Introdução

O dengue é uma das mais importantes arboviroses transmitidas por mosquitos ao homem no mundo, em função da sua morbidade e mortalidade ¹. Durante os últimos 50 anos a incidência de dengue aumentou 30 vezes, com ampliação da expansão geográfica para novos países, pequenas cidades e áreas rurais ^{2,3}. Estimativas recentes sugerem que por ano ocorrem 390 milhões de infecções causadas pelos vírus dengue, dos quais 96 milhões apresentam manifestações clínicas ⁴.

Nas regiões das Américas, a doença tem se disseminado com surtos ocorrendo em períodos de 3-5 anos, com registros de 561,501 casos confirmados e 1,181 óbitos em 2015 ^{2,5}. Entre os países das Américas, o Brasil se destacou com 487,763 (87%) casos de dengue confirmados e 863 óbitos causados pela doença ⁵.

No Brasil, desde 1977 com a reinfestação do mosquito *Aedes aegypti*, principal vetor do dengue, o país tem enfrentado diversas epidemias com aproximadamente 10 milhões de casos de dengue notificados até 2015 ⁶. O Rio de Janeiro é um dos principais estados no Brasil em número de casos notificados de dengue, o Município do Rio de Janeiro é considerado a porta de entrada para a disseminação de novos sorotipos dengue (DENV) ⁶. Sete grandes epidemias ocorreram no estado desde 1986 quando o DENV-1 foi isolado pela primeira vez no Município de Nova Iguaçu e depois expandiu para outras áreas incluindo a cidade do Rio de Janeiro ⁷. Em abril de 1990, a segunda epidemia iniciou nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói com a chegada do sorotipo DENV-2, isolado pela primeira vez confirmando casos autóctones brasileiros ⁸.

No ano de 1995, ambos os sorotipos DENV-1 e DENV-2 foram responsáveis por mais de 50 mil casos da doença, no ano de 1998 uma nova epidemia se alastrou por todo o estado ⁹. O sorotipo DENV-3 foi introduzido no Estado do Rio de Janeiro em 2001, sendo isolado tanto em *Ae. aegypti* quanto em humanos no Município de Nova Iguaçu ^{10,11}. A introdução desse sorotipo no estado conduziu à severa epidemia ocorrida em 2002 com 288.245 casos notificados, 1.831 casos hemorrágicos do dengue e 91 óbitos ¹².

Entre os anos de 2007 e 2008, todo o Estado do Rio de Janeiro enfrentou uma intensa epidemia de dengue com mais de 300 mil casos notificados e 240 óbitos ⁶. Entre os anos de 2011 e 2013 o número de casos de dengue apresentou incremento no estado ⁶. A recente introdução do sorotipo DENV-4 em março de 2011 resultou na circulação conjunta dos quatro sorotipos, DENV-1, 2, 3 e 4, no Estado do Rio de Janeiro ^{13,14,15}.

A cidade do Rio de Janeiro é uma das principais rotas turísticas do Brasil e do mundo, principalmente durante os meses do verão, período em que se verifica elevado número de casos de dengue ^{16,17}. Nesse contexto, deve-se ainda considerar que as populações locais de *Ae. aegypti* são altamente susceptíveis aos vírus dengue e apresentam altas densidades na maior parte do estado ^{12,15}, o que reforça o potencial dessa região como um dos mais receptivos para a introdução, disseminação e persistência da transmissão dos vírus dengue ^{14,18}.

A distribuição dos casos de dengue e do vetor não é uniforme no território e varia entre e dentro dos bairros do Rio de Janeiro ^{17,19,20}. O ambiente urbano da cidade do Rio de Janeiro é fragmentado, formando um mosaico heterogêneo onde os bairros apresentam uma diversidade de microáreas variando entre si no que diz respeito ao uso e cobertura do solo, microclima, saneamento e urbanização. A cidade agrega inúmeros fatores agravantes como o acesso limitado aos serviços básicos de saneamento, falta de infraestrutura e ocupação desordenada, degradação ambiental, grande densidade populacional e alta mobilidade da população humana, que contribuem para o elevado número de casos de dengue ^{9,19,21}.

Diversos estudos têm sido realizados sobre a distribuição do risco de dengue em meios urbanos, no Brasil ^{22,23,24,25} e mesmo na cidade do Rio de Janeiro ^{26,27}, enfocando a sua associação com fatores socioeconômicos e ambientais. No entanto, é escassa a literatura sobre os processos de difusão que são subjacentes a essa distribuição espacial. Se as epidemias de dengue têm uma forte dinâmica sazonal e plurianual, é esperado que esses processos se manifestem no espaço por ondas de espalhamento, que são condicionadas pela mobilidade da população, sua suscetibilidade e presença do vetor. O objetivo deste trabalho é identificar a difusão da transmissão do dengue sob a dimensão de tempo e espaço nos bairros do Município do Rio de Janeiro, considerando os anos e meses de pico epidêmico, a distribuição espacial e a permanência das epidemias no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013.

Metodologia

Para desenvolver este estudo utilizaram-se séries temporais de casos de dengue para a identificação de epidemias e do padrão de difusão da doença no município e nos bairros do Rio de Janeiro no período de 2000 a 2013.

A cidade do Rio de Janeiro, capital do estado de mesmo nome, está situada na Região Sudeste do Brasil na latitude 22°54'23" Sul e longitude 43°10'21" Oeste. Ao norte faz limite com vários municípios da Baixada Fluminense, ao sul é banhada pelo Oceano Atlântico, a leste pela Baía de Guanabara e a oeste pela Baía de Sepetiba. A cidade ocupa uma área de 1.197.463km² com uma população estimada em 6.476.631 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 06/Abr/2015). O município está dividido administrativamente em 33 regiões administrativas, 160 bairros e 8.145 setores censitários²⁸.

O clima é do tipo tropical (quente e úmido), com variações locais devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano; a temperatura média anual é de 22°C, com médias diárias elevadas no verão (de 30° a 32°); as chuvas variam de 1.200 a 1.800mm anuais²⁸.

A cidade do Rio de Janeiro apresenta fortes contrastes econômicos e sociais. Áreas sem infraestrutura básica ocupadas por grupos menos privilegiados de baixa renda apresentam as piores condições de saúde. Outras áreas ocupadas por grupos de alta renda e com melhores padrões de saúde apresentam aglomerados subnormais (favelas), onde residem grupos socialmente desprovidos de infraestrutura básica. Além disso, a cidade tem um padrão heterogêneo de uso e cobertura do solo em que áreas densamente povoadas alternam com remanescentes florestais, planícies costeiras, córregos e rios²⁴.

O número de casos notificados de dengue segundo bairro de residência foram obtidos junto à Secretaria Municipal de Saúde (SMS/RJ) para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013 (<http://www.rio.rj.gov.br/web/sms/exibeconteudo?id=2815389>, acessado em 03/Mai/2015). As bases cartográficas foram adquiridas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Cidades@. <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 06/Abr/2015). Inicialmente, as análises foram realizadas utilizando-se taxas de incidência segundo bairros, no entanto, observou-se flutuação aleatória no indicador²⁶, por conta de alguns bairros apresentarem contingente populacional muito pequeno. A utilização do número absoluto de casos buscou evitar o problema da flutuação aleatória do indicador e torna-se mais apropriada para este estudo do que o uso de taxas de incidência com suavização Bayesiana, já que o objetivo não é a comparação entre os bairros, mas sim a avaliação da evolução do número de casos dentro da mesma unidade espacial, a identificação e a magnitude de epidemias.

As séries foram decompostas em três senoides, seguindo uma abordagem não muito diferente de uma regressão periódica²⁹, porém que fornecesse os parâmetros trigonométricos como amplitude e fase no lugar dos coeficientes da regressão das funções seno e cosseno³⁰. Esta assinatura sazonal poderia ser obtida simplesmente pela interpolação das médias mensais da série temporal. No entanto, a abordagem utilizada permite o uso de parâmetros das harmônicas individuais para quantificar epidemias^{30,31,32}. Desse modo, foi realizada a extração do componente de tendência, e calculado o ciclo sazonal somando os harmônicos de 12, de 6 e de 3 meses, ciclos de onda que compõem uma série parcial de Fourier³³. Obteve-se com isso a função periódica anual de sazonalidade e a amplitude dos picos epidêmicos, descritos na formulação a seguir:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \gamma_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \delta_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi t}{6}\right) + \delta_2 \sin\left(\frac{2\pi t}{6}\right) + \gamma_3 \cos\left(\frac{2\pi t}{3}\right) + \delta_3 \sin\left(\frac{2\pi t}{3}\right),$$

seja, Y_t é o número de casos de dengue no bairro no tempo t , α_0 a média do número de casos por bairro, $\alpha_1 t$ é a tendência linear e $\alpha_2 t^2$ corresponde à função matemática para representar a parábola da tendência, isto só é possível quando adicionamos as componentes da série de Fourier, definidas por

$$\gamma_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \delta_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{12}\right), \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi t}{6}\right) + \delta_2 \sin\left(\frac{2\pi t}{6}\right) \text{ e } \gamma_3 \cos\left(\frac{2\pi t}{3}\right) + \delta_3 \sin\left(\frac{2\pi t}{3}\right),$$

com os respectivos harmônicos, minimizamos pela variância residual do modelo. Este método considera a dependência temporal da série, que também foi avaliada pela função de autocorrelação, apontando o comportamento de memória curta da série não superior à defasagem de 3 unidades de tempo (meses).

A assinatura sazonal da série é apresentada com cálculo de intervalo de 95% de confiança – IC95% (parâmetros ajustados no modelo pelo software), as observações que ultrapassaram estes limites são consideradas como períodos epidêmicos. As estimativas sobre a amplitude do pico primário anual do

dengue no município permitiu identificar o momento em que ocorre a intensidade máxima epidêmica segundo a escala mensal. Esse procedimento foi realizado para o Município do Rio de Janeiro, e individualmente para os 160 bairros. O software utilizado para as análises das séries temporais foi o EPIPOI³⁰, uma aplicação que usa o software MATLAB 2.0 (The MathWorks, Natick, Estados Unidos).

Essas informações foram inseridas no software ArcGis 10 (<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>) e no software Vertical Mapper (Pitney Bowes Software, Troy, Estados Unidos), uma aplicação que utiliza o software MAPINFO 10 (MapInfo Corp., New York, Estados Unidos) no qual foram realizadas as análises espaciais dos dados e elaboração dos mapas temáticos. Foram construídos dois tipos de mapas temáticos. O primeiro conjunto de mapas permite observar a dinâmica espacial da ocorrência de epidemias de dengue e verificar a formação de aglomerados de bairros nos diferentes anos de estudo. O segundo permite observar os meses em que ocorreram as epidemias segundo diferentes bairros e verificar a difusão temporal e espacial da disseminação da doença. Para esses mapas foram utilizados os meses em que se detectou o primeiro pico epidêmico, e este valor foi considerado o atributo do centroide do bairro. Esses atributos foram interpolados para toda a superfície do município usando-se a aproximação do inverso da distância ao quadrado (IDW)³⁴. Dessa maneira, os valores da superfície criada demonstram o mês aproximado em que a primeira onda epidêmica atingiu a região.

Resultados

O dengue no Rio de Janeiro é um problema grave de saúde pública. Somente no período entre 2000 e 2013 foram 616.419 casos notificados pela SMS/RJ. Os anos de 2002, 2008, 2011, 2012 e 2013 respondem por 87% dos casos ocorridos no município no período. A Figura 1 apresenta a taxa de notificação de casos de dengue por 100 mil habitantes no Município do Rio de Janeiro e o modelo ajustado para assinatura sazonal da doença com IC95%, no período de 2000 a 2013. Identificou-se como período epidêmico os anos de 2002, 2008, 2011 e 2012. Observou-se uma elevação no número de casos nos anos anteriores aos anos epidêmicos de 2002 e 2008. Verificou-se outro pico epidêmico no ano de 2012, que foi precedido de uma epidemia de menor magnitude em 2011 e de um elevado número de casos no ano posterior. Considerando a sazonalidade apontada pelo modelo proposto, a epidemia de 2002 teve início antes do pico sazonal. Em 2008, o pico epidêmico aconteceu junto com o pico da assinatura sazonal da série no ano. Já nas epidemias de 2011 e 2012 o pico epidêmico foi observado pouco depois do pico na assinatura sazonal.

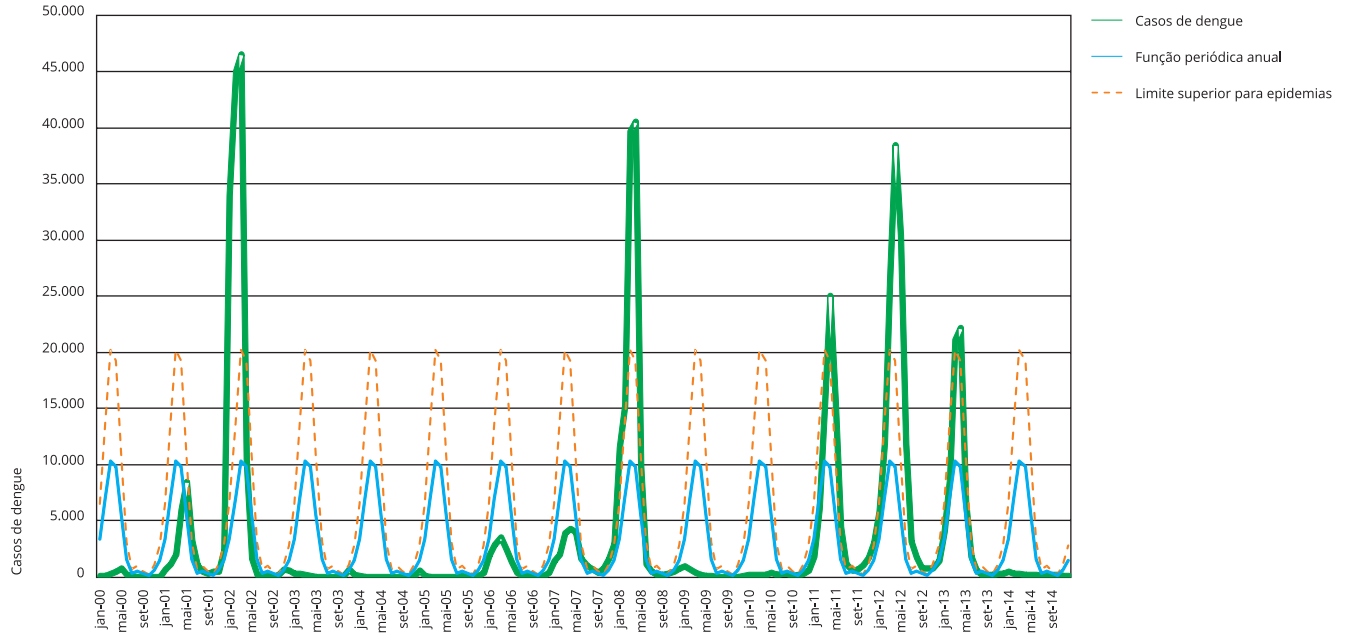
O modelo ajustado com a assinatura sazonal para o Município do Rio de Janeiro destaca as principais epidemias de dengue que ocorreram no período estudado. A Figura 2 mostra a distribuição espacial das epidemias nos bairros. É possível identificar que nos 14 anos de estudo o bairro de Vista Alegre (Zona Norte) apresentou comportamento epidêmico em 6 anos; os bairros de Brás de Pina, Maria da Graça, Moneró, Parada de Lucas, Rocha (Zona Norte); Centro, Cidade Nova, Catumbi, Rio Comprido (Zona Central); Camorim (Zona Oeste) e Urca (Zona Sul) registraram 5 anos com epidemia. Cinquenta e sete bairros do município (36%) apresentam 3 epidemias, 45 bairros (28%) registraram 4, 38 bairros (24%) apresentaram 2, e apenas os bairros de Gericinó, Vasco da Gama e Parque Colúmbia não registraram quadro epidêmico no período estudado.

A Figura 3 mostra a distribuição anual da ocorrência de epidemias de dengue nos bairros do Município do Rio de Janeiro no período estudado. Observa-se que nos anos de 2002 e 2008 quase todos os bairros do Rio de Janeiro apresentaram situação epidêmica. No ano de 2011 foi observado comportamento epidêmico em vários bairros do município, com distribuição espacial aleatória, ou seja, não se observou concentração de bairros limítrofes com presença de epidemias. Em 2012, verificou-se situação epidêmica predominantemente nos bairros das zonas Norte e Oeste do município. No ano de 2013, ocorreu o inverso, a maioria dos bairros em situação epidêmica estava no Centro e Zona Sul da cidade. Em 2001, oito bairros apresentaram situação epidêmica, em 2006 foram 3 bairros, em 2007 foram 2; não foram observadas epidemias nos anos de 2000, 2003, 2004, 2005, 2009 e 2010.

As epidemias de dengue no Município do Rio de Janeiro ocorrem principalmente nos meses de março, abril e fevereiro (Figura 4). A análise por bairros em todo o período contabilizou 495 picos

Figura 1

Casos de dengue no Município do Rio de Janeiro, Brasil, e o modelo ajustado para assinatura sazonal da doença com intervalo de 95% de confiança, no período de 2000 a 2013.



epidêmicos durante o estudo, 48% deles ocorreram no mês de março, 21% no mês de abril, 20% em fevereiro, 9% em janeiro e 1% em maio.

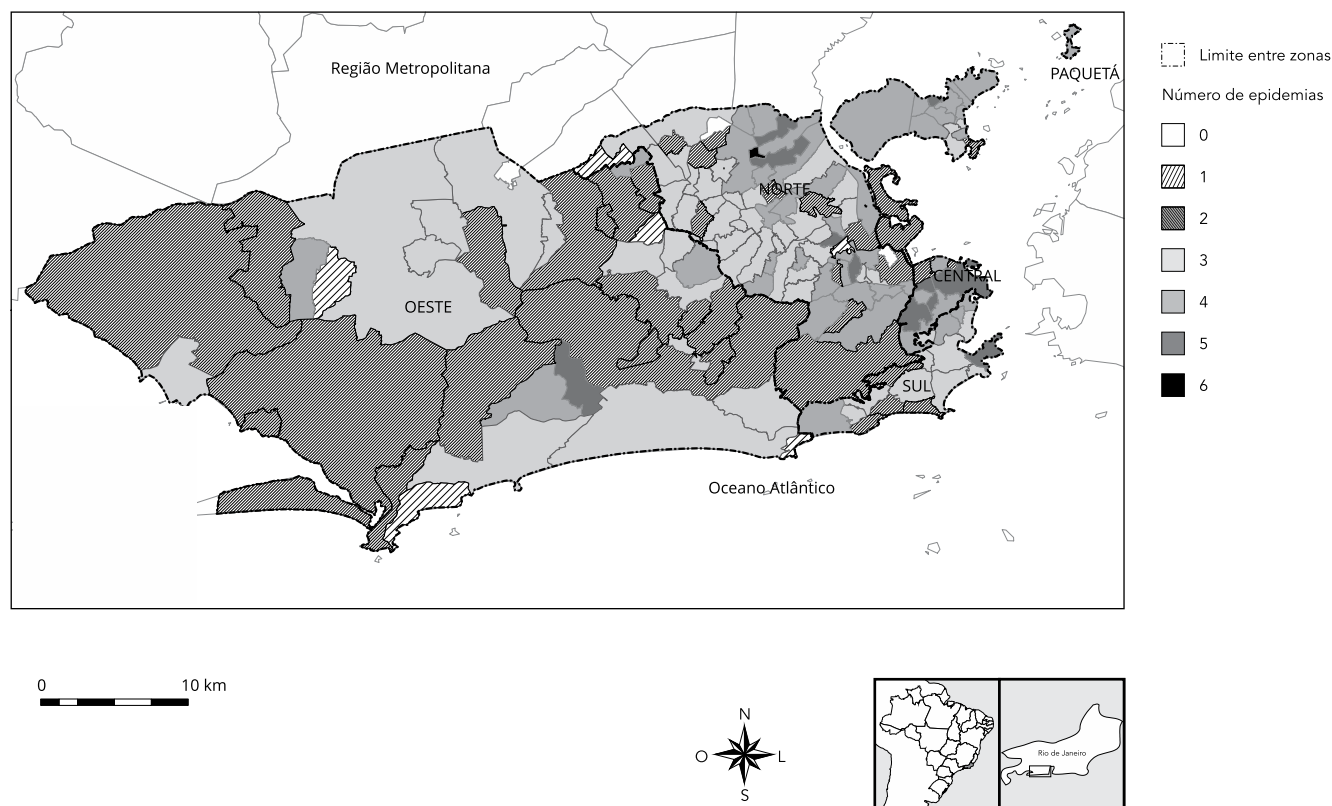
Considerando os principais períodos epidêmicos do município, observou-se que no ano de 2002, em 45 bairros, o pico epidêmico primário ocorreu no mês janeiro; em 83 bairros o pico epidêmico ocorreu em fevereiro; e em 3 bairros em março. Em 2002, os primeiros sinais da epidemia foram detectados já em janeiro em vários bairros da cidade. Em fevereiro, surtos já tinham sido detectados na maior parte da cidade, principalmente na Zona Norte e nos bairros próximos ao Centro. Em março e abril poucas áreas apresentaram surtos e o poder de difusão do agravo foi bastante restringido, talvez pelo esgotamento de populações susceptíveis. Nesse caso, em apenas 2 meses a epidemia tomou a maior parte da cidade, com grande velocidade (Figura 4).

Na epidemia de 2008, o mês de janeiro registrou pico epidêmico em apenas um bairro, no mês de fevereiro foram 13, em março 116 e em abril 2 bairros. Nesse ano, o primeiro surto foi detectado em janeiro na Cidade de Deus, bairro localizado na Zona Oeste do município. No mês seguinte, surtos foram identificados em bairros da Zona Norte e no Catumbi e Cidade Nova, Zona Central da cidade. Em março, a maior parte da cidade já havia sido tomada por surtos. Nesse caso, foram necessários 3 meses para a difusão da epidemia; não foram observados surtos na Zona Sul.

Em 2011, os picos epidêmicos foram distribuídos em apenas dois meses; 32 bairros apresentaram pico epidêmico em março e 25 bairros registraram este pico em abril. Em 2012, o primeiro surto foi observado em fevereiro no bairro de Bento Ribeiro, Zona Norte. Em março, verificou-se a difusão de surtos no entorno desse bairro, e em abril uma dispersão de surtos em grande parte da Zona Norte. No entanto, essa epidemia foi restrita à Zona Norte, não alcançando as zonas Sul e Oeste. No ano de 2012, um bairro apresentou pico epidêmico em fevereiro, 31 bairros registraram pico em março, 62 em abril e 5 em maio. Em 2013, apenas 2 bairros apresentaram o pico epidêmico no mês de fevereiro,

Figura 2

Distribuição das epidemias de dengue nos bairros do Município do Rio de Janeiro, Brasil, entre 2000 e 2013.



54 bairros em março, 6 bairros em abril e apenas um registrou pico epidêmico em maio. Nesse ano, a epidemia apresentou predominância nas zonas Sul e Central do município.

Discussão

Este trabalho descreveu a ocorrência e a difusão temporal e espacial das epidemias de dengue no Município do Rio de Janeiro no período de 2000 a 2013. As análises evidenciaram três grandes períodos epidêmicos de dengue no município. O primeiro, refere-se ao ano de 2002, quando observou-se comportamento epidêmico em 130 dos 160 bairros do município. O segundo, ocorreu no ano de 2008 quando 132 bairros apresentaram situação epidêmica. O terceiro período refere-se aos anos de 2011, 2012 e 2013, nos quais 57, 99 e 63 bairros, respectivamente, registraram situação epidêmica. É importante ressaltar que nesse último período foram considerados os três anos como um período único de epidemia. Supõe-se que esse período mais longo de epidemia tenha ocorrido pela entrada de um novo sorotipo, a existência de mais três sorotipos circulantes e o aumento no número de suscetíveis¹⁵.

A análise proposta neste estudo revela situações de perpetuação da epidemia, além de apontar locais de intervenções mais intensivas, já que a população vetorial e o comportamento dos residentes no combate ao vetor podem estar intimamente relacionados com a manifestação do agravo. O estudo desenvolvido por Luz et al.¹⁹ mostrou que a heterogeneidade espacial da densidade do vetor afeta

Figura 3

Ocorrência de epidemias de dengue nos bairros do Município do Rio de Janeiro, Brasil, de 2000 a 2013.

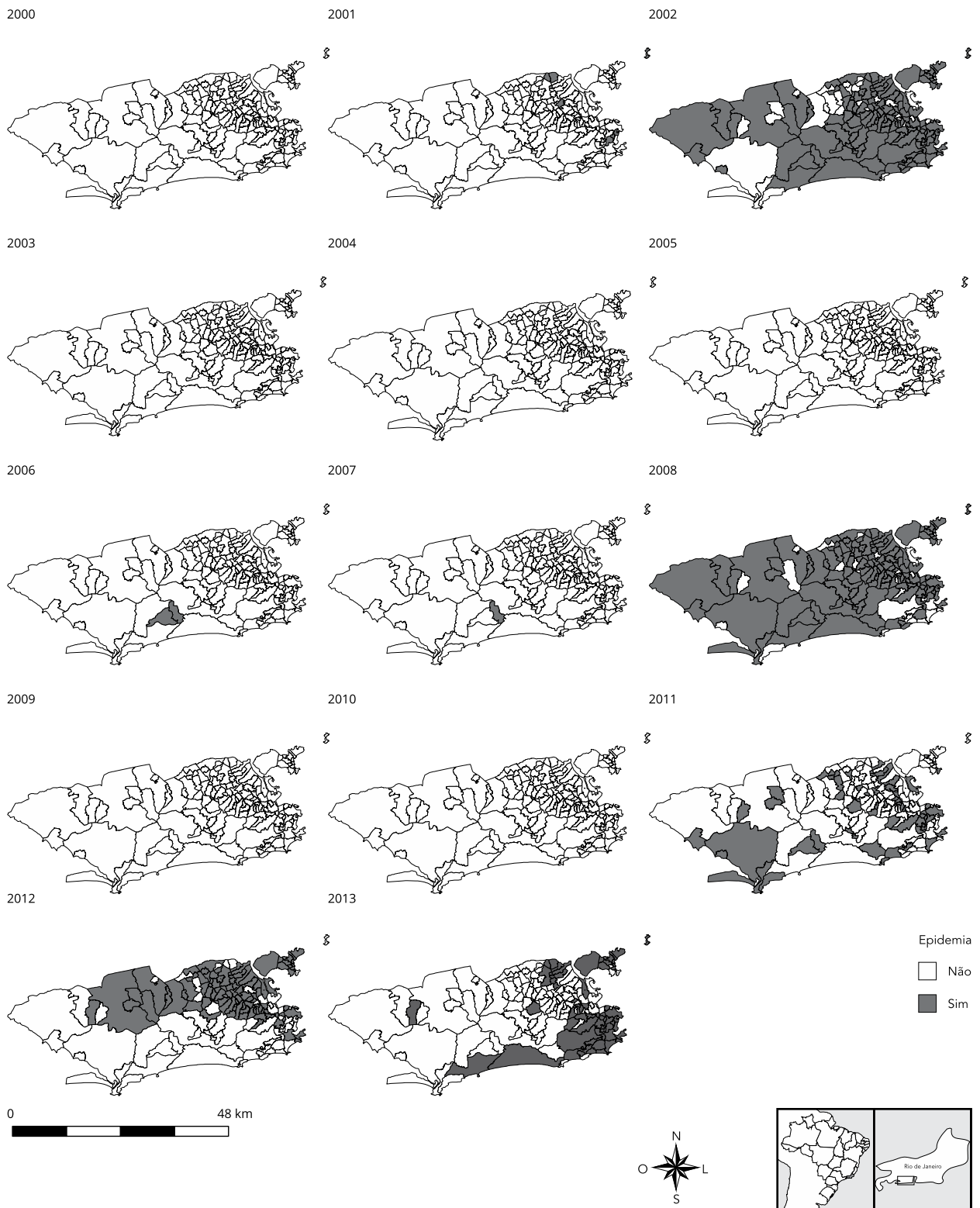
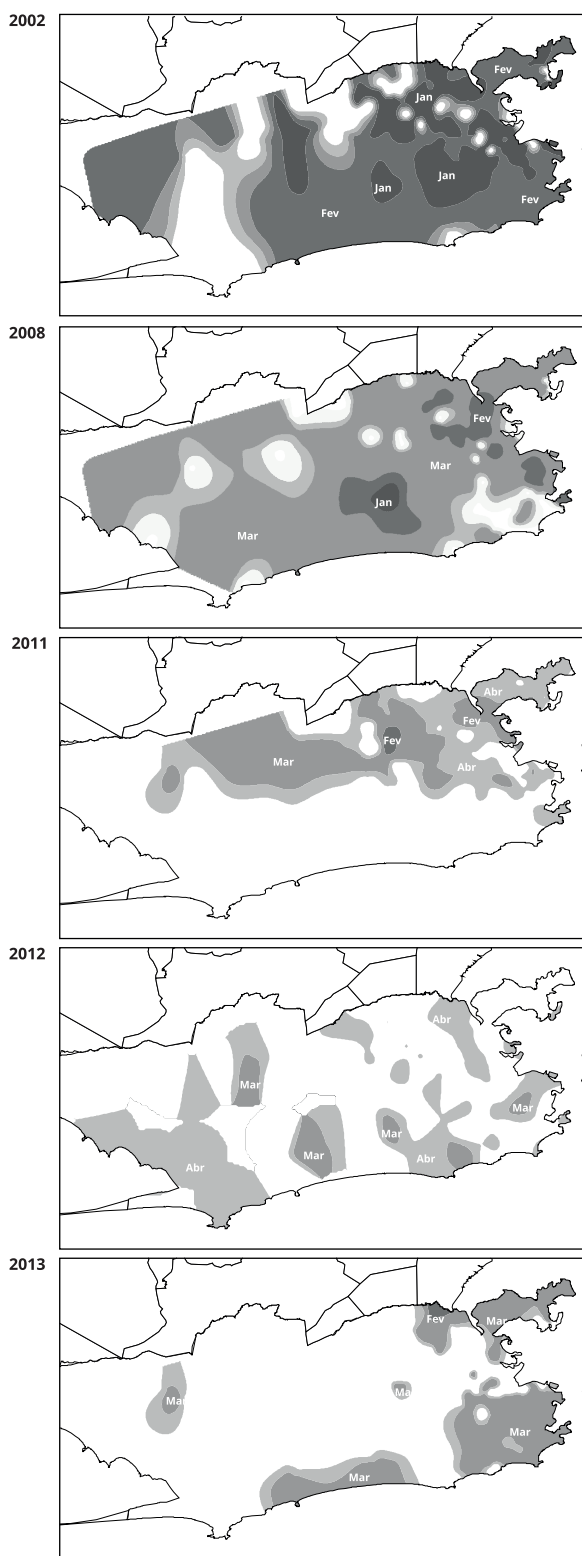


Figura 4

Difusão do dengue segundo meses com pico epidêmico nos bairros do Município do Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2000 a 2013.



a dinâmica da doença, e que o deslocamento expõe o indivíduo infectado para ambientes diferentes, aumentando assim a capacidade de difusão de uma epidemia.

É importante considerar que áreas e indivíduos com características semelhantes tendem a estar mais próximos, e as condições do ambiente a que estão submetidos é fundamental para o entendimento das dinâmicas do processo saúde-doença³⁰. Apesar da heterogeneidade do município e a construção da cidade como mosaico entre populações de alta e baixa renda, a classificação adotada informalmente em zonas permite evidenciar algumas características comuns das localidades que ajudam a explicar o processo de difusão do agravo.

Na Zona Central a paisagem é composta por muitas edificações, poucas áreas verdes e de lazer, poucos resquícios de área não consolidada urbana e muita circulação de pessoas. Verificou-se que mesmo com o baixo número de residentes em relação às demais áreas, em quatro bairros ocorreram cinco epidemias de dengue nessa zona.

Na Zona Norte do município estão as maiores áreas de favelas, a densidade demográfica é elevada, e a região apresenta déficit de serviços públicos de infraestrutura e condições socioeconômicas adversas. No passado, foi a principal área industrial da cidade, hoje passa por um processo de alteração funcional. O bairro de Vista Alegre apresentou seis epidemias no período de estudo. Além desse bairro outros cinco apresentaram cinco epidemias. Essa região é o principal corredor de deslocamento de pessoas dentro do município e para outros municípios do entorno, o que pode funcionar como área de difusão do agravo, constituindo, assim, uma paisagem propícia para ocorrência e perpetuação de epidemias.

Na Zona Sul, apesar da elevada densidade demográfica, em algumas áreas há concentração de pessoas de classe média e classe média alta; nesta região ocorre o funcionamento eficaz de serviços públicos, existem parques e áreas verdes, e poucas áreas de favela. Nessa zona somente o bairro da Urca apresentou cinco epidemias, entretanto, a epidemia do ano de 2013 ocorreu de forma concentrada na região.

A Zona Oeste do município é a área que apresenta a maior alteração recente em sua paisagem. É a região de ocupação mais atual do município e conta ainda com grandes áreas com cobertura vegetal. O bairro de Camorim apresentou cinco epidemias. Outro bairro que se destaca na região é Vargem Pequena, onde ocorreram quatro epidemias. Esses dois bairros fazem limites com áreas verdes do Parque Estadual da Pedra Branca. Por conta da ocupação recente, a região ainda sofre com problemas como a intermitência do abastecimento de água, o que pode levar ao armazenamento inadequado e, por consequência, propiciando criadouros ao vetor³⁵.

Alguns trabalhos sobre a difusão do dengue contribuem para os achados no presente estudo. Sharma et al.³⁶ analisaram o comportamento espacial e temporal do dengue para casos hemorrágicos da doença, e concluíram que a diminuição da distância espacial média entre os casos se correlaciona com a presença de surto. Com relação ao tempo, a proximidade entre os casos na escala temporal sugere o aparecimento de uma epidemia. Esse comportamento foi observado nas duas grandes epidemias que o Rio de Janeiro enfrentou: em 2002, em apenas 2 meses, e em 2008, em 3 meses, a doença já estava difundida por toda a cidade. Também são observados os padrões de difusão do agravo encontrados por Kan et al.³⁷, que apontaram a distribuição contígua e a realocação. A distribuição contígua é evidente no período epidêmico de 2011 a 2013. No ano de 2011, ocorreu a distribuição contígua na Zona Norte da cidade. O período epidêmico foi aleatório em 2012, e em 2013 esteve concentrado na Zona Sul.

Outro achado importante deste trabalho diz respeito à janela de transmissão da doença. Nos anos em que se verificou que os meses epidêmicos iniciaram nos primeiros meses do ano, ocorreram epidemias mais intensas com maior capacidade de espalhamento. Possivelmente, períodos epidêmicos que comecem mais tardiamente não conseguem manter o processo com elevado do número de casos devido às mudanças nas variáveis de temperatura e pluviosidade e, conseqüentemente, diminuição da população vetorial³⁸.

As epidemias na escala de bairros apresentam comportamento semelhante à escala municipal. Entretanto, foram observadas particularidades em bairros com maior repetição de epidemias e tempos diferentes em que foram observadas estas epidemias. Nesses bairros, parece ocorrer uma endemização de dengue, que pode ser verificada pela análise de dados em unidades espaciais de agregação diferente. As análises multiescalares permitem apontar particularidades locais e a interação de fatores que atuam em diversos níveis de determinação³⁴.

Na análise da distribuição espacial das epidemias nos bairros, verificou-se que Gericinó, Vasco da Gama e Parque Colúmbia não registraram epidemia em nenhum dos anos estudados. O caso de Gericinó é bastante particular, pois além de ser um bairro criado recentemente, o seu limite territorial é ocupado quase que completamente pelas edificações do Complexo Penitenciário de Gericinó. Possivelmente, os dados de notificação na população penitenciária podem estar subestimados. Sousa et al.³⁹ evidenciaram o problema de subnotificação em populações carcerárias, avaliando casos de tuberculose. Diante desse fato, deve-se ponderar os resultados encontrados para dengue nessa localidade.

Os bairros Vasco da Gama e Parque Colúmbia, apesar de terem sido criados em 1998 e 1999, respectivamente, parecem não ter sido incorporados pela sensação de pertencimento da população e, assim, não foram declarados por nenhum indivíduo no momento da notificação. Essa é uma limitação na análise quando se utiliza a informação de bairro declarada do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). É importante considerar uma particularidade do Município do Rio de Janeiro, que apesar de ter uma delimitação formal para o limite administrativo apresenta alguns bairros que são mais “reconhecidos” pelos moradores. Um exemplo disso é o bairro de Bonsucesso, que é declarado por pessoas que moram em seu entorno como nos bairros do Complexo do Alemão e Manguinhos, conhecidos como áreas de favelas. Outro exemplo é o bairro de Jacarepaguá, que é confundido com a Região Administrativa (RA) que tem o mesmo nome. A RA de Jacarepaguá é composta por 10 bairros, entre eles um chamado Jacarepaguá. Porém, muitos moradores dos outros bairros dessa RA como Freguesia, Tanque, Pechincha, Curicica, dentre outros, declaram que moram em Jacarepaguá, superestimando assim os agravos deste bairro⁴⁰. Isso pode ser encarado como uma importante limitação do estudo.

Outra limitação importante diz respeito ao modelo estatístico utilizado. Modelos estatísticos mais robustos poderiam contribuir para solucionar problemas da variabilidade dos dados e, por conseguinte, reduzir o erro na identificação de falsos-positivos e falsos-negativos. Por outro lado, a estratégia aqui utilizada tem vantagens considerando a implementação e o uso nos serviços de saúde, sem grave prejuízo na acurácia de detecção de epidemias em nível local.

A difusão de dengue ocorre devido a um processo complexo, que envolve a propagação do vetor e sua adaptação ao ambiente urbano, a mobilidade da população que facilita a circulação do vírus, e mudanças climáticas que favorecem a reprodução do vetor e aceleram o ciclo de transmissão⁴¹. As grandes cidades reúnem esses componentes, sendo um substrato favorável para a transmissão do dengue.

Diversos estudos têm buscado identificar áreas de risco dentro das cidades e seus determinantes sociais e ambientais^{22,23,24,25,26,27,42}, levando a resultados controversos, ou seja, alguns deles indicando bairros pobres como áreas de risco do dengue, e outros as regiões ricas como de maior risco^{24,43}. Essa disparidade de resultados pode ser consequência da própria dinâmica espaço-temporal das epidemias de dengue. Depois de grandes surtos, a soroprevalência de anticorpos de dengue pode atingir até 80% da população da cidade, sendo a imunidade de grupo um fator determinante para novas infecções⁴⁴. Por conseguinte, a distribuição espacial dos casos de dengue pode diferir consideravelmente de acordo com o momento em que o estudo seja realizado. No entanto, alguns indicadores podem ser destacados como consensuais nesses estudos: a densidade demográfica, a mobilidade da população, a infestação do mosquito e condições de saneamento como importantes fatores coletivos de risco.

Com isso, é possível concluir que embora exista uma literatura vasta sobre a ocorrência do dengue e suas variáveis explicativas, as epidemias da doença se manifestam de forma distinta, tanto no tempo quanto no espaço, e variáveis explicativas de condições de vida, renda, saneamento, entre outras, ajudam a entender a manifestação da doença, entretanto, o dinamismo da difusão do dengue não parece ser diretamente associado a essas variáveis explicativas. Outra conclusão importante é que a alteração da escala de análise para bairros ou mesmo uma unidade de análise menor, pode evidenciar com antecedência processos epidêmicos nas cidades, e com isto orientar o serviço de saúde em busca de intervenções mais direcionadas.

Por fim, destacamos que o conjunto de dados e resultados apresentados neste trabalho foi estruturado num sítio sentinela para acompanhar a evolução e difusão do dengue no Município do Rio de Janeiro. Esse instrumento, disponível na modalidade *web* (<http://www.climasaude.icict.fiocruz.br/rio>) permite resumir a atividade de acompanhamento regular e contínua dos casos. Essa ferramenta pode auxiliar tanto usuários do sistema de saúde quanto gestores a praticar intervenções mais dire-

cionadas e adequadas, levando em consideração particularidades locais. A metodologia empregada depende unicamente de dados de notificação de casos de dengue desagregados por bairros, distritos, ou área de cobertura do posto de saúde. Esses dados estão disponíveis em grande parte dos municípios brasileiros. A sua utilização como rotina dos serviços de vigilância em saúde permitiria a detecção de surtos localizados e sua tendência de difusão nas cidades.

Colaboradores

D. R. Xavier, M. A. F. M. Magalhães, R. Gracie, I. C. Reis, V. P. Matos e C. Barcellos participaram da concepção e projeto, análise e interpretação dos dados, redação do artigo, aprovação final da versão a ser publicada.

Agradecimentos

Este artigo é uma contribuição da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima). Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – processo nº 552746/2011-8). Observatório Nacional de Clima e Saúde, Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz.

Referências

1. Gubler DJ, Kuno G. Dengue and dengue hemorrhagic fever. Wallingford: CAB International; 1997.
2. Ministério da Saúde. Dengue. <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/secretarias/svs/dengue> (acessado em 09/Out/2015).
3. World Health Organization. Dengue and severe dengue. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/> (acessado em 02/Set/2015).
4. Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, et al. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 2013; 496:504-7.
5. Pan American Health Organization. Strategic plan of the Pan American Health Organization 2014-2019. 52nd Directing Council and 65th Session of the Regional Committee. Washington D.C., USA, 30 September – 4 October 2013. <http://www.paho.org/> (acessado em 02/Set/2015).
6. Ministério da Saúde. Casos de dengue. Brasil, Grandes regiões e Unidades Federadas, 1990 a 2014. <http://portalsaude.saude.gov.br/imagens/pdf/2015/julho/29/Dengue-at---2014.pdf> (acessado em 02/Set/2015).
7. Schatzmayr HG, Nogueira RMR, Travassos da Rosa APA. An outbreak of dengue virus at Rio de Janeiro. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1986; 81:245-6.
8. Nogueira RMR, Miagostovich MP, Lampe E, Schatzmayr HG. Isolation of dengue virus type 2 in Rio de Janeiro. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1990; 85:253.
9. Nogueira RMR, Miagostovich MP, Schatzmayr HG, Santos FB, Araújo ESM, Filippis AMB, et al. Dengue in the state of Rio de Janeiro, Brazil, 1986-1998. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1999; 94:297-304.
10. Nogueira RMR, Miagostovich MP, de Filippis AMB, Pereira MAS, Schatzmayr HG. Dengue virus type 3 in Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2001; 96:925-6.
11. Lourenço-de-Oliveira R, Honório NA, Castro MG, Schatzmayr HG, Miagostovich MP, Alves JCR, et al. Dengue virus type 3 isolation from *Aedes aegypti* in the municipality of Nova Iguaçu, State of Rio de Janeiro. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2002; 97:799-800.

12. Nogueira RMR, Schatzmayr HG, Filippis AMB, Santos FB, Cunha RV, Coelho JO, et al. Dengue virus type 3, Brazil, 2002. *Emerg Infect Dis* 2005; 11:1376-81.
13. De Simone TS, Nogueira RMR, Araújo ESM, Guimarães FR, Santos FB, Schatzmayr HG, et al. Dengue virus (DENV) surveillance: the co-circulation of DENV-1, 2 and 3 in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2004; 98:553-62.
14. Honório NA, Nogueira RMR, Codeço CT, Carvalho MS, Cruz OG, Magalhães MAFM, et al. Spatial evaluation and modeling of dengue seroprevalence and vector density in Rio de Janeiro, Brazil. *PLoS Negl Trop Dis* 2009; 3:e545.
15. Nogueira RMR, Eppinghaus ALF. Dengue virus type 4 arrives in the state of Rio de Janeiro: a challenge for epidemiological surveillance and control. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2011; 106:255-6.
16. Nogueira RMR, Miagostovich MP, Schatzmayr HC. Dengue virus in Brazil. *Dengue Bull* 2002; 26:1-10.
17. Honório NA, Codeço CT, Alves FC, Magalhães MAFM, Lourenço-de-Oliveira R. Temporal distribution of *Aedes aegypti* in different districts of Rio de Janeiro, Brazil, measured by two types of traps. *J Med Entomol* 2009; 46:1001-14.
18. Miagostovich MP, Nogueira RMR, Cavalcanti SMB, Marzochi KBF, Schatzmayr HG. Dengue epidemic in the state of Rio de Janeiro, Brazil: virological and epidemiological aspects. *Rev Inst Med Trop São Paulo* 1993; 35:149-54.
19. Luz PM, Codeço CT, Massad E, Struchiner CJ. Uncertainties regarding dengue modelling in Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2003; 98:871-8.
20. Getis A, Morrison AC, Gray K, Scott TW. Characteristics of the spatial patterns of the dengue vector, *Aedes aegypti* in Iquitos, Peru. *Am J Trop Med Hyg* 2003; 69:494-505.
21. Tauil PL. Urbanização e ecologia do dengue. *Cad Saúde Pública* 2001; 17 Suppl:99-102.
22. Mondini A, Chiaravalloti NF. Variáveis socioeconômicas e a transmissão de dengue. *Rev Saúde Pública* 2007; 41:923-30.
23. Cunha MCM, Caiáffa WT, Oliveira CL, Kroon EG, Pessanha JEM, Lima JA. Fatores associados à infecção pelo vírus do dengue no Município de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, Brasil: características individuais e diferenças intra-urbanas. *Epidemiol Serv Saúde* 2008; 17:217-30.
24. Flauzino RF, Souza-Santos R, Oliveira RM. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. *Rev Panam Salud Pública* 2009; 25:456-61.
25. da Costa AIP, Natal D. Distribuição espacial da dengue e determinantes socioeconômicos em localidade urbana no Sudeste do Brasil. *Rev Saúde Pública* 1998; 32:232-6.
26. Teixeira TRA, Medronho RA. Indicadores sócio-demográficos e a epidemia de dengue em 2002 no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2008; 24:2160-70.
27. Machado JP, Oliveira RM, Souza-Santos R. Análise espacial da ocorrência de dengue e condições de vida na cidade de Nova Iguaçu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2009; 25:1025-34.
28. Prefeitura do Rio de Janeiro. Características geográficas. <http://www.rio.rj.gov.br/web/riotur/caracteristicas-geograficas> (acessado em 14/Mai/2015).
29. Pelat C, Boell PY, Cowling BJ, Carrat F, Flahault A, Ansart S, et al. Online detection and quantification of epidemics. *BMC Med Inform Decis Mak* 2007; 7:29.
30. Alonso WJ, McCormick BJJ. EPIPOI: a user-friendly analytical tool for the extraction and visualization of temporal parameters from epidemiological time series. *BMC Public Health* 2012; 12:982.
31. Serfling RE. Methods for current statistical analysis of excess pneumonia-influenza deaths. *Public Health Rep* 1963; 78:494-506.
32. Houswrth J, Langmuir AD. Excess mortality from epidemic influenza, 1957-1966. *Am J Epidemiol* 1974; 100:40-8.
33. Rogers DJ, Randolph SE, Snow RW, Hay SI. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 2000; 415:710-5.
34. Elliott JM. Some methods for the statistical analysis of sample benthic invertebrates. *Ambleside: Freshwater Biological Association*; 1979.
35. Monteiro ESC, Coelho ME, Cunha ISD, Cavalcante MDAS, Carvalho FADA. Aspectos epidemiológicos e vetoriais da dengue na cidade de Teresina, Piauí – Brasil, 2002 a 2006. *Epidemiol Serv Saúde* 2009; 18:365-74.
36. Sharma KD, Mahabir RS, Curtin KM, Sutherland JM, Agard, JB, Chadee DD. Exploratory space-time analysis of dengue incidence in Trinidad: a retrospective study using travel hubs as dispersal points, 1998-2004. *Parasit Vectors* 2014; 7:1-11.
37. Kan CC, Lee PF, Wen TH, Chao DY, Wu MH, Lin NH, et al. Two clustering diffusion patterns identified from the 2001-2003 dengue epidemic, Kaohsiung, Taiwan. *Am J Trop Med Hyg* 2008; 79:344-52.
38. Lowe R, Barcellos C, Coelho CA, Bailey TC, Coelho GE, Graham R, et al. Dengue outlook for the World Cup in Brazil: an early warning model framework driven by real-time seasonal climate forecasts. *Lancet Infect Dis* 2014; 14:619-26.
39. Sousa LMO, Pinheiro RS. Óbitos e internações por tuberculose não notificados no Município do Rio de Janeiro. *Rev Saúde Pública* 2011; 45:31-9.
40. Magalhães MAFM, de Matos VP, de Andrade Medronho R. Avaliação do dado sobre endereço no Sistema de Informação de Agravos de Notificação utilizando georreferenciamento em nível local de casos de tuberculose por dois métodos no Município do Rio de Janeiro. *Cad Saúde Colet (Rio J.)* 2014; 22:192-9.

41. Jetten TH, Focks DA. Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming. *Am J Trop Med Hyg* 1997; 57:285-97.
42. Kikuti M, Cunha GM, Paploski IA, Kasper AM, Silva MM, Tavares AS, et al. Spatial distribution of dengue in a Brazilian urban slum setting: role of socioeconomic gradient in disease risk. *PLoS Negl Trop Dis* 2015; 9:e0003937.
43. Chiaravalloti-Neto F, Pereira M, Fávoro EA, Dibo MR, Mondini A, Rodrigues-Junior AL, et al. Assessment of the relationship between entomologic indicators of *Aedes aegypti* and the epidemic occurrence of dengue virus 3 in a susceptible population, São José do Rio Preto, São Paulo, Brazil. *Acta Trop* 2015; 142:167-77.
44. Siqueira-Junior JB, Maciel IJ, Barcellos C, Souza WV, Carvalho MS, Nascimento NE, et al. Spatial point analysis based on dengue surveys at household level in central Brazil. *BMC Public Health* 2008; 8:361.

Abstract

The city of Rio de Janeiro, Brazil, shows high potential receptiveness to the introduction, dissemination, and persistence of dengue transmission. The pattern of territorial occupation in the municipality produced a heterogeneous and diverse mosaic, with differential vector distribution between and within neighborhoods, producing distinct epidemics on this scale of observation. The study seeks to identify these epidemics and the pattern of spatial and temporal diffusion of dengue transmission. A model was used for the identification of epidemics, considering the epidemic peak years and months, spatial distribution, and permanence of epidemics from January 2000 to December 2013. A total of 495 epidemic peaks were counted, and the time scale showed the highest occurrence in the months of March, April, and February, respectively. Some neighborhoods appear to present persistent dengue incidence, and the pattern of diffusion allows identifying key trajectories and timely months for intervention.

Dengue; Spatio-Temporal Analysis; Epidemics

Resumen

La ciudad de Río de Janeiro, Brasil, presenta un elevado potencial de receptividad para la introducción, diseminación y persistencia de la transmisión de dengue. La ocupación del municipio conformó un mosaico heterogéneo y diversificado, con distribución vectorial diferenciada entre y dentro de los barrios, proporcionando epidemias distintas en esta escala de observación. Este trabajo busca identificar esas epidemias y el patrón de difusión de la transmisión del dengue, bajo la dimensión de tiempo y espacio. Se utilizó un modelo para la identificación de epidemias, considerando los años y meses de pico epidémico, la distribución espacial y la permanencia de las epidemias, teniéndose en cuenta el periodo de enero de 2000 a diciembre de 2013. Se contabilizaron 495 picos epidémicos, y en la escala de tiempo se evidenció una mayor ocurrencia durante los meses de marzo, abril y febrero, respectivamente. Algunos barrios parecen presentar un cuadro persistente de incidencia de dengue y el comportamiento de la difusión de la enfermedad permite identificar trayectorias y meses oportunos para la intervención.

Dengue; Análisis Espacio-Temporal; Epidemias

Recebido em 13/Nov/2015

Versão final reapresentada em 11/Abr/2015

Aprovado em 02/Mai/2016