Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Instituto de Medicina Social

Eny Regina da Silva Queiroz

Processos de difusão espacial da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias em simultaneidade das três epidemias

Rio de Janeiro

2017

Eny Regina da Silva Queiroz

Processos de difusão espacial da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias em simultaneidade das três epidemias

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. José Ueleres Braga

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CB/C

Q3 Queiroz, Eny Regina da Silva.
Processos de difusão espacial da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias em simultaneidade das três epidemias / Eny Regina da Silva Queiroz. – 2017.
83 f.

Orientador : José Ueleres Braga.
Dissertação (mestrado) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Medicina Social.

1. Dengue - Teses. 2. Zika vírus - Teses. 3. Vírus Chikungunya – Teses. 4. Infecção por arbovírus. 5. Epidemias. I. Braga, José Uereles. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Medicina Social. III. Título.

CDU 616.98(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

_____ _____

Assinatura Data

Eny Regina da Silva Queiroz

Processos de difusão espacial da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias em simultaneidade das três epidemias

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 24 de abril de 2017.

Orientador: Prof. Dr. José Ueleres Braga
Instituto de Medicina Social – UERJ

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Guilherme Loureiro Werneck
Instituto de Medicina Social – UERJ

_____

Prof. Dr. Antônio José Leal Costa
Universidade Federal do Rio de Janeiro

_____

Prof. Dr. Jose Bento Pereira Lima
Fundação Oswaldo Cruz

Rio de Janeiro

2017

Aos meus pais,

Gumercino e Mirthes Queiroz (*in memorian*) ...

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me sustentar, guiar e fortalecer em todo o tempo.

Aos meus pais (*in memorian*), pelo empenho para viabilizar a todos os filhos a oportunidade e acesso aos estudos que eles não puderam ter. Também pelo exemplo de fé, determinação e integridade que estarão sempre na minha memória.

À toda minha família pelo incentivo, suporte e orações. Especialmente às minhas irmãs Edilza e Edinilza, que nas horas de extremo cansaço e dúvidas, me ajudaram a seguir em frente.

A minha família ampliada, formada por laços de fé ou de amizade. Pessoas especiais com quem eu pude contar em todos os momentos.

Ao meu orientador, Professor José Ueleres Braga, pela habilidade, paciência e generosidade em compartilhar seus conhecimentos ao longo desse processo.

À Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro (SES/RJ), através da Subsecretaria de Vigilância em Saúde, SINAN e CIEVS, pela cessão dos dados.

Aos amigos do CIEVS/SES/RJ, pelo incentivo demonstrado antes mesmo da minha inscrição no processo seletivo para ingresso ao mestrado e que foi de grande importância durante todo o curso. À Sandra Victória (CIEVS e SMS/Duque de Caxias) pelas preciosas dicas e informações. À Silvia Carvalho, coordenadora do CIEVS, que ofereceu apoio e suporte além de minhas expectativas.

À direção da Escola Municipal Castelnuovo, por acomodar o meu horário de forma compatível com as atividades do mestrado. Aos amigos que comigo trabalham na escola, pelo companheirismo neste grande desafio que é conciliar a rotina do trabalho com a vida acadêmica.

Aos amigos da turma de epidemiologia de 2015 e outros com os quais convivi no IMS. Muito especialmente às amigas Geisy e Danielle, com quem pude compartilhar horas de estudos, momentos de angústias, descontração e de alegria.

Aos colegas do grupo de estudos e pesquisa sobre doenças transmissíveis: Ana Paula, Laís e Daniel pela presteza e boa vontade em me ajudar no aprendizado e execução das técnicas de análise espacial utilizadas nesse trabalho.

Aos professores Guilherme, Antônio José e José Bento, pelas contribuições por ocasião da qualificação e à banca examinadora da defesa da dissertação, constituída pelos professores citados, juntamente com professor Luiz Camacho.

Aos professores e funcionários do IMS, especialmente à Eliete e Simone pela constante simpatia e solicitude.

É melhor tentar e falhar que ocupar-se em ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que nada fazer. Eu prefiro caminhar na chuva a, em dias tristes, me esconder em casa. Prefiro ser feliz, embora louco, a viver em conformidade. Mesmo as noites totalmente sem estrelas podem anunciar a aurora de uma grande realização.

Martin Luther King Jr.

RESUMO

QUEIROZ, Eny Regina da Silva. **Processos de difusão espacial da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias em simultaneidade das três epidemias.** 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Epidemias de doenças emergentes e reemergentes nas últimas décadas, têm mobilizado instituições pesquisa e serviços de Saúde Pública em todo o mundo. Neste contexto, as arboviroses dengue, Zika e chikungunya, transmitidas pelo vetor *Aedes aegypti* têm ganhado importância devido ao elevado potencial de transmissibilidade e do impacto na morbimortalidade da população de vários países, como o Brasil. Estudos sobre difusão espacial, buscam identificar padrões de como determinada doença ou fenômeno se move no tempo e no espaço. Vários autores têm investigado padrões de difusão da dengue, do seu vetor e dos vírus que causam essa doença. Há entretanto uma lacuna no que tange ao entendimento da difusão da dengue, Zika e chikungunya, uma vez constatada a ocorrência simultânea dessas arboviroses no mesmo território. Essa dissertação teve como objetivo identificar os padrões de difusão da Zika, da dengue e da chikungunya no município de Duque de Caxias durante as epidemias de novembro de 2015 a maio de 2016. Trata-se de uma pesquisa epidemiológica exploratória com dois desenhos de estudo: seccional para dados de pontos, referentes aos endereços de residência dos casos das arboviroses e ecológico para dados de área, considerando os bairros como unidade de análise. Foram utilizados os casos notificados das três doenças no Sistema de Informação de Agravos de Notificação. Para dados de ponto, foram utilizadas as técnicas de mapas sequenciais da densidade de Kernel, a estatística de Knox e a estimação da curva de regressão para a razão da distância do vizinho mais próximo. Para dados de área, foram construídos mapas sequencias para as taxas de incidência, correlogramas espaciais e foram avaliadas as mudanças nos níveis locais de aglomeração espacial. Os resultados sugerem que o padrão de difusão espacial das três arboviroses no município de Duque de Caxias foi o de difusão por expansão, com importantes focos de dispersão das doenças localizados em bairros dos 1º e 2º distritos. O conhecimento sobre o padrão de difusão espacial pode contribuir para geração de hipóteses sobre os fatores que influenciam a transmissão das arboviroses nesse território e auxiliar no planejamento de ações de vigilância em saúde e controle das epidemias.

Palavras-chave: Dengue. Zika. Chikungunya. Arboviroses. Difusão espacial. Epidemia.

ABSTRACT

Queiroz, Eny Regina da Silva. **Spatial diffusion processes of Zika, dengue and chikungunya in the municipality of Duque de Caxias in the simultaneity of the three epidemics**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

In recent decades, epidemics emerging and reemerging diseases have mobilized public health and research institutions around the world. In this context, dengue, Zika and chikungunya arboviruses, transmitted by the vector *Aedes aegypti* have gained importance due to the high potential of transmissibility and the impact on the morbimortality of the population of several countries, such as Brazil. Studies on spatial diffusion aim to identify patterns of how a disease or phenomenon moves in time and space. Several authors have investigated patterns of spatial diffusion of dengue fever, its vector and viruses that cause this disease. There is, however, a gap in the understanding of the diffusion of dengue, Zika and chikungunya, once the simultaneously occur in the same territory. This research aimed to identify the diffusion patterns of Zika, dengue and chikungunya in municipality of Duque de Caxias during the epidemics from November 2015 to May 2016. It is an exploratory epidemiological study with two study designs: a cross-sectional for points data, referring to the residence addresses of the cases and an ecological study for area data, considering the neighborhoods as unit of analysis. The notified cases of the three diseases were obtained from the Brazilian Information system for notifiable diseases. For point data, map sequences for the Kernel density estimation, the Knox method, and the regression curve estimation for the distance ratio of the nearest neighbor were used. For area data, sequences maps were constructed for incidence rates, spatial correlograms and changes in local spatial dependencies were evaluated. The results suggest that the spatial diffusion pattern of the three arboviruses in Duque de Caxias was diffusion by expansion, with important focuses of dispersion of the diseases located in the 1st and 2nd districts. Knowledge about the patterns of spatial diffusion might contribute to the generation of hypotheses of factors that influence the transmission about arboviruses in this territory and to assist in the planning of actions of health surveillance and control of epidemics.

Keywords: Dengue. Zika. Chikungunya. Arboviruses. Spatial diffusion. Epidemic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Países com transmissão autóctone do Zika vírus no mundo - 2013-2016 18

Figura 2 - Padrões de difusão espacial 24

Figura 3 - Correlogramas espaciais da Flórida nos anos de 1984 e 1990 28

Figura 4 - Curvas epidêmicas dos casos de Dengue, Chikungunya e Zika no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 35

Figura 5 - Mapa município de Duque de Caxias 41

Figura 6 - Processamento dos dados das notificações das arboviroses Zika, dengue e chikungunya, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016 43

Figura 7 - Mapas da densidade de Kernel para os casos de febre do Zika vírus em Duque de Caxias, SE 44/2015 a 03/2016..... 47

Figura 8 - Mapas da densidade de Kernel para os casos de febre do Zika vírus em Duque de Caxias, SE 04/2016 a 15/2016..... 50

Figura 9 - Mapas da densidade de Kernel para os casos de febre do Zika vírus em Duque de Caxias, SE 16/2016 a 20/2016 51

Figura 10 - Mapas temáticos das taxas de incidência da febre do Zika vírus por bairros no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 15/2016..... 52

Figura 11 - Taxas de incidência da febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias, SE 16 a 19/2016..... 53

Figura 12 - Curva de regressão com melhor ajuste da relação entre as RDVMP da febre do Zika vírus e o tempo, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 54

Figura 13 - Correlograma espacial a febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 55

Figura 14 - Mapas de densidade de Kernel para os casos de chikungunya no municípiode Duque de Caxias, SE 02 a 17/2016..... 57

Figura 15 - Mapa da densidade de Kernel para os casos de chikungunya no município de Duque de Caxias, SE 18 e 19/2016..... 58
Figura 16 - Mapas temáticos das taxas de incidência de chikungunya por bairros no município de Duque de Caxias, SE 02 a 19/2016..... 59
Figura 17 - Curva de regressão com melhor ajuste da relação entre as RDVMP de chikungunya e o tempo, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 60
Figura 18 - Correlograma espacial para a chikungunya no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 61
Figura 19 - Mapas de densidade de Kernel para os casos de dengue no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 03/2016... 63
Figura 20 - Mapas de densidade de Kernel para os casos notificados de dengue no município de Duque de Caxias, SE 04 a 15/2016..... 64
Figura 21 - Mapas de densidade de Kernel para os casos de dengue no município de Duque de Caxias, SE 16 a 19/2016..... 65
Figura 22 - Mapas temáticos das taxas de incidência da dengue por bairros no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 13/2016..... 66
Figura 23 - Mapas temáticos das taxas de incidência da dengue por bairros no município de Duque de Caxias, SE 14 a 19/2016 67
Figura 24 - Curva de regressão com melhor ajuste da relação entre as RDVMP da dengue e o tempo, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 68
Figura 25 - Correlograma espacial para dengue no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação de algumas propostas de classificação dos processos de difusão espacial de doenças..... 25
Quadro 2 - Frequência da melhor curva de regressão encontrada para as simulações para cada tipo de difusão espacial..... 30
Quadro 3 - Dinâmica das mudanças das taxas de incidência em sucessivas observações 31
Quadro 4 - Classificação dos pares conforme distância no tempo e no espaço... 32
Quadro 5 - Resumo dos resultados para identificação dos processos de difusão espacial para Zika, dengue e chikungunya em Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Taxas de incidência de dengue, Zika e chikungunya (por cem mil habitantes) por bairros no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 até 20/2016 37

Tabela 2 Número de pares observados e esperados (entre parênteses) de casos de febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias classificados de acordo com a distância no tempo e no espaço, SE 44/2015 a 20/2016 54

Tabela 3 Mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial e processos de difusão espacial da febre do Zika vírus correspondentes no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016..... 56

Tabela 4 Número de pares observados e esperados (entre parênteses) de casos de chikungunya no município de Duque de Caxias classificados de acordo com a distância no tempo e no espaço, SE 44/2015 a 20/2016 60

Tabela 5 Mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial e processos de difusão espacial de chikungunya correspondentes, município de Duque de Caxias, SE 02 a 19/2016..... 62

Tabela 6 Estatística de Knox. Valores observados da contagem de pares de casos de dengue no município de Duque de Caxias classificados de acordo com a distância no tempo e no espaço, SE 06 a 20/2016 67

Tabela 7 Mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial e processos de difusão espacial de dengue correspondentes, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 19/2016 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CMI	Campo médio de informação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LISA	Índice Local de autocorrelação espacial
LIRAa	Levantamento do índice rápido para o *Aedes aegypti*
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
RDVMP	Razão da distância do vizinho mais próximo
SE	Semana epidemiológica
SES/RJ	Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	17
1	**REFERENCIAL TEÓRICO**.....	18
1.1	**Histórico e distribuição das arboviroses Zika, dengue, e chikungunya**.....	18
1.2	**O vetor Aedes aegypti**.....	21
1.3	**Processos de Difusão Espacial**.....	23
1.3.1	Técnicas para identificação dos processos de difusão espacial.....	26
1.3.1.1	Mapas sequencias.....	26
1.3.1.2	Correlogramas espaciais.....	27
1.3.1.3	Análise da razão da distância do vizinho mais próximo – RDVMP.....	29
1.3.1.4	Índice de autocorrelação espacial local (LISA) e mudanças nos níveis de dependência espacial ao longo do tempo.....	30
1.3.2	Interação espaço-temporal	31
1.3.3	Estudos de difusão espacial de arboviroses no Brasil	32
1.4	**Zika, dengue, e chikungunya no município de Duque de Caxias**.....	34
2	**JUSTIFICATIVA**.....	38
3	**OBJETIVOS**.....	39
3.1	**Objetivo geral**.....	39
3.2	**Objetivos específicos**.....	39
4	**MÉTODOS**.....	40
4.1	**Desenho e período de estudo**.....	40
4.2	**Área de estudo**.....	40
4.3	**Fonte de dados**.....	42
4.4	**Coleta e processamento dos dados**.....	44
4.5	**Análise dos dados espaciais**.....	44
4.5.1	Técnicas usadas para dados de pontos.....	44
4.5.1.1	Mapas sequenciais de kernel	44
4.5.1.2	Estatística de Knox	45
4.5.1.3	Análise da razão da distância do vizinho mais próximo	45
4.5.2	Técnicas para dados de área	46
4.5.2.1	Mapas sequenciais temáticos	46
4.5.2.2	Correlogramas espaciais	46
4.5.2.3	Modificações da autocorrelação espacial local pelos indicadores LISA	46

4.6 **Aspectos éticos** 47
5 **RESULTADOS**..... 48
5.1 **Sobre a difusão da febre do Zika vírus** 48
5.2 **Sobre a difusão da febre do chikungunya** 56
5.3 **Sobre a difusão da dengue** 62
6 **DISCUSSÃO**..... 71
CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 77
REFERÊNCIAS..... 78

INTRODUÇÃO

A ocorrência de epidemias e pandemias por doenças emergentes e reemergentes nas últimas décadas, tem sido objeto de preocupação dos órgãos responsáveis pela gestão de saúde em todo o mundo. Fatores climáticos, socioambientais e de mobilidade tem favorecido a propagação de hospedeiros, vetores e agentes etiológicos de doenças.

Em 2015, a Organização Mundial da Saúde declarou a febre do Zika vírus como Emergência em Saúde Pública de Importância internacional devido ao rápido espalhamento da doença e ao impacto causado pela associação com casos de microcefalia e outras malformações congênitas e suspeita de associação com casos da síndrome de Guillain-Barré. Os serviços de saúde, que desde a década de 1980 enfrentavam o desafio das epidemias de dengue e mais recentemente o aumento da detecção de casos da febre do chikungunya em vários países, precisaram se reorganizar para a demanda decorrente de uma tríplice epidemia, causada por um mesmo vetor, o *Aedes aegypti*, altamente adaptado a áreas urbanas e ambientes domésticos.

Na área da pesquisa epidemiológica têm sido engendrados muitos esforços para maior compreensão das arboviroses supracitadas. No campo específico da difusão espacial, que visa compreender como um fenômeno se move no tempo e no espaço, diversos estudos têm enfatizado a investigação da dengue, seus vírus e vetores. Entretanto, até o presente momento, persistem lacunas sobre a dinâmica espacial da dengue, Zika e chikungunya em contexto de uma tríplice epidemia ocorrendo no mesmo território.

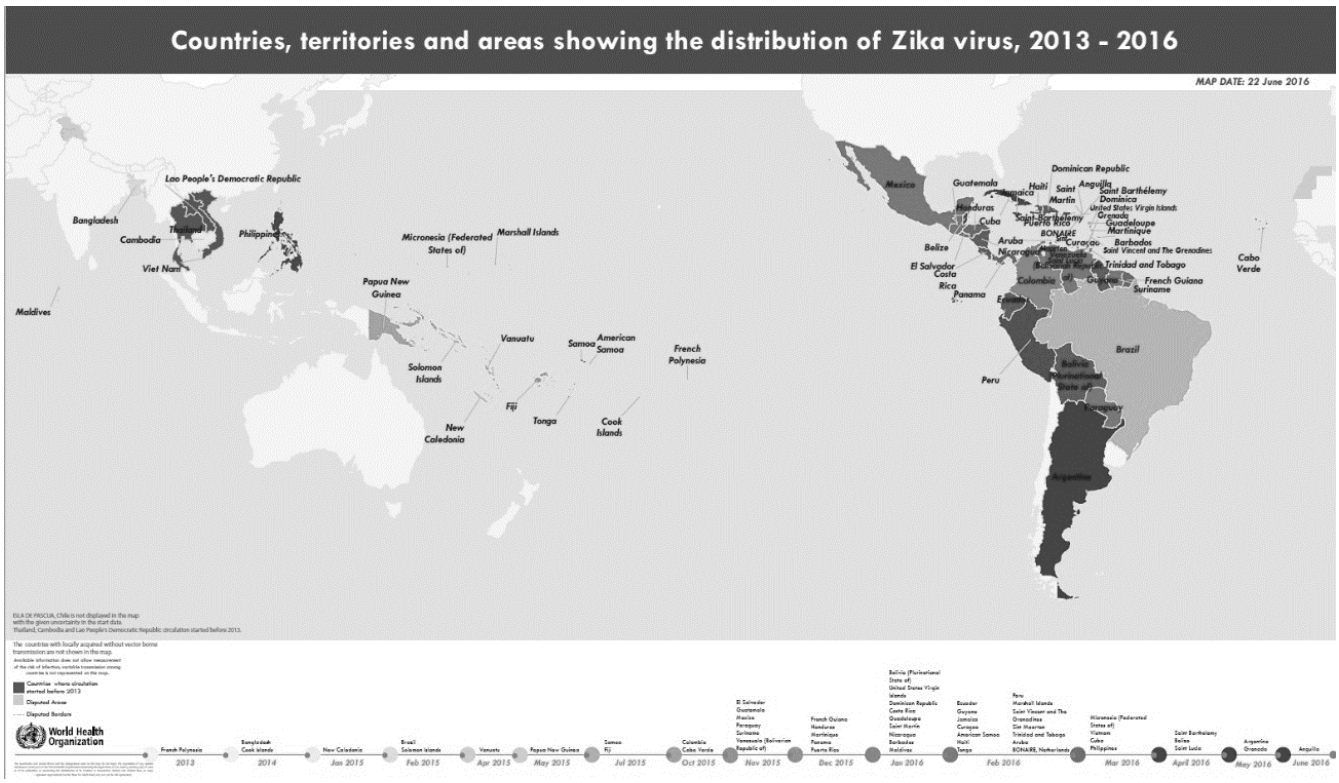
Esse trabalho tem por objetivo identificar e caracterizar os processos de difusão espacial da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias no estado do Rio de Janeiro de forma a contribuir para o planejamento de ações de vigilância e controle.

1 **REFERENCIAL TEÓRICO**

1.1 **Histórico e distribuição das arboviroses Zika, dengue e chikungunya**

O Zika vírus foi isolado pela primeira vez na floresta Zika, em Uganda, na África em um macaco *Rhesus*, no ano de 1947 (DICK et al.,1952). Segundo Musso et al. (2015), por muitos anos a doença foi considerada uma zoonose branda com ocorrências esporádicas em humanos. Em 2007, pela primeira vez o vírus foi detectado fora da África e Ásia, em uma epidemia nas ilhas de Yap, na Micronésia. Em 2013 e 2014, ocorreu uma epidemia na Polinésia Francesa de onde a doença se espalhou pela Oceania. Nas Américas foi confirmada a transmissão autóctone no Chile em 2014 e no Brasil em 2015 (OPAS, 2015). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), a doença já havia sido detectada em 65 países e territórios até junho de 2016 (Figura 1).

Figura 1 - Países com transmissão autóctone do Zika vírus no mundo - 2013-2016



Fonte: OPAS/OMS, 2016.

De acordo com a Organização Pan-americana da Saúde (OPAS), até 29 de julho de 2016, 42 países e territórios apresentavam transmissão autóctone do Zika vírus na região das Américas (OPAS, 2016b). No Brasil, até a Semana Epidemiológica (SE) 21 de 2016, foram notificados 161.241 casos, com incidência de 78,9 casos/100mil habitantes (BRASIL, 2016).

Apesar da evolução predominantemente benigna, a doença tem despertado preocupação nos órgãos de saúde devido à associação com casos de microcefalia e outras malformações congênitas e à suspeita de associação com casos da síndrome de Guillain-Barré (OPAS, 2016b).

Não existem informações precisas quanto aos primeiros registros de dengue no mundo. Há relatos de epidemias de doença com características semelhantes à dengue nos séculos XVII e XVIII na Ásia, África e América do Norte. No Brasil a dengue chegou na metade do século XIX, mas a relevância epidemiológica era constatada principalmente em países da Ásia. A segunda guerra mundial facilitou a disseminação dos quatro sorotipos do vírus da dengue pelo mundo (BRAGA & MARTIN, 2015).

Após décadas sem registros de casos no Brasil, a reintrodução da doença ocorreu no início da década de 1980, em Boa Vista (Roraima), quando aconteceu a primeira epidemia documentada clínica e laboratorialmente no país. A partir de então, a transmissão da dengue se deu de forma continuada intercalando períodos endêmicos com epidêmicos (BRASIL, 2014).

Estima-se que há mais de 2,5 bilhões de pessoas vivendo em países endêmicos sob risco de contrair a doença e que ocorrem de 50 a 100 milhões de casos por ano em todo o mundo. Nas Américas, entre 2008 e 2012 foram notificados cerca de 1,2 milhões de casos anualmente, incluindo 28.233 casos graves e 1.000 óbitos. Em 2013, ocorreu a maior epidemia registrada na região, com 2,3 milhões de casos, 37.898 casos graves e 1.318 óbitos (OPAS, 2014). No Brasil, até a SE 21 de 2016, foram notificados 1.294.583 casos de dengue, e a região sudeste registrou 59,7% dos casos (BRASIL, 2016a).

Atualmente circulam os quatro sorotipos do vírus da dengue no Brasil: DEN1, DEN2, DEN3 e DEN4. Essas variantes do vírus apresentam um complexo pleomorfismo em suas manifestações clínicas e epidemiológicas e a infecção por um sorotipo não confere imunidade para o outro. Quando um sorotipo é introduzido em localidades com

elevada densidade vetorial e população susceptível, tem grande potencial de provocar epidemias (TEIXEIRA et al., 1999).

Da mesma forma que a Zika, a febre do chikungunya, teve a primeira epidemia documentada na Tanzânia, na África, na década de 1950. Na década de 1960 foram detectados surtos urbanos na Ìndia. Em 2007 foram registrados os primeiros casos de transmissão autóctone dessa doença na Europa e em 2013 nas Américas (MUSSO et al., 2015).

Os primeiros casos de transmissão autóctone no Brasil foram registrados em 2014, o que motivou o Ministério da Saúde a elaborar o Plano de Contingência Nacional para Febre do Chikungunya. Havia uma preocupação dos órgãos de saúde pública com a ocorrência de epidemias explosivas em todo o país. Em 2015, no Brasil, foram notificados 38.332 casos distribuídos em 696 municípios, com incidência de 18,7 por cem mil habitantes (BRASIL, 2015). Em 2016, até a SE 21, havia 122.762 casos notificados. A região Nordeste apresentou a maior taxa de incidência, com 96,8/100 mil (BRASIL, 2016a).

Devido ao caráter incapacitante e prolongado, a chikungunya pode produzir elevado impacto social e econômico e exigir grandes esforços para reorganização dos serviços de saúde para atender elevado número de indivíduos com problemas reumatológicos graves (MUSSO et al., 2015).

1.2 **O vetor *Aedes aegypti***

As principais espécies capazes de transmitir as arboviroses dengue, Zika chikungunya são o *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus*. Nas américas o *Aedes aegypti* é atualmente o único vetor com importância epidemiológica para transmissão dessas doenças (OPAS, 2014).

O mosquito *Aedes aegypti*, originário da África Subsariana e característico de habitat silvestre, se adaptou ao contexto doméstico e desenvolveu sua capacidade de procriação em ambientes artificiais, o que facilitou a sua dispersão por cidades, países e continentes através dos meios de transportes (TEIXEIRA et al.,1999). Zara et al. (2016) também destacam que os centros urbanos se tornaram locais que potencializam a procriação da espécie principalmente no intra e peridomicílio humano, onde encontram criadouros a céu aberto ou nas residências, e vasta fonte de alimentação.

O *Aedes aegypti* apresenta quatro estágios de vida: ovo, larva, pupa e adulto. Em seu ciclo reprodutivo, após a cópula, a fêmea, que a partir de então poderá produzir ovos férteis até o final de sua vida, necessitará de sangue de vertebrados, principalmente de humanos, para que ocorra a completa maturação dos ovos. Durante a ingestão de sangue, o mosquito pode adquirir ou transmitir o vírus. A fêmea deposita os ovos nas bordas dos recipientes próximos à superfície com água e a eclosão pode ocorrer em minutos ou até depois de muitos meses. Após a eclosão, o desenvolvimento da larva até a forma adulta pode levar cerca de 10 dias, em condições ambientais favoráveis (OLIVEIRA, 2015). Quando uma fêmea do *Aedes aegypti* é infectada durante o repasto, há um tempo necessário para que o vírus se replique em seu interior e ela se torne infectiva. Esse tempo, chamado de período de incubação extrínseco (PIE), para o vírus da dengue é de 8 a 12 dias (ARAÚJO & SCHATZMAYR, 2015), para o vírus zika é de 7 a 10 dias e para o vírus da chikungunya é estimado em 3 dias (VALLE, 2016).

A organização social do espaço geográfico nos centros urbanos, a densidade populacional, o modo de vida da população e a interação da população com o ambiente exercem grande influência na proliferação do *Aedes aegypti*. Os principais fatores que influenciam a distribuição do vetor são a dispersão e a sua densidade. A dispersão vetorial está relacionada como seu movimento, raio de vôo e meios de transportes. A densidade está relacionada com a taxa de reprodução, a longevidade, as condições

climáticas e de saneamento (COSTA E TEIXEIRA, 1999). Segundo Maciel-de-Freitas (2010), a densidade populacional do *Aedes aegypti* apresenta um forte aspecto de sazonalidade, com elevação no período chuvoso do verão. As altas temperaturas podem acelerar o desenvolvimento dos ovos e o aumento da população de adultos.

Com o objetivo de combater a febre amarela, o Brasil assim como outros países das Américas, implementaram políticas de erradicação do *Aedes aegypti* nas décadas de 1950 e 1960. Porém na década de 1970, o mosquito foi reintroduzido no país (TEIXEIRA et al.,1999). Zara et al. (2016) conduziram uma revisão sobre as estratégias de controle do *Aedes aegypti*, na qual relatam que em 2001 os órgãos governamentais substituíram a meta de erradicação do *Aedes aegypti*, por um plano de controle do vetor, priorizando áreas consideradas de maior risco e estabelecendo um conjunto de ações para serem desenvolvidas nos municípios. Entretanto, essas estratégias não têm sido efetivas para conter as epidemias da dengue ou evitar a introdução de outras arboviroses, transmitidas pelo mesmo vetor tais como Zika e chikungunya. Para os autores, a integração de diferentes estratégias compatíveis e eficazes tais como medidas sociais e inovações tecnológicas, como técnicas moleculares e introdução de novos agentes para controle biológico, podem reduzir a infestação do mosquito e as epidemias das doenças que eles transmitem.

1.3 **Processos de Difusão Espacial**

Difusão espacial é um processo dinâmico que envolve o espalhamento de algo ou dispersão de um local limitado para áreas geográficas maiores. A análise de difusão espacial tem sido aplicada em diferentes áreas do conhecimento tais como fenômenos culturais, econômicos, sociais e epidemiológicos (CLIFF et al., 1981). Difusão espacial também pode ser definida como um movimento de um fenômeno no espaço e no tempo. A difusão espacial de uma doença ocorre quando ela é transmitida para uma nova localidade (CROMLEY & MCLAFFERTY, 2012).

Cliff et al. (1981) classificaram os processos de difusão em dois tipos principais: difusão por expansão e por relocação. Na difusão por expansão, o fenômeno se espalha de um lugar para o outro enquanto permanece e, por vezes, até se intensifica no local de origem. Na difusão por relocação, o que se espalhou deixa de existir no lugar original. De acordo com essa classificação, a difusão por expansão pode ser subdividida em dois tipos: difusão por contágio e difusão hierárquica.

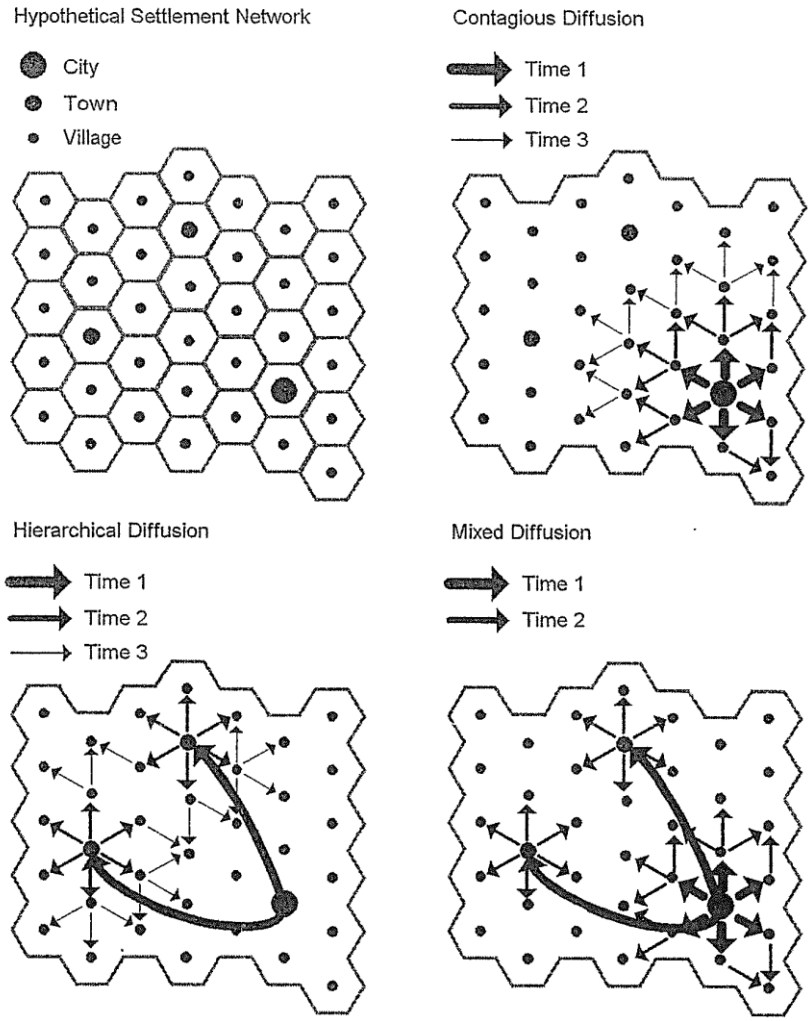
Na difusão por contágio, a expansão vai ocorrendo do ponto original para regiões mais distantes de forma centrífuga. No caso de uma doença infecciosa, esse processo depende de um contato direto ou mais próximo entre as pessoas. Na difusão hierárquica, o fenômeno salta para locais de hierarquia superior ou inferior (CLIFF et al.,1981). Dessa forma, uma doença pode saltar do centro de uma grande cidade, e aparecer em uma região administrativa menor.

Segundo Wallace (1994), o sentido dessa difusão depende da frequência das idas e vindas entre o epicentro e as regiões subordinadas e da densidade populacional dessas regiões. Uma vez estabelecido um epicentro secundário, a doença se espalha como no epicentro primário.

Há outras propostas de classificação dos processos de difusão espacial. Cohen e Tita (1999) propuseram dois principais processos de difusão. Na difusão por contágio, uma pessoa pode ser responsável por infectar muitas outras em uma grande área. Esse processo poderia ocorrer por expansão ou por relocação. O segundo tipo principal de difusão seria a difusão hierárquica. Além da difusão por contágio e hierárquica, Cromley e McLafferty (2012), acrescentam as categorias difusão por rede, que se refere à

disseminação de uma doença através de transportes ou redes de interação social e difusão mista, que envolve mais de um processo (Figura 2).

Figura 2 - Padrões de difusão espacial



Fonte: Cromley & Mclafferty, 2012, f. 239.

Saint-Julien (2007) também propôs dois tipos principais de difusão espacial. O primeiro é a difusão por expansão quando ocorre um espalhamento a partir da fonte de transmissão. No segundo tipo, ocorreria uma migração onde locais inicialmente alcançados pelo evento seriam abandonados. Ela destaca o efeito hierárquico, segundo o qual o fenômeno é transmitido através da organização hierárquica do espaço, e que as cidades teriam um importante papel por concentrarem grande massa de adotantes em potencial da inovação, podendo transmiti-la para outros grandes centros ou para centros em menores escalas. Ela menciona o papel do efeito da vizinhança, afirmando que a

probabilidade de contato geralmente diminui com a distância. Segundo a autora, esses efeitos podem estar atuando simultaneamente. Lee et al. (2014) sintetizam a classificação de Saint-Julien (2007), dividindo os processos em dois tipos: contagio/expansão e hierárquico/relocação, sendo este último, caracterizado pela presença dos saltos de uma região para outra.

Apesar da existência de várias nomenclaturas e subdivisões, existe similaridade entre a caracterização dos processos (Quadro 1). O entendimento das diferentes abordagens de classificação é importante para a interpretação dos resultados obtidos pelas técnicas propostas por cada autor. Neste estudo, será privilegiada a classificação proposta por Lee et al. (2014) acrescentando a categoria de difusão mista, indicada por vários autores.

Quadro 1 - Comparação de algumas propostas de classificação dos processos de difusão espacial de doenças

Cliff et al. (1981)	**Cohem e Tita (1999)**	**Cromley e Mclafferty (2012)**	**Lee et al. (2014)**
• Expansão *Contágio Hierárquica*	• Contágio *Expansão Relocação*	• Contágio	• Expansão/ Contágio
• Relocação	• Hierárquico	• Hierárquico	• Relocação/ Hierárquica
		• Rede	

Fonte: A autora, 2017.

Um dos pesquisadores que refletiram sobre as questões teóricas na área de difusão espacial, o geógrafo Torsten Hagerstrand, identificou padrões espaciais no estudo de difusão de inovações e propôs uma modelagem para esse processo. Para Hagerstrand, o número cumulativo de adotantes de uma inovação no espaço e no tempo, apresentaria uma curva em forma de S, chamada de curva logística. Nas fases iniciais a adoção da inovação é lenta, depois ela cresce mais rapidamente e, após saturação de susceptíveis, há pouca variação, e a curva permanece estável. Essas ondas de inovação,

dependem do contato entre portadores da inovação e susceptíveis, e por isso leva em conta o efeito de vizinhança (CLIFF et al., 1981). Posteriormente, Hagerstrand desenvolveu um modelo estocástico para simular como o processo de difusão espacial se expressa no tempo. Ele utilizou o campo médio de informação - CMI que consiste em uma matriz nas quais as células, que representam as localidades, contêm a probabilidade de difusão em função da distância. Essa proposta de Hagerstrand serviu de base para outros modelos, mas também recebeu críticas por sua limitação em não considerar o complexo efeito das redes de interações entre as pessoas e a mobilidade (LEE et al*.,* 2014).

Os modelos quantitativos de difusão espacial foram categorizados em estocásticos ou determinísticos. Os modelos estocásticos incluem componentes probabilísticos resultantes do caráter aleatório atribuído ao fenômeno. No modelo determinístico, se supõe que a difusão ocorre de acordo com elementos fixos. Todos esses modelos têm em comum a origem nos modelos de difusão linear simples com adição de componentes espaciais. Nas últimas duas décadas, têm crescido os esforços para incorporação da estatística espacial para melhor distinguir os processos de difusão (LEE et al*.*, 2014).

1.3.1 Técnicas para identificação dos processos de difusão espacial

Muitas técnicas têm sido utilizadas para identificação e caracterização dos processos de difusão espacial. Algumas delas identificam o processo de difusão através da inspeção de mapas sequenciais. Essas estratégias são consideradas úteis para análises exploratórias. Para Lee et al*.* (2014), abordagens mais simples, como a que analisa o processo de difusão através da tradicional e unidimensional curva em forma de S, não descrevem a complexidade dos processos de difusão espacial, sendo necessários métodos mais formais que permitam uma avaliação quantitativa mais eficiente.

1.3.1.1 Mapas sequencias

Os mapas sequenciais são mapas que representam determinado fenômeno em unidades temporais subsequentes. Os mapas sequenciais podem representar dados de área como taxas de incidências de doenças, ou dados de pontos, como distribuição ou densidade de casos e de localização de unidades assistenciais de saúde.

Cliff et al. (1981), utilizando dados de pontos, criaram mapas sequenciais de sarampo na Islândia para vários períodos epidêmicos. Com auxílio da análise desses mapas eles puderam identificar a mudança de padrões da difusão espacial. Nas primeiras epidemias, o padrão encontrado foi de difusão por contágio. Nas epidemias subsequentes, quando havia um maior desenvolvimento da área de transportes, facilitando a mobilidade das pessoas, o padrão de difusão encontrado foi do tipo hierárquico.

Essa abordagem permite comparar padrões geográficos ao longo do tempo e é muito utilizada em estudos de análise de difusão espacial, mas possui limitações relacionadas à aspectos subjetivos da avaliação que é feita através de inspeção visual (CROMLEY & MCLAFFERT, 2012).

Wallace (1994) construiu mapas para identificar mudanças nas taxas de incidências após a reemergência da tuberculose (TB) na cidade de Nova York. A autora mapeou os distritos que apresentaram os valores observados no quintil superior de incidência e aqueles com incidência acima da incidência cidade no ano de 1978 em três anos diferentes. Dessa forma a autora pode analisar o espalhamento das altas taxas de incidências de tuberculose e identificar o epicentro primário e os epicentros secundários. O padrão de difusão detectado foi interpretado como do tipo hierárquico misto.

1.3.1.2 Correlogramas espaciais

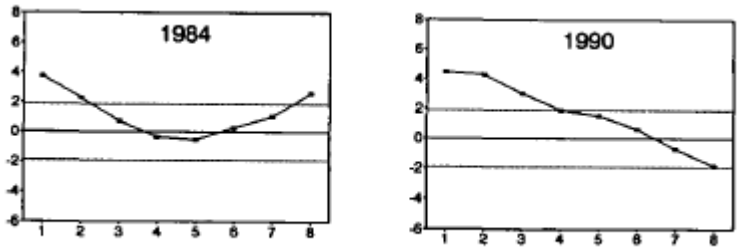
Lam, Fan & Liu (1996) aplicaram a técnica do correlograma espacial para avaliar os padrões de difusão da AIDS em quatro regiões dos Estados Unidos da América (Figura 5). Eles construíram correlogramas para as taxas de incidência anuais da doença entre 1982 e 1990. O correlograma é um gráfico que apresenta os coeficientes de autocorrelação espacial global no eixo vertical e os *lags* de vizinhança no eixo horizontal.

O coeficiente de autocorrelação global indica o grau de associação entre uma variável e sua localização. O coeficiente de autocorrelação espacial I de Moran tem sido muito usado em estudos de analise espacial. Esta estatística varia de -1 a +1, sendo que valores positivos indicam que áreas vizinhas são semelhantes em relação aos valores da variável em estudo. Valores negativos indicam autocorrelação negativa e o valor nulo indica independência espacial (GOODCHILD, 1986).

Segundo Lam, Fan & Liu (1996), o correlograma que apresenta um declínio suave indica que os coeficientes de autocorrelação globais estão decrescendo à medida que se amplia o *lag*, o que sugere um padrão de difusão por contágio (expansão). O correlograma na forma de "V", que apresenta o declínio dos coeficientes de autocorrelação até um certo *lag* e a partir de então a elevação desses coeficientes, sugere um padrão de difusão hierárquico. O correlograma irregular e ondulante indica um padrão misto (hierárquico-contágio). Lam, Fan & Liu (1996) encontraram um padrão de difusão hierárquico na Flórida, nos primeiros anos de estudo, como por exemplo, no ano de 1984, cujo correlograma apresentou coeficientes de autocorrelações fortes e positivos nos 2 primeiros *lags* de distância, decrescendo até o 5º *lag* de distância, e voltando a crescer entre o 6º e 8º *lag*. Nos anos seguintes, como por exemplo, em 1990, eles observaram uma mudança no padrão da dispersão da doença para contágio (Figura 3). Os autores concluíram que havia um processo hierárquico entre cidades nos primeiros anos de estudo e que a partir de 1988, predominou o processo de contágio (expansão) de cidades centrais para áreas rurais.

.

Figura 3 - Correlogramas espaciais da Flórida nos anos de 1984 e 1990



Nota: No eixo x, estão representados os *lags* espaciais e no eixo y, os valores de z para os coeficientes de autocorrelação correspondente à cada *lag.*

Fonte: Lam, Fan & Liu,1996, f.100 (adaptado).

Dias e Nobre (2001) estudaram os padrões de difusão espacial da AIDS em três estados brasileiros durante 10 anos agrupados em 3 períodos diferentes. Eles combinaram duas abordagens utilizando a técnica de mapas sequenciais para avaliação qualitativa e a construção de correlogramas espaciais para análise quantitativa.

Construíram correlogramas para toda a população e também para ambos os sexos em separado. Os autores puderam comparar o tipo de difusão da AIDS ao longo dos anos.

1.3.1.3 Análise da razão da distância do vizinho mais próximo - RDVMP

Lee et al. (2014), propuseram a análise da razão da distância do vizinho mais próximo e a estimação da curva de regressão para um conjunto de dados de pontos, para investigação da difusão espacial de um dado fenômeno. A razão do vizinho mais próximo (R) é calculada dividindo a média das distâncias entre os vizinhos mais próximos, num padrão de pontos, pela média teórica derivada das distâncias entre o mesmo número de pontos aleatoriamente distribuídos numa mesma área. O valor de R, quando nulo, indica a existência de aglomeração total de pontos, se for igual a 1, indica padrão aleatório de distribuição de pontos e valores próximo de 2,15 indicam um padrão de pontos regularmente distribuídos no espaço. Pode ser calculado um score z para cada R, para testar se o seu valor é significantemente diferente de um padrão espacial aleatório. O conjunto de R calculados são representados graficamente em função do tempo.

Lee et al. (2014) calcularam RDVMP e estimaram o melhor modelo de regressão para detectar e distinguir as principais características do processo de difusão espacial em três diferentes fenômenos de dispersão geográfica: casos de dengue em uma cidade de Taiwan, mudança de atividade agrícola, de cultivo de arroz para cogumelo e abertura de filiais de lojas departamento de duas grandes redes. O modelo que apresentou o melhor ajuste, definido pelo coeficiente de determinação (R^2), foi utilizado para identificar o processo de difusão espacial.

Os autores simularam 100 vezes fenômenos compatíveis com cada tipo de difusão: Contagio, expansão, hierárquico e relocação, e estimaram a melhor curva de regressão que se ajustava às razões dos vizinhos mais próximos em função de tempo, para cada simulação. O modelo de regressão da curva da função inversa foi o mais adequado para difusão por contágio e por expansão e o modelo cúbico foi o mais adequado para os padrões hierárquico e relocação (Quadro 2). Esses achados, serviram de referência para interpretação dos resultados e identificação do tipo de difusão para cada um dos conjuntos de dados empíricos do estudo.

Quadro 2 - Frequência da melhor curva de regressão encontrada para as simulações para cada tipo de difusão espacial

Curve	Contagious	Expansion	Hierarchical[a]	Relocation
Linear	0	0	0	0
Logarithmic	0	0	0	0
Inverse	77	75	10	12
Quadratic	0	0	0	1
Cubic	21	4	80	86
Compound	0	0	0	0
Power	0	0	0	0
S	2	21	0	1
Growth	0	0	0	0
Exponential	0	0	0	0
Logistic	0	0	2	0

Fonte: Lee et al.,2014, f.11.

1.3.1.4 Índice de autocorrelação espacial local (LISA) e mudanças nos níveis de dependência espacial ao longo do tempo

Cohen & Tita (1999) realizaram um estudo sobre homicídios no Estados Unidos, no qual propuseram o uso dos coeficientes de autocorrelação espacial locais (LISA) para identificação do processo de difusão espacial. Os valores do LISA para cada par (L-V), formado por um determinado local (L) e pelo seu conjunto de vizinhos (V), definidos pela matriz de vizinhança, representa o nível de associação espacial local. Cada par (L-V) é avaliado segundo a ocorrência de autocorrelação local. Dessa forma, podem ser identificados 4 tipos de pares:

Alto–Alto (HH – *HIGH-HIGH*) – Indica associação espacial positiva. Área na qual o valor de um atributo é semelhante à média dos valores de seus vizinhos, ambos acima da média para o conjunto.

Alto–Baixo (HL – *HIGH-LOW*) – Local com valor do atributo acima da média e vizinhos com valores abaixo da média.

Baixo–Alto (*LH – LOW–HIGH*) – Local com valor do atributo abaixo da média com vizinhos com valor do atributo acima da média.

Baixo-Baixo (LL – *LOW-LOW*) – Associação espacial positiva. Local e vizinhos com valores do atributo abaixo da média. (MARQUES et al., 2010)

Cohen & Tita (1999) propuseram que a análise das mudanças que ocorrem ao longo do tempo nos níveis de associação espacial entre as unidades espaciais e seus vizinhos indicam o padrão de difusão espacial que está ocorrendo (Quadro 3).

Quadro 3 - Dinâmica das mudanças das taxas de incidência em sucessivas observações

Variação	Tipo de difusão	Mudanças nos pares (local-vizinhos)	
		Local é o resultado (destino) da difusão	Local é a fonte da difusão
De níveis baixos para altos	Contágio	LL para HH	HL para HH
		LH para HL	HL para LH
	Hierárquico	LL para HL	LL para LH
		LL para HH	LL para HH
De níveis altos para baixo	Contágio	HL para LL	LH para LL
		HL para LH	LH para HL
	Hierárquico	HH para LH	HH para HL
		HH para LL	HH para LL

Fonte: Cohen & Tita, 1999, f.472 (adaptado).

Existem várias possibilidades de mudanças nos pares constituídos pelos locais e seus vizinhos, conforme exposto no Quadro 3. Se por exemplo, durante uma epidemia ocorre a predominância de mudanças do tipo “LL para HH”, pode-se suspeitar que está havendo um processo de expansão entre vizinhos, o que indica a ocorrência de difusão por expansão ou contágio. Nesta situação hipotética, o local é considerado o destino da difusão. Se em outro contexto, predominam mudanças do tipo “HL para LH”, pode significar que o fenômeno saltou de um local para outro, indicando um processo de difusão do tipo hierárquico.

1.3.3 Interação espaço-temporal

Uma outra abordagem que pode fornecer de forma complementar, elementos para o entendimento do processo de difusão espacial de doenças, é a avaliação da interação espaço-temporal, situação na qual eventos que estão próximos no tempo também estão próximos no espaço. Para o uso desse método, os casos são agrupados em pares que são classificados de acordo com a medida do tempo e da distância entre eles. São avaliados todos os pares possíveis, que equivale à n(n-1)/2 pares. Esses pares podem ser classificados como: pares próximos no tempo, pares próximos no espaço, pares

próximos no tempo e no espaço e pares distantes no tempo e no espaço. A contagem dos pares para cada tipo de classificação é disposta em uma tabela 2x2 (KNOX, 1964). O valor da célula correspondente à quantidade de pares próximos no tempo e no espaço pode pode ser comparado com o valor esperado para uma distribuição de Poisson sob hipótese nula de ausência de agregação espacial (KULLDORFF, 1999).

Quadro 4 Classificação dos pares conforme distância no tempo e no Nespaço

Quantidade de pares	Próximo no tempo $t_{ij}<t_0$	Distantes no tempo $t_{ij}\geq t_0$
Próximo no espaço $d_{ij}<d_0$	A	B
Distante no espaço $d_{ij}\geq d_0$	C	D

Fonte: Medronho & Werneck, 2009, f.507 (adaptado).

1.3.3 Estudos de difusão espacial de arboviroses no Brasil

Na literatura há estudos de difusão espacial para doenças e agravos de naturezas distintas, tais como violência, AIDS e leishmanioses em localidades brasileiras (SZWARCWALD, 1998; DIAS & NOBRE, 2001; DANTAS-TORRES & BRANDÃO-FILHO, 2006). No campo das arboviroses, através de uma revisão bibliográfica, foram localizados alguns estudos sobre a difusão da dengue.

Barreto et al. (2008) avaliaram as características da difusão espacial da dengue na primeira epidemia em Salvador, no Estado da Bahia, em 1995. Os autores construíram mapas sequenciais de Kernel que revelaram a concentração de casos na região oeste da cidade com maior densidade populacional e predominância de habitações horizontais. O padrão de difusão encontrado foi por contágio. Foi possível identificar o epicentro da epidemia do qual emanaram as ondas centrífugas da doença.

Melo et al. (2010) buscaram caracterizar o processo de difusão da dengue no Estado da Bahia, entre os anos de 1994 a 2000 por meio da técnica de superfície de tendência e da construção de mapas sequenciais de caso. Apesar da ênfase não ter sido a classificação do padrão de difusão, as autoras puderam caracterizar o processo de difusão como intermitente no tempo e no espaço, avaliaram a velocidade e intensidade do

processo de difusão e também identificaram ao longo do tempo as áreas onde a transmissão da doença era mais intensa.

Morato (2015) analisou o processo de difusão dos casos registrados de dengue em um município da Bahia. Ela utilizou a estimativa de densidade de Kernel e produziu mapas sequenciais para estudar a evolução dos padrões espaciais e a estatística de Knox para avaliar a interação espaço-temporal. O estudo permitiu localizar três epicentros de onde a dengue se difundia pelo município. A autora identificou um processo misto de difusão, diferente do detectado na capital do estado na década anterior.

Catão (2016) pesquisou o processo de difusão espacial da dengue no estado de São Paulo através da investigação de suas barreiras geográficas. A ênfase foi nos municípios com características semelhantes onde, devido a algum fato geográfico, não foi registrado nenhum caso autóctone ou detectou-se apenas baixas taxas e, portanto, foram classificados como áreas de barreiras geográficas.

A recente emergência da Zika e chikungunya no país, representa um grande desafio para os órgãos responsáveis pela saúde pública, que desde a década de 1980 têm empenhado esforços para a tentativa do controle da dengue. Nesse contexto, o uso de técnicas qualitativas e quantitativas em conjunto podem contribuir para o entendimento da dinâmica das três arboviroses no contexto de uma tríplice epidemia.

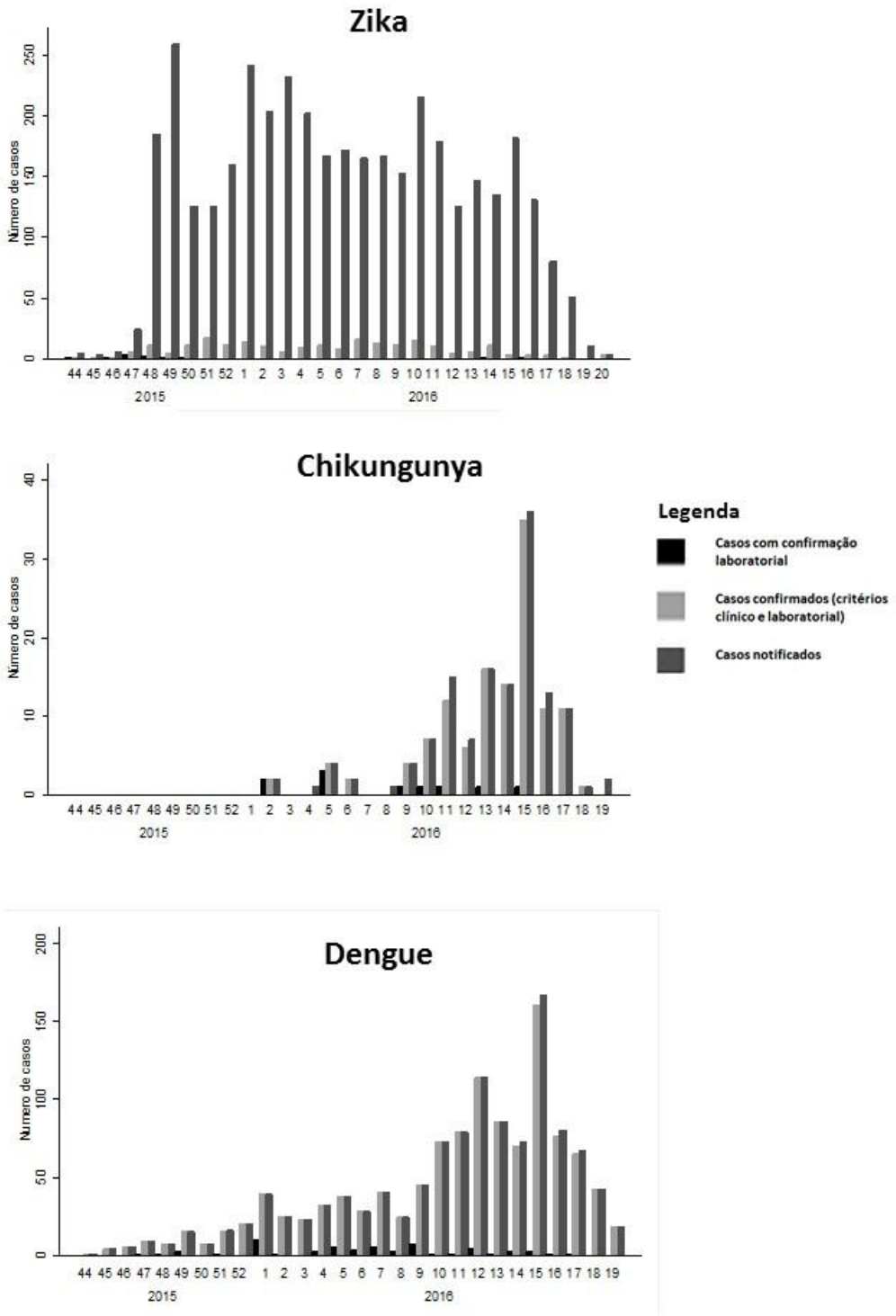
1.4 **Zika, dengue, e chikungunya no município de Duque de Caxias**

O município de Duque de Caxias está localizado na região metropolitana do estado. Situa-se às margens da Bahia de Guanabara e faz limite com os municípios de Miguel Pereira, Petrópolis, Magé, Rio de Janeiro, São João de Meriti e Nova Iguaçu. Se liga aos demais municípios por rodovias importantes como Presidente Dutra, Washington Luís, Avenida Brasil e Linha Vermelha e também pela malha de transporte ferroviário.

Devido ao modo de transmissão, a presença do vetor é um dos fatores essenciais para disseminação das arboviroses. Segundo o Levantamento de Índice Rápido para o *Aedes aegypti* (LIRAa) do estado do Rio de Janeiro, realizado no início da SE 43 de 2015, em termos de infestação do vetor, o município apresentou áreas classificadas segundo o nível de infestação: 3 áreas em situação de risco (acima 3,99%), 38 em alerta (entre 1 a 3,99%) e 13 áreas satisfatórias (abaixo de 1%). Todos os municípios que fazem limite com Duque de Caxias também apresentaram ao menos uma área sob risco e todos os municípios da região metropolitana apresentaram a presença simultânea do *Aedes albopictus* e do *Aedes aegypti* (SES/RJ, 2015).

As curvas epidêmicas de dengue, Zika e chikungunya no município de Duque de Caxias (Figura 4) permitiram uma impressão inicial da dinâmica dessas doenças. A proporção de confirmação dos casos da Zika foi muito menor do que das outras doenças. Isso se deve ao fato de que o período de estudo coincidiu com a fase inicial de estruturação da vigilância da doença no SUS, quando a prioridade era voltada para as gestantes e a possibilidade de confirmação laboratorial era muito limitada. No início da epidemia foram poucos os casos notificados até a SE 47/2015, quando pôde ser observado um crescimento no número de casos até o pico epidêmico na SE 49/2015. O número de casos manteve-se elevado até a SE 17/2016, quando a epidemia começou a perder força. A epidemia de chikungunya apresentou intensidade e duração inferiores quando comparada às duas outras arboviroses, com ausência de notificações no final de 2015 e um número pequeno de casos até a SE 09/2016, quando pôde ser notado uma tendência de crescimento. Apesar da diferença de magnitude, as curvas epidêmicas da dengue e da chikungunya apresentam em comum o período em que ocorreu o ápice da curva epidêmica, na SE 15/2016.

Figura 4 - Curvas epidêmicas dos casos de Dengue, Chikungunya e Zika no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2016.

Nota: Casos notificados correspondem aos casos confirmados, não encerrados e inconclusivos.

A tabela 1 mostra as taxas de incidência acumulada das três arboviroses no município de Duque de Caxias calculadas por bairro com todas as notificações registradas entre a SE 44 de 2015 e a SE 20 de 2016. As cinco maiores taxas de incidência para as três doenças estão destacadas em negrito.

Das três arboviroses, a febre do Zika vírus apresentou as maiores taxas de incidência e a chikungunya, as menores. O bairro Vila São Luiz, localizado no primeiro distrito, apresentou elevadas taxas de incidência para as três doenças. As cinco maiores incidências para dengue ocorreram nos bairros: Vila São Luiz, Centenário, Centro e 25 de agosto, todos do 1º distrito e Meio da Serra, 3º Distrito. Para chikungunya os bairros foram Vila São Luiz, Centenário, Vinte e Cinco de Agosto e Doutor Laureano do 1º Distrito e Santa Cruz da Serra do 3º distrito. Os cinco bairros com maiores incidências para Zika estão localizados em todos os quatro distritos: Capivari e Xerém do 4º, Santo Antônio, do 3º e Cidade dos meninos do 2º distrito e Vila São Luiz do 1º distrito. Observa-se semelhança entre dengue e Chikungunya, desta vez devido à de altas taxas de incidência em bairros do primeiro distrito em contraste com a febre do Zika vírus, com altas incidências dispersas em bairros de todos os distritos (Tabela 1).

A análise das curvas epidêmicas e das taxas de incidência para as três arboviroses, reforçam a relevância da tríplice epidemia no município de Duque de Caxias. Nesse contexto, a investigação da dinâmica espaço-temporal das arbovirose pode contribuir para ampliar o conhecimento para o enfrentamento das mesmas.

Tabela 1 - Taxas de incidência de dengue, Zika e chikungunya (por cem mil habitantes) por bairros no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 até 20/2016

Bairro	Arboviroses		
	Dengue	Chikungunya	Zika
Parque Duque	372	41	695
Vinte e Cinco de Agosto	**625**	**65**	612
Centro	**673**	7	701
Bar dos Cavalheiros	258	13	307
Periquitos	144	0	144
Centenário	**644**	**42**	795
Olavo Bilac	491	32	845
Gramacho	396	24	1176
Doutor Laureano	497	**109**	818
Vila São Luís	**1325**	**169**	**1658**
Parque Sarapuí	272	0	454
Vila São José	296	36	847
Parque Fluminense	231	21	1030
São Bento	150	25	1108
Pilar	115	11	998
Campos Elíseos	84	9	478
Figueira	156	22	845
Jardim Primavera	145	4	1142
Cângulo	14	0	647
Saracuruna	75	32	1241
Chácaras Arcampo	247	0	534
Parque Eldorado	90	0	969
Santa Cruz da Serra	272	**50**	916
Imbariê	59	5	86
Parada Morabi	125	0	415
Jardim Anhangá	100	0	114
Cidade Parque Paulista	115	5	175
Barro Branco	47	0	105
Santa Lúcia	99	11	77
Parada Angélica	64	0	51
Taquara	45	15	90
Santo Antônio	321	16	**1828**
Meio da Serra	**784**	0	157
Cidade dos Meninos	0	0	**1396**
Chácaras Rio-Petrópolis	78	0	144
Amapá	0	0	989
Capivari	616	0	**4433**
Lamarão	0	0	0
Mantiqueira	156	0	1074
Xerém	393	33	**3047**

Fonte: A autora, 2017.

2 JUSTIFICATIVA

Frente à relevância da Zika, dengue, e chikungunya, os órgãos responsáveis pela Saúde Pública e a comunidade científica internacional tem investido na produção de conhecimento sobre vários aspectos destas doenças. Alguns estudos abordaram a difusão espacial da dengue, entretanto, existem lacunas no conhecimento da difusão da febre do Zika vírus e da febre do chikungunya em vários cenários, inclusive na existência simultânea das epidemias das três arboviroses.

O presente estudo pretende investigar a difusão espacial da dengue, da Zika e da chikungunya no município de Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro no contexto de uma tríplice epidemia das arboviroses no mesmo território, registrada pela primeira vez nos anos de 2015 e 2016 no estado do Rio de Janeiro. Esse estudo faz parte do projeto: *Difusão espacial da Febre Zika em municípios brasileiros durante a epidemia de 2016: A sua dispersão no território urbano foi semelhante à da dengue e da chikungunya*? (BRAGA et al., 2016) que tem por objetivo comparar os processos de difusão espacial dessa doença em cidades de todas as regiões do Brasil.

O conhecimento proveniente do estudo do padrão de difusão de doenças, incluindo o tipo de difusão, e a identificação de epicentros de dispersão dos casos, pode contribuir para gerar hipóteses sobre fatores associados à maior incidência das doenças em determinadas localidades e fornecer subsídios par planejamento de ações de prevenção e controle dessas epidemias.

3 **OBJETIVOS**

3.1 **Objetivo geral**

Caracterizar e analisar o padrão de difusão espacial da febre do Zika vírus, da febre do chikungunya e da dengue durante ocorrência simultânea das 3 arboviroses no período epidêmico de 2015 a 2016 no município de Duque de Caxias.

3.2 **Objetivos específicos**

1. Identificar e caracterizar o processo de difusão espacial dos casos notificados de três arboviroses no município de Duque de Caxias: Zika, dengue e chikungunya.
2. Comparar processo de difusão espacial da febre da Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias.

4 **MÉTODOS**

4.1 **Desenho e período de estudo**

O presente trabalho consiste em um estudo epidemiológico do tipo seccional para dados de pontos e um do tipo ecológico para dados de área. O período de estudo foi entre a SE 44 de 2015 e SE 20 de 2016.

4.2 **Área de estudo**

A área de estudo compreende o município de Duque de Caxias (Figura 5), que está localizado na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil. Segundo o IBGE, a população estimada para 2015 é de 882.729 habitantes (IBGE, 2016). O município é dividido em 4 distritos e possui administrativamente 40 bairros. Os 1º e 2º distritos são mais urbanizados, o 3º distrito é caracterizado por uma transição entre rural e urbano e o 4º distrito é predominantemente rural (DUARTE-CUNHA et al., 2016). Além dos bairros, há duas localidades, denominadas “área rural” que na malha cartográfica são unidades distintas, porém, nos dados populacionais, são consideradas como uma única unidade. Optou-se então pela mesclagem e repetição dos valores referentes às duas unidades que passaram a ser tratadas, nesse estudo, como dois bairros separados.

Bairros de Duque de Caxias por distrito (DUQUE DE CAXIAS, 2012):

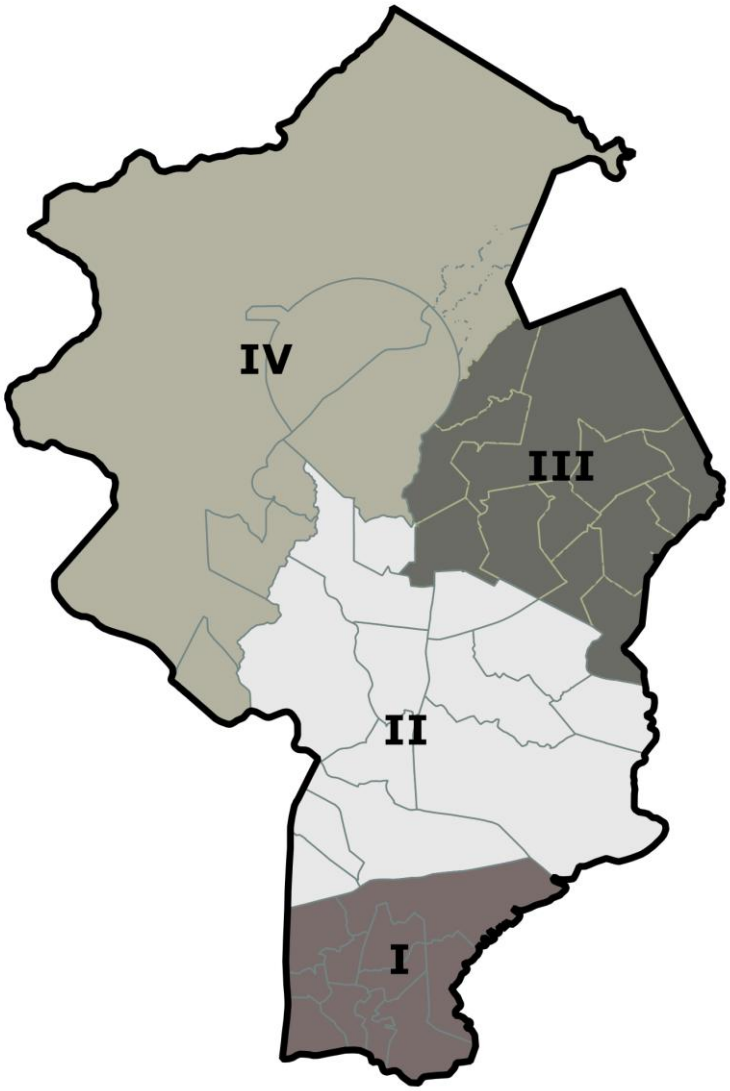
1º DISTRITO: Vinte e cinco de Agosto, Parque Duque, Periquitos, Vila São Luiz, Gramacho, Sarapuí, Centenário, Centro, Dr. Laureano, Olavo Bilac e Bar dos Cavaleiros.

2º DISTRITO: Jardim Primavera, Saracuruna, Vila São José, Parque Fluminense, Campos Elíseos, Cangulo, Cidade dos Meninos, Figueira, Chácaras Rio-Petrópolis, Chácara Arcampo, São Bento e Pilar.

3º DISTRITO: Santa Lúcia, Santa Cruz da Serra, Imbariê, Parada Angélica, Jardim Anhangá, Santa Cruz, Parada Morabi, Taquara, Parque Paulista, Meio da Serra, Alto da Serra, Santo Antônio da Serra e Eldorado.

4º DISTRITO: Xerém, Parque Capivari, Mantiquira, Jardim Olimpo, Lamarão e Amapá.

Figura 5 - Mapa município de Duque de Caxias



Distritos:

I – Centro
II – Imbariê
III – Campos dos Elíseos
IV - Xerém

0 10 Km

Fonte: A autora, 2017.

4.3 **Fonte de dados**

Os dados secundários foram obtidos das seguintes fontes:

1. Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) fornecidos pela Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro (SES/RJ)
2. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para obtenção dos dados populacionais e malhas cartográficas digitais

A portaria 204 de fevereiro de 2016 do Ministério da Saúde tornou a notificação da febre do Zika vírus obrigatória e universal e manteve a dengue e a chikungunya na lista de notificação obrigatória (BRASIL, 2016b).

4.4 **Coleta e processamento dos dados**

Foram obtidos todos registros dos casos notificados das três arboviroses no período de estudo. Foram incluídos no estudo todos os casos notificados segundo as definições de caso adotadas pelo Ministério da Saúde, que segue as recomendações da Organização Pan-Americana da Saúde:

Febre do Zika Vírus: Pacientes que apresentem exantema maculopapular pruriginoso acompanhado de dois ou mais dos seguintes sinais e sintomas: febre, hiperemia conjuntival sem secreção e prurido, poliartralgia ou edema periarticular.

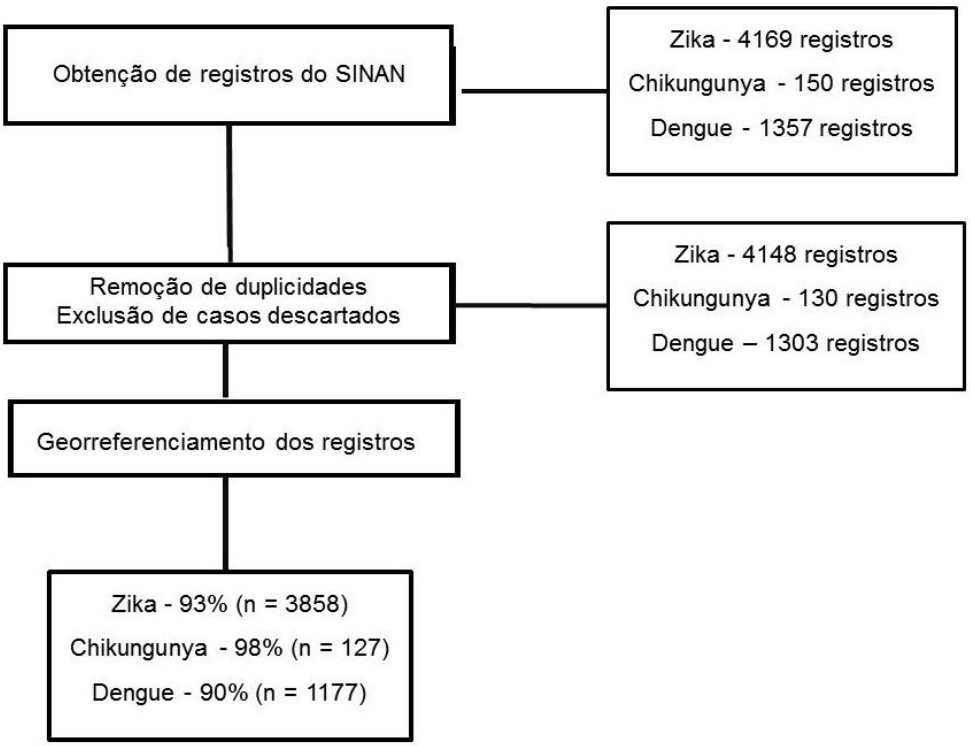
Febre do Chikungunya: Pacientes que apresentam febre de início súbito e artralgia ou artrite intensa com início agudo, não explicado por outras condições, que resida ou tenha viajado para áreas endêmicas ou epidêmicas até 14 dias antes do início dos sintomas, ou que tenha vínculo epidemiológico com um caso importado confirmado.

Dengue: Pessoa que viva ou tenha viajado nos últimos 14 dias para área onde esteja ocorrendo transmissão de dengue ou tenha a presença de *Aedes aegypti*, que apresenta febre, usualmente entre 2 e 7 dias, e apresente duas ou mais das seguintes manifestações: náusea, vômitos, exantema, mialgias, artralgias, cefaleia, dor retroorbital, petéquias ou prova do laço positiva e leucopenia.

Foram excluídos os registros em duplicidade e aqueles classificados como casos descartados.

Após o trabalho de qualificação dos registros, todos os endereços de residência dos casos notificados foram georreferenciados. Esse procedimento foi realizado por meio de dois programas: QGIS, versão 2.18.2 (QGIS Equipe de desenvolvimento, 2016), com a ferramenta *Geocode CSV with Google / OpenStreetMap*, do complemento MMQGIS (MINN, 2016) e Microsoft Excel 97-2003 com a planilha *excel geocoding tool* (RICE, 2014), que utiliza a base do Bing Maps (MICROSOFT, 2016).

Figura 6 - Processamento dos dados das notificações das arboviroses Zika, dengue e chikungunya, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

Devido à indisponibilidade de informação sobre o local provável de infecção, optou-se pelo uso do endereço de residência, estratégia utilizada por muitos autores em estudos sobre a difusão espacial da dengue, como Florisneide (2008) e Morato (2015), assumindo que a transmissão ocorre principalmente no domicílio e peridomicílio em locais de onde há elevado número de casos (KAN et al., 2008).

4.5 **Análise dos dados espaciais**

A avaliação dos processos de difusão espacial das três arboviroses no município de Duque de Caxias utilizou técnicas para dados de pontos e para dados de área.

4.5.1 Técnicas usadas para dados de pontos

4.5.1.1 Mapas sequenciais de Kernel

O estimador de densidade de Kernel é uma técnica de suavização que estima a densidade do evento por unidade de área e permite identificação de áreas quentes no mapa. *Esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse* (DRUCK et al., 2004).

A estimativa de Kernel (λ_τ) para a média dos valores na posição s é calculada através da fórmula:

$$\lambda_\tau(\mu) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^{n} k\,(\frac{d(\mu_i, \mu)}{\tau}), \mathrm{d}(\mu_i, \mu) \leq \tau$$

Onde μ – indica o centro da área, K é a função de ponderação Kernel, μ_i é o local do ponto, τ é o raio de influência (largura da banda), d é a distância entre a posição e a *iésima* amostra (DRUK et al., 2004).

Foram construídos uma sequência de mapas de Kernel por semana epidemiológica para as três arboviroses. A largura da banda escolhida foi 2500 m. Este procedimento foi realizado através do complemento “mapa de calor” do programa QGIS versão 2.18.2 (QGIS Equipe de desenvolvimento, 2016).

4.5.1.2 Estatística de Knox

Para avaliação da agregação espaço-temporal de cada arbovirose, foi calculada a estatística de Knox. Todos os possíveis pares formados pelos casos de cada arbovirose foram classificados de acordo com a proposta de Knox (1964). Dessa forma, foram considerados próximos no tempo os pares de casos que ocorreram na distância máxima de 07 dias e próximos no espaço os pares de casos que ocorreram na distância de até 200 metros. Para o teste de hipóteses, o número de pares observados classificados como próximos no tempo e no espaço foi considerado uma variável aleatória que segue a distribuição de Poisson e foi comparado com número esperado sob a hipótese nula de não agregação (KNOX, 1964). Este procedimento foi realizado por meio do programa CrimeStat (LEVINE, 2010).

4.5.1.3 Análise da razão da distância do vizinho mais próximo

Foram calculadas as razões dos vizinhos mais próximos (RDVMP) com a totalidade de pontos acumulados a cada data de primeiros sintomas. A RDVMP é dada pela razão entre a média das distâncias observadas entre os vizinhos mais próximos pela média das distâncias esperadas, para um mesmo número de pontos em situação de aleatoriedade (LEE & WONG, 2001). Esse procedimento foi realizado através do programa QGIS 2.18.2 (QGIS Equipe de desenvolvimento, 2016).

Estimou-se a curva de regressão para as variáveis RDVMP e tempo para diferentes modelos não lineares pelo método dos mínimos quadrados. Foram testados os modelos sugeridos por Lee et al. (2014): *linear, logarithmic, inverse, quadratic, cubic, power, compound, S-curve, logistic, growth e exponential.* A curva com melhor ajuste, definida pelo maior coeficiente de determinação (R^2), foi utilizada para identificação do processo de difusão espacial. A curva da função inversa sugere difusão por contágio/expansão e o modelo cúbico sugere difusão hierárquico ou relocação (LEE et al., 2014). Esse procedimento foi realizado por meio do comando “curvefit” (WEI, 2010) do programa Stata/SE 13.0 (STATACORP, 2013).

4.5.2 Técnicas usadas para dados de área

4.5.2.1 Mapas sequenciais temáticos

Foram construídos mapas sequenciais temáticos para as taxas de incidência bissemanais por bairros para Zika, dengue e chikungunya. Para realização desse procedimento foi utilizado o programa QGIS versão 2.18.2 (QGIS Equipe de desenvolvimento, 2016).

4.5.2.2 Correlogramas espaciais

Foram construídos correlogramas espaciais utilizando os coeficientes autocorrelação global I de Moran a partir de matriz de vizinhança definida por distância para as taxas de incidência acumulada no período de estudo para as três arboviroses. Os correlogramas que apresentam suave declínio indicam processo de contagio/expansão. Correlogramas em forma de “V” indicam processo hierárquico e correlogramas irregulares e ondulantes indicam processo de difusão mista (Lam, Fan & Liu, 1996). Esse procedimento foi realizado através da função “sp.correlogram” do pacote “spdep” (BIVAND et al., 2017) do programa R, versão 3.2.4, com o auxílio do complemento “Processing” que permite a execução de scripts do R no QGIS.

4.5.2.3 *Modificações da autocorrelação espacial local pelos indicadores LISA*

A partir das taxas de incidência bissemanais foram gerados mapas de *clusteres* do município de Duque de Caxias para cada arbovirose, e identificados os padrões de associação espacial significativos por bairro para cada unidade temporal utilizando o programa GeoDa, versão 1.18.14 (ANCELIN, 2016). Foi feito um consolidado com a frequência das mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial dos pares (local e vizinhos) e então, os padrões de difusão espacial foram definidos de acordo com classificação proposta por Cohem & Tita (1999) com o uso do programa Stata 13.0/SE (STATACORP, 2013).

4.6 **Aspectos éticos**

Foram tomadas as medidas necessárias para preservação dos dados sigilosos. Não serão divulgadas informações que permitam identificação dos pacientes. O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Medicina Social da Universidade do Estado do Rio de janeiro, e autorizado com o CAAE de n.º 61192016.4.0000.5260

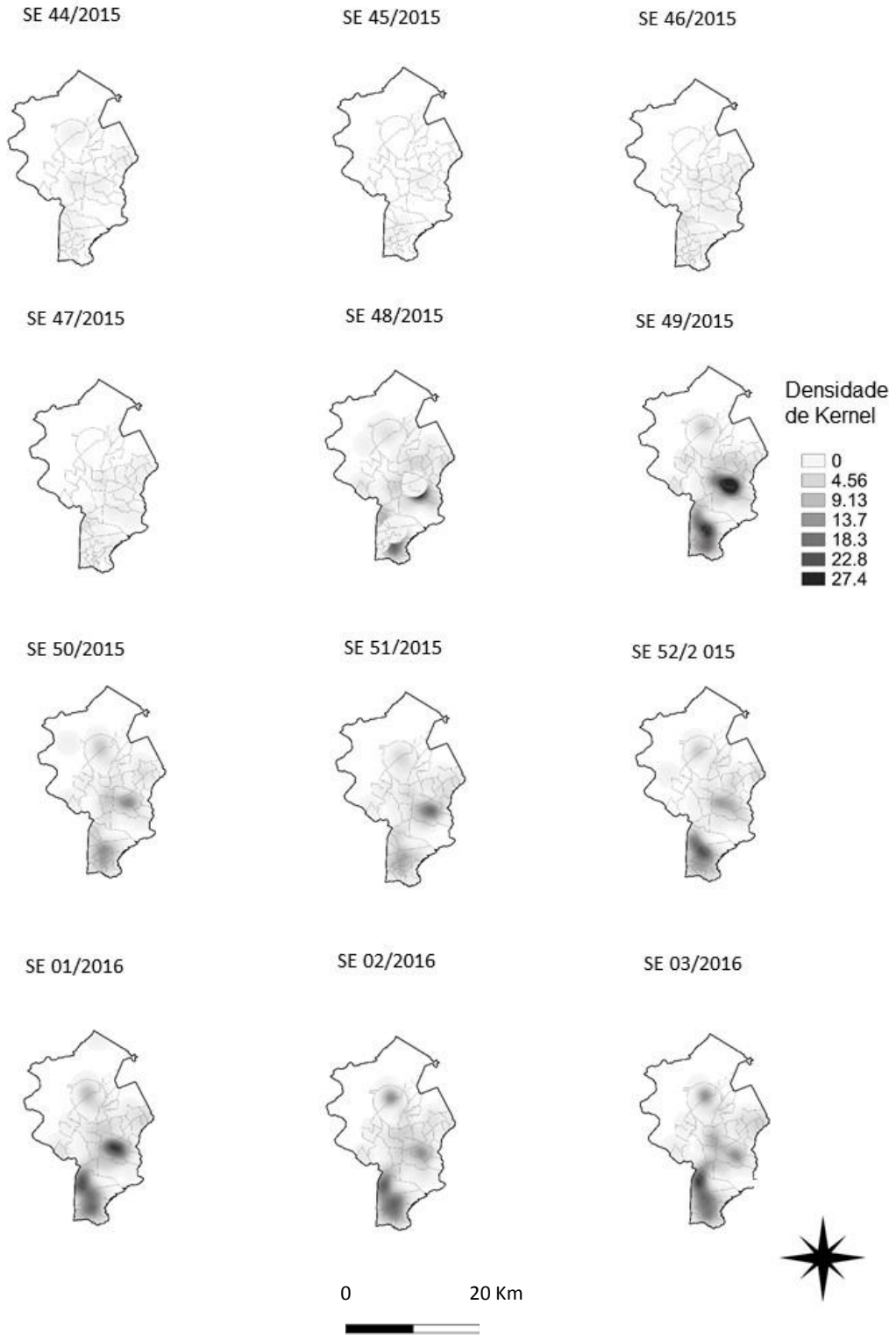
Não há conflito de interesses neste estudo.

5 **RESULTADOS**

5.1 Sobre a difusão da febre do Zika Vírus

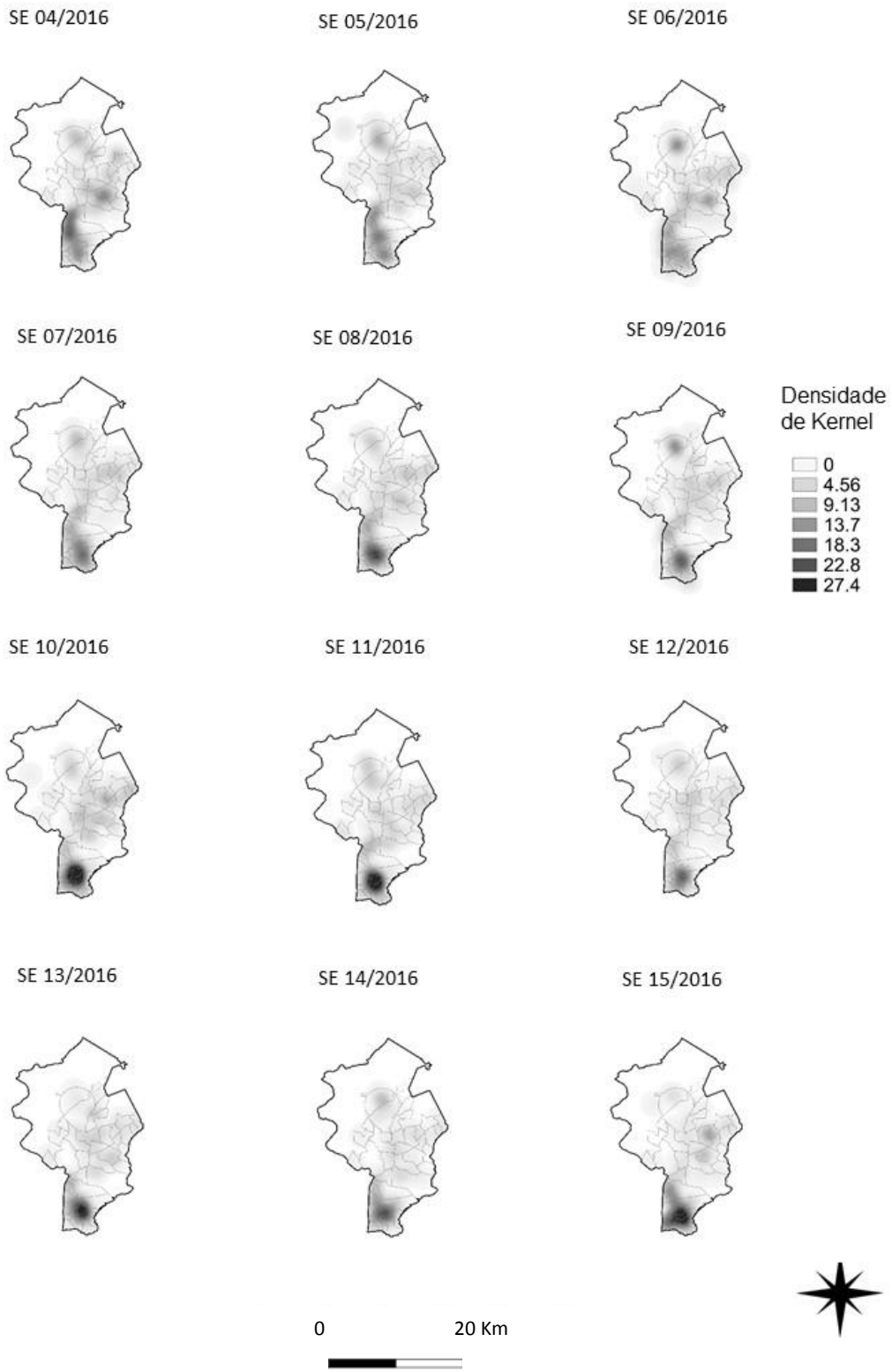
A primeira estratégia usada para caracterização dos processos de difusão espacial das arboviroses utilizou dados de pontos, que correspondem às localizações dos endereços dos casos das arboviroses. A análise dos mapas sequenciais de Kernel (Figuras 07 a 09) indicou a existência de duas localidades com maior densidade de casos na fase inicial da epidemia da febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias: uma ao sul do município, em bairros do 1º distrito e outra ao leste, no Bairro Saracuruna e proximidades, no 2º distrito. A densidade de casos se intensificou em bairros contíguos a essas duas áreas até que atingiu o município em quase sua totalidade, no pico da epidemia. Essa forma de espalhamento sugere que a difusão se deu por expansão.

Figura 7 - Mapas da densidade de Kernel para os casos de febre do Zika vírus em Duque de Caxias, SE 44/2015 a 03/2016



Fonte: A autora, 2017

Figura 8 - Mapas da densidade de Kernel para os casos de febre do Zika vírus em Duque de Caxias, SE 04/2016 a 15/2016



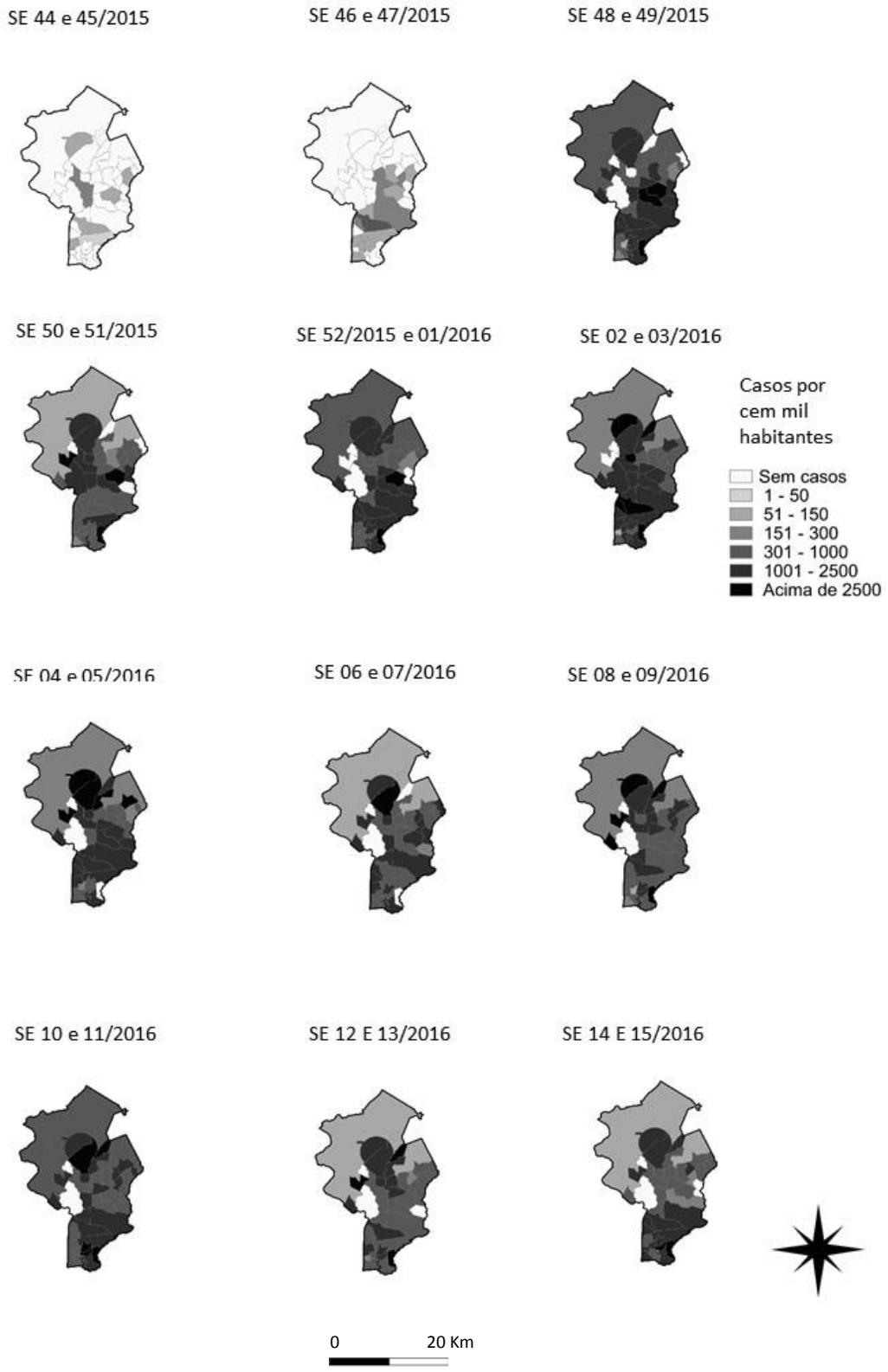
Fonte: A autora, 2017.

Figura 9 - Mapas da densidade de Kernel para os casos de febre do Zika vírus em Duque de Caxias, SE 16/2016 a 20/2016

Fonte: A autora, 2017.

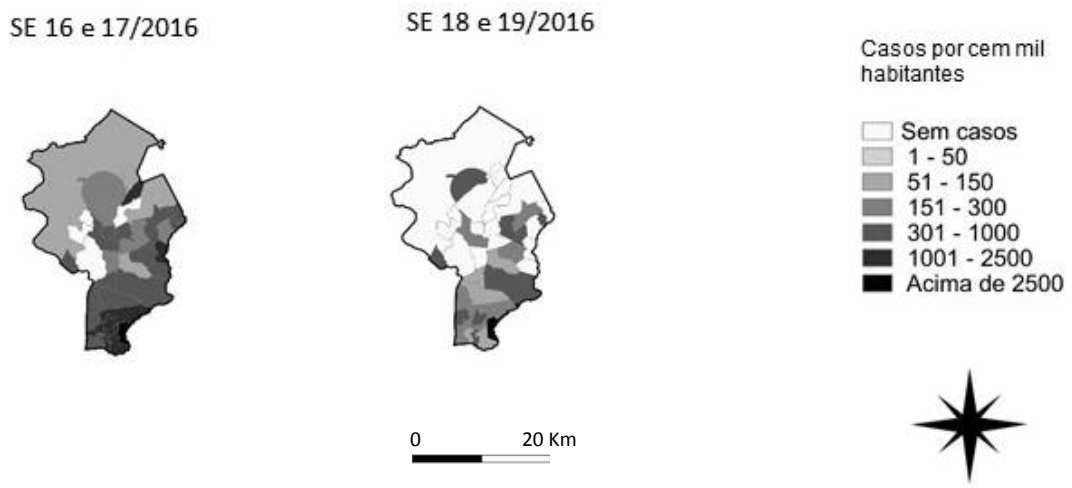
Mediante a utilização de mapas sequenciais para as taxas de incidências da febre do Zika vírus, foi possível localizar bairros com baixas incidências em diferentes regiões do município na fase inicial da epidemia (Figura 10 e 11). No pico epidêmico, a doença se espalhou ao redor desses bairros onde ela estava presente na primeira fase. Nessa fase, as incidências mais elevadas foram encontradas tanto nos bairros do 1º distrito quanto em Saracuruna e nos seus bairros adjacentes no 2º distrito e em Xerém e Mantiqueira no 4º distrito. A inspeção visual dos mapas temáticos também sugeriu um processo de difusão espacial da Zika por expansão.

Figura 10 - Mapas temáticos das taxas de incidência da febre do Zika vírus por bairros no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 15/2016



Fonte: A autora, 2017.

Figura 11 - Taxas de incidência da febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias, SE 16 a 19/2016



Fonte: A autora, 2017.

A primeira abordagem quantitativa do presente estudo, utilizou dados de pontos e consistiu no método proposto por Knox (1964) e considerou próximos no tempo os pares de casos que ocorreram em períodos de tempo menores do que 07 dias e próximos no espaço, os pares que ocorreram em distâncias menores que 200 m. Foram observados um número de pares de casos de Zika próximos no tempo e no espaço acima do esperado (χ^2= 2,8; p< 0,001), (Tabela 2). A análise de estatística de Knox revelou a existência de agregação espaço-temporal para os casos da Zika no município de Duque de Caxias.

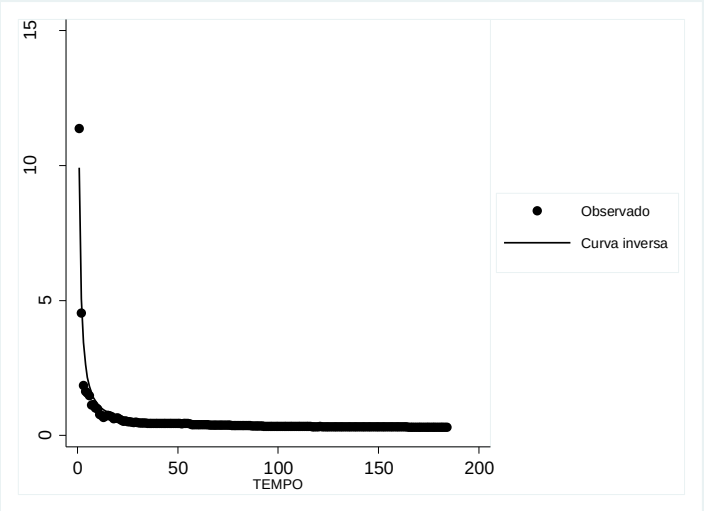
Tabela 2 - Número de pares observados e esperados (entre parênteses) de casos de febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias classificados de acordo com a distância no tempo e no espaço, SE 44/2015 a 20/2016

Quantidade de pares	Próximos no tempo $t_{ij}<t_0$	Distantes no tempo $t_{ij}>t_0$
Próximos no espaço $d_{ij}<d_0$	6695 (6592,5)	3251416 (3251518,0)
Distantes no espaço $d_{ij}>d_0$	8344 (8446,4)	4165985 (4165882,0)

Fonte: A autora, 2017.

Na segunda abordagem quantitativa, o conjunto de dados de pontos foram utilizados para a análise do modelo de regressão mais ajustado da razão da distância do vizinho mais próximo (RDVMP) em relação ao tempo. Foram calculadas 184 RDVMP para os pontos adicionados cumulativamente em cada data de primeiros sintomas dos casos de febre do Zika vírus. As curvas que obtiveram melhores ajustes para as RDVMP em função do tempo foram a curva da função inversa (Figura 12) e a curva em forma de S, ambas com coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,95. Esses resultados indicam que o processo de difusão espacial pode ser considerado como modelo de difusão por expansão.

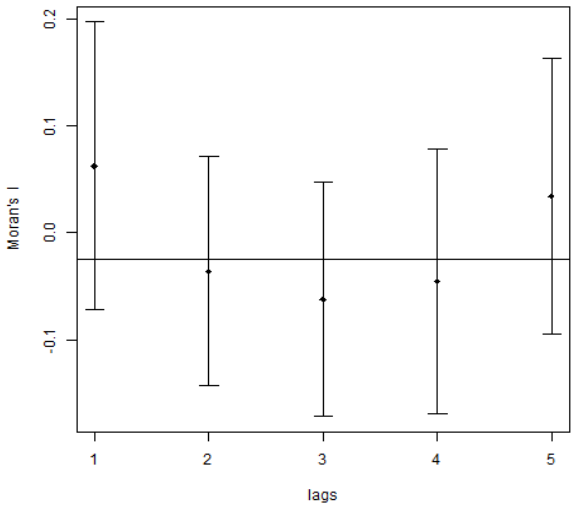
Figura 12 - Curva de regressão com melhor ajuste da relação entre as RDVMP da febre do Zika vírus e o tempo, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

A outra abordagem quantitativa para investigação do processo de difusão, utilizou dados de área. O correlograma espacial das autocorrelações de taxas de incidência de Zika apresentou uma discreta forma de “V”, o que sugere que o processo de difusão possa ter sido do tipo hierárquico (Lam, Fan & Liu, 1996). Entretanto, os coeficientes de Moran estimados indicam fraca associação e não apresentam significância estatística (Figura 13) em nível de 5%, ou seja, seus intervalos de confiança incluem o valor nulo.

Figura 13 - Correlograma espacial a febre do Zika vírus no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

Nota: O eixo x representa os *lags* espaciais de distância e o eixo y os valores dos coeficientes de autocorrelação espacial I de Moran global, com seus respectivos intervalos de confiança (α=0.05).

Como sugerido por Cohem e Tita (1999), a terceira abordagem quantitativa utilizou dados de área e consistiu na análise das mudanças nos níveis dos índices dos coeficientes de autocorrelação locais nos bairros do município de Duque de Caxias. Seus resultados indicaram que 61% das mudanças de autocorrelação local dos bairros eram compatíveis com o modelo de difusão por expansão. Apenas 39% das mudanças detectadas indicavam padrão de difusão hierárquico ou relocação (Tabela 4).

Tabela 3 - Mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial e processos de difusão espacial da febre do Zika vírus correspondentes no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016

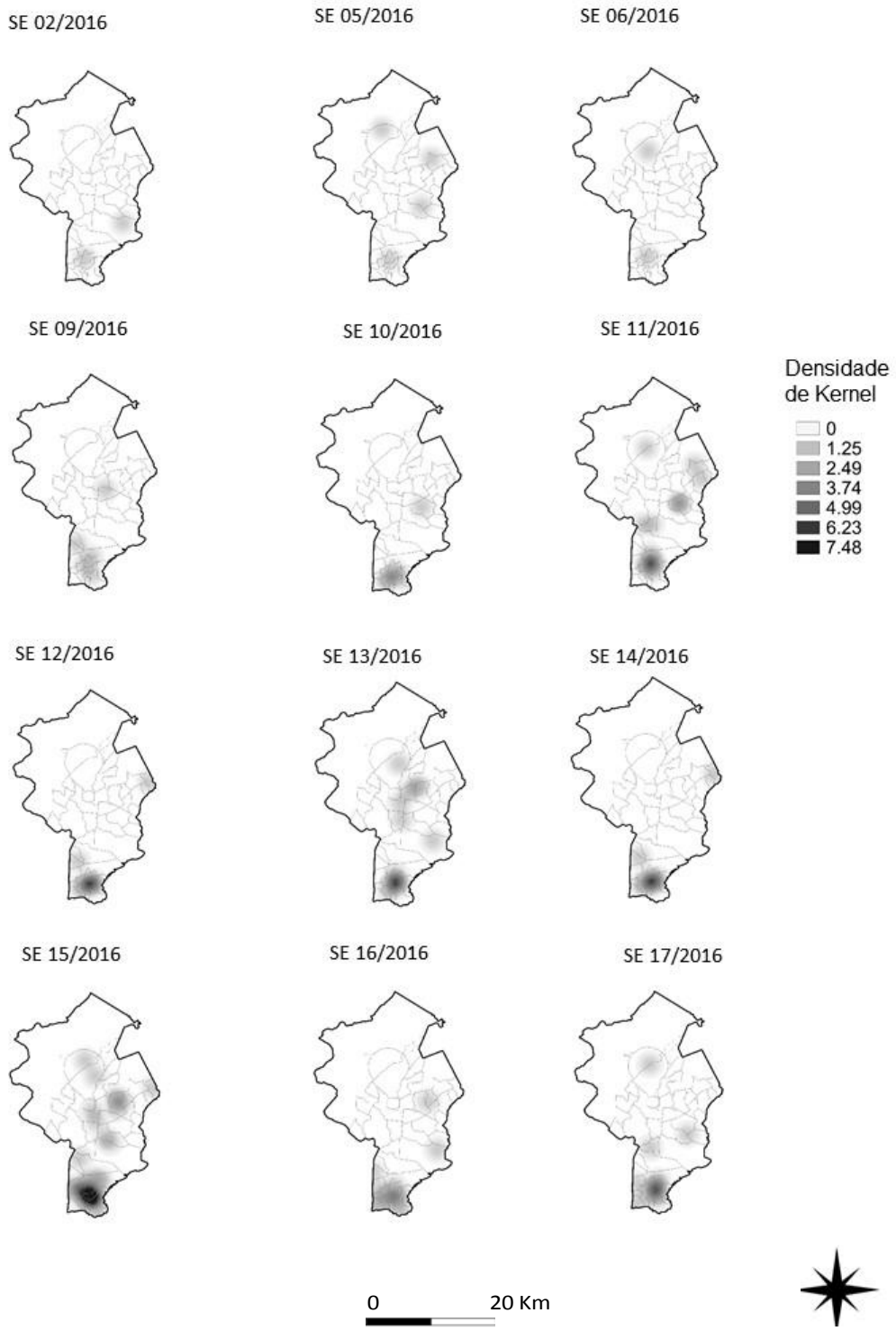
Tipo de difusão	Frequência das mudanças	Frequência do tipo de difusão	Percentual do tipo de difusão
EXPANSÃO		**11**	**61,1**
LH para HH	07		
HL para LL	04		
HIERÁRQUICO		**06**	**33,3**
LL para HL	03		
HH para LH	03		
RELOCAÇÃO		**01**	**5,56**
LL para HL	01		

Fonte: A autora, 2017.

5.2 Sobre a difusão espacial da febre do chikungunya

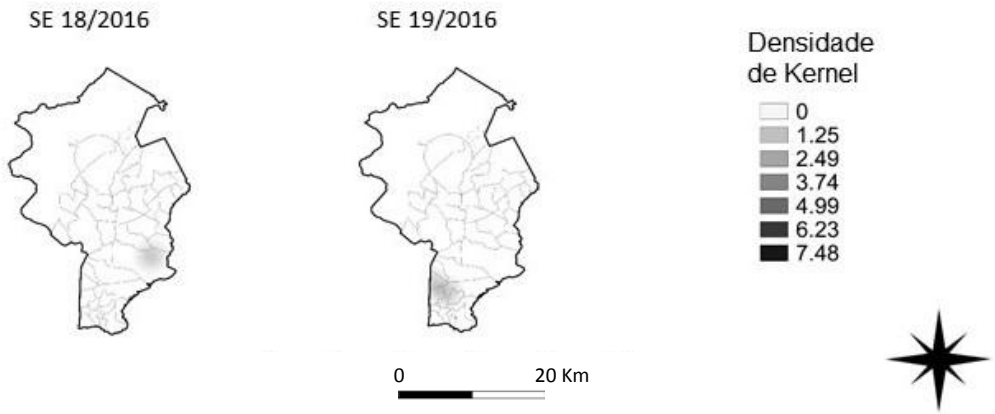
Para os casos de chikungunya, a análise dos mapas sequenciais de densidade de kernel (Figuras 14 e 15) revelou baixas intensidade de casos em alguns bairros na fase inicial da epidemia e ausência de casos em algumas semanas. Próximo ao pico epidêmico, ocorreu uma intensificação da densidade de casos nos bairros do 1º distrito e em um menor nível, em Saracuruna e em bairros próximos, no 2º distrito. No pico da epidemia os bairros do primeiro distrito se mantiveram com alta densidade de casos, enquanto que em outras áreas, a epidemia perdeu a força. Esse padrão observado sugere que ocorreu um processo de difusão por expansão.

Figura 14 - Mapas de densidade de Kernel para os casos de chikungunya no município de Duque de Caxias, SE 02 a 17/2016



Fonte: A autora, 2017.

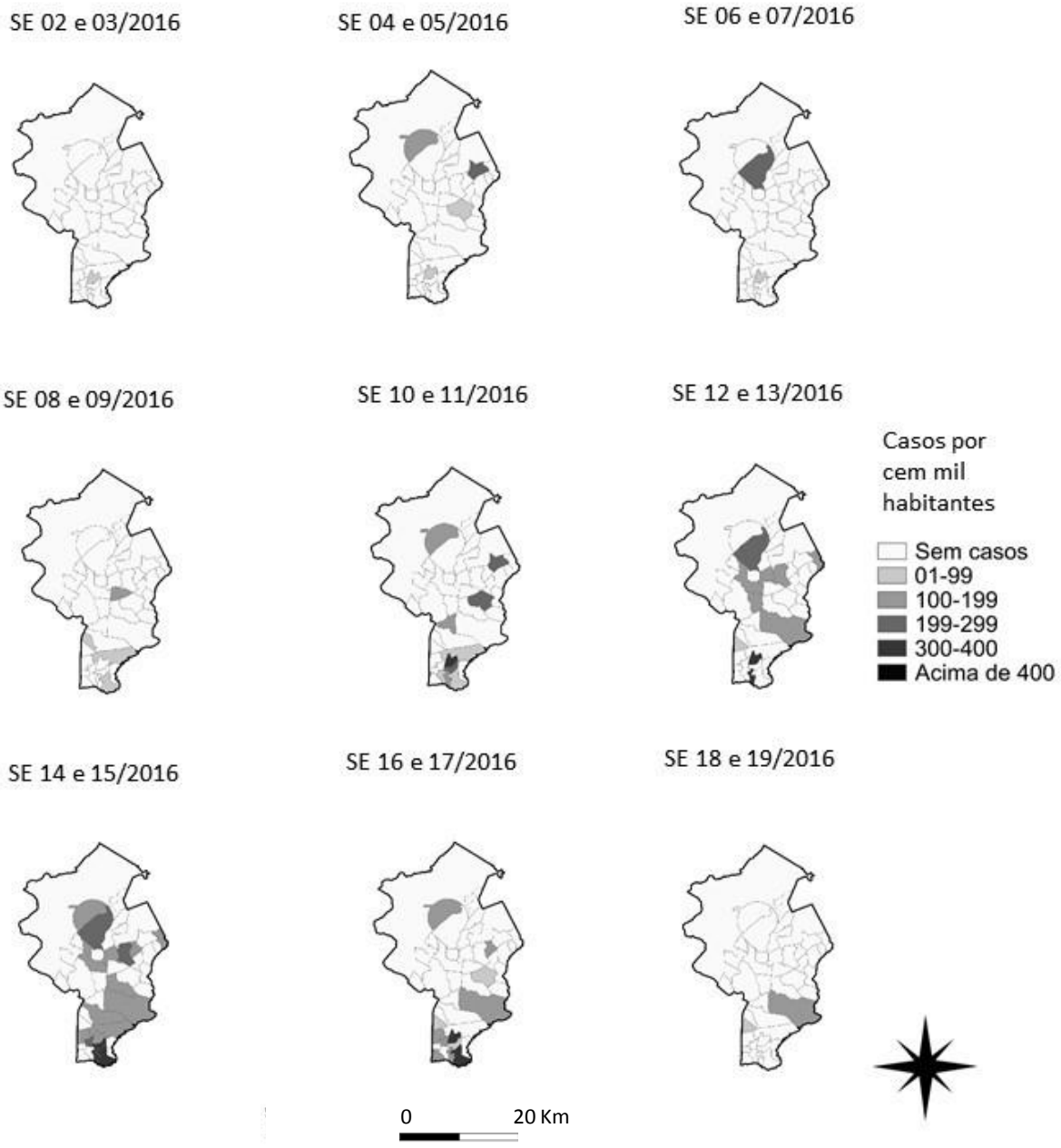
Figura 15 - Mapa da densidade de Kernel para os casos de chikungunya no município de Duque de Caxias, SE 18 e 19/2016



Fonte: A autora, 2017.

À semelhança dos mapas de Kernel, a análise dos mapas temáticos (Figura 16), indicou a ocorrência de um processo de difusão por expansão para os casos de chikungunya. Três localidades se destacam como possíveis fontes de espalhamento da doença: ao sul no 1º distrito, bairros ao leste no 2º distrito, e mais ao norte, no 4º distrito.

Figura 16 - Mapas temáticos das taxas de incidência de chikungunya vírus por bairros no município de Duque de Caxias, SE 02 a 19/2016



Fonte: A autora, 2017.

Em prosseguimento à investigação da epidemia de chikungunya, através do método de Knox foram encontrados um número de pares de casos próximos no tempo e no espaço acima do esperado para os casos da doença, (χ^2 = 2,9, p< 0,001), (Tabela 4). Esses resultados sugerem a existência de agregação espaço-temporal.

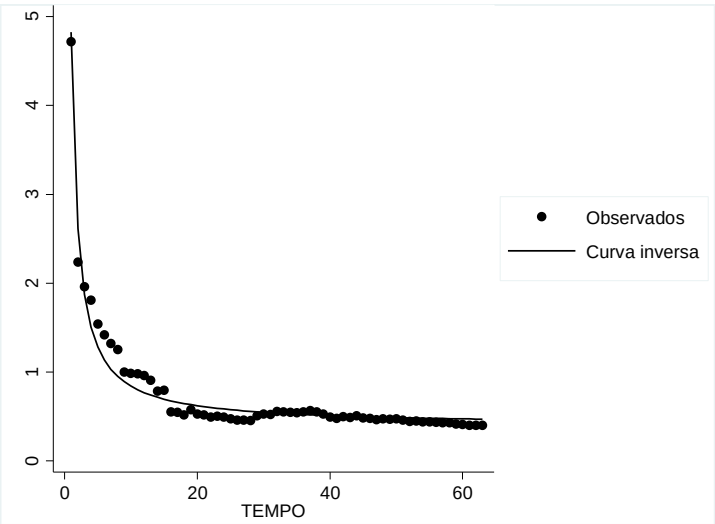
Tabela 4 Número de pares observados e esperados (entre parênteses) de casos de chikungunya no município de Duque de Caxias classificados de acordo com a distância no tempo e no espaço, SE 44/2015 a 20/2016

Quantidade de pares	Próximos no tempo $t_{ij}<t_0$	Distantes no tempo $t_{ij}>t_0$
Próximos no espaço $d_{ij}<d_0$	20 (14,3)	2157 (2162,7)
Distantes no espaço $d_{ij}>d_0$	44 (49,7)	7509 (7503,0)

Fonte: a autora, 2017

Para o conjunto de dados da chikungunya, foram calculadas 63 RDVMP. Dentre as curvas de regressão testadas, as que apresentaram melhor ajuste foram a curva da função inversa, com R^2=0,96 (Figura 17) e a curva em formato de S com R^2= 0,93. A análise deste resultado, de acordo com o proposto por Lee et al. (2014), indica que ocorreu um processo de difusão por expansão.

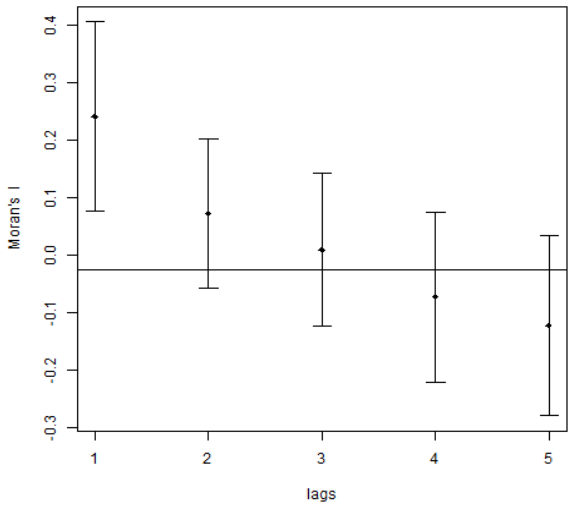
Figura 17- Curva de regressão com melhor ajuste da relação entre as RDVMP de chikungunya e o tempo, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

O correlograma espacial para a febre do chikungunya, apresentou forma compatível com o processo de expansão, com declínio suave devido à redução dos valores dos coeficientes de autocorrelação global, à medida em que se ampliava os *lags* de distância (Figura 18).

Figura 18 - Correlograma espacial para a chikungunya no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

A análise do consolidado das mudanças detectadas nos níveis dos coeficientes de autocorrelação locais revelou que 80% das mudanças foram compatíveis com os padrão hierárquico ou relocação. Apenas 20% das mudanças foram compatíveis com expansão (Tabela 5).

Tabela 5 - Mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial e processos de difusão espacial de chikungunya correspondentes, município de Duque de Caxias, SE 02 a 19/2016

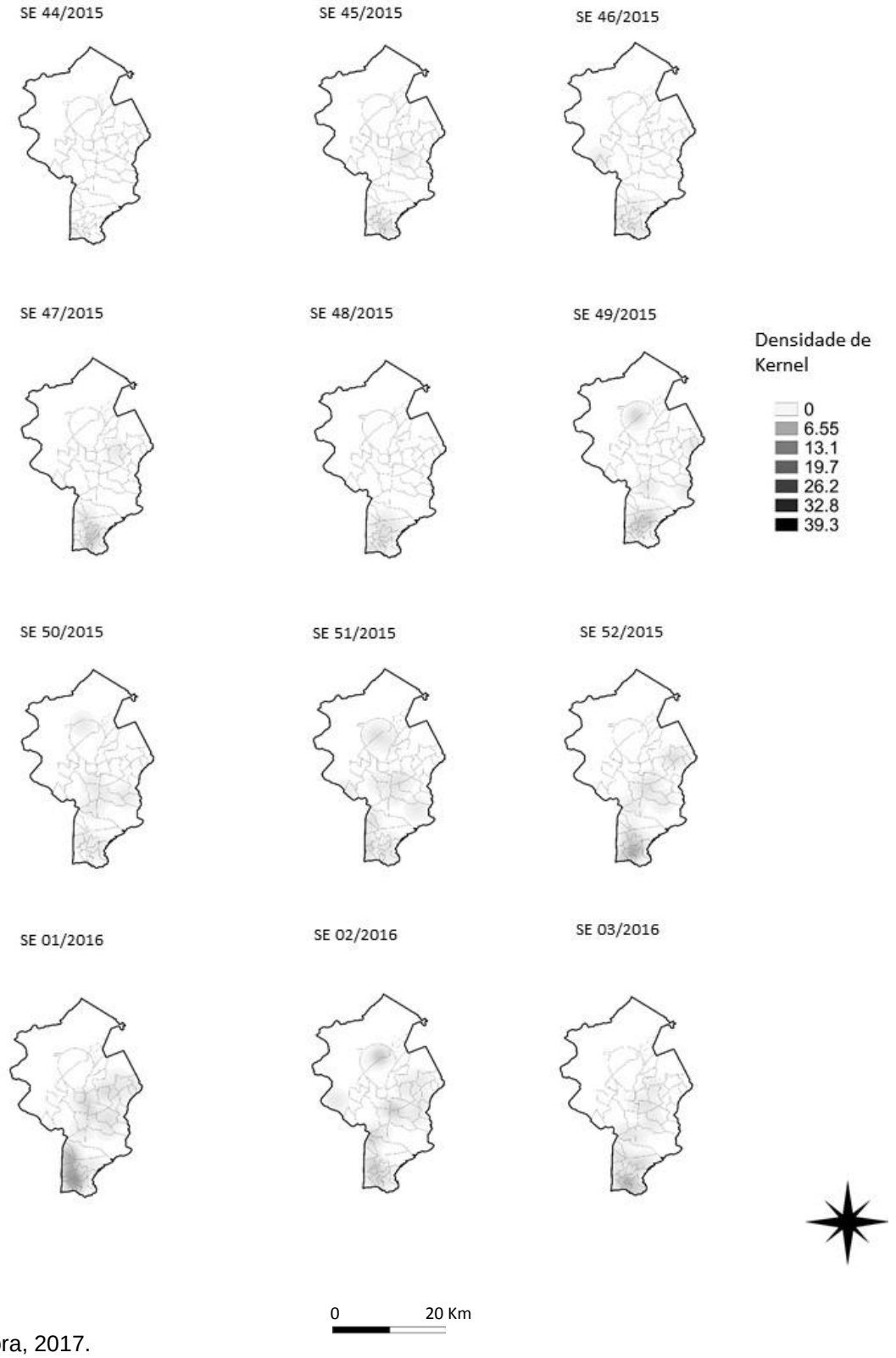
Tipo de difusão	Frequência das mudanças	Frequência do tipo de difusão	Percentual do tipo de difusão
EXPANSÃO		**02**	**20**
LH para HH	01		
HL para HH	01		
HIERÁRQUICO		**06**	**60**
HH para LH	02		
LL para HL	02		
HH para LL	01		
LL para LH	01		
RELOCAÇÂO		**02**	**20**
HL para LH	01		
LH para HL	01		

Fonte: A autora, 2017.

5.3 Sobre a difusão espacial da Dengue

A inspeção visual dos mapas de densidade de Kernel para os casos de Dengue no município de Duque de Caxias (Figuras 19 a 21), permitiu constatar a presença de baixas densidades em bairros dos 1º, 2º e 4º distritos na fase inicial da epidemia. Próximo ao pico epidêmico, a doença se espalhou em torno das localidades onde havia poucos casos. Os bairros do centro localizados ao sul do município, no primeiro distrito, se destacaram com as mais altas densidades de casos. A análise desses mapas sugeriu a ocorrência de um processo de difusão por expansão.

Figura 19 - Mapas de densidade de Kernel para os casos de dengue no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 03/2016



Fonte: A autora, 2017.

Figura 20 - Mapas de densidade de Kernel para os casos notificados de dengue no município de Duque de Caxias, SE 04 a 15/2016

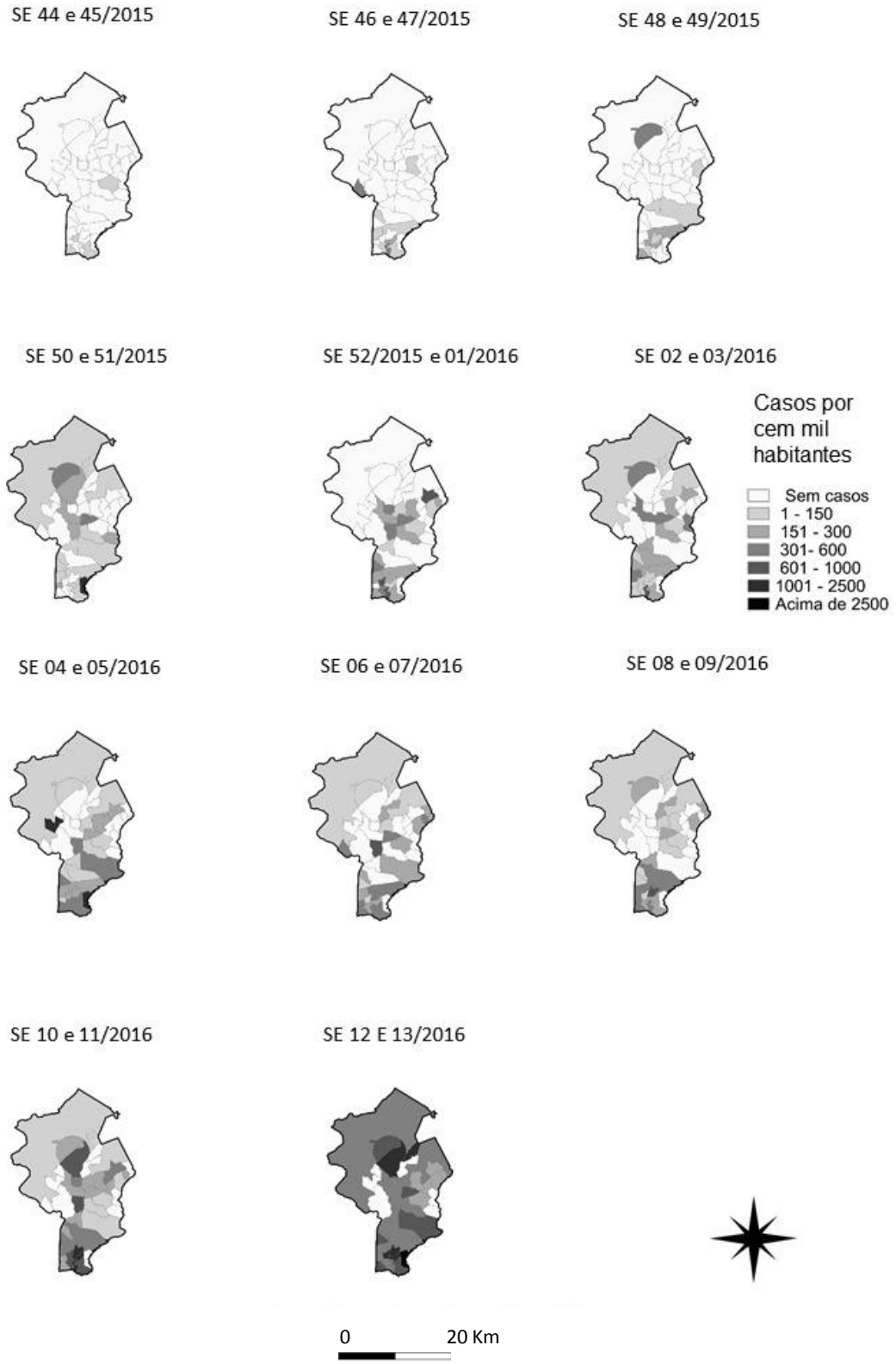
Fonte: A autora, 2017.

Figura 21 - Mapas de densidade de Kernel para os casos de dengue no município de Duque de Caxias, SE 16 a 19/2016

Fonte: A autora, 2017.

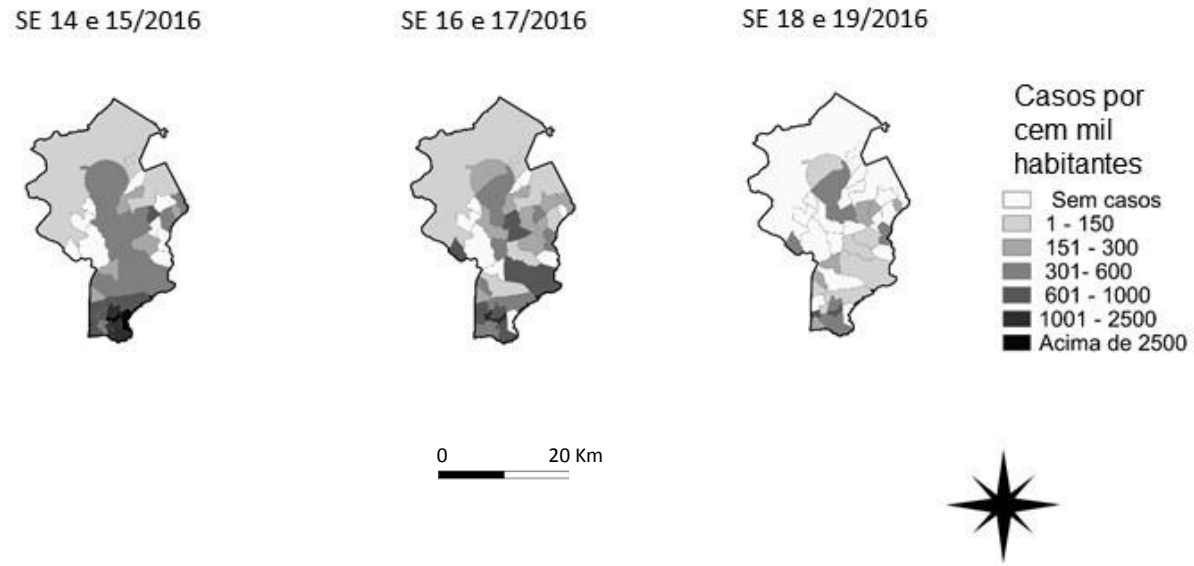
Através dos mapas sequenciais temáticos para as taxas de incidência de dengue (Figura 22 e 23) pôde-se observar, nas fases iniciais da epidemia, a existência de poucos bairros com baixa incidência no município. Em seguida foram detectados bairros com incidência elevada na região do centro, ao leste do município e ao norte. No pico da epidemia, a doença já havia se espalhado em torno dessas regiões. Essa dinâmica de dispersão da dengue observada nos mapas foi compatível com difusão por expansão.

Figura 22 - Mapas temáticos das taxas de incidência da dengue por bairros no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 13/2016



Fonte: A autora, 2017.

Figura 23 - Mapas temáticos das taxas de incidência da dengue por bairros no município de Duque de Caxias, SE 14 a 19/2016



Fonte: A autora, 2017.

Através da estatística de Knox, foram encontrados um número de pares de casos de dengue próximos no tempo e no espaço acima do esperado no município de Duque de Caxias, (χ^2= 27,9; p= 0,00010), (Tabela 8). Esses resultados indicam a existência de agregação espaço-temporal.

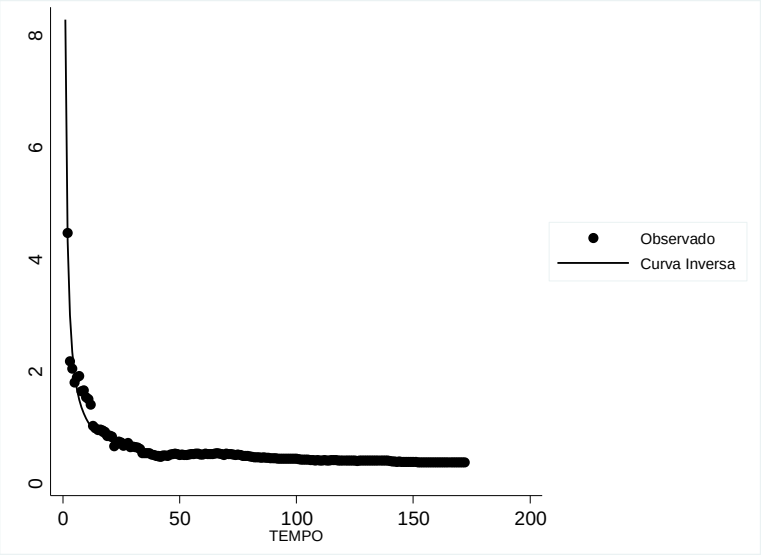
Tabela 6 - Estatística de Knox. Valores observados da contagem de pares de casos de dengue no município de Duque de Caxias classificados de acordo com a distância no tempo e no espaço, SE 06 a 20/2016

Quantidade de pares	Próximos no tempo $t_{ij}<t_0$	Distantes no tempo $t_{ij}>t_0$
Próximos no espaço $d_{ij}<d_0$	409 (320,7)	88951 (89039,2)
Distantes no espaço $d_{ij}>d_0$	2075 (2163,3)	600641 (600552,7)

Fonte: A autora, 2017.

Para os dados de dengue foram calculadas 172 RDVMP. As melhores curvas de regressão estimadas para o conjunto de razões, de forma similar às outras duas arboviroses, foram: a curva da função inversa (Figura 24), com R^2=0,94 e a curva em forma de S, com R^2= 0,92. Os resultados obtidos através dessa técnica indicam que a difusão da dengue ocorreu por expansão.

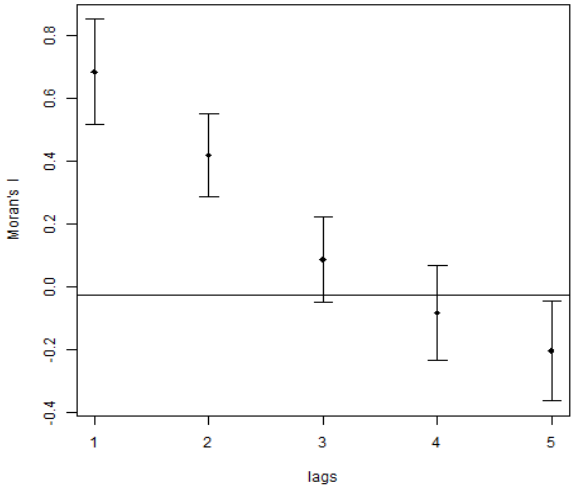
Figura 24 - Curva de regressão com melhor ajuste da relação entre as RDVMP da dengue e o tempo, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

O correlograma espacial para os coeficientes de autocorrelação da dengue apresentou a forma de um suave declínio. A autocorrelação espacial se mostrou forte no primeiro *lag* de vizinhança e foi enfraquecendo à medida que se ampliou os *lags* (Figura 25). A análise desse correlograma sugere a ocorrência de difusão por expansão.

Figura 25 - Correlograma espacial para dengue no município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016



Fonte: A autora, 2017.

Segundo a técnica que avalia a dependência espacial local ao longo do tempo, 56% das mudanças foram compatíveis com expansão. As demais mudanças foram compatíveis com processo de difusão hierárquico. A análise do consolidado das mudanças nos níveis dos índices de autocorrelações espaciais locais para a dengue, sugeriu um padrão misto de difusão hierárquica e por expansão (tabela 7).

Tabela 7 - Mudanças detectadas nos níveis de dependência espacial e processos de difusão espacial de dengue correspondentes, município de Duque de Caxias, SE 44/2015 a 19/2016

Tipo de difusão	Frequência das mudanças	Frequência do tipo de difusão	Percentual do tipo de difusão
EXPANSÃO		**9**	**56,2**
LH para HH	07		
HL para LL	01		
LH para LL	01		
HIERÁRQUICO		**7**	**43,75**
HH para LH	09		
LL para HL	04		

Fonte: A autora, 2017.

A análise dos resultados obtidos pelo conjunto de técnicas utilizadas no presente estudo, sugere que o processo de difusão foi semelhante para as arboviroses Zika, dengue e chikungunya no município de Duque de Caxias, durante o período epidêmico iniciado no final de 2015 e que se estendeu até os primeiros meses de 2016. Segundo os resultados obtidos com os casos notificados das três doenças, a difusão se deu por expansão (Quadro 5).

Quadro 5 - Resumo dos resultados para identificação dos processos de difusão espacial para Zika, dengue e chikungunya em Duque de Caxias, SE 44/2015 a 20/2016

Doença	Mapas de Kernel	Mapas temáticos	Razão da distância do vizinho mais próximo	Correlogramas espaciais	LISA
Zika	Expansão	Expansão	Expansão	Inconclusivo	Expansão
Chikungunya	Expansão	Expansão	Expansão	Expansão	Hierárquico
Dengue	Expansão	Expansão	Expansão	Expansão	Misto

Fonte: A autora, 2017.

6 **DISCUSSÃO**

Os achados provenientes das técnicas baseadas em dados de pontos e dados de área no presente estudo sugerem que as epidemias da febre do Zika vírus, da febre do chikungunya e da dengue entre novembro de 2015 e maio de 2016 apresentaram o padrão de difusão por expansão com dois focos principais de dispersão da doença, um deles localizado no primeiro distrito, que inclui o centro da cidade e outro no 2º distrito. Esse padrão pôde ser mais fortemente identificado para a febre do Zika vírus, que apresentou o resultado mais similar em todas as técnicas.

O uso de mapas sequenciais é frequente em pesquisas envolvendo análise espacial. Nesse estudo optou-se pelo uso concomitante desta abordagem para dados de pontos, através de mapas de densidade de Kernel e para dados de área, através de mapas temáticos das taxas de incidência das três arboviroses, como sugerido por Cromley & Mclafferty (2012). A análise dos mapas gerados por ambas as técnicas forneceu indícios da ocorrência de um padrão de expansão para as três doenças e também permitiu identificar possíveis focos de dispersão das três arboviroses no município de Duque de Caxias.

Barreto et al. (2008) estudaram as características da difusão espacial na primeira epidemia de dengue em Salvador utilizando mapas de Kernel. Os autores identificaram padrão de difusão por expansão a partir de uma localidade do município que funcionou como epicentro dos casos. Mello et al. (2015) encontrou resultados diferentes para a epidemia da dengue no município de Jequié, na Bahia. Utilizando mapas da razão de Kernel e a estatística de Knox, o padrão encontrado foi classificado como processo misto de difusão espacial que se iniciou com expansão e em fase posterior foi caracterizado como relocação. Nesse estudo, os autores conseguiram localizar três epicentros para dispersão da doença. Apesar das diferenças dos resultados nos dois estudos supracitados, o processo de difusão por expansão foi detectado para a dengue e os autores destacaram o fato desse tipo de difusão ser característico de doenças transmitidas de pessoa a pessoa, por contato direto. Entretanto as condições, favoráveis à propagação do vetor, a força do vírus e o acúmulo de susceptíveis são apontados como possível explicação para a ocorrência desse padrão em uma doença de transmissão

vetorial. Ressaltou-se também que os focos de dispersão identificados se caracterizavam como localidades com altas densidades populacionais e condições precárias de saneamento. De forma semelhante, esses dois fatores também estão presentes nas áreas que funcionaram como possíveis fontes da difusão por expansão das três arboviroses no município de Duque de Caxias.

A área onde se evidenciou maiores taxas e maior densidades de casos, engloba bairros do primeiro distrito. Esse distrito é o que ocupa a menor extensão no município de Duque de Caxias, entretanto é onde encontra-se as maiores densidades populacionais e ocorrência de aglomerados subnormais. O Plano Municipal de Redução de Riscos do município de Duque de Caxias – PMRR (VISSIRINI et al., 2016), indicou a presença de regiões com alta concentração populacional em torno de grandes rios, como Rio Iguaçu, Sarapuí e Meriti. Na literatura há muitas publicações que apontam fatores relacionados com a disseminação da dengue e seu vetor, tais como a alta densidade populacional, a presença de grandes rodovias e de grandes corpos hídricos (HSUEH et al., 2012). O 2º distrito mais ao leste do município, que abriga um importante parque industrial, é a 2ª área evidenciada nos mapas como importante para geração de casos. Ambas localidades se caracterizam por serem urbanas e com baixa cobertura vegetal.

Os mapas temáticos evidenciaram altas taxas de dengue e Zika em alguns períodos nos bairros Xerém e Mantiqueira, localizados no 4º distrito em área predominantemente rural e com baixa densidade populacional. Uma possível explicação é que essa região apresenta altos índices pluviométricos (VISSIRINI et al, 2016). Segundo Oliveira (2015), muitos criadouros do *Aedes aegypti* são transitórios e condicionados pelas chuvas, podendo influenciar a densidade e dispersão do mosquito. Outro aspecto que deve ser considerado na interpretação dos mapas temáticos, relaciona-se ao fato de que taxas de incidência bruta podem sofrer grandes flutuações com a ocorrência de poucos casos em regiões com população reduzida.

Apesar de ser um método muito utilizado nos estudos de difusão espacial, a análise de mapas sequenciais possui um caráter subjetivo que pode dificultar a sua interpretação (CROMLEY & MCLAFFERT, 2012). Dias & Nobre (2001), defenderam o uso de mapas sequenciais na análise qualitativa inicial da difusão espacial e utilizaram essa técnica em conjunto com a construção de correlogramas espaciais para investigar a difusão da AIDS em estados Brasileiros. No presente estudo, o uso dos mapas forneceu

importante contribuição na caracterização do processo de difusão espacial, permitindo visualizar o deslocamento das doenças ao longo do tempo no município e identificar áreas de maior concentração de casos.

Após a análise qualitativa através dos mapas, o passo seguinte consistiu na investigação do processo de difusão espacial através do uso de duas técnicas quantitativas para dados de pontos. A primeira delas utilizou a estatística de Knox, que possibilitou confirmar a ocorrência de um número de casos acima do esperado próximos no tempo e próximos no espaço, indicando a existência de interação espaço-temporal para as três arboviroses. Estes resultados foram semelhantes ao encontrado por Morato et al. (2015), em estudo sobre a dengue. A segunda técnica quantitativa para dados de pontos foi sugerida por Lee et al. (2014), que defenderam a necessidade do uso de modelagens sofisticadas frente à complexidade da dinâmica espacial e temporal de determinados fenômenos. Nesse contexto, os autores propuseram o uso da razão da distância do vizinho mais próximo e a estimação da curva de regressão para identificar e caracterizar padrões de difusão espacial para diferentes fenômenos. Através dessa técnica, o padrão de difusão encontrado para as três arboviroses no município de Duque de Caxias no presente estudo foi de difusão por expansão, o mesmo encontrado através da análise qualitativa inicial. Esses achados coincidem com os resultados obtidos Lee et al. (2014) para casos de dengue no período de cinco anos sucessivos na cidade Kaoshiung em Taiwan, com o uso dessa mesma metodologia. Os autores sugerem que essa abordagem pode ser utilizada para subsidiar ações de controle de doenças como a dengue, durante a ocorrência de epidemias. Essa técnica se mostrou profícua para a investigação da difusão de doenças e poderia ser aprimorada com a realização de novas simulações de cada tipo de processo de difusão espacial, incluindo o processo misto com componentes hierárquicos e de expansão.

As outras duas abordagens quantitativas adotadas para caracterização da difusão espacial no presente estudo utilizaram dados de área, que foram as taxas de incidência por bairros e envolveram o conceito de autocorrelação espacial.

A primeira delas, utilizou os coeficientes de autocorrelações globais I de Moran para construção dos correlogramas espaciais. Os correlogramas para a chikungunya e dengue foram muito semelhantes e indicaram difusão por contágio/expansão, coincidindo com os resultados obtidos pelos mapas e pela RDVP. O correlograma para Zika

apresentou um formato diferente das demais arboviroses, o que poderia sugerir um processo hierárquico, mas se mostrou inconclusivo. Nos trabalhos de Lam, Fan & Liu (1999), que propôs o uso da técnica para identificação de padrões de difusão espacial, e de Dias & Nobre (2001), foram comparados correlogramas para anos subsequentes. No presente estudo, a metodologia foi aplicada como uma estratégia complementar à outras abordagens para o entendimento dos processos de difusão de três doenças diferentes em um único período epidêmico.

A outra técnica, quantitativa para dados de área, se baseou nas mudanças nos níveis dos índices de autocorrelação espaciais locais. Essa técnica, dentre as utilizadas nesse estudo, foi a única que apresentou resultados diferentes entre as três doenças, e que também apresentou diferença entre as demais técnicas para cada doença. O uso dessa ferramenta foi proposto por Cohem & Tita (1999), que estudou a difusão de três tipos de homicídios em uma cidade dos Estados Unidos da América. A análise das mudanças nos níveis dos coeficientes de autocorrelações locais sugeriu um processo de difusão por expansão para Zika, difusão hierárquica para a chikungunya e um processo misto com a presença simultânea de difusão hierárquica e por expansão para a dengue. Esses achados devem ser analisados com cautela, devido à pequena proporção de mudanças detectadas nos níveis de autocorrelação locais no município de Duque de Caxias para as epidemias de dengue, Zika e chikungunya.

O predomínio do padrão hierárquico para a chikungunya através do uso do LISA pode estar relacionado com o baixo número de casos durante toda a epidemia, que teve intensidade inferior às duas arboviroses. Entretanto, o uso do LISA também sugeriu a presença de um componente hierárquico no processo de difusão da dengue. A presença de “saltos” no espalhamento da dengue também foi encontrada no estudo de Kam et al. (2008) em Taiwan para os casos notificados entre 2001 a 2003. Através do uso de duas abordagens diferentes das utilizadas no presente estudo, esses autores detectaram a difusão por expansão e posteriormente a mudança para difusão por relocação. Eles concluíram que o vírus “saltou” de um cluster espacial para alguma área distante onde se dispersou, rapidamente, deixando então de existir no local de origem.

As semelhanças encontradas entre os processos de difusão para a Zika, chikungunya e dengue podem ser explicadas pelo fato de possuírem o mesmo vetor. Catão e Guimarães (2016) estudaram difusão do vetor *Aedes aegypti* no estado de São

Paulo, entre os anos de 1985 a 2012. Através da análise de superfície de tendência, os autores identificaram a difusão por expansão para o vetor da dengue nos primeiros cinco anos do estudo. Nos anos subsequentes, foi identificado uma *incursão da área infestada* em outras áreas com níveis hierárquicos diferentes, acompanhando a direção de importantes rodovias. Os autores concluíram que o processo de difusão do *Aedes aegypti*, que era de expansão, passou a apresentar o padrão de difusão do tipo misto hierárquico e por expansão. A difusão do vetor, apesar de não fazer parte do escopo do presente estudo, é um importante elemento para o entendimento da difusão das doenças que ele transmite.

Além da difusão vetor, Catão (2016) destaca a importância da existência de quatro sorotipos para a dengue e enumera dois motivos pelos quais essas variantes do vírus da dengue influenciam o processo de difusão da doença. O primeiro é a ampliação do número de transmissões potenciais, pois uma mesma pessoa pode adquirir a doença quatro vezes. O outro aspecto é que, no caso da dengue, em casos de infecção por um 2º sorotipo, a chance da doença se manifestar de forma grave é maior. Assim o autor considera sob ponto de vista geográfico que esse cenário equivale à existência de quatro doenças (relacionadas a cada sorotipo), mas que devido aos aspectos clínicos similares são captadas como uma só. No caso da tríplice epidemia, em duque de Caxias, houve efetivamente três doenças se difundindo simultaneamente, o que se constitui num desafio para o entendimento da difusão dessas arboviroses.

Ao caracterizar a dinâmica espacial e temporal da dengue, o autor afirma que o aumento de casos em uma dada área e o espalhamento para outras áreas, é um resultado não apenas de fatores locais, mas também das interações espaciais entre as cidades. Dessa forma, durante a epidemia, o aumento de pessoas e vetores infectados em pouco tempo e a sua circulação na rede, favorecem novas transmissões. Saint-joulien (2007) e Cromley & Mclafferty (2012) também destacaram a importância das redes de interações sociais nos processos de difusão espacial. Catão (2016) conclui que a difusão da dengue em São Paulo recebeu a influência da difusão de vetores, dos vírus, de indivíduos susceptíveis e de condições locais que precisam ser analisados em conjunto para compreensão do fenômeno. Seguindo o mesmo raciocínio pode-se levantar a hipótese de que a expansão dos casos de dengue em determinados bairros do município de Duque de Caxias possa estar sofrendo efeito dos fatores locais como questões

socioambientais, presença de susceptíveis em conjunto com complexa rede de interação entre os bairros e destes com municípios vizinhos. Os bairros do primeiro distrito de Duque de Caxias, que se caracterizaram como importante foco de dispersão de casos para as três arboviroses, estão próximos do município do Rio de Janeiro e se interligam com ele e com outros municípios da região através de importantes rodovias.

O uso concomitante de técnicas qualitativas e quantitativas permitiram identificar e comparar do padrão da difusão de Zika, chikungunya e dengue no município de Duque Caxias. É importante considerar que a epidemia de chikungunya apresentou intensidade inferior às outras arboviroses e que o percentual de confirmação laboratorial dos casos foi baixo para as três arboviroses. Cardoso et al. (2017), estudou a epidemia de chikungunya em Salvador na presença da dengue e da Zika. Os autores suspeitaram que o que a visibilidade destinada à epidemia de Zika poderia ter mascarado a epidemia de chikungunya. Eles identificaram que o pico da epidemia de chikungunya coincidiu com o pico da realização de testagens para a doença e que foi tardio e menor, quando comparado com o da epidemia da Zika. Dessa forma, concluíram a epidemia de chikungunya poderia estar ocorrendo antes de ter sido detectada, devido à ausência de coleta e testagem oportuna. Outra questão levantada pelo mesmo trabalho foi a ausência da investigação da co-infecção nos casos notificados.

Esse estudo utilizou dados secundários do Sistema de Informação de Agravos de Notificação. A existência de casos assintomáticos, a simultaneidade de epidemias de doenças com sintomas semelhantes, a ausência de mecanismos de testagem simultânea para as três doenças, o baixo percentual de confirmação laboratorial e o fato de inicialmente a vigilância da Zika ter sido direcionada prioritariamente ao grupo de gestantes representaram importantes limitações para o presente estudo.

Apesar das supracitadas limitações, as abordagens utilizadas nesse estudo permitiram a identificação dos padrões de difusão das arboviroses no município de Duque de Caxias e de possíveis áreas que funcionam como centro de dispersão das doenças. O conhecimento da dinâmica das doenças e a possibilidade do uso dessas técnicas para caracterizar a difusão das arboviroses durante epidemias, representa uma contribuição para ações de vigilância e controle no âmbito da Saúde Pública.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As arboviroses dengue, Zika e chikungunya têm sido objeto de preocupação global e de grandes investimentos nos órgãos de pesquisa e saúde pública devido ao seu potencial de disseminação e suas consequências em termos de morbidade e mortalidade.

O conhecimento sobre como as doenças se espalham no território têm grande importância para levantamento de áreas prioritárias para ações de prevenção através do combate ao vetor, promoção à saúde e assistência aos pacientes.

A combinação de técnicas qualitativas como a inspeção visual de mapas sequenciais aliadas a técnicas quantitativas como correlogramas, espaciais, uso dos índices de locais de autocorrelação espacial e regressão da razão da distância do vizinho mais próximo mostraram-se úteis para a investigação exploratória da dinâmica espaço-temporal dessas doenças no período estudado. Foi possível caracterizar os principais padrões de difusão na epidemia da febre do Zika vírus, febre do chikungunya e da dengue no município de Duque de Caxias e identificar regiões do município que se constituem em importantes focos para a transmissão da doença. Estudos futuros poderão investigar fatores no território que estejam atuando como determinantes e condicionantes da ampla transmissibilidade das arboviroses em algumas regiões do município.

Faz-se necessário o investimento na melhoria dos processos de diagnóstico e de notificação, para aumentar a confiabilidade dos resultados e para que técnicas dessa natureza possam ser utilizadas na rotina da vigilância em saúde.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. G.; SCHATZMAYR, H. G. Histórico do controle de *Aedes aegypti.* In: Valle,D; Pimenta, D.N.; Cunha,R.V. Dengue: teorias e práticas. Rio de Janeiro, RJ: Editora Fiocruz, 2015. p. 171 – 185.

ANSELIN, L. GeoDa 1.8.14 User's guide. Spatial Analysis Laboratory (SAL). Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, 2016

BARRETO, M. L.; TEIXEIRA, M. G. Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa. Estudos Avançados**,** [s.l.], v. 22, n. 64, p.53-72, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000300005.

BARRETO, F. R et al*.* Spread pattern of the first dengue epidemic in the city of Salvador, Brazil. Bmc Public Health, [s.l.], v. 8, n. 1, p.31-51, 7 fev. 2008. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1186/1471-2458-8-51.

BIVAND, R. et al. spdep: Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. R package version0.5. Disponível em https://r-forge.r-project.org/projects/spdep .

BRAGA, I.A.; MARTIN, J.L.S. Histórico do controle de *Aedes aegypti.* In: Valle, D; Pimenta, D.N.; Cunha,R.V. Dengue: teorias e práticas. Rio de Janeiro, RJ: Editora Fiocruz, 2015. p. 61 – 73.

BRAGA, J. U. et al*.* Projeto de pesquisa: Difusão espacial da Febre Zika em municípios brasileiros durante a epidemia de 2016: A sua dispersão no território urbano foi semelhante à da dengue e da chikungunya? Rio de Janeiro:2016

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico: Febre pelo Zika vírus: uma revisão narrativa sobre a doença. 2015. Volume 46 No. 26. Disponível em: <http://portalSAÚDE.SAÚDE.gov.br/images/pdf/2015/agosto/26/2015-020-publicao.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo Zika vírus até a Semana Epidemiológica 23. 2016a. Volume 47-no. 27. Disponível em: <http://portalSAÚDE.SAÚDE.gov.br/index.php/situacao-epidemiologica-dados-dengue>. Acesso em: 8 jul. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Guia de Vigilância em Saúde / Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde. 2014. Disponível em: <http://portalSAÚDE.SAÚDE.gov.br/images/pdf/2014/novembro/27/guia-vigilancia-SAÚDE-linkado-27-11-14.p>. Acesso em: 05 jun. 2016.

BRASIL. Portaria no 204: DE 17 de fevereiro de 2016. Brasília: Diário Oficial da União, 18 fev. 2016b.

CAMPOS, M. A. S. M. Análise temporal da dinâmica populacional de *Aedes aegypti*. 2011. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biomédicas, Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CARDOSO, C. W. et al. Unrecognized Emergence of Chikungunya Virus during a Zika Virus Outbreak in Salvador, Brazil. Plos Neglected Tropical Diseases, [s.l.], v. 11, n. 1, p.1-8, 23 jan. 2017. Public Library of Science (PLoS). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0005334.

CATÃO, R. C. Expansão e consolidação do complexo patogênico do dengue no estado de São Paulo: difusão espacial e barreiras geográficas. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, *campus* de Presidente Prudente. 2016

CATÃO, R. C.; GUIMARÃES, R.B. difusão do *Aedes aegypti* no estado de São Paulo utilizando análise de superfície de tendência, 1985-2012. Geografia em Atos (Online) 1 (3), 18 Presidente Prudente V. 01, 2016, disponivel em: http://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/article/view/4496/3575

CLIFF, A. D. et al. Spatial diffusion: An historical geography of epidemics in an Island community. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

COHEN J, TITA G. Diffusion in homicide: Exploring a general method for detecting spatial diffusion processes. J Quant Criminol. 1999;15(4):451–493.

COSTA, M. C. N.; TEIXEIRA, M. G. L. C. A concepção de "espaço" na investigação epidemiológica. Cadernos de Saúde Pública, [s.l.], v. 15, n. 2, p.271-279, abr. 1999. FapUNIFESP. http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x1999000200012.

CROMLEY, E. K; MCLAFFERTY, S. L. Analyzing the risk and spread of infectious diseases. In: Gis and Public Health. 2. ed. New York: The Guilford Press, 2012. Cap. 7. p. 234-262.

DANTAS-TORRES, F.; BRANDÃO-FILHO, S. P.. Expansão geográfica da leishmaniose visceral no Estado de Pernambuco. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**,** [s.l.], v. 39, n. 4, p.352-356, ago. 2006. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0037-86822006000400007.

DICK, G W; KITCHEN, S F; HADDOW, A J. Zika Virus (I). Isolations and serological specificity. Transactions Of The Royal Society Of Tropical Medicine And Hygiene, [s.l.], v. 46, n. 5, p.509-520, set. 1952. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1016/0035-9203(52)90042-4.

DRUCK, S. et al. Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília: Embrapa, 2004. 209 p.

DUARTE-CUNHA, M. et al. Geographic weighted regression: applicability to epidemiological studies of leprosy. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, Uberaba, v. 49, n. 1, p.74-82, fev. 2016.

DUQUE DE CAXIAS. CÂMARA MUNICIPAL DE DUQUE DE CAXIAS. Duque de Caxias. Disponível em: <http://www.cmdc.rj.gov.br/?page_id=1155>. Acesso em: 1 ago. 2016.

DUQUE DE CAXIAS. DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL SUSTENTÁVEL. Diagnóstico situacional do Município de Duque de Caxias: Departamento Geral de Segurança Alimentar e Nutricional Sustentável. Duque de Caxias: Desans, 2012.

GOODCHILD, M. F. Spatial autocorrelation. Norwich: Geo Abstracts Univ. Of East Anglia, 1986. 57 p.

HSUEH, Y.-H., Lee, J., & Beltz, L. Spatio-temporal patterns of dengue fever cases in Kaoshiung City, Taiwan, 2003-2008. *Applied Geography (Sevenoaks, England)*, *34*, 587–594. doi:10.1016/j. apgeog.2012.03.003

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal de Mapas. 2017 http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage. Acesso em 23 Jan 2017.

KAN, C.C. et al. (2008) Two clustering diffusion patterns identified from the 2001–2003 dengue epidemic, Kaohsiung, Taiwan. Am J Trop Med Hyg 79: 344–352.

KULLDORFF, M; HJALMARS, U., and Other Tests for Space-Time Interaction. Biometrics, 55: 544–552. 1999.doi:10.1111/j.0006-341X.1999.00544.x

LAM, N. S.; FAN, M.; LIU, K. Spatial-Temporal Spread of the AIDS Epidemic, 1982-1990: A Correlogram Analysis of Four Regions of the United States. Geographical Analysis, [s.l.], v. 28, n. 2, p.93-107, set. 2010. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00923.x.

LEE, J., & Wong, D. W. S. (2001). Statistical analysis with ArcView GIS. New York, NY: John Wiley & Sons.

LEE, J.et al. An Experiment to Model Spatial Diffusion Process with Nearest Neighbor Analysis and Regression Estimation. International Journal Of Applied Geospatial Research, [s.l.], v. 5, n. 1, p.1-15, out. 2014. IGI Global. http://dx.doi.org/10.4018/ijagr.2014010101.

Levine, N. CrimeStat: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations (v 3.3). Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, 2010

MACIEL-DE-FREITAS, R. A review on the ecological determinants of *Aedes aegypti* (diptera: culicidae) vectorial capacity. Oecologia Australis, [s.l.], v. 14, n. 03, p.726-736, set. 2010. Oecologia Australis. http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2010.1403.08.

MEDRONHO, R.A.; WERNECK G.L. Análise de Dados Espaciais em Saúde. In: Medronho RA, et al., Epidemiologia. Rio de Janeiro, RJ: Editora Atheneu, 2009. p. 493-511.

MELO, M. S. S. et al. Progressão da circulação do vírus do dengue no Estado da Bahia, 1994-2000. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, -, v. 43, n. 2, p.139-144, 2010.

MICROSOFT. Bing Maps. Disponível em https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd877180.aspx. Acesso em 28 dez. 2016

MINN, Michael. MMQGIS. A collection of QGIS vector layer operation plugins. 2016

MORATO, D. G et al.The spatiotemporal trajectory of a dengue epidemic in a medium-sized city. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, [s.l.], v. 110, n. 4, p.528-533, jun. 2015. FapUNIFESP. http://dx.doi.org/10.1590/0074-0276140388.

OLIVEIRA, R.L. Biologia e comportamento do vetor. In: Valle,D; Pimenta, D.N.;Cunha,R.V. Dengue: teorias e práticas. Rio de Janeiro, RJ: Editora Fiocruz, 2015. p. 75 – 92.

ORGANIZAÇÃOdo PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Chikungunya: PAHO/WHO Data, Maps and Statistics. 2016a. Disponível em: <http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_topics&view=rdmore&cid=8379&Itemid=40931&lang=en>. Acesso em: 20 jul. 2016.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. State of the art in the prevention and control of dengue in the Americas. 2014. 2014. Disponível em: <http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&Itemid;=&gid=27233&lang=en>. Acesso em: 20 jul. 2016.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Zika Epidemiological Update (Americas): 14 Julho 2016. 2016b. Disponível em: <http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=11599&Itemid=41691.>. Acesso em: 20 jul. 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Zika situation report. 2016. Disponível em: <http://who.int/emergencies/Zika-virus/situation-report/21-july-2016/en/>. Acesso em: 30 jul. 2016.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Epidemiological Alert. Neurological Sindrome, congenital malformations and Zika vírus infection. Implications for public health in the Americas:2015. Disponível em: <http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&Itemid=270&gid=32405&lang=e>. Acesso em: 20 jul. 2016.

QGIS Equipe de desenvolvimento.QGIS Sistema de Informações Geográficas. Open Source Geospatial Foundation Project, 2016Disponível em <http://www.qgis.org> Acesso em 21 de janeiro de 2016

R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016 URL https://www.R-project.org/.

RICE, M. Excel geocoding tool. https://github.com/maxrice, 2014

SAINT-JULIEN, T. (2007). The process of spatial diffusion and modeling change. In L. Sanders (Ed.), *Models in spatial analysis* (pp. 127–157). Newport Beach, CA: ISTE. doi:10.1002/9780470612255.ch5

Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro. Boletim Epidemiológico: Levantamento do Índice rápido do *Aedes aegypti*. 2015. Disponível em: <http://www.riocomsaude.rj.gov.br/Publico/MostrarArquivo.aspx?C=YpLdPN/et1Q=>. Acesso em: 2 set. 2016.

Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro. Boletim Epidemiológico: Situação epidemiológica da dengue, chikungunya e Zika no estado. 2016. Disponível em: <http://www.riocomsaude.rj.gov.br/Publico/MostrarArquivo.aspx?C=oXWm/krP6+w=>. Acesso em: 27 jun. 2016.

StataCorp. Stata: Release 13. Statistical Software. College Station, TX: StataCorp LP, 2013

SZWARCWALD, C. L.; CASTILHO, E. A. Mortalidade por armas de fogo no estado do Rio de Janeiro, Brasil: uma análise espacial. Revista Panamericana de Salud Pública, [s.l.], v. 4, n. 3 set. 1998. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1020-

SZWARCWALD, C. L. et al. Dinâmica da epidemia de AIDS no Município do Rio de Janeiro, no período de 1988-1996: uma aplicação de análise estatística espaço-temporal. Cadernos de Saúde Pública, [s.l.], v. 17, n. 5, p.1123-1140, 2001. FapUNIFESP . http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x2001000500014.49891998000900003.

TEIXEIRA, M. G.; BARRETO, M. L.; GUERRA, Z. Epidemiologia e medidas de prevenção do Dengue. Inf. Epidemiol. Sus, Brasília , v. 8, n. 4, p. 5-33, 1999. . http://dx.doi.org/10.5123/S0104-16731999000400002.

VALLE, Denise; PIMENTA, D. N.; AGUIAR, R. Zika, dengue e chikungunya: desafios e questões. Epidemiologia e Serviços de Saúde, [s.l.], v. 25, n. 2, p.1-2, 2016. Instituto Evandro Chagas. http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742016000200020.

VISSIRINI, F. et al. Plano Municipal de Redução de Risco de Desastres de Inundação para Duque de Caxias – Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN RISCKS, 2016, Lisboa. Proceedings. Lisboa: Ceru, 2016. p. 1 - 8. Disponível em: <https://projetosapuerj.files.wordpress.com/2016/10/20160306_artigo-completo-ceru-pmrr-compressed1.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2017.

WALLACE, D. The resurgence of tuberculosis in New York City: a mixed hierarchically and spatially diffused epidemic. American Journal Of Public Health, Nova York, v. 84, n. 06, p.1000-1002, jun. 1994.

WEI, L. Curvefit. version 4.0.Beijing:2010

ZARA, A. L. S. A. et al. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília , v. 25, n. 2, p. 391-404,2016 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2237-96222016000200391&lng=en&nrm=iso>. http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742016000200017.