

“Condicionantes socioambientais com influência da urbanização na transmissão de dengue: impactos à saúde pública”

por

Marco Aurélio Pereira Horta

Tese apresentada com vistas à obtenção do título de Doutor em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Aldo Pacheco Ferreira

Co-Orientadora: Prof. Dra. Cristina Maria Souza Catita

Rio de Janeiro, agosto de 2013.

Esta tese, intitulada

“Condicionantes socioambientais com influência da urbanização na transmissão de dengue: impactos à saúde pública”

apresentada por

Marco Aurélio Pereira Horta

foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Dr.^a Regina Fernandes Flauzino

Prof.^a Dr.^a Márcia de Freitas Lenzi

Prof. Dr. Eduardo Dias Wermelinger

Prof.^a Dr.^a Gina Torres Rego Monteiro

Prof. Dr. Aldo Pacheco Ferreira – Orientador

Tese defendida e aprovada em 13 de agosto de 2013.

“Condicionantes socioambientais com influência da urbanização na transmissão de dengue: impactos à saúde pública”

Estudo desenvolvido na Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca e no Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal.

Orientador: Dr. Aldo Pacheco Ferreira –ENSP / FIOCRUZ

Co-Orientadora: Dra. Cristina Maria Souza Catita – FCUL / Universidade de Lisboa

Financiamento:

FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz

FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Aldo Pacheco Ferreira, pela sua amizade, por ter me acolhido como seu orientando e por acreditar que juntos poderíamos fazer um bom trabalho.

À Minha Família, pelo carinho e apoio.

À Beatriz pelo seu amor e companheirismo.

Aos docentes dos Programas de Pós-graduação da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, ENSP/Fiocruz.

À professora Cristina Catita da Universidade de Lisboa por ter me recebido e pelos seus valiosos ensinamentos.

Aos professores Dra. Antônia Turkman e Dr. Feridun Turkman do Dept. de Estatística da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa pelo trabalho conjunto.

Às agências financiadoras deste estudo: FIOCRUZ, CAPES, FAPERJ.

À Hattie Cobb pela ajuda e paciência na correção dos textos.

À Secretaria Selma Ribeiro do Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente pela constante paciência e profissionalismo.

Ao Fabricio Thomaz de Oliveira Ker pela inestimável ajuda na coleta dos dados.

Aos técnicos da Secretaria de Saúde e da Secretaria de Planejamento Urbano do Município de Coronel Fabriciano pelos dados e por ceder a imagem *Ikonos* e as *shapefiles* da cidade.

Aos meus amigos de morada: Robson Bruniera, Vinicius Belo, David Soeiro, Arnaldo Couto, Gil Fernandes e ao Isaac, o gato.

Aos meus amigos da ENSP que juntos passamos por todo o processo: Carlos Matias, Poliane Rodrigues, Cleber Cremonese, Chico Pedra, Antônio Luzardo, Róber Bachinski, Selma Patrícia, Adalberto Miranda, Elaine Sayão, Lidiane Toledo, Carla Barreto.

Aos amigos do Dept. Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, Ana, João Catalão, Carlos, Pedro, Paula, Kelly, e a Dona Rosa da Residência da Paz, pela atenção e carinho do convívio diário.

À Vice-Presidência de Ambiente, Atenção e Promoção da Saúde da Fiocruz e ao Cievs/Fiocruz.

Aos amigos de Brasília.

A todos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho.

Sumário

TÍTULO	PÁGINA
LISTA DE ABREVIATURAS	7
RESUMO / ABSTRACT	8/9
INTRODUÇÃO – O ESTADO DA ARTE	10
OBJETIVO GERAL / OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
ÁREA DE ESTUDO	24
APRESENTAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS	26
CAPÍTULO 1 – INDICADORES SOCIAIS E DENGUE: UMA ANÁLISE CRÍTICA Artigo: Socioeconomic Determinants and Dengue Fever: a Literature Review.	27
CAPÍTULO 2 – O ESPAÇO GEOGRÁFICO Artigo: Uso de indicadores na avaliação dos efeitos da expansão urbana sobre a estrutura da paisagem: um estudo de caso.	42
CAPÍTULO 3 – O ESPAÇO GEOGRÁFICO E A DENGUE Artigo: Os efeitos do crescimento urbano sobre o processo de saúde e repercussões da dengue: um estudo de caso.	68
CAPÍTULO 4 – UM OLHAR SOBRE O AMBIENTE E A DENGUE Artigo: Temporal and spatial relationship by environmental factors as an effective prediction for occurrence of dengue fever: Case study.	91
CAPÍTULO 5 – A TRANSMISSIBILIDADE DA DENGUE Artigo: Estimating the dengue fever transmission in a mid-size city in Brazil.	114
CAPÍTULO 6 – INDICADORES SOCIAIS E DENGUE: UM ESTUDO DE CASO Artigo: Increase of Dengue Associated with Social Factors: a Spatial-Temporal Evaluation.	132
CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

Lista de Abreviaturas

CID Código Internacional de Doenças

CNUMAD Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento

CVE Centro de Vigilância Epidemiológica

DATASUS Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

DLNM Distributed lag non-linear Model

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH Índice de Desenvolvimento Humano

GEE Generalized Estimating Equations

LISA Local Indicator Spatial Association

MS Ministério da Saúde

OR Odds ratio

RR Risk Ratio

SEIFA Socioeconomic index for areas

SES Secretaria Estadual de Saúde

SIG Sistemas de Informações Geográficas

SINAN Sistema Nacional de Agravos de Notificação

SUS Sistema Único de Saúde

Resumo

A presente dissertação engloba seis estudos que enfocam os fatores socioambientais que influenciam a vulnerabilidade local à dengue. Métodos estatísticos foram aplicados para analisar por um período de 14 anos (1999-2013), com destaque para 2008 e 2009, a incidência cumulativa de todos os casos de dengue registrados na população de Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil. Dados socioeconômicos e sociodemográficos, e variáveis, tais como, tamanho da população, educação, ocupação, riqueza e as condições de vida, complementaram a coleta de dados. Estes foram mapeados por incidência de dengue para comparar o padrão espacial global da doença por meio de ferramentas de análise espacial. Os resultados deste estudo mostram que a expansão urbana pode exercer um efeito sobre as taxas de dengue na região, de modo que aqueles locais com crescimento recente e desordenado, sem ainda condições ideais de infraestrutura urbana, podem se tornar hotspots de distribuição de casos, aumentando assim o risco de novas epidemias. Os regimes pluviométricos e de temperatura da região podem determinar o risco de dengue uma vez que as chuvas propiciam condições ideais para a formação de criadouros para o mosquito vetor *Aedes aegypti*. Os resultados mostram que existe um período de tempo ótimo até a aparecimento da epidemia, dado que a chuva e a temperatura influenciam diretamente o período de incubação intrínseca e extrínseca do vírus da dengue. As epidemias de dengue verificadas ao longo dos anos se fazem de modo exponencial, com um grande aumento no número de casos em um breve período de tempo. Esse crescimento pode influenciar a força de infecção da doença, ou seja, a taxa com que o vírus é passado das pessoas susceptíveis para o vetor, e novamente para a população susceptível, sustentando assim a epidemia. Os dados sugerem o efeito de variáveis socioeconômicas sobre as taxas de incidência de dengue e sua distribuição no espaço, além de encontrar relações com aqueles locais que experimentou aumento ou redução da doença. Os resultados mostraram a complexidade dos fatores associados à incidência de dengue no município de Coronel Fabriciano, que envolve fatores socioambientais urbanos, em diferentes escalas espaciais e temporais.

Palavras-chave: Dengue, Análise Espacial, Indicadores Socioambientais, Saúde Pública.

ABSTRACT

Focusing on the socio-environmental factors that influence local vulnerability to dengue, statistical methods were applied to analyse the cumulative incidence of all reported dengue cases in the population of Coronel Fabriciano, Minas Gerais State, Brazil, for a period of 14 years (1999-2013), especially in 2008 and 2009. Socioeconomic and demographic data, and variables such as population size, education, occupation, wealth and living conditions, complemented the data collection. These data were mapped by dengue incidence to compare the overall spatial pattern of disease through spatial analysis tools. The results of this study show that there is a range of studies that try to understand the relationship between socioeconomic variables and dengue; however of much these relationships have the immeasurable effect on the local reality, which often cannot be duplicated or included in models that are applied to understanding the relations in other geographic regions. Urban growth can have an effect on rates of dengue, so that those districts with recent growth and bad conditions of urban infrastructure can become hotspots in the distribution of cases, thus increasing the risk of new epidemic episodes. Rainfall and temperature are directly linked to epidemic onset through the lag-time of 10-12 weeks. Dengue epidemics occur exponentially with an increase in the number of cases in a short period of time. This growth can influence the force of infection, thus supporting the epidemic. The data presented here suggest the effect of socioeconomic factors on incidence rates of dengue and its distribution in space. The results showed the complexity of the factors associated with the incidence of dengue in the city of Coronel Fabriciano involving urban environmental factors at different spatial and temporal scales. The consideration of these factors in the planning of public policies is of great importance to deal with this serious problem of urban health.

Key-words: Dengue, Spatial Analysis, Socio-economic Indicators, Environmental Indicators, Public Health.

Introdução

O Estado da Arte

A atividade desordenada de uso e ocupação da terra impulsionada pelo modelo econômico vigente e o crescimento populacional tem resultado na degradação, fragmentação e esgotamento dos recursos florestais (Nascimento et al., 2006). A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992, enfatizou essas preocupações, posteriormente evidenciadas em diversas conferências complementares (FAO, 2000). Além disso, as mudanças ocorridas nas características de uso da terra decorrentes do desmatamento têm provocado efeitos negativos sobre a manutenção da biodiversidade, reduzindo as grandes áreas de florestas a fragmentos, trazendo consequências danosas para o conjunto de seus organismos (Murcia, 1995). Uma das grandes consequências do processo de fragmentação e de perda de *habitats* naturais é a aproximação de organismos vetores e reservatórios de patógenos aos ambientes antrópicos. A interação entre espécies silvestres, aquelas invasoras e o homem nos ambientes rurais e urbanos trouxe uma série de doenças que afetam milhões de pessoas por todo o planeta (Lenzi, 2008). Tais doenças infecciosas constituem hoje uma das maiores ameaças à saúde humana, tornando-se dessa forma, na visão atual, um problema ecológico e não somente um problema médico. Os patógenos desempenham um papel crucial na manutenção da coexistência e diversidade das espécies e na maneira que os ecossistemas funcionam (Dobson, 1998). Agregar ferramentas ecológicas para a análise das relações parasíticas que envolvem o ser humano é de fundamental importância nos dias de hoje.

Um aspecto biofísico relevante diz respeito à diversidade biológica, especialmente à diversidade faunística. Vários dos processos infecciosos focais de uma região, especialmente os virais, dependem de insetos hematófagos (vetores) para a sua transmissão (arboviroses) (Confalonieri, 2005). Quanto maior a diversidade de espécies

animais (vertebrados e invertebrados) em uma dada região, maiores os riscos de emergência de processos infecciosos novos (Wolfe et al., 2000). Para ilustrar esse aspecto, já foram identificados na Amazônia cerca de 195 tipos de arbovírus, sendo 32 deles capazes de infectar seres humanos (Rodrigues, 2004). Dentre estas arboviroses, ou infecções cujos agentes são vírus veiculados por artrópodes, destacam-se os mosquitos da família *Culicidae*, que desempenham um importante papel epidemiológico. A dengue e a febre amarela são arboviroses causadas pelo vírus flavivirus, e que possuem grande acometimento mundial (Forattini, 2002).

A dengue é considerada uma doença infecciosa em intensa expansão no mundo (Gubler, 2011). Cerca de três bilhões de pessoas encontram-se em risco de contrair o vírus e anualmente são registrados 50-100 milhões de casos de dengue clássica e cerca de 500 mil internações por febre hemorrágica, chegando a uma mortalidade de 5% nestes casos. A dengue configura-se como um problema de saúde pública, gerando gastos anuais de milhões de dólares (Dickin et al., 2013). O vírus da dengue é numericamente o mais importante arbovírus humano; possui quatro sorotipos diferentes (DENV 1, 2, 3 e 4) transmitidos no ambiente urbano pelo mosquito *Aedes aegypti*. O vetor está amplamente associado às atividades antrópicas, que disponibilizam sítios de oviposição artificiais e permitem a manutenção de sua infestação (Wermelinger et al., 2012). Os centros urbanos configuram-se como favorecedores da dispersão e aumento da densidade do mosquito, já que o espaço social organizado influencia a interação entre o vetor, vírus e homem (Forattini, 2002); e assim, diversos fatores de risco estão relacionados com presença da doença e do vetor. Tauil (2001) destaca como fatores fundamentais para definir o padrão de transmissão: crescimento populacional, migrações, viagens aéreas, urbanização inadequada, mau funcionamento dos sistemas de saúde e densidade populacional.

A crescente incidência da dengue nas últimas décadas requer estratégias efetivas e eficientes para o enfrentamento desses complexos processos ecológico-epidemiológicos pelos serviços de saúde pública no Brasil. Tradicionalmente, a principal estratégia para o controle do *Aedes aegypti* tem sido o uso intensivo de inseticidas para a eliminação do mosquito adulto ou de suas larvas (Lima et al., 2006). Entretanto, a política adotada ao centrar seu objetivo principal na eliminação do vetor, pelo uso de praguicidas, com constante aumento da resistência, e não por ações integradas voltadas para os elementos socioambientais geradores de risco não logram alcançar a efetividade esperada (Marten, 2001). A dengue é um exemplo de como as atividades humanas criam as condições ambientais que determinam se a doença proliferará ou desaparecerá.

As situações de nocividade decorrentes das más condições socioculturais, educacionais, de habitação, de saneamento ambiental, do padrão de consumo gerador de resíduos, do regime de custos e ao clima se somam no processo de causalidade de doenças como a dengue, de modo que ainda se evidencia que é grande o número de enfermidades transmitidas por vetores associados à disposição inadequada de resíduos sólidos, à insuficiência ou ausência de sistemas de drenagem, de esgotamento e de abastecimento de água tratada (Sommerfeld & Kroeger, 2012). As situações de risco ambiental e sua capacidade morbígena são decorrentes de relações insustentáveis do homem com o meio que lhe dá as condições materiais para o seu desenvolvimento. Assim, o ambiente faz parte do todo onde se realiza a vida humana e do qual não pode ser separado. Nesse processo, muitas das doenças infecto-parasitárias como a dengue são decorrentes das precárias condições sociais e ambientais e das ações antrópicas que invadem os nichos naturais de vetores e reservatórios naturais. A falta de saneamento ambiental e o desmatamento são exemplos de situações que pressionam o ambiente

criando condições nocivas (riscos) para o desenvolvimento destas doenças. Um modelo efetivo de controle da dengue requeria o direcionamento de recursos para ações integradas de promoção, proteção e prevenção em saúde, que abordassem o complicado quadro epidemiológico, relacionado não apenas com uma doença, mas com todas as doenças transmissíveis, interdependentes do saneamento ambiental (Augusto et al., 2005). Dessa forma, os recursos integrados seriam otimizados em favor das ações efetivas de vigilância em saúde.

Sob esta perspectiva, uma vigilância em saúde utilizando os variados aspectos ambientais pode compor um conjunto de ações que proporcionam o conhecimento e a detecção de alterações nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de recomendar e adotar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco e das doenças relacionadas à variação ambiental (Goldstein & Barcellos, 2008). Tal vigilância pode incorporar processos de produção, integração, processamento e interpretação de informações visando o conhecimento dos problemas de saúde existentes, relacionados aos fatores ambientais e a tomada de decisões. As ações dessa vigilância, neste caso, estariam voltadas para a avaliação do risco de dengue na população. Tal avaliação do risco é centrada no monitoramento das populações de vetores e todas as variáveis ambientais e sociais que influenciam suas dinâmicas populacionais, como o aumento de criadouros, interações complexas entre determinantes sociais, efeitos da temperatura e pluviosidade, entre outras. Os autores enfatizam que quando se trabalha com a gestão de risco, é necessário saber a maneira de se usar os recursos disponíveis na avaliação do risco, na análise econômica, na coleta de informações sociais e culturais, com a finalidade de melhorar seu manejo (Fernandes & Veiga, 1999).

Vários são os conceitos de risco, mas todos eles incluem a medida da probabilidade e da severidade de efeitos adversos ou a probabilidade de ocorrer doenças, resultando em ferimentos ou mortes. No contexto da gestão ambiental, o risco pode ser incluído na saúde pública, pois a saúde do homem e dos ecossistemas está na dependência de fatores econômicos, sociais e ambientais e é definida como gerenciamento da saúde ambiental. No processo de avaliação de risco encontra-se a identificação do perigo, a localização das causas e a estimativa da extensão dos danos, a caracterização sistêmica e científica do potencial adverso dos efeitos das exposições humanas a agentes ou atividades perigosas (Fernandes & Veiga, 1999).

O pano de fundo comum a esses eventos são políticas de desenvolvimento e uso de recursos que desprezam as potencialidades regionais, desconhecem a resiliência ambiental e a sustentabilidade ecológica de uma região, que não beneficiam as culturas tradicionais nem a distribuição de renda e não se preocupam com os riscos para a saúde. A extensão das transformações do meio natural e da degradação dos serviços ecológicos (benefícios obtidos pela sociedade pelo funcionamento dos ecossistemas), diretamente afeta a saúde humana. Os agravos associados principalmente às paisagens naturais por meio de modificação ou antropofização destas, freqüentemente, ocorrem de forma rápida, através de populações migrantes; agravos típicos de aglomerados urbanos e paisagens construídas, não sendo típicos da região, estando mais associados a hábitos e comportamentos da sociedade urbano-industrial moderna;

Os 50 milhões de casos anuais de dengue no mundo e o recrudescimento da filariose e da malária permitem questionar a competência dos responsáveis pelo controle dos vetores em relação a um freqüente emprego de inseticidas químicos (Campos & Andrade, 2001). A introdução no Brasil de vetores como o *Aedes aegypti* e o *Ae. albopictus*, revela a grande capacidade vetorial destas populações do mosquito e seus

reflexos no grau de domiciliação das espécies (Donalisio & Glasser, 2001). Por outro lado, o comportamento da população humana exerce grande pressão seletiva sobre a população do vetor neste processo de domiciliação. Aparentemente, estas espécies podem ter uma grande flexibilidade comportamental em seu grau de domiciliação. Trpis E Hausermann (1975) identificaram, na África, de onde provavelmente o *Ae. aegypti* é originário, três populações diferentes quanto ao grau de domiciliação: a população doméstica, que utiliza recipientes artificiais localizados no intradomicílio como criadouros preferenciais, local também de repasto sanguíneo e repouso; a população peridoméstica, que utiliza recipientes artificiais e naturais no peridomicílio como criadouros onde também realiza o repasto sanguíneo e o repouso; e a população silvestre que utiliza recipientes naturais localizados na floresta como criadouros e realiza o repasto e repouso, também na floresta (Forattini, 2002). A população silvestre pode se dispersar e ser encontrada no habitat peridomiciliar, mas nunca no intradomiciliar. Apesar de ser um mosquito basicamente silvestre, serviços de vigilância epidemiológica de prefeituras vêm detectando a presença cada vez maior de *Ae. albopictus* em áreas urbanas, fato ainda carente de estudos e matérias publicadas (Forattini, 2002).

O crescimento populacional, a infra-estrutura urbana básica inadequada e crescimento exponencial do consumismo estão entre os responsáveis pelas condições que favorecem a transmissão da dengue (Galli & Chiaravalloti Neto, 2008). No Brasil, o nível endêmico de dengue já alterou os indicadores de morbidade, e a magnitude destas incidências nos últimos anos superou a de todas as outras doenças de notificação compulsória. O País foi responsável por 85% dos casos de dengue notificados nas Américas do Sul e Central, em 2006. O modelo de desenvolvimento atual é uma das forcas motrizes que condicionam as pressões sobre o ambiente, gerando situações de

risco e expõem as populações a nocividades que são responsáveis pelo aumento da demanda de doenças para os serviços de saúde (Augusto et al., 2005). A saúde, portanto, pode ser vista como um resultado histórico das condições socioambientais sobre o patrimônio, de forma que o ambiente pode tanto promover saúde quanto criar situações de risco para os indivíduos.

As taxas de incidência por dengue no Brasil, após sua instalação no Rio de Janeiro em 1986, vem crescendo progressivamente desde então (Torres, 2005), ampliando a área geográfica da doença que hoje está praticamente em todos os estados brasileiros. A chegada do vírus DEN-4 ao Brasil no final de 2011 expôs toda a fragilidade do sistema de saúde e de seu modelo de prevenção em evitar as epidemias esperadas com a chegada do novo sorotipo viral. A cada sorotipo de dengue que entrou no Brasil desde os anos 80 (DEN-1 em 1986, DEN-2 em 1991, DEN-3 em 2001 e DEN-4 em 2011) novas epidemias são esperadas e os modelos vigentes de controle e prevenção não deram conta das ondas epidêmicas que invadiram o país (Castro et al, 2012). Com a circulação dos 4 sorotipos no país, a complexidade da doença aumentou uma vez que novos grupos de população susceptíveis aparecem de tempos em tempos e em diferentes áreas geográficas.

Segundo Tran et al. (2004), por não haver vacina ainda disponível para a população (esta se encontra ainda em fase de ensaio de campo) ou tratamento específico disponível para a dengue, a única forma de prevenir a doença é aplicar estratégias de controle do vetor as quais exigem que áreas de risco e períodos de risco sejam identificadas. A heterogeneidade da incidência de dengue observada no tempo e no espaço reflete a complexidade dos fatores de risco envolvidos na transmissão da doença. Assim, torna-se importante o processo de mapeamento das áreas de risco para a vigilância ambiental em saúde dos municípios (Goldstein & Barcellos, 2008). A

localização espacial da informação no processo de gestão do ambiente e da saúde vem sendo cada vez mais valorizada, por indicar novos subsídios ao processo de vigilância por meio dos mapeamentos da área de risco, provendo um instrumento de ações coletivas e preventivas no contexto da gestão socioambiental. Além disso, as experiências acumuladas nos últimos anos no país vêm demonstrando a importância da participação efetiva das comunidades locais no planejamento, no desenvolvimento e nos resultados de projetos socioambientais. Com a utilização das técnicas de análise espacial, podem-se sobrepor informações socioambientais que permitam melhor localização das problemáticas a serem estudadas, facilitando o planejamento de ações por parte do poder público e da comunidade (Wen et al., 2006). Essas ferramentas fornecem subsídios para a elaboração de estratégias e ações direcionadas ao planejamento, conservação, preservação e gerenciamento socioambiental. Diversos estudos atualmente se baseiam em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como ferramentas de suporte para análise de variantes socioeconômicos e ambientais na determinação dos padrões de transmissão da dengue em diversas localidades no mundo inteiro (Flauzino et al., 2009). A eficiência desses recursos tecnológicos, aliados aos conhecimentos técnico e teórico, possibilita a esses autores modelarem as relações de distribuição da doença em função de inúmeros outros fatores.

Modelagens dinâmicas da dengue podem ajudar a entender, localmente, a influência dos diferentes parâmetros e, em larga escala, os mecanismos gerais que determinam a força de infecção da doença. Associado às modelagens teóricas, atualmente, o estudo da paisagem está sendo integrado ao planejamento regional em diversos países, tornando-se um recurso que permite avaliar diversos atributos relativos à vida urbana com rapidez e eficácia, quando aliada às técnicas de sensoriamento remoto podendo, ainda, ser viável econômica e tecnicamente, nas questões de

planejamento urbano e regional e de uso racional do solo (Friel et al., 2011). Atualmente, além dos mapas temáticos em diversas escalas, outras fontes de informação cartográfica são preconizadas para a avaliação da paisagem, entre elas as imagens obtidas por sensores a bordo de satélites, as fotografias aéreas, os SIGs, a modelagem e os modelos fractais, estes últimos referentes ao processamento digital de imagens sendo que a análise dos impactos antropogênicos é de grande importância nos estudos de planejamento urbano e regional (Wen et al., 2006).

Assim, associar ferramentas de análise de imagem para a avaliação de risco de dengue e outras doenças é de grande importância. Um exemplo é o monitoramento da transmissão de dengue em diversas populações no mundo inteiro utilizando as condições climáticas e socioeconômicas como co-variáveis explicativas. Variáveis como os níveis de precipitação de uma região, ou temperatura associada à presença da doença ou à estrutura populacional do vetor são usadas para monitorar o risco da transmissão de dengue (Day & Shaman, 2008). Outros estudos também estão ligados a estimativas rápidas da população de *Aedes* em áreas urbanas (Williams et al., 2008), e utilizando a internet como base de dados para acesso de todos (Sucaet et al., 2008), ou a montagem de base geográfica de informações modelo para estudos em vigilância e saúde e meio ambiente objetivando identificar estratégias de ações sanitárias de acordo com práticas ambientais localmente diferenciadas (Gondim & Monken, 1999). Estas ferramentas funcionam, em ação conjunta com indicadores ambientais de saúde, como veículo de informação destinada a tomada de decisões (Hacon, 2004). Estes estudos se enquadram dentro de um enfoque ecossistêmico de saúde e qualidade de vida (Minayo, 2002).

Torres (2005) considera que existam fatores macro e microdeterminantes para que numa região ocorra uma epidemia de dengue. São fatores macrodeterminantes:

latitude, altitude, temperatura, umidade, regime pluviométrico, mudanças climáticas, densidade populacional, migrações, turismo, urbanização não planejada, moradias inadequadas, escoamentos entupidos, qualidade do abastecimento de água (ausência ou intermitência de água corrente, água armazenada, recipientes em mau estado e destampados), coleta inadequada de resíduos sólidos, estado sócioeconômico da população, hábitos e costumes, formas de organização comunitária, legislação sobre saúde e ambiente e qualidade e equidade do sistema de saúde pública. Entre os fatores microdeterminantes destacam-se: estado de imunidade, idade, sexo, etnia, histórico de enfermidades, estado nutricional, fatores genéticos, o sorotipo circulante, nível de viremia, densidade vetorial, capacidade vetorial, resistência do vetor, susceptibilidade do vetor à infecção viral.

Como denota a **Tabela 1**, diversos modelos atualmente preconizam a gestão direcionada para a proteção da saúde, com a coleta conjunta de informações adicionais que interferem diretamente no ciclo das doenças como a dengue (Augusto et al., 2005). A interdependência entre saúde, desenvolvimento econômico, qualidade de vida e condições ambientais vem sendo reconhecida de modo geral, na comunidade científica e na constituição das políticas sociais, pois a saúde das populações humanas é inter-relacionada às condições ambientais e às dinâmicas sociais. Assim, muitas variáveis são identificadas como sendo de importância no universo de transmissão da dengue e, da mesma forma, poderiam ser incluídas em indicadores de risco de dengue que levassem em consideração os múltiplos aspectos da complexa rede de interações que determina a chance de um evento de dengue; e não somente se basear em índices entomológicos de contagem larvária.

Tabela 1. Variáveis indicadores para a vigilância da dengue a ser utilizada em modelos preditivos de risco em nível regional

Nível	Indicadores	Fonte
Força motriz	Taxa de crescimento urbano Percentual da população abaixo da linha de pobreza Existência de políticas de desenvolvimento urbano, saneamento e habitação Área coberta pelo programa nacional de saneamento ambiental Gasto com saneamento Área destinada para o interesse social Fiscalização do cumprimento da resolução 20/86 do Conama Taxa de alfabetização Taxa de evasão escolar Taxa de escolaridade Inclusão do tema saúde ambiental no ensino fundamental Existência de fóruns de discussão sobre saúde e ambiente	IBGE, SES, SMS,
Pressão	Percentual da população atendidas por rede de água tratada Percentual da população sujeitas à intermitência do abastecimento de água Percentual da população atendidas por coleta de lixo Percentual da população atendidas por coleta de lixo regular Volume de resíduos sólidos domésticos coletado e tratado Percentual de recipientes / reservatórios com foco de vetores Percentual da população vivendo em moradias sem instalações hidráulico-sanitárias	IBGE, Companhia de água, Prefeituras, Funasa
Estado	Consumo per capita de água (litros/hab. Dia) Número de ponto de água por domicílio Percentual da população próximo a ponto de lixo Número de habitantes por cômodo Intermitência no abastecimento de água por bairros Condições de abastecimento de água por domicílio Índices pluviométricos	IBGE, Concessionárias de água, prefeituras
Exposição	Percentual da população exposta ao vetor Índice de infestação predial / Breteau Índice de densidade por meio de ovitrampa Cobertura de atividades de informação por área de risco	SMS, SME, Funasa
Efeito	Sorotipos circulantes Casos notificados e confirmados de dengue clássica Formas severas Estratificação das notificações Dengue com histórico de doenças previas como desnutrição, anemia, alergia, hepatite	Sinan, SMS

Tais variáveis, categorizadas em diferentes níveis, poderiam ser utilizadas para modelos preditivos utilizando diferentes municípios como unidades básicas de análise. A tabela 1 mostra uma modificação do modelo Força-Motriz concebido por Silva & Andrade Filho (2004) que expõe os múltiplos indicadores e seus respectivos níveis que podem ser adotados em índices de risco de dengue em uma determinada unidade geográfica. Nota-se a necessidade de validar matrizes como está em um processo participativo junto com os atores sociais que conformam as redes sociais, técnicas e

institucionais envolvidas na problemática da dengue. Modelos como esse permite a utilização de informações sem que esta tenha uma hierarquia pré-definida. Assim, dependendo da força motriz identificada, outros indicadores poderiam ser transferidos de nível. Permite a construção de indicadores de impacto na relação saúde-ambiente e fornece subsídios para o fortalecimento da tomada de decisão, uma vez que possibilita acompanhar o desempenho das ações de intervenção, controle e prevenção da dengue no país.

Objetivo geral

- O objetivo geral deste estudo foi analisar os condicionantes socioambientais, a influência urbana, associados à incidência de casos de dengue frente aos diferentes aspectos que figuram por trás de uma epidemia, utilizando dados de Coronel Fabriciano, um município de 100 mil habitantes em Minas Gerais, que vem apresentando anualmente uma das maiores incidências de dengue no estado e no Brasil.

Objetivos Específicos

- Analisar as características epidemiológicas da dengue no município de Coronel Fabriciano no período de 1999 a 2013;
- Avaliar os efeitos do crescimento urbano e de variáveis climáticas sobre os casos de dengue;
- Integrar as informações socioambientais urbanas com os dados de incidência de dengue do município de Coronel Fabriciano em um Sistema de Informação Geográfica;
- Desvelar os efeitos de determinantes socioambientais relacionando-os à urbanização e influências nos casos de dengue.

Área de Estudo

Este estudo foi desenvolvido utilizando como base os dados sócioeconômicos e de número de casos de dengue do município de Coronel Fabriciano, MG, entre 1999 e 2013. Coronel Fabriciano situa-se na mesorregião do Vale do Rio Doce e microrregião de Ipatinga e localiza-se a nordeste da capital do estado, distando desta cerca de 200 quilômetros. Sua população foi estimada em 2012 pelo IBGE em 104 637 habitantes, sendo o 27º mais populoso do estado de Minas Gerais. Sua área é de 221,049 km², sendo que 13,1549 km² estão em perímetro urbano. Está situado na Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA), onde também localizam-se as companhias siderúrgicas Usiminas e a Aperam South America, as quais foram essenciais para o desenvolvimento da cidade.

O clima do município é caracterizado, segundo o IBGE, como tropical quente semiúmido (tipo Aw segundo Köppen), tendo temperatura média anual de 21,6 °C com invernos secos e amenos (raramente frios) e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas. Os meses mais quentes, fevereiro e março, têm temperatura média de 23,9 °C, sendo a média máxima de 29,2 °C e a mínima de 18,5 °C. E o mês mais frio, julho, de 18,1 °C, sendo 24,8 °C e 11,5 °C as médias máxima e mínima, respectivamente. A precipitação média anual é de 1254,6 mm, sendo julho o mês mais seco, quando ocorrem apenas 11,4 mm. Em dezembro, o mês mais chuvoso, a média fica em 257,1 mm. Nos últimos anos, entretanto, os dias quentes e secos durante o inverno têm sido cada vez mais frequentes, não raro ultrapassando a marca dos 30 °C, especialmente entre julho e setembro. A vegetação do município tem predomínio de Mata Atlântica. Com 98% de seus habitantes vivendo na zona urbana, o município contava, em 2009, com 42 estabelecimentos de saúde. O seu Índice de Desenvolvimento

Humano (IDH) é de 0,755, classificado como elevado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

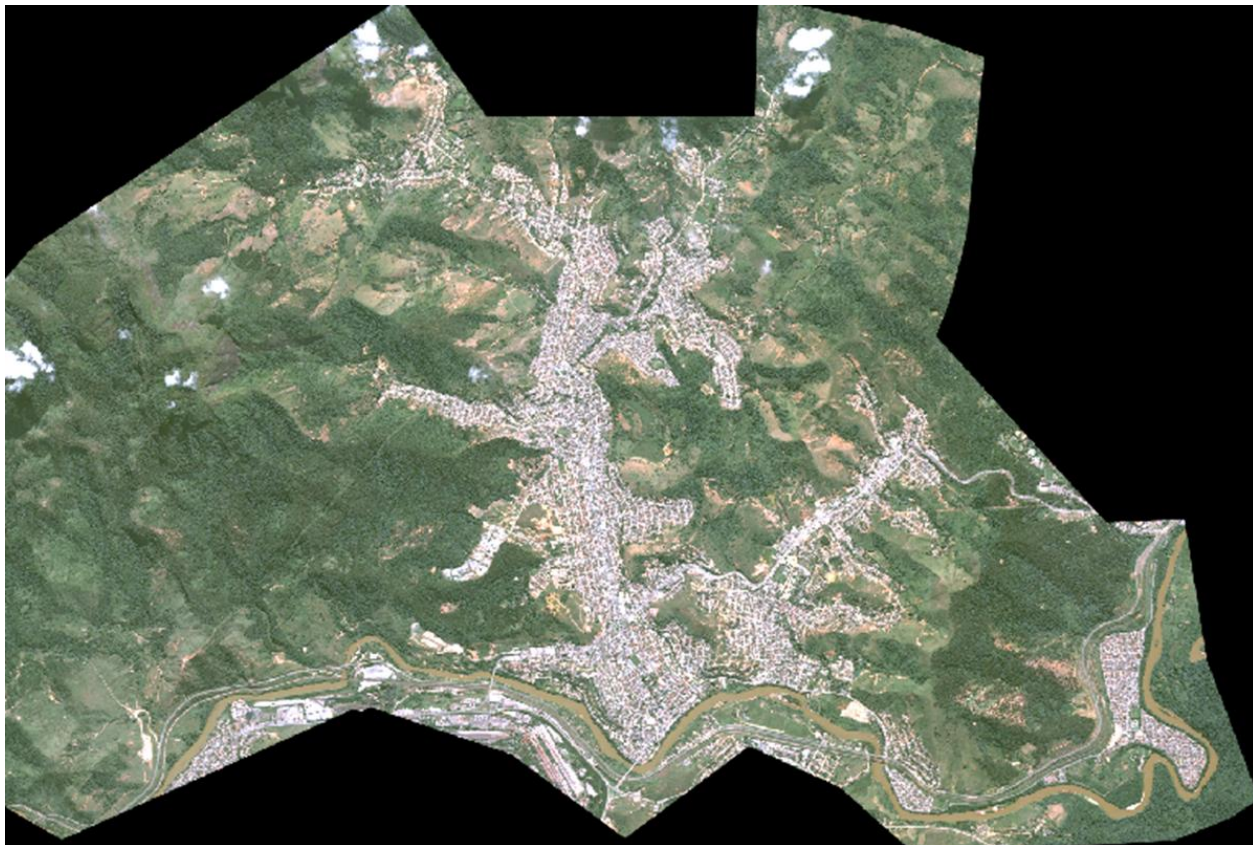


Figura 1. Imagem do Satélite Ikonos do município de Coronel Fabriciano no ano de 2008.



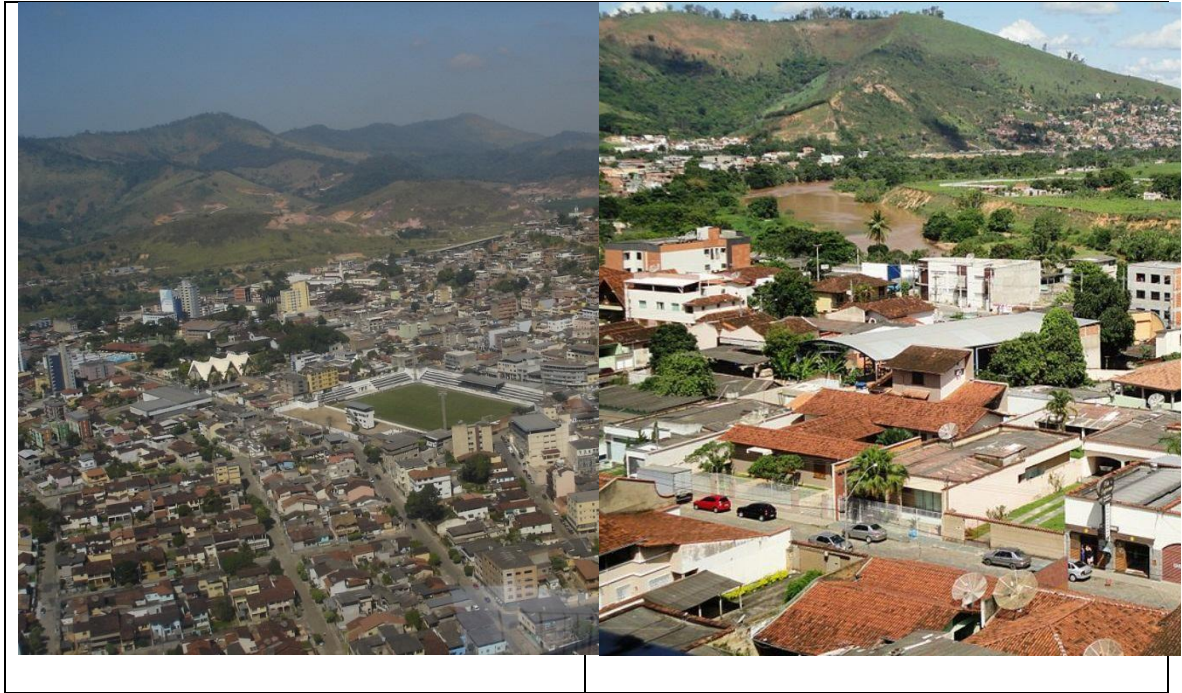


Figura 2. Fotos do município de Coronel Fabriciano. Fonte: commons.wikimedia.org

Apresentação dos dados e resultados

Quanto aos aspectos metodológicos, com intuito de melhor abordar o tema, esta tese foi confeccionada em forma de artigos e seus capítulos referem-se aos textos dos diferentes manuscritos os quais foram publicados, ou submetidos ou em revisão para submissão, abarcando, assim, as variáveis exploradas no contexto do objeto desta investigação.

Capítulo 1

Indicadores sociais e dengue: uma análise crítica

Socioeconomic Determinants and Dengue Fever: a Literature Review

Marco Aurélio P. Horta, Vinicius Belo & Aldo Pacheco Ferreira

Status: artigo em revisão

Introduction

Dengue fever (DF) is a widespread viral disease that affects millions of people annually and is inserted in a complex social context in addition to other community-level features (Gubler 2012). Geographical expansion of dengue incidence in most Central and South America, Africa and Southeast Asia is a result of the vector geographic expansion, the *Aedes aegypti* mosquitoes and of the urbanization process that provided special conditions to increase the transmissibility and the contact rate among people and the vector. (Diaz-Quijano & Waldman 2012). Studies reveal that increasing outdoor dengue transmission, lower herd immunity, human movement and shift of vector control emphasis were some possible reasons for the upsurge of dengue (Barmak et al 2011; Teurlai et al 2012).

Vector control programs have been implemented throughout the world following local characteristics that better induce mosquito proliferation. In some countries there has been a change in emphasis from vector surveillance to case detection focusing source reduction. Implemented measures include adulticidal fogging, active search for larvae, and various prevention activities according to the standard operation procedure found in each country (Hii et al 2012). In addition, Geographical Information System has been added to enhance analysis of distribution of dengue cases, *Aedes* mosquitoes and weather data (Jeefo et al 2011). This brings a contribution to those surveillance

systems who have revised dengue control strategy and put in place integrated dengue surveillance and control programs which involve active vector surveillance; vector control; public education and community involvement; as well as research and development (Sommerfeld & Kroeger 2012; Griffiths et al 2013; Mayxay et al 2013).

Authors have shown that socioeconomic features in a region could have impact on DF incidences, feeding characteristics and survival rate of *Aedes* mosquitoes. Thus DF cases and its transmission patterns, as a function of social characteristics around households and districts, is represented by a wide dataset available in the literature from the last ten years (Nagao et al 2003; Koyadun et al 2012). The association between weather and dengue incidence is well documented (Chowell et al 2011), however studies about the influence of socioeconomic determinants in the increasing intensity and magnitude of dengue incidence in recent years, especially in endemic countries, is yet to be established. In this study we reviewed the literature in which the authors measured the relationship between dengue and socioeconomic factors and further discussed the way these predictors are associated with intensity and magnitude of dengue cases.

Methods

The review was performed in May 2013, with a criteria-based search strategy for studies published between 2000 and 2013, in the following electronic databases: Lilacs, PubMed, Web of Science, EMBASE and Scielo. The key word used in the search was *dengue*. This key-word was combined with *socioeconomic* and *social* and *determinants* and *conditions*. Words were typed in English, Portuguese and Spanish.

All titles and abstracts of identified articles were analyzed and that deemed irrelevant were excluded. The full text of studies considered relevant or without

sufficient information in titles or abstracts for the decision was analyzed. An additional search was performed in bibliographic references of the relevant studies and of the systematic reviews concerning the topic of interest. Decisions concerning the inclusion or exclusion of articles were made jointly by all the researchers. Analytical or ecologic studies that used regression methods or risk analysis to assess the relationship between socioeconomic determinants and dengue, including the following outputs: OR (odds ratio), RR (Risk Ratio), regression coefficients and risk maps were included. Studies which dealt with socioeconomic factors and dengue in a subjective way without performing testing the relationship were excluded.

The studies were classified into four categories: Category A or Adequate; Category B or Undetermined; Category C or Inadequate; Category D or Not Utilized. Studies classified as A and B, were included. Studies classified as C and D were excluded from the review because they were considered inadequate. The results were matched to verify concordance and the discordant results were resolved by consensus. The researchers recorded the contents of each selected article into a database that included names of the authors, year of publication, location of study, base (analytical or ecological studies), sample type, size of population, dependent variable to estimate dengue fever, independent socioeconomic variable and the type of test used to assess the relationship. The evaluation by the reviewers was not blinded from the authors and the study results.

Results

A total of 976 articles were identified through the Pubmed online search, 384 through the Lilacs search and 124 through the Scielo search (Figure 1). Only 23 articles complied with inclusion and exclusion criteria with no additional paper being identified

from the references. Selected papers focus on information concerning the following countries: India, Mexico, United States, Brazil, Thailand, Taiwan, Costa Rica, Vietnam, Malaysia, Australia and Saudi Arabia, with 13 ecological studies based on census information and 10 analytical studies with selected populations (Tab. 1)

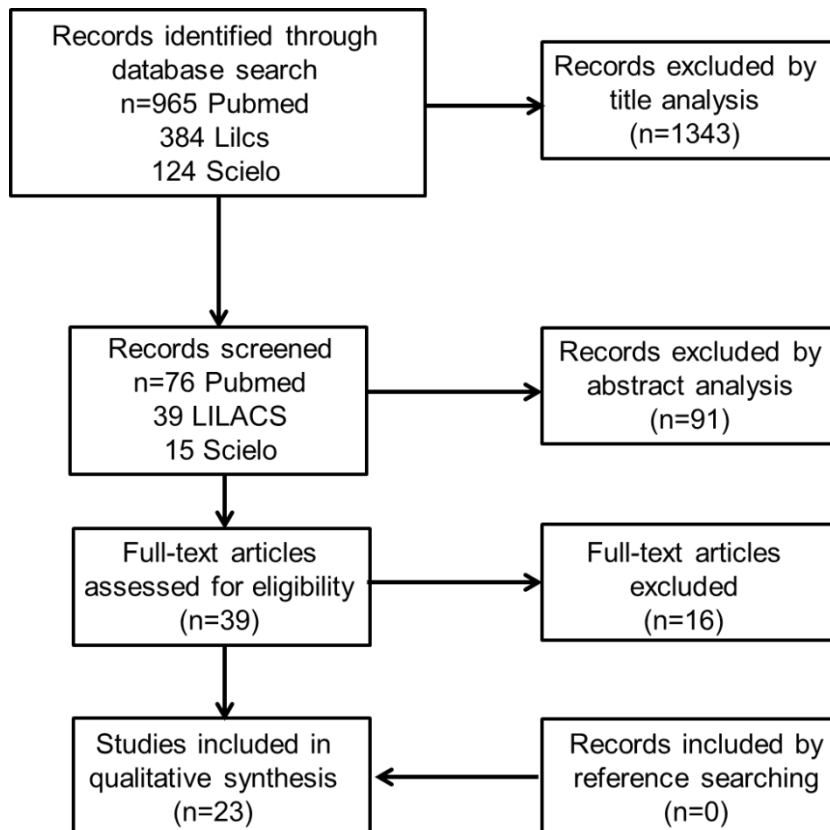


Figure 1. Fluxogram showing the process of article selection.

Table 1. Characteristics of studies included in the systematic review

#	Author	Year	Place	Base	N	Dep. Var.	Test used
1	Bohra	2001	India	A	allH	DF inc	OLM
2	Espiboza-Gomez et al	2003	Mexico	A	350	DF inc	Poisson
3	Reieter et al	2003	USA	A	622 H	IgG	Logistic
4	Siqueira et al	2004	Brazil	A	1600	IgM	Logistic
5	Vanwambeke et al	2006	Thailand	A	1750	IgM	Logistic
6	Mondini & Neto	2007	Brazil	E	Pop	DF inc	PCA
7	Nagao et al	2008	Thailand	E	Pop	mean age	OLM
8	Mondini & Chiaravalloti	2008	Brazil	E	Pop	DF inc	PCA
9	Teixeira & Medronho	2008	Brazil	E	Pop	DF inc	OLM
10	Wu et al	2009	Taiwan	E	Pop	DF Inc	SLR
11	Almeida et al	2009	Brazil	E	Pop	DF inc	OLM
12	Machado	2009	Brazil	E	Pop	DF inc	Pearson
13	Cordeiro et al	2011	Brazil	A	1291	DF Inc	Logistic
14	Mena et al	2011	Costa Rica	A	Pop	DF inc	Poisson
15	Schimdt et al	2011	Vietnam	A	75,000H	Admission rate	Logistic
16	Teixeira & Cruz	2011	Brazil	E	Pop	DF inc	GLM
17	Tipayamongkhongul	2011	Thailand	E	Pop	DF inc	OLM
18	Hassan et al	2012	Malaysia	E	Pop	DF inc	Risk map
19	Hu et al	2012	Australia	E	Pop	DF cases	Poisson
20	Khormi & Kumar	2012	SaudiArabia	E	Pop	DF cases	Risk map
21	Koyadun	2012	Thailand	A	1200H	DF cases	Logistic
22	Souza & Barata	2012	Brazil	E	Pop	DF inc	Risk strata
23	Chuc et al	2013	Mexico	A	348 H	DF cases	Logistic

H - Households

Of the 23 articles selected, social variables were extracted and separated into 14 different categories according to the socioeconomic aspect addressed: Density, Electric, Garbage, Health, House, Old, Own, School, Sewage, Transport, Urban, Water and Wealth . It is given below a brief summary of each category and the respective variables: *density*: population density and house density as the main variables and residents per house, mean number of occupants, number of children and woman/man ratio; *electric*: % of villages with electricity was the only variable with a non-significant relationship with dengue fever; *garbage*: households with waste collection, households without waste collection and the frequency of waste removal < 2 times a week were the variables; *health*: distance to the nearest health facility and villages with health station; *house*: the variables selected were type of construction material, spend days at house, one-story homes, mosquito protection, precarious households; *old*: age (>45, >50, >60,

>65, 15-50), aging index, elder population living alone; *own*: two variables found in one single study, % households which own land and % households which do not own any land; *road*: distance to the nearest road and % villages connected by roads were the two variables selected from 2 studies; *school*: years of schooling (also included here secondary school, population graduated, higher degree of studying, people with highschool), literacy status, % of villages with school, education status of the family head, children outside school; *sewage*: households with sewage system, households without sewage system, basic sanitation open air, basic sanitation cesspool; *transport*: one single study with the variables % of villages with buses, and households with trucks and motorcycles; *urban*: distance to the nearest urban area, number of factories, % area which is used for agriculture, % urban population, % degraded area, % urban area; *water*: households with water supply was the most observed variable, but also includes frequency of cleaning water storage containers, use of water cooler, protection/covering of water storage container, frequency of water supply, distance to the nearest well, water wells, water supply improvised, experience with water shortages (yes), water storage, experience with floods (yes), water around house; *wealth*: variables that take into account the poverty or wealth status of a place or population. Life condition index, wealth highest, socioeconomic grouping, birth rate, % households head receives no income, % residents with 2 minimum wages, social development index, Gini index, family income, socioeconomic index for areas (SEIFA), high socioeconomic level, monthly income of heads of households, dependency ratio, fecundity rate, human development index, poverty index, unemployment rate, life expectancy, increase in life expectancy, population growth rate, Gross National Product, poverty and miserable.

Table 2 provides the list of socioeconomic determinants and its association status with dengue fever according to the published papers. Population density, water

supply and years of schooling were the socioeconomic variables most addressed in revised studies with 14, 8 and 8 articles respectively. For all variables, different association status were found in different studies analyzed, taking into account the great heterogeneity not analyzed here, mainly because these studies have different population bases and considering different variables to estimate dengue fever. However, even considering studies of same base (analytical or ecological), there is variation in the results of the associations. When considering the variables water supply, house density, garbage collection, distance to health facility, literacy status and sewage system, the absence of association was the result most commonly found in the manuscripts reviewed. Population density was the variable with a higher number of studies presenting positive association with dengue fever (6), although other studies showed no association (5).

Table 2. Association status for social variables and dengue fever selected from published studies (numbers).

Variable	Association			
	Positive	Negative	Protective	No
Water supply	15	1, 9		7, 8, 11, 4, 22,
Population density	18, 8, 20, 21, 3, 23	17	15, 14	22, 7, 11, 4, 9
House density		1		17, 8, 4, 7
Garbage collection	8, 13	1		11, 22, 9
Distance to health facility	23		15	17, 7
Spend days at house	5		13, 5*	
Older age	21, 4, 2	10		13, 9
Years of schooling	21, 15, 8, 4		13, 23, 14	7
Literacy status	14			9, 8, 11
Sewage system		11	14	8, 9

*Two different locations

Discussion

The results presented in this review showed the heterogeneity of the data concerning socioeconomic factors that might explain dengue fever. This is a reflection of the complexity surrounding the universe of factors that determine the rates of dengue transmission. Geographic differences in the communities affected by dengue fever in different countries and continents, submitted to different regimes of rainfall,

precipitation and climatic changes, sociocultural histories and genetic variation of the *Aedes* mosquitoes makes the heterogeneity a key factor when analyzing a same variable collected in different regions.

Some points must be highlighted when we take into account socioeconomic factors and its relationship to dengue: a) some indicators used in different studies show a vision of local realities and thus, better reflect the conditions, vulnerabilities and needs of a community. Variables that may be important in a region or country, may not present the same importance in another country, thus reducing the ability of the researcher to condense the data available in the literature for further analysis. Furthermore, in ecological studies, many authors when choosing the variables for the models, take into account the availability of information for that region in systems or governmental databases, and many indexes or indicators are part of the social context of a country but not necessarily from another; b) how the authors interpret the strength and magnitude of dengue is also a factor of heterogeneity in data reviews which may bring bias and other potential confounders. In this review, the status of dengue has been translated into six different dependent variables in the regression models: incidence, seropositives IgG, IgM seropositives, mean age, admission rate in hospital and dengue cases. Each of them have epidemiological constraints that reflect a certain aspect of reality, but can leave out other aspects relevant or not for that study. The most analyzed dependent variable was the DF incidence, very common in ecological studies with the entire population of a city or town being used as the denominator in the calculation. However, some analytical studies also based the calculations on dengue incidence c) the statistical modeling to assess the strength of association between dengue and social variables also showed a varied pattern between studies. Observed models were constructed based on Ordinary linear, Poisson, Logistic, Generalized Linear and Spatially Lagged regression. Besides these, some studies used Principal Component

Analysis, risk strata and risk map for testing or visualizing the associations. Considering the intrinsic features and limitations of each method, we were able to expect a variation in response of presented associations due to the method used. Water supply, population density, and years of schooling, the most common variables, presented different types of association (Table 2), being evaluated by different tests, which do not favor the attempt to combine different results in a review study.

The variation in the significance pattern here termed as “statistically significant” at the 0.05 level may be of equal concern. Such associations found to be nonsignificant may be under effects of the sample size or other cofounder co-variables, which would in turn mask the real value of the association and thus cause a bias in the revision study. Some variables analyzed revealed odds ratios and risk ratios very close to 1, like those found in Schmidt et al (2011) for distance to hospital (OR=0.94; 0.93-0.96), Cordeiro et al (2010) for age with years (OR=0.99; 0.98-1.00), Espinoza-Gomez et al (2003) for older (>60) (RR=1.07), Reiter et al (2003) for mean number of occupants per residence (OR=1.1; 1.0-1.2); Chuc et al (2013) for no waste collection (OR=1.08; 0.55-2.12), Mena et al (2011) for population density (RR=0.99). Also, many variables computed by authors but not included in the final model due to the lack of associations in the correlation process before modeling were considered as no significant in this revision. These no significant associations; consequently, might become significant if collected with a different questionnaire or treated in a different database. In this case the regression method used also would influence the result of significance.

Our findings suggest that associations between socioeconomic factors and dengue might be better understood if they were investigated in a proper way that would homogenize the local variations found in the context of socioeconomic determinants. Important factors may cause a variation in the importance of the socioeconomic

indicator of dengue fever according to the sampled region. Different genetic variants of the DEN virus are spread throughout the world, causing epidemics in tens of countries each year and for each dengue serotype (DEN-1, DEN-2, DEN-3 and DEN-4). Different genotypes are found spread in different regions (Allicock et al 2013) and the variation in the force of infection and symptomology of each dengue serotype is a matter of discussion (Villabona-Arenas & Zanotto 2013). When dengue fever is treated as a single entity an imputed biased effect should be considered. Also, the presence and physiological conditions of a susceptible human population is requested for dengue epidemics to take place.

References

Allicock OM, Lemey P, Tatem AJ, Pybus OG, Bennett SN, et al. (2012) Phylogeography and Population Dynamics of Dengue Viruses in the Americas. *Mol Biol Evol* 29: 1533–1543.

Almeida AS, Medronho RA, Valencia LIO (2009) Spatial analysis of dengue and the socioeconomic context of the city of Rio de Janeiro (Southeastern Brazil). *Rev Saúde Pública* 43: 1-8.

Barmak DH, Dorso CO, Otero M, HG Solari. (2011). Dengue epidemics and human mobility. *Physical Review*:84: 011901-1

Bohra A, Andrianasolo H (2001) Application of GIS in Modeling of Dengue Risk Based on Sociocultural Data: Case of Jalore, Rajasthan, India. *Dengue Bull* 25: 92-102.

Chowell G, Cazelles B, Broutin H, Munayco CV. (2011). The influence of geographic and climate factors on the timing of dengue epidemics in Perú, 1994-2008. *BMC Infectious Diseases* 2011, 11:164.

Christian Juliaín Villabona-Arenas, Paolo Marinho de Andrade Zanotto. (2013). Worldwide Spread of Dengue Virus Type 1. *PLoS One*. 8(5): e62649.

Chuc S, Hurtado-Díaz M, Schilman A, Rojas-Rodríguez H, Rangel H, González-Fernández MI. (2013) Condiciones locales de vulnerabilidad asociadas con dengue en dos comunidades de Morelos. *Salud Pública de México* 55 (2): 170-178.

Cordeiro R, Donalisio MR, Andrade VR, Mafra ACN, Nucci LB, et al. (2011) Spatial distribution of the risk of dengue fever in southeast Brazil, 2006-2007. *BMC Public Health* 11 (355): 1-10

Díaz-Quijano FA, Waldman EA. (2012). Factors Associated with Dengue Mortality in Latin America and the Caribbean, 1995–2009: An Ecological Study. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 86(2):328–334.

Espinoza-Gómez F, Hernández-Suárez CM, Rendón-Ramírez R, Carrillo-Alvarez ML, Flores-González JC. Transmisión interepidémica del dengue en la ciudad de Colima, México. *Salud Pública de México* 45 (5): 365-370.

Griffiths K, Banjara MR, O'Dempsey T, Munslow B, Kroeger A. (2013). Public Health Responses to a Dengue Outbreak in a Fragile State: A Case Study of Nepal. *Journal of Tropical Medicine*, 2013: 158462.

Gubler DJ (2012) The economic burden of dengue. *Am J Trop Med Hyg* 86: 743–744.

Hafiz Hassan, Shamarina Shohaimi, Nor R. Hashim. (2012) Risk mapping of dengue in Selangor and Kuala Lumpur, Malaysia. *Geospatial Health* 7(1), pp. 21-25

Hii YL, Zhu H, Ng N, Ng LC, Rocklo J. (2012). Forecast of Dengue Incidence Using Temperature and Rainfall. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 6 (11): e1908.

Hu W, Clements A, Williams G, Tong S, Mengersen K (2012) Spatial Patterns and Socioecological Drivers of Dengue Fever Transmission in Queensland, Australia. *Environ Health Perspect* 120: 260-266.

Jeefoo P, Tripathi NK, Souris M. (2011) Spatio-Temporal Diffusion Pattern and Hotspot Detection of Dengue in Chachoengsao Province, Thailand. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 51-74.

Khormi HM, Kumar L (2012) Assessing the risk for dengue fever based on socioeconomic and environmental variables in a geographical information system environment. *Geospat Health* 6: 171-176.

Koyadun S, Butraporn P, Kittayapong P (2012) Ecologic and Sociodemographic Risk Determinants for Dengue Transmission in Urban Areas in Thailand. *Interdiscip Perspect Infect Dis* 2012: 1-12.

Machado JP, Oliveira RM, Souza-Santos R (2009) Spatial analysis of dengue occurrence and living conditions in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil. *Cad. Saúde Pública* 25: 1025-1034.

Mayxay M, Cui W, Thammavong S, Khensakhou K, Vongxay V, Inthasoum L, et al. (2013). Dengue in peri-urban Pak-Ngum district, Vientiane capital of Laos: a community survey on knowledge, attitudes and practices. *BMC Public Health*: 13: 434.

Mena N, Troyo A, Bonilla-Carrión R, Calderón-Arguedas O. (2011). Factores asociados con la incidència de dengue en Costa Rica. *Rev Panam Salud Publica* 29(4): 234-242.

Mondini A, Chiaravalloti Neto F. (2007). Socioeconomic variables and dengue transmission. *Rev Saúde Pública* 2007;41(6):923-930.

Mondini A, Chiaravalloti-Neto F (2008) Spatial correlation of incidence of dengue with socioeconomic, demographic and environmental variables in a Brazilian city. *Sci Total Environ* 393: 241–248.

Nagao Y, Svasti P, Tawatsin A, Thavara U. (2008) Geographical structure of dengue transmission and its determinants in Thailand. *Epidemiol. Infect.* 136: 843–851.

Reiter P, Lathrop S, Bunning M, Biggerstaff B, Singer D, Tiwari T, et al (2003). Texas Lifestyle Limits Transmission of Dengue Virus. *Emerging Infectious Diseases* 9 (1): 86-89.

Sommerfeld J, Kroeger A (2012) Eco-bio-social research on dengue in Asia: a multicountry study on ecosystem and community-based approaches for the control of dengue vectors in urban and peri-urban Asia. *Pathog Glob Health* 106: 428-435.

Schmidt WP, Suzuki M, Thiem VD, White RG, Tsuzuki A, et al. (2011) Population Density, Water Supply, and the Risk of Dengue Fever in Vietnam: Cohort Study and Spatial Analysis. *PLoS Med* 8 (8): e1001082

Siqueira JB, Martelli CMT, Maciel IJ, Oliveira RM, Ribeiro MG, Amorim FP, et al. (2004). Household survey of dengue infection in central Brazil: spatial point pattern analysis and risk factors assessment. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 71(5): 646–651.

Souza LS, Barata RCB. (2012) Intra-urbandifferentials in dengue distribution, Cuiabá, 2007-2008. *Rev Bras Epidemiol*; 15(4): 761-770.

Teixeira TRA, Medronho RA. (2008). Socio-demographic factors and the dengue fever epidemic in 2002 in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Cad. Saúde Pública* 24(9): 2160-2170.

Teixeira TRA, Cruz OG (2011) Spatial modeling of dengue and socioenvironmental indicators in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Cad. Saúde Pública*, 27: 591-602.

Teurlai M, Huy R, Cazelles B, Duboz R, Baehr C, Vong S. (2012). Can Human Movements Explain Heterogeneous Propagation of Dengue Fever in Cambodia? *PLoS Neglected Tropical Diseases* 6 (12): e1957.

Tipayamongkholgul M, Lisakulruk S (2011) Socio-geographical factors in vulnerability to dengue in Thai villages: a spatial regression analysis. *Geospat Health* 5: 191-198

P. C. Wu, J. G. Lay, H. R. Guo, C. Y. Lin, S. C. Lung and H. J. Su, "Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan", *Sci Total Environ.*, 407 (Suppl 7), 2009, pp.2224-2233.

Vanwambeke SO, Benthem BHB, Khantikul N, Burghoorn-Maas C, Panart K, Oskam L et al. (2006). Multi-level analyses of spatial and temporal determinants for dengue infection. *International Journal of Health Geographics* 5 (5): 1-16.

Capítulo 2

O Espaço Geográfico

Uso de indicadores na avaliação dos efeitos da expansão urbana sobre a estrutura da paisagem: um estudo de caso

Marco Aurélio Pereira Horta; Fabrício Thomaz Oliveira Ker; Aldo Pacheco Ferreira

Status: publicado na revista CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem Vol.5 – n.2 – julho/dezembro/2010, p. 56-77.

RESUMO

A expansão urbana pode exercer efeitos negativos nos processos naturais. A análise de paisagem busca, nesse sentido, fornecer ferramentas para o melhor planejamento urbano, objetivando uma melhor qualidade de vida da população e a preservação das áreas naturais. O objetivo deste estudo é descrever a estrutura da paisagem do município de Coronel Fabriciano, MG, detectando as mudanças ocorridas entre 1989 e 2009. O estudo abrangeu a paisagem referenciada em ortofoto de 1989, sendo georreferenciados o perímetro urbano e os fragmentos naturais, para classificação e comparação temporal. As unidades de paisagem foram subdivididas para contagem e execução dos índices e testes estatísticos. A paisagem do município de Coronel Fabriciano apresentou mudanças nas áreas das unidades urbana e matriz no período entre 1989 e 2009. Houve uma expansão urbana sob a matriz pastagem, mas não foram ocupadas as áreas semiurbanas. Não ocorreram alterações na área de remanescentes de floresta e eucalipto, mas com a expansão urbana, alteraram-se as bordas, sendo que os remanescentes passaram a sofrer maiores pressões da área urbana. As margens dos cursos d'água também apresentaram crescimento da área urbana. Os resultados aqui fornecem uma base geográfica de informações com possibilidade de subsidiar estudos pertinentes ao campo da vigilância ambiental e saúde.

Palavras-chave: Ecologia da Paisagem. Gestão Ambiental. Fragmentação. Expansão urbana. Conservação. Coronel Fabriciano.

ABSTRACT

Urban growth has negative effects on natural processes when the landscape is fragmented. Landscape analysis provides tools for better urban planning, aiming at better quality of life and preservation of natural areas. The aim of this study is to describe the structure of the landscape in the city of Coronel Fabriciano, Minas Gerais State, detecting the changes between 1989 and 2009. The study covered the landscape referenced orthophoto from 1989, the urban area and natural fragments were demarcated for purposes of classification and temporal comparison. The landscape units were sub-divided for counting and implementation of indices and statistical tests. Five landscape units were obtained. The landscape in the city of Coronel Fabriciano shows changes in the units of urban area and matrix (pasture) in the period between 1989 and 2009. We observed an urban growth over the pasture matrix. No changes were observed in the areas of remaining forest and eucalyptus, but with urban growth, some changes were seen in the edges. Natural fragmented areas have become closer to the urban area and suffered pressure from urban areas. The margins of watercourses also showed growth in the urban area. The results here provide basic geographic information with the possibility of supporting studies relevant to the field of environmental monitoring and health.

Keywords: Landscape Ecology. Environmental Management. Fragmentation. Urban Growth. Conservation. Coronel Fabriciano.

Introdução

A ação humana leva a uma continua mudança na paisagem, principalmente nas áreas altamente urbanizadas. A paisagem é um espaço que, quando visto ou descrito em termos de suas características fisiográficas e ambientais relacionadas com os impactos antropogênicos, é de grande importância nos estudos de planejamento urbano e regional. Forman & Godron (1986) definem a paisagem como uma superfície geográfica heterogênea, constituída por um grupo de ecossistemas que se repetem apresentando padrões semelhantes. Porto (1999) afirma que os estudos da paisagem compreendem desde uma mera descrição até uma tipificação ou classificação em

unidades homogêneas e desde estudos de percepção visual até a determinação da qualidade e fragilidade visuais, com uso intenso de técnicas estatísticas.

O termo "ecologia de paisagens" foi empregado pela primeira vez com abordagem influenciada pela geografia humana, fitossociologia e biogeografia, relacionadas ao planejamento do espaço. A ecologia de paisagens, com um enfoque ecológico adaptou as teorias de biogeografia de ilhas para o planejamento de reservas naturais (Metzger, 2001). Metzger (2001) propôs uma visão integradora do conceito de paisagens: "um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação". A ecologia de paisagens seria assim uma combinação de uma análise espacial da geografia com um estudo funcional da ecologia, na qual a problemática central é o efeito da estrutura da paisagem nos processos ecológicos nos quais envolvem a expansão urbana e fragmentação de habitats.

Atualmente, o estudo da paisagem está integrado ao planejamento regional em diversos países sendo, inclusive, fator determinante na implantação ou não de um projeto ou obra de engenharia, e seu emprego pode revelar informações intrínsecas ao mapa temático gerado a partir de uma imagem orbital, como o empobrecimento da qualidade visual de uma região, em consequência da implantação de uma obra de engenharia ou da ocorrência de um desmatamento. Dessa forma, a valoração da paisagem pode ser considerada um recurso que permite avaliar a qualidade visual ou cênica de uma região com rapidez e eficácia, quando aliada às técnicas de sensoriamento remoto podendo, ainda, ser viável econômica e tecnicamente, nas questões de planejamento urbano e regional e de uso racional do solo (Landovsky et al., 2006).

A análise dos componentes da paisagem, ou seja, os diferentes arranjos possíveis entre os mosaicos formados pela combinação de formas superficiais do terreno, aspectos bióticos e intensidades diferenciadas de antropização, podem fornecer informações valiosas a respeito da ocupação do uso da terra e dos efeitos do crescimento urbano sobre fragmentos de matas. A obtenção de imagens permite a realização de estudos temporais das tendências de ocupação da terra. Porém o que se tem de mais evidente são as regiões que tiveram sua cobertura alterada, seja por exemplo, pelo crescimento em dimensão das áreas agrícolas ou de reflorestamento ou pela mudança no estágio de desenvolvimento da vegetação. Atualmente, além dos mapas temáticos em diversas escalas, outras fontes de informação cartográfica são preconizadas para a avaliação da paisagem, como as imagens obtidas por sensores a bordo de satélites, as fotografias aéreas, os sistemas de informações geográficas (SIG), a modelagem e os modelos fractais (Porto, 1999).

Atualmente, com a intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, observa-se um intenso processo de substituição das paisagens naturais por outros usos do solo. Essas interferências convertem extensas e contínuas áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, cercados por áreas de reflorestamentos, pastagens, cultivos e edificações, afetando a disponibilidade e a qualidade de recursos naturais importantes à população de uma região (Valente, 2001; Missio, 2003).

É importante a conservação das paisagens naturais e urbanas, visto que há uma intensa interação quando a falta de organização urbana interfere negativamente nos processos naturais, afetando a qualidade destes recursos. Tendo em vista a aplicabilidade da ecologia de paisagens, no município de Coronel Fabriciano não há um planejamento urbano eficiente e por fatores históricos de ocupação, sofre com graves problemas ambientais. A necessidade de se compreender a paisagem é de grande

importância para buscar a integração da racionalidade ambiental e social à econômica, na ocupação e organização do espaço, visando priorizar a qualidade ambiental. Com base no diagnóstico ambiental é possível sugerir políticas, programas e projetos de desenvolvimento, priorizar as ações mais importantes no julgamento e avaliação dos problemas ambientais e definir os programas de ação para corrigi-los ou preveni-los (Missio, 2003). Atualmente, é necessário um planejamento de uso e ocupação da terra, que concilie a conservação dos remanescentes naturais com a expansão urbana, respeitando o entorno das áreas naturais (Missio, 2003).

O foco não está somente na conservação e proteção, mas também no desenvolvimento sustentável, no planejamento espacial e no manejo da paisagem. Burgi et al. (2004) consideram que quatro maiores desafios na pesquisa das mudanças na paisagem seriam, estudar os processos em relação aos padrões espaciais, extrapolar os resultados no espaço e no tempo, fazer o *link* entre as diferentes variáveis estudadas, além de considerar os aspectos culturais como transformadores da paisagem. Dessa forma, a crescente necessidade para o inventariamento, avaliação e o monitoramento da paisagem, demandam o desenvolvimento de indicadores da paisagem que podem ser úteis nas políticas públicas e podem, da mesma forma, serem utilizados como objeto de gestão na avaliação da saúde ambiental dos ecossistemas.

Haines-Young & Chopping (1996) propuseram que mudanças estruturais entre paisagens passadas e presentes pudessem ser identificadas por meio de índices de paisagens. Diversos autores vêm explorando a análise dos componentes da paisagem por meio das métricas de paisagem (Haines-Young, 2000; Dramstad et al., 2006; Uuemaa et al., 2007), e tais métricas, por meio de seus indicadores, representam uma potente ferramenta para o manejo e o planejamento urbano (Eetvelde & Antrop, 2009).

Existem diferentes noções de escala: escala espacial, geográfica, temporal e de percepção das espécies nas quais influem sobre o valor das métricas da paisagem, e logo, sobre a interpretação biológica que faríamos delas (Metzger, 2004). As ortofotos constituem uma excelente fonte de dados históricos para a compreensão do uso do solo em uma paisagem (Rodrigues et al., 2004). Para levantamento e caracterização do uso e ocupação do solo são necessárias técnicas de geoprocessamento para quantificação e qualificação da estrutura e definição dos padrões da paisagem. A escolha da utilização de ortofotos neste estudo possui uma razão: não existem registros históricos e detalhados de sensores digitais para a área de estudo, de modo que foi aliada o uso de ortofotos de 1989 à tecnologia do GPS. Este estudo teve como objetivo descrever a estrutura da paisagem, por meio da obtenção de imagem morfológica discriminando as unidades componentes desta paisagem a partir de fotografias aéreas verticais pancromáticas, na escala 1:10.000, detectando as mudanças ocorridas no município de Coronel Fabriciano no intervalo de 20 anos, analisando suas implicações ambientais como consequência do processo de crescimento urbano.

Material e Métodos

Área de Estudo

O estudo foi conduzido no município de Coronel Fabriciano, Minas Gerais (19° 31' 07" S; 42° 37' 44" W). O município está situado na bacia do rio Piracicaba e integra a região Metropolitana do Vale do Aço, na região Leste do estado, que também conta principalmente com as cidades Ipatinga e Timóteo. O município estende-se por uma área de 221 km². Sua população estimada pelo IBGE em 2007 é de 100.805 habitantes. Coronel Fabriciano é sede regional de importantes órgãos do Estado, como a Gerencia

Regional de Saúde (GRS). A região do Vale do Aço destaca-se por abrigar um dos maiores polos produtores de aço do Brasil e pela presença de empresas reflorestadoras de eucalipto, cuja área plantada ocupa uma grande área na região, assim como todas elas empregam milhares de pessoas (Figura1).

O município destaca-se também no quadro da saúde pela enorme quantidade de casos notificados de dengue nos últimos anos, uma típica doença bastante influenciada pela qualidade urbana e uso do solo. É uma cidade com uso intensivo dos solos, devido à grande área urbana e as monoculturas. Caracteriza-se por altas temperaturas médias anuais, com clima Tropical de verões quentes com temperatura média de 28,90° e, no inverno, médias de 17,10°. O índice médio pluviométrico anual é de 1.580mm. Todas estas variáveis juntas fornecem um grande palco para a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* e seu reflexo nos casos de dengue notificados.

No município de Coronel Fabriciano percebe-se falta de planejamento urbano eficiente, de forma que a cidade apresenta problemas ambientais que atingem a sociedade como a ocupação desordenada de áreas de risco como encostas íngremes e planícies de inundação, desabamento de casas por deslizamentos de terra e inundações na época de chuvas, exposição do solo, ficando inviável para construções e agricultura, assoreamento de cursos d'água, alteração do microclima do vale e a presença de doenças como dengue, dengue hemorrágico, febre maculosa, leishmaniose e esquistossomose. Como outro fator impulsionador do grande número de casos de dengue na região, estudos destacam as cidades brasileiras de tamanho médio com população em torno de 100 mil habitantes como as principais mantenedoras da dengue no país (Ministério da Saúde, 2007). Estudo realizado na região noroeste do Estado de São Paulo, incluindo o município de São José do Rio Preto, confirmou essa tendência cíclica e a importância

das cidades médias como locais com maior probabilidade de ocorrência da doença, exercendo o papel de irradiadores da transmissão (Mondini et al., 2005).

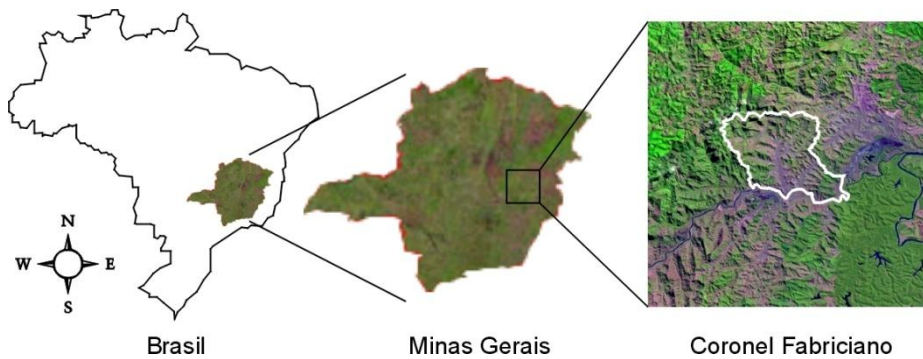


Figura 1: Imagem de estudo. Em destaque, a área urbana dos 221 km² totais do município de Coronel Fabriciano.

Amostragem

Foram obtidas ortofotos datadas de 1989, geradas pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) em 4 cartas na escala de 1:10.000. Estas cartas foram digitalizadas com definição de 400dpi e montadas para análise das imagens. Em um segundo momento, foi visitado e georreferenciados todo o perímetro do município incluindo a área urbana, as áreas naturais e de cultivo. Com o auxílio de GPS, foram obtidas as coordenadas geográficas do entorno destas áreas formando polígonos das áreas de interesse. Estas áreas formam as unidades de paisagem, e os dados obtidos a partir da análise destas áreas forneceram subsídios para a criação de mapas de uso e ocupação do solo de 1989 e 2009. A análise espaço-temporal da paisagem foi realizada através da comparação do mapa temático de uso e cobertura do solo, de 1989 (gerado a partir da confirmação com os dados georreferenciados, análise de textura, interpretação

visual da ortofoto, do conhecimento prático da área) com uma imagem atual Ikonos (Figura 2).

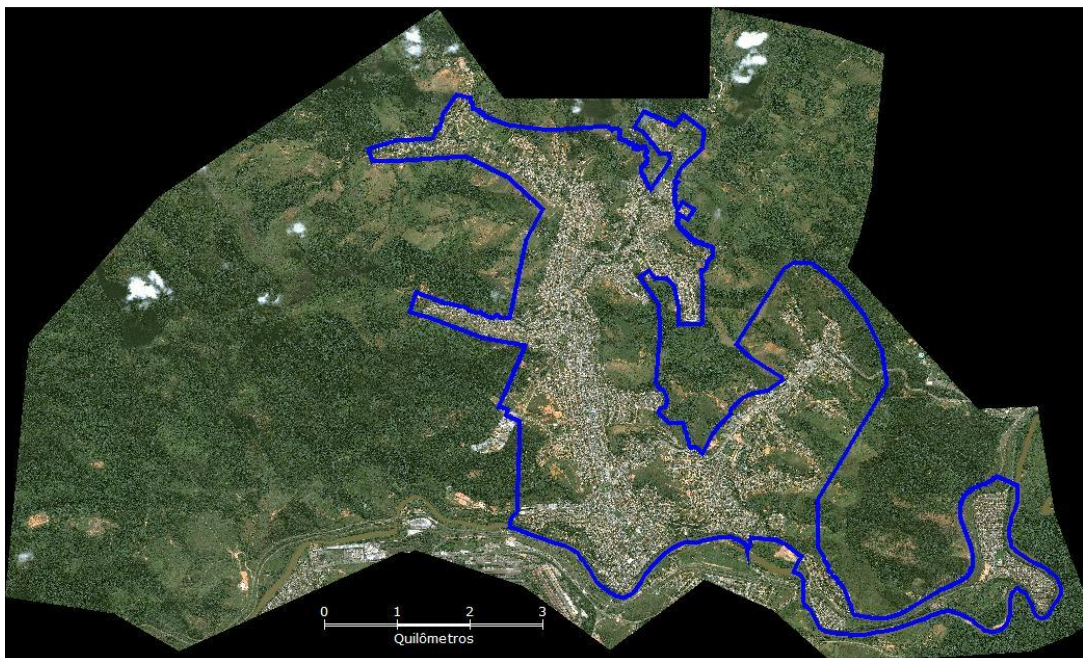


Figura 2. Imagem atual do Município de Coronel Fabriciano, com demarcação do perímetro urbano. Imagem Ikonos.

Para o processo de transformação da imagem em pixels, as unidades de paisagem sofreram expansões de 20 metros, respectivas ao efeito de borda. As unidades sobrepostas geraram novas subunidades: bordas e convergências. Esta nova imagem foi subdividida em mosaico (pixels) de 20x20 metros. As diferentes unidades foram identificadas por cores de acordo com as unidades de paisagem encontradas (Figura 3). A partir da identificação, separação e contagem dos pixels, foram determinados os índices de métrica para análise qualitativa e quantitativa da paisagem (Metzger, 2004), objetivando a descrição da paisagem e sua evolução temporal. O método de

classificação utilizado foi adaptado a partir de Metzger & Muller (1996) e Metzger (2004).

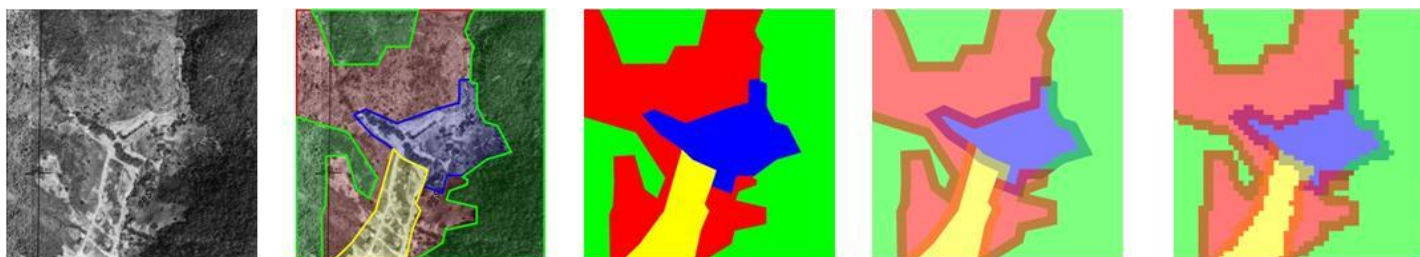


Figura 3. Transformação Foto-Mosaico: a) estudo da ortofoto; b) definição do perímetro das unidades (interpretação da foto para 1989, e plotagem de coordenadas sobre o mapa para 2009); c) geração do mapa temático a partir dos perímetros; d) expansão e/ou dilatação das bordas das unidades em 20 metros; e) conversão de mapa temático para mosaico.

Foram escolhidos índices de análise de paisagens baseados em Metzger & Muller (1996), Viana & Pinheiro (1998) e Metzger (2004). Os seguintes índices foram utilizados: área e proporção (área total, área e proporção por unidade de paisagem, área central, borda e convergência); riqueza de unidades (n , número de unidades de paisagem); diversidade da paisagem ($H_0 = -\sum (p_i \cdot \ln p_i)$, onde p_i = proporção de área ocupada pela unidade “i”); equabilidade da paisagem ($E_0 = H_0 / H_{\max}$, onde $H_{\max} = \ln n$); dominância da paisagem ($D_0 = H_{\max} - H_0$, onde $D_0 = 1 / H_0$); diversidade espacial da paisagem ($HL = \sum -q_k \cdot \ln 2q_k$, onde q_k = proporção de NB e n); proporção dos pontos de convergência ($C = B_c/A$, onde B_c = número de pixels em pontos de convergência (pixels de borda apresentando 3 ou mais unidades nos 9 pixels do seu entorno), e A = número total de pixels da paisagem); número de fragmentos (NF = número de

fragmentos de uma paisagem); proporção de contatos ($B_{i,j} = \sum e_{i,j} \cdot l$, onde $e_{i,j}$ = número de interfaces horizontais ou verticais entre pixels das unidades “i” e “j”. e l = comprimento da interface de um pixel ($l = 20$ metros)); frequência relativa x área proporcional (frequência relativa é a porcentagem do número de fragmentos por classe de área (em hectare) e área proporcional é a proporção da área ocupada por classe de tamanho).

A rede de drenagem foi traçada nas fotos aéreas e nas imagens orbitais. Para o reconhecimento das proporções das unidades que compõe a mata ciliar, cada margem dos principais cursos d’água foi dilatado em 30 metros, no qual foram também divididos em pixels de 20x20 metros ($400m^2$), identificados e contados. Para verificar se houve alteração nos valores obtidos entre 1989 e atual, o mapa foi subdividido em quadrantes de 1 por 1 km onde cada quadrante sendo considerado uma amostra na qual apresentava uma proporção para cada unidade da paisagem encontrada, foi realizado o teste t-student’s onde foi comparado as proporções de cada quadrante nos anos de 1989 e o atual para as unidades de paisagem urbana e matriz separadamente. As demais unidades de paisagem não foram comparadas pois não havia sido encontradas diferenças nos seus valores.

Resultados

A área estudada total no município de Coronel Fabriciano corresponde a 63,667 km^2 . As unidades de paisagem identificadas neste estudo foram as seguintes: matriz: a maior unidade da paisagem (Pickett & Cadenasso, 1995); considerada aqui como a área utilizada principalmente como pastagem ou áreas abertas abandonadas a partir deste uso, geralmente cobertas por gramíneas, herbáceas e arbustivas, podendo apresentar-se também, em início de sucessão ou com solo exposto; urbano: área edificada, com

alguma infraestrutura como água, esgoto, luz e calçamento; semiurbano: áreas de loteamento com cortes no solo e/ou com infraestrutura sobre a matriz; eucalipto: área de reflorestamento e/ou plantio para fabricação de celulose e carvão; floresta: áreas naturais, como fragmentos de Mata Atlântica em vários estágios de sucessão e afloramentos rochosos; borda: 20 metros para o interior da unidade, definidos em função da definição utilizada (1 pixel = 20x20 metros) e por não considerar a percepção de nenhum táxon; convergência: área de encontro entre 3 ou mais unidades (Figura 4).

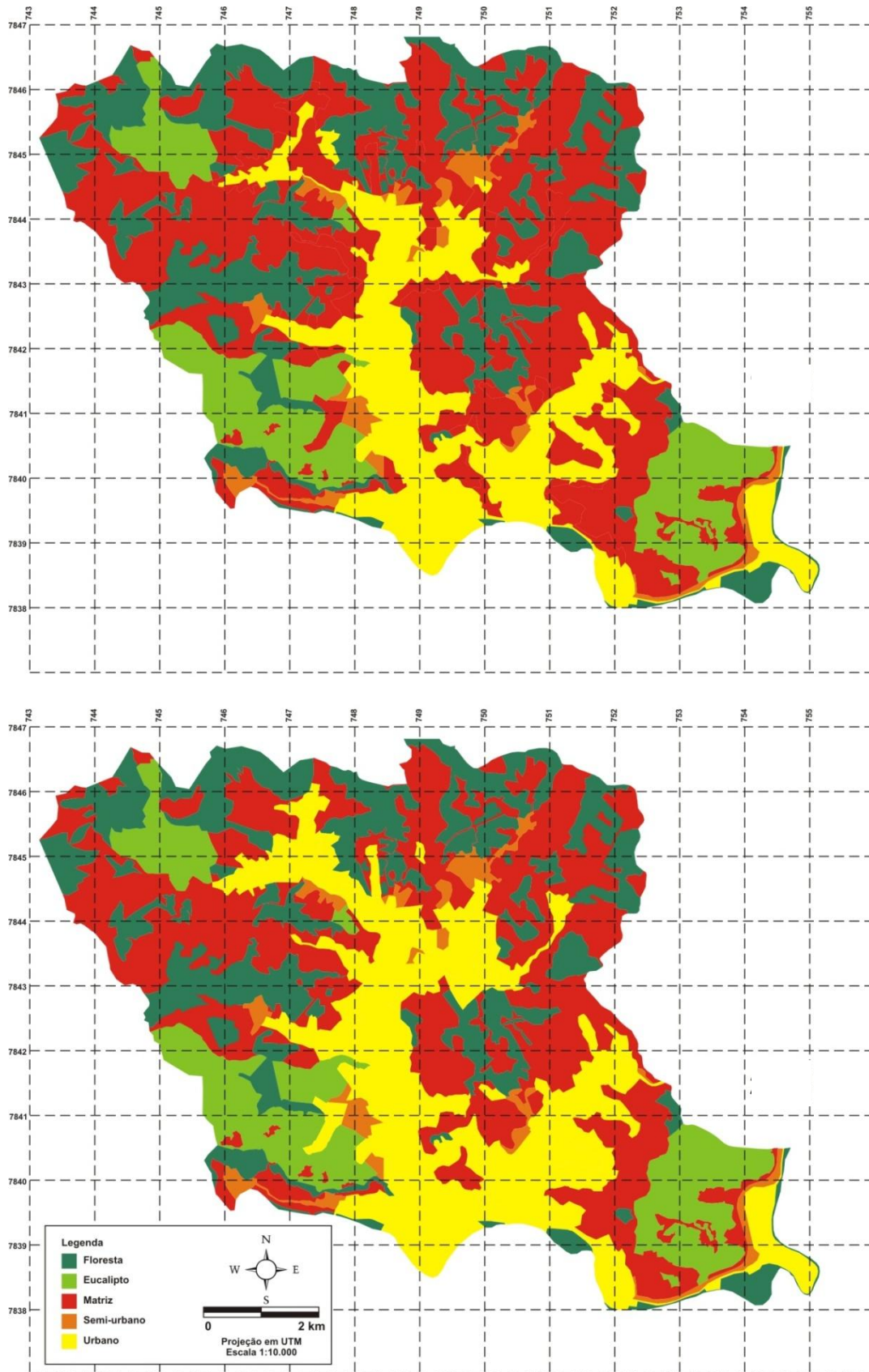


Figura 4. Unidades de paisagem encontradas no município de Coronel Fabriciano em 1989 (acima) e 2009 (abaixo).

As áreas de centro das unidades de paisagem ocupam atualmente 81,39% da área de estudo, sendo que sua maioria é composta pela matriz (35%), urbano (27,1%), floresta (22,5%) e eucalipto (12,3%). Não houve diferenças quanto às áreas das unidades de Floresta, Eucalipto e Semiurbano, mas foram observadas diferenças nas áreas de matriz e urbana. Ocorreu um aumento na área urbana entre os anos de 1989 e 2009 (de 19,1% para 27,1%) ($t=-5,309$; $gl=85$; $p<0,001$) e uma redução na área de matriz neste mesmo período (de 43% para 35%) ($t=5,276$; $gl=85$; $p<0,001$) (Tabela 1).

Tabela 1: Comparação temporal entre as áreas das unidades de paisagem (em km²).

Unidades	1989	% 1989	2009	% 2009
Centro	51,73	81,2	51,82	81,4
Borda	11,63	18,3	11,52	18,1
Convergência	0,31	0,5	0,34	0,5
TOTAL	63,67	100	63,67	100
Floresta	14,34	22,5	14,34	22,5
Eucalipto	7,83	12,3	7,83	12,3
Matriz	27,37	43	22,31	35
Semiurbano	1,90	3	1,90	3
Urbano	12,19	19,1	17,25	27,1
Corpos D'água	0,03	0,1	0,03	0,1
TOTAL	63,67	100	63,67	100

As margens dos cursos d'água representam aproximadamente 10% da área total sendo que apenas 17,9% das margens são compostas por áreas naturais (Floresta) (Figura 5). Foram encontradas todas cinco unidades de paisagem, sendo a mais representativa a unidade Urbana (de 36% para 43,4%). Ocorreu o aumento da área urbana às margens dos cursos d'água, em geral, devido ao aumento da área urbana e diminuição da matriz (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação temporal entre as áreas das unidades que compõe as margens dos cursos d'água (em km²).

Unidades	1989	% 1989	2009	% 2009
Floresta	1,1	17,9	1,1	17,9
Eucalipto	0,8	12,3	0,8	12,3
Matriz	1,9	29,6	1,4	22,2
Semiurbano	0,3	4,2	0,3	4,2
Urbano	2,3	36	2,7	43,4
TOTAL	6,3	100	6,3	100

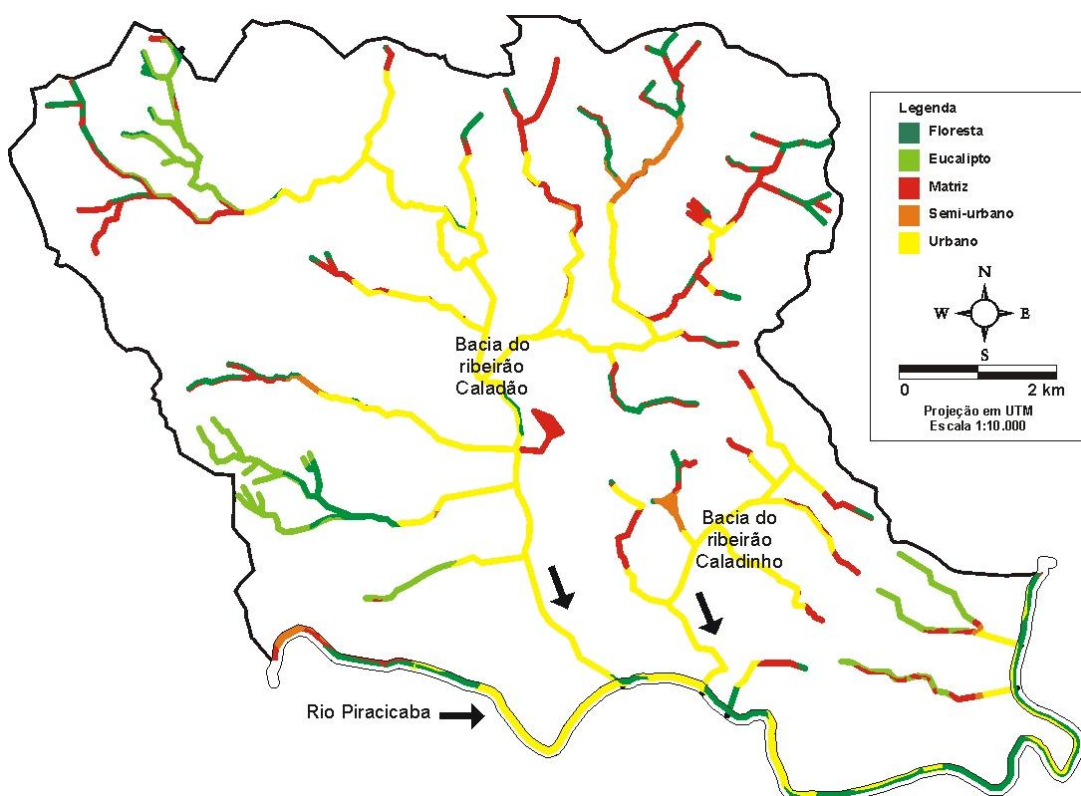


Figura 5. Disposição e composição das margens dos principais cursos d'água nas sub-bacias do rio Piracicaba (bacia do ribeirão Caladinho e bacia do ribeirão Caladão).

As bordas representam atualmente 18,09% da área de estudo, equivalente a uma área de 11,63 km². São compostas basicamente por matriz (37% ou 4,26 km²), floresta (27% ou 3,06 km²) e urbano (23% ou 2,68 km²) (Tabela 3). Com a expansão urbana, alteraram-se as proporções de unidades de borda. As bordas da matriz diminuíram em

aproximadamente 1/4 e a borda urbana praticamente duplicou. Foram encontrados 10 tipos diferentes de borda. A borda Floresta x Matriz diminuiu em 230 m² e Eucalipto x Matriz, 110 m². A borda Floresta x Urbano aumentou em quase 1/3, e Eucalipto x Urbano, o aumento foi de exatamente 2/3 (Tabela 4).

Tabela 3: Comparação temporal entre as áreas das unidades que compõe a borda (em km²).

Bordas	1989	1989 (%)	2009	2009 (%)
Floresta	3,08	26	3,06	27
Eucalipto	0,84	7	0,84	7
Matriz	5,69	49	4,26	37
Semiurbano	0,66	6	0,66	6
Urbano	1,37	12	2,68	23
TOTAL	11,63	100	11,2	100

Tabela 4: Comparação temporal entre diferentes áreas que dividem borda em comum (em km²).

Bordas	1989	1989 (%)	2009	2009 (%)
Floresta x Matriz	5,17	44	4,94	43
Floresta x Eucalipto	0,43	4	0,43	4
Floresta x Urbano	0,44	4	0,64	6
Floresta x Semiurbano	0,12	1	0,12	1
Eucalipto x Matriz	1,13	10	1,02	9
Eucalipto x Urbano	0,06	1	0,18	2
Eucalipto x Semiurbano	0,06	1	0,06	1
Matriz x Urbano	3,09	27	2,99	26
Matriz x Semiurbano	0,73	6	0,73	6
Urbano x Semiurbano	0,40	3	0,40	3
TOTAL	11,63	100	11,52	100

Foram encontradas 11 tipos de convergência em 1989, sendo que com a expansão urbana (2009), surgiram mais 2 novos tipos (Tabela 5). A área de convergência corresponde atualmente a 335,2 m². A maior área de convergência, restrita entre Floresta x Matriz x Urbano, apresentou algum crescimento (de 31% para 37%), enquanto as outras unidades de convergência, compostas principalmente de matriz e

semiurbano (cada uma com aproximadamente 15% da paisagem), apresentaram diminuições.

Tabela 5: Comparação temporal entre as áreas das unidades de convergência (em m²).

Convergências	1989	2009
Floresta x Eucalipto x Matriz	0,152	0,122
Floresta x Eucalipto x Urbano	0,000	0,017
Floresta x Eucalipto x Semiurbano	0,012	0,011
Floresta x Matriz x Urbano	0,310	0,378
Floresta x Matriz x Semiurbano	0,151	0,138
Floresta x Urbano x Semiurbano	0,128	0,117
Eucalipto x Matriz x Urbano	0,031	0,018
Eucalipto x Matriz x Semiurbano	0,023	0,022
Eucalipto x Urbano x Semiurbano	0,025	0,023
Matriz x Urbano x Semiurbano	0,154	0,141
Floresta x Eucalipto x Matriz x Semiurbano	0,004	0,004
Floresta x Urbano x Matriz x Semiurbano	0,010	0,010
Floresta x Eucalipto x Matriz x Urbano	0,000	0,001
TOTAL	307,2	335,2

A Tabela 6 mostra o valor dos índices quantitativos e qualitativos aplicados na análise da estrutura da paisagem. Estes resultados, apesar da pouca diferença encontrada nos valores dos índices no intervalo de 20 anos, mostram o pequeno aumento da complexidade na paisagem. Não houve alteração no número e no tamanho dos fragmentos nestes 16 anos. A área de estudo permaneceu com 53 fragmentos sendo que seis deles são mata ciliar do rio Piracicaba.

Tabela 6: Comparação temporal entre os índices de estrutura da paisagem.

Índice	1989	2009
Riqueza de Unidades	5	5
Diversidade da Paisagem	1,38	1,42
Equabilidade da Paisagem	0,856	0,882
Dominância da Paisagem	0,231	0,189
Diversidade Espacial	1,011	1,084
Proporção dos pontos de convergência	0,48%	0,53%

Discussão

As unidades de paisagem definidas neste estudo, pastagem (matriz), urbano, semiurbano, eucalipto, floresta, borda e convergência, são unidades que definem o uso do solo e a ocupação territorial do município de Coronel Fabriciano. Tendo como base, uma abordagem histórica, o município, por localizar-se entre dois grandes polos metalúrgicos (Ipatinga e Timóteo), teve seu crescimento baseado no setor terciário, onde sua economia é basicamente voltada para os serviços. Sendo um município que abriga muitos dos trabalhadores destas duas outras cidades, a expansão urbana se deu em suas áreas periféricas, ao norte, sobre a unidade matriz ou pastagem.

Pode-se ainda considerar uma pressão moderada que a unidade eucalipto exerce sobre a paisagem. O reflorestamento por eucalipto com fins para a produção de celulose é uma atividade que exerce grande pressão sobre a paisagem na região leste do estado de Minas Gerais, entretanto, somente 12,3 % da extensão territorial de Coronel Fabriciano é ocupado pelo eucalipto, um valor significativo, mas pequeno se considerarmos outros municípios da região. O eucalipto é fonte de renda para várias famílias da região que participam principalmente na época do corte das árvores. Contudo, sem dúvida, por ser uma monocultura arbórea, sua ocupação limita a distribuição de um grande número de espécies animais, apesar de que áreas cultivadas com essas culturas poderiam ajudar no sequestro de carbono do ambiente. Além disso, em boa parte do estado, as paisagens mostram as unidades eucalipto ocupando uma extensão inferior àquela das pastagens.

Sendo em conjunto com a área urbana a principal unidade componente da paisagem neste estudo, a pastagem, denominada aqui como unidade matriz, ocupou 35 % do município e possui uma larga faixa de borda com a área urbana da cidade. Por ser

formada principalmente por vegetação herbácea, sua participação nos limítrofes urbanos, pode trazer inúmeras consequências para o município como a erosão pela exposição do solo e desmoronamento de terras, principalmente na época de chuvas, desgaste do solo, e podem servir como corredores para a dispersão de organismos vetores de doenças parasitárias como mosquitos, moscas e carrapatos.

Foi sobre a área de pastagem que se deu o crescimento da área urbana entre 1989 e 2009 na cidade de Coronel Fabriciano, onde houve mudanças significativas nas unidades de Floresta, Eucalipto e Semiurbano durante este período. Dado que a área ocupada por reflorestamento de eucalipto não sofreu alterações nestes últimos 20 anos dentro da paisagem de estudo, um aspecto positivo foi o fato das áreas de florestas, dada principalmente por fragmentos pequenos e médios de Mata Atlântica, também não sofreram redução perceptível na escala utilizada. O local onde se insere hoje o município de Coronel Fabriciano, foi outrora ocupado por uma grande extensão de Mata Atlântica, onde seus remanescentes podem ainda ser vistos em outros municípios do leste mineiro. Seu maior local de proteção está na área ocupada hoje pelo Parque Estadual do Rio Doce, localizado nos municípios de Marliéria e Timóteo.

A redução observada nas áreas de pastagem se deu principalmente devido ao crescimento da área urbana sobre estes locais, pois o aumento observado de área urbana foi acompanhado de redução na área de pastagem, sendo que esta ocupava 43% da paisagem do município em 1989 e hoje ocupa 35%. Os dados mostram que esse crescimento urbano ocasionou um novo fenômeno – a maior parte da extensão dos cursos d'água do município estão dentro da área urbana, com um aumento de 36% para 43,4%. Esses dados enfocam que o crescimento urbano, dado muito em função de novos loteamentos nas áreas periféricas do setor norte do município, segue os cursos d'água. Esta nova pressão sobre estes pequenos ribeirões gera um maior aporte de resíduos

domésticos, uma vez que estas novas ocupações não trazem consigo redes de esgotamento sanitário eficientes. O destino final para os rios das sub-bacia do Caladão e sub-bacia do Caladinho é o Rio Piracicaba que corta o município ao sul. A bacia do ribeirão Caladão, a principal do município, possui sua extensão de cursos d'água passando pela área urbana, mas também sofre pressão das zonas de eucalipto e pastagem nas suas periferias. A perda de diversidade faunística, além da perda das zonas ripárias constituída por matas ciliares, é uma consequência da expansão urbana sobre estes cursos d'água.

Outra consequência da expansão urbana observada neste estudo, foi a modificação das proporções das bordas entre as diferentes unidades da paisagem. Um aspecto preocupante desta modificação foi que, com o aumento da área urbana, esta unidade se aproximou da unidade floresta, de forma que os fragmentos de Floresta Atlântica estão agora mais próximos da zona urbana. Os dados mostram que a área de borda Floresta x Urbano aumentou em quase 1/3 sua extensão. Como a grande pressão que a área urbana pode exercer em áreas naturais e fragmentos de florestas, o município deve incluir em seu plano diretor medidas cabíveis que protejam estes remanescentes, uma vez que os efeitos de borda exercidos pela área urbana sobre estes fragmentos florestais podem, em um curto período de tempo, reduzir a diversidade florística e faunística, além da própria redução do fragmento. A manutenção dos sistemas bióticos naturais é de fundamental importância para a saúde dos ecossistemas como um todo, mesmo para a área urbana. Além do que, a própria manutenção desses fragmentos florestais reduz os efeitos da poluição exercidos pelas metalúrgicas locais por meio do sequestro de carbono, além da suavização dos efeitos de aquecimento local, característico da própria região, e global.

A aproximação da área urbana com os fragmentos de mata nestes últimos 20 anos na paisagem de estudo, também pode ser comprovada quando se analisou as zonas de convergência da paisagem. A área de convergência Floresta x Matriz x Urbano mostrou um crescimento de 31% para 37%. Podemos considerar que estes pequenos ecótopos entre unidades naturais e artificiais são componentes comuns em estudos de paisagem que abordam zonas de interseção no uso do solo de atividades humanas.

Os índices de Diversidade e Equabilidade da Paisagem demonstraram o aumento da homogeneidade na distribuição das áreas ocupadas ao longo dos 20 anos. Para a Dominância da Paisagem, os valores demonstram uma diminuição na dominância da paisagem. O índice de Diversidade Espacial demonstrou o aumento da complexidade da paisagem. Das cinco unidades de paisagem encontradas, apenas nas unidades urbana e matriz foram observadas alterações em suas áreas.

A avaliação temporal demonstrou que a expansão urbana alterou as áreas de unidades da paisagem. Em geral, as áreas de centro e convergência aumentaram, e as áreas de bordas diminuíram.

Ocorreu o aumento da unidade urbana e a diminuição da matriz. As áreas que antes eram áreas de matriz foram sendo urbanizadas durante este período, mas as áreas semiurbanas permaneceram inalteradas. Deve-se levar em conta a ordem de áreas de ocupação semiurbano – matriz. A matriz geralmente se apresenta abandonada e por isso, apresenta riscos ambientais como em alguns casos, exposição e lixiviação do solo, mesmo assim, foi ocupada primeiramente. Mas esta expansão deveria ter ocorrido primeiramente sob as áreas semiurbanas, visto que elas já apresentam alguma estrutura urbana e riscos ambientais maiores que a matriz, onde a tendência é de correção da exposição do solo, além de aproveitamento de sua estrutura.

Deve-se evitar a expansão próximo aos fragmentos, pois estes, sofreram grandes pressões em suas bordas com a expansão aqui observada. Algumas destas áreas estão com seus projetos embargados por leis ambientais, e, por isso, continuam gerando prejuízos ambientais, como é o caso de um loteamento localizado dentro da área deste estudo. Este loteamento apresenta exposição do solo, lixiviação e grandes erosões, que como consequência, assoreiam a lagoa e o ribeirão Caladinho, causando grandes enchentes.

As unidades de floresta e eucalipto não sofreram alterações nas áreas centrais, mas com a alteração da paisagem, sofreram mudanças em suas bordas. Como consequência da expansão urbana, sua borda praticamente duplicou, levando a alterações principalmente nas bordas da matriz. Várias áreas de crescimento urbano atingiram as bordas da floresta e eucalipto. A alteração da borda da floresta e eucalipto é um resultado negativo visto que a matriz exerce uma pressão menor que a urbana. As áreas de convergência também demonstraram a pressão da expansão urbana sobre a matriz e floresta.

A elaboração de planos diretores urbanos e planos plurianuais de investimento, em conjunto com a avaliação de impactos ambientais dos grandes projetos urbanos são atividades que devem ser executadas levando-se em conta as necessidades da população e enfocando a saúde dos ecossistemas. Nos centros urbanos, a definição sobre volume e espacialização dos investimentos em infraestrutura de serviços urbanos como a expansão das redes de abastecimento de água, esgoto, energia elétrica e pavimentação, a decisão sobre localização de novas escolas e postos de saúde e o planejamento da oferta e roteiro das linhas de ônibus e dos serviços de coleta de lixo são tarefas do planejamento e gestão urbana que necessitam de conhecimento circunstanciado da

dinâmica de crescimento das distintas zonas, bairros e distritos dos municípios (Januzzi, 2007).

Além disso, projeções populacionais para os domínios municipais vem sendo cada vez mais requeridas para permitir o monitoramento e a avaliação de programas sociais, já que constituem o denominador de vários indicadores sociais (Januzzi, 2007). O presente estudo traz a possibilidade da utilização do geoprocessamento dentro da perspectiva da ecologia da paisagem como instrumento na prática profissional da vigilância em saúde e meio ambiente, especificamente para a elaboração de diagnóstico ambiental de uso comum aos gestores na atividade de planejamento e programação local em suas áreas de abrangência.

Os resultados aqui fornecem uma base geográfica de informações com possibilidade de subsidiar estudos pertinentes ao campo da vigilância ambiental e saúde. A paisagem do município de Coronel Fabriciano apresentou mudanças nas áreas das unidades urbana e matriz no período entre 1989 e 2009. Houve uma expansão urbana sob a matriz pastagem, mas não foram ocupadas as áreas semiurbanas. Não ocorreram alterações na área de remanescentes de floresta e eucalipto, mas com a expansão urbana, alteraram-se as bordas, sendo que os remanescentes passaram a sofrer maiores pressões da área urbana. As margens dos cursos d'água também apresentaram crescimento da área urbana. Devem ser realizadas ações estratégicas, baseadas no estudo da estrutura da paisagem para ações conservacionistas, tanto da biodiversidade, quanto do próprio planejamento urbano.

Referências Bibliográficas

- Bürgi, M., Hersperger, A.M., Schneeberge, N. Driving forces of landscape change — current and new directions. **Landscape Ecology** 19, 357–369, 2004.
- Dramstad, W.E., Tveit, S.M., Fjellstad, W.J., Fry, G.L.A. Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure. **Landscape and Urban Planning** 78, 465–474, 2006.
- Eetvelde, V. V. & Antrop, M. Indicators for assessing changing landscape character of cultural landscapes in Flanders (Belgium). **Land Use Policy** 26: 901–910, 2009.
- Forman, R. T. T.; Godron, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 619p, 1986.
- Haines-Young, R. Sustainable development and sustainable landscapes: defining a new paradigm for landscape ecology. **Fennia** 178, 7–14, 2000.
- Haines-Young, R., Chopping, M. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. **Progress in Physical Geography** 20, 418–445, 1996.
- Januzzi, P. M. Cenários futuros e projeções populacionais para pequenas áreas: metod e aplicação para distritos paulistanos 2000-2010. **Rev. Brasileira Pop.** 24 (1): 109-137, 2007.
- Landovsky, GS., Batista, DB & Araki, H. Análise da qualidade visual da paisagem da região de Tibagi, PR, aplicando o sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.10, n.1, p.188–195, 2006.
- Metzger, J. P. Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of South-East Brazil. **Landscape and Urban Planning**, 37, 29-35, 1997.
- Metzger, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, 01, n. ½, 2001.
- Metzger, J. P. Estrutura da Paisagem: o uso adequado de métricas. In-Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre, ed. Júnior, L. C.; Valladares-Padua, C.; Rudran, R. UFPR, Curitiba, pp. 435-453, 2004.

Metzger, J. P. & Muller, E. Characterizing the complexity of landscape boundaries by remote sensing. **Landscape Ecology**, 11, 65-77, 1996.

Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Balanço Dengue Janeiro a Julho de 2007.

Missio, E. Proposta Conceitual de Zoneamento Ecológico-Econômico para o município de Frederico Westphalen – RS. PhD Thesis, Universidade Federal de São Carlos, Brazil, 2003.

Mondini A, Chiaravalloti-Neto F, Gallo Y Sanches M, Lopes JCC. Análise espacial da transmissão de dengue em cidade de porte médio do interior paulista. **Rev. Saúde Pública**. 39(3): 444-51, 2005.

Pickett, S. T. A., Cadenasso M. L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. **Science** 269:331–334, 1995.

Porto, M. L. **Ecologia da paisagem**. Porto Alegre: UFRG, CD ROM, 1999

Rodrigues, E.; Cainzos, R. L. P.; Queiroga, J.; Herrmann, B. C. Conservação em Paisagens Fragmentadas. In: Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre, ed. Júnior, L. C.; Valladares-Padua, C.; Rudran, R. UFPR, Curitiba, pp. 435-453, 2004.

Uuemaa, E., Roosaare, J., Mander, Ü. Landscape metrics as indicators of river water quality at catchment scale. **Nordic Hydrology** 38, 125–138, 2007.

Valente, R. O. A. Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. PhM Thesis, Universidade de São Paulo, Brazil, 2001.

Viana, V. M. & Pinheiro, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, 12, 25-42, 1998.

Agradecimentos

À CEMIG (Centrais Energéticas do Estado de Minas Gerais), Prefeitura Municipal de Coronel Fabriciano e ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde pública Sérgio Arouca (ENSP / FIOCRUZ).

Capítulo 3

O Espaço Geográfico e a dengue

Os efeitos do crescimento urbano sobre o processo de saúde e repercussões da dengue: um estudo de caso

The effects of urban growth on the process of health and dengue impact: a case study

Marco Aurélio Pereira Horta, Aldo Pacheco Ferreira, Robson Bruniera de Oliveira, Fabrício Thomáz de Oliveira Ker, Ana Cristina Navarro Ferreira, Cristina Maria Sousa Catita

Status: submetido à Revista Brasileira de Promoção da Saúde

Recebido em: 14/11/2012

Revisado em: 25/06/2013

Resumo

O propósito do artigo foi de analisar a dinâmica espacial e temporal de dengue na cidade de Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil. Os casos de dengue foram obtidos na Secretaria Municipal para o período de 2009. Foram incluídos no estudo os casos suspeitos e confirmados. Foram obtidas *shape files* contendo informações sobre o limite municipal, limite da área urbana, setores censitários, áreas com construções e áreas naturais. Foi quantificado o crescimento em área quadrada e as principais regiões onde se verificou a expansão urbana. Com base na distribuição dos casos de dengue o estimador de Kernel foi utilizado para medir a dispersão destes casos. Casos de dengue notificados foram georreferenciados em ambiente SIG. A paisagem mostrou mudanças nas unidades de zona urbana e pastagem, no período estudado. Foram observados um crescimento urbano sobre a matriz de pastagem, contudo não foram observadas alterações nas áreas de floresta remanescente e eucalipto. Há grupo de casos distribuídos espacialmente com uma tendência de formar aglomerados. Foram diagnosticados casos de dengue espacialmente agrupado na região norte da cidade, onde novos bairros surgiram nos últimos anos, acompanhando o crescimento populacional sem estrutura adequada de urbanização e planejamento. Além disso, o crescimento urbano tem levado a uma abordagem de fragmentos florestais nativos com mais efeitos de borda, reduzindo a margem de cursos d'água e fornecendo um solo nu, adequado para o acúmulo de lixo e a formação de criadouros de mosquitos. Fica, mais uma vez constatado, que políticas públicas eficientes e planejamento urbano adequado podem reduzir o impacto da dengue.

Palavras-chave: dengue, *Aedes*, distribuição espacial da população, saúde pública

Abstract

The aim of this study was to analyze the spatial and temporal dynamics of dengue fever in the city of Coronel Fabriciano, Minas Gerais State, Brazil. Dengue cases were obtained from the Municipal Secretary of Health for 2009. The study included the

suspected and confirmed cases. It were obtained shape files containing information about the municipal boundary, boundary of the urban area, census tracts, areas with buildings and natural areas. Growth was quantified in square area and the main regions where there has been urban sprawl. Based on the distribution of dengue cases the Kernel estimator was used to measure the dispersion of these data. Dengue cases reported were geocoded in GIS environment. The landscape showed changes in the units of urban area and pasture in the period studied. We observed an urban growth over the pasture matrix. No changes were observed in the areas of remaining forest and eucalyptus. There is a grouping of cases in space with a tendency to form clusters. It were diagnosed cases of dengue spatially clustered in the northern region where new neighborhoods have emerged in recent years following the population growth without proper structure of urbanization and urban planning. In addition, urban growth has led to an approach to native forest fragments with more edge effects, reduced the margin of watercourses and providing a bare soil, suitable for accumulation of trash and formation of breeding sites for mosquitoes. It is again noted that efficient public policies and appropriate urban planning might reduce the impact of dengue fever.

Key-words: dengue, *Aedes*, residence characteristics, public health

Introdução

O crescimento urbano pode afetar negativamente a saúde da população quando as medidas de planejamento de novas áreas habitacionais não são feitas corretamente ¹. O aumento da urbanização, o desenvolvimento econômico e a expansão do número de locais como potenciais criadouros permitiram aos *Aedes aegypti* invadir novamente a América do Sul nos anos 70, aumentando assim a incidência de dengue e de febre hemorrágica do dengue ^{1,2}. A reemergência da dengue em conjunto com a expansão das áreas do seu vetor são de fato atualmente, um problema mundial ³. Muitos fatores estão associados com a dengue, entre estes podemos destacar aqueles associados às condições climáticas como a temperatura, umidade, regimes regionais de precipitação ⁴, *el niño*; aqueles associados às condições socioeconômicas como saneamento e coleta de lixo deficiente, ausência de rede de água potável, baixas condições de renda, acúmulo de lixo; e aqueles fatores relacionados com o aumento da probabilidade de contato entre o vetor e o hospedeiro em um episódio epidêmico, como a proximidade das habitações, o

fluxo populacional, aumento e rapidez das viagens intercontinentais. Esta transmissibilidade tem sido estudada considerando o desenvolvimento de modelos matemáticos que explicitamente descrevem os mecanismos envolvidos na transmissão do agente patogênico entre hospedeiro e vetores ⁵.

O principal vetor do vírus dengue é o mosquito *Aedes (Stegomyia) aegypti*, Linnaeus, 1762 ⁶. Este inseto tem conseguido explorar o ambiente antrópico, que fornece condições adequadas de sobrevivência do adulto e enorme variedade de habitats para os estádios imaturos, favorecendo o aumento da densidade e a dispersão ativa e passiva do vetor ⁷. A situação agrava-se pelas condições precárias de saneamento ambiental, e pela utilização intensa de recipientes descartáveis e não biodegradáveis como os de plástico e de vidro ⁸⁻¹⁰. Vale considerar as alterações climáticas e os movimentos migratórios do homem que fornecem condições ideais para o desenvolvimento do mosquito, para a circulação do vírus em diversas áreas e para o desenvolvimento do vírus dentro do organismo do vetor ⁷.

Os vírus da dengue (DENV) ¹⁻⁴ estão atualmente em circulação no Brasil provocando epidemias em várias regiões ¹¹. Após a grande epidemia causada pela introdução do DEN-3 no Brasil em 2002, os sistemas de notificação utilizados pelos municípios em todo o país detectou o vírus DEN-1 recirculando, afetando um grande número de pessoas suscetíveis ¹². O DEN-4 tem atraído recentemente a atenção do público por causa da epidemia em diversas regiões do país, afetando indivíduos imunocompetentes ¹³, sendo que no Brasil, a vigilância da dengue centra-se na detecção de casos ^{1,12,13}.

A análise da dispersão da infecção através de sistemas interligados de populações, tais como centros urbanos, é de grande importância e atrai considerável interesse, em especial, para o planejamento de resposta a doenças emergentes

pandêmicas ^{12,14}. O padrão temporal epidemiológico da dengue é caracterizado por epidemias periódicas com ciclos inter-epidêmicos, mostrando variações sazonais no tamanho da população do vetor e com prevalências de determinados sorotipos que variam na dominância ao longo do tempo e do espaço ¹⁵. A análise da paisagem, utilizando técnicas de análise espacial pode fornecer ferramentas para um melhor planejamento urbano, permitindo uma melhor qualidade de vida e preservação de áreas naturais. Surtos de dengue em cidades grandes tem entre outros fatores, da expansão urbana, o número elevado de locais de reprodução do mosquito, altas temperaturas e grande número de pessoas suscetíveis. Neste sentido, o mapeamento de doenças tem sido um instrumento básico no campo da saúde pública. Desde os anos 1990, as técnicas de análise foram melhoradas para gerar mapas de identificação de áreas de risco, resultando em atenção diferenciada a ser dada pelos serviços de saúde ¹⁶ e eles têm sido amplamente utilizados para compreender a dinâmica de doenças infecciosas ^{14,17}.

Para tanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenrolar das epidemias de dengue, tendo como cenário o crescimento urbano do município de Coronel Fabriciano, Minas Gerais; e, assim, identificar fatores de associação de surtos epidêmicos de dengue, correlacionando os focos de acometimentos com áreas de expansão urbana, dentro do município estudado.

Material e Métodos

Área de estudo

O município de Coronel Fabriciano está localizado no Vale do Rio Doce, na região leste do estado de Minas Gerais (19°30'52" S, 42°37'31" W). Abrange uma área de 221 km², com 103.724 habitantes, segundo Censo 2010 do Brasil ¹⁸, incluindo uma

zona rural composta principalmente por plantações de eucalipto e uma área urbana. Esta região foi industrializada há mais de 40 anos, mas as áreas de transição com características rurais persistem na área periférica da cidade. Durante o período de estudo as médias de temperatura e precipitação foram de 22°C e 177 mm, respectivamente. A região faz parte da Depressão Interplanaltica do Médio do Rio Doce, na qual possui mais de 140 lagoas além de brejos e alagados, formados há 10 mil anos, sendo assim criadouros naturais de *Aedes albopictus*. Por outro lado, também foi foco de febre amarela no período da construção da Usiminas. A baixada do Melo Viana foi um brejo antigamente e hoje apresenta inundações periódicas e brejos permanentes no bairro Belvedere.

Amostragem

Foram obtidas para o município de Coronel Fabriciano ortofotos aéreas datadas de 1989, confeccionadas pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), em 4 cartas na escala de 1:10.000. Estas cartas foram digitalizadas com definição de 400dpi e montadas em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Em 2009, foram visitados e georreferenciados todo o perímetro do município incluindo a área urbana, as florestas remanescentes e de cultivo. Com o auxílio de GPS (*Global Positioning System*), cuja precisão variou entre 6 e 15 metros, foram obtidas as coordenadas geográficas do entorno destas áreas formando polígonos das unidades de paisagem.

Os casos de dengue foram obtidos a partir da Secretaria Municipal de Saúde de Coronel Fabriciano, onde foram levantados o número de casos notificados adquiridos para o período de 2009. Foram incluídos no estudo os casos suspeitos e confirmados de dengue de acordo com o aparecimento de sintomas durante o período de estudo. As

definições de casos prováveis e confirmados de dengue em uso pelo sistema de saúde brasileiro são os especificados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) ¹⁹, ou seja, um caso de dengue foi classificado como provável onde febre ou calafrios estavam presentes, além de pelo menos dois sintomas entre mialgia, artralgia, dor retro-orbital, erupção cutânea, dor de cabeça, ou alguma manifestação hemorrágica (por exemplo, petéquias, hematúria, hematêmese, melena). Apenas uma pequena porcentagem dos casos de dengue prováveis foram confirmados através de testes de anticorpos IgM pelos laboratórios regionais.

Foram obtidas para o ano de 2009, *shape files* contendo informações sobre o limite municipal, limite da área urbana, setores censitários, áreas com construções e às unidades da paisagem não-urbanas além das observações e confirmações em campo. Para a avaliação do crescimento urbano, as informações dos mapas foram sobrepostas sobre o mapa gerado; assim sendo quantificado o crescimento em área quadrada e as principais regiões onde se verificou a expansão urbana.

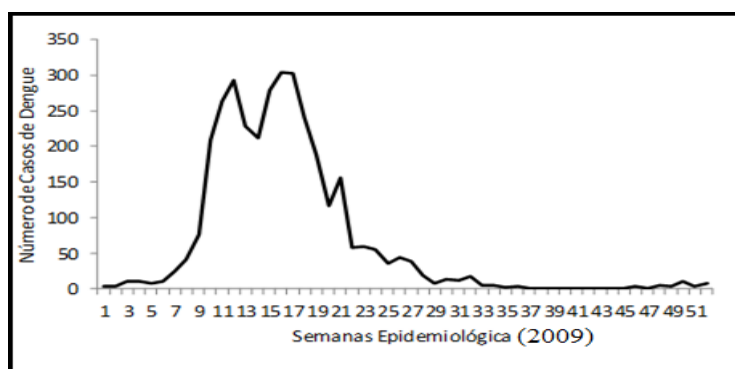
Em sequência, foram utilizadas as notificações dos casos semanais no período de estudo, distribuídos em 52 semanas epidemiológicas. Inicialmente, para cada caso notificado, foi realizado o georreferenciamento dos endereços com a ferramenta da internet (www.gpsvisualizer.com), a qual utiliza como base o banco de dados geográficos do Google, sobre um mapa de base digital contendo os limites da cidade, utilizando SIG.

Com base na distribuição dos casos de dengue ao longo da cidade, o estimador de Kernel foi utilizado para medir a dispersão destes casos, possibilitando assim, proceder as análises, confrontando acometimentos, expansão urbana e foco do vetor. A análise espacial foi realizada utilizando ArcGISTM 9.3.

Resultados

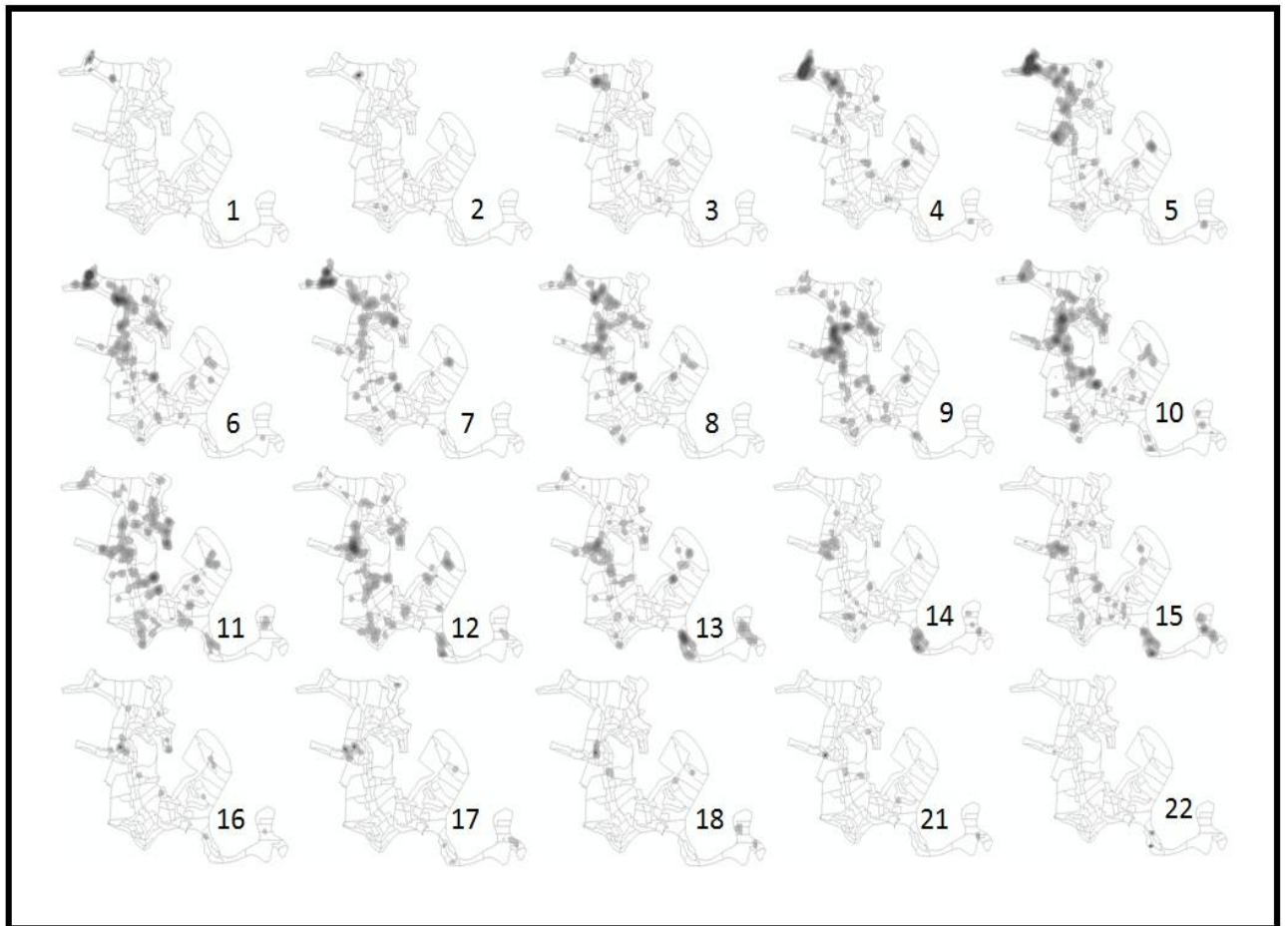
No período de estudo identificaram-se 3389 casos de dengue, dados estes notificados pela Secretaria Municipal de Saúde de Coronel Fabriciano. A incidência acumulada do período atingiu o alto valor de 3271,22 casos por 100 mil habitantes. Os casos notificados de dengue seguem um padrão temporal já conhecido para muitos estados brasileiros, onde nota-se um crescimento dos casos nas primeiras semanas do ano (**Figura 1**). O aumento no número de notificações mantém-se durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril, e tende a reduzir a partir de maio. Pode-se verificar um padrão endêmico a partir deste momento onde a epidemia perde força, mas casos pontuais são notificados durante todo o ano.

Figura 1. Número de casos de dengue notificados durante as 52 semanas epidemiológicas em Coronel Fabriciano, MG, no período de estudo (2009).



De acordo com a **Figura 2**, fica evidenciado um padrão de dispersão espacial dos casos de dengue em Coronel Fabriciano pelo estimador de Kernel. A onda epidêmica deu início no norte da cidade, espalhando-se rapidamente para as áreas centrais. Na semana 9 pode-se ver o enfraquecimento da onda epidêmica no setor norte, que está sendo desviado para o nordeste da cidade. Entre as semanas 10 a 15, percebe-se o esgotamento dos casos em áreas do norte e a presença de pontos quentes (*hot spots*) na região mais central, além da ocorrência de um ponto quente no setor sul da cidade. Os casos estão esgotados até a semana 18, com poucos casos restantes. Após 22 semanas alguns casos isolados ocorrem na cidade, o que mostra o padrão de dengue endêmica nesta região. O estimador de densidade de Kernel também foi aplicado neste estudo para localizar *hot spots* dos casos de dengue em Coronel Fabriciano. As áreas de cor escura na **Figura 4** são pontos com densidade máxima de casos de dengue.

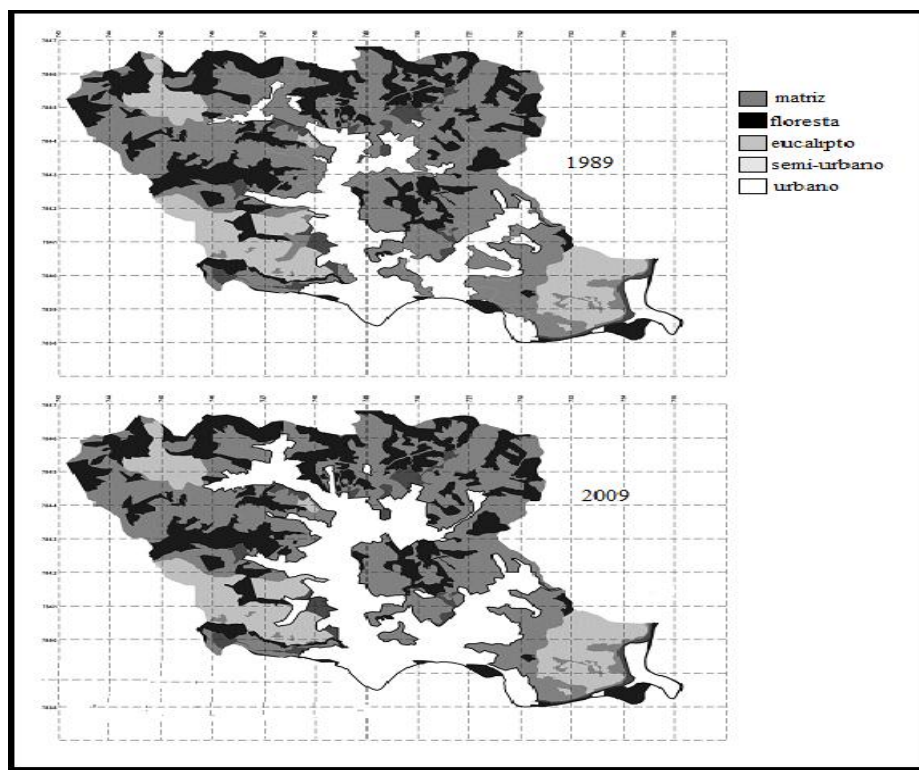
Figura 2. Mapa de densidade de Kernel dos casos de dengue no município de Coronel Fabriciano/MG entre as semanas 1 e 22 (2009)

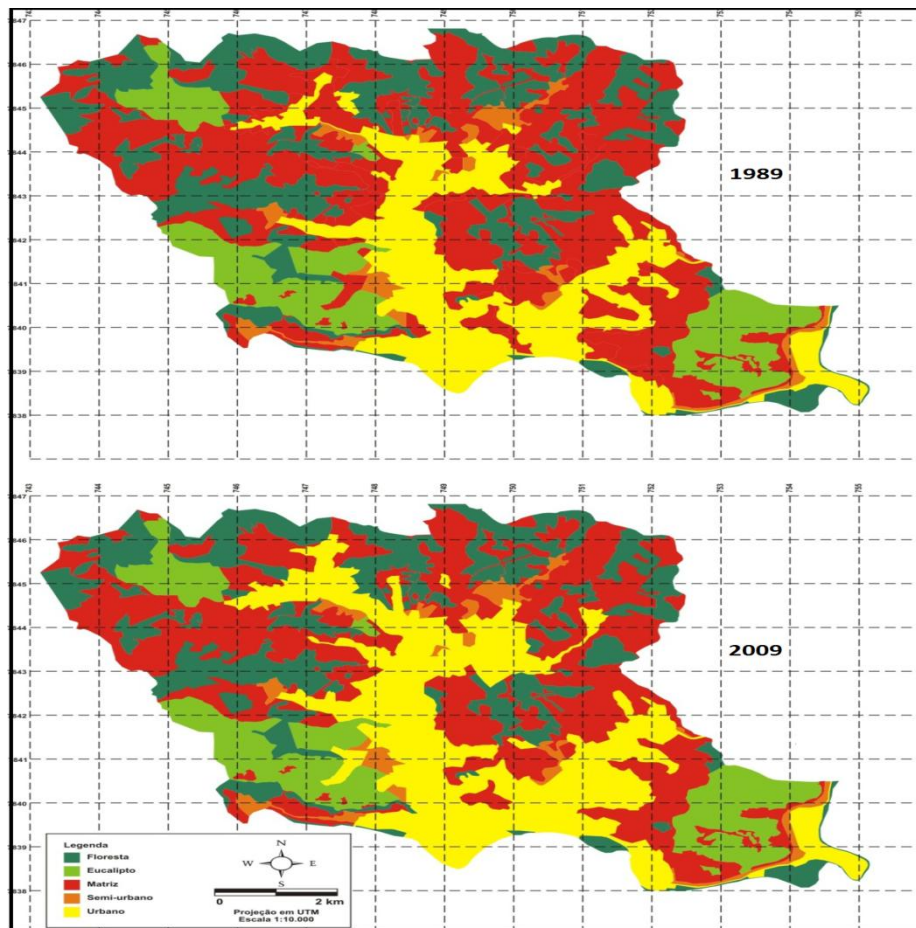


A paisagem mostrou mudanças nas unidades da zona urbana e pastagem, no período entre 1989 e 2009. Observamos um crescimento urbano sobre a matriz de pastagem. Não foram observadas alterações nas áreas de floresta remanescente e eucalipto. A área total estudada do município de Coronel Fabriciano corresponde a 63.667 km². Foram identificadas 05 (cinco) unidades na paisagem: matriz (pastagem), urbano, semiurbano, eucalipto e floresta (**Figura 3**) As áreas de centro das unidades de paisagem ocupam atualmente 81,39% da área de estudo, sendo que sua maioria é composta pela matriz (35%), urbano (27,1%), floresta (22,5%) e eucalipto (12,3%). Não houve diferenças quanto às áreas das unidades de Floresta, Eucalipto e Semiurbano, mas foi observadas diferenças nas áreas de matriz e urbana. Ocorreu um aumento na área urbana entre os anos de 1989 e 2009 (de 19,1% para 27,1%) ($t=-5,309$; $gl=85$; $p<0,001$) e uma redução na área de matriz neste mesmo período (de 43% para 35%) ($t=5,276$;

gl=85; $p < 0,001$). As bordas representam atualmente 18,09% da área de estudo, sendo compostas basicamente por matriz (37%), floresta (27%) e urbano (23%). Com a expansão urbana, alteraram-se as proporções de unidades de borda. As bordas da matriz diminuíram em aproximadamente 1/4 e a borda urbana praticamente duplicou, aumentando o contato entre a unidade urbana e florestal, conseqüentemente, aumentando a pressão urbana sobre a mesma.

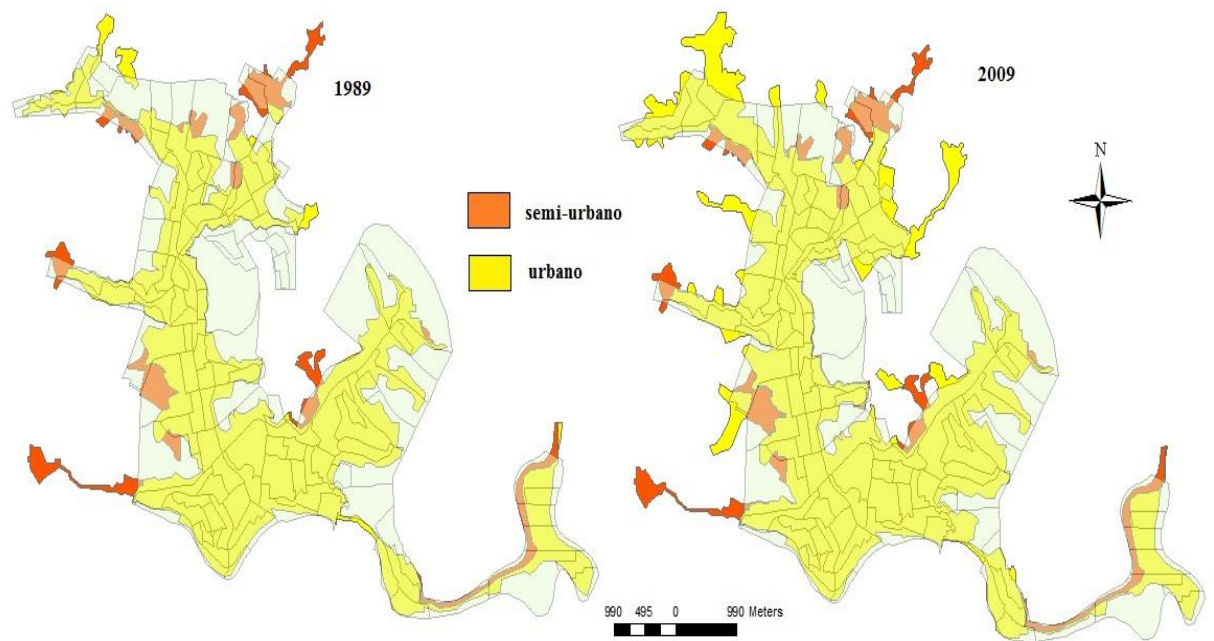
Figura 3. Comparativo do crescimento urbano sobre a matriz de pastagem, Município de Coronel Fabriciano/MG, entre 1989 e 2009





De acordo com a **Figura 4**, as áreas amarelas mostram o perímetro urbano as áreas laranja o perímetro semiurbano, entre 1989 e 2009. Fica denotada a expansão da área urbana com bastante destaque na porção norte da cidade, onde novos bairros apareceram nestes últimos anos. Estes bairros caracterizam-se por estarem localizados em áreas de condições socioeconômicas baixas, com deficiente serviço de infraestrutura urbana.

Figura 4. Comparativo da expansão urbana (perímetro urbano e semiurbano), Município de Coronel Fabriciano/MG, entre 1989 e 2009



Discussão

Nas duas últimas décadas, os quatro vírus do dengue foram se alternando na população brasileira causando epidemias que variam em gravidade e entre regiões geográficas ^{10,12,20}. Com a alternância de sorotipos no Brasil, o vírus encontra em períodos cíclicos, uma população suscetível que não está imune à cepa predominante. Fatores tais como o número de indivíduos suscetíveis, os níveis de populações de mosquitos, as características físicas e ambientais determinam a força de infecção da doença ²¹ e explicam os surtos observados na região estudada.

Os surtos de dengue, de forma sistemática, ocorrem em vários estados brasileiros após as condições climáticas favorecerem a reprodução do mosquito no período chuvoso e úmido ²². No entanto, não só as condições climáticas podem fornecer pistas

para a alta transmissão de dengue em cidades como Coronel Fabriciano, que está localizada em uma região de altas temperaturas médias e umidade. A suscetibilidade da população é outra característica fundamental que deve ser explorado em modelos de transmissibilidade²³.

As medidas de controle da dengue atualmente estão focadas na participação comunitária e no controle de vetores e redução na fonte larval. No período de estudo ocorreu um projeto de educação em saúde intitulado Escola Contra a Dengue, no intuito de envolver as escolas sediadas em áreas de maior notificação, envolvendo os alunos da própria comunidade do combate à dengue. Dos vários projetos desenvolvidos pelos próprios alunos, como apoio da Zoonoses, destacou-se a Gincana da Reciclagem, numa escola do vetor Norte (bairro Manoel Maia), onde foram retirados do ambiente da comunidade mais de 10.000 embalagens de materiais recicláveis/depósitos de larvas, e doadas para a Coleta Seletiva do município¹⁷. Um padrão de estações secas e úmidas é típico para a região, e condições quentes temperadas ocorrem ao longo do vale o qual está o município de Coronel Fabriciano. A dengue, sendo uma doença transmitida por vetor, é atualmente a mais importante arbovirose globalmente e é geralmente associada a ambientes construídos em áreas tropicais²⁴. Temperatura quente, alta pluviosidade e a posição geográfica da cidade criou um local ideal para criadouros de populações de *Aedes aegypti*, assegurando a sua sobrevivência ao longo do ano. Assim como outros municípios, Coronel Fabriciano tem um programa de inseticidas e busca ativa de larvas de *Aedes* que está ativo durante todo o ano.

O surgimento dos casos de dengue que dão início à onda epidêmica na cidade de Coronel Fabriciano ocorre naquelas localidades que experimentaram uma expansão urbana nos últimos anos na região norte do município. Esta região caracteriza-se por ser composta por localidades com uma presença forte da interface urbano-rural, onde a

infraestrutura urbana nova ainda apresenta deficiências que promovem a proliferação do vetor e a rápida transmissão da doença. Entretanto, alguns fatores podem ser levantados para explicar como prováveis para explicar o início da onda epidêmica nas áreas ao norte do município, sendo que podem estar atuando independentemente, ou em conjunto, ou ainda formando um movimento sinérgico multicausal. São estes os diferentes cenários: estas áreas de surgimento de surto são propícias à proliferação do vetor, com grandes áreas abertas onde se acumulam lixo e água. A maior densidade populacional de mosquitos nessa área propiciaria a transmissão dar início nestes locais. Além disso, o nível socioeconômico inferior em relação a outras áreas do município favoreceria a transmissão. Denota assim na literatura evidências sobre associações entre condições socioeconômicas e incidência de dengue ²⁵⁻²⁸.

Em outro cenário, o vetor está presente por toda a área urbana do município. Mesmo com os índices entomológicos apresentando valores que variam entre os bairros, sinalizando que a transmissão da doença se mantém mesmo em áreas de baixa densidade populacional do mosquito ²³. Com isso, os movimentos populacionais teriam uma importância. Um grande número de pessoas se desloca em um movimento diário entre as áreas centrais do município Do município e cidades vizinhas como Ipatinga e Timóteo, também com surtos de dengue de estudo, onde trabalham ou utilizam dos serviços, e as zonas periféricas ao norte, onde residem. Entende-se aqui que as zonas de transmissão se dariam em um local diferente de onde se deu o início do surto.

Além desses fatores, a disponibilidade de suscetíveis nas áreas ao norte poderia ser um ponto importante na cadeia de transmissão da dengue na cidade de Coronel Fabriciano. Como não estão disponíveis dados sorológicos sobre o sorotipo circulante para os diferentes bairros, ficou dificultada saber-se naquele momento, se a distribuição de pessoas suscetíveis ao sorotipo epidêmico dentro do município é heterogênea ou não,

de forma que um estoque de suscetíveis aliados às questões socioeconômicas que favorecem o vetor e o maior encontro entre este e o homem, seria o passo inicial para o surgimento dos casos e o posterior início da epidemia nestas áreas ao norte.

Gubler ²⁹ argumenta que quatro fatores podem ser citados como principais condicionantes do aumento da incidência e propagação da dengue atualmente: (i) falta de um controle eficaz do mosquito, (ii) mudança no estilo de vida da população, (iii) o processo de urbanização sem planejamento e (iv) a globalização. Estes fatores, isoladamente ou em conjunto podem influenciar a chance de epidemias de dengue em uma região, sendo que para interpretar as mudanças na frequência de casos de dengue ao longo do tempo, os dados sorológicos fornecem pistas importantes sobre a frequência dos tipos virais circulantes nas populações levando em conta que o número de pessoas suscetíveis é um fator importante para a força de infecção de uma doença ¹². Dessa forma, o sorotipo 3 da dengue predominou na maioria dos estados do Brasil entre 2002 e 2006. Entre 2007 e 2009, observou-se uma mudança no sorotipo predominante, com a substituição do DENV-3 pelo DENV-2 ^{12,20,26}. Essa mudança levou à ocorrência de epidemias em um número de unidades federais, com um deslocamento de casos graves para as pessoas, em especial às menores de 15 anos ³⁰. O monitoramento da circulação de sorotipos em 2009 apontou para uma nova mudança do sorotipo predominante, com uma recirculação significativa de DENV-1. A recirculação do DENV-1 aumenta a possibilidade de surtos em regiões onde a população não tem estado em contato com o vírus desde os anos 80. Como a circulação do DENV-2 já foi demonstrada para aumentar a proporção de doença grave, especialmente em crianças e adolescentes, incluindo aumento da demanda por internações hospitalares. O efeito da recirculação do DENV-1 deve ser acompanhado de perto pelo serviço de vigilância da dengue em todos os níveis do sistema, uma vez que pode levar a um padrão semelhante

de casos em crianças, devido à reduzida circulação desse sorotipo durante a última década.

Como o monitoramento da circulação do vírus da dengue no país em 2009 apresenta uma maior proporção de isolamento do sorotipo DENV-1, isso pode ser associado à transmissão aumentada em alguns estados, evidenciando o sorotipo 4 a partir de 2011 no país. A maioria da população brasileira não tem imunidade contra esse tipo de vírus, o que aumenta as chances de uma epidemia. O vírus circula em 10 países nas Américas ³¹, incluindo a Venezuela, que faz fronteira com o estado de Roraima e onde este tipo de vírus da dengue provavelmente pode ter entrado no Brasil.

A onda epidêmica vista neste estudo parece ter um caráter unidirecional, onde as notificações vão acontecendo naquele local até o esgotamento do mínimo de suscetíveis para a manutenção da epidemia naquele local. De acordo com Wen et al. ³², uma onda epidêmica é definida como uma sequência de semanas com a ocorrência de casos ininterruptas. Em Coronel Fabriciano, as áreas urbanas em todo o município são divididas em distritos, cada um com diferente tamanho da população e uma chance de infecção que pode diferir entre estes distritos que estão sujeitas a diferentes condições ambientais.

A dengue tem provavelmente uma distribuição espacial heterogênea sobre as áreas afetadas. Muitas regiões são propensas a experimentar grande impacto de futuros surtos, especialmente quando um novo sorotipo começa a circular. Neste estudo, a disseminação de casos de dengue visto para o período estudado oferece uma indicação de que a epidemia de dengue evolui temporariamente e espacialmente, ocupando diferentes áreas dentro da cidade. Os pontos que evidenciaram mais casos atendidos aloca-se na região norte, local da primeira ocorrência de casos de *cluster*, causando

um esgotamento de suscetíveis neste ponto. Em seguida, os movimentos de ondas epidêmicas direcionam-se em outra direção, com um grande número de pessoas em risco de dengue. Estes bairros são caracterizadas por más condições sociais com o crescimento urbano recente e poucas condições ideais de saneamento básico e infraestrutura urbana; também, há outras endemias ligadas ao saneamento como esquistossomose (dados do PCE – Programa de Controle da Esquistossomose) que acometem a região norte. Há pouco tempo a água não era tratada e até hoje não há tratamento de esgotos na cidade.

Algumas limitações podem ser estabelecidas neste estudo: as análises foram conduzidas a partir de casos notificados de dengue pelos serviços hospitalares à Secretaria Municipal de Saúde e não a partir dos casos laboratorialmente confirmados de dengue. Na maioria dos municípios em Minas Gerais, o principal padrão de confirmação de dengue é o clínico, uma vez que poucos exames sorológicos são realizados. O viés no estudo pode surgir a partir do momento em que os casos de dengue podem ser subnotificados ou supernotificados durante o período epidêmico nos primeiros meses do ano. Isto advém do fato de outras doenças estarem inseridas na síndrome febril icterica aguda e síndrome febril icterica hemorrágica aguda (SFIA e SFIHA), e assim, serem diagnosticadas e notificadas como dengue pelos serviços de saúde. Faz-se da importância da utilização de métodos mais eficazes de diagnóstico.

Conclusão

Neste estudo, observamos casos de dengue espacialmente agrupados na região norte do Município estudado, onde novos bairros surgiram nos últimos anos acompanhando o crescimento populacional, sem estrutura adequada de urbanização e

planejamento urbano. Além disso, o crescimento urbano tem levado a uma abordagem de fragmentos florestais nativas com mais efeitos de borda, reduzindo a margem de cursos d'água e fornecendo um solo nu, adequado para o acúmulo de lixo, e a formação de criadouros de mosquitos.

O mosquito *Aedes aegypti* frequenta os ambientes intra e peridomiciliar, preferindo criadouros artificiais, tanto aqueles abandonados a céu aberto e preenchidos pelas águas das chuvas quanto àqueles utilizados para armazenar água para uso doméstico (latas, barris, caixa d'água e outros) ou ornamentais. Os resultados obtidos neste estudo mostraram a expansão urbana, associada a condições climáticas e as atividades humanas, propiciaram a dispersão do vetor por toda a área urbana do município, de forma oportunista.

Com a utilização de técnicas de geoprocessamento para mapear as áreas de focos do mosquito vetor e dos casos de dengue, pode-se identificar os locais de maior risco de transmissão. Dessa maneira, as informações entomológicas e epidemiológicas notificadas pelos serviços de saúde podem ser processadas no sistema, de maneira rápida, possibilitando melhor visualização e direcionamento das atividades de controle da dengue. E, assim, políticas públicas eficientes e planejamento urbano adequado podem reduzir o impacto desta doença.

Agradecimentos

A Direção e Agentes Comunitários de Endemias pertencentes à Secretaria de Saúde de Coronel Fabriciano, MG.

Referências

1. Almeida MCM, Caiaffa WT, Assunção RM, Proietti FA. Spatial Vulnerability to Dengue in a Brazilian Urban Area During a 7-Year Surveillance. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine* 2005; 84 (3): 334-345.
2. Anderson RM, May RM. Infectious diseases of humans: dynamics and control. Oxford Univ. Press; 1991.
3. Araújo JM, Bello G, Schatzmayr HG, Santos FB, Nogueira RM. Dengue virus type 3 in Brazil: a phylogenetic perspective. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2009; 104(3): 526-529.
4. Medronho RA. Dengue e o ambiente urbano. *Rev Bras Epidemiol* 2006; 9:159-61.
5. Tauil PL. Urbanização e ecologia do dengue. *Cad. Saúde Pública* 2001; 17(1):99-102.
6. Mcconnel KJ, Gubler DJ. Guidelines on the cost-effectiveness of larval control programs to reduce dengue transmission in Puerto Rico. *Revista Panamericana de Salud Pública* 2003; 14(1): 9-16.
7. Coelho GE. Challenges in the control of *Aedes aegypti*. *Rev Inst Med Tropical* 2012; 54 (18):13-24.
8. Sly PD. Health impacts of climate change and biosecurity in the Asian Pacific region. *Rev Environ Health* 2011; 26(1):7-12.
9. Schmidt WP, Suzuki M, Thiem VD, White RG, Tsuzuki A, Yoshida LM, Yanai H, Haque U, Tho LH, Anh DD, Ariyoshi K. Population density, water supply, and the risk of dengue fever in Vietnam: cohort study and spatial analysis. *PLoS Med.* 2011; 8(8):e1001082.
10. Tapia-Conyer R, Betancourt-Cravioto M, Méndez-Galván J. Dengue: an escalating public health problem in Latin America. *Paediatr Int Child Health* 2012; 32(1):14-7.
11. Regis L, Monteiro AM, Melo-Santos MAV, Silveira Jr JC, Furtado AF, Acioli RV, et al. Developing new approaches for detecting and preventing *Aedes aegypti* population outbreaks: basis for surveillance, alert and control system. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2008; 103: 50-9.

12. De Simone TS, Nogueira RMR, Araújo ESM, Guimarães FR, Santos FB, Schatzmayr HG, et al. Dengue virus surveillance: the co-circulation of DENV-1, DENV-2 and DENV-3 in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2004; 98: 553-562.
13. Earnest A, Tan SB, Wilder-Smith A. Meteorological factors and El Niño Southern Oscillation are independently associated with dengue infections. *Epidemiology & Infection* 2011; 140 (7):1244 – 1251.
14. Sazonova I, Kelberta M, Gravenora MB The Speed of Epidemic Waves in a One-Dimensional Lattice of SIR Models. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena* 2008; 3 (04): 28-47.
15. Degallier N, Favier C, Boulanger JP, Menkes C. Imported and autochthonous cases in the dynamics of dengue epidemics in Brazil. *Rev Saúde Pública* 2009; 43(1):1-7.
16. Siqueira-Junior JB, Maciel IJ, Barcellos C, Souza WV, Carvalho MS, Nascimento NE, et al. Spatial point analysis based on dengue surveys at household level in central Brazil. *BMC Public Health* 2008; 8:361.DOI: 10.1186/1471-2458-8-361.
17. Coelho FC, Codeço CT, Struchiner CJ. Complete treatment of uncertainties in a model for dengue R0 estimation. *Cad Saúde Pública* 2008; 24(4), 853-861.
18. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2010.
19. World Health Organization. The Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases. Dengue: Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control; 2009.
20. Campos RD, Veiga CS, Meneses MD, de Souza LM, Fernandes CA, Malirat V, et al. Emergence of Dengue virus 4 genotypes II b and I in the city of Rio de Janeiro. *J Clin Virol.* 2012; doi:pii: S1386-6532(12)00385-X. 10.1016/j.jcv.2012.10.006
21. Favier C, Degallier N, Rosa-Freitas MG, Boulanger JP, Costa Lima JR, Luitgards-Moura JF, et al. Early determinations of the reproductive number for vector-borne diseases: the case of dengue in Brazil. *Tropical Medicine and International health* 2006; 11 (3): 332-340.
22. Yang HM, Macoris ML, Galvani KC, Andrighetti MT. Follow up estimation of *Aedes aegypti* entomological parameters and mathematical modellings. *Biosystems* 2011;103(3): 360-71.

23. Focks DA, Daniels E, Haile DG, Keesling JE. A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 1995; 53: 489–506.
24. Anderson RM, May RM. Infectious diseases of humans: dynamics and control. Oxford Univ. Press; 1991.
25. Mondini A, Chiaraualloti-Neto F. Spatial correlation of incidence of dengue with socioeconomic, demographic and environmental variables in a Brazilian city. *Science of the Total Environment* 2008; 393: 241–248.
26. Teixeira MG, Barreto ML, Costa MCN, Ferreira LDA, Vasconcelos PFC, Cairncross S. Dynamics of dengue virus circulation: a silent epidemic in a complex urban area. *Trop Med Int Health* 2002; 7:757–62.
27. Bartley LM, Carabini H, Vinh-Chau N, Ho V, Luxemburger C, HienTT, et al. Assessment of the factors associated with flavivirus seroprevalence in a population in Southern Vietnam. *Epidemiol Infect* 2002; 128:213–20.
28. Vasconcelos PFC, Lima JWO, Rosa APAT, Timbó MJ, Rosa EST, Lima Hr, et al. Epidemia de dengue em Fortaleza, Ceará: inquérito soro-epidemiológico aleatório. *Rev Saúde Pública* 1998; 32:447–54.
29. Gubler, DJ. Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century. *Tropical Medicine and Health* 2011; 39(4): 3-11.
30. Giraldo D, Sant'Anna C, Périssé AR, March Mde F, Souza AP, Mendes A, et al. Characteristics of children hospitalized with dengue fever in an outbreak in Rio de Janeiro, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2011; 105(10):601-3.
31. Clark GG, Rubio-Palis Y. Mosquito vector biology and control in Latin America - 22nd symposium. *J Am Mosq Control Assoc.* 2012; 28(2):102-10.
32. Wen TH, Lin NH, Lin CH, King CC, Su MD. Spatial mapping of temporal risk characteristics to improve environmental health risk identification: a case study of a dengue epidemic in Taiwan. *Sci Total Environ.* 2006; 367(2-3):631-40.

Capítulo 4

Um olhar sobre o ambiente e a dengue

Temporal and spatial relationship by environmental factors as an effective prediction for occurrence of dengue fever: Case study

Marco Aurélio Pereira Horta¹, Aldo Pacheco Ferreira^{2,*}, Cristina Maria Souza Catita³, Fabricio Thomaz de Oliveira Ker⁴, and Robson Bruniera⁵

^{1,2,5}Sérgio Arouca National School of Public Health, Oswaldo Cruz Foundation, Rio de Janeiro, Brazil

³University of Lisbon, Faculty of Sciences, Lisbon, Portugal

⁴Epidemiological Surveillance Division, Coronel Fabriciano Municipality, Minas Gerais, Brazil

*Corresponding author (Email: aldopachecoferreira@gmail.com)

Status: *Publicado*. International Journal of Epidemiology & Infection 2013, 1(1):4-10

Abstract – Dengue fever is a serious vector-borne disease which affects millions of people and its high incidence is manifested especially in tropical countries, where environmental conditions favour the development and proliferation of *Aedes* mosquito. Year after year Minas Gerais state has been record in dengue cases and Coronel Fabriciano Municipality, the most significant. Temperature and precipitation are amongst the most included variables in statistical models to predict dengue transmission and the time-lag between the rise of temperature and rainfall and the beginning of epidemics is of great concern when considering dengue transmission models. It was applied a distributed lag non-linear model (DLNM), a modelling framework that can simultaneously represent non-linear exposure–response dependencies and delayed effects, to establish the association between dengue incidence in a mid-size city in Brazil and weather predictors, taking into account the delayed effects of exposure. For analysis were used the weekly number of notified dengue cases during the period 2004-2009 from Epidemiological Surveillance Division, Coronel Fabriciano. When considering the rainfall, the highest relative risk (1.2) was observed for Lag 10. Observing the cumulative effect of the precipitation, the relative risk for 12th and 13th week was $RR = 4$. The highest risk, 1.25 was observed at 25°C, denoting that the risk of dengue transmission increases with temperature. Provisions are needed even greater control in warmer regions, according to the data produced with this study.

Keywords – Dengue fever, Lag non-linear model, Environmental conditions, Coronel Fabriciano, Brazil.

Introduction

This paper is about the applying a lag-time series model in order to establish the association between dengue incidence and weather predictors taking into account the delayed effects of exposure.

Dengue fever (DF) is a serious and potentially life-threatening infection caused by one of four closely related dengue viruses [1]. DF is transmitted by the bite of an *Aedes* mosquito infected with a dengue virus [1,2]. Common symptoms, which usually begin four to six days after infection and last for up to 10 days, include high fever, headaches, pain behind the eyes, severe joint and muscle pain, nausea, vomiting, skin rash, which appears three to four days after the onset of fever [2]. Dengue infection can present a more complicated symptom that include dengue haemorrhagic fever, characterized by high fever, damage to lymph and blood vessels, failure of the circulatory system or the dengue shock syndrome characterized by massive bleeding, shock, and death [3]. Each year, approximately 100 million cases of DF occurs worldwide [2].

In Brazil, DF is endemic, with periods of high incidence in the wet and warm season which depends on the circulating virus, the susceptible population and other factors that include socio-economic and environmental conditions [4]. Currently there are no vaccines available for the four serotypes. Systematically are increasing efforts on public management to avoid focus for dengue vector, aside the awareness campaigns onto the population to not leave stagnant water in their houses, since these can serve as potential breeding sites.

DF epidemiology in Brazil follows periods of low and high incidences over the last decades [5]. Large epidemics of DF caused by one of the four serotypes were common in the most populated cities during the last years and with the arrival of DEN-4 in Brazil

new outbreaks couldn't be avoided. In many countries of South America such as Brazil, Colombia, Venezuela, there is a hyperendemic circulation of four serotypes of dengue virus [6], causing epidemics that affect thousands of people and huge economic impacts. Four factors can be cited as responsible for the increased incidence and spread of dengue in these countries: lack of effective mosquito control, the change in lifestyle of the urban population, unplanned urbanization, and globalization [7,8]. Urban growth has provided ecological conditions that allow populations of *Aedes aegypti* to breed in close association with human populations, creating ideal conditions for dengue transmission [5,7].

Dengue has spread as a result of rapid urbanization [1,3], and its high incidence is manifested especially in tropical countries, where environmental conditions favour the development and proliferation of *Ae. aegypti* mosquito, principal vector of DF [4]. Several environmental and social factors are associated with DF epidemics and the expansion of the vector like population growth, urban crowding, the precariousness of public health services and a lack of public awareness [3]. Outbreaks often cause chaos in the communities, resulting in considerable social upheaval and economic loss, both of which are difficult to measure due to the paucity of reliable disease burden data [7]. The vector constant presence in urban areas shows that this species has developed significantly in environments artificially created by man to better ensure their survival [9,10]. This vector is adapted to breed in domestic and peridomestic environments, and proliferation often occurs in places with poor urban infrastructure and inadequate water supply. This structure forces people to store water in tanks that become potential breeding sites of *Ae. Aegypti* [11-14]. The mosquitoes are particularly successful at spreading dengue because they feed almost exclusively on humans, are active during the

day, and are found primarily in urban areas, where they breed in any container holding water, like planters or waste tires [15].

Risk factors for DF include presence of vector, susceptible human population, circulating virus serotype, health status of the patient, socio-economic conditions, and environmental factors. Amongst the environmental factors, the temperature and precipitation are the most cited and included in statistical models to determine and predict dengue transmission in several parts of the world [16]. The time-lag between the rise of temperature and rainfall and the beginning of an epidemic event is of great concern when considering dengue transmission models. Studies have shown that the dynamics of dengue is affected by many factors, including environmental and climate factors, host-vector interactions and the herd immunity [17-19]. Temperature, relative humidity and rainfall systems may directly or indirectly affect the breeding, survival, development, reproductive rates and abundance of these *Aedes* mosquitoes by providing suitable conditions for its survival, and could influence dengue spatial-temporal distributions [20-22]. Those factors together could influence the risk of DF outbreaks once this illness is sensitive to weather. The biological characteristic of *Aedes* mosquito is directly influenced by the temperature and the amount of rainfall. Warmer temperatures increase the chances that the vector and the virus will thrive. In raining season, the heavy rain flushes away the egg, larvae, and pupae of *Aedes* mosquitoes in the short term but it creates huge breeding habitat for mosquito in the long run [20]. Links between dengue and weather or climate data suggest the feasibility of predicting DF [23-25].

1. Subjects and Methods

1.1. Description of the study area

This study was conducted at Coronel Fabriciano Municipality (19°31'07" S and 42°37'44" W) which is located in Rio Doce Valley, eastern part of Minas Gerais State, Brazil (Fig. 1). The city has a total area of 221.7 m², measuring 16km North-South and 12km East-West, with 104,173.00 inhabitants [26]. The urban area is surrounded by peripheral areas with expressive populational growth in the last years. Is situated in a large valley known as the valley of steel due to the large companies that explore and produce stainless steel. This valley annually registers the highest incidences of dengue in the Minas Gerais state. While the average elevation in Minas Gerais state is around 700 meters, Coronel Fabriciano has an average height of 250 meters, producing a micro climate with high temperatures, excellent conditions for the proliferation of mosquitoes and the subsequent disease transmission.



Figure1. Study area: Coronel Fabriciano, MG, Brazil

1.2. Data collection

Data collection was performed in the Information System for Notifiable Diseases

(SINAN), accessed through weekly number of notified dengue cases during the period 2004-2010 at the Municipal Health Department of Coronel Fabriciano. The population data used was obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), based on the 2010 Census. For calculate the cumulative dengue incidence was elaborated time series of the mean, minimum and maximum temperature, humidity and precipitation, for the period studied (2004-2009), including five daily readings obtained by local meteorological station coverage.

1.3. Statistical Analysis

It was used non-parametric Spearman Index to verify possible correlations among meteorological data and number of cases of dengue fever [2,4]. So, was quantified the association between weekly dengue cases and temperature across geographic regions by correlating the mean temperature at week i with the number of dengue cases by date of symptoms onset at week $i+\tau$ where τ is the natural time lag (in weeks) for changes in temperature to be reflected on dengue activity.

Related to the temporal relationship between environmental factors and the occurrence of DF cases, firstly were tested the correlation between peak rainfall and peak discharge, which varied 0-20, with DF cases occurrence. Secondly, were used the distributed lag non-linear models (DLNMs) which represent a modelling framework to flexibly describe associations showing potentially non-linear and delayed effects in time series data [27,28]. These models assumed that existent a temporal dependency between exposure and outcome on the scale of lag, which represents the time interval between the exposure event and the outcome when evaluating the delay effect. DLNMs allow for delayed effects of linear relationships using a function, describing the dependency between the outcome and lagged exposures.

The main advantage of this method is the possibility to depict a detailed description of the time-course of the relationship. Originally developed in econometrics [28], this method has recently been used to quantify the health effect in studies on environmental factors [28]. For this model, it was assumed that data had an overdispersion, a situation where the variance of the response variable exceeds the mean. $\text{Var}(Y_i) > E(Y_i)$, where Var = variance of response variable and $E(Y_i)$ = mean of response variable. The model was adjusted using the number of dengue cases as variable dependent and rainfall as independent. Other environmental variables such as average temperature for each epidemiological week and humidity of the same period were used as adjustment variables. For all analysis, results were considered statistically significant with p-value < 0.05 . Lag terms ranging from 1 to 20 weeks for temperature and precipitation were created to analyse relative risks (RR) between weather predictors and dengue with effect of different time lag. Cross-correlation coefficients of each weather variable and dengue cases were examined to estimate maximum lag terms.

The main feature of DLNMs is their bi-dimensional structure: the model describes simultaneously the potentially non-linear relationship in the space of the predictor and along the new temporal dimension [27], as in eq. (1):

$$g(\mu_t) = \alpha + \sum_{j=1}^J s_t x_{tj} \beta_j + \sum_{k=1}^K \gamma_k u_{tk} \quad (1)$$

where $\mu_t \equiv E(Y_t)$, g is a monotonic link function and Y_t is a series of outcomes with $t = 1, \dots, n$, implicit to arise from a distribution belonging to the exponential family. Assuming that Y is affected by X with a time lag finite, that means, the influence of X on Y_t is exhausted after k periods of time at earlier, as in eq. (2) is possible define the lag model finite of k periods of time.

$$y_t = \alpha + \beta_0 x_t + \beta_1 x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + \dots + \beta_k x_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2)$$

1.4. Ethical considerations

Ethical clearance was obtained from the Ethical Committee in Research from the Oswaldo Cruz Foundation, Ministry of Health, Brazil.

2. Results

During the period studied, 6,761 dengue cases were reported by Epidemiological Surveillance Division. DF incidence strongly fluctuated from year to year, and between months within a year (Fig. 2). There was a rise in DF notifications in 2008-2009 that accounted for 74.8% of cases. DF cases decreased significantly between 2004 and 2007, being considered as an inter-epidemic period. In South-eastern Brazil, DF cases occur in the first months of the year, a period of warm temperatures and rainy season. From 2007 through 2009, a period of rise in dengue notifications, the total number of dengue cases accounted for 64.1% of total cases for the whole period of study. DF cases reduced from 1406 cases in year 2002 to 123 cases in 2006 and then increased again after 2007 and peaked in year 2009 with 3,389 cases. Cumulative incidence presented high levels in this study. It decreased to 117.3 cases per 100,000 inhabitants in 2006 and raised again in 2007, 2008 and 2009, which peaked to 3271.22 cases per 100,000 habitants. The year of 2006 presented a low number of DF cases.

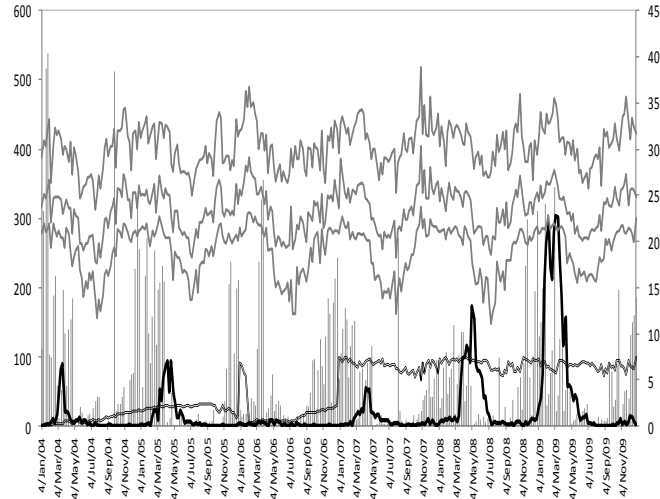


Figure 2. Temporal series of dengue cases (black line), rainfall (grey bars, y-axis in mm), mean, maximum and minimum temperature (three lines above, z axis in °C) and relative humidity (gray line)

The largest volume of rain was recorded in 2004 with 112.7 mm. In the subsequent years (2005-2007) there was reduction in the volume of rain (Tab. 1). The highest average temperatures recorded were in 2007 (23.88°C), and in 2009 (23.87 °C). The lowest average temperatures recorded were in 2009 (19.18 °C), and in 2005 (19.48°C). The maximum average temperatures were recorded in 2007 and 2009, with 31.10 °C and 30.92°C, respectively. The increase in data of dengue cases occurred between 2006 and 2009 (123, 495, 1570 and 3389), but wasn't necessarily accompanied by increase in temperature; albeit there was a gradual increase of precipitation (52, 59 and 67.14 mm between 2007 and 2009). In 2004-2006 were observed low values for the relative humidity, and in 2007-2009, the relative humidity stayed at 87.65, 90.31 and 87.0, however not following the increase in dengue cases recorded for this period.

Table1. Results obtained of environmental variables and Dengue fever cases during the period studied

Period	Rainfall (mm)	Mean temperature (oC)	Humidity	DF cases
2004	112.70	22.99	9.67	431
2005	74.15	23.31	26.75	755
2006	68.70	23.38	19.32	123
2007	52.00	23.88	87.65	495
2008	59.00	23.452	90.31	1,570
2009	67.14	23.87	87.00	3,389

The highest correlation between dengue cases and periods of lag (in weeks) was observed between lag 9 and 10 ($\rho = 0.5008$, $\rho = 0.5021$, respectively) (Tab. 2). The same results were observed by fitted DLNM application. The association between lag and dengue cases shows an increase in value of the correlation between weeks 7 and 9, stabilization in the correlation between weeks 9 and 10, and a reduction of correlation between weeks 10 and 12.

Table 2. Values of the correlations observed by distributed lag non-linear model and dengue fever cases

Lags (week)	Correlation values (ρ)	P-value
7	0.42	<0.005
8	0.46	<0.005
9	0.50	<0.005
10	0.50	<0.005
11	0.48	<0.005
12	0.46	<0.005

The Fig. 3 shows the relationship between lag (weeks after rainfalls) and the relative risk (RR) for dengue infection. The highest relative risk (above 1.2) was observed for Lag 10, with a reduced risk after the 10th week.

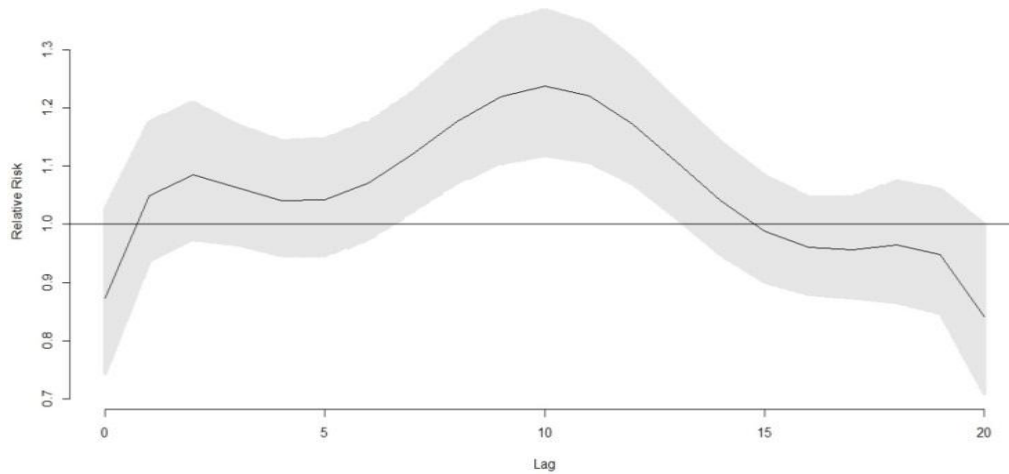


Figure 3. Relationship between lag (weeks after rainfalls) and the relative risk (RR) for dengue infection

The Fig. 4 shows a cumulative effect of the amount of rainfall on Relative Risk for DF infection, along lags. The average amount of precipitation was estimated in 80 mm³ per week. When observing the cumulative effect of the precipitation, the relative risk is shifted to the 12th and 13th week, with the value peaking RR = 4.

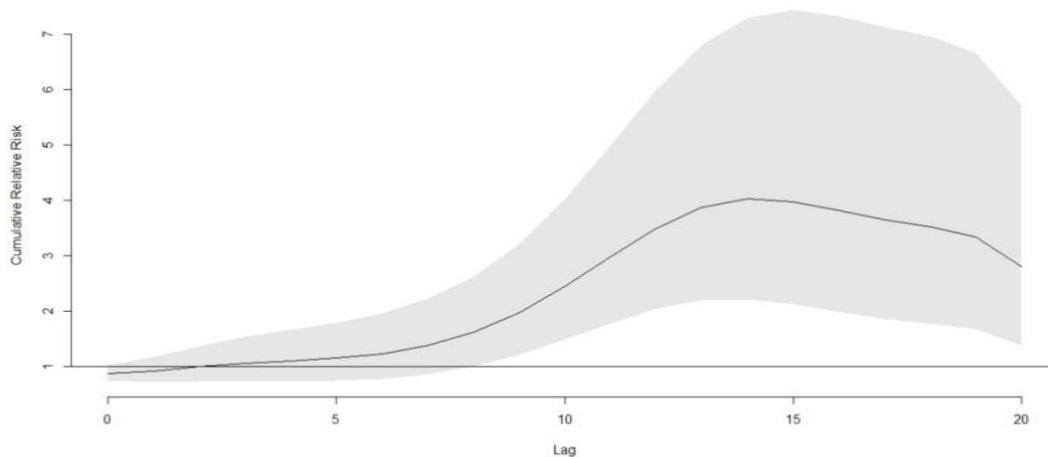


Figure 4. Cumulative effect of the average amount of rainfall on Relative Risk for dengue fever along lags.

The risk of dengue transmission increases with temperature. The risk to contract dengue fever increases following an increase in temperature after 23.7° C approximately (Fig. 5). The highest risk (1.25) was observed at 25.5°C approximately. It can be observed from Figure 5 that low temperatures (under 23°C) could exert a protective effect on dengue transmission, since the model indicated a risk value below 1. Relative humidity presented an almost linear relationship with the outcome variable, the number of dengue cases. As increases the humidity, increases the occurrence of cases of dengue, but not significantly.

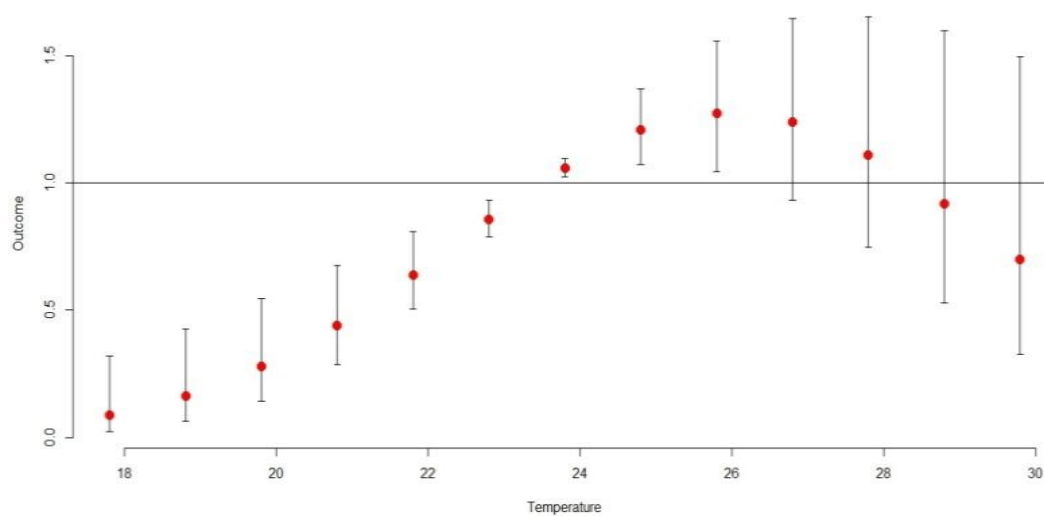


Figure 5. Effect of temperature on Relative Risk of dengue fever

3. Discussion

Our results showed that increasing mean temperature produced a direct effect by increasing relative risk in dengue incidence significantly at lag strata 9_12; while relative risk in dengue decreased minimally when mean temperature was above 27°C at the same strata. Dengue incidence was associated with cumulative precipitation at lag strata 12_14. The impact of cumulative precipitation on dengue incidence was negative at lag strata 1_2 as decreasing precipitation corresponded to increasing relative risk with maximum effect at zero weekly cumulative precipitation. Nevertheless, relative risk of dengue increased linearly with weekly cumulative precipitation at lag strata 5_8 and 9_12 and peaked at about 80 mm at lag 14 before declining. Increase in cumulative precipitation showed highest relative risk of dengue incidence at lag strata 13_14. Risk function of dengue and precipitation (weeks after rainfall) (Fig. 2) was shown as a ‘different’ shape at lag strata 0_20. The relative risk of dengue indicated opposite effect as precipitation lag was between 1 and 2 and after 15. Post estimation plots indicated good fit of model for the analysis.

Studies have demonstrated a clear seasonal pattern of dengue occurrence influenced by elevated temperature, relative humidity and duration of sunshine [20]. Brazil has been suffering from dengue epidemics in recent decades. Further to this the fact, this disease has well-defined seasonal cycles that vary with some regions [2]. In the present study, we demonstrated the delayed effect of temperature and rainfall over the DF cases in an urban setting, by using DLNM models. The temporal sequence of dengue in Coronel Fabriciano, marked by clear patterns of precipitation, followed by an increase in the number of dengue cases, is similar to patterns previously seen by other authors [2-6]. A number of natural factors play a significant role in the strength of an epidemic, especially temperature and precipitation but with a delayed effect. This delayed effect of climatic variables on dengue incidence might be explained by climatic factors, which do not influence directly the incidence of dengue but indirectly through their effect on the life-cycle dynamics of both vector and virus. From beginning of the rainy season where water accumulates and temperature rises to human case appearance, successive phases occurs resulting in global cumulative lags [16].

In Minas Gerais state, rainfall, temperature and relative humidity start to increase in December, following a rise in DF notifications during the next weeks. We observed that the number of dengue cases is synchronized and correlated with the delayed rainfall and temperature. The data show the number of dengue cases very low during the dry season (from June to October) and presenting a peak during the summer and rainy season, indicating the onset of transmission. Authors have shown that DF incidence was associated with weekly cumulative precipitation where the relative risk of dengue increased linearly with weekly cumulative precipitation at lag 5-8 and 9-12 [11,13,14]. Increase in cumulative precipitation showed highest relative risk of dengue incidence at

lag 13-16 with a plateau effect when cumulative precipitation was between 75 and 150 mm [30].

Multivariate models that take into account the lag factor can provide better prediction and might be implemented in routine for dengue surveillance, mainly in endemic countries. This model has potentially and might be useful for the evaluation of new intervention strategies introduced into cities which are affected with DF every year. Gharbi et al. [16], using time series analysis, showed that the predictions over a period of 3 months were the best way to implement appropriate prevention programs. This study demonstrated a positive correlation between dengue incidence and climatic variables such as relative humidity, minimum temperature and average temperature. The predominant effect of these variables was observed after a 7 weeks-lag for the relative humidity, 5 weeks-lags for the minimum temperature, and 11 weeks-lags for the average temperature.

In order to minimize some limits founded DLNM model is important observed that the time series analysis requires homogeneous data over long periods, and sometimes are often difficult to obtain. Another point, the crude relationship between dengue incidence and climatic variables shows that modification of the weather does not necessarily affect dengue epidemics. Additionally, other variables including socioeconomic should be incorporated in these lag-models in order to better predict dengue transmission.

Others limitations encountered in dengue incidence studies are related to asymptomatic and unreported cases that lead to underreported dengue cases. Asymptomatic cases could be several times higher than reported cases.

The results presented here are consistent with previous studies which found that the majority of dengue cases occurred in months with higher rainfall [20]. In South-eastern

Brazil, the dengue season occurs in the rainy season, between December and April. The analysis of cases of dengue and climate variables showed a positive correlation between the disease and the maximum and minimum temperatures [31]. The relationship between rainfall and dengue lies in the fact that rainfall affects adult female mosquito. Density, as an increase in amount of rainfall, leads to more breeding sites which, in turn, lead to an increase in the number of mosquitoes. The mosquito density is an important variable measured by surveillance services in Brazil as a predictor of dengue incidences in the urban centers. A high number of adult female mosquitoes would, in turn, increase the probability of viral transmission and the elevated temperature would be associated with an increased incidence of DF due to accelerated development rate of the virus and increased mosquito biting rate, as well as, increased development rate of different mosquito life stages and dengue virus replication. Higher temperatures enhance virus replication and shorten the extrinsic incubation period in the vector whereas higher relative humidity decreases adult mosquito mortality [20]. Also, the World Health Organization consistently reports unrealistically low estimates of disease burden for dengue. Moreover, most dengue endemic countries have only passive surveillance systems that consistently underestimate the amount of dengue disease, especially mild illness, atypical severe disease and deaths. Recent studies, however, have tried to more accurately measure the actual disease burden and cost of dengue.

Weekly precipitation was associated with dengue incidence at lag of 7_12 weeks. Increasing weekly cumulative precipitation posed increasing risk on dengue outbreak until time lag of 14 weeks; whereas highest relative risk for weeks after rainfall peaked at time-lag 10. Considering the findings, the seasonality of the mosquito population is likely to be driven by temperature and precipitation [27]. Nevertheless, determinants of the dengue incidence has not been addressed in this study, but were likely attribute to

multiple factors such as vector control capacity, surveillance emphasis, herd immunity, socioeconomic, environment, change of dengue serotypes, etc. The high DF incidences reported in epidemic events in Brazil in the last decades may be due to a change in dengue serotype from DENV-1 to DENV-2; from DENV-2 to DENV-3 and from DENV-3 to DENV-4 in 2012. Also, serotypes prevalence change with region in Brazil territory. The high number of susceptible population is one of the reasons for resurgence of dengue incidence every year in different places of this country.

Climate variability between years may have direct impact on dengue incidence in current and subsequent year. Inter-annual climate variability can be influenced by local weather and El Nino Southern Oscillation or ENSO phenomenon. In order to avoid camouflage of temporal variations of weather, it is also essential to interpret the associations by analysing both short and long-term weather variations [30]. Moreover, as a 100,000 inhabitants urbanized city, Coronel Fabriciano faces threat of urban heat island effect along with extreme temperature and precipitation events which may compound the exponential increase in dengue cases. Given that temperature and precipitation are important for increasing vector population size and consequently the DF transmission rate and that silent transmission may occur in the cities, strong health policies that support active dengue surveillance and regular breeding source reduction exercises are vital for effectiveness and sustainability of dengue prevention efforts. Further studies concerning impact of climate factors on both regional and local dengue incidence are essential for analysis of geographical dengue distribution and transmission patterns so as to facilitate formulation of regional adaptation and prevention strategies accordingly. One factor that can reduce dengue incidences in Brazil is the vector surveillance during inter-epidemic periods and inter-sectorial collaborations to conduct

systematic source reduction. These measures might, to certain extent, contribute to reduce of dengue cases in the next years.

4. Acknowledgment

The authors are grateful to the Epidemiological Surveillance Division, Coronel Fabriciano, for providing data on notified dengue fever cases and Brazilian Bureau of Meteorology, for dataset of climate variables. This work had financial support (Oswaldo Cruz Foundation, CAPES and FAPERJ).

References

- [1] D. J. Gubler, “Resurgent vector-borne diseases as a global health problem”, *Emerg Infect Dis.*, 4, 1998, pp.442-450.
- [2] I. M. Cardoso, A. S. A. Cabidelle, P. C. L. Borges, C. F. Lang, F. G. Calenti, L. O. Nogueira, A. Falqueto and C. C. Junior, “Dengue: clinical forms and risk groups in a high incidence city in the southeastern region of Brazil”, *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, 44 (suppl 4), 2011, pp.430-435.
- [3] M. G. Guzman and G. Kouri, “Dengue and dengue hemorrhagic fever in the Americas: lessons and challenges”, *J Clin Virol.*, 27, 2003, pp. 1-13.
- [4] M. T. F. Lagrotta, W. C. Silva and R. Souza-Santos, “Identification of key areas for *Aedes aegypti* control through geoprocessing in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil”, *Cad Saúde Pública*, 24(1), 2008, pp.70-80.
- [5] M. G. Teixeira, “Few characteristics of dengue's fever epidemiology in Brazil”, *Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo*, 54(suppl.18), 2012, pp. 1-4.

- [6] M. G. Teixeira, M. C. N. Costa, M. L. Barreto and E. Mota, “Dengue and dengue hemorrhagic fever epidemics in Brazil: what research is needed based on trends, surveillance, and control experiences?”, *Cad Saúde Pública*, 21(5), 2005, pp. 1307-1315.
- [7] D. J. Gubler, “Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century”, *Trop Med and Health*, 39 (Suppl 4), 2011, pp. 3-11.
- [8] S. Friel, T. Hancock, T. Kjellstrom, G. McGranahan, P. Monge and J. Roy, “Urban health inequities and the added pressure of climate change: An action-oriented research agenda”, *Journal of Urban Health*, 88(Suppl 5), 2011, pp.886-95.
- [9] J. Barbosa da Silva Jr., J. B. Siqueira, G. E. Coelho, P. T. Vilarinhos and F. G. Pimenta Jr., “Dengue in Brazil: current situation and prevention and control activities”, *Epidemiol Bull.*, 23, 2002, pp. 3-6.
- [10] J. D. Zeidler, P. O. A. Acosta, P. P. Barreto and J. S. Cordeiro, “Dengue virus in *Aedes aegypti* larvae and infestation dynamics in Roraima, Brazil”, *Rev Saúde Pública*, 42, 2008, pp. 986-991.
- [11] R. J. Pontes, J. Freeman, J. W. Oliveira-Lima, J. C. Hodgson and A. Spielman, “Vector densities that potentiate dengue outbreaks in a Brazilian city”, *Am J Trop Med Hyg.*, 62, 2000, pp. 378-383.
- [12] C. C. Kan, P. F. Lee, T. H. Wen, D. Y. Chao, M. H. Wu, N. H. Lin, S. Y. Huang, C. S. Shang, I. C. Fan, P. Y. Shu, J. H. Huang, C. C. King and L. Pai, “Two clustering diffusion patterns identified from the 2001–2003 dengue epidemic, Kaohsiung, Taiwan”, *Am J Trop Med Hyg.*, 79, 2008, pp. 344–352.
- [13] D. Guha-Sapir and B. Schimmer, “Dengue fever: new paradigms for a changing epidemiology”, *Emerg Themes Epidemiol.*, 2, 2005, pp.1-7.

- [14]H. G. Schatzmayr, “Dengue situation in Brazil by year 2000”, Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 95 (Suppl I), 2000, pp.179-181.
- [15]N. Dégallier, P. T. R. Vilarinhos, M. S. L. Carvalho, M. B. Knox and J. Caetano Jr., “People’s knowledge and practice about dengue, its vectors and control means in Brasília (DF), Brazil: it’s relevance with entomological factors”, J Am Mosq Control Assoc., 16, 2000, pp. 114 - 27.
- [16]M. Gharbi, P. Quenel, J. Gustave, S. Cassadou, G. Ruche, L. Girdary and L. Marrama, “Time series analysis of dengue incidence in Guadeloupe, French West Indies: Forecasting models using climate variables as predictors”, BMC Infectious Diseases, 11, 2011, pp. 166-171.
- [17]P. C. Wu, J. G. Lay, H. R. Guo, C. Y. Lin, S. C. Lung and H. J. Su, “Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan”, Sci Total Environ., 407 (Suppl 7), 2009, pp.2224-2233.
- [18]K. Proust, B. Newell, H. Brown, A. Capon, C. Browne, A. Burton, J. Dixon, L. Mu and M. Zarafu, “Human Health and Climate Change: Leverage Points for Adaptation in Urban Environments”, Int. J. Environ. Res. Public Health, 9, 2012, pp. 2134-2158.
- [19]P. Barbazan, M. Guiserix, W. Boonyuan, W. Tuntaprasart, D. Pontier and J. P. Gonzalez, “Modelling the effect of temperature on transmission of dengue”, Medical and Veterinary Entomology, 24, 2010, pp 66–73.
- [20]P. V. Hau, D. T. M. Huong, P. T. T. Thao and M. T. N. Nguyen, “Ecological factors associated with dengue fever in a central highlands Province, Vietnam”, BMC Infectious Diseases, 11, 2011, pp. 172-178.

- [21] H. L. Yu, S. J. Yang, H. J. Yen and G. Christakos, "A spatio-temporal climate-based model of early dengue fever warning in southern Taiwan", *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 25 (Suppl 4), 2011, pp.485-494.
- [22] M. Tipayamongkholgul and S. Lisakulruk, "Socio-geographical factors in vulnerability to dengue in Thai villages: a spatial regression analysis", *Geospatial Health*, 5(Suppl 2), 2011, pp.191-198.
- [23] Y. L. Hii, H. Zhu, N. Ng, L. C. Ng and J. Rocklöv, "Forecast of dengue incidence using temperature and rainfall", *PLoS Negl Trop Dis.*, 6(11), 2012, e1908.
- [24] S. C. Chen and M. H. Hsieh, "Modeling the transmission dynamics of dengue fever: implications of temperature effects", *Sci Total Environ.*, 431, 2012, pp. 385-391.
- [25] M. Bannister-Tyrrell, C. Williams, S. A. Ritchie, G. Rau, J. Lindesay, G. Mercer and D. Harley, "Weather-driven variation in dengue activity in Australia examined using a process-based modeling approach", *Am J Trop Med Hyg.*, 88(1), 2013, pp. 65-72.
- [26] IBGE. Brazilian Institute of Geography and Statistics. Available at: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Accessed in: October 25th 2012.
- [27] A. Gasparrini, B. Armstrong and M. G. Kenward, "Distributed lag non-linear models", *Stat Med.*, 29(21), 2010, pp. 2224-2234.
- [28] J. Yang, Chun-Quan Ou, Y. Ding, Ying-Xue Zhou and Ping-Yan Chen, "Daily temperature and mortality: a study of distributed lag non-linear effect and effect modification in Guangzhou", *Environmental Health*, 11, 2012, 63-69.
- [29] S. Almon, "The distributed lag between capital appropriations and expenditures", *Econometrica*, 33, 1965, pp. 178-196.

- [30] Y. L. Hii, J. Rocklo, N. Ng, C. S. Tang, F. Y. Pang and R. Sauerborn, "Climate variability and increase in intensity and magnitude of dengue incidence in Singapore", *Global Health Action*, 2009, 2: 10.3402/gha.v2i0.2036.
- [31] E. Pinto, M. Coelho, L. Oliver and E. Massad, "The influence of climate variables on dengue in Singapore", *International Journal of Environmental Health Research*, 21(6), 2011, pp. 415-426.

Capítulo 5

A transmissibilidade da dengue

Estimating the dengue fever transmission in a mid-size city in Brazil

Marco Aurélio Pereira Horta, Aldo Pacheco Ferreira, Fabricio Thomaz de Oliveira Ker,
R. Balmant

Status: artigo em revisão

INTRODUCTION

Increased urbanization, economic development, and the expansion in the number of water-storage locations has allowed *Aedes aegypti* to reinvade South America since the 70's, increasing the incidence of dengue fever (DF) and dengue hemorrhagic fever (DHF) (Halstead, 2008). DF is responsible for more deaths worldwide than any other arthropod-transmitted human viral disease, and is emerging as a major problem in tropical and subtropical areas (Pham et al., 2011). Dengue is endemic in Brazil with all four serotypes of dengue viruses and it was first reported in the middle 1980s (Flauzino et al., 2009), then re-emerged in the 1990s with increasing incidence rate throughout the country. Vector control and DF surveillance programmes including public education by law enforcement has shown to be ineffective since then.

Many social and climatic determinants are associated with dengue transmission in local or regional scale, short or long-term, including factors that promote vector proliferation like environmental conditions (temperature, humidity, rainfall system) (Brunkard et al., 2008; Yang et al., 2009; Lambrechts et al., 2011; Hashizume et al., 2012), socioeconomic conditions (Hu et al., 2012; Sommerfeld & Kroeger 2012; Dickin, 2013), and those factors related to the movement and dynamics of the hosts in an epidemic episode (Jeefo et al., 2011; Cuong et al., 2013; Stoddart et al., 2013). This

transmissibility has been studied considering the development of mathematical models that explicitly describe the mechanisms involved in the transmission of the pathogen between host and vectors (Coelho et al., 2008). For directly transmitted infectious diseases, the basic reproduction number (R_0) is the number of secondary infections that results from a single infected human during its period of infectiousness in an entirely susceptible population (Fouque et al., 2006). For vector-borne diseases the R_0 is the number of secondary cases generated by a primary infection via the vectors in an entirely susceptible population (Chowell et al., 2007). An epidemic will not occur if R_0 is < 1 but when $R_0 > 1$, an epidemic is likely to occur and the larger the reproduction number, the higher the required efficacy of public health interventions to control the disease (Boelle et al., 2009).

Several studies have used R_0 estimates to measure the potential reproductive success of dengue infection and its probability to invade susceptible populations and to quantify the intensity of control interventions necessary to contain an outbreak (Anderson & May, 1991; Marques et al., 1994; Favier 2006; Cruz-Pacheco, 2009; Massad et al., 2010). Recent estimations of the basic reproduction number R_0 have been made using one of three approaches: a) final size equation estimated from a serological measurement of an epidemic; b) initial intrinsic growth rate using data from the epidemic curve at the initial stage, and c) age distribution of antibodies (Fouque et al., 2006). In this paper, we estimated the transmissibility of dengue fever during the period of 2002-2009 in Coronel Fabriciano city, Brazil, using two different methods based on the initial growth rate from the epidemic curve fitted to exponential model to provide estimates of R_0 .

METHODS

This study was conducted in Coronel Fabriciano city (19°31'07" S and 42°37'44" W), which is located in the eastern part of Minas Gerais State, Brazil (Fig. 1). The city has a total area of 221.7 km², with 104,173 inhabitants. Coronel Fabriciano is situated in a large valley that registers some of the highest incidences of dengue in Brazil in the last years. The average temperature in recent years is around 23°C.

The dengue cases and their respective addresses from 2002 to 2009 were obtained from the National System of Reportable Diseases (SINAN), part of the Brazilian dengue surveillance system that all health practitioners report each patient who meets the diagnostic criteria of dengue fever as defined by the World Health Organization (WHO, 1997). This criteria includes the presence of acute fever plus at least two of the following clinical symptoms: high fever, severe headache, back-eye pain, muscle pain, positive tourniquet test, and a white blood cell count of <5,000/ μ l of blood. For each year we obtained the total number of DF cases and the respective incidence using annual population counts as available by the Brazilian Institute of Geography and Statistics ([www. ibge.br](http://www.ibge.br)). Two different approaches were used to estimate R_0 from the initial phase of intrinsic growth.

Method I – the number of dengue cases were fitted using the simple exponential function $y = b_0 \cdot e^{r \cdot x}$. The basic reproduction number is most often estimated from data in the early epidemic phase, that is, prior to introduction of mitigate interventions. Massad et al. (2001) and Coelho et al. (2008) derived an estimation of the basic reproduction number that assumes exponential initial epidemic growth. We can assume

a formula to be applied at the beginning of an outbreak. This formula includes the initial growth rate of the epidemic (λ) an indicator of the force of infection; the recovery rate in infected people (γ), which can be calculated as 1/mean host infectious period; and the mortality rate in mosquitoes (μ), calculated as 1/mean adult mosquito lifespan. Their expression is:

$$R_0 = 1 + \frac{\lambda^2 + \lambda (\mu + \gamma)}{\gamma \mu}$$

The values of these parameters were $\mu = 0.156/\text{week}$ and $\gamma = 1/\text{week}$ ¹⁵. By fitting the number of new cases to an exponential curve, we could estimate R_0 . The initial exponential-growth phase of the epidemic corresponds to the “free-course” state of the epidemic in the absence of control interventions.

Method II – Favier et al (2006) proposed a model where from the same force of infection (λ) calculated above, the reproductive number is estimated taking into account the virus incubation period for host and vector. The intrinsic incubation period (τ_i) in human hosts has a detectable viremia lasting for 4 to 5 days. The extrinsic incubation period (τ_e) for vectors is assumed to vary with the external temperature according to the relation proposed by Focks et al (1995). The proposed formula is:

$$R_0 = (1 + \lambda / \gamma) (1 + \lambda / \mu) e^{\lambda (\tau_e + \tau_i)}$$

We also estimated R_0 after the period when the epidemic control interventions for adults and larvae carried out during the epidemic outbreak effects. By the year 2006, the Coronel Fabriciano health service, as part of the national anti-dengue, performed

three to five yearly inspections on homes in an active search for *Aedes* larvae, which was obtained from the larval index, calculated as the number of positive x 100 residences. At each inspection, chemical control was performed, which was reflected in the index of the next larval sampling. From 2007, the larval index was performed three times a year for 5% of the property of the municipality, called LIRA. This period is also characterized by a reduction in local average temperatures, causing a consequent reduction in the extrinsic incubation period of the mosquito. For this period, the basic reproduction number is the product of the number of infectious mosquitoes generated during the infectious period of a primary infectious human ($mC\beta / \gamma$) and the number of infectious humans generated by the proportion of infectious mosquitoes surviving the extrinsic incubation period ($C\beta e^{-\mu \tau_e} / \mu$). Parameter distributions are summarized in table 1.

Table 1. Model parameter definitions and estimated values used in the models.

Parameter	Definition	Value	Source
λ	Initial epidemic growth rate	estimated	Present study
τ_i	Intrinsic incubation period	5 days	Favier et al ⁹ (2006)
γ	host recovery rate	1/week	Massad et al ¹⁵ (2001)
μ	Mosquito mortality rate	0.156/week	Massad et al ¹⁵ (2001)
τ_e	Extrinsic incubation period	10.5 days	Favier et al ⁹ (2006)

RESULTS

Between 2002 and 2009 two major peaks of dengue occurred. We also observed an increase in reports of dengue fever, especially after 2006. This year of 2006 has shown few cases and can be considered as an inter-epidemic period (Figure 1).

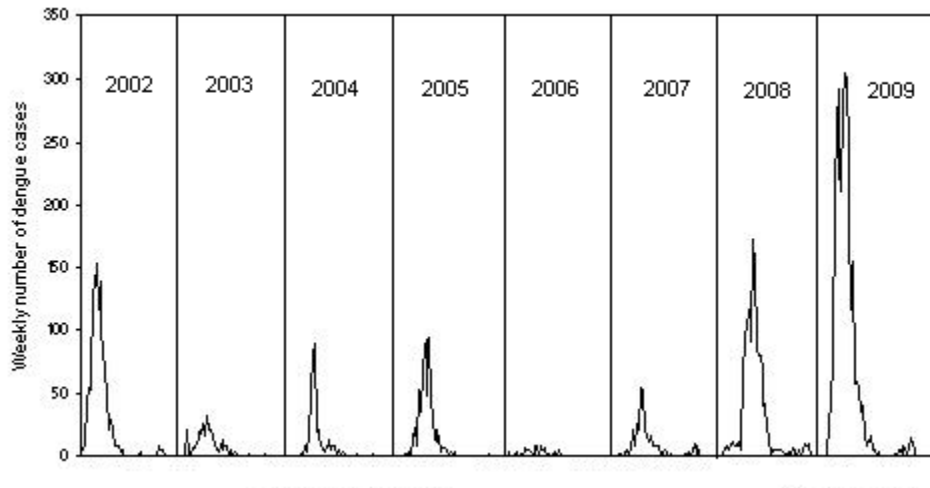


Figure 1. Weekly number of dengue cases during the period of 2002 to 2009 in the city of Coronel Fabriciano, Brazil.

When data for dengue notifications were plotted as cumulative number during the weeks, the result is an indicative of how many weeks could be considered as the epidemic period to be used in the exponential fitting for obtaining the force of infection, the main parameter to calculate the reproductive number in the initial phase of the dengue infection (Figure 2). The week of epidemic onset (for the year of 2002 to 2009) ranged from 10 to 16 weeks. The number of dengue cases tended to increase until weeks 6 to 8 when we observe an establishment in notifications but also tending to increase in lower levels. Epidemic week peaks occurred between week 14 and 15.

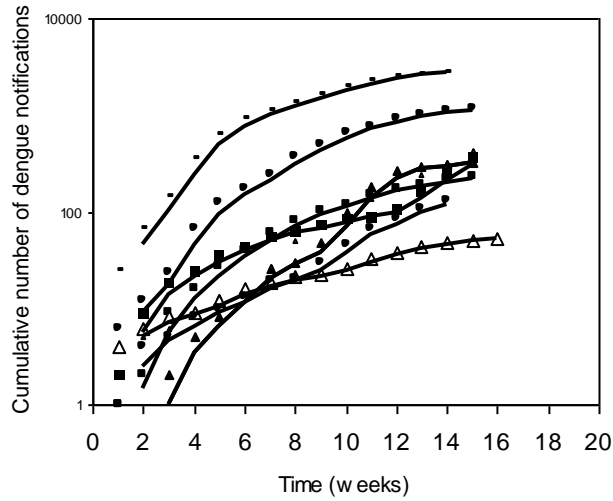


Figure 2. Cumulative number of dengue notifications to the initial epidemic phase of dengue fever for the different periods in logarithmic scale.

To estimate the values of R_0 , the initial growth rate of the epidemic (λ), an indicator of the force of infection, was calculated by adjusting the growth curve of dengue cases to the equation of exponential growth. The years showed different curves, all of which were adjusted significantly to the exponential growth curve, with the exception of 2006, the year with the lowest number of cases (Figure 3).

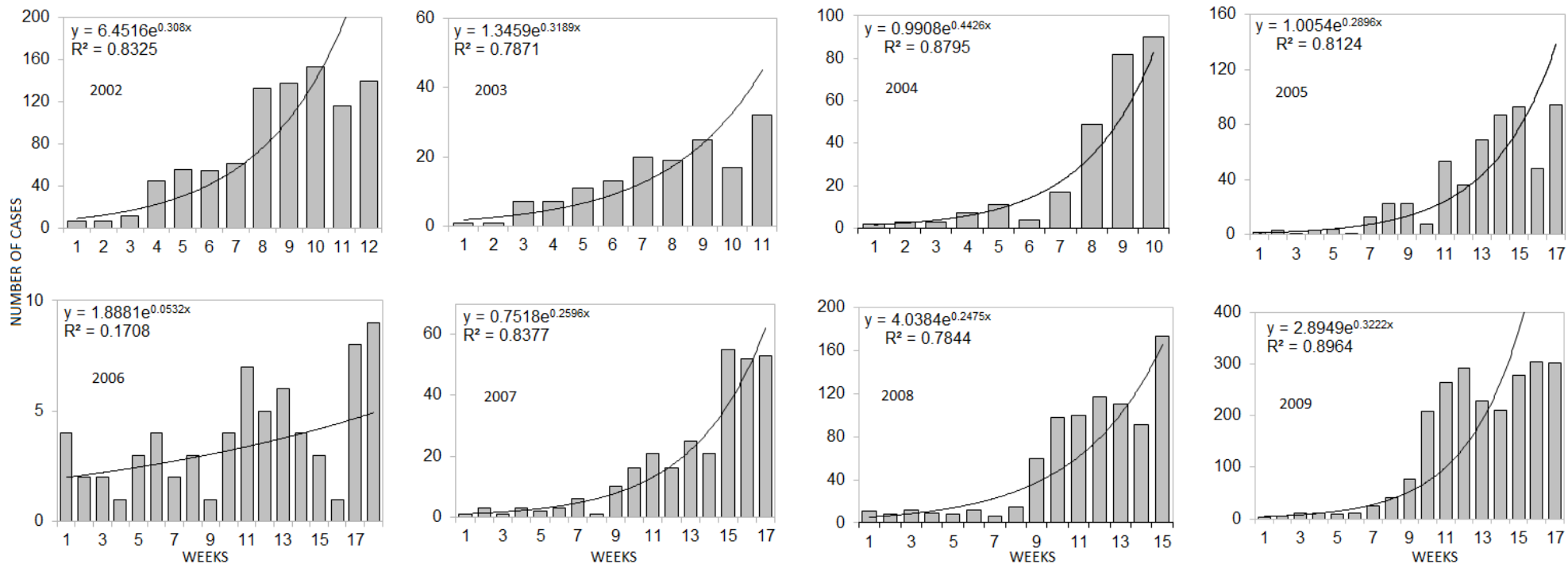


Figure 3. Epidemic curve for dengue fever in Coronel Fabriciano, Brazil. Number of dengue cases per week and fitted exponential growth in the period from 2002-2005 (top) and 2006-to 2009 (below).

Estimates of R_0 are summarized in table 2. Using method I, we estimate a R_0 that ranged from 1.31 to 3.21, where the year of 2004 produced the higher values for all R_0 models calculated.

Table 2. Estimates of the reproduction number using three different models.

Year	*wks	λ	R^2	p	cases	R_0 I	R_0 II	Incidence**
2002	12	0.308	0.833	<0.05	1406	3.89	7.66	1389.1
2003	11	0.319	0.79	<0.05	339	4.01	8.10	339.0
2004	10	0.443	0.88	<0.05	431	5.54	14.68	420.25
2005	15	0.289	0.812	<0.05	754	3.67	6.94	739.21
2006	15	0.0621	0.285	>0.05	123	1.48	1.70	117.3
2007	15	0.259	0.837	<0.05	494	3.34	5.92	475.0
2008	15	0.247	0.713	<0.05	1570	3.22	5.54	1520.95
2009	16	0.322	0.896	<0.05	3389	4.05	8.22	3271.22

* wks. Number of epidemic weeks used in the estimation of R_0

** per 100,000 habitants for the whole period

Li- Larval index measured after control intervention after

Also, R_0 models tended to increase its values as the complexity of the models increased by adding new parameters, being the model III the one with the highest values (Figure 3). Variations in incidence rate did not correspond to variations in R_0 values for the different studied periods. Although the low number of cases notified for the year of 2006 and a non-fit for exponential curve as expressed by the non-significant value of p, all models produced R_0 values above 1. To consider this result of 2006 as a possible bias of the estimator method, we applied a linearizing method to calculate R_0 when R_0 is < 1 and the initial phase of the epidemic curve is concave down and it tends to zero¹⁶. When R_0 for 2006 was recalculated, we obtained a value of 0.51. R_0 values for the three models were not found to be correlated with the incidence rates ($R^2=0.03$; 0.04; 0.007; $p<0.05$) (Figure 4).

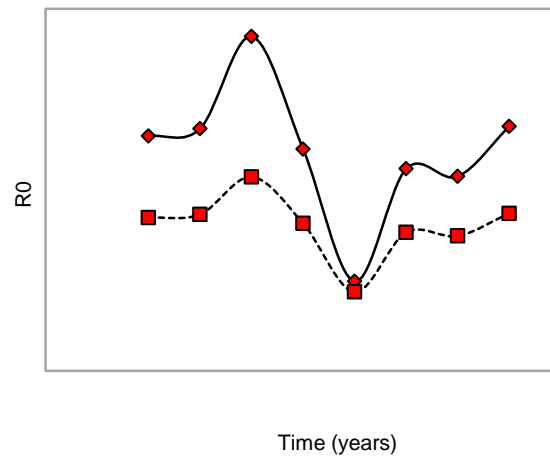


Figure 4. Variation in R_0 values from 2002 to 2009 in the city of Coronel Fabriciano using estimation method I (bottom line) and method II (upper line).

DISCUSSION

The predominant virus strain in Brazil in the last years is DEN-3. However the notification system (SINAN) fed by Coronel Fabriciano Health Service has shown an increase in DEN-1 cases what might be explaining the increasing number of notifications in this city. The fact that a great number of susceptible to DEN-1 is available might increase all the estimators of intensity of transmission. When we compare the two methods, the more complex produced higher estimates of R_0 , a result opposed to the pattern observed by Chowell et al. (2007) who compared methods I and another more complex method and they obtained significantly lower estimates of the reproduction number for this last one. Favier et al. (2006), also comparing methods II and III argued that when comparing these methods to estimate R_0 from the force of infection, method II failed in obtain reliable estimates of R_0 because they failed to take into account the incubation period. Coelho et al. (2008) argued that model I is based on

known cases and the equations system is scale-invariant, that is, it could be expressed in terms of proportions or absolute numbers in an approximately homogeneous area where the cases are happening.

In this work we have carried out an analysis of the dengue epidemic from 2002 to 2009 at Coronel Fabriciano that included the estimation of the reproduction numbers using two different methods. Method I uses only two parameters, the force of infection and the host infective period while the method II also uses recovery rate in infected people and it incorporates an entomological parameter, the mosquito mortality rate. Other methods use a standard model described by Anderson and May (1995) for the transmission dynamics of malaria with fixed incubation periods in both hosts and vectors and an exponentially distributed infectious period in hosts and assumes an initial exponential epidemic growth phase. This model has been used to estimate the reproduction number of dengue epidemics in Brazil (Favier et al., 2006). Chowell et al. (2007) point out that estimates of the reproduction number obtained using methods with parameters that do not take into account more realistic incubation and infectious period may overestimate the intensity of interventions and associated costs for epidemic control.

When considering model I and II, estimates of the reproduction number might be affected by a source of bias: the formula of R_0 used was derived under the assumption of a pure exponential growth phase during the epidemic take-off and the mathematical Model used in these methods makes the assumptions of fixed incubation periods in hosts and vectors and the exponentially distributed infectious period in hosts. However, when compared the methods, the pure exponential initial growth assumption was a good approximation to estimate the reproduction number and to provide an adequate estimate of the transmissibility in the city. When we tested the association of the reproductive

number with the incidence of dengue, we couldn't find it to be significantly correlated. Coelho et al. (2008) observed that both λ and R_0 are far from being reliable predictors of incidence, however they are clear indicators of the intensity of outbreaks and relatively easy to calculate in the particular situation in which the number of cases start to increase after a relatively long period with very small number of cases.. The authors also emphasize that when we consider the large number of variables associated with dengue transmission one should expect a poor association between parameters used in the models and the dengue incidence and the authors conclude that λ and R_0 are better predictors of the total number of cases than the larval indexes currently used, what might be explained because λ and R_0 are related to human dengue epidemiological factors, such as previous dengue outbreaks and herd immunity effects, in addition to the entomological parameters.

Epidemic events of dengue fever often occur in several Brazilian states following climatic conditions that favour mosquito reproduction in wet and humid season (Almeida et al., 2005). However not only climatic conditions can provide clues for the high transmission of dengue fever in cities like Coronel Fabriciano, which is located in a region of high mean temperatures and humidity. Population susceptibility is another key feature that must be explored in models transmissibility models used to calculate R_0 . Although we have not explored relationships between dengue notifications and weekly and monthly precipitation, presumably such variable would not respond for the low number of cases in 2006 and the increasing number of cases between 2007 and 2009. Also, the survival of mosquitoes may depend on many factors, including age, genetics and extrinsic factors such as larval nutrition, climatic conditions, predation and insecticide treatment. Survival rates of the dengue vector may influence dengue transmission except during episodes of heavy rain that may lower female survival rates

(Fouque et al., 2006). Coelho et al, (2008) defined outbreak as the sudden exponential rise in the number of cases in the beginning of the transmission season. A limitation arises from which part of the epidemic curve displayed exponential growth with a minimum duration, a starting and ending date (Boelle et al., 2009). In this present work, an effort was made to reduce such bias by obtaining the curve of cumulative number of dengue cases as displayed in figure 3. Changes in the force of infection obtained by exponential growth may lead to significant changes in R_0 estimates, yielding smaller or higher estimates. After comparing the three methods used in this work one can see that the three estimates followed a pattern for the observed years in which reductions in R_0 estimate for one method is followed by a reduction in the other methods. A second limitation may arise when calculations of R_0 made by counting reported cases are likely to be biased by underreporting and by an unknown fraction of silent infections. Even DEN-1, a virus that produces a high rate of clinically apparent disease in adults, results in mild and unapparent infections in children (Halsted 2008). DEN-1 infections are possibly responsible for the majority of the new cases in the last two studied years.

In order to interpret changes in the frequency of dengue fever outbreaks since the 80's, serological data provide important clues and the frequency of the viral types circulating in the populations may determine the force of infection mainly as a function of the number of susceptible people in a region. The serotype 3 dengue viruses predominated in most states in Brazil between 2002 and 2006 (Araujo et al., 2009). Between 2007 and 2009, we observed a change in the predominant serotype, with the replacement of the DENV-3 by the DENV-2. This change led to the occurrence of epidemics in a number of federal units, with a displacement of serious cases to people under 15 years. Monitoring of circulating serotypes during 2009 pointed to a new change in the predominant serotype, with a significant recirculation of DENV-1. The

recirculation of DENV-1 increases the possibility of outbreaks in regions where the population has not been in contact with the virus since the 80's. As the circulation of DENV-2 has already been shown to increase the proportion of severe disease, particularly in children and adolescents, including increased demand for hospital admissions. The effect of recirculation of DENV-1 must be closely monitored by the dengue surveillance service in all levels of the system, since it can lead to a similar pattern of cases in children, because of low circulation of this serotype during the last decade. As the monitoring of the circulation of dengue virus in the country in 2010 show a higher proportion of isolation of DENV-1 serotype, and this may be associated with increased transmission in some states, the serotype 4 may be entering in Brazil. Most of the Brazilian population does not have immunity against this virus type, which increases the chances of an epidemic. The virus circulates in ten countries in the Americas, including Venezuela, which borders the Roraima state and where this type of dengue virus may have entered Brazil.

In Coronel Fabriciano, the urban areas throughout the municipality are divided into districts, each with different population size and a chance of infection that can differ among these districts that are subject to different environmental conditions. Dengue fever has heterogeneous spatial distribution over the affected areas. This would theoretically underestimate the incidence, λ and R_0 estimates (Coelho et al 2008). In addition, those regions with the higher R_0 are those likely to experience major impact of future outbreaks, especially when a new serotype starts to circulate. In order to interpret the dynamics of climate sensitive diseases such as dengue fever, we need to adopt approaches that fit models that explicitly include immunity and climate variability (Chowell et al., 2007). A better knowledge of the epidemiological dengue system,

through the development of mathematical models and the simulation of dengue transmission is necessary to identify the driving forces of its dynamics.

REFERENCES

Almeida MCM, *et al.* Spatial Vulnerability to Dengue in a Brazilian Urban Area During a 7-Year Surveillance. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine* 2005; 84 (3): 334-345.

Anderson RM, May RM. *Infectious diseases of humans: dynamics and control.* Oxford Univ. Press; 1991.

Araújo JMG, *et al.* Dengue virus type 3 in Brazil: a phylogenetic perspective. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2009; 104(3): 526-529.

Boëlle PY; Bernillon P, Desenclos, JC. A preliminary estimation of the reproduction ratio for new influenza A(H1N1) from the outbreak in Mexico, March -April 2009. *Eurosurveillance* 2009; 14 (19): 1-4.

Brunkard JM, Cifuentes E, Rothenberg SJ (2008). Assessing the roles of temperature, precipitation, and ENSO in dengue re-emergence on the Texas-Mexico border region. *Salud Pública de México* 50 (3): 227-234.

Chowell G; *et al.* Estimation of the reproduction number of dengue fever from spatial epidemic data. *Mathematical Biosciences* 2007; 208: 571–589

Coelho FC; Codeço CT, Struchiner CJ. Complete treatment of uncertainties in a model for dengue R_0 estimation. *Cad. Saúde Pública* 2008; 24 (4): 853-861.

Coelho GE, *et al.* Dynamics of the 2006/2007 dengue outbreak in Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2008; 103(6): 535-539.

Cruz-Pacheco G. Modelling of the influenza A (H1N1)v outbreak in Mexico City, April-May 2009, with control sanitary measures. *Eurosurveillance* 2009; 14 (26): 1-3.

- Cuong HQ, Vu NT, Cazelles B, Boni MF, Thai KTD, Rabaa MA et al (2013). Spatiotemporal Dynamics of Dengue Epidemics, Southern Vietnam. *Emerging Infectious Diseases* 19 (6): 945-953.
- Dickin SK, Schuster-Wallace CJ, Elliott SJ (2013). Developing a Vulnerability Mapping Methodology: Applying the Water-Associated Disease Index to Dengue in Malaysia. *PLoS Negl Trop Dis* 8 (5): e63584.
- Favier C, et al. Early determinations of the reproductive number for vector-borne diseases: the case of dengue in Brazil. *Tropical Medicine and International health* 2006; 11 (3): 332-340.
- Flauzino RF, Souza-Santos R, Oliveira RM (2009) Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. *Rev Panam Salud Publica* 25(5): 456-461.
- Focks DA, et al. A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 1995; 53: 489–506.
- Fouque F, et al. *Aedes aegypti* survival and dengue transmission patterns in French Guiana. *Journal of Vector Ecology* 2006; 31 (2): 390-399.
- Halstead SB. Dengue Virus-Mosquito interactions. *Ann. Rev. Entomol* 2008; 53: 273-291.
- Hashizume M, Dewan AM, Sunahara T, Rahman MZ, Yamamoto T (2012). Hydroclimatological variability and dengue transmission in Dhaka, Bangladesh: a time-series study. *BMC Infectious Diseases* 12: 98-108.
- Hu W, Clements A, Williams G, Tong S, Mengersen K (2012) Spatial Patterns and Socioecological Drivers of Dengue Fever Transmission in Queensland, Australia. *Environ Health Perspect* 120: 260-266.
- Jeefoo P, Tripathi NK, Souris M (2011) Spatio-Temporal Diffusion Pattern and Hotspot Detection of Dengue in Chachoengsao Province, Thailand. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 51-74.

Lambrechtsa L, Paaijmans KP, Fansiri T, Carrington LB, Kramere LD, Thomas MB et al (2011) Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. PNAS 108: 7460-7465.

Marques CA, Forattini OP, Massad E. The basic reproduction number for dengue fever in Sao Paulo state, Brazil: 1990–1991 epidemic. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 1994; 88: 58–59.

Massad E; *et al*. The risk of yellow-fever in a dengue infested área. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2001; 95: 370-374.

Massad E, *et al*. Estimation of R_0 from the initial phase of an outbreak of a vector-borne infection. *Tropical Medicine and International Health* 2010; 15 (1): 120–126.

Pham HV, Doan HTM, Phan TTT, Minh NNT (2011). Ecological factors associated with dengue fever in a central highlands Province, Vietnam. *BMC Infectious Diseases* 11 (172): 1-6.

Sommerfeld J, Kroeger A (2012) Eco-bio-social research on dengue in Asia: a multicountry study on ecosystem and community-based approaches for the control of dengue vectors in urban and peri-urban Asia. *Pathog Glob Health* 106: 428-435.

Stoddard ST, Forshey BM, Morrison AC, Paz-Soldan VA, Vazquez-Prokopec GM, Astete H et al .House-to-house human movement drives dengue virus transmission. PNAS 110 (3): 994–999.

WHO (1997). Dengue haemorrhagic fever: diagnosis, treatment, prevention and control. 2nd edition. Geneva: World Health Organization.

Yang HM, Macoris MLG, Galvani KC, Andrighetti MTM, Wanderley DMV (2009). Assessing the effects of temperature on dengue transmission. *Epidemiol. Infect.* 137: 1179–1187.

Capítulo 6

Indicadores sociais e dengue: um estudo de caso

Increase of Dengue Associated with Social Factors: a Spatial-Temporal Evaluation

Dengue Associated with Social Factors

¹Marco Aurélio Pereira Horta – corresponding author

²Cristina Maria Souza Catita

¹Aldo Pacheco Ferreira

¹ Sérgio Arouca National School of Public Health. Oswaldo Cruz Foundation. Rio de Janeiro, Brazil.

² Department of Geographic Engineering, Geophysics and Energy. Science College. University of Lisbon. Lisbon, Portugal.

Status: submetido na revista PLoS Neglected Tropical Diseases (June, 2013)

Abstract

Background

Many social indicators have been proposed as potential determinants or risk factors of dengue fever (DF) transmission in several recent studies. Along with these social factors, geospatial modeling has provided an added dimension to better understanding and interpreting the complex eco-social-health factors involved in dengue transmission. However, the dengue transmission ecosystem is a complex combination not only of these social factors, which represent economic, sanitation and presence of high-risk environmental locations but also the implementation of preventative dengue control measures and thus human behavior.

Methodology/Principal Findings

We used spatial analysis to differentiate areas for the years 2008 and 2009 of increasing incidence of dengue fever (Group A) and areas of decreasing incidence (Group B) in the city of Coronel Fabriciano, Brazil. For each district we obtained information regarding patient residence (latitude and longitude), date of onset of symptoms, and related social indicators at the district level related to income, dependents, sewage and water systems, and education. The two regions were found to be statistically different in LISA and one-way ANOVA test and varied significantly in various social factors: percentage of households with garbage collection ($F=5.36$; $p=0.02$), dependency ratio ($F=3.80$; $p=0.05$), poverty index ($F=28.46$; $p<0.001$) and life condition index ($F=8.95$; $p=0.003$). The districts in group B showed higher values of population density, poverty index and dependency ratio, with less children and a lower dependency ratio.

Conclusions/Significance

While social factors were found to be significantly associated with either increasing or decreasing trends of dengue incidence, our results indicate several implications for the human behavior associated with preventative dengue control measures as those indices which indicated or factors associated with a “caretaker’s presence” offered a factor of

protection. Further refinement of geospatial modeling may be useful to better capture the complex nature of dengue transmission.

Author Summary

Dengue, the tropical disease transmitted by the bite of the mosquito *Aedes aegypti* affecting millions of people annually worldwide was investigated in a spatial and temporal evaluation of increasing and decreasing dengue incidence in a highly endemic region of Brazil. Among the complex web of factors mediating the disease burden, social determinants have been suggested to influence the risk of dengue infection in factors such as the presence of piped water supply, population density, frequency of waste removal, and sewage system, and as such may have a bearing on the focus of prevention campaigns. Upon the comparison of two different years 2008 and 2009, trends were found with increasing incidence associated with less children, lower poverty index (better economic situation) and higher life condition index. Discussion of our results implies that several indexes may be inappropriate to evaluate dengue incidence and prevention campaigns and should be reevaluated with factors such as “presence of caregiver” and participation of the prevention measures with more individual social factors gathered to provide a better interpretation of geo-spatial modeling to the dengue epidemiological situation.

Introduction

Dengue fever (DF) is considered the fastest advancing vector-borne arboviral disease whose importance is linked not only to terms of morbidity and mortality but also its economic impact [1,2]. The principal vector of DF, *Aedes aegypti* mosquito, has increasingly manifested in tropical countries where environmental conditions along with conditions of rapid urbanization, population growth, urban crowding, and the precariousness of public health services has caused global incidence levels to rise to close to 230 million infections every year, of which 25,000 are fatal [3].

A growing number of investigations have explored the eco-bio-social aspects of dengue incidence and until now, nearly all research efforts had focused on the multiple social and environmental determinants that might explain the rise in dengue transmission including population density, density ratio; urban infrastructure attributes like water supply, sewage and waste disposal; and other socio-economic features that constitute a complex web that determines the chance of reproduction of the vector and the rates of infection in a region [4]. Representative statistical models for determinants

in DF transmission consider this set of variables acting in group or separately, taking into account the association between DF risk and a number of social-environmental factors [5] such as water storage containers [6], shorter distance to urban area [7], smaller family size [7], population density [8], general sanitation network [9], number of children and socio-economic factors [10,11]. However, some authors argue that the different complex epidemiological settings, for each region or locality will determine which factors will influence dengue transmission dynamics and influence their spatio-temporal distribution at household or individual level [12]. Major factors like unplanned urbanization and inadequate public health conditions are considered as driving forces that promote dengue transmission [13].

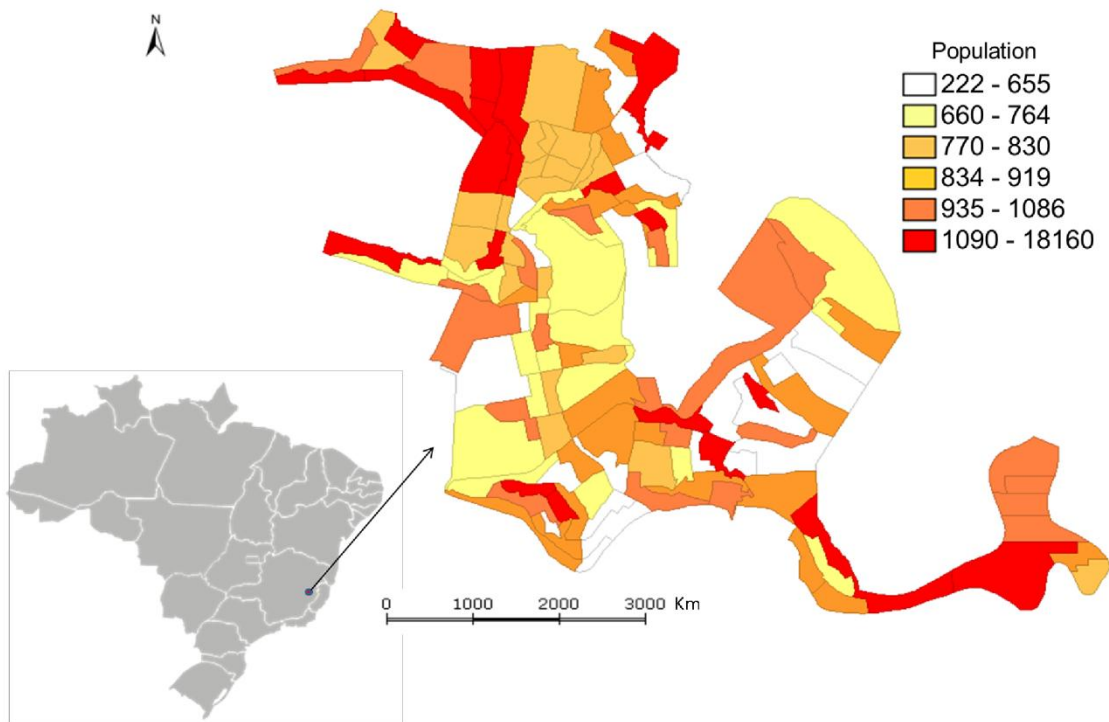
Recent developments in spatial mapping have thus extended the epidemiological analysis of dengue aiding in detection of hotspots [3,14,15]. Refined spatial analysis has allowed for overall spatial distribution [16,17], spatial tracking of epidemics [18,19] and socioecological drivers [13]. Contributions have also been vast in the area of risk stratification [20] higher risk areas (behind highway access routes) [21], mapped risk based on socioeconomic and environmental variables [4,22], relationships between immature mosquitos and human densities [23], and impact with climate change [10,11].

These advancements have led to several preventative control measures based upon regional findings. However, this study extends the current literature by evaluating the geo spatial relationship of the areas with rising numbers of dengue incidence and those regions, which are decreasing. Our analysis extends to the social factors that are driving these trends and discuss the social implication of these in the context of current literature findings and preventative measures.

Methods

Study area

This study was conducted in Coronel Fabriciano city (19°31'07" S and 42°37'44" W), which is located in the eastern part of Minas Gerais State, Brazil (Fig. 1). The city has a total area of 221.7 km², measuring 16km North-South and 12km East-West, with 104,173 inhabitants (IBGE 2012) with the urban area in the south portion. Coronel Fabriciano is situated in a large valley that registers some of the highest incidences of dengue in Brazil in the last years. The average temperature in recent years is around 23°C.



Database sources

The dengue cases and their respective addresses from 2008 to 2009 were obtained from the National System of Reportable Diseases (SINAN), part of the

Brazilian dengue surveillance system that all health practitioners report each patient who meets the diagnostic criteria of dengue fever as defined by the World Health Organization (WHO, 1997). This criteria includes the presence of acute fever plus at least two of the following clinical symptoms: high fever, severe headache, back-eye pain, muscle pain, positive tourniquet test, and a white blood cell count of $<5,000/\mu\text{l}$ of blood. Population census, district limits and shapefiles of the urban portion of Coronel Fabriciano were gathered from the Brazilian Institute of Geography and Statistics website (www.ibge.br) in 2011 for the years 2008-2009. Addresses of residents in Coronel Fabriciano who were reported as having DF in the years 2008-2009 were geo-referenced utilizing the latitude and longitude coordinates from a geographical data system (gpsvisualizer.com) using the GoogleTM geographic database. Only coordinates with a precision above 8 were used. This study was approved by the Ethics Committee and the Institutional Review Board at the National School of Public Health, at Oswaldo Cruz Foundation. Anonymised data were used for this analysis.

Analysis included data regarding patient residence (latitude and longitude), date of onset of symptoms, and related census data of the population and area including: % households with water supply, with sewage system, with garbage collection, with garbage dumped on vacant land, whose head has no income, average number of residents per household, average income per district, % households with more than 8 people, % illiterate household heads, % of children (0-14 years), % illiterate population. In addition, we applied an index developed by Machado et al. [21], which takes into account the Life Conditions Index for each district, calculated from the indicators dependency ratio, poverty index, population density, % households with water supply and with garbage collection.

Data Analysis.

Descriptive Analysis

The ArcGIS™ 9.3 software program was used to plot DF cases geographically around the Coronel Fabriciano region and produce choropleth maps to perform the descriptive analysis.

Spatial-temporal dynamic of DF

Dengue cases were mapped sequentially according to epidemiological week for the years 2008-2009, thereby permitting the pattern of spread of the disease to be identified in time and space. The spread pattern of the epidemic was represented graphically using the Kernel density estimation method where simulations were produced to test different bandwidths. A bandwidth of 262 meters was found to be the most adequate to illustrate the progression of the epidemic wave. A series of 52 Kernel maps for each year were produced, corresponding to each of the epidemiological weeks, with the distribution of the absolute number of notified dengue cases that occurred in each census area during this unit of time. These were used to construct the dispersion pattern of the epidemic.

Spatial Autocorrelation

Using the dengue cases and the population information for each district, incidence maps were produced, given as cases per 100,000 inhabitants. The overall dengue incidence was evaluated by local Moran's value (LISA) aiming to detect the local level of spatial autocorrelation in order to identify those districts where values of incidence were both extreme and geographically homogeneous. The values of Moran's

is ranked between +1 (positive autocorrelation) and -1 (negative autocorrelation), with the expected value in the absence of autocorrelation was $(-1)/(n-1)$.

Pattern of Dengue Incidence

Dengue incidences for the years 2008 and 2009 were separated into two different patterns and applied to each district. The first pattern (A) included those districts whose incidence of dengue had increased from 2008 to 2009, and the second pattern (B) included those districts whose incidence decreased from 2008 to 2009. We performed a one-way Anova to test the difference between the groups concerning the social variables listed above. We also applied local Moran's index (LISA) to the incidence pattern produced for the years 2008-2009.

Spatial Regression

We tested the effects of social features on the dengue incidence at the district level for the years of 2008 and 2009. Ordinary Linear regression (OLS) was applied to investigate the global relations between dependent (incidence 2008-2009) and independent variables (social factors). The regression model formula used:

$$\ln(Y) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon,$$

where, Y is the cumulative dengue incidence in the city, β_1 regression coefficients of the social variables X and ϵ the error term.

In the multiple regression analysis, the socioeconomic variables were included in the maximum model. A stepwise technique was used to select an adequate model with the smallest Akaike's information criterion (AIC) value, with P values of 0.20 as the

entry criteria and 0.05 as the removal criteria. The selected model identified the multicollinearity by examining the variance inflation factor (VIF), with a VIF value near 1 indicating absence of multicollinearity. A spatially lagged term was then applied to this model with the formula:

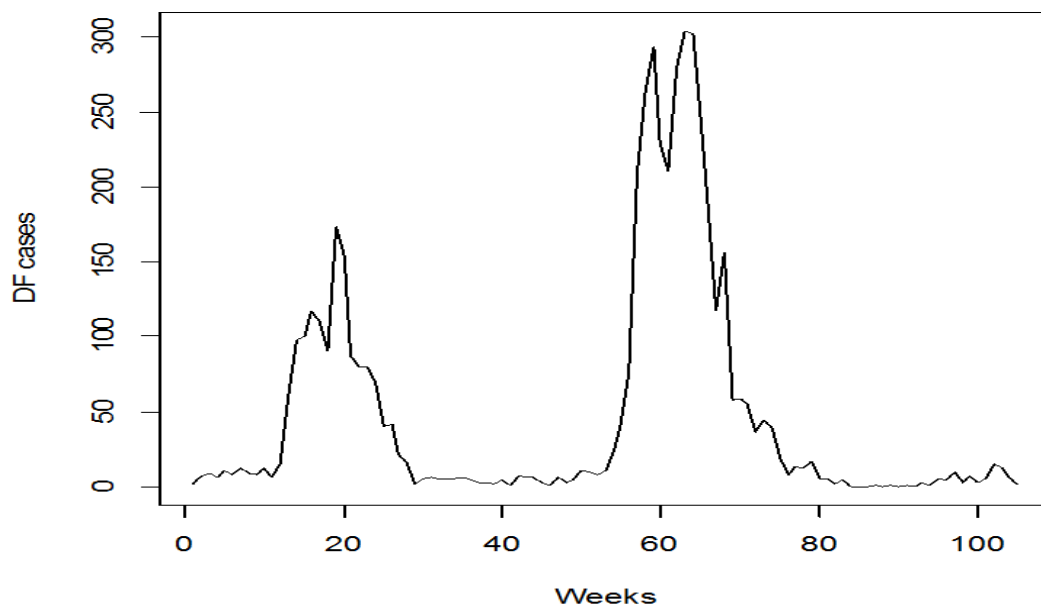
$$\ln(Y) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \rho w_{ij} Y + \varepsilon,$$

where Y is the cumulative dengue incidence in the city, β_1 regression coefficients of the social variables X, w_{ij} the spatial weight matrix between census district i and j, ρ the coefficient of spatial dependence and ε the spatial autoregressive error term. LISA, the spatial autocorrelation coefficient, was used to test the spatial independence of residuals. ArcGis 9.3, GeoDa 1.4.0 and R 2.15.3 were used to analyze and generate maps.

Results

Descriptive results

There were a total of 5,399 reported cases of dengue to the department of health in the city of Coronel Fabriciano for the years 2008 and 2009. For the year of 2008, 1,470 cases of 1,510 (96,17%) and 3,203 cases (94,5%) of 3,889 in 2009, were feasible to be georeferenced. Only in cases whose address had been left blank, coordinates could not be found. The time-distribution of DF cases for the years of 2008-2009 are shown in Figure 2. Two peaks indicating week 11-29 in the year 2008 and 52-79 for 2009, with the apex at week 63 with 304 reported cases. Seasonal distribution of DF fell within December –August.



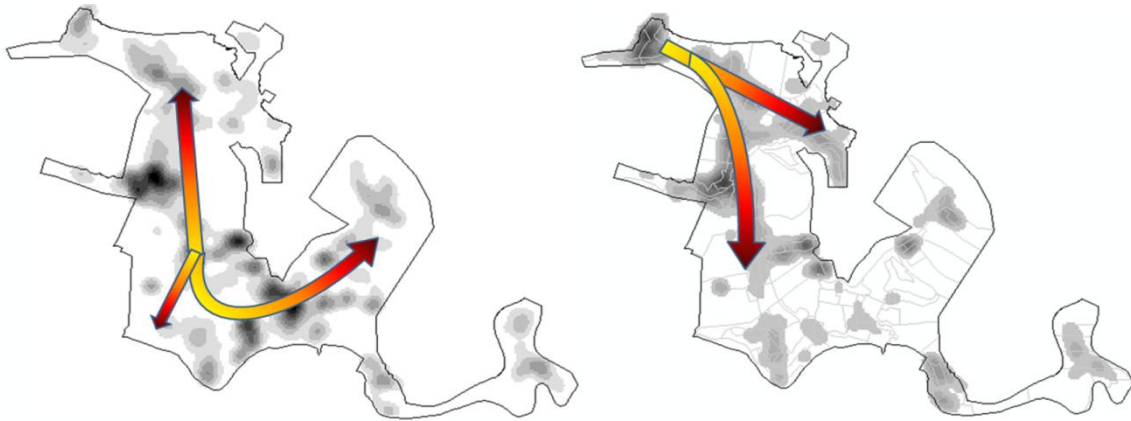
Spatial Regression

Analysis of the effects of social features on the dengue incidence at the district level for the years of 2008 and 2009 using the ordinary linear and spatial regression model explained only 30% of the variation in our study. As such, its significance was considered unreliable, results not shown.

Spatial-temporal dynamic of DF

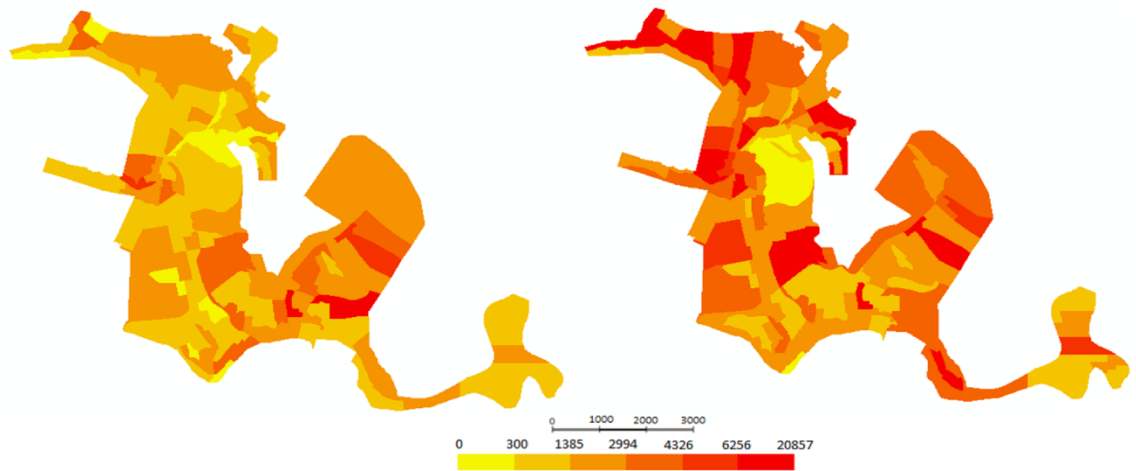
The spatial-temporal dynamic for years 2008 and 2009 is demonstrated in Figure 3. During the 2-year period, notifications were recorded in almost every district of the city, with the exception of four districts in 2008 and one in 2009. The first cases of dengue notified in Coronel Fabriciano in 2008 occurred in the first epidemiological week in the central region of the city, and during the following weeks cases emerged in geographically distant districts. From week 13, epidemic waves begin to spread throughout the city, affecting a large number of districts, with higher concentration of cases occurring in the central and southern region of the city peaking in week 19. From

week 22 onwards, reported cases decline uniformly across the city. In 2009, the process took place in waves originating mainly from the northern districts, rapidly irradiating to the central areas of the city, with the southern districts less affected.

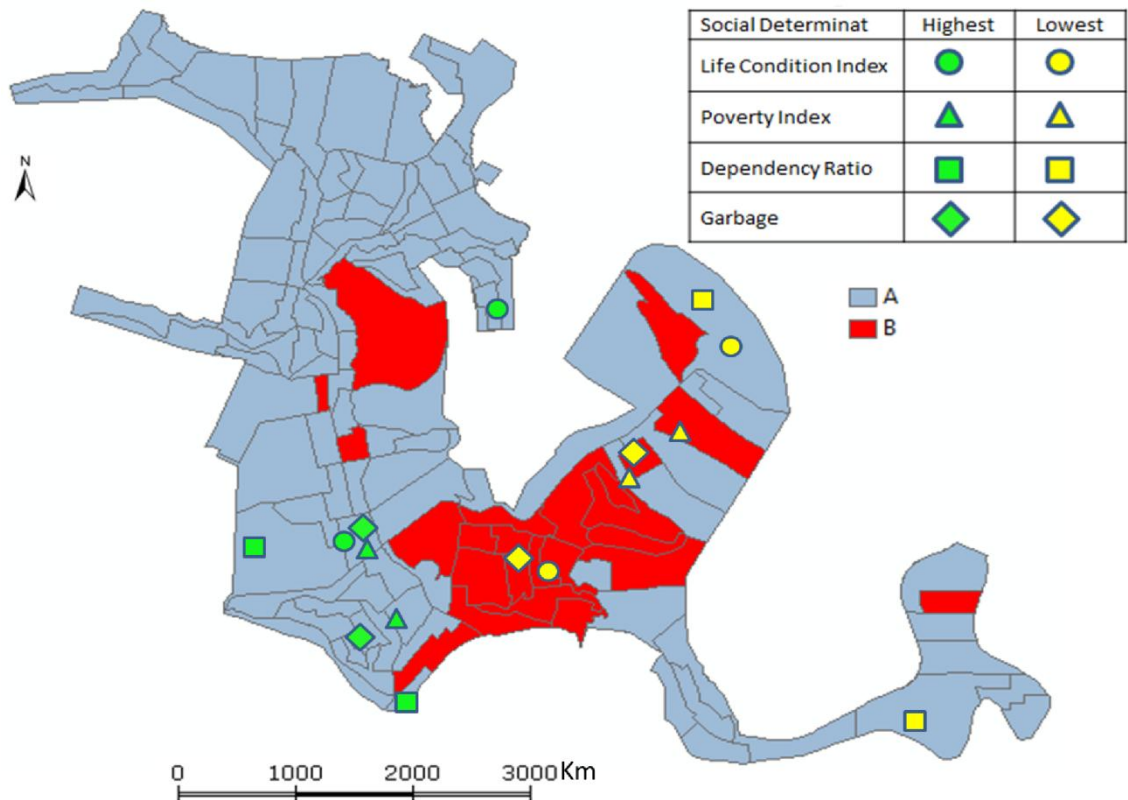


Incidence pattern

Figure 4 shows the geographic distribution of the raw incidence of notified dengue cases in Coronel Fabriciano in the two periods. Dengue incidence ranged from zero to 15,315/100 000 in 2008 and from zero to 20,823/100 000 in 2009. Moran's I index presented a non-significant positive spatial autocorrelation of dengue incidence for the two periods of 0.12 ($p=0.398$) and 0.12 ($p=0.145$) for 2008 and 2009, respectively. However, LISA's index presented one significant adjacent areas with similar values in the southern region in 2008 and in the northern region in 2009. This means that the proximity of these districts had greater similarity at baseline incidence rates than those farther apart.



When mapping according to increase (group A) or reduction (group B) of dengue incidence by district, two regions were identified over the urban area of the city. Region A includes 97 districts grouped in the central and northern urban perimeter. Region B consisted of 24 districts primarily in the eastern areas of the urban perimeter with a few districts sparsely distributed. This distribution and grouping can be seen in Figure 5. A positive spatial autocorrelation was identified by LISA based upon this grouping with DF incidence in 2008-2009. LISA similar values tended to occur in adjacent districts of the eastern areas of the map showing a significant local autocorrelation and a significant clustered distribution. Moran's global index presented a value of 0.42. In 2008, the incidence of dengue was higher in group B than in group A, with a value of 2755 and 1347/100, 000 inhabitants, respectively. In 2009, group A dengue incidence was higher with a value of 3563, compared to group B with 1686/100, 000 inhabitants.



These groups demonstrated significant differences in social factors when we performed Anova test in the following variables: percentage of households with garbage collection ($F=5.36$; $p=0.02$), dependency ratio ($F=3.80$; $p=0.05$), poverty index ($F=28.46$; $p<0.001$) and life condition index ($F=8.95$; $p=0.003$) (Tab. 1). The number of households and the percentage of households whose head had no income showed a p value close to significance ($p=0.08$). Other social variables showed no significance when comparing the two groups.

When comparing the mean values of each variable, the districts in group B showed worse living conditions, considering the higher values of population density, poverty index and dependency ratio, with less percentage of children and expectedly a lower dependency ratio, and with a slightly greater less percentage of households with water supply. The life condition index, ranging from -1 to 1 (with -1 worse conditions and 1 better conditions), had a mean value 0.25 for group A and 0.02 for group B.

Figure 5 represents the significantly distinct group A (increasing incidence) and group B (decreasing incidence) with the significantly different social determinants highest and lowest rankings represented in the correlating districts.

Table 1. Descriptive statistics (mean values and standard deviation) and Anova results for socioeconomic determinants surveyed in area A and area B from Coronel Fabriciano, Brazil.

<i>Variables</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>p value</i>
Number of households	235.1 ± 61.44	209.0 ± 78.61	3.01	0.08
% Households with water supply	80.16 ± 22.17	81.15 ± 20.83	0.03	0.84
% Households with sewage system	80.92 ± 24.54	72.62 ± 27.31	2.05	0.15
% Households with garbage collection	92.87 ± 11.38	85.7119.43	5.36	0.02
% Households with garbage dumped on vacant land	1.55 ± 4.38	3.13 ± 4.54	2.41	0.12
% Households whose head has no income	8.24 ± 4.73	10.26 ± 5.81	3.10	0.08
Average number of residents per household	3.75 ± 0.28	3.78 ± 0.29	0.25	0.61
% Average income per district	1.26 ± 3.36	0.76 ± 4.0	0.53	0.46
% Illiterate household heads	11.88 ± 8.67	13.92 ± 9.43	1.01	0.31
Mean population	875.25 ± 24.51	782.25 ± 29.41	2.64	0.10
% Households with more than 8 people	2.77 ± 1.88	3.01 ± 1.99	0.29	0.58
% Children	27.49 ± 4.72	29.21 ± 5.08	2.41	0.29
% Illiterate population	18.37 ± 6.78	21.08 ± 8.22	2.73	0.10
Dependency Ratio	0.54 ± 0.36	0.39 ± 0.22	3.80	0.05
Poverty Index	0.17 ± 0.12	0.41 ± 0.34	28.46	0.00
Population Density	1.5x10 ⁴ ± 1.3 x10 ⁴	1.6 x10 ⁴ ± 1.2 x10 ⁴	0.007	0.93
Life Condition Index	0.25 ± 0.33	0.02 ± 0.27	8.95	0.003

Discussion

Our results indicate two spatially distinct groups one of which represents those districts who had either a reduction or an increase of dengue incidence from the year 2008 to the year 2009. These groups were different on several social factors with those districts who had an reduction of dengue incidence from 2008 to 2009 having statistically less percentage of households with garbage collection (p=0.02), a higher poverty index (p<0.0001), a lower dependency ratio (p=0.05) and life condition index

($p=0.003$) than those found in the districts who had an increase in dengue incidence from one year to the next. The significance of dengue incidence increasing and decreasing based upon social factors has several implications for the preventative campaigns that are conducted within regions. Those districts that are improving in relation to dengue incidence have less garbage collection services, have lower economic conditions, a lower life condition index and a greater number of dependents in relation to those districts that have increasing levels of dengue incidence.

The importance of evaluating the increasing and decreasing tendencies of dengue incidence relates to the vector-control measures that are implemented by different regions and the “pushing” of mosquito breeding from one site to another [4]. In endemic regions, the ‘eco-health approach’ has been recommended with judicious use or no use of insecticides according to IVM principles (integrated vector management) [24], to avoid this very issue. While the measures used in this region for dengue prevention are beyond the scope of our study our results offers an interpretation of the end results of those measures. Recent measures implemented in Thailand, have shown rather than a “pushing” dengue incidence, an overall decline with the implementation of nation-wide dengue preventative measures, reinforcing the effectiveness of universal dengue protective measures in reducing dengue incidence. Also, the authors found knowledge of dengue transmitting mosquitos was associated with reduced mosquito breeding and production [4]. Unfortunately, these measures are difficult to enforce universally and as such our results illustrate the “pushing” of dengue incidence to particular regions with distinctive social characteristics, most likely representative of the preventative measures being followed more prevalent in particular regions. Therefore, preventative measures have been a point a discussion regarding the drivers in dengue virus transmission [25].

In our results, we highlight several points that we consider may not be fully representative of the epidemiological sample and profile per se of those in the improving districts. Of our results, the lower life condition index and more children were obvious factors not normally associated with improved conditions, however in the case of dengue transmission there are several probable explanations. Several factors that become apparently associated in our study is the dependency ratio, which serves as an indicator of the number of dependents in a household, more specifically those under the age of 15 and over the age of 70 years. However, while in most models or indices this would indicate a negative factor, we argue that in the case of dengue transmission and incidence this may be an indirect factor of protection for several reasons. Dependency ratio would likely be associated with those living in a family type environment rather than an individual who is single, implying that there would be a greater number of individuals who must be in a “caretaker” role. With campaigns conducted in schools as well as individuals who are living in a family type environment would most likely be more conscious and aware of the protective measures that needed to be taken versus individuals not living in a family style environment who would likely have a lifestyle that would revolve around work and less around a scheduled or routine care of the home environment, and most likely less active with dengue protective measures. We then explored the life condition index, which is calculated by several different factors including dependency ratio, illiterate heads, poverty index, population density, water supply, and garbage collection. When we adjusted the life condition index to reflect dependency ratio as a positive or protective factor, the mean value of the life condition index moved from 0.25 to 0.44 for the increasing dengue incidence group and 0.02 to 0.24, which reduced the significance to $p=0.05$, bringing the two groups closer. While appearing something more logical, we explored the life condition index and also

questioned the poverty index which would as well most likely be confounded with this same factor of caretakers in the home, which as well has a factor of number of dependents being calculated by the number of heads in the household earning a minimum salary divided by the number of total “heads of households”, thus creating a lower poverty index for those families that would have a “stay at home” parent or caretaker who would most likely be the individuals who would be primarily responsible for the household duties. As such, both the dependency ratio and the poverty index would pull down the life condition index, thus unable to reflect the epidemiological population conditions.

Thus, while we believe our study indicates clear tendencies as to districts that are increasing and decreasing in dengue incidence related to social factors we also believe that it illustrates some of the difficulties and limitations in not only our study, but also this type of methodology. The social factors are represented in districts rather than individual characteristics and thus become more diluted and less specific in making inferences to the epidemiological populations. As discussed above, the indices used such as poverty index and life condition index are not necessarily able to aptly capture the factors that are important in dengue transmission and incidence. However, this may be improved if more individual social data was collected in connection to the incidences of dengue. Another limitation is the clinical-epidemiological criteria used for the reporting of dengue cases rather than through a blood test, which is used by the Secretaries of Health in Brazil during the periods of epidemics as the number of patients seeking health facilities makes it impossible for all these patients to be subjected to blood tests for viral detection and the clinical test is used as a quick and available confirmation of a DF case. As well, the possible underreporting of cases may give a biased estimative of real DF incidences as asymptomatic or milder forms of the disease

induces the patient to not seek attention from a health unit and consequently not identified as a DF case.

This study offers a new perspective to evaluate dengue incidence from regions that are either increasing or decreasing in dengue incidence. This grouping we believe offers a unique way to review the dengue preventive campaigns that are conducted and the populations in which these campaigns are not reaching. This is a critical element in the work of epidemiological interventions and evaluation to strengthen areas that are ineffective or are overlooking disease specific factors that should be considered. The recent developments in spatial mapping have offered several new tools to be utilized in a variety of areas; however, it is important that these tools become more refined with more appropriate indices and factors to be evaluated if they are to offer useful information and interpretation for the area of epidemiology [26]. As such, our study evaluates our results drawing attention to the limitations of certain indices and methodological considerations that should be made such as individual-related social data in combination with district level to better indicate the social characteristics and factors that are playing a role. As several studies do indicate that social factors do play a role in dengue incidence [8, 26] we see a strong indication that social factors as well play a role in the areas that are reducing their dengue incidence or are responding to the current dengue prevention campaigns. The study is the first to our knowledge that offers this strategy to evaluate spatial mapping with reduction or increase of dengue incidence by social factors and critically evaluating the method and the possible features that must be considered when utilizing this method when applying it to epidemiological studies of dengue. Our study also supports other findings of which suggest the use of integrated vector management principles for overall reduction of DF incidence rather than “pushing” DF incidence to other regions [24].

References

1. Beatty ME, Beutels P, Meltzer MI, Shepard DS, Hombach J, et al. (2011) Health economics of dengue: a systematic literature review and expert panel's assessment. *Am J Trop Med Hyg* 84: 473–488.
2. Gubler DJ (2012) The economic burden of dengue. *Am J Trop Med Hyg* 86: 743–744.
3. Wilder-Smith A, Renhorn KE, Tissera H, Bakar SA, Alphey L et al. (2012) DengueTools: innovative tools and strategies for the surveillance and control of dengue. *Glob Health Action* 5: 17273.
4. Sommerfeld J, Kroeger A (2012) Eco-bio-social research on dengue in Asia: a multicountry study on ecosystem and community-based approaches for the control of dengue vectors in urban and peri-urban Asia. *Pathog Glob Health* 106: 428-435.
5. Mondini A, Chiaravalloti-Neto F (2008) Spatial correlation of incidence of dengue with socioeconomic, demographic and environmental variables in a Brazilian city. *Sci Total Environ* 393: 241–248.
6. Bohra A, Andrianasolo H (2001) Application of GIS in Modeling of Dengue Risk Based on Sociocultural Data: Case of Jalore, Rajasthan, India. *Dengue Bull* 25: 92-102.
7. Tipayamongkhogul M, Lisakulruk S (2011) Socio-geographical factors in vulnerability to dengue in Thai villages: a spatial regression analysis. *Geospat Health* 5: 191-198
8. Schmidt WP, Suzuki M, Thiem VD, White RG, Tsuzuki A, et al. (2011) Population Density, Water Supply, and the Risk of Dengue Fever in Vietnam: Cohort Study and Spatial Analysis. *PLoS Med* 8 (8): e1001082
9. Almeida AS, Medronho RA, Valencia LIO (2009) Spatial analysis of dengue and the socioeconomic context of the city of Rio de Janeiro (Southeastern Brazil). *Rev Saúde Pública* 43: 1-8.
10. Banu S, Hu W, Hurst C, Tong S (2011) Dengue transmission in the Asia-Pacific region: impact of climate change and socio-environmental factors. *Trop Med Int Health* 16: 598–607.

11. Nagao Y, Thavara U, Chitnumsup P, Tawatsin A, Chansang C, et al. (2003) Climatic and social risk factors for *Aedes* infestation in rural Thailand. *Trop Med Int Health* 8: 650–659.
12. Koyadun S, Butraporn P, Kittayapong P (2012) Ecologic and Sociodemographic Risk Determinants for Dengue Transmission in Urban Areas in Thailand. *Interdiscip Perspect Infect Dis* 2012: 1-12.
13. Hu W, Clements A, Williams G, Tong S, Mengersen K (2012) Spatial Patterns and Socioecological Drivers of Dengue Fever Transmission in Queensland, Australia. *Environ Health Perspect* 120: 260-266.
14. Jeefoo P, Tripathi NK, Souris M (2011) Spatio-Temporal Diffusion Pattern and Hotspot Detection of Dengue in Chachoengsao Province, Thailand. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 51-74.
15. Galli B, Chiaravalloti Neto F (2008) Temporal-spatial risk model to identify areas at high-risk for occurrence of dengue fever. *Rev Saude Publica* 42 (4): 656-663.
16. Cordeiro R, Donalisio MR, Andrade VR, Mafra ACN, Nucci LB, et al. (2011) Spatial distribution of the risk of dengue fever in southeast Brazil, 2006-2007. *BMC Public Health* 11 (355): 1-10
17. Teixeira TRA, Cruz OG (2011) Spatial modeling of dengue and socioenvironmental indicators in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Cad. Saude Publica*, 27: 591-602.
18. Vazquez-Prokopec GM, Kitron U, Montgomery B, Horne P, Ritchie SA (2010) Quantifying the Spatial Dimension of Dengue Virus Epidemic Spread within a Tropical Urban Environment. *PLoS Negl Trop Dis* 4 (12): e920.
19. Carvalho RM, Nascimento LFC (2012) Spatial distribution of dengue in the city of cruzeiro, são paulo state, brazil: use of geoprocessing tools. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo* 54: 261-266.
20. Porcasi X, Rotela CH, Introini MV, Frutos N, Lanfri S, et al. (2012). An operative dengue risk stratification system in Argentina based on geospatial technology. *Geospat Health* 6: 31-42.
21. Machado JP, Oliveira RM, Souza-Santos R (2009) Spatial analysis of dengue occurrence and living conditions in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil. *Cad. Saude Publica* 25: 1025-1034.
22. Khormi HM, Kumar L (2012) Assessing the risk for dengue fever based on socioeconomic and environmental variables in a geographical information system environment. *Geospat Health* 6: 171-176.

23. Lin CH, Schiøler KL, Jepsen MR, Ho CK, Li SH et al. (2012) Dengue Outbreaks in High-Income Area, Kaohsiung City, Taiwan, 2003–2009. *Emerg Infect Dis* 18: 1603-1611.
24. WHO (2012) Handbook for integrated vector management. Geneva, Switzerland. 68 p.
25. Stoddard ST, Forshey BM, Morrison AC, Paz-Soldan VA, Vazquez-Prokopec GM et al. (2013) House-to-house human movement drives dengue virus transmission. *Proc Natl Acad Sci USA* 110: 994–999.
26. Dickin SK, Schuster-Wallace CJ, Elliott SJ (2013) Developing a Vulnerability Mapping Methodology: Applying the Water-Associated Disease Index to Dengue in Malaysia. *PLoS Negl Trop Dis* 8(5): e63584.

Figure legends

Figure 1. Location of the study site.

Figure 2. Dengue weekly notifications during study period.

Figure 3. Spatial pattern of dengue fever spread in 2008 (left) and 2009 (right) in the city of Coronel Fabriciano, Brazil.

Figure 4. Dengue fever incidences in 2008 and 2009.

Figure 5. Spatial distribution of dengue fever incidences according to pattern A (high incidence, blue) and B (low incidence, red).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dengue é uma doença multifacetada, com uma complexa interação entre seus atores: o homem, o mosquito e o vírus. A inter-relação entre esses componentes é ainda dependente dos variantes ambientais que podem influenciar as taxas de transmissão em uma escala local ou regional. Este estudo mostra que os índices pluviométricos, a temperatura ambiente e seu lag-temporal podem determinar o período de transmissão e o risco da dengue. Associado a isso, as características socioeconômicas das áreas de transmissão podem influenciar as áreas de aumento ou redução da incidência ou ainda a chance de ocorrência de maior ou menor incidência da mesma.

Pode-se evidenciar que os novos meios de vida, a globalização e a urbanização estão entre os principais fatores para a crescente transmissão da dengue no mundo. Os artigos incluídos neste manuscrito tentam, de forma sistemática, listar e testar os efeitos das variantes que determinam a chance de dengue no município de Coronel Fabriciano, uma das regiões com as maiores incidências de dengue em Minas e no Brasil. Para isso, baseamos o trabalho em tres principais vertentes: a) os efeitos ambientais sobre as taxas de dengue; b) o potencial de transmissibilidade da doença e c) os efeitos dos determinantes socioeconomicos sobre a incidência e a distribuição da doença. Neste estudo, por meio dos fatores listados acima, podemos concluir que:

- a) Existe uma gama de estudos que buscam entender a relação entre as variáveis socioeconômicas e a dengue, entretanto muito dessas relações possuem o efeito imensurável da realidade local, que muitas vezes não pode ser repetido ou incluído em modelos que são aplicados para o entendimento das relações em outras regiões geográficas;

- b) O espaço geográfico sobre qual se distribuem os casos de dengue ao longo de anos está em constante alteração. A expansão urbana pode exercer um efeito sobre as taxas de dengue na região, de modo que aqueles locais com crescimento recente e desordenado, sem ainda condições ideais de infraestrutura urbana, podem se tornar *hotspots* de distribuição de casos, aumentando assim o risco de novas epidemias.
- c) Os regimes pluviométricos e de temperatura da região podem determinar o risco de dengue uma vez que as chuvas propiciam condições ideais para a formação de criadouros para o mosquito vetor *Aedes aegypti*. Uma vez estabelecido estas condições, os resultados aqui mostram que existe um período de tempo ótimo até a aparecimento da epidemia, dado que a chuva e a temperatura influenciam diretamente o período de incubação intrínseca e extrínseca do vírus da dengue.
- d) As epidemias de dengue verificadas ao longo dos anos se fazem de modo exponencial, com um grande aumento no número de casos em um breve período de tempo. Esse crescimento pode influenciar a força de infecção da doença, ou seja, a taxa com que o vírus é passado das pessoas susceptíveis para o vetor, e novamente para a população susceptível, sustentando assim a epidemia.
- e) Os dados sugerem o efeito de variáveis socioeconômicas sobre as taxas de incidência de dengue e sua distribuição no espaço, além de encontrar relações com aqueles locais que experimentou aumento ou redução da doença.

Também, é necessário informar que os dados e resultados apresentados aqui estão sujeitos a vieses de seleção e informação. Entre estes, podemos listar a) os dados secundários obtidos a partir de extensos bancos de dados estão propícios a erros de digitação e outros tipos de informação. Além disso, os casos foram georeferenciados

baseados em uma base de informações do Google, que, da mesma forma, está susceptível a erros de localização de coordenadas. Para minimizar estes efeitos, os casos de dengue neste estudo foram submetidos a uma análise de resolução, conforme descrito no Capítulo 6, onde as coordenadas que foram ranqueadas abaixo do valor de 6 (escala de 2, 4, 6, 8 e 10) tiveram seus endereços manualmente conferidos e consertados, uma vez que a maioria possuía erros de digitação. Além disso, as duplicidades foram também buscadas manualmente; b) os dados apresentados aqui carecem de análises que misturem todos estes determinantes físicos, biológicos e sociais em modelos únicos, de forma a ajustar melhor os efeitos sobre as taxas de dengue. Os conjuntos de variáveis neste estudo foram tratados separadamente sem modelos que as incluam conjuntamente; c) neste estudo, a variável desfecho foi a taxa de incidência de dengue, entretanto este pode não ser necessariamente o indicador perfeito que melhor traduz os efeitos da dengue na população e no espaço. Outras variáveis são utilizadas em estudos diversos, como o número bruto de casos, as taxas de hospitalização, a soroprevalência na população dos tipos virais. Obviamente, estes indicadores possuem vantagens e desvantagens e podem subestimar ou superestimar a realidade da doença na população.

Dentre todos os fatores vistos, ainda se torna necessário que novas articulações nas políticas de saúde e um novo modelo de gestão e vigilância para doenças infecciosas seja implantado nos diversos países onde a dengue é presente.

Referências Bibliográficas

Augusto LGS, Carneiro RM, Martins PH (eds). 2005. Abordagem ecossistêmica em saúde – Ensaio para o controle da dengue. Ed. Universitária. UFPE. 382 pp.

Barcellos, C. 2008. Problemas emergentes as saúde coletiva e a revalorização do espaço geográfico. In Miranda, A; Barcellos, C; Moreira, JC & Monken, M. Território, ambiente e saúde. Ed. Fiocruz.

Campos J, Andrade CFS. 2001. Susceptibilidade larval de duas populações de *Aedes aegypti* a inseticidas químicos. Rev Saúde Pública 2001;35(3):232-6.

Confalonieri UEC. 2005. Saúde na Amazônia: um modelo conceitual para a análise de paisagens e doenças. Estudos Avançados, 19 (53): 21-25.

Day JD, Shaman J. 2008. Using hydrologic conditions to forecast the risk of focal and epidemic arboviral transmission in peninsular Florida. J. Med. Entomol., 45 (3): 458-465.

Dickin SK, Schuster-Wallace CJ, Elliott SJ. 2013. Developing a Vulnerability Mapping Methodology: Applying the Water-Associated Disease Index to Dengue in Malaysia. PLoS Negl Trop Dis., 8 (5): e63584.

Dobson A. 1998. The role of parasites in ecological systems. 51-64. In Farina (ed). Perspectives in Ecology. Backhuys Publishers, Leiden, NL.

Donalísio MR, Glasser CM, 2002. Vigilância Entomológica e Controle de Vetores do Dengue. Rev. Bras. Epidemiol. Vol. 5, Nº 3.

FAO. 2000. Diretrizes para avaliação de países tropicais e subtropicais. Roma: 44p.

Fernandes HM, Veiga LHS. 1999. In Brilhante, OM, & Caldas, LQA. Gestão E avaliação de risco em saúde ambiental. Ed. Fiocruz.

Flauzino RF, Souza-Santos R, Oliveira RM. 2009. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health 25(5): 456-461.

Forattini OP. 2002. Culicidologia Médica. Vol. 2. Edusp Ed.

Friel S, Hancock T, Kjellstrom T, McGranahan G, Monge P, Roy J. 2011. Urban Health Inequities and the Added Pressure of Climate Change: An Action-Oriented Research Agenda. Journal of Urban Health. Oct;88(5):886-95.

Galli B, Chiaravalloti-Neto F. 2008. Modelo de risco tempo-espacial para identificação de áreas de risco para ocorrência de dengue. Rev Saúde Pública;42(4):656-663.

Goldstein RA, Barcellos C. 2008. Geoprocessamento e Participação social – ferramentas para vigilância ambiental em saúde. In Miranda, AC; Barcellos, C; Moreira, JC & Monken, M. Território, Ambiente e Saúde. Ed. Fiocruz.

Gondin GMM, Monken M. 1999. (Re)conhecendo o espaço local: o uso de sistemas de informações geográficas na formação técnica em vigilância à saúde e ao meio ambiente. In Saúde e ambiente no processo de desenvolvimento. Série Fiocruz. Eventos Científicos 1. Ed. Fiocruz. Rio de Janeiro.

Gubler, DJ. 2011. Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century. *Tropical Medicine and Health*; 39(4): 3-11.

Hacon S. 2004. Construcción de indicadores de salud y ambiente: um desafio para America Latina. III Seminário Nacional de Saúde e Ambiente, Rio de Janeiro. Setembro de 2004.

Lenzi MF. 2008. As invisibilidades do dengue: um olhar sobre suas representações em uma favela do Município do Rio de Janeiro – retratos de uma vulnerabilidade. Tese de Doutorado. Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca/Fiocruz.

Lima EP, Oliveira Filho AM, Lima JWO, Ramos Jr NA, Cavalcanti LPG, Pontes RJS. 2006. Resistência do *Aedes aegypti* ao Temefós em Municípios do Estado do Ceará. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 39(3):259-263.

Marten GG. 2001. Human Ecology. Basic concepts for sustainable development. Earthscan Publications Ltd London, 238 pp

Minayo MCS. 2002. In Minayo, MCS & Miranda, AC. Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós. Ed. Fiocruz.

Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Tree*, v. 10, p. 58-62.

Nascimento MC, Soares VP, Ribeiro CAAS, Silva E. 2006. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do rio alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite ikonos ii. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.389-398.

Castro MG, Nogueira RM, Filippis AM, Ferreira AA, Lima Mda R, et al. 2012. Dengue virus type 4 in Niterói, Rio de Janeiro: the role of molecular techniques in laboratory diagnosis and entomological surveillance. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2012 Nov;107(7):940-5.

Rodrigues SG. 2004. Estudo dos arbovirus na Amazônia Brasileira” Em: Resumos do III Simpósio Internacional sobre Arbovirus nos Trópicos e Febres Hemorrágicas, Belém, Pará. Instituto Evandro Chagas.

Silva SB, Andrade Filho GV. 2005. Ensaio de aplicação do modelo FPEEEA (OMS) na seleção de indicadores para o controle do dengue no Programa de Saúde Ambiental de Recife. In Augusto LGS, Carneiro RM, Martins PH. *Abordagem ecossistêmica em saúde – Ensaio para o controle de dengue*. Ed. Universitária. UFPE. 382 pp.

Sommerfeld J, Kroeger A. 2012. Eco-bio-social research on dengue in Asia: a multicountry study on ecosystem and community-based approaches for the control of dengue vectors in urban and peri-urban Asia. *Pathog Glob Health* 106: 428-435.

Sucaet Y, Hemert JV, Tucker B, Bartholomay L. 2008. A web-based relational database for monitoring and analyzing mosquito population dynamics. *J. Med. Entomol.* 45 (4):775-784.

Tauil PL. 2001. Urbanização e ecologia do dengue. CAD Saude Publica. 2001; 17(Supl):99-102.

Torres EM. 2005. Dengue. Ed Fiocruz. Rio de Janeiro. 343 pp.

Tran A, Deparis X, Dussart P, Morvan J, Rabarison P, Remy F. 2004. Dengue spatial and temporal patterns, French Guiana. Emerg Infect Dis., 10(4): 615-21.

Trpis M, Hausermann W. 1975. Demonstration of differential domesticity of *Aedes aegypti* (L.) (Diptera, Culicidae) Bull Ent Res, 65: 199-208.

Wen TH, Lin NH, Lin CH, King CC, Su MD. 2006. Spatial mapping of temporal risk characteristics to improve environmental health risk identification: a case study of a dengue epidemic in Taiwan. Sci Total Environ., 367(2-3):631-40.

Wermelinger ED; Almeida AB ; Benigno CV ; Ferreira AP . Avaliação da produtividade dos criadouros de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* através dos dados da vigilância em Parati - RJ. EntomoBrasilis (Vassouras), v. 5, p. 223-226, 2012.

Williams CR; Johnson PH; Long SA, Rapley LP, Ritchie SA. 2008. Rapid estimation of *Aedes aegypti* population size using simulation modeling with a novel approach to calibration and Field validation. J. Med. Entomol., 45 (6): 1173-1179.

Wolfe N. 2000. Deforestation, Hunting and the Ecology of Microbial Emergence. Global Change & Hum. Health, 1(1):10-25.

