



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Instituto de Medicina Social

Andréa Sobral de Almeida

Identificação de áreas sob maior risco para leishmaniose visceral na cidade de Teresina, Piauí, Brasil

Rio de Janeiro

2011

Andréa Sobral de Almeida

**Identificação de áreas sob maior risco para leishmaniose visceral na cidade de Teresina,
Piauí, Brasil**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Epidemiologia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Loureiro Werneck

Coorientador: Prof. Dr. Roberto de Andrade Medronho

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CBC

A447 Almeida, Andréa Sobral de.

Identificação de áreas sob maior risco para leishmaniose visceral na cidade de Teresina, Piauí, Brasil / Andréa Sobral de Almeida. – 2011.

111f.

Orientador: Guilherme Loureiro Werneck.

Coorientador: Roberto de Andrade Medronho.

Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Medicina Social.

1. Leishmaniose visceral – Teses. 2. Leishmaniose visceral – Epidemiologia – Teresina (PI) – Teses. 3. Sistemas de informação geográfica – Teses. 4. Sensoriamento remoto – Teses. 5. Análise estatística – Teses. I. Werneck, Guilherme Loureiro. II. Medronho, Roberto A. (Roberto Andrade). III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Medicina Social. IV. Título.

CDU 616.993.161

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

Assinatura

Data

Andréa Sobral de Almeida

**Identificação de áreas sob maior risco para leishmaniose visceral na cidade de Teresina,
Piauí, Brasil**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Área de concentração: Epidemiologia.

Aprovada em 28 de abril de 2011.

Banca Examinadora:

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

Prof. Dr. Roberto de Andrade Medronho (Coorientador)
Instituto de Estudos em Saúde Coletiva – UFRJ

Prof. Dr. Washington Leite Junger
Instituto de Medicina Social – UERJ

Prof. Dr. Cláudio José Struchiner
Instituto de Medicina Social – UERJ

Prof^ª. Dra. Virginia Ragoni de Moraes Correia
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Prof. Dr. Reinaldo Souza Santos
Escola Nacional de Saúde Pública – Fiocruz

Rio de Janeiro

2011

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese ao meu filho André Lucca e ao meu marido, que compreenderam a minha ausência em vários momentos de convívio. Essa generosidade só encontramos naqueles que nos amam de verdade. Aos meus queridos pais pelo amor que sempre me deram e por terem me ensinado os reais valores da vida. A todos aqueles que acreditaram em mim, muito obrigada.

"O que vale na vida não é o
ponto de partida e sim a caminhada.
Caminhando e semeando
no fim terás o que colher."

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são inúmeros. Primeiramente agradeço a Deus, pelo fato de minha existência, por sua presença constante e forte em minha vida, por me amparar em momentos tão difíceis e dar força para superá-los.

Ao meu filho André Lucca, meu anjinho adorável, pelo seu carinho, compreensão e amor em horas tão difíceis. Ele é a esperança de cada dia. Amo você.

Ao André, a quem eu muito amo, pela sua cumplicidade, apoio e incentivo diário.

Aos meus pais, Miro e Bete, por todo amor recebido. Sem eles eu seria muito menor.

A minha irmã, seu marido e aos meus sobrinhos queridos, pelo carinho doado em momentos tão difíceis.

Ao Guilherme Werneck, por ter sido meu orientador e amigo. Por estabelecer um relação baseada no espírito científico crítico e ao mesmo tempo de confiança, respeito e fraternidade. Por me ensinar a cada dia dessa longa caminhada a superar desafios e principalmente, pela generosidade demonstrada em dividir seus valiosos conhecimentos e pela paciência inesgotável. Muito Obrigada.

Ao Roberto Medronho, por ter sido meu mestre, mas acima de tudo um grande amigo. Por acreditar no meu potencial profissional. Por estar sempre pronto a ajudar nas dificuldades profissionais e pessoais. Meu muito obrigada.

Aos professores Washington Leite Junger, Reinaldo Souza Santos, Virginia Ragoni de Moraes Correia, Cláudio José Struchiner, Cláudia Torres Codeço, Christovam Barcellos, Roseli Sichieri e Claudia de Souza Lopes que aceitaram a missão de participar da banca de defesa desta tese como titulares e suplentes.

Aos administrativos do IMS, em especial à Márcia Cristina e a equipe da secretaria, Simone, Eliete e Silvia. A Márcia e demais amigos do Laboratório de Informática por todo auxílio prestado.

Ao Fernando Oliveira e Francisco Cardoso, pelo apoio no trabalho de georeferenciamento dos casos de leishmaniose visceral em Teresina, colaboração imprescindível.

Ao Professor Paulo Sabroza, pela sua generosidade em compartilhar seus conhecimentos tão preciosos. Hoje admiro não só o profissional, como também, o ser humano incrível que é. Muito obrigada pelos momentos de convívio e de aprendizagem.

A Aninha, amiga querida, pelo seu incentivo diário, pelas trocas de conhecimento e principalmente, por sua amizade tão especial.

As amigas queridas, Marta Júlia e Clélia, companheiras e confidentes de longas datas. Adoro vocês. Agradeço muito a Deus por vocês fazerem parte da minha vida.

A "Leiloca", pelo seu carinho, apoio e alegria contagiante.

A querida amiga Deolinda, "Deo", por estar sempre pronta a me ajudar. Ser humano fantástico. Muito obrigada por tudo.

As amigas Márcia, Denise, Sigrid e Danielle, pelo carinho de sempre. Beijos.

A amiga Eliane, por seu apoio e incentivo. Obrigada.

A Waldemir e Valdenir, pela amizade, alegria e incentivo.

Aos colegas do grupo de pesquisa do Prof. Sabroza, obrigada pelo carinho.

Ao Ivan, pela amizade, apoio e carinho. Muito obrigada.

Agradeço muito a Deus por todos vocês fazerem parte da minha vida.

RESUMO

ALMEIDA, Andréa Sobral. *Identificação de áreas sob maior risco para leishmaniose visceral na cidade de Teresina, Piauí, Brasil*. 2011. 111f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) - Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

O propósito desta Tese foi detectar e caracterizar áreas sob alto risco para leishmaniose visceral (LV) e descrever os padrões de ocorrência e difusão da doença, entre os anos de 1993 a 1996 e 2001 a 2006, em Teresina, Piauí, por meio de métodos estatísticos para análise de dados espaciais, sistemas de informações geográficas e imagens de sensoriamento remoto. Os resultados deste estudo são apresentados na forma de três manuscritos. O primeiro usou análise de dados espaciais para identificar as áreas com maior risco de LV na área urbana de Teresina entre 2001 e 2006. Os resultados utilizando razão de *kernels* demonstraram que as regiões periféricas da cidade foram mais fortemente afetadas ao longo do período analisado. A análise com indicadores locais de autocorrelação espacial mostrou que, no início do período de estudo, os agregados de alta incidência de LV localizavam-se principalmente na região sul e nordeste da cidade, mas nos anos seguintes os eles apareceram também na região norte da cidade, sugerindo que o padrão de ocorrência de LV não é estático e a doença pode se espalhar ocasionalmente para outras áreas do município. O segundo estudo teve como objetivo caracterizar e prever territórios de alto risco para ocorrência da LV em Teresina, com base em indicadores socioeconômicos e dados ambientais, obtidos por sensoriamento remoto. Os resultados da classificação orientada a objeto apontam a expansão da área urbana para a periferia da cidade, onde antes havia maior cobertura de vegetação. O modelo desenvolvido foi capaz de discriminar 15 conjuntos de setores censitários (SC) com diferentes probabilidades de conterem SC com alto risco de ocorrência de LV. O subconjunto com maior probabilidade de conter SC com alto risco de LV (92%) englobou SC com percentual de chefes de família alfabetizados menor que a mediana ($\leq 64,2\%$), com maior área coberta por vegetação densa, com percentual de até 3 moradores por domicílio acima do terceiro quartil ($>31,6\%$). O modelo apresentou, respectivamente, na amostra de treinamento e validação, sensibilidade de 79% e 54%, especificidade de 74% e 71%, acurácia global de 75% e 67% e área sob a curva ROC de 83% e 66%. O terceiro manuscrito teve como objetivo avaliar a aplicabilidade da estratégia de classificação orientada a objeto na busca de possíveis indicadores de “cobertura do solo” relacionados com a ocorrência da LV em meio urbano. Os índices de acurácia foram altos em ambas as imagens ($>90\%$). Na correlação da incidência da LV com os indicadores ambientais verificou-se correlações positivas com os indicadores *Vegetação densa*, *Vegetação rasteira* e *Solo exposto* e negativa com os indicadores *Água*, *Urbana densa* e *Urbana verde*, todos estatisticamente significantes. Os resultados desta tese revelam que a ocorrência da LV na periferia de Teresina está intensamente relacionada às condições socioeconômicas inadequadas e transformações ambientais decorrentes do processo de expansão urbana, favorecendo a ocorrência do vetor (*Lutzomyia longipalpis*) nestas regiões.

Palavras-chave: Leishmaniose Visceral. Epidemiologia. Vigilância em Saúde Pública. Saúde Pública. Sistema de Informação Geográfica (SIG). Sensoriamento remoto. Análise multivariada. Modelos preditivos.

ABSTRACT

The objective of this Thesis was to detect and characterize areas under high risk of visceral leishmaniasis (VL) and to describe patterns of occurrence and diffusion of the disease, between the years of 1993 1996 and 2001 the 2006, in Teresina, Piauí, Brazil, using statistical methods for spatial data analysis, geographic information systems and remote sensing. The results of this study are presented in three manuscripts. The first used spatial analysis to identify areas at greatest risk of VL in the urban area of Teresina, Brazil from 2001 to 2006. The results from kernel ratios showed that peripheral census tracts were the most heavily affected. Local spatial analysis showed that in the beginning of the study period local clusters of high incidence of VL were mostly located in the South and Northeast parts of the city, but in the following years those clusters appeared also in the North region of the city, suggesting that the pattern of VL occurrence is not static and disease may occasionally spread out to other areas of the municipality. The second study aimed to characterize and predict areas at high risk for occurrence of VL in Teresina, based on socioeconomic and environmental indicators obtained by remote sensing. The results of object-oriented classification indicate the expansion of the urban area to the periphery of the city, where larger areas covered by vegetation were usually seen. The model developed was able to discriminate 15 subsets of census tracts (SC) with different probabilities of containing SC with high risk of VL occurrence. The subset with higher probability of containing SC with high risk of VL (92%) encompassed SC with percentage of literate heads-of-households less than the median ($\leq 64.2\%$), with greater area covered by dense vegetation, with percentage of up to 3 people per household above the third quartile ($>31.6\%$). The model presented, respectively, in the validation and training samples, sensitivity of 79% and 54%, specificity of 75% and 71% global accuracy of 75% and 67% and area under the ROC curve of 83% and 66%. The third manuscript aimed to evaluate the applicability of object-oriented classification in searching for possible indicators of "land cover" related to the occurrence of VL on the urban environment. Accuracy indices were high for both images ($>90\%$). In the correlation analysis, the incidence of VL was found to be positively correlated with dense vegetation, vegetation and exposed soil and negatively correlated with water, dense urban and green urban indicators, all statistically significant. The results of this thesis reveal that the occurrence of VL on the periphery of Teresina is intensely related to inadequate socioeconomic conditions and environmental modifications arising from the process of urban expansion, both favoring the occurrence of the vector (*Lutzomyia longipalpis*) in these regions.

Keywords: Visceral Leishmaniasis. Epidemiology. Public Health Surveillance. Public Health. Geographic Information Systems (GIS). Remote sensing. Multivariate analysis. Predictive models.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
CART	Árvore de Classificação e Regressão
DAT	Teste de Aglutinação Direta
ELISA	Ensaio Imunoenzimático
FAST	Fast Agglutination Screening Test
GLCF	Global Land Cover Facility
HIV	Vírus da Imunodeficiência Humana
IDRM	Intradermorreação de Montenegro
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LISA	Índice local de Moran
LV	Leishmaniose visceral
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PCLV	Programa de Controle da Leishmaniose Visceral
PCR	Reação de Cadeia de Polimerase
ROC	Receiver Operating Characteristic
RIFI	Reação de Imunofluorescência Indireta
SC	Setores Censitários
SER	Sistema Reticuloendotelial
SFM	Sistema Fagocitário Mononuclear
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
SR	Sensoriamento Remoto
TM	Thematic Mapper

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	12
1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
1.1	A doença.....	13
1.2	Ciclo de transmissão.....	13
1.3	Ciclo biológico do vetor.....	14
1.4	Breve histórico da doença.....	15
1.5	Situação epidemiológica da Leishmaniose visceral.....	15
1.6	Aspectos clínicos, imunológicos, diagnósticos e terapêuticos.....	17
1.7	Medidas de controle.....	20
1.8	Fatores associados.....	22
1.9	Leishmaniose visceral em Teresina.....	23
2	DADOS ESPACIAIS E ANÁLISE EM SAÚDE.....	26
2.1	Sistemas de Informações Geográficas.....	26
2.2	Abordagens espaciais para dados de área.....	27
2.3	Abordagens para dados pontuais.....	31
3	HIPÓTESES.....	32
4	JUSTIFICATIVAS.....	33
5	OBJETIVOS.....	34
5.1	Objetivo geral.....	34
5.2	Objetivos específicos.....	34
6	ETAPAS METODOLÓGICAS.....	35
6.1	Apresentação das etapas metodológicas.....	35
6.2	Métodos.....	36
6.2.1	<u>Classificação das imagens de satélite.....</u>	36
6.2.2	<u>Avaliação da classificação.....</u>	37
6.2.3	<u>Árvore de Classificação e Regressão (CART)</u>	39
7	RESULTADOS.....	40
7.1	Artigo 1 - Identification of risk areas for visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil.....	40

7.2	Artigo 2 - Caracterização e predição de territórios de alto risco para ocorrência de leishmaniose visceral com base em indicadores socioeconômicos e dados ambientais obtidos por sensoriamento remoto.....	58
7.3	Artigo 3. Identificação de características de cobertura do solo por meio de imagens de sensoriamento remoto para o estudo da leishmaniose visceral em Teresina, Brasil: uma aplicação utilizando classificação orientada a objeto.....	76
8	CONCLUSÃO.....	97
	REFERÊNCIAS.....	98
	ANEXO - Script para o cálculo das proporções de classe ambiental feito no programa legal (aplicativo do SPRING).....	111

INTRODUÇÃO

As doenças infecciosas, no Brasil, constituem em importantes problemas de saúde pública. A rápida propagação destas doenças impõe novos desafios para os sistemas de saúde, principalmente no que se refere às ações de vigilância epidemiológica.^{1,2}

A disseminação das endemias em ambientes urbanos é um fenômeno complexo e crescente, relacionado à urbanização acelerada e fluxo migratório rural-urbano, ao aumento da densidade populacional e a ampliação das redes sociais.³

Nesse contexto, nota-se um cenário onde ocorrem o surgimento e ressurgimento de diversas endemias/epidemias. Esta situação fortalece a importância dos estudos ecológicos em doenças infecciosas, a fim de identificar possíveis fatores de risco ambientais e socioeconômicos para a propagação destas doenças. A heterogeneidade com que esses fatores são distribuídos determina padrões espaciais e temporais distintos na incidência das doenças infecciosas.⁴

Nesta conjuntura de expansão geográfica de diversas endemias, destaca-se a leishmaniose visceral, caracterizada, inicialmente, por transmissão restrita a áreas rurais e silvestres, que encontrou no ambiente urbano, condições favoráveis ao seu estabelecimento e disseminação.

A proposta desta Tese centra-se no estudo dos padrões espaciais da distribuição da leishmaniose visceral em Teresina, no estado do Piauí, Brasil. A ideia subjacente pressupõe que o conhecimento da distribuição espacial da leishmaniose visceral (LV) e de possíveis fatores socioeconômicos e ambientais associados à doença pode ajudar a identificar e prever áreas de maior risco. Deste modo, através da utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), do sensoriamento remoto, de técnicas de análise espacial e de modelos preditivos são detectadas áreas sob alto risco e descritos possíveis padrões de difusão para LV nos setores censitários urbanos da cidade, nos períodos de 1993-1996 e 2001-2006.

Examina-se a seguir alguns aspectos relacionados à LV: ciclo de transmissão, ciclo biológico de vetor, breve histórico e situação epidemiológica de LV no mundo, no Brasil e no município de Teresina, aspectos clínicos, diagnósticos, imunológicos e terapêuticos, medidas de controle e fatores de risco. Além disso, discute-se também os usos potenciais da análise espacial em saúde neste contexto.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 A doença

A leishmaniose visceral (LV), ou calazar, é uma doença sistêmica grave, com letalidade que pode alcançar 10% mesmo quando o tratamento adequado é realizado. A doença apresenta amplo espectro epidemiológico no mundo, ocorrendo em áreas tropicais e subtropicais. É causada por parasitas do gênero *Leishmania*, que fazem parte do complexo *Leishmania donovani*: *Leishmania (Leishmania) donovani*, *Leishmania (Leishmania) infantum*, *Leishmania (Leishmania) chagasi*. As *Leishmanias* possuem basicamente duas formas evolutivas: **amastigota**, localizando-se no citoplasma dos macrófagos de órgãos do sistema fagocitário mononuclear - SFM (baço, fígado, linfonodos, medula óssea) e histiócitos da pele; **promastigota**, forma flagelada, encontrada no tubo digestivo dos hospedeiros invertebrados e nos meios de cultura.⁵

Os sinais e sintomas da doença podem ser expressos por episódios febris associados à hepatoesplenomegalia, emagrecimento progressivo, anemia, micropoliadenia, podendo ocorrer manifestações intestinais e fenômenos hemorrágicos, edema, alterações e queda dos cabelos e outras manifestações associadas.^{6,7}

A principal forma de transmissão do parasito para o homem e para outros hospedeiros/reservatórios (cães e raposas) ocorre pela picada da fêmea de um flebotomíneo do gênero *Lutzomyia*. A *Lutzomyia longipalpis* é a principal espécie transmissora da *Leishmaniose chagasi* no Brasil.⁸

1.2 Ciclo de transmissão

No Brasil, a forma de transmissão é através da picada dos flebotomíneos, *Lutzomyia longipalpis* ou *Lutzomyia cruzi* – infectados pela *Leishmania chagasi*. Ressalta-se estudo realizado por Rangel e Vilela⁹ a respeito do papel desempenhado pelo *Lu. Longipalpis* na transmissão de LV, sua capacidade de adaptação aos ambientes urbanos, além, da importância de *Lu. Cruzii* como transmissor da doença em alguns municípios da região central do país.

Os flebotomíneos possuem capacidade de voo relativamente baixa (entre 100 e 300m), são silenciosos e habitualmente repousam em lugares escuros e úmidos, sendo mais ativos no crepúsculo e durante a noite.^{5,4} Além disso, adaptam-se facilmente ao peridomicílio e a variadas temperaturas, podem viver no nível do solo, próximo a vegetação de raízes, a troncos de árvores, ou mesmo podem ser encontrados em abrigos de animais. Há indício de que o período de maior transmissão da LV ocorra durante e logo após a estação chuvosa, quando há um aumento da densidade populacional do inseto.^{10,11}

Os seres humanos são os reservatórios do protozoário na Índia e em partes da África, mas na América Latina e Central, Oriente Médio, Mediterrâneo e China a doença é zoonótica, e os parasitos são transmitidos para o homem a partir de mamíferos domésticos, como os cães, ou selvagens, como as raposas⁸. No Brasil, alguns estudos demonstraram que seres humanos infectados podem funcionar como reservatórios e infectar os flebotomíneos, notadamente se existir grande densidade destes vetores.^{12,13}

De acordo com o Ministério da Saúde¹⁴ não é comum ocorrer transmissão direta da leishmaniose visceral de pessoa a pessoa, assim como outras formas mais raras de transmissão como, por exemplo, por meio do ato sexual e durante a gestação.⁸

1.3 Ciclo biológico do vetor

O ciclo biológico da *Lu. longipalpis* se processa no ambiente terrestre e compreende quatro fases de desenvolvimento: ovo, larva (com quatro estádios), pupa e adulto. Após a cópula as fêmeas colocam seus ovos sobre um substrato úmido no solo e com alto teor de matéria orgânica, para garantir a alimentação das larvas. Para seu desenvolvimento necessita de matéria orgânica, temperaturas entre 20°C e 30°C e umidade superior a 80%. As fêmeas alimentam-se de sangue para maturação dos ovos e os machos sugam néctar das plantas. Os ovos eclodem geralmente de 7 a 10 dias após a postura. As larvas desenvolvem-se em média entre 20 a 30 dias, logo após esse período as larvas de quarto estadio transformam-se em pupas em cerca de duas semanas. O desenvolvimento do ovo ao inseto adulto decorre um período de aproximadamente 30 a 40 dias de acordo com a temperatura. As fêmeas apresentam uma longevidade média de 20 dias.

Durante o dia, os flebotomíneos ficam em repouso, em lugares sombreados e úmidos, protegidos do vento e de predadores naturais. A fêmea hematófaga ao picar o vertebrado

infectado ingere as formas amastigotas que no tubo digestivo do inseto irão transformar-se em promastigotas e multiplicar-se por divisão binária em cerca de três dias.

Quando a fêmea infectada picar outro animal susceptível ou ainda o homem sadio, irá inocular através da probóscide, as formas promastigotas (infectantes) na pele dos mesmos e estas penetram nas células do SFM no local de inoculação. As formas promastigotas são fagocitadas pelos macrófagos, perdem os flagelos e diferenciam-se em amastigotas que se multiplicam por divisão binária e assim, com o aumento da quantidade de parasitos no interior dos macrófagos, a membrana destes rompe-se liberando amastigotas no meio intercelular para serem fagocitadas por outros macrófagos. O ciclo se completa quando as amastigotas são ingeridas por novos flebotomíneos.¹⁴

1.4 Breve histórico da doença

O primeiro caso de ocorrência de leishmaniose visceral na América do Sul foi diagnosticado por Migone, em 1913, no Paraguai, em um adulto imigrante italiano que presumivelmente contraiu a doença no Brasil, no estado de Mato Grosso.^{15,16}

No Brasil, Penna, em 1934, durante estudo para confirmação de óbitos por febre amarela no país, proveniente de vários estados, relatou em seu trabalho, a existência de 41 casos de *Leishmanias* em fragmentos de fígado humano.¹⁷

Em 1936, Evandro chagas, iniciou suas investigações sobre a doença e diagnosticou em Aracaju, o primeiro caso autóctone de leishmaniose visceral em vida no Brasil.¹⁸ Quase vinte anos depois, em Sobral, no Ceará, ocorreu um surto da doença.^{19,10}

Em agosto de 1977 foi diagnosticado o primeiro caso autóctone de leishmaniose visceral no Rio de Janeiro, em um homem de 55 anos de idade, residente na localidade de Rio de Prata, no bairro de Bangu, subúrbio da cidade.²⁰

1.5 Situação epidemiológica da Leishmaniose visceral

A LV é endêmica em cerca de 65 países dos quatro continentes, em sua maioria países em desenvolvimento, onde existem 200 milhões de pessoas expostas ao risco de contraírem a

infecção, sendo que aproximadamente 500.000 novos casos da doença ocorrem a cada ano no mundo.^{21,22,23} Em função da falta de notificação compulsória em alguns países, acredita-se que um grande número de indivíduos infectados não é registrado.²⁴ Cerca de 90% dos casos mundiais ocorrem na Índia, Bangladesh, Nepal, Sudão e Brasil.²⁵

A importância da LV no contexto da Saúde Pública no mundo, na última década, tem aumentado devida sua expansão geográfica, sua urbanização e reemergência em focos endêmicos antigos, além do crescente número de casos de LV associada à infecção pelo HIV.²⁶ Com esse contexto estabelecido, expansão da área territorial e aumento significativo de casos, a LV passou a ser considerada pela Organização Mundial de Saúde, uma das principais endemias.²⁴

A leishmaniose visceral zoonótica é uma doença emergente em diferentes partes do mundo, incluindo a América Latina, onde mais de 90% dos casos ocorrem no Brasil.^{27,28,29} As transformações ambientais associadas a movimentos migratórios e ao processo de urbanização podem explicar em parte porque a LV passou a ocorrer de forma endêmica e epidêmica em grandes cidades do nordeste brasileiro.^{30,27,31,32}

No Brasil, o quadro da LV é preocupante, não somente pela sua alta incidência e ampla distribuição, mas também pela possibilidade de assumir formas graves e letais, quando associada a fatores como a desnutrição. A infecção é mais frequente em menores de 10 anos (54,4%), sendo 41% dos casos registrados em menores de cinco anos. O sexo masculino é proporcionalmente o mais afetado (60%). A maior susceptibilidade em crianças pode ser explicada pelo estado de relativa imaturidade imunológica celular agravada pela desnutrição, tão comum em regiões endêmicas, além de maior exposição ao vetor no peridomicílio.³³

As altas incidências de LV são atribuídas, especialmente, às alterações ambientais e comportamentais, como o desmatamento, a migração do homem da área rural para as periferias da cidade, em condições precárias de habitação e saneamento e a urbanização acelerada e não planejada.¹⁴

Em meados de 80, observou-se uma transformação na distribuição geográfica da LV no nordeste brasileiro, a doença se difundiu para áreas indenes, e alcançou as periferias dos centros urbanos^{30,34,35} A partir da década de 1990, essa situação se estabeleceu em outras periferias de centros urbanos do Brasil, como por exemplo, em Belo Horizonte/MG, Campo Grande/MS e Araçatuba/SP.^{36,37,38}

Na década de 90, aproximadamente noventa por cento (90%) dos casos notificados de LV ocorreram na região Nordeste. À medida que a doença se expandiu para as outras regiões, esta situação vem se modificando e, entre os anos de 2000 e 2002, a região Nordeste era

responsável por cerca de 77% dos casos do País.¹⁴ Dados mais recentes revelam que a região Nordeste concentra 56% dos casos, seguidas pelas regiões Sudeste com 19%, Norte com 18% e Centro-Oeste com 7%³⁹. A letalidade média da LV foi de 6,8%, no período de 2000 a 2007, sendo que o ano de 2003 registrou a maior letalidade, 8,5%.⁴⁰

Nos últimos dez anos, a LV foi registrada em 21 das 27 Unidades Federadas com aproximadamente 1600 municípios apresentando casos de transmissão autóctone, com incidência média de aproximados dois casos por 100.000 habitantes e letalidade em torno de 5%.^{14,41} As complicações infecciosas e as hemorragias são os principais fatores associados à morte na LV. Existem poucos estudos sobre sinais e sintomas associados à evolução clínica desfavorável de pacientes com LV^{42,43,44}, contudo, ressalta-se que a identificação desses fatores logo no primeiro atendimento ao paciente com diagnóstico suspeito ou confirmado de LV é primordial para reduzir a letalidade, uma vez que, poderão ser iniciadas medidas profiláticas e terapêuticas precocemente.

Casos de HIV e coinfeção de leishmaniose visceral têm sido relatados em 35 países do mundo. As respostas, humoral e celular a leishmania são diminuídas em pacientes coinfectados, o que leva o aumento no risco de desenvolver LV após a infecção por leishmania, o aumento da carga parasitária no sangue e na medula óssea, a menor sensibilidade dos testes sorológicos e uma maior taxa de insucesso no tratamento.^{45,46}

1.6 Aspectos clínicos, imunológicos, diagnósticos e terapêuticos

A infecção pela *L. chagasi* caracteriza-se por um amplo espectro clínico, se dissemina por todo o sistema reticuloendotelial (SER) ou sistema fagocitário mononuclear (SFM). Este sistema orgânico é constituído por células situadas em diferentes locais do organismo, dotadas de capacidade fagocitária, intervindo, desse modo, na formação de células sanguíneas, no metabolismo do ferro, além de desempenharem funções de defesa contra infecções generalizadas.⁷

Dessa forma as manifestações clínicas de LV refletem o desequilíbrio entre a multiplicação dos parasitos nas células do SFM, a resposta imunitária do hospedeiro, relacionada a idade e ao estado nutricional do paciente, e, o processo inflamatório subjacente.⁴⁷

Clinicamente a doença pode permanecer assintomática ou subclínica ou apresentar um curso agudo, subagudo ou crônico.^{47,5} A forma grave clássica consiste em febre crônica, emagrecimento, hepatoesplenomegalia, e pancitopenia.⁷ Contudo, a maioria dos casos apresenta a forma leve (oligossintomática) ou assintomática. A forma oligossintomática apresenta sintomatologia leve, muitas vezes despercebida ou confundida com outros processos infecciosos. Apresenta um quadro de febre baixa ou ausente, hepatomegalia, adinamia e, quando detectada, esplenomegalia discreta.^{14,48}

A infecção assintomática é aquela em que não há sintomatologia da doença. O diagnóstico é feito através de sorologia (reação de imunofluorescência indireta – RIFI ou ensaio imunoenzimático – ELISA) ou através do teste de intradermorreação de Montenegro com *leishmanina* - IDRМ positivos ou encontro de parasito em tecidos.¹⁴

O diagnóstico de LV pode ser clínico-epidemiológico e laboratorial. Neste último diferentes técnicas podem ser empregadas.⁴⁹ Os exames sorológicos mais utilizados no diagnóstico da doença, no Brasil, são os testes: RIFI e ELISA.¹⁴ O primeiro apresenta alta sensibilidade e baixa especificidade, contudo é de alto custo e fornece reações cruzadas com outros tripanossomatídeos.^{50,51} O teste de ELISA é mais sensível, permitindo baixos títulos de anticorpos e menos específico que o RIFI. No entanto, pouco acurado para casos subclínicos ou assintomáticos.⁵²

Entretanto, em função da baixa especificidade comum aos métodos que utilizam antígenos não-purificados, alguns antígenos purificados, sintéticos ou recombinantes vêm sendo identificados, como por exemplo, a proteína rK39.⁵³ Em estudo no Brasil, este antígeno apresentou sensibilidade de 98 a 99% e especificidade de 100%.⁵⁴

Alguns estudos relatam que indivíduos com sorologia ou IDRМ positivos podem apresentar manifestações clínicas e desenvolver a forma aguda e os demais podem permanecer assintomáticos ou mesmo evoluir para a forma oligossintomática de LV.^{47,7,55} É possível que indivíduos com infecção assintomática possam contribuir para a transmissão em áreas endêmicas^{56,57,58,13,59,60}, mas provavelmente esta contribuição seria pequena e insuficiente para manutenção da transmissão.

O período de incubação de LV clássica geralmente varia em média, de 2 a 6 meses, apesar de já ter sido relatado períodos mais longos. Entre as crianças, a imunodepressão induzida pela desnutrição pode ser em muitos casos, responsável pela maior susceptibilidade nesse grupo etário.^{47,61} A melhoria nutricional de grupo poderia ter forte impacto sobre a incidência de LV, além das melhorias evidentes na saúde e qualidade de vida das populações.⁶²

O diagnóstico diferencial de LV inclui malária, esplenomegalia tropical, esquistossomose ou cirrose com hipertensão porta, tuberculose miliar, brucelose, febre tifóide, endocardite bacteriana, histoplasmose, desnutrição, linfoma e leucemia.⁵

O exame parasitológico pode ser realizado do material de biópsia ou punção aspirativa retirado do baço, medula óssea, fígado ou linfonodos. Quanto à acurácia do teste, observa-se uma especificidade de 100%, mas a sua sensibilidade possui níveis variados, uma vez que, a distribuição dos parasitos no mesmo tecido é heterogênea. Entretanto, quando o material é aspirado do baço, alcança-se maior sensibilidade, em torno de 98%. Além disso, o teste pode ser realizado em indivíduos imunodeprimidos.^{25,48}

O teste de aglutinação direta (DAT) utiliza antígenos de *L. (L.) donovani* e, após a aglutinação com anticorpos, é realizada leitura direta, dispensando equipamentos sofisticados. Este método apresenta sensibilidade em torno de 92% e especificidade de 99,7%.⁶³ O FAST (Fast Agglutination Screening Test) é uma variação do DAT e vem sendo testado para ser aplicado em contextos epidêmicos e em inquéritos populacionais.⁶⁴

Os métodos moleculares também são utilizados como instrumento epidemiológico e de diagnóstico para a doença, na identificação do parasita. A técnica de reação de cadeia de polimerase (PCR), realizada com amostras da medula óssea, baço, linfonodos e sangue periférico constitui avanço importante no diagnóstico da LV. Este método tem sido usado mais no contexto de pesquisas, apresentando 94% de sensibilidade quando utilizado sangue periférico.^{65,66} Em função da sua complexidade e custo elevado, o método de PCR, ainda não tem grande utilização no diagnóstico de rotina.²⁵

No Brasil, o medicamento à base de antimônio, utilizado como primeira escolha na terapêutica da leishmaniose, é o antimoniato de N-metilglucamina (Glucantime), distribuído pelo Ministério da Saúde. O esquema de Glucantime® recomendado pelo MS é de 20mg/Kg/dia (máximo de 3 ampolas/dia) por no mínimo 20 dias e máximo 40 dias, por via endovenosa ou intramuscular.⁴⁸ Devido a sua elevada toxicidade, durante o tratamento, exames clínicos e complementares são realizados para detecção de possíveis intoxicação e efeitos colaterais, como mialgias, dores abdominais, alterações hepáticas e distúrbios cardiológicos.⁶⁷ Como proposta de tratamento alternativo, a Anfotericina B, vem sendo progressivamente mais utilizada, principalmente em decorrência da crescente resistência do parasita aos antimoniais em outras partes do mundo, e da disponibilidade das novas formulações lipossomais que permitem tratamentos com períodos de tempo mais curtos e com menos efeitos adversos.⁵

No país, o uso de Anfotericina B está indicado para gestantes ou pacientes que apresentarem qualquer um dos fatores associados ao maior risco de morte, como por exemplo, idade <1 ano e >40 anos, comorbidades, recidiva ou reativação de LV, entre outros. Já a Anfotericina B lipossomal (dispersão coloidal e complexo lipídico) está indicada para indivíduos com história de transplante renal, rim único, diabetes *mellitus*, entre outros. Além desses, existe também as pentamidinas (isoticianato de pentamidine), como terceira opção e os imunomoduladores (interferon gama), como adjuvante dos antimoniais podem acelerar ou melhorar a resposta ao tratamento, desde que não haja resistência ao antimonial.^{68,5}

Em virtude de não haver um teste ou critério para documentar a cura após o tratamento, algumas evidências podem ser sugestivas para a melhora clínica de pacientes com leishmaniose visceral, como: desaparecimento da febre, aumento de peso, resolução das alterações hematológicas e regressão da hepatoesplenomegalia.⁵

1.7 Medidas de controle

A estratégia de controle da LV, proposto pela Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde atualmente, está fundamentada em três medidas: 1) detecção e tratamento de casos humanos, de caráter eminentemente curativo; 2) controle dos reservatórios domésticos; e 3) controle de vetores.¹⁴ No entanto, apesar de sua implantação em larga escala, o número de casos no país aumentou nitidamente nas duas últimas décadas, invadindo áreas urbanas.⁶⁹

Em relação ao tratamento, a medicação é distribuída nas unidades públicas de saúde onde são utilizados antimoniais pentavalentes, com dose recomendada de 20mg/kg/dia por no mínimo 20 dias. Quanto aos reservatórios, o controle tem sido feito através do diagnóstico sorológico de todos os cães domésticos ou “de rua” onde existe transmissão de *Leishmania chagasi* em humanos. No caso de diagnóstico sorológico positivo, os cães têm sido sacrificados. E para o controle vetorial é aplicado o uso de inseticidas, por aspersão espacial ou por aplicação residual para áreas com registro do primeiro caso autóctone de LV e em áreas de surto.^{70,48}

A base teórica que alicerça as duas últimas medidas de controle como estratégias de controle sobre a LV é a proposição de que a incidência de infecção em seres humanos está

diretamente relacionada à quantidade de cães infectantes e à capacidade da população de flebotomíneos de transmitir infecção do cão para o homem.^{71,72}

O Ministério da Saúde, em dezembro de 2000, convocou um comitê de especialistas para reavaliar as estratégias de controle da LV e propor mudanças para o controle da LV no país, em virtude da pouca eficiência do programa brasileiro para a doença. Dentre algumas recomendações, destaca-se o controle de vetores, através do uso de inseticidas somente em locais com presença de casos humanos da doença, e ainda assim, atendendo a um dos seguintes critérios: introdução recente da doença, evidente aumento da incidência ou incidência cumulativa superior a cinco casos por 100.000 habitantes por ano. Além dessas recomendações, o comitê de assessores concluiu pela falta de evidência da efetividade da eliminação indiscriminada de cães soropositivos como medida de controle e que em função disso, a eliminação deve ser restrita a situações em que o diagnóstico de LV seja confirmado parasitologicamente ou através de exames sorológicos que confirmem casos clinicamente suspeitos, em cães oriundos de áreas endêmicas.⁷³

No Brasil, o método proposto inicialmente, pelo Programa de Controle da Leishmaniose Visceral (PCLV) para a definição de recomendações de vigilância e controle, era a classificação das áreas com transmissão e sem transmissão da doença, entretanto, uma nova metodologia do PCLV foi estabelecida e incorpora estados e municípios silenciosos, nas ações de vigilância e controle, visando evitar e/ou minimizar os agravos em novas áreas.¹⁴

A vigilância epidemiológica é um dos componentes do Programa de Controle da Leishmaniose Visceral (PCLV), cujos objetivos são reduzir as taxas de letalidade e grau de morbidade através do diagnóstico e tratamento precoce dos casos, bem como diminuir os riscos de transmissão mediante controle da população de reservatórios e do agente transmissor.

Como critério para classificação de áreas de transmissão para LV, em 2003 foi utilizado o indicador, média de caso nos últimos cinco anos, tendo como base os dados de leishmaniose visceral enviados pelas secretarias estaduais de saúde referentes ao período de 1998 a 2002. Os municípios foram divididos em três classes de transmissão de leishmaniose visceral: municípios com média de casos menor que 2,4 estão classificados como de **transmissão esporádica**; municípios com média de casos $> 2,4$ e $< 4,4$ estão classificados como de **transmissão moderada**; e municípios com média de casos $> 4,4$ estão classificados como de **transmissão intensa**.^{33,14}

No entanto, após análises realizadas nos últimos anos, em 2008 ficou estabelecido que a estratificação das áreas ocorresse a partir da média de casos dos últimos três anos, utilizando os mesmos escores de estratificação.⁴⁰

1.8 Fatores associados

Um dos fatores associados à LV é o processo de migração populacional rural-urbana ou inter-regional, oriundos de longos períodos de seca e mudanças na política agrária do país.^{30,35,74}

No Piauí, o processo migratório, no início da década de 80, foi provocado pela escassez das chuvas nas áreas rurais. Essa situação causou grande perda de terras cultiváveis para o pequeno produtor rural, fazendo com que as famílias piauienses se deslocassem com destino a Teresina, onde fixaram moradias em terrenos vazios e aglomerados subnormais na periferia da cidade, locais desprovidos de infraestrutura básica.^{75,69,73,30}

Além dos fatores que configuram as condições básicas para a ocorrência de casos autóctones da doença, como a presença de um grande número de indivíduos não imunes, de reservatórios infectados e de vetores em abundância, o desmatamento considerável, as condições precárias de vida dessas famílias, por consequente ocupação desordenada das periferias dos centros urbanos, intensificaram o processo de urbanização da doença e o aparecimento de surtos epidêmicos.^{30,16,35,76,77,78}

Associado a esses fatores, a *Lu. Longipalpis* adaptou-se as periferias urbanas e as condições de adensamento populacional em conglomerados urbanos, encontrando um contexto favorável ao seu desenvolvimento. O acúmulo de matéria orgânica em decomposição gerada por animais domésticos propiciou fonte abundante de alimentação para o vetor da LV.^{79,4,9,80}

Estudos recentes mostram que domicílios localizados em regiões com maior cobertura vegetal, e com elevada densidade populacional contribuem de forma favorável para altas taxas de incidência de LV. Isso significa que quanto maior a proximidade com as florestas, maior também será o número de flebotomíneos nos domicílios, o que torna o risco do indivíduo ser picado mais alto e consequentemente maior será a probabilidade de adquirir a infecção por leishmanias.⁷⁸

Indivíduos de todas as idades são acometidos pela LV, mas alguns estudos relatam que crianças com idade inferior a 10 anos, sobretudo as que estão mal nutridas, fazem parte de grupo de maior risco para a doença. O maior acometimento desse grupo etário pode ser atribuído à imaturidade do sistema imune, agravada pela desnutrição, muito comum em áreas endêmicas. Além disso, pela maior exposição ao vetor no peridomicílio.^{81,82,83,84}

Nas últimas décadas, a associação de infecções causadas pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV) e pelos protozoários do gênero *Leishmania* spp tem sido relatada na expansão das leishmanioses, principalmente na Europa.^{45,26,85}

A coinfeção por *Leishmania* e HIV tem sido com frequência resistente ao tratamento, acelerando de forma significativa o desenvolvimento da AIDS⁸⁶, além disso, tem sido constatado o crescente número de casos de coinfeção em regiões urbanas do país, levando ao aparecimento de nova forma de transmissão da doença, através do compartilhamento de agulhas contaminadas.^{87,88}

1.9 Leishmaniose visceral em Teresina

O município de Teresina foi o local de ocorrência da primeira epidemia urbana de leishmaniose visceral no Brasil, em 1980.³⁰ Após o ano de 1985, a incidência de LV caiu, mas, uma nova epidemia com mais de 1200 casos ocorreu entre 1993 e 1995 (Figura 1), onde 90% dos casos necessitaram hospitalização e cerca de 5% morreram mesmo sob correta terapia. Entre os anos de 1996 e 1998 a doença permaneceu ocorrendo de forma endêmica no município, de 20 a 40 casos notificados anualmente. A partir de 1998, doença estabilizou em torno do patamar de 20 casos por 100.000 habitantes. A situação é preocupante na medida em que a baixa incidência nos anos anteriores provavelmente provocou um acúmulo de susceptíveis suficientes para o desencadeamento de nova epidemia.

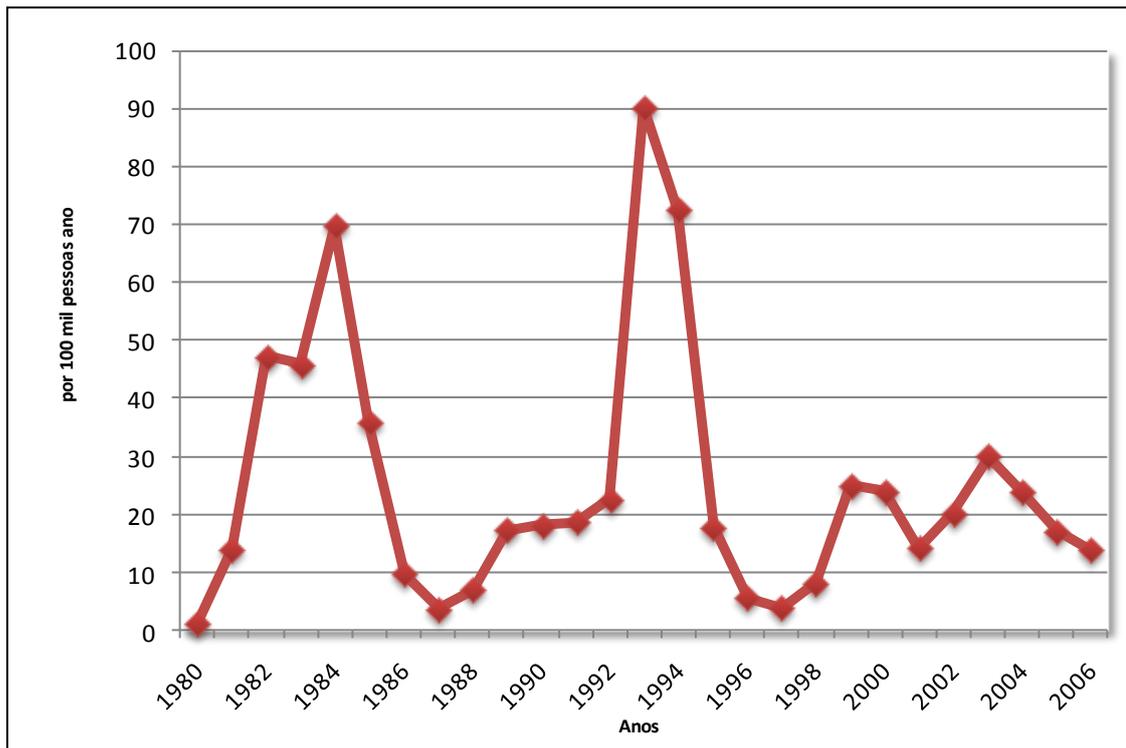


Figura 1 - Distribuição temporal da taxa média de incidência de leishmaniose visceral, 1980-2006. Teresina, Piauí, Brasil

O *boom* populacional ocorreu principalmente a partir da década de 50, época de construção das grandes rodovias no Piauí. A população de Teresina cresceu mais de 400% entre 1960 e 1990, majoritariamente em função de deslocamentos populacionais decorrentes das consecutivas secas no interior do estado do Piauí. A grande maioria da população deslocada era formada por crianças menores de 15 anos de idade, frequentemente desnutridas, o que facilitou o risco de adquirir a LV.^{61,69} Outros fatores podem ser observados durante esses períodos mais secos, como por exemplo, a redução da densidade do vetor *Lu. longipalpis*, ocasionando redução na intensidade de transmissão da doença.^{69,89}

Em 1990, mais de 50% da população da cidade era originária do interior do Estado do Piauí ou de outros estados brasileiros.⁹⁰ Acredita-se que cães infectados tenham migrado junto com seus donos, contribuindo para a introdução da infecção na cidade para subsequente transmissão por flebotomíneos para outros cães e pessoas.³⁰

A ocupação rápida e desorganizada da periferia da cidade expôs a população a extensas áreas cobertas por florestas tropicais e vegetação densa, locais prováveis de reprodução selvagem do parasita responsável pela doença (*Leishmania chagasi*). Assim, na medida em que populações humanas se expandem para áreas recentemente desflorestadas, elas entram em contato direto com os locais naturais de reprodução do vetor, *Lu. longipalpis*,

e com os reservatórios silvestres da infecção, raposas e marsupiais. Segundo estudo de caso-controle realizado no município de Teresina, as raposas passaram a ser vistas com relativa frequência nas regiões periféricas da cidade, revirando o lixo urbano em busca de alimentos, em consequência da destruição do seu habitat natural.⁹¹

Este contexto de urbanização desordenado resultou também em condições precárias de vida, o que de certa forma pode ter contribuído para a emergência da doença no meio urbano, já que *Lu. longipalpis* se adapta facilmente às condições peridomésticas de áreas depauperadas, explorando o acúmulo de matéria orgânica gerada por animais domésticos e precárias condições sanitárias.^{92,93} Outros fatores sociais e ambientais também têm sido associados com a abundância de *Lu. longipalpis* como os períodos de chuva;⁹⁶ proximidade a áreas cultivadas, pastagens e florestas; presenças de cães no domicílio; e habitações com buracos nas paredes e teto.⁹⁷ Além disso, cães que vagam livres pela cidade também podem ter contribuído para a introdução e manutenção da LV no meio urbano.

Fatores como consequências da degradação ambiental, migração e ocupação urbana,^{27,94,98,28,35,99,100} além do potencial papel que o cão infectado desempenha na ocorrência de novos casos de LV, têm sido abordados por diversos estudos na emergência da doença em meio urbano.^{101,102,103,104,105,99,106,107,108} Todavia, poucos têm se preocupado em utilizar métodos epidemiológicos e estatísticos mais apropriados para mensurar a magnitude dos efeitos destes fatores.

2 DADOS ESPACIAIS E ANÁLISE ESPACIAL EM SAÚDE

Os dados espaciais consistem em observações feitas em locais específicos, através de pontos referenciados por latitude e longitude ou dentro de regiões específicas, através de dados agregados por área. Podem ser divididos em três subtipos¹⁰⁹:

1- Dados de área (*lattice*) – observações associadas com regiões espaciais, podendo ser regulares, como os valores de reflectância espectral obtidos por sensoriamento remoto de uma área da terra ou irregulares, como o número de casos de uma determinada doença por setor censitário. Os dados são agregados em um ponto para fins estatísticos ou administrativos.

2- Dados pontuais – fenômenos expressos através de ocorrências como pontos identificados no espaço. Os padrões surgem quando a própria localização dos fenômenos em si é a variável de interesse. As hipóteses a serem testadas nestas análises consistem em responder se o padrão observado é aleatório, apresenta agregação ou regularidade espacial.

3- Dados geoestatísticos – medidas feitas em localizações fixas em um contínuo espacial. Permitem estimar dados em locais não amostrados levando em conta o comportamento espacial do fenômeno e minimizando o erro das estimativas. Os dados podem ser contínuos ou discretos.

Neste estudo serão empregados métodos para dados de área e de ponto. Para abordagens espaciais de dados de área serão utilizados a taxa bayesiana local da LV, a estatística de *I Moran* global bivariada, *I Moran* local e o sensoriamento remoto. Para dados pontuais será utilizado a razão de *Kernel*.

2.1 Sistemas de Informações Geográficas

A localização espacial dos eventos em saúde e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido destacados em diversos estudos e vêm se tornando mais frequentes na literatura da área de saúde pública.^{110,111,112,113,108,114} Neste contexto, destaca-se a revisão de Carvalho e Souza-Santos¹¹⁵, na qual foram apresentados algumas aplicações de métodos voltados para a análise de padrões espaciais de eventos em saúde e discutidas vantagens, desvantagens e aplicabilidade dos modelos propostos.

A aplicação dos SIG apresenta inúmeras possibilidades de análise na pesquisa em saúde, provendo novos métodos para o manejo da informação espacial, com a consolidação e análise de grandes bases de dados, através da captura, armazenamento, manipulação, análise, demonstração e relato de dados georreferenciados. Constitui-se também em uma poderosa ferramenta para o estudo das relações entre saúde e ambiente.^{116,117} Além disso, os SIG possuem uma capacidade integradora de diversos tipos de dados espaciais, facilitando a compreensão do fenômeno em estudo em toda a sua complexidade.^{118,119,120}

O uso combinado das ferramentas de SIG e de técnicas de análise estatística espacial potencializa o processo de análise da distribuição dos agravos no espaço geográfico, assumindo importância fundamental na área da saúde. Um dos principais desafios na área da saúde pública é o desenvolvimento de métodos específicos para análise de riscos à saúde, subsidiado pela disponibilidade e qualidade dos dados existentes, a partir da composição de perguntas precisas que sejam respondidas pelo sistema.^{115,121,122}

Uma questão importante a ressaltar é a disponibilidade de SIG de baixo custo e com interfaces amigáveis. Por outro lado, entretanto, as vantagens oferecidas pelos SIG com interfaces amigáveis, podem trazer o uso indevido de algumas ferramentas de análise e até mesmo uma interpretação equivocada dos resultados obtidos de pesquisas.¹²³

O mapeamento de doenças vem sendo instrumento básico no campo da saúde pública e, em anos recentes, grandes avanços nas técnicas de análise têm sido desenvolvidos com a intenção de gerar mapas para identificar áreas sob maior risco, nas quais a atenção deve ser diferenciada.^{124,125,115,126,127,114,78,128}

2.2 Abordagens espaciais para dados de área

Alguns autores sugerem a aplicação do estimador bayesiano empírico, como modelo de estimação e ajustes de taxas, capaz de contornar a flutuação aleatória de valores associados a pequenas populações.^{129,130}

Os procedimentos bayesianos empíricos fornecem estimativas confiáveis porque utilizam informações de outras áreas para estimar as taxas em uma determinada região.¹³¹ A taxa bayesiana empírica local inclui os efeitos de proximidade espacial, utilizando informação de regiões vizinhas à área geográfica para a qual se deseja estimar a taxa de incidência. Em geral, este procedimento gera um conjunto de taxas de incidência que, quando apresentadas

em um mapa temático, produzem um aspecto visual menos variável que aquele produzido pelas taxas de incidência não corrigidas, daí que este padrão é usualmente denominado de “suavizado”.^{132,133}

Para determinar a distribuição espacial de variáveis, é necessária a utilização de técnicas de análise exploratória de dados espaciais (AEDE), como forma de estudar a autocorrelação ou dependência espacial entre as variáveis. A análise exploratória de dados espaciais está baseada em aspectos espaciais da base de dados a ser utilizada, tratando diretamente da autocorrelação espacial. A finalidade da AEDE é caracterizar a distribuição espacial, os padrões de associação espacial (*clusters* espaciais), verificar a ocorrência de diferentes regimes espaciais ou outras formas de instabilidade espacial - não estacionariedade, além de identificar observações atípicas (*outliers*).¹²⁹

Para dados de área, uma estatística frequentemente empregada para mensurar a autocorrelação espacial é o *I* de Moran global, que testa se as áreas conectadas apresentam maior semelhança quanto ao indicador estudado do que o esperado num padrão aleatório, variando de -1 a +1. O grau de autocorrelação existente pode ser quantificado, sendo positivo para correlação direta, negativo quando inversa. Uma alternativa para analisar o grau de autocorrelação entre duas variáveis distintas é o *I* de Moran global bivariado. A ideia central é descobrir se valores de uma determinada variável em uma região guardam relação com valores de outra variável em regiões vizinhas.^{134,135,136}

Outro índice utilizado para dados de área é o índice local de Moran (LISA), que determina a dependência local dos dados com relação aos seus vizinhos. Esse indicador permite identificar padrões de associação espacial que podem caracterizar a ocorrência de agrupamentos (*clusters*) entre os polígonos que compõem a base de dados. O índice local de Moran (LISA) indica a autocorrelação local, isto é, detecta os setores censitários com influência no indicador global, avaliando a covariância entre um setor e certa vizinhança em função da distância. Assim, é possível identificar aglomerados locais onde ocorra dependência espacial.

Cabe ressaltar que a ocorrência de doenças infecciosas caracteriza-se por padrões espaço-temporais distintos relacionados também a aspectos ambientais, como chuva, temperaturas e vegetação, que podem ser favoráveis à proliferação das populações de reservatórios, vetores e agentes infecciosos.^{137,138} A vegetação é um dos aspectos mais utilizados nos estudos que têm como objetivo relacionar ambiente e doenças, principalmente porque este apresenta alta correlação com umidade, temperatura e precipitação.¹³⁹

Nessa perspectiva, o uso de imagem de satélites se apresenta como uma abordagem metodológica bastante oportuna, que permite a caracterização de variáveis ambientais de interesse em estudos de endemias e epidemias. Estas permitem ampliar o processo de aquisição de informações ambientais relevantes no contexto das pesquisas epidemiológicas que enfocam a interação ambiente-doença. Entretanto, não se pode deixar de referir que a relação entre as características ambientais e as doenças endêmicas é mediada por aspectos da estrutura socioeconômica e demográfica local, operando não só sobre a susceptibilidade como também pelo contato com os vetores e reservatórios.^{4,140,141}

Assim, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são primordiais, uma vez que, os recursos disponíveis neste ambiente possibilitam integrar essas variáveis com outras relativas à ocorrência da doença e a caracterização do perfil socioeconômico e demográfico. Dessa forma, é possível montar um cenário ampliado onde fatores sociais e territoriais são contemplados, potencializando e ampliando o olhar epidemiológico sobre potenciais focos e áreas de risco.¹⁴² Isso irá permitir um diagnóstico mais eficiente da situação de saúde de determinada população, criando alternativas eficientes para os desafios encontrados face às transformações ocorridas na sociedade.

O uso do sensoriamento remoto para os estudos de endemias tem sido concentrado em áreas rurais, entretanto devido ao processo de expansão de diversas doenças endêmicas, torna-se adequado e oportuno seu uso em áreas periurbanas e urbanas.^{137,142,78}

A classificação das imagens de sensoriamento remoto pode ser realizada através da classificação automática, que envolve a análise individual dos atributos numéricos de cada pixel na imagem, por isso é considerada uma análise quantitativa e, através da classificação semiautomática, que é conhecida como fotointerpretação, onde um especialista extrai as informações baseando-se na inspeção visual da imagem. Entretanto, as classificações semi-automáticas estão sujeitas há erros, devido à interpretação realizada pelo especialista; às características de respostas espectrais semelhantes para diferentes elementos da paisagem urbana; à resolução espacial do sensor, entre outros.¹⁴² Ambas as abordagens são importantes e por diversas vezes complementares.

Para realização do processamento das imagens, várias etapas são necessárias, pode se citar algumas: registro, correção geométrica, radiométrica, restauração, fusão, segmentação (treinamento e rotulação), classificação supervisionada (treinamento), não-supervisionada (rotulação) e classificação orientada a objeto.

A aplicação de técnicas de classificação automática às imagens provenientes dos novos sistemas sensores ópticos de alta resolução espacial, como por exemplo, o *QuickBird*

tem encontrado muitas dificuldades já que, além do aumento da resolução espacial e radiométrica, apresentam também um aumento de ruído e de variabilidade espectral intra e interclasses. Assim, os classificadores que utilizam métodos baseados apenas no comportamento espectral de cada pixel são limitados para classificar este tipo de imagem, pois trabalham exclusivamente com informações espectrais, que no caso da escala intraurbana não é suficiente para discriminar as feições de interesse.¹⁴³

A distinção de feições urbanas neste tipo de imagens torna-se possível através da incorporação de outros atributos como forma, tamanho e contexto na classificação. Os classificadores que utilizam uma abordagem orientada a objeto podem ser uma alternativa para superar a limitação dos classificadores “pixel-a-pixel”, uma vez que utilizam informações topológicas, como por exemplo, a vizinhança e o contexto e geométricas como, a forma e o tamanho no processo de classificação.¹⁴⁴ A associação de informações contextuais e de conhecimento no processo de mapeamento permite análises mais detalhadas dos alvos de interesse.

Além disso, as técnicas baseadas em contexto, que utilizam a informação de pixels vizinhos assim como do pixel individualmente, têm se mostrado eficientes quando comparadas com técnicas utilizadas anteriormente para imagens de média resolução espacial.¹⁴⁵ Essas técnicas de contexto assumem que a resposta espectral e a classe de pixels vizinhos são altamente correlacionadas.

Na classificação orientada a objetos, estes passam a se relacionar através da definição de uma rede hierárquica, isto é, herança dos atributos que descrevem a classe temática e da rede semântica, isto é, estrutura lógica de relação entre as classes. Dessa forma, a classificação orientada a objetos se realiza através da análise sobre segmentos da imagem (objetos) e não apenas sobre os pixels. Os objetos com características comuns são agrupados em classes temáticas e estas são organizadas em forma de rede hierárquica e semântica. A análise de imagens orientada a objetos emprega informações espaciais em seu processamento e por isto tem se mostrado mais eficiente na aplicação em áreas urbanas.¹⁴⁶

Com ampliação do uso de técnicas de classificação do uso do solo a partir de abordagens orientadas a objetos, têm-se observado uma crescente evolução na qualidade da extração de informações de imagens de alta resolução espacial em ambientes urbanos.^{147,148,149,150}

2.3 Abordagens para dados pontuais

Diversas técnicas de análise espacial vêm sendo empregadas na análise de dados de saúde, como por exemplo, as de análise de padrões pontuais, onde o principal interesse é a localização pontual dos eventos. A ideia da análise de padrões pontuais é saber se os eventos observados possuem aleatoriedade ou algum padrão sistemático em determinada área, como aglomeração ou regularidade.¹²⁹

Áreas de maior risco para agravos em saúde podem ser detectadas através da razão de *Kernel*, que é uma abordagem apropriada para dados pontuais, onde ocorre a estimativa suavizada da superfície de risco. Esta técnica espacial é calculada pela razão entre o *Kernel* (intensidade) dos casos em relação ao *Kernel* da distribuição da população. A estimação da densidade *Kernel* é uma técnica de interpolação baseada em uma função matemática, assim, cria uma superfície simétrica sobre cada ponto, avaliando a distância do ponto a uma posição de referência, somando depois o valor de todas as superfícies para essa posição de referência.^{129,151}

Além de estimar a intensidade da ocorrência de eventos em toda a superfície analisada, essa abordagem não paramétrica, permite também filtrar a variabilidade de um conjunto de dados, ao mesmo tempo em que mantém suas principais características locais. Diversas funções podem ser usadas para interpolação, as quais definem a forma de ponderação adotada. Cada função produz diferenças suaves na forma da superfície ou do contorno interpolado, pesando diferentemente os pontos no círculo circunscrito em torno da posição de referência. A função de suavização de *Kernel* quártico, por exemplo, atribui maior peso aos eventos mais próximos e menor peso aos mais afastados, porém com o decréscimo gradual. O grau de suavização é controlado mediante a escolha de um parâmetro conhecido como largura de banda (*bandwidth*), que deve ser definida de modo a refletir a escala geográfica da hipótese de interesse. Esse parâmetro influencia o grau de suavidade na superfície de risco estimada – quanto maior o valor de h , maior o alisamento.

Outra abordagem de dados pontuais, ainda pouco utilizada na área da saúde, mas muito robusta é a geoestatística. A geoestatística pode ser definida como o estudo de fenômenos que variam continuamente no espaço, no tempo, ou ambos, espaço e tempo. Esta técnica oferece uma relação de ferramentas determinísticas e estatísticas que possibilitam entender e modelar a variabilidade espacial de fenômenos.^{152,125,153,126,154}

3 HIPÓTESES

1 - As transformações socioambientais ocorridas em Teresina nos últimos anos contribuíram para introdução, disseminação e manutenção da LV em seu meio urbano.

2 - As áreas sob maior risco para ocorrência de LV apresentam precárias condições socioeconômicas, maior densidade populacional e padrões de ocupação da terra e uso do solo típicos de áreas recém-ocupadas próximos às periferias da cidade.

4 JUSTIFICATIVA

A compreensão de um problema relativamente recente e complexo, como é a introdução, disseminação e manutenção da leishmaniose visceral em meio urbano, necessita de abordagens analíticas que considerem métodos mais elaborados para captação da dinâmica das transformações ambientais que vem ocorrendo na região de Teresina.

A possibilidade de integração de informações ambientais e socioeconômicas permite que o indivíduo seja avaliado dentro desse contexto complexo onde incide a LV.^{155,156} Assim, a utilização da abordagem espacial seria apropriada para a compreensão do processo de disseminação da doença, possibilitando detectar potenciais fatores explicativos e prever a ocorrência de novos casos da doença no espaço, além disso, poderá contribuir com informações de importante relevância para ações de controle mais efetivos, cuja operacionalização pode resultar em uma maior eficiência no controle de possíveis novas epidemias.^{140,107,157}

Dessa forma, com métodos estatísticos para análise de dados espaciais, sistemas de informações geográficas e imagens de sensoriamento remoto, esta Tese pretende superar algumas das limitações de estudos anteriormente realizados e examinar o efeito de fatores socioeconômicos e ambientais na ocorrência da LV em Teresina, Piauí. Além disso, seria oportuno explorar o potencial dessas técnicas de abordagem espacial na identificação e caracterização dos cenários periurbanos e urbanos, para onde a LV vem se expandindo.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo geral

Detectar áreas sob alto risco de LV e descrever os padrões de ocorrência e difusão da doença, entre os anos de 1993 a 1996 e 2001 a 2006, no município de Teresina.

5.2 Objetivos específicos

1. Identificar os fatores socioeconômicos e demográficos relacionados com a persistência e difusão da LV;
2. Descrever o padrão de distribuição espacial da LV nos setores censitários urbanos de Teresina;
3. Identificar características urbanísticas relevantes para o estudo da LV, a partir do sensoriamento remoto;
4. Delimitar áreas de mais alto risco para LV com base em informações socioeconômicas, demográficas e ambientais.

6 ETAPAS METODOLÓGICAS

Nesta seção, far-se-á primeiramente a apresentação de cada etapa metodológica utilizada nesta Tese. As etapas abrangem três propostas de artigos considerando dados para dois períodos distintos: 1993 a 1996 e 2001 a 2006.

Em seguida, far-se-á uma exposição de alguns procedimentos analíticos que concernem aos artigos propostos.

6.1 Apresentação das etapas metodológicas

No primeiro (Artigo 1), a análise dos dados para o período de 2001 a 2006 visa identificar setores censitários de alto risco para LV através do emprego de métodos espaciais para dados pontuais e dados de área. Além disso, visa ajudar na compreensão das relações entre alguns componentes da transmissão da doença no cenário urbano e de gerar informação potencialmente útil para a implementação de estratégias de controle mais eficientes.

No segundo (Artigo 2), a análise utilizou dados de ambos os períodos, em que as características da ocupação urbana foram identificadas a partir da classificação de imagens de sensoriamento remoto. Assim, os dados ambientais provenientes do sensoriamento remoto e os dados socioeconômicos oriundos dos Censos Demográficos foram utilizados para identificar, caracterizar e prever áreas sob maior risco de ocorrência de LV. Ressalta-se que os dados obtidos no primeiro período (1993-1996) foram utilizados como amostra de aprendizagem para construção dos modelos preditivos. Já os dados do período subsequente (2001-2006) foram utilizados como amostra de validação para checar a performance dos modelos.

No terceiro (Artigo 3), também foram utilizados os dados de ambos os períodos. Neste estudo avalia-se a aplicabilidade da estratégia de classificação orientada a objeto na busca de possíveis indicadores de cobertura do solo relacionados com a ocorrência da LV em meio urbano. Embora considere-se todas as dificuldades para compreender o espaço geográfico, a aplicação de metodologia de classificação orientada a objeto, nos traz novas perspectivas de análises geográficas para doenças e/ou agravos em saúde.

6.2 Métodos

6.2.1 Classificação das imagens de satélite

As imagens do sensor Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de agosto de 1990 e de junho de 2003 relativas a cidade de Teresina foram utilizadas nos artigos 2 e 3. A classificação dessas imagens foi realizada por meio do aplicativo *Definiens Developer 7.0*, compreendendo duas etapas básicas: segmentação multiresolução e classificação por algoritmos com lógica *fuzzy* e booleana. Esta abordagem utiliza combinações de informações espectrais, texturais e contextuais/topológicas.¹⁴⁸

Na segmentação são criados objetos em diferentes escalas, de acordo com critérios de forma, cor e homogeneidade, conectados entre si. Por meio de algoritmo implementado neste aplicativo, atributos de forma (compacidade e suavidade) e cor são utilizados para caracterizar os diferentes segmentos.¹⁵⁸ O parâmetro cor determina a homogeneidade espectral dos objetos, e o parâmetro forma determina a homogeneidade textural. Na subdivisão do parâmetro forma, a suavidade otimiza a geração de objetos com bordas suaves e por outro lado, a compacidade permite a geração de objetos compactos e com bordas regulares, ou seja, este atributo representa quão agrupado estão os pixels de um determinado objeto. Além disso, o tamanho dos objetos da segmentação é determinado pelo valor do fator de escala, de modo que este corresponda a uma Unidade Mínima de Mapeamento (*Minimal Mapping Unit - MMU*).

Na classificação, os objetos passam a se relacionar através da definição de uma rede hierárquica (herança dos atributos que descrevem a classe) e da rede semântica (estrutura lógica de relação entre as classes). Dessa forma, a classificação orientada a objetos se realiza mediante análise sobre segmentos da imagem (objetos) e não apenas sobre os pixels. Os objetos com características comuns são agrupados em classes temáticas e estas são organizadas em forma de rede hierárquica e semântica. Ressalta-se que a classificação de imagens orientada a objetos emprega informações espaciais em seu processamento e por isto tem se mostrado mais eficiente na aplicação em áreas urbanas.¹⁴⁶

Para classificar as imagens, o *Definiens Developer* possui alguns algoritmos, dentre eles o vizinho mais próximo (*nearest neighbor*), as funções *fuzzy* de pertinência (*fuzzy membership functions*) e as funções de lógica booleana (*threshold expressions*). O vizinho

mais próximo classifica os objetos da imagem com base na distribuição das amostras de treinamento das classes no espaço de atributos. Na lógica *fuzzy*, o grau de pertinência pode ser representado por diferentes curvas, que podem ser rígidas ou contínuas. Utilizando regras *fuzzy*, um objeto pode estar associado a várias classes temáticas com diferentes graus de pertinência. O grau de pertinência varia de 0 (não pertence) a 1 (pertence), e a classe considerada é aquela cujo grau de pertinência é maior.¹⁵⁹ Na lógica booleana, a expressão dos limiares define se uma característica é verdadeira ou não (1 ou 0).

6.2.2 Avaliação da classificação

A avaliação da acurácia da classificação foi realizada através de amostras coletadas sobre a área de estudo para cada classe analisada e comparadas com a verdade terrestre, auxiliada pelo uso do Google Earth.

Assim, foram calculadas as matrizes de confusão ou de erros, que mostram o percentual de objetos que foram mapeados de forma correta e errada para ambas as imagens. Uma matriz de erros é um arranjo quadrático de números dispostos em linhas e colunas que expressam o número de amostras associadas a uma determinada classe temática em relação ao número de amostras associadas a uma classe em um documento de referência.¹⁶⁰ Geralmente, as colunas representam o dado de referência, enquanto que as linhas indicam a classificação gerada a partir de dados de sensoriamento remoto.

A matriz de erros consiste em um método efetivo para conferir tanto os erros de inclusão (ocorre quando há uma inclusão de uma amostra dentro de uma categoria que ela não faz parte), quanto aos erros de exclusão (ocorre quando há uma exclusão de uma amostra de uma área da qual ela realmente faz parte) presentes em uma classificação. Deste modo, através da matriz de erros observa-se o quanto o classificador de imagens empregado confunde uma classe com outra. Estes erros de inclusão ou exclusão podem ser computados baseando-se nas medidas relacionadas à acurácia global, acurácia do produtor e acurácia do usuário.¹⁶⁰

A acurácia global do mapa é uma das medidas mais simples, sendo calculada pela soma do total dos pixels corretamente classificados dividida pelo número total de pixels da matriz de erros.

A acurácia do usuário refere-se aos erros de inclusão ou comissão.^{161,162,163} Os erros de inclusão são relativos a todos os pontos atribuídos a uma determinada classe temática oriundos de erros de classificação das outras classes. Portanto, a acurácia do usuário indica a probabilidade que uma categoria classificada na imagem representasse a mesma categoria na superfície terrestre. Ela é computada através da razão entre o número total de amostras corretas de uma classe, e o número total de amostras associadas à classe em questão. Já a acurácia do produtor leva em consideração os erros de exclusão ou omissão, onde não são atribuídos a determinada classe os erros de classificação das outras classes. Da mesma forma, a acurácia do produtor refere-se a probabilidade de determinada categoria ter sido corretamente classificada de acordo com os pontos de referência. Ela é calculada através da razão entre o número total de amostras corretas (em concordância com a classificação e a referência) de uma classe, e o número total de amostras desta classe na referência.^{164,165}

Os valores *Hellden* e *Short* são usados para compensar a diferença de interesse entre os valores do usuário e do produtor, assim, quando pelo menos um dos dois (usuário e produtor) é baixo tornam-se pequenos. O coeficiente *Hellden* representa uma visão otimista da interação entre os valores do usuário e do produtor enquanto o coeficiente *Short* considera uma visão pessimista.^{166,167}

Outra forma de verificar a acurácia de uma classificação com base em uma matriz de erros é através do coeficiente *Kappa*. Ao contrário da acurácia global, a qual assume que o documento de referência é totalmente verdadeiro, o método utilizado para o cálculo do coeficiente *Kappa* considera que, tanto o produto gerado, como o documento de referência, possuem o mesmo grau de verdade.^{168,169}

O coeficiente *Kappa* foi utilizado para quantificar a acurácia das classificações utilizando amostras teste que foram coletadas das imagens originais do sensor. Este coeficiente mensura o grau de concordância corrigida pela concordância esperada pelo acaso.¹⁷⁰ Os valores de *Kappa* variam de -1 a +1, onde o valor 1 representa total concordância e os valores próximos de 0 indicam concordância equivalente a esperada pelo acaso.¹⁴² Utilizou-se para a interpretação dos valores de *kappa*, os critérios de Landis & Koch: concordância pobre (abaixo de 0); discreta (0-0,20); razoável (0,21-0,40); moderada (0,41-0,60); substancial (0,61-0,80) e quase perfeita (0,81-1,00).¹⁷¹

Ressalta-se que o coeficiente *Kappa* foi utilizado para avaliar a acurácia temática por ser mais sensível as variações de erros de omissão e inclusão.¹⁷² Sua grande vantagem é que para o seu cálculo não se incluem somente os elementos da diagonal principal e sim todos os elementos da matriz de erro.¹⁷³

6.2.3 Árvore de Classificação e Regressão (CART)

A Árvore de Classificação e Regressão (*Classification and Regression Trees - CART*) é um método estatístico-computacional que seleciona dentre um conjunto de variáveis aquelas com maior poder de discriminação em relação ao desfecho. Este método foi utilizado no artigo 2.

O CART produz uma “árvore” por meio de sucessivas divisões binárias no conjunto de dados, de forma a tornar os subconjuntos cada vez mais homogêneos em relação à probabilidade de ocorrência do desfecho.^{174,175} Logo, a árvore é composta por um único nó raiz, formado a partir de todos os dados e por um conjunto hierárquico de nós internos denominados partições ou "*Split*". Estes são responsáveis pela tomada de decisão que define o próximo nó descendente e por nós terminais chamados de folhas ou "*leaves*", caracterizados por não possuírem nó descendente.

O CART gera uma árvore de tamanho muito grande que apresenta um número mínimo de erros de classificação, mas trata-se de um modelo excessivamente ajustado aos dados com capacidade limitada de generalização. Assim, para ser útil, a árvore precisa ser reduzida de tamanho (“podada”).

7 RESULTADOS

7.1 Artigo 1. Identification of risk areas for visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil¹

Abstract

This study used spatial analysis to identify areas at greatest risk of visceral leishmaniasis (VL) in the urban area of Teresina, Brazil from 2001 to 2006. The results from kernel ratios showed that peripheral census tracts were the most heavily affected. Local spatial analysis showed that in the beginning of the study period local clusters of high incidence of VL were mostly located in the South and Northeast parts of the city, but in the following years those clusters appeared also in the North region of the city, suggesting that the pattern of VL occurrence is not static and disease may occasionally spread out to other areas of the municipality. We also observed the existence of spatial correlation between VL rates and all the indicators evaluated ($p < 0.01$). The concentration of interventions in high-risk areas could be an effective strategy to control the disease in the urban setting.

Keywords: Leishmaniasis. Epidemiology. Surveillance. Public Health. Geographic Information Systems (GIS)

INTRODUCTION

The urbanization process has raised new challenges for endemic disease control programs, particularly in the case of visceral leishmaniasis (VL). Urbanization of VL is a relatively recent phenomenon in Brazil, so there are few studies on the pattern of occurrence of this disease in cities.¹⁻⁶

Accelerated urbanization in various regions of Brazil has been paralleled by other factors like climate and environmental changes, precarious housing and sanitation, and adaptability of the vector *Lutzomyia longipalpis* to environments altered by humans, thus

¹ Artigo publicado no periódico *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2011 84: 681-687; doi:10.4269/ajtmh.2011.10-0325).

creating favorable conditions for the emergence and persistence of VL in urban areas in the country.⁷

In the early 1980s, the first major urban VL epidemic in Brazil was reported in the municipality of Teresina, Piauí State.⁸ Intense population growth and migration were implicated in this phenomenon.⁹ Rapid and disorganized occupation of the city's periphery exposed the population to extensive areas covered with tropical forests and dense vegetation, probable places for the wild reproduction of the parasite responsible for the disease, the protozoan *Leishmania chagasi*. This accelerated and disorganized urbanization also resulted in poor living and housing conditions, which may also have contributed to the emergence of the disease in the urban environment, since the vector *Lu. longipalpis* adapts easily to peridomestic conditions in impoverished areas.^{10,11}

Dogs, considered the protozoan's domestic reservoir, serve as the immediate source of infection for humans. Stray dogs wandering around the city's outskirts can enter into direct contact with wild reservoirs and rapidly acquire the infection. When they reenter the city, these animals serve as amplifiers of the infection to other dogs and humans. Foxes, potential wild reservoirs for the parasite, were observed increasingly on the periphery of Teresina, scavenging in uncollected garbage in search of food.³

In this context, the presence of a large number of susceptibles, infected reservoirs, and abundant vectors provide the basic conditions for the occurrence of autochthonous VL cases in the city of Teresina.^{12,13}

The disease control strategy recommended by the Ministry of Health's Visceral Leishmaniasis Control Program is based on reducing in degree of morbidity and case-fatality rates through early diagnosis and treatment of cases and decreasing the transmission risk by controlling the population of domestic reservoirs and the vector.¹⁴

However, some operational problems contribute to the insufficient effectiveness of control strategies aimed at reservoirs, for example: the excessively long time between diagnosis and elimination of the infected dog; insufficient accuracy of the diagnostic tests commonly used to detect infected dogs, leading to the persistence of asymptomatic animals (which are also infective for vectors) in the environment; rapid replenishment of culled dogs by a new canine population subject to acquiring the infection; and high canine infection and infectiveness rates.¹⁵⁻¹⁷ In relation to vector control, operational difficulties and the high cost related to sustained large-scale intra- and peridomestic insecticide spraying, associated with limited knowledge on sandfly ecology and biology in urban areas and the need for a

comprehensive entomological surveillance system providing qualitative and quantitative data on the vector are other factors that facilitate maintenance of transmission.^{11,18,19}

From this perspective, the identification of high-risk areas for VL can be a useful strategy to increase the effectiveness of these control measures and optimize operational costs in the urban context. The current study thus aimed to identify the areas at greatest risk of visceral leishmaniasis in the urban area of Teresina, Piauí State, Brazil, from 2001 to 2006.

MATERIAL AND METHODS

Study area

Teresina, the capital of Piauí State, occupies an area of 1,756 km², with 779,939 thousand inhabitants, giving it a population density of 444.16 inhabitants/ km², according to the 2007 population count by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). The city is located between the Parnaíba and Poti Rivers, at 5°05' South latitude and 42°48' West longitude. The climate is tropical, with a mean annual temperature of 27°C and annual rainfall of 1,300 mm. The highest temperatures begin in August and last until December, while the rainy season ranges from January to April. The city's periphery has areas of pasture and tropical forest, but the predominant vegetation consists of sparse trees and bushes. According to the IBGE, the city has 654 census tracts and five geographic regions or subdivisions (Figure 1).

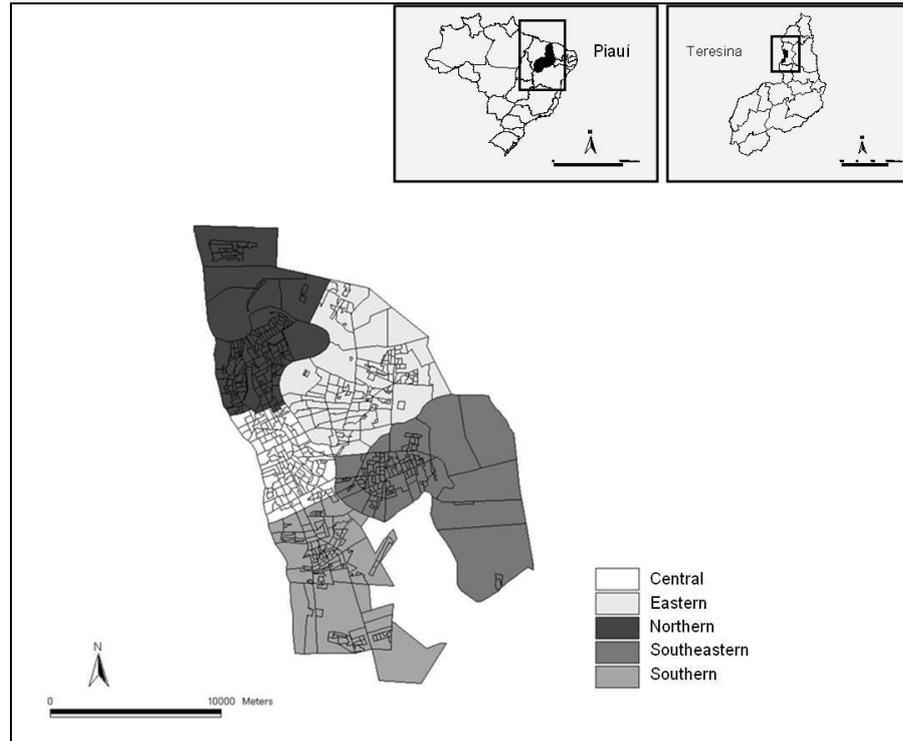


Figure 1. Census tracts and regions of Teresina, Piauí State, Brazil

According to data from the 2000 census²⁰, some 90% of the permanent private households in Teresina have running water, while only 13% are connected to the sewage system and 86% have regular garbage collection. In addition, 66% of the heads-of-households earn less than three times the minimum wage and 17% have no schooling.

Study design

This was an ecological study in which the units of analysis were urban census tracts in Teresina. Of the 654 census tracts, one, located in the Southern region of the city, was excluded due to lack of data on its population.

Data and variables

Cases considered for the study were those available on the Brazilian Reportable Diseases Information System (SINAN) and that occurred in the urban area of Teresina from 2001 to 2006. Since there are no other important centers for treatment of VL cases near Teresina, and since VL is a serious disease in which diagnosed cases must be reported before health services release the specific medication, which is only supplied by the Municipal Health Department, underreporting is believed to be relatively low.

Six hundred and seventy VL cases, or 88.6% of the 756 cases reported to SINAN from 2001 to 2006, were georeferenced to the household level using a global positioning system (GPS), Universal Transverse Mercator (UTM) system. Georeferencing coverage varied from 82.1% (2006) to 93.7% (2001).

The annual population estimates for each census tract were obtained by interpolation using a geometric growth equation with an annual component, using population data from the 2000 Demographic Census and the 2007 Population Count.²¹

First, the annual incidence rates for each census tract were calculated, dividing the number of VL cases in each year by the estimated mid-year population for the corresponding year. The mean annual VL incidence rate was calculated by dividing the total number of new cases reported from 2001 to 2006 by the sum of the estimated populations for each of the years in the study period.²²

Seeking to minimize the problem of instability in the incidence rates calculated for small areas, we opted to correct them using an empirical Bayesian approach.²³⁻²⁴ Empirical Bayesian procedures yield more reliable estimates, because they use information from other areas to estimate the rates in a given region.²⁵ This study used the local empirical Bayesian procedure, which includes the effects of spatial proximity, using information from areas bordering on the geographic area for which one wishes to estimate the incidence rate. In general this procedure produces a set of incidence rates which, when presented on a thematic map, yield a less heterogeneous visual appearance than produced by uncorrected incidence rates. Therefore, this pattern is usually referred to as “smoothed”.

The indicators used in the analysis were constructed with data from the 2000 Demographic Census, available on the IBGE website.²⁰ These indicators were developed to reflect some key characteristics of the urban infrastructure and population in the census tracts in the study period, namely: 1) illiteracy rate; 2) under-five children as a percentage of the total population; 3) mean income of heads-of-households; 4) percentage of permanent private households connected to the water supply; 5) percentage of households with regular garbage collection; and 6) percentage of permanent private households connected to the sewage system.

The digital database for the urban census tract grid for 2000 was obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE).

Spatial Statistical Analysis

To describe the spatial correlation between the smoothed VL rate and socioeconomic and demographic indicators, the bivariate global Moran's I statistic was used, which tests whether geographically connected areas display greater similarity in terms of the target indicator than would be expected considering a random pattern. The I statistic can take values ranging from -1 to +1, and is positive for direct correlation and negative when inverse. The main idea is to evaluate whether values for a given variable in a region bear a relationship to values for another variable in neighboring regions.^{26,27}

Thus the bivariate global Moran I statistic (y and x) is expressed by the following equation:

$$I^{yx} = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j (x_i - \bar{x}) w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Where: n represents the number of observations; w represents the matrix of spatial weights in which the elements; w_{ij} indicate the way by which region i is spatially connected to region j and the elements of its main diagonal are equal to zero; x_i , y_j target variables; \bar{x} , \bar{y} means of target variables.

The W neighborhood matrix, defined by contiguity, was the Queen matrix, which defines two regions as neighboring when they present common borders, in addition to common nodes (vertices).

Thematic maps were used to visualize the spatial distribution of VL incidence. In order for the maps of incidence rates ("crude rates") and local empirical Bayesian incidence rates ("smoothed rates") to be compared to each other, it was necessary to guarantee that the incidence range corresponding to a given class was the same in all the maps. Thus, the crude and smoothed incidence rates were discretized in six intervals, contemplating the wide range in these rates.

Areas with greater risk of VL were detected through the kernel ratio, a smoothed estimate of the risk surface, which is calculated by the ratio between the kernel (intensity) of cases in relation to the kernel of the population distribution, obtained thusly:

$$\hat{\rho}_{\tau}(s) = \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{(s-s_i)}{\tau}\right)}{\sum_{j=1}^m K\left(\frac{(s-s_j)}{\tau}\right) y_j}$$

Where: $K(\cdot)$ - kernel weighting function; τ - bandwidth; S - center of the area to be estimated; S_i - location of points (cases); S_j - location of points (population centroid by area unit); n - total number of points (events); m - total number of points (population); y_j - population count for area j ; $\hat{\rho}_{\tau}(s)$ - intensity estimator.

Kernel density is an appropriate interpolation technique for individual point positions, based on a mathematical function that creates a symmetrical surface on each point, evaluating the distance from the point to a reference position, later adding up the values of all the surfaces for this reference position.^{28,29}

Besides estimating the intensity of occurrence of VL cases in the entire surface analyzed, this non-parametric approach allows filtering a dataset's variability, while maintaining its principal local characteristics.

The smoothing function used here was the quartic kernel, which assigns greater weight to closer events and less weight to more distant ones, but with a gradual decrease. The degree of smoothing is controlled by the choice of a parameter known as bandwidth, which is defined so as to reflect the geographic scale of the target hypothesis. The parameter influences the degree of smoothness on the estimated risk surface – the higher the τ value, the greater the smoothing. In this study we opted to use the adaptive radius, which varies according to the density of points and the total extension of the area analyzed.

In order to determine the pattern of local clustering beyond the large-scale spatial variation in the incidence rates of VL, we used the local indicator of spatial autocorrelation (LISA).^{26,28} LISA maps are used to identify five patterns: census tracts showing no statistically significant spatial autocorrelation (“not significant”); clusters of census tracts with low incidence of VL (*Low-Low*); clusters of census tracts with high incidence of VL (*High-High*); and two other showing a pattern of inverse spatial autocorrelation (*High-Low* and *Low-High*). The *High-High* pattern indicates hot-spots of high incidence of disease.^{26,28}

The software used to calculate crude and Bayesian incidence rates, implement the kernel ratio, and construct the maps was TerraView 3.2.0. The bivariate Moran's *I* statistic and the local indicator of spatial autocorrelation (LISA) were calculated using the GeoDa 0.9.5-i application.

RESULTS

Table 1 shows the bivariate global Moran's *I* index for the period from 2001 to 2006. We observed the existence of spatial correlation between the smoothed VL incidence rate and all the indicators evaluated ($p < 0.01$).

Positive spatial correlation was observed for illiteracy rate and under-five children as a proportion of the population, indicating that the higher the incidence in the census tract, the greater the proportion of illiterates and children under five in neighboring tracts. The mean income indicator showed an inverse spatial correlation, indicating that the higher the incidence in the census tracts, the lower the mean income in neighboring tracts. All the household-related indicators showed inverse spatial correlation, i.e., the higher the incidence rates in the census tracts, the worse the basic infrastructure conditions in neighboring tracts.

Table 1. Bivariate global Moran's *I* statistic between smoothed visceral leishmaniasis incidence and socioeconomic and demographic indicators. Teresina, Piauí State, Brazil, 2001-2006

Variables	Moran's <i>I</i>
Illiteracy rate	0.3427*
Under-five children as % of population	0.5054*
Mean income of heads-of-households	-0.2222*
% of permanent private households connected to water supply	-0.4138*
% of households with regular garbage collection	-0.2091*
% of permanent private households connected to sewage system	-0.4247*

* $p < 0.01$

The maps shown in Figure 2 confirm the presence of higher rates in the peripheral census tracts, located in areas of expansion of the city, and lower risk areas in the city's central area. As expected, when smoothing was applied to the VL incidence rates in Teresina, there was a major reduction in the extreme values (Figure 2).

Figure 3 shows the local Bayesian VL rates by census tracts from 2001 to 2006. A visual grasp of the thematic maps shows that the tracts with the highest incidence rates were located in the Northern, Eastern, and Southern regions of the city, which also include the census tracts with the lowest percentage of households with running water, garbage collection (except for the Southern region), and sewage connections, the highest illiteracy rate, and the lowest mean income (Figure 4). As for the proportion of under-five children in the population, fewer than 25% of the population belonged to this age bracket in all the tracts, but the highest percentages were observed in the peripheral tracts, with the highest incidence rates (Figure 4).

The map for 2001 shows higher rates in the Northern and Southern regions, especially in the more peripheral census tracts, and in some tracts in the Central and Eastern regions. The map for 2002 shows that other tracts located in the eastern, Southern, and Southeastern regions were also more heavily affected. In 2003 there was an increase in incidence involving peripheral tracts to the North, East, and South. However, in 2004 some tracts on the Northern, Eastern, and Southern periphery showed slight drops in their incidence rates, while some tracts in the Southern and Central regions were affected for the first time. This situation persisted into the year 2005, except in the Southeastern region. In 2006, various peripheral tracts close to the expansion areas in the eastern region and in the Southern and Northern regions of the city showed higher incidence rates (Figure 3).

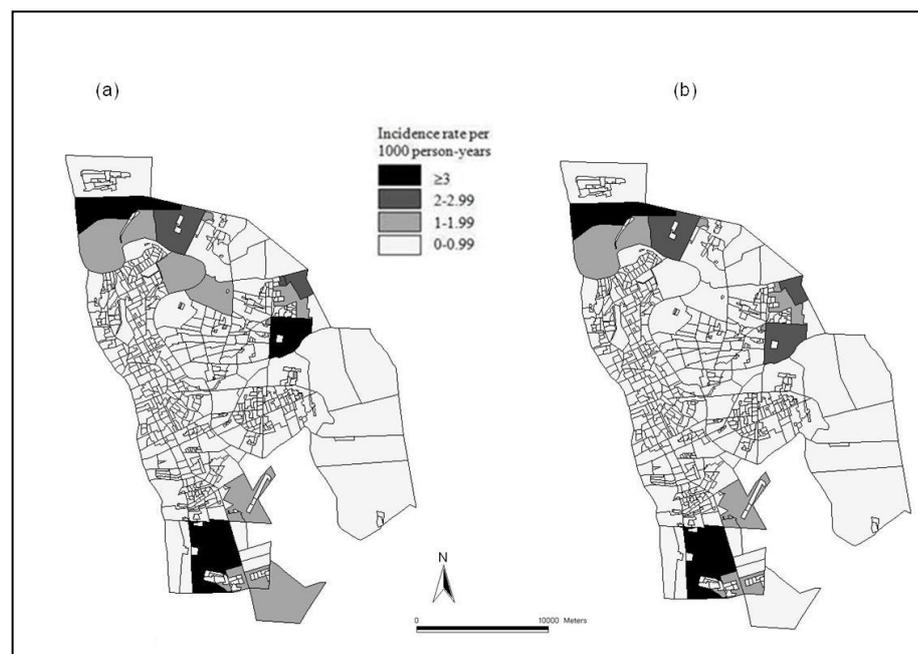


Figure 2. Crude incidence rate (a) and local empirical Bayesian rate (b) for visceral leishmaniasis according to census tracts, 2001-2006. Teresina, Piauí State, Brazil

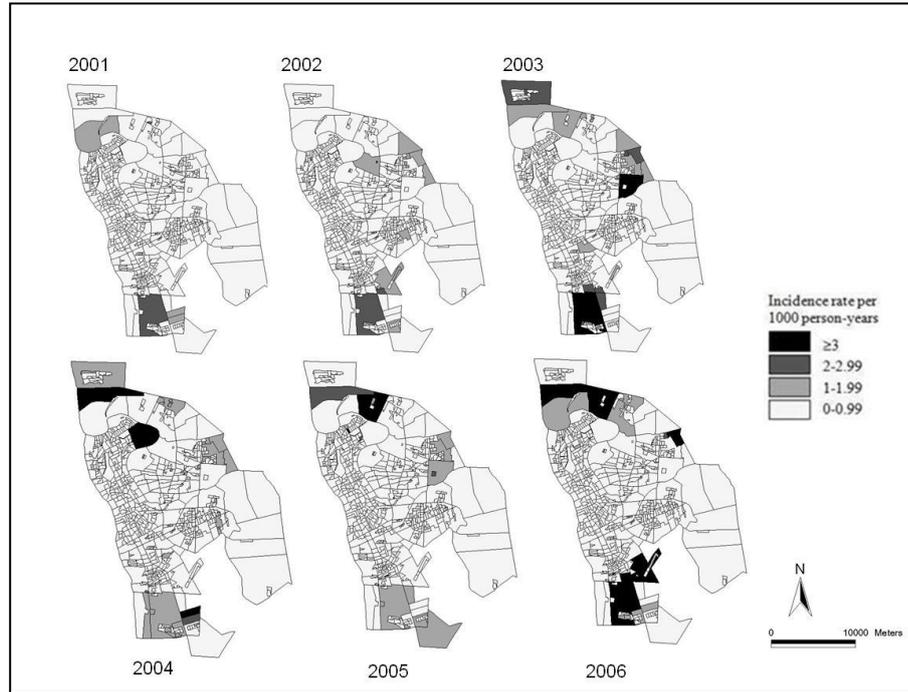


Figure 3. Annual local empirical Bayesian rate for visceral leishmaniasis according to census tracts. Teresina, Piauí State, Brazil, 2001-2006

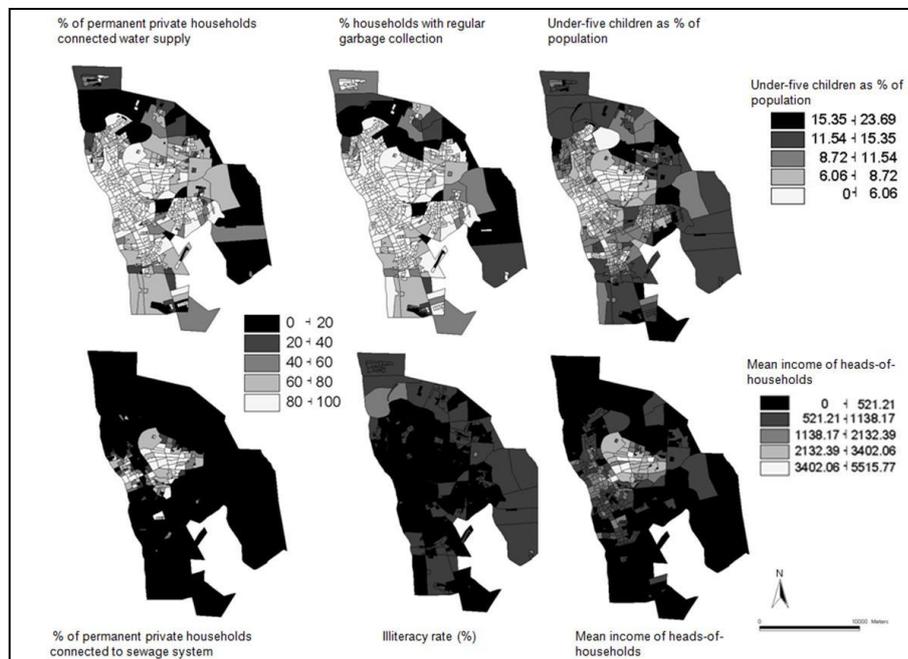


Figure 4. Distribution of socioeconomic and demographic factors in census tracts. Teresina, Piauí State, Brazil, 2001-2006

Figure 5 shows the regions with the highest VL risk, estimated by the kernel ratio, for the years 2001 to 2006. The intensity of gray levels is directly related to the intensity of VL occurrence in the study area, so the darker the area, the greater the risk of VL.

Initially, one observes that the census tracts located in the Southern region of the city generally present medium occurrence of VL in nearly every year studied, with the greatest intensities in the year 2003. The year 2001 (Figure 5) showed low-risk VL foci in peripheral census tracts in the North, East, South, and Southeast. The following year (2002) showed a similar VL spatial distribution to the previous year, but with a slight increase in VL intensity in the Eastern and Southern census tracts, which displayed medium risk. Meanwhile, 2003 and 2004 showed a sharp increase in VL intensity in all the regions of the city, but with a high-risk focus in the Southern region, evident in 2003. In 2005 the risk declined in the urban area as a whole, but with medium-risk VL foci in the Southern and Southeastern regions. In 2006 there was also an important reduction in VL intensity in the urban area as a whole, but with new medium-risk foci in the Northern and Southern regions.

In short, the results obtained from the kernel ratio indicated that the peripheral census tracts located in the Northern, Eastern, and Southern regions of the city showed higher risks of visceral leishmaniasis in every year analyzed, although in 2001 and 2005 the risk was relatively lower (Figure 5).

Figure 6 shows the maps of the local indicator of spatial autocorrelation (LISA maps). Those LISA maps show that during the whole period of the study most of the central areas of the city concentrates census tracts showing no significant spatial autocorrelation or a pattern of clustering of low incidence rates (*Low-Low*). In the years of 2001 and 2002, local clusters of high incidence of VL (*High-High*) were mostly located in the South and Northeast parts of the city, but in the next three years those clusters spread also to the North region of the city.

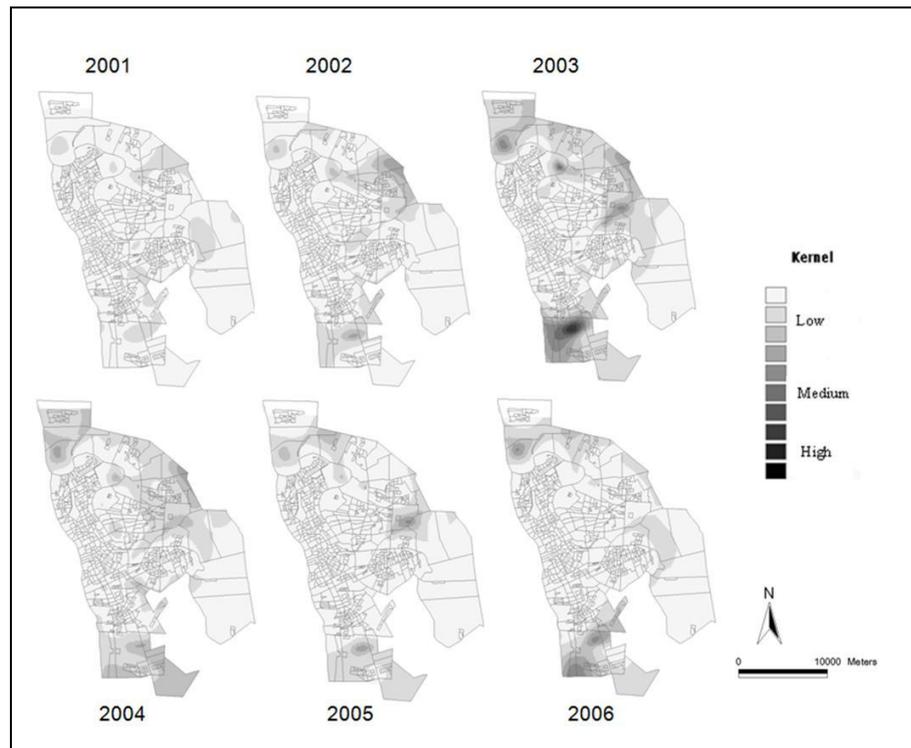


Figure 5. Kernel ratio for visceral leishmaniasis by year in the census tracts of Teresina, Piauí State, Brazil, 2001-2006

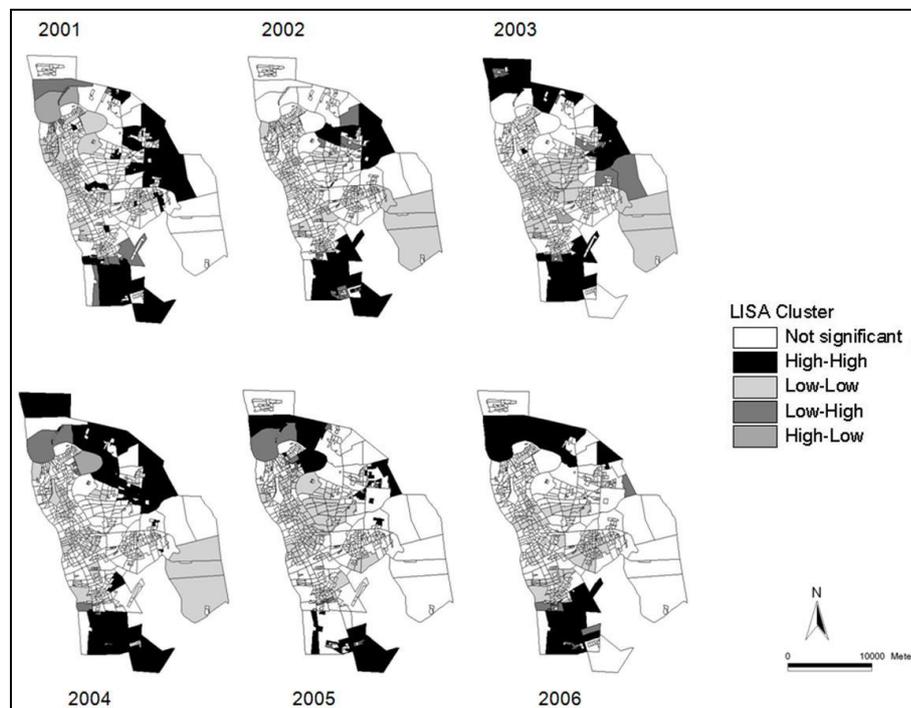


Figure 6. Maps of the local indicator of spatial autocorrelation (LISA cluster maps) of the annual local empirical Bayesian rate for visceral leishmaniasis according to census tracts. Teresina, Piauí State, Brazil, 2001-2006

DISCUSSION

This study showed that visceral leishmaniasis incidence rates and socioeconomic and demographic indicators are spatially correlated, indicating that the disease foci are associated with precarious living conditions. Thus, although the study design did not allow establishing causal nexuses, it is plausible to suppose that the introduction, maintenance, and spread of VL in the city of Teresina are linked to the environmental conditions typically found in poorer areas with less urban infrastructure, including worse sanitation.^{30,31} Such conditions favor not only the proliferation of VL vectors^{10,11} and infected reservoirs, but also the presence of a large number of susceptibles, in particular poor-probably malnourished-young individuals, thereby forming the basis for cases of the disease to occur.^{12,13}

The results obtained from smoothed VL incidence rates and kernel ratios showed that the peripheral census tracts located in the Northern, Eastern, and Southern regions of the city were the most heavily affected. A more detailed analysis using a local indicator of spatial autocorrelation showed that in the beginning of the study period local clusters of high incidence of VL were mostly located in the South and Northeast parts of the city, but in the following years those clusters appeared also in the North region of the city. These results suggest that the ideal conditions for the establishment and maintenance of transmission are found in these places and that the pattern of VL occurrence is not static and disease may occasionally spread out to other areas of the municipality.

An operational spinoff of this study is the indication that the use of the kernel ratio to detect areas at highest risk of occurrence of VL cases may be useful for assisting LV surveillance and control measures. The identification of focal areas at greatest risk can help define priority areas for specific interventions.^{30,32} As already shown in relation to transmissible diseases with heterogeneous spatial distribution, targeted interventions tend to be the most effective.^{33,34}

Two methodological procedures used in this study helped minimize some problems related to the use of aggregate secondary data areas demarcated for political and administrative purposes. For example, the use of the local Bayesian method allowed correcting occasional underreporting of cases in small areas. By means of this procedure, these areas had their rates “corrected” by the information from neighboring areas. Use of the kernel ratio also proved adequate for differentiating risk areas independently of the political and administrative boundaries, which can be useful for defining areas or neighborhoods in which the interventions should be targeted.

Some limitations of this study should also be highlighted. First, despite the relatively high coverage of geocoding of VL cases, it is likely to have been worse in peripheral areas of the city. Likewise, there were variations in coverage over the years. Both situations may have caused distortions in the estimates, possibly leading to either spurious identification of high-risk areas or non-identification of specific foci. Second, even assuming that most of the infections occur in and around households, georeferencing at the household level may not be a good indicator of risk for all the transmission situations, since one cannot rule out that certain infections occurred far from the home. Third, although from the public health perspective the control of symptomatic cases is a priority, the non-utilization of markers for infection prevents the demarcation of transmission foci, since many more infections occur than cases of the disease,³⁵⁻³⁸ and the evolution from asymptomatic infected status to symptomatic is mediated by genetic and nutritional factors.^{39,41} Finally, as mentioned previously, this study is based on secondary data available in the Reportable Diseases Information System (SINAN). Thus, although VL is a serious disease subject to mandatory reporting (and the treatment of which is only provided by government health services), the available data are based on passive case detection, and one cannot rule out the possibility of case underreporting.

At any rate, despite these limitations, the study showed that using a combination of techniques for spatial analysis of point patterns and area data, it was possible to identify areas at greatest risk of visceral leishmaniasis in the city of Teresina. One can thereby infer that occurrence of the disease in the urban census tracts of Teresina is a focal process, which corresponds to the sandfly's limited flight autonomy. Thus, the concentration of interventions in high-risk areas could be an effective strategy to control the disease in the urban setting, reducing not only the operational costs but also contributing to the sustainability of control programs.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Mr. Fernando Oliveira Silva and Mr. Francisco Cardoso Chaves for assistance in data collection and geoprocessing of visceral leishmaniasis cases.

FINANCIAL SUPPORT

GLW was partially supported by the Brazilian Research Council (CNPq grants #403479/2008-8, #308889/2007-0, #410590/2006-1, #503649/2005-8). During the

development of this work ASA received a DSc scholarship from the Foudation for Research Support of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ #E-26/100.266/2007).

AUTHORS' ADDRESSES

Andréa Sobral de Almeida and Guilherme Loureiro Werneck, Departamento de Epidemiologia, Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rua São Francisco Xavier, 524, pavilhão João Lyra Filho, 7º andar, blocos D e E, Maracanã, 20550-900, Rio de Janeiro, Brazil. Email: asasobral@gmail.com and gwerneck@nesc.ufrj.br. Roberto de Andrade Medronho, Departamento de Medicina Preventiva, Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Praça Jorge Machado Moreira, Próximo a Prefeitura Universitária da UFRJ, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, 21944-970, Rio de Janeiro, Brazil. Email: medronho@iesc.ufrj.br.

REFERENCES

1. Mendes WS, Silva AAM, Trovão JR, Silva AR, Costa JMLL, 2000. Expansão especial da leishmaniose visceral americana em São Luis, Maranhão, Brasil. *Rev Soc Bras Med Trop* 35: 227-31.
2. Werneck GL, Rodrigues Jr L, Santos MV, Araújo IB, Moura LS, Lima SS, Gomes RB, Maguire JH, Costa CH, 2002. The burden of *Leishmania chagasi* infection during an urban outbreak of visceral leishmaniasis in Brazil. *Acta Trop* 83: 13-8.
3. Werneck GL, Costa CHN, 2005. Utilização de dados censitários em substituição a informações socioeconômicas obtidas no nível individual: uma avaliação empírica. *Epidemiol Serv Saúde* 14:143-50.
4. Oliveira ALL, Paniago AMM, Dorval MEC, Oshiro ET, Leal CR, Sanches M, Cunha RV, Bóia MN, 2006. Foco emergente de leishmaniose visceral em Mato Grosso do Sul. *Rev Soc Bras Med Trop* 39: 446-450.
5. Dantas-Torres F, Brandão-Filho SP, 2006. Expansão geográfica da leishmaniose visceral no Estado de Pernambuco. *Rev Soc Bras Med Trop* 39: 352-6.
6. Costa CHN, 2008. Characterization and speculations on the urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad Saúde Pública* 24: 2959-63.

7. Gontijo CMF, Melo MN, 2004. Leishmaniose visceral no Brasil: quadro atual, desafios e perspectivas. *Rev bras Epidemiol* 7: 338-49.
8. Costa CHN, Pereira HF, Araújo MV, 1990. Epidemia de Leishmaniose Visceral no estado do Piauí, Brasil, 1980-1986. *Rev Saude Publica* 24: 361-72.
9. Prefeitura de Teresina, 1993. *Teresina: aspectos e características*. Teresina: Brasil.
10. Spielman A, James AA, 1990. Transmission of Vector-Borne Disease. Warren KS, Mahmoud AAF, eds. *Tropical and Geographical Medicine*. Second edition. New York: McGraw-Hill, 146-159.
11. Rangel EF, Municipal Vilela ML, 2008. *Lutzomyia longipalpis* (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad Saúde Pública* 24: 2948-52.
12. Werneck GL, 2008. Forum: geographic spread and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Introduction. *Cad Saúde Pública* 24: 2937-40.
13. Nascimento ELT, Martins DR, Monteiro GR, Barbosa JD, Ximenes MFFM, Maciel BL, Duarte I, Jerônimo SMB, 2008. Forum: geographic spread and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Postscript: new challenges in the epidemiology of *Leishmania chagasi* infection. *Cad Saúde Pública* 24: 2964-67.
14. Ministério da Saúde do Brasil, 2005. *Guia de Vigilância Epidemiológica*. 6ª edição, Série A, Brasília, DF: Secretaria de Vigilância em Saúde.
15. Tesh RB, 1995. Control of zoonotic visceral leishmaniasis: is it time to change strategies? *Am J Trop Med Hyg* 52: 287-92.
16. Costa CHN, Vieira JBF, 2001. Mudanças no controle da leishmaniose visceral no Brasil. *Rev Soc Bras Med Trop* 34: 223-28.
17. Courtenay O, Quinnell RJ, Garcez LM, Shaw JJ, Dye C, 2002. Infectiousness in a cohort of brazilian dogs: why culling fails to control visceral leishmaniasis in areas of high transmission. *J Infect Dis* 186: 1314-20.
18. Desjeux P, 2004. Leishmaniasis: current situation and new perspectives. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 27: 305-18.
19. Maia-Elkhoury ANS, Alves WA, Sousa-Gomes ML, Sena JM, Luna EA, 2008. Visceral leishmaniasis in Brazil: trends and challenges. *Cad Saúde Pública* 24: 2941-47.
20. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001. *Tendências demográficas: uma análise dos resultados da sinopse preliminar do censo demográfico 2000*. Available at: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/tendencia_demografica/analise_resultados/sinopse_censo2000.pdf. Accessed Jun 4, 2010.
21. Shryock HS, Siegel JS, 1976. *The Methods and Materials of Demography*. San Diego, CA: Academic Press.

22. Kleinbaum DG, Kupper LL, Morgenstern H, 1982. *Epidemiologic Research: Principles and Quantitative Methods*. New York: Van Nostrand Reinhold.
23. Bernardelli L, Montomolli C, 1992. Empirical bayes versus fully bayesian analysis of geographical variation in disease risk. *Stat Med* 11: 983-1007.
24. Assunção RM, Barreto S, Guerra LH, Sakurai E, 1998. Mapas de taxas epidemiológicas: uma abordagem bayesiana. *Cad Saúde Pública* 14: 713-23.
25. Marshall R, 1991. Mapping disease and mortality rates using Empirical Bayes estimators. *Applied Statistics* 40: 283-94.
26. Anselin L, 1998. Interactive techniques and exploratory spatial data analysis. Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Wind DW, eds. *Geographical information system: principles, techniques, management and applications*. New York: Wiley, 253-365.
27. Anselin L, Syabri I, Smirnov O, 2003. *Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked Windows*. University of Illinois.
28. Bailey TC, Gatrell AC, 1995. *Interactive spatial data analysis*. Essex: Longman Scientific & Technical.
29. Gatrell AC, Bailey TC, Diggle PJ, Rowlingson BS, 1996. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans Inst Br Geogr* 21: 256-74.
30. Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH, 2007. Multilevel modelling of the incidence of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Epidemiol Infect* 135:195-201.
31. Cerbino Neto J, Werneck GL, Costa CHN, 2009. Factors associated with the incidence of urban visceral leishmaniasis: an ecological study in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública* 25: 1543-51.
32. Werneck GL, Costa CH, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH, 2002. The urban spread of visceral leishmaniasis: clues from spatial analysis. *Epidemiology* 13: 364-7.
33. Woolhouse ME, Dye C, Etard JF, Smith T, Charlwood JD, Garnett GP, Hagan P, Hii JL, Ndhlovu PD, Quinnell RJ, Watts CH, Chandiwana SK, Anderson RM, 1997. Heterogeneities in the transmission of infectious agents: implications for the design of control programs. *Proc Natl Acad Sci* 94: 338-42.
34. Koopman JS, Simon CP, Riolo CP, 2005. When to control endemic infections by focusing on high-risk groups. *Epidemiology* 16: 621-7.
35. Badaró R, Jones TC, Carvalho EM, Sampaio D, Reed SG, Barral A Teixeira R, Johnson WD Jr, 1986. New perspectives on a subclinical form of visceral leishmaniasis. *J Infect Dis*. 1986; 154: 1003-11.
36. Evans TG, Teixeira MJ, McAuliffe IT, Vasconcelos I, Vasconcelos AW, Sousa Ade A, Lima JW, Pearson RD, 1992. Epidemiology of visceral leishmaniasis in northeast Brazil. *J Infect Dis* 166: 1124-32.

37. Jerônimo SM, Oliveira RM, Mckay S, Costa RM, Sweet J, Nascimento ET, Luz KG, Fernandes MZ, Jernigan J, Pearson RD, 1994. An urban outbreak of visceral leishmaniasis in Natal, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 88: 386-8.
38. Costa CH, Stewart JM, Gomes RB, Garcez LM, Ramos PK, Bozza M, Satoskar A, Dissanayake S, Santos RS, Silva MR, Shaw JJ, David JR, Maguire JH, 2002. Asymptomatic human carriers of *Leishmania chagasi*. *Am J Trop Med Hyg* 66: 334–7.
39. Karplus TM, Jeronimo SM, Chang H, Helms BK, Burns TL, Murray JC, Mitchell AA, Pugh EW, Braz RF, Bezerra FL, Wilson ME, 2002. Association between the tumor necrosis factor locus and the clinical outcome of *Leishmania chagasi* infection. *Infect Immun* 70: 6919-25.
40. Alonso DP, Ferreira AF, Ribolla PE, de Miranda Santos IK, do Socorro Pires e Cruz M, Aécio de Carvalho F, Abatepaulo AR, Lamounier Costa D, Werneck GL, Farias TJ, Soares MJ, Costa CH, 2007. Genotypes of the mannan-binding lectin gene and susceptibility to visceral leishmaniasis and clinical complications. *J Infect Dis* 195: 1212-7.
41. Maciel BL, Lacerda HG, Queiroz JW, Galvão J, Pontes NN, Dimenstein R, McGowan SE, Pedrosa LF, Jerônimo SM, 2008. Association of nutritional status with the response to infection with *Leishmania chagasi*. *Am J Trop Med Hyg* 79: 591-8.

7.2 Artigo 2 - Caracterização e predição de territórios de alto risco para ocorrência de leishmaniose visceral com base em indicadores socioeconômicos e dados ambientais obtidos por sensoriamento remoto

RESUMO

Este estudo tem por objetivo caracterizar e prever territórios de alto risco para ocorrência da leishmaniose visceral (LV) em Teresina, com base em indicadores socioeconômicos e dados ambientais, obtidos por sensoriamento remoto. Trata-se de um estudo ecológico analítico, no qual as unidades de análise são os 430 e 653 setores censitários (SC) urbanos de Teresina correspondentes aos anos de 1991 e 2000, respectivamente. Foram utilizadas taxas anuais médias de incidência de LV para os períodos de 1993-1996 e 2001-2006, indicadores socioeconômicos e demográficos obtidos do Censo Demográfico de 1991 e de 2000 e indicadores ambientais obtidos pela extração de características da cobertura do solo de Teresina em imagens do sensor Landsat5 de 1990 e 2003. A análise multivariada foi realizada por meio da árvore de decisão utilizando-se o algoritmo CART para obtenção do modelo preditivo para SC de alto risco para LV. A avaliação do desempenho dos modelos foi feita com base no cálculo dos indicadores de sensibilidade, especificidade, acurácia e área sob a curva ROC na amostra de validação. Os resultados da classificação orientada a objeto apontam a expansão da área urbana para a periferia da cidade, onde antes havia maior cobertura de vegetação. O coeficiente de *Kappa* foi 96% para a classificação da imagem de 1990 e de 97% para a de 2003, indicando "concordância quase perfeita". O modelo desenvolvido foi capaz de discriminar 15 conjuntos de SC, com diferentes probabilidades de conterem SC com alto risco de LV. O subconjunto com maior probabilidade de conter SC com alto risco de LV (92%) englobou SC com percentual de chefes de família alfabetizados menor que a mediana ($\leq 64,2\%$), com maior área coberta por vegetação densa, com percentual de até 3 moradores por domicílio acima do terceiro quartil ($>31,6\%$). O modelo desenvolvido com 15 nós terminais apresentou, respectivamente, na amostra de treinamento e validação, sensibilidade de 79% e 54%, especificidade de 74% e 71%, acurácia global de 75% e 67% e área sob a curva ROC de 83% e 66%. Considerando a complexidade dos fatores envolvidos no processo de produção da LV em meio urbano, os resultados deste estudo revelam que a ocorrência da LV na periferia de Teresina está intensamente relacionada aos problemas socioeconômicos e ambientais, decorrente do processo de expansão urbana e das mudanças de

habitat do vetor, em função do desequilíbrio ambiental causado pelos desmatamentos e ocupações de territórios com as piores condições de infraestrutura urbana.

Palavras-chave: Leishmaniose. Análise multivariada. Modelos preditivos. Sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir da década de 1980, a leishmaniose visceral (LV) teve seu perfil epidemiológico modificado, deixando de ser uma doença de ocorrência eminentemente rural para se estabelecer no ambiente urbano. Este cenário de urbanização da LV pode ser observado inicialmente nas cidades de Teresina (PI), Natal (RN) e São Luís (MA).^{1,2,3} Mais recentemente epidemias de LV foram descritas em cidades de outras regiões do país, como Belo Horizonte (MG), Corumbá (MS), Araçatuba (SP), Três Lagoas (MS), Campo Grande (MS), Palmas (TO), entre outras.⁴

As condições que propiciam a introdução, propagação e disseminação da LV em meio urbano são múltiplas e complexas, alterações ambientais associadas a movimentos migratórios, ocupação desordenada das periferias das cidades, alta densidade populacional e vulnerabilidade social decorrente da persistência de condições inadequadas de vida da população.^{5,6}

Uma característica da ocorrência da LV em meio urbano é sua distribuição espacial marcadamente heterogênea, o que pode levar a um aumento substancial na força de transmissão.⁶ Nesta situação, focalizar intervenções em territórios de mais alto risco pode ser uma estratégia eficiente para reduzir as taxas de transmissão.⁷

Para tal, torna-se necessário uma compreensão do espaço geográfico não apenas como um mero cenário onde eventos relacionados a saúde acontecem, mas sim, como produto e produtor de diferenciações sociais e ambientais com reflexos sobre os diversos processos envolvidos nas condições de vida, ambiente e saúde das populações.⁸ Sendo assim, o espaço geográfico passa a ser considerado um espaço de relações sociais, econômicas e políticas cuja apropriação produz territórios propícios à disseminação de doenças.^{9,10}

Nesse contexto, o emprego de ferramentas de análise espacial, como os sistemas de informações geográficas (SIG) e imagens obtidas por sensoriamento remoto (SR) torna-se cada vez mais relevante para subsidiar o controle de doenças transmitidas por insetos e/ou zoonoses.^{11,12,13} Além disso, métodos estatístico-computacionais, como a análise multivariada

por meio de árvore de classificação e regressão (CART), frequentemente usados em estudos de diagnósticos e para avaliação do prognóstico de diferentes doenças e/ou agravos^{14,15,16,17}, podem também ser úteis na tarefa de delimitação de grupos populacionais de mais alto risco, como recentemente aplicado em esquistossomose no estado de Minas Gerais.¹⁸

Assim, mediante o uso de abordagens epidemiológicas, estatísticas e espaciais, o presente estudo tem por objetivo caracterizar e predizer territórios de alto risco para ocorrência da LV em Teresina, Piauí, com base em indicadores socioeconômicos e dados ambientais, obtidos por sensoriamento remoto.

METODOLOGIA

Área de estudo

Teresina é a capital e o município mais populoso do estado do Piauí, a única capital da região Nordeste que não se localiza no litoral. Está situada na confluência dos rios Parnaíba e Poti, centralizada a 5°5' de latitude sul e na longitude oeste de 42°48'. Apresenta uma população de 793.915 habitantes e uma área territorial de 1.756 km², com uma densidade populacional de 444,2 hab./km².¹ Possui um clima tropical, dos mais quentes do Brasil e sub-úmido do tipo seco. As temperaturas registradas são elevadas durante todo o ano, variando de 22°C a 40°C. O período de setembro a dezembro possui as temperaturas mais elevadas. A estação das chuvas acontece principalmente de janeiro a abril, sendo que o mês com maior intensidade de chuvas é o mês de março, com uma precipitação média de 335,5mm.²

Desenho de estudo

Trata-se de um estudo ecológico analítico, no qual as unidades de análise são os 430 e 653 setores censitários (SC) urbanos de Teresina correspondentes aos anos de 1991 e 2000.

¹ Estimativas da população para 1º de julho de 2008 (PDF). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (29 de agosto de 2008). Página visitada em 1 de dezembro de 2008.

² Fortes RLF, coord. Perfil de Teresina: Econômico, Social, Físico e Demográfico. Teresina: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e Turismo – SEMDEC; 2010. 112p.

Dados e variáveis

Variável resposta

As taxas anuais médias de incidência de LV nos SC foram calculadas para os períodos de 1993-1996 e 2001-2006 e dicotomizadas com base no 3º quartil. Setores censitários com taxas acima do 3º quartil ($>0,62$ casos por 1000 pessoas-ano para o período de 1993-1996 e $>0,24$ casos por 1000 pessoas-ano para o período de 2001-2006) foram denominados de “alto risco” e os demais de “baixo risco”. Foram construídos mapas da distribuição da incidência de LV em ambos os períodos por meio do aplicativo ArcGis 9.3 (Figura 1).

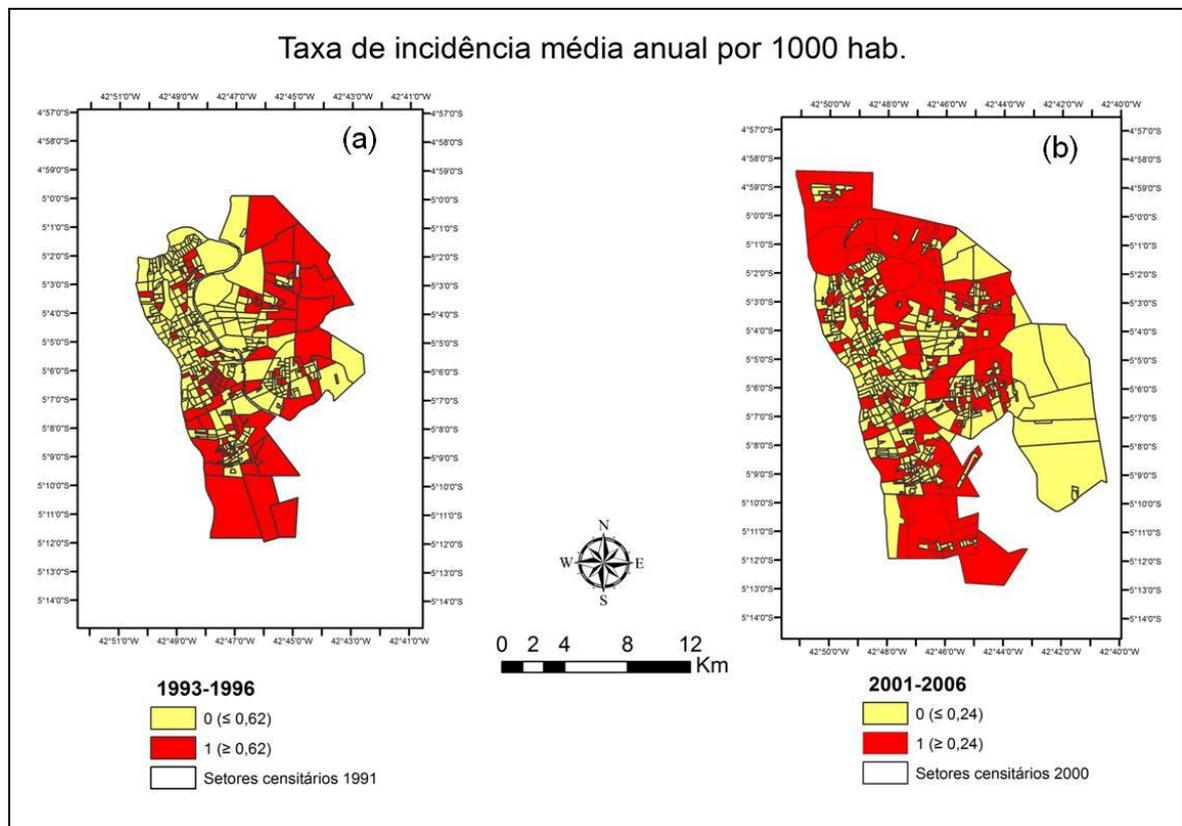


Figura 1 - Taxa de incidência anual média da leishmaniose visceral em (a) 1993-1996 e em (b) 2001-2006, nos setores censitários de Teresina, Piauí, Brasil

Variáveis preditoras

As variáveis socioeconômicas e demográficas foram obtidas do Censo Demográfico de 1991 e de 2000 para compor os indicadores analisados neste estudo. Os 25 indicadores analisados foram categorizados segundo quantis da distribuição, sendo que 22 deles foram

categorizados pelos quartis, dois pela mediana e um pelo tercil (Quadro 1). Ressalta-se que as variáveis foram categorizadas em virtude das grandes variações quantitativas positivas dos indicadores de um período para o outro.

As classes ambientais (temáticas) foram obtidas através da extração de características referentes a cobertura do solo do município de Teresina pelas cenas Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de agosto de 1990 e Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de junho de 2003, órbita 219, ponto 64, projeção UTM, disponíveis no site GLCF (*Global Land Cover Facility*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

PMANALFABET ¹	Percentual de mulheres analfabetas
PHANALFABET ¹	Percentual de homens analfabetos
PPOPANALFABET ¹	Percentual população analfabeta
RENDAMEDIA ¹	Renda média nominal dos chefes
RRENDA ¹	Razão entre a renda total do último decil / renda total dos 40% mais pobre
RSEXO ¹	Razão entre população de homens / pop. de mulheres * 100
RDEPEND ¹	Razão pessoas de 0 a 14 anos e de 60 e mais anos de idade / 15 e 59 anos de idade * 100
PROP MENOR5A ¹	Percentual menores de 5 anos / população total * 100
PCHEFEPOBRE ¹	Percentual de chefes com renda até 1/2SM / total chefes em dom. part. perm. * 100
PRCHEFE3SM ¹	Percentual de chefes com renda até 3SM / total chefes em dom. part. perm. * 100
PCHEFEALFABET ¹	Percentual de chefes alfabetizados / total de chefes * 100
PHCHEFEALFABET ¹	Percentual de chefes homens / total de chefes *100
PMCHEFEALFABET ¹	Percentual de chefes mulheres / total de chefes *100
PCHEFESEMESCO ¹	Percentual de chefes sem instrução / total de chefes em domicílios part. perm.* 100
PCHEFE3AESCO ¹	Percentual de chefes c/ menos de 3 anos de escolaridade / total de chefes em dom. part. perm.* 100
PCHEFE7AESCO ¹	Percentual de chefes c/ menos de 7 anos de escolaridade / total de chefes em dom. part. perm.* 100
P3PDOM ¹	Percentual de até 3 moradores / número de domicílios part. perm.* 100
P4PDOM ¹	Percentual de até 4 moradores / número de domicílios part. perm.* 100
P5PDOM ¹	Percentual de até 5 moradores / número de domicílios part. perm. * 100
PDOMSINSTSAN ¹	Percentual de domicílios sem instalação sanitária / total de domicílio part. perm.* 100
PDOMREGESAN ²	Percentual de domicílios c/ instalação sanitária ligada a rede geral / total de dom. part. perm.* 100
PDOMAGUAREGE ³	Percentual de domicílios c/ abastecimento de água ligado a rede geral / total de dom. part. perm.* 100
PDOMLIXOCOL ²	Percentual de domicílios c/ lixo coletado / total de dom. part. perm.*100
PESSOASDOM ¹	Número médio de pessoas por domicílio
R ¹	Taxa de crescimento populacional

¹Categorizada segundo o quartil da distribuição.

²Categorizada pela mediana.

³Categorizada segundo tercil da distribuição.

Quadro 1 - Indicadores socioeconômicos selecionados para as análises

Procedimentos para a classificação das imagens de satélite

Para a classificação das imagens do sensor Landsat 5 TM de 1990 e 2003 foram utilizadas as bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo), pois apresentam maiores diferenças espectrais.¹⁹

A classificação das imagens, realizada por meio do aplicativo *Definiens Developer 7.0*, compreendeu duas etapas básicas: segmentação multiresolução e classificação por algoritmos com lógica *fuzzy* e booleana. Esta abordagem utiliza combinações de informações espectrais, texturais e contextuais/topológicas.²⁰

As imagens de satélite foram segmentadas através do algoritmo multiresolução, onde se criou objetos em diferentes escalas, de acordo com critérios de forma, cor e homogeneidade. A classificação foi realizada através de uma rede hierárquica e semântica e as classes temáticas foram agregadas em seis subclasses e, posteriormente categorizadas. As regras de decisão com os parâmetros utilizados para segmentar e classificar a imagem do período de 1990 foram aplicados à imagem de 2003, com alguns ajustes apenas no limiar desses parâmetros.

Os indicadores ambientais para ambos os períodos analisados foram construídos mediante o cálculo da proporção de cada classe temática definida para cada setor censitário, após a sobreposição das malhas digitais dos SC de 1991 e 2000 (Quadro 2). Este cálculo foi feito por meio do programa LEGAL no aplicativo SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE). (ANEXO)

ÁGUA	Proporção do setor censitário coberto por coleções de água (AGUACAT: $\geq 0-10; 10-100$)
VEGDENSA	Proporção do setor censitário com área coberta por vegetação densa (VEGDENSACAT: $\geq 0-1; 1-10; 10-100$)
VEGRASTEIRA	Proporção do setor censitário com área coberta por vegetação rasteira (VEGRASTEIRACAT: $\geq 0-10; 10-20; 20-100$)
URBDENSA	Proporção do setor censitário caracterizado por estruturas residenciais com pouca vegetação (URBDENSACAT: $\geq 0-10; 10-40; 40-80; 80-100$)
URBVERDE	Proporção do setor censitário caracterizado por estruturas residenciais esparsas com muita vegetação (URBVERDECAT: $\geq 0-10; 10-40; 40-90; 90-100$)
SOLOEXP	Proporção do setor censitário coberto por solo exposto – terra, barro, areia (SOLOEXPCAT: $\geq 0-1; 1-2; 2-4; 4-6; 6-10; 10-100$)

Quadro 2. Indicadores ambientais selecionados para as análises

O coeficiente de *Kappa* foi utilizado para quantificar a concordância das classificações, fazendo-se uso de amostras testes que foram coletadas das imagens originais

do sensor. Utilizou-se para a interpretação dos valores de *kappa*, os critérios de Landis & Koch: concordância pobre (abaixo de 0); discreta (0-0,20); razoável (0,21-0,40); moderada (0,41-0,60); substancial (0,61-0,80) e quase perfeita (0,81-1,00).²¹

Análise dos dados

Dois bancos de dados com a incidência anual média de LV dicotomizada para o período de 1993-1996 e de 2001-2006 foram construídos com informações dos indicadores do Censos Demográficos de 1991 e 2000 e indicadores ambientais obtidos após classificação das imagens de satélites de 1990 e 2003, respectivamente. Os bancos de dados foram compatibilizados, sendo que o banco do primeiro período (1993-1996) foi utilizado como amostra de aprendizagem (treinamento) para o desenvolvimento do modelo preditivo para SC de alto risco e o segundo (2001-2006) como amostra de validação para checar o desempenho deste modelo.

Foi realizada a análise multivariada por meio da árvore de decisão utilizando-se o algoritmo CART (*Classification and Regression Trees*) para obtenção do modelo preditivo para SC de alto risco para LV.²² Em geral, CART gera uma árvore de tamanho muito grande que apresenta um número mínimo de erros de classificação, mas trata-se de um modelo excessivamente ajustado aos dados com capacidade limitada de generalização. Assim, para ser útil, a árvore precisa ser reduzida de tamanho (“podada”). Para se alcançar uma árvore de menor tamanho (menor número de nós finais ou “folhas”) estabeleceu-se inicialmente como restrições ao crescimento da árvore um mínimo de 10 observações a serem incluídas antes da primeira divisão, com base em uma variável e um mínimo de 20 observações antes da última divisão ocorrer. Subsequentemente, por meio de inspeção gráfica da relação entre o número de nós finais da árvore e os ganhos na homogeneidade da classificação, concluiu-se que uma árvore com 15 nós seria a mais adequada.

Para calcular medidas de acurácia, utilizou-se o ponto de corte de 25% para a probabilidade de existência de setores censitários de alto risco nos nós terminais, o que maximizou simultaneamente a sensibilidade e especificidade, sem importante decréscimo na acurácia global.

Modelos CART foram implementados no aplicativo Splus 4.5. A avaliação do desempenho dos modelos foi feita com base no cálculo dos indicadores de sensibilidade, especificidade, acurácia e área sob a curva ROC na amostra de validação, estimados por meio do aplicativo Stata 11.0.

RESULTADOS

Para o período de 1993-1996, mais de 70% dos SC reportaram casos de LV, apresentando incidência máxima 4,54 casos por 1000 hab., média de 0,43 e mediana de 0,29. Já no segundo período analisado cerca de 50% dos SC reportaram casos de LV e tiveram incidência máxima de 5,91 casos por 1000 hab., média de 0,2 e mediana de zero.

Os resultados da classificação orientada a objeto apontam a expansão da área urbana para a periferia da cidade, onde antes havia maior cobertura de vegetação (Figura 2). O coeficiente de *Kappa* foi 96% para a classificação da imagem de 1990 e de 97% para a de 2003, indicando "concordância quase perfeita".

O modelo desenvolvido foi capaz de discriminar 15 conjuntos de SC (Figura 3), com diferentes probabilidades de conterem SC com alto risco de LV. Nessa figura, observa-se que os 15 conjuntos de SC correspondem aos nós terminais (em vermelho) e dentro deles são apresentados as probabilidades (P) de existirem SC de alto risco e o número de SC (N).

O subconjunto com menor probabilidade de conter SC com alto risco de LV (3,9%) englobou SC com percentual de chefes de família alfabetizados maior que a mediana ($>64,2\%$) e com razão de renda menor que a mediana ($\leq 2,49\%$). Já o subconjunto com maior probabilidade de conter SC com alto risco de LV (92%) englobou SC com percentual de chefes de família alfabetizados menor que a mediana ($\leq 64,2\%$), com maior área coberta por vegetação densa, com percentual de até 3 moradores por domicílio acima do terceiro quartil ($>31,6\%$). Os outros 13 subconjuntos apresentaram probabilidade de conterem SC com alto risco de LV variando de 5,6% a 82%.

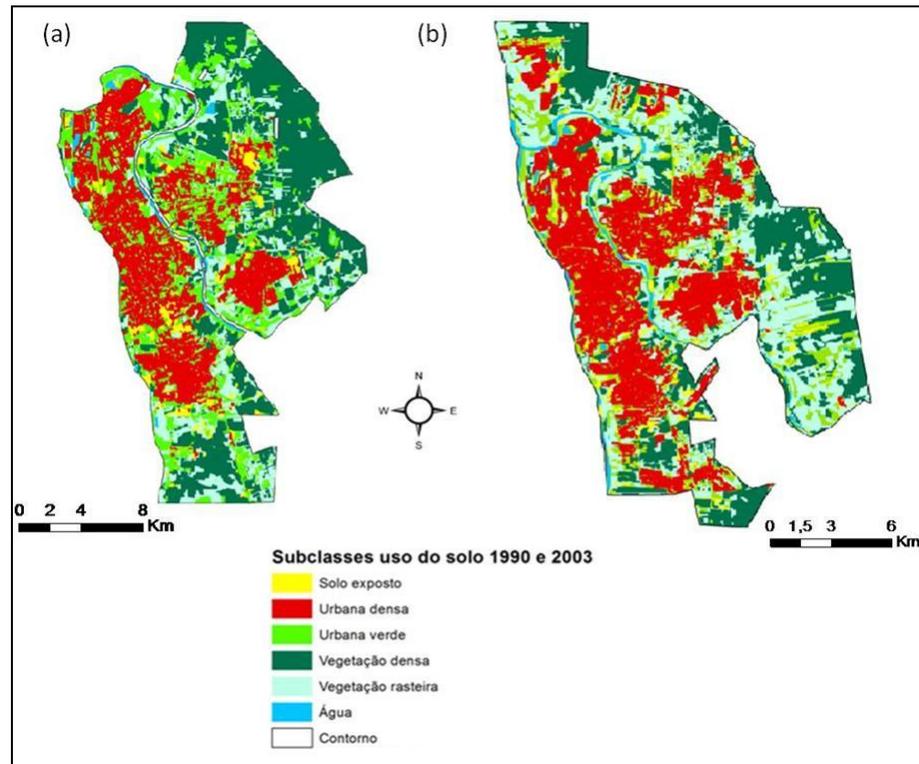


Figura 2. Resultados da classificação da cobertura do solo em Teresina, derivado do processamento de imagens do satélite Landsat 5 TM de 1990 (a) e 2003 (b). Piauí, Brasil

A tabela 1 mostra a comparação do desempenho do modelo nas amostras de aprendizagem (1993-1996) e validação (2001-2006) em termos da área sob a curva ROC, sensibilidade, especificidade, acurácia, valor preditivo positivo e negativo. O modelo desenvolvido com 15 nós terminais (Figura 3) apresentou sensibilidade de 79%, especificidade de 74%, acurácia global de 75% e área sob a curva ROC de 83%. Ao ser aplicado na amostra de validação com o mesmo ponto de corte de predição (25%), apresentou sensibilidade de 54%, especificidade de 71%, acurácia global de 67% e área sob a curva ROC de 66% (Tabela 1).

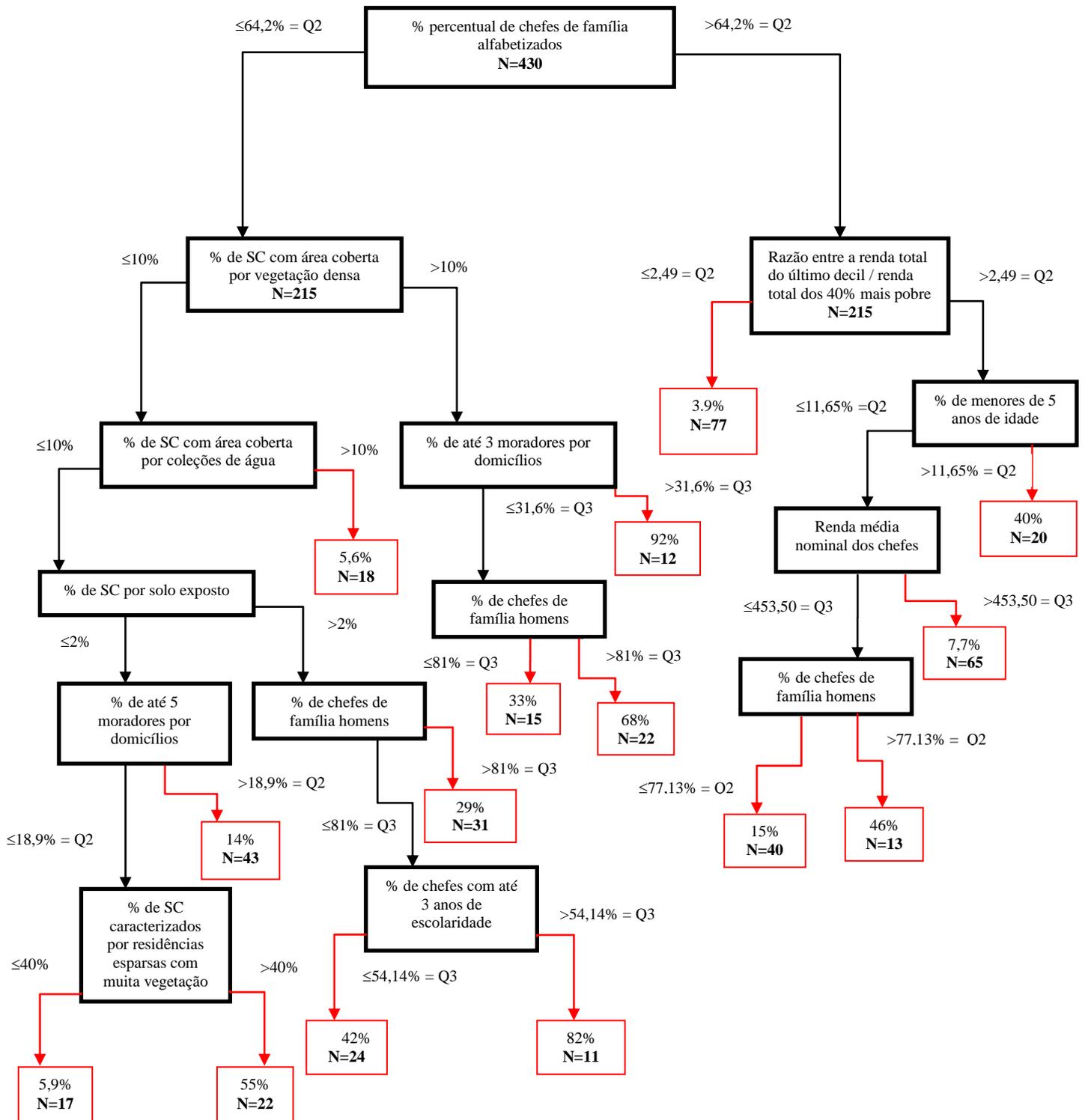


Figura 3. Diagrama do melhor modelo preditivo obtido através da amostra de aprendizagem (1993-1996). Os quadros em vermelho correspondem aos nós terminais com a probabilidade (P) e o número de SC (N). Teresina, Piauí, Brasil

Tabela 1. Desempenho preditivo do modelo de Árvore de Classificação e Regressão (CART) nas amostras de aprendizagem (1993-1996) e validação (2001-2006). Teresina, Piauí, Brasil

Análise	Área da Curva ROC %	Sensibilidade %	Especificidade %	Acurácia global %	Valor preditivo positivo %	Valor preditivo negativo %
CART (aprendizagem)	83	79	74	75	50	92
CART (validação)	66	54	71	67	40	81

DISCUSSÃO

Os resultados alcançados neste estudo apontam para possíveis contextos espaciais de alto risco para transmissão da LV na cidade de Teresina e reforçam a noção de que a heterogeneidade encontrada na ocorrência da doença está diretamente relacionada às condições de vida da população e a características ambientais.⁶ Entretanto, ainda que estas relações tenham sido caracterizadas neste estudo, os resultados na amostra de validação não foram satisfatórios, indicando que a predição de áreas de risco para ocorrência de LV é um desafio mais complexo do que a simples identificação de associações entre indicadores ambientais e socioeconômicos e a incidência da doença, algo que já tem sido demonstrado amplamente no Brasil e no mundo.^{23,24,25,26,13,27,28}

Algumas potenciais explicações para o desempenho preditivo deficiente do modelo desenvolvido podem ser levantadas. Primeiro, o intervalo temporal entre os dois períodos analisados implicou em modificações substanciais na dimensão e estrutura da área geográfica sob estudo, com incorporação na amostra de validação de áreas que faziam parte da área rural de Teresina no período de 1993-1996. Ainda que tenha sido utilizado como unidade de análise o setor censitário, uma estrutura contextual de menor tamanho e maior homogeneidade interna²⁹, modificações da base geográfica podem ter contribuído para incorporação de áreas com características socioambientais bem diversas daquelas presentes na amostra utilizada para derivação do modelo preditivo.

Segundo, os dados utilizados para derivar o modelo preditivo se referem a um período epidêmico, enquanto a amostra de validação compreende anos endêmicos. Pode-se supor que em situações epidêmicas, devido à típica grande magnitude da força de transmissão nestes períodos, a doença se dissemine mais amplamente no espaço geográfico, afetando

subconjuntos populacionais que eventualmente poderiam ser poupados em períodos endêmicos. Entretanto, visto que a LV foi introduzida em Teresina somente a partir do início da década de 1980 provocando duas epidemias (1981-1985 e 1993-1996), ainda não se dispõe de dados completos para outros períodos endêmicos que não os de 2001-2006. Uma alternativa, que seria restringir as análises apenas aos anos de 2001 a 2006, traria outras dificuldades devido ao relativamente pequeno número de casos anuais observados neste período.

Terceiro, o desempenho insatisfatório do modelo pode ter ocorrido em função de variações quantitativas positivas dos indicadores socioeconômicos, ainda que, tenha sido usado como ponto de corte os quartis da distribuição. Desde a década de 1980 está em curso no Brasil uma melhoria global dos indicadores sociais e econômicos. Por exemplo, uma análise de série histórica desde o meio da década de 1970 mostra queda substancial e inequívoca da desigualdade de 2001 a 2004, sendo este último o ano de menor desigualdade de renda no período analisado.³⁰ O papel das políticas de transferência de renda na redução da desigualdade e dos níveis de pobreza no Brasil é alvo de intenso debate, mas análises recentes sugerem que sua contribuição é limitada perante os benefícios obtidos com as melhorias no acesso à educação, a maior disponibilidade e os custos reduzidos de alimentos e bens de consumo duráveis e a redução na desigualdade nos rendimentos do trabalho.^{30,31} No Piauí o quadro não é diferente, tendo ocorrido aumento de 12% do salário médio (1985-2006), incremento no índice de desenvolvimento humano de 0,57 para 0,70 (1991-2005) e redução na taxa de analfabetismo de 41,7% para 23,3% (1991-2007).^{32,33} Uma possível alternativa para minimizar este problema seria o emprego de categorização dos indicadores por estratos de áreas homogêneas quanto à condição de vida.^{34,35}

Estudos que reportam as variações quantitativas no tempo de indicadores socioeconômicos e ambientais destacam a influência que as condições de moradia, de saneamento³⁶, de renda familiar e de escolaridade materna³⁷ podem ter sobre a evolução do estado de saúde das crianças. Além disso, enfatizam a expansão das áreas de risco, suas relações com os padrões de ocupação da terra³⁸ e a detecção de áreas com redução da cobertura vegetal.³⁹

Deve-se destacar neste estudo, a expansão urbana como um dos indicadores que apresentou expressiva variação entre os períodos analisados. A migração da população para a periferia da cidade é uma das causas do incremento da proporção de área urbana. Segundo Costa et al. (1990)¹ esse fenômeno levou as famílias a viverem em territórios com precárias condições de vida na cidade. Associado à migração, as transformações ambientais e a

crescente expansão periurbana vêm gerando disparidades socioespaciais^{40,6} e promovendo condições favoráveis para reprodução do vetor da LV, o flebotomíneo *Lutzomya longipalpis*.⁴¹

Portanto, as atividades humanas ocorridas nos territórios transformam não só a configuração da paisagem natural, bem como, comprometem todo o equilíbrio do ambiente, propiciando o estabelecimento de inúmeras doenças infecciosas, particularmente as transmitidas por insetos vetores como a LV.^{42,43}

Os nichos de transmissão de LV em meio urbano não só apresentam uma distribuição heterogênea, como também constituem áreas com características paisagísticas e epidemiológicas variadas, onde as distintas formas de ocupação e de cobertura do solo implicam processos ecológicos e sociais que resultam em grandes diferenças na magnitude da incidência da doença.

Nesse sentido, portanto, o conceito de espaço, referido por Milton Santos como "*um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações*" (Santos, 1996:18); "*um conjunto de fixos e fluxos que interagem*" (Santos, 1996:50) são de grande relevância para o conhecimento da dinâmica social e para a determinação de vulnerabilidades à LV em Teresina.^{44,45} Diante disso, pode-se dizer que o processo de estabelecimento e disseminação da LV no meio urbano de Teresina, com sua distribuição espacial marcadamente heterogênea, é resultante da organização socioterritorial. Sendo assim, acredita-se também que parte das deficiências preditivas do modelo se deve justamente a falta de uma melhor definição do território como unidade espacial-social-ambiental propícia a ocorrência da LV.

A melhora do desempenho preditivo de área de risco poderia ser alcançada com o uso de mais indicadores ambientais que podem ser extraídos da imagem de satélite de média resolução^{46,47} e com uso de imagens de alta resolução espacial.⁴⁸ As imagens de satélite utilizadas neste estudo são provenientes dos sensores Landsat Thematic Mapper 5 que apresentam resolução espacial de apenas 30 metros, ou seja, não permitem discriminar elementos da superfície terrestre para áreas menores do que 900m². No entanto, estudos sobre a LV que fizeram uso de imagens de média resolução espacial foram capazes de identificar alguns elementos relativos à cobertura vegetal, uso do solo e padrões de ocupação urbana associados ao risco da doença^{49,47,50,13}, mas as dificuldades e limitações destas imagens para caracterizar adequadamente as feições mais locais que determinam o padrão de transmissão e ocorrência da LV no meio urbano são evidentes.⁴⁷ Dessa forma, em estudos futuros pretende-se utilizar imagens com alta resolução espacial para melhor definição da caracterização do uso classificação orientada a objeto aqui aplicada.²⁰

Por fim, considerando a complexidade dos fatores envolvidos no processo de produção da LV em meio urbano, os resultados deste estudo revelam que a ocorrência da LV na periferia de Teresina está intensamente relacionada aos problemas socioeconômicos e ambientais, decorrente do processo de expansão urbana e das mudanças de habitat do vetor, em função do desequilíbrio ambiental causado pelos desmatamentos e ocupações de territórios com as piores condições de infraestrutura urbana.⁵⁰ Nessa perspectiva, focalizar intervenções nesses territórios considerados de alto risco pode ser uma estratégia útil para incrementar a efetividade de medidas de controle e reduzir custos operacionais.

REFERÊNCIAS

1. Costa CHN, Pereira HF, Araujo MV, 1990. Epidemia de leishmaniose visceral no estado do Piauí, Brasil, 1980-1986. *Rev Saúde Pública*. 1990; 24:361-372.
2. Jeronimo SM, Oliveira RM, Mckay S, Costa RM, Sweet J, Nascimento ET, Luz KG, Fernandes MZ, Jernigan J, Pearson RD. An urban outbreak of visceral leishmaniasis in Natal, Brazil. *Trans Roy Soc Med Hyg*. 1994; 88:386-388.
3. Silva RA, Viana GMC, Varonil C, Pires B, Nascimento MDSD, Costa JML. Leishmaniose visceral (Calazar) na ilha de São Luis, Maranhão, Brasil: evolução e perspectivas. *Rev Soc Bras Med Trop*. 1997; 30:359-68.
4. Ministério da Saúde. Manual de Vigilância e Controle da Leishmaniose Visceral. Série A. Normas e Manuais Técnicos. Brasília, DF; 2006.
5. Costa CHN, Tapety CMM, Werneck GL. Controle da leishmaniose visceral em meio urbano: estudo de intervenção randomizado fatorial. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2007; 40(4):415-19.
6. Werneck GL. Forum: geographic spread and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Introduction. *Cad Saúde Pública*. 2008; 24(12):2937-40.
7. Koopman JS, Simon CP, Riolo CP. When to control endemic infections by focusing on high-risk groups. *Epidemiology*. 2005;16:621-7.
8. Barcellos C, Sabroza PC, Peiter P, Rojas LI. Organização espacial, saúde e qualidade de vida: A análise espacial e o uso de indicadores na avaliação de situações de saúde. *Inf Epidemiol Sus*. 2002; 11(3): 129-138.
9. Santos M. *A Natureza do Espaço – Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. São Paulo: Editora Hucitec, 1996.

10. Faria RM, Bortolozzi A. Espaço, território e saúde: contribuições de Milton Santos para o tema da geografia da saúde no Brasil. *RAEGA*. 2009; 17:31-41.
11. Hugh-Jones M. Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and disease vectors. *Parasitology Today*. 1989; 5:244-51.
12. Kalluri S, Gilruth P, Rogers D, Szczur M. Surveillance of arthropod vector-borne infectious diseases using remote sensing techniques: a review. *PLoS Pathogens*. 2007; 3:1361-71.
13. Cerbino Neto J, Werneck GL, Costa CH. Factors associated with the incidence of urban visceral leishmaniasis: an ecological study in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2009; 25(7):1543-51.
14. Werneck GL, Carvalho DM, Barroso DE, Cook EF, Walker AM. Classification trees and logistic regression applied to prognostic studies: a comparison using meningococcal disease as a example. *J Tropical Pediatrics*. 1999; 45:248-51.
15. Mello FCQ, Bastos LGV, Soares SLM, Rezende VMC, Conde MB, Chaisson RE, Kritski AL, Ruffino-Netto A and Werneck GL. Predicting smear negative pulmonary tuberculosis with classification trees and logistic regression: a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2006; 6:43.
16. Santos M, Braga JU, Gomes RV, Werneck GL. Predictive factors for pneumonia onset after cardiac surgery in Rio de Janeiro, Brazil. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2007; 28(4):382-8.
17. Fakiola M, Mishra A, Rai M, Singh SP, O'Leary RA, Ball S et al. Classification and Regression Tree and Spatial Analyses Reveal Geographic Heterogeneity in Genome Wide Linkage Study of Indian Visceral Leishmaniasis. *PLoS ONE*. 2010; 5(12): e15807.
18. Martins-Bedê FT, Dutra LV, Freitas CC, Guimarães RJPS, Amaral RS, Drummond S, Carvalho OS. Schistosomiasis risk mapping in the state of Minas Gerais, Brazil, using a decision tree approach, remote sensing data and sociological indicators. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2010; 105(4):541-548.
19. Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference build-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int J Remote Sens*. 2003; 24(17):583-94.
20. Pinho CMD, Feitosa FF, Kux HJH. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. (SBSR) 12, 2005. Anais...* São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4217-24.
21. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977; 33:159-74.
22. Breiman L, Friedman J, Olshen R, Stone C. Classification and regression trees. Pacific Grove, CA: Wadsworth & Brooks/Cole; 1984.

23. Thompson RA, Wellington de Oliveira Lima J, Maguire JH, Braud DH, Scholl DT. Climatic and demographic determinants of American visceral leishmaniasis in northeastern Brazil using remote sensing technology for environmental categorization of rain and region influences on leishmaniasis. *Am J Trop Med Hyg.* 2002; 67(6):648-55.
24. Costa CHN, Werneck GL, Rodrigues L Jr, Santos MV, Araújo IB, Moura LS, Moreira S, Gomes RB, Lima SS. Household structure and urban services: neglected targets in the control of visceral leishmaniasis. *Ann Trop Med Parasitol.* 2005;99(3):229-36.
25. Sudhakar S, Srinivas T, Palit A, Kar SK, Battacharya SK. Mapping of risk prone areas of kala-azar (Visceral leishmaniasis) in parts of Bihar State, India: an RS and GIS approach. *J Vector Borne Dis.* 2006; 43(3):115-22.
26. Oliveira CD, Diez-Roux A, César CC, Proietti FA. A case-control study of microenvironmental risk factors for urban visceral leishmaniasis in a large city in Brazil, 1999-2000. *Rev Panam Salud Publica.* 2006; 20(6):369-76.
27. Boelaert M, Meheus F, Sanchez A, Singh SP, Vanlerberghe V, Picado A, Meessen B, Sundar S. The poorest of the poor: a poverty appraisal of households affected by visceral leishmaniasis in Bihar, India. *Trop Med Int Health.* 2009;14(6):639-44.
28. Bhunia GS, Kumar V, Kumar AJ, Das P, Kesari S. The use of remote sensing in the identification of the eco-environmental factors associated with the risk of human visceral leishmaniasis (kala-azar) on the Gangetic plain, in north-eastern India. *Ann Trop Med Parasitol.* 2010; 104(1): 35-53.
29. Tassinari WS, León AP, Werneck GL, Faerstein E, Lopes CS, Chor D et al . Contexto sócio-econômico e percepção da saúde bucal em uma população de adultos no Rio de Janeiro, Brasil: uma análise multinível. *Cad Saúde Pública.* 2007; 23(1): 127-136.
30. Soares SSD. Distribuição de renda no Brasil de 1976 a 2004 com ênfase no período entre 2001 e 2004. Ipea. Texto para Discussão n° 1166. Brasília, fev. 2006.
31. Schwartzman S. Redução da desigualdade, da pobreza, e os programas de transferência de renda. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade. 2006; 20p.
32. Fundação CEPRO (Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí). Piauí em Números. Teresina, 8. ed; 2011.
33. PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. 2003. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas/>
34. Lacerda JT, Calvo MCM, Freitas SFT. Diferenciais intra-urbanos no Município de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: potencial de uso para o planejamento em saúde. *Cad Saúde Pública.* 2002; 18(5):1331-8.
35. Gamarra CJ, Valente JG, Azevedo e Silva G. Magnitude da mortalidade por câncer do colo do útero na Região Nordeste do Brasil e fatores socioeconômicos. *Rev Panam Salud Publica.* 2010; 28(2):100-6.

36. Monteiro CA, Nazário CL. Evolução de condicionantes ambientais da saúde na infância na cidade de São Paulo (1984-1996). *Rev Saúde Pública*. 2000; 34(6):13-18.
37. Monteiro CA, Freitas ICM. Evolução de condicionantes socioeconômicas da saúde na infância na cidade de São Paulo (1984-1996). *Rev Saúde Pública*. 2000; 34(6):8-12.
38. Vasconcelos CH, Novo EMLM, Donalisio MR. Uso do sensoriamento remoto para estudar a influência de alterações ambientais na distribuição da malária na Amazônia brasileira. *Cad Saúde Pública*. 2006; 22(3):517-26.
39. Veras LGDO & Silva JDS. Análise Temporal da Cobertura Vegetal do bairro Ininga no município de Teresina. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação; 27-30 de Julho de 2010; Recife - PE; p. 001-004.
40. Costa CHN. Characterization and speculations on the urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad. Saúde Pública*. 2008; 24(12):2959-63.
41. Fernández MS, Salomón OD, Cavia R, Perez AA, Acardi SA, Guccione JD. *Lutzomyia longipalpis* spatial distribution and association with environmental variables in an urban focus of visceral leishmaniasis, Misiones, Argentina. *Acta Tropica*. 2010; 114(2): 81-7.
42. Boulos M. Doenças emergentes e reemergentes no Brasil. *Ciência Hoje* 2001; 39:58-60.
43. Possas CA. Social ecosystem health: confronting the complexity and emergence of infectious diseases. *Cad Saúde Pública*. 2001; 17:31-41.
44. Monken M, Barcellos C. Vigilância em saúde e território utilizado: possibilidades teóricas e metodológicas *Cad. Saúde Pública*. 2005; 21(3):898-906.
45. Czeresnia D & Ribeiro AM. O Conceito de Espaço em Epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica. *Cad Saúde Pública*. 2000; 16(3):595-613.
46. Van Benthem BHB, Vanwambeke SO, Khantikul N, Burghoorn-Maas C, Panart K, Oskam L, Lambin EF, Somboon P. Spatial patterns of and risk factors for Seropositivity for Dengue Infection. *Am J Trop Med Hyg*. 2005; 72(2):201-08.
47. Correia VRM, Monteiro AMV, Carvalho MS, Werneck GL. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. *Cad Saúde Pública*. 2007; 23(5):1015-1028.
48. Leonardi F, Almeida CN, Fonseca LMG, Camargo FF. Avaliação Comparativa entre Classificação Supervisionada por Regiões e Orientada a Objeto para Imagens de Alta Resolução Espacial: Cbers 2B-HRC e QuickBird. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 25-30 abril 2009 Natal, Brasil; INPE, p. 981-88.
49. Werneck GL, Maguire JH. Spatial modeling using mixed models: an ecologic study of visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2002; 18:633-7.

50. Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH. Multilevel modelling of the incidence of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Epidemiol Infect.* 2007; 135:195-201.

7.3 Artigo 3: Identificação de características de cobertura do solo por meio de imagens de sensoriamento remoto para o estudo da leishmaniose visceral em Teresina, Brasil: uma aplicação utilizando classificação orientada a objeto

RESUMO

O objetivo deste estudo é avaliar a aplicabilidade da estratégia de classificação orientada a objeto na busca de possíveis indicadores de cobertura do solo relacionados com a ocorrência da LV em meio urbano. As unidades espaciais de análise utilizadas são os 430 e 653 setores censitários (SC) urbanos de Teresina correspondentes aos anos de 1991 e 2000, respectivamente. Para o cálculo da incidência anual de LV foram utilizados os casos ocorridos nestes dois períodos. Para captação de informações ambientais foram utilizadas as Cenas Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de 1990 e de 2003, disponíveis no site GLCF (*Global Land Cover Facility*). A classificação da imagem teve como objetivo extrair características referentes a cobertura do solo, como: água, área urbana densa, área urbana verde, solo exposto, vegetação densa e vegetação rasteira. Foi realizada uma classificação orientada a objetos envolvendo cinco etapas: caracterização das classes, segmentação da imagem através do algoritmo multiresolução, elaboração da rede semântica, classificação e avaliação dos resultados. O coeficiente *Kappa* foi utilizado para avaliar a acurácia temática por ser mais sensível às variações de erros de omissão e inclusão. Para avaliação do crescimento urbano foi realizado o mapeamento dos indicadores ambientais *Urbana densa* e *Urbana verde* extraídos das cenas de 1990 e 2003. A incidência média da LV no período de 1993-1996 e 2001-2006 foi correlacionada com as informações ambientais obtidas através do processamento das imagens por meio do coeficiente de correlação de Spearman. Os índices de acurácia foram altos em ambas as imagens, maiores que 90%, indicando que a separação entre as classes foi altamente satisfatória. Na análise da correlação da incidência da LV de 1993-1996 com os indicadores ambientais extraídos da imagem de satélite de 1990 verificou-se que três indicadores apresentam correlação positiva (*Vegetação densa*, *Vegetação rasteira* e *Solo exposto*) e dois negativa (*Água* e *Urbana densa*), todos estatisticamente significantes. No período seguinte, além dos indicadores *Vegetação densa* e *Vegetação rasteira* e *Solo exposto*, o indicador *Urbana densa* também apresenta correlação positiva com a incidência de LV. E apenas o indicador *Urbana verde* apresentam correlação negativa com a doença. Apesar de considerar todas as dificuldades para compreender o espaço geográfico, a possibilidade de utilização do sensoriamento remoto, bem como, a aplicação de metodologia de classificação

orientada a objeto, nos traz novas perspectivas de análises geográficas para doenças e/ou agravos em saúde.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Leishmaniose. Acurácia. Classificação de imagens.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o avanço da urbanização tem provocado sérios impactos no modo de vida e na saúde da população.^{1,2} Neste contexto, o contínuo aumento da impermeabilização do solo, da densidade demográfica e da construção de moradias em locais impróprios são sempre acompanhados de graves problemas socioeconômicos que impactam negativamente na infraestrutura urbana e no meio ambiente.

A urbanização acelerada é usualmente associada à concentração da população em determinadas áreas. Como resultado tem-se observado o aumento do interesse em estudos acerca das consequências do crescimento urbano na saúde da população usando técnicas e produtos de sensoriamento orbital.^{3,4,5}

Nesse contexto, a utilização do sensoriamento remoto (SR) abriu novas perspectivas e desafios metodológicos nas análises dos processos endêmico-epidêmicos de doenças transmitidas por vetores e tem sido uma importante ferramenta nos estudos de doenças relacionadas às condições ambientais^{6,7}, como a leishmaniose visceral (LV). O principal vetor da LV no Brasil é o flebotomíneo *Lutzomyia longipalpis* que se adapta facilmente às condições peridomésticas de áreas depauperadas.^{8,9}

Transformações ambientais associadas a movimentos migratórios e ao processo de urbanização têm sido implicadas no processo de urbanização da doença no país. Por um lado, o processo desordenado de ocupação urbana resulta em condições precárias de vida e destruição ambiental, promovendo condições favoráveis para a reprodução do vetor. Assim, a introdução da LV nas cidades configura um cenário epidemiológico diverso daquele previamente conhecido, requerendo uma nova racionalidade para os sistemas de vigilância e de controle. Portanto, a utilização do sensoriamento remoto pode ser uma estratégia importante na caracterização e predição de áreas de alto risco.¹⁰

A extração de informações de imagens de satélite para a geração de mapas de uso e cobertura do solo pode ser realizada por meio de procedimentos de interpretação visual ou por métodos de classificação automática das imagens. O uso de técnicas automáticas para a extração de informações é uma opção viável para a classificação de uso e cobertura do solo urbano em larga escala, já que a adoção da interpretação visual torna o procedimento lento e

dispendioso, além disso, acrescenta subjetividade aos processos de extração de informações.^{11,12}

Os classificadores automáticos podem ser supervisionados ou não supervisionados, na dependência do grau de interação do intérprete no processo. Frequentemente os procedimentos de classificação são orientados ao pixel (classificação pixel-a-pixel) mas, além desses, existem ainda os classificadores orientados a objetos, que buscam aprimorar o desempenho dos processos automatizados de classificação, através do uso das combinações de informações espectrais, texturais e contextuais/topológicas.

Deste modo, a aplicação de técnicas de classificação automática orientada a objetos têm se mostrado como uma alternativa para superar a limitação dos classificadores pixel-a-pixel, já que, baseia-se no princípio de analisar não apenas um pixel isoladamente, mas dividir a imagem em pequenos segmentos, considerados objetos na imagem, os quais são extraídos da imagem original por meio de técnicas de segmentação.^{13,14,15}

Diante disso, o objetivo deste estudo é avaliar a aplicabilidade da estratégia de classificação orientada a objeto na busca de possíveis indicadores de cobertura do solo relacionados com a ocorrência da LV em meio urbano.

METODOLOGIA

Área de estudo

Teresina foi fundada como capital do Piauí em 1862, e está localizada em zona de transição de matas de babaçuais e a Mata Pré-Atlântica na confluência dos rios Parnaíba e Poti, ao lado do município maranhense de Timon, localizando-se a 05° 05' de latitude sul e a 42° 48' de longitude oeste. O clima é tropical subúmido quente, com temperaturas variando de 22°C a 40°C. A vegetação é representada por uma cobertura arbustiva densa de médio porte, sendo a forma mais generalizada de vegetação o cerrado e o cerradão, com babaçuais e carnaubais nativos integrando-se a esta paisagem, coexistindo nas periferias da cidade regiões de pastagem e floresta tropical.

A cidade apresenta uma população de 793.915 habitantes e uma área territorial de 1.756 km², com uma densidade populacional de 444,2 hab./km², sendo que a área urbana do município corresponde a cerca de 10% de sua área total.

Em 1980, Teresina foi o local de ocorrência da primeira epidemia urbana de leishmaniose visceral no Brasil.¹⁶ A incidência caiu após 1985, mas uma nova epidemia com

mais de 1200 casos ocorreu entre 1993 e 1995. Nesta última epidemia mais de 90% dos casos necessitaram hospitalização e cerca de 5% morreram mesmo sob correta terapia. Entre 1996 e 1998 a doença permaneceu ocorrendo de forma endêmica em Teresina com cerca de 20-40 casos anuais. A partir de 1998, observa-se que a incidência da doença se estabilizou em torno do patamar de 20 casos por 100.000 habitantes.

Desenho de estudo

Estudo ecológico cujas unidades espaciais de análise são os 430 e 653 setores censitários (SC) urbanos de Teresina correspondentes aos anos de 1991 e 2000, respectivamente.

Dados

Os casos considerados para o estudo foram aqueles disponíveis no Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN, ocorridos na área urbana de Teresina, nos períodos de 1993-1996 e 2001-2006.

As taxas anuais de incidência de LV em cada setor censitário foram calculadas, dividindo-se o número de casos em cada ano pela população estimada para o meio do ano correspondente. Utilizando-se os dados populacionais do Censos Demográficos de 1990 e 2000 e da contagem populacional de 2007 foram realizadas estimativas populacionais para cada setor censitário por interpolação, através de uma equação de crescimento geométrico com componente anual.¹⁷

O cálculo da taxa de incidência anual média da LV foi feito dividindo-se o número total de casos novos registrados nos períodos de 1993 a 1996 e 2001 a 2006 pela soma das populações estimadas para cada um dos anos nos períodos estudados.¹⁸

Para captação de informações ambientais foram utilizadas as cenas Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de agosto de 1990 e uma Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de junho de 2003, órbita 219, ponto 64, projeção UTM, disponíveis no site GLCF (*Global Land Cover Facility*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Processamento de imagens do satélite

A classificação da imagem teve como objetivo extrair características referentes a cobertura do solo, como: água, área urbana densa, área urbana verde, solo exposto, vegetação densa e vegetação rasteira. Para obtenção das características de cobertura do solo foi realizada uma classificação orientada a objetos envolvendo cinco etapas: caracterização das classes, segmentação da imagem, elaboração da rede semântica, classificação e avaliação dos resultados.

Foi elaborada uma composição falsa-cor nas imagens do sensor Landsat 5 TM de 1990 e 2003, com a combinação das bandas 3, 4 e 5, respectivamente, nas cores azul, verde e vermelho. Esta composição apresenta uma boa discriminação visual dos alvos, possibilitando a identificação dos padrões de uso da terra. Nesta composição, os corpos d'água apresentam-se em tons azulados, as áreas de cobertura vegetal em tons esverdeados e as áreas de solo exposto e urbanizadas em tons avermelhados. No entanto, para a classificação das imagens foram utilizadas apenas as bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo), pois apresentam maiores diferenças espectrais.¹⁹

O procedimento de classificação das imagens foi realizado no aplicativo Definiens 7.0 e incluiu basicamente dois passos: segmentação multiresolução e classificação por algoritmos com lógica fuzzy e booleana. Esta abordagem utiliza combinações de informações espectrais, texturais e contextuais/topológicas.

A classificação orientada a objetos se realiza através da análise sobre segmentos da imagem (objetos) e não apenas sobre os pixels. Os objetos com características comuns são agrupados em classes e as classes são organizadas em forma de rede hierárquica e semântica. A análise de imagens orientada a objetos emprega informações espaciais em seu processamento e por isto tem se mostrado mais eficiente na aplicação em áreas urbanas.²⁰

Inicialmente foi realizada uma interpretação visual da imagem para definir quais classes temáticas seriam importantes na caracterização do território de transmissão para LV. Após a definição destas classes, as imagens de satélite foram segmentadas através do algoritmo multiresolução, onde se criou objetos em diferentes escalas, de acordo com critérios de forma, cor e homogeneidade. Além disso, a malha de vias de Teresina foi utilizada na segmentação, para melhor definição do contexto urbano. Como o resultado desta fase tem repercussão nas demais, foram feitos vários testes até se obter uma definição apropriada dos valores dos parâmetros a serem utilizados na segmentação. Por meio de algoritmo implementado no aplicativo *Definiens Developer*, atributos de forma (compacidade e

suavidade) e cor são utilizados para caracterizar os diferentes segmentos.²¹ Por último, o tamanho dos objetos da segmentação é determinado pelo valor do fator de escala, de modo que este corresponda a uma Unidade Mínima de Mapeamento (*Minimal Mapping Unit - MMU*). A figura 1 apresenta o resultado da segmentação e a visualização da imagem segmentada.

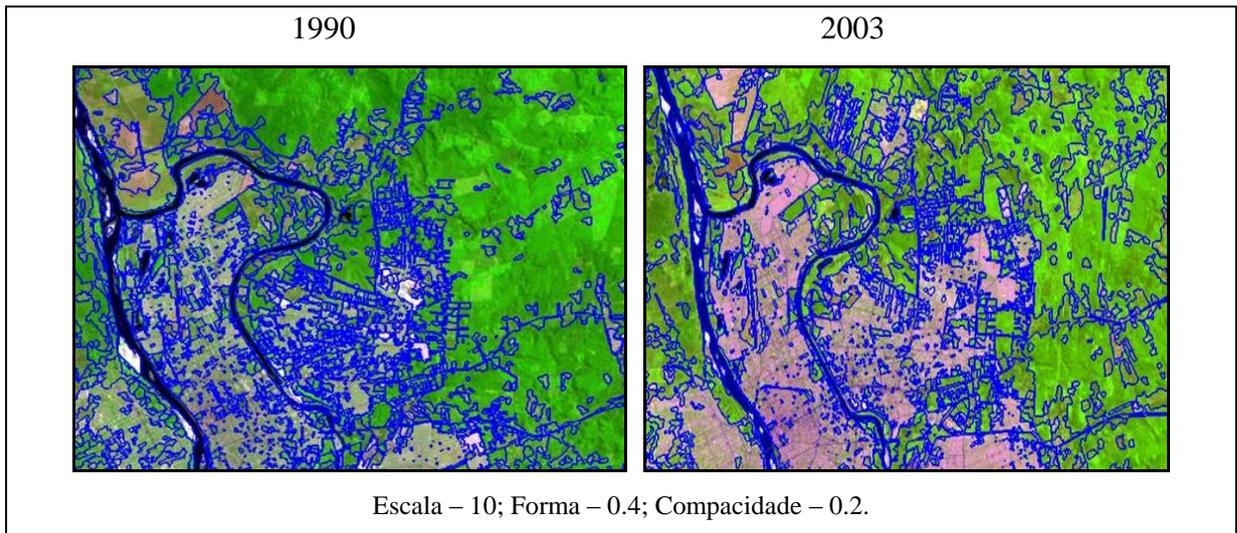


Figura 1. Resultado do processo de segmentação das imagens Landsat5 TM de 1990 e 2003. Teresina, Piauí, Brasil

Foi elaborado um modelo preliminar de conhecimento, após a identificação das classes. A tabela 1 mostra as regras de decisão para classificação definidas neste modelo. A classe *Água* foi separada primeiramente, através do algoritmo *Classification*, onde utilizou-se as características brilho menor que 50 (curva decrescente) e média da banda 4, entre 0 e 43. Depois, os demais objetos da cena não classificados foram definidos como a classe *Não água*. Além dos parâmetros acima citados, para separar a classe *Água* também foi utilizado a relação de bordas com objetos vizinhos (*Rel. border to*) através do algoritmo *Assing class*, que trata da relação de classes entre segmentos contidos no mesmo nível na hierarquia do segmento. Este parâmetro foi utilizado porque algumas áreas do rio Parnaíba não foram classificadas adequadamente por apresentarem assoreamento.

Posteriormente, todos os objetos da classe *Não água* foram separados em duas novas classes: *Vegetação e Área antropizada*. Para separar a classe *Vegetação* foi utilizado a razão das bandas 4 e 3. A classe *Vegetação* deu origem às classes de *Vegetação densa e Vegetação rasteira*. Estas foram discriminadas por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) que permitiu minimizar a

confusão espectral decorrente de efeitos de sombreamento. O NDVI é calculado através da razão entre a diferença das bandas do infravermelho e do vermelho e a soma dessas duas.^{22,23}

Já a classe *Área antropizada* deu origem às classes *Urbana densa*, *Urbana verde* e *Solo exposto*. Estas foram separadas por diferentes limiares da banda 3. A banda 3 foi escolhida por apresentar maior sensibilidade em diferenciar as áreas cobertas por vegetação das áreas de solos expostos, estradas e áreas urbanas.²⁴ Da mesma forma que na classe *Água*, o parâmetro de relação de bordas com objetos vizinhos (*Rel. border to*) foi utilizado para melhor distinguir a classe *Solo exposto*. Estas regras serviram de base para a elaboração da rede semântica no *Definiens Developer*. Na representação da rede semântica (Figura 2) as classes herdam atributos e comportamentos das superclasses (*Água*, *Não água*, *Área antropizada* e *Vegetação*) que as contém.

Tabela 1 – Classes ambientais (temáticas) e regras de decisão

CLASSES	REGRAS DE DECISÃO
Água	Baixo brilho Média Banda 4 Relação de bordas com objetos vizinhos (<i>Rel. border to</i>)
Vegetação	B4/B3 Alto Não água
Vegetação densa	NDVI Alto Não água
Vegetação rasteira	NDVI Baixo Não vegetação densa Não água
Área urbana densa	Média Banda 3 Média Não água
Área urbana verde	Média Banda 3 Baixa Não água
Solo exposto	Média Banda 3 Alta Não água Relação de bordas com objetos vizinhos (<i>Rel. border to</i>)

Para classificar as imagens, o *Definiens Developer* possui alguns algoritmos, dentre eles o vizinho mais próximo (*nearest neighbor*), as funções *fuzzy* de pertinência (*fuzzy membership functions*) e as funções de lógica booleana (*threshold expressions*).²⁵ Neste trabalho foram utilizadas as funções de lógica *fuzzy* e booleana. As regras de decisão com os

parâmetros utilizados para segmentar e classificar a imagem do período de 1990 foram aplicadas à imagem de 2003, com alguns ajustes apenas no limiar desses parâmetros.

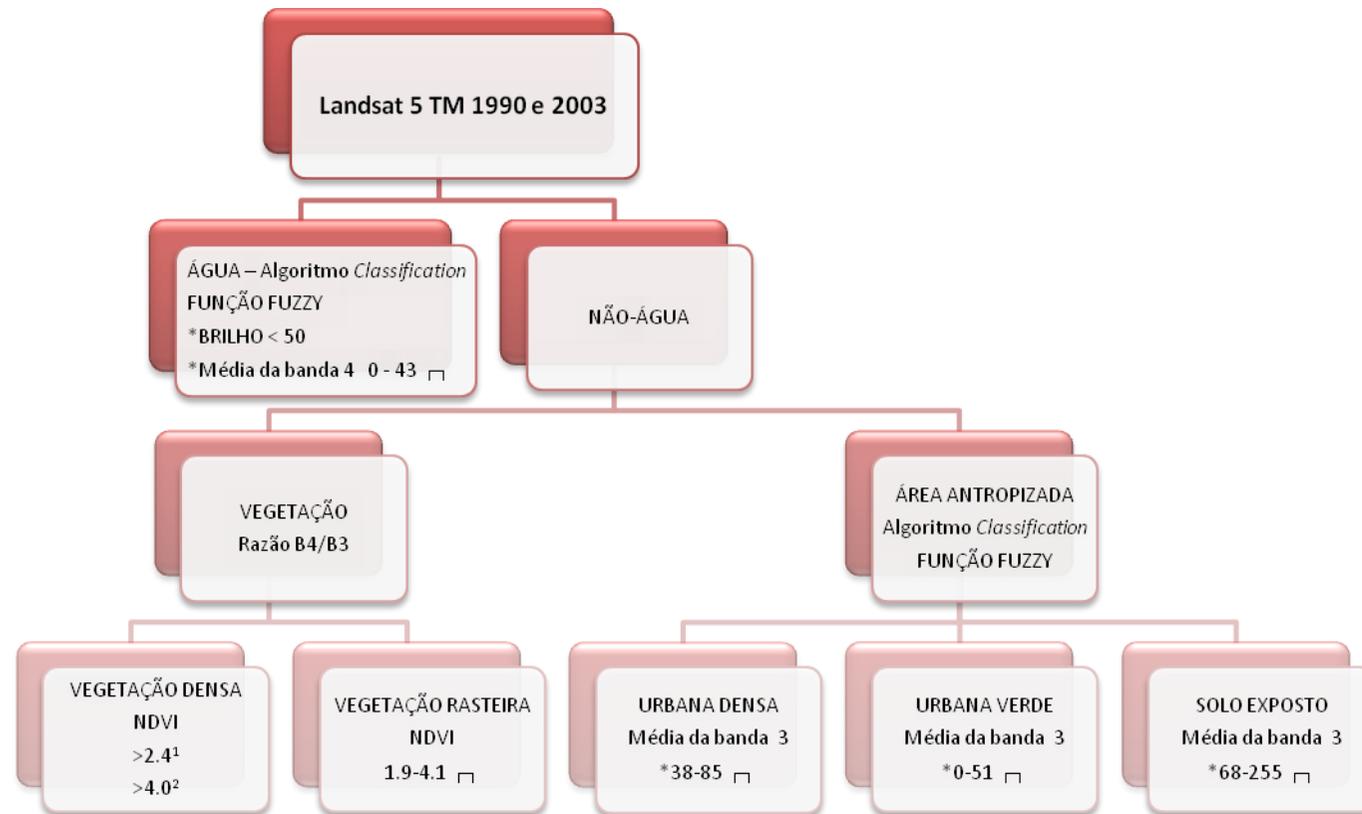
Como todo processo de classificação está sujeito a erros foi realizado um procedimento para avaliação da acurácia do mapeamento, o que permitiu quantificá-los.²⁶ Assim, para a avaliação da acurácia do mapeamento, pontos de referência foram coletados sobre a área estudada para cada classe analisada e comparados com a verdade terrestre, auxiliado pelo uso do Google Earth.

Dessa forma, foram calculadas as matrizes de confusão ou de erros, que mostram o percentual de objetos que foram mapeados de forma correta e errada para ambas as imagens.²⁷ A matriz de erros consiste em um método efetivo para conferir tanto os erros de inclusão, quanto aos erros de exclusão presentes em uma classificação. Estes erros de inclusão ou exclusão podem ser computados baseando-se nas medidas relacionadas à acurácia global, acurácia do produtor e acurácia do usuário.²⁷

Os valores *Hellden* e *Short* são usados para compensar a diferença de interesse entre os valores do usuário e do produtor, assim, quando pelo menos um dos dois (usuário e produtor) é baixo tornam-se pequenos. O coeficiente *Hellden* representa uma visão otimista da interação entre os valores do usuário e do produtor enquanto o coeficiente *Short* considera uma visão pessimista.^{28,29}

Outra forma de verificar a acurácia de uma classificação com base em uma matriz de erros é através do coeficiente *Kappa*. O coeficiente *Kappa* foi utilizado para mensurar a concordância das classificações utilizando amostras teste que foram coletadas das imagens originais do sensor. Este coeficiente mensura o grau de concordância corrigida pela concordância esperada pelo acaso.³⁰ Utilizou-se para a interpretação dos valores de *kappa*, os critérios de Landis & Koch: concordância pobre (abaixo de 0); discreta (0-0,20); razoável (0,21-0,40); moderada (0,41-0,60); substancial (0,61-0,80) e quase perfeita (0,81-1,00).³¹ Ressalta-se que o coeficiente *Kappa* foi utilizado neste estudo para avaliar a acurácia temática por ser mais sensível às variações de erros de omissão e inclusão.³²

Figura 2 - Rede Semântica utilizada para classificação das imagens de Landsat 5 TM do período de 1990 e 2003. Teresina, Piauí, Brasil



* Os limiares apresentados em cada classe representam a amplitude utilizada para a classificação das duas imagens de Landsat 5 TM (1990 e 2003).

¹valores usados na cena 1990; ² valores usados na cena 2003

Os indicadores ambientais para ambos os períodos analisados foram construídos através do cálculo da proporção de cada classe temática definida para cada setor censitário, após a sobreposição das malhas digitais dos SC de 1991 e 2000. Este cálculo foi feito através do programa LEGAL no SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE) e incorporado ao banco de dados em seis colunas, uma para cada classe temática. (ANEXO)

Para avaliação do crescimento urbano foi realizado o mapeamento dos indicadores ambientais *Urbana densa* e *Urbana verde* extraídos da classificação das cenas de Landsat 5 TM, dos períodos de 1990 e 2003. Dessa forma, foram geradas a partir dos mapeamentos obtidos das imagens, duas figuras identificando as áreas de expansão entre 1990 e 2003, buscando através desta representação espacial facilitar a análise da expansão urbana de Teresina.

Análise estatística

As incidências anuais médias da LV nos períodos de 1993-1996 e 2001-2006 foram correlacionadas com os indicadores ambientais obtidos através do processamento das imagens de satélite por meio do coeficiente de correlação de Spearman usando o aplicativo Splus. A apreciação destas correlações tem o intuito de contribuir para a avaliação da adequação da classificação, na medida em que espera-se um certo comportamento destas correlações de forma a corroborar o conhecimento estabelecido sobre os padrões de ocorrência da doença. Neste sentido, o encontro de associações previstas ou em consonância com resultados anteriormente descritos reforçaria a validade do processo de classificação.³³ Dessa forma, com o conhecimento a priori do ciclo de transmissão da LV espera-se, por exemplo, encontrar correlações positivas com áreas de maior cobertura vegetal e negativas com áreas mais urbanizadas.

RESULTADOS

A figura 3 mostra o resultado da classificação orientada a objeto nos dois anos analisados (1990 e 2003).

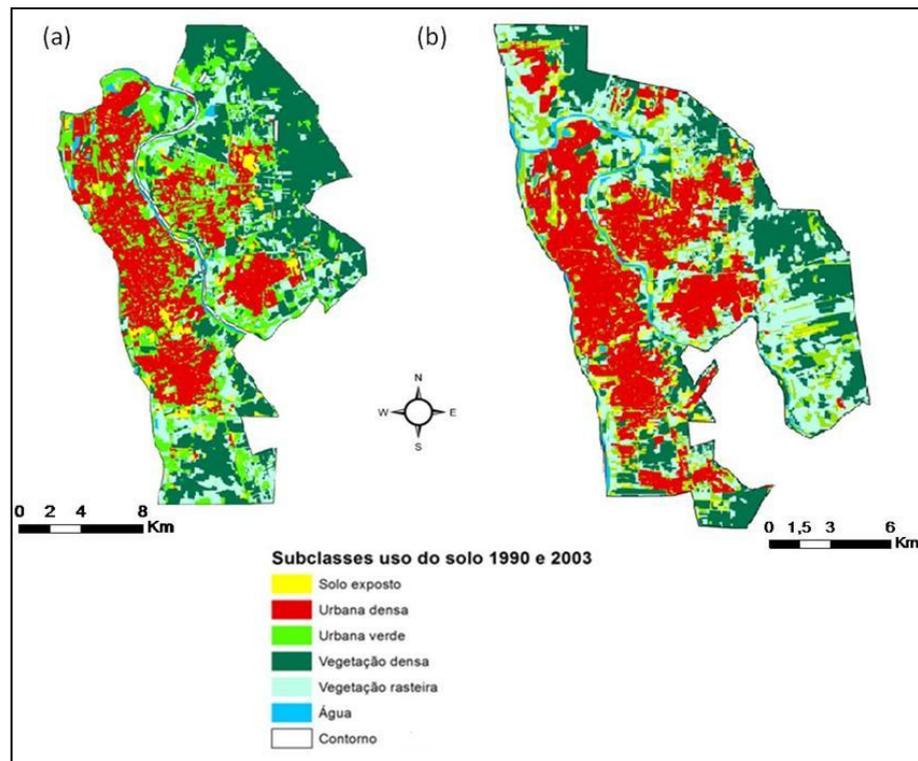


Figura 3 - Mapa temático da cobertura do solo do município de Teresina, derivado do processamento das imagens Landsat 5 TM, referentes aos anos de 1990 (a) e 2003 (b). Piauí, Brasil

A tabela 2 e 3 mostram as matrizes de erros e os índices de acurácia da classificação das imagens de 1990 e 2003, respectivamente. Os resultados indicam bom desempenho da classificação, na medida em que há poucas situações de classificação fora da diagonal da matriz de erros. Os índices de acurácia foram altos, maiores que 90%, indicando que a separação entre as classes temáticas foi altamente satisfatória para as imagens de Landsat 5 TM utilizadas na análise (Tabela 2 e 3). Cabe ressaltar que, as classes *Água*, *Vegetação densa* e *Vegetação rasteira* na imagem de 1990 (Tabela 2) e as classes *Vegetação densa*, *Urbana densa* e *Solo exposto* na imagem de 2003 tiveram 100% de acerto na classificação. Os erros do usuário e do produtor foram satisfatórios em ambas as imagens classificadas, assim como os valores de *Hellden* e *Short*.

A figura 4 (a) e (b) mostram respectivamente, a expansão urbana em 2003 para a periferia da cidade e áreas com residências esparsas em locais com alguma vegetação ("classe *Urbana verde*"). Apesar da expansão da área "*Urbana verde*" em 2003, ressalta-se que na análise quantitativa desse indicador houve uma redução do território ocupado com algum tipo de cobertura vegetal quando comparado ao período anterior (dados não apresentados). Em 1990 eram mais de 39Km de áreas com residências esparsas com algum tipo de cobertura

vegetal, enquanto que em 2003 foi um pouco mais de 35Km, ou seja, uma diferença de quase 4Km a menos. Já para o indicador de área "*Urbana densa*", nota-se uma expansão do território de aproximadamente 38Km. Esse cenário pode ser observado mais claramente na figura 4 (d), onde o indicador "*Urbana densa*" em 2003 se sobrepõe às áreas com residências esparsas e alguma vegetação. A figura 4 (c) mostra a sobreposição da área *Urbana verde* e *Urbana densa* em 1990. Na figura 5, observa-se um padrão de expansão do território urbano para áreas cobertas por vegetação densa em 1990 e para áreas com residências esparsas com algum tipo de cobertura vegetal.

Na análise da correlação da incidência da LV de 1993-1996 com os indicadores ambientais extraídos da imagem de satélite de 1990 verificou-se que três indicadores apresentam correlação positiva (*Vegetação densa*, *Vegetação rasteira* e *Solo exposto*) e dois negativa (*Água* e *Urbana densa*), todos estatisticamente significantes (Tabela 4). No período seguinte, além dos indicadores *Vegetação densa* e *Vegetação rasteira* e *Solo exposto*, o indicador *Urbana densa* também apresenta correlação positiva com a incidência de LV. E apenas o indicador *Urbana verde* apresentam correlação negativa com a doença (Tabela 5).

Outras correlações, estatisticamente significante ($p < 0,01$) podem ser observadas na tabela 4, como as obtidas entre os indicadores ambientais extraídos da imagem de 1990. Os indicadores *Vegetação rasteira* apresenta correlação positiva com o indicador *Vegetação densa*, apontando que existem áreas onde há maior proporção de ambos os indicadores. O indicador *Urbana verde* apresenta correlação inversa com os indicadores *Vegetação densa*, *Vegetação rasteira* e *Urbana densa*. Essa situação indica que onde há maior proporção de área urbana com muita vegetação, não há maiores proporções de áreas com vegetação densa, rasteira e urbana densa. E o indicador *Solo exposto* apresenta correlação positiva tanto com *Vegetação rasteira* quanto com *Vegetação densa* e inversa com o indicador *Urbana verde*.

Na tabela 5, observa-se um número maior de correlações estatisticamente significante ($p < 0,01$) entre os indicadores ambientais obtidos da imagem de 2003. Destaca-se as correlações positivas entre os indicadores *Água* e *Vegetação densa* com o indicador *Vegetação rasteira*. O indicador *Urbana densa* apresenta correlação positiva com *Vegetação densa* e inversa com *Água*. Essa situação corrobora com o conhecimento estabelecido sobre os padrões de ocorrência da LV, ou seja, a expansão urbana para áreas com maior cobertura vegetal. Já o indicador *Urbana verde* correlações inversas com os indicadores *Água*, *Vegetação densa*, *Vegetação rasteira* e *Urbana densa*. E por último *Solo exposto* que apresenta correlação com *Vegetação densa*, *Vegetação rasteira* e *Urbana verde*.

Tabela 2. Resultado da avaliação da classificação da imagem Landsat5 TM de 1990, no município de Teresina, Piauí, Brasil

Classes / Amostras	Água	Vegetação densa	Vegetação rasteira	Urbana densa	Urbana verde	Solo exposto	Não classificada	Soma
Matriz de Erros								
Água	17	0	0	0	0	0	0	17
Vegetação densa	0	29	0	0	0	0	0	29
Vegetação rasteira	0	0	23	0	0	0	0	23
Urbana densa	0	0	0	44	1	2	0	47
Urbana verde	0	0	0	0	23	0	0	23
Solo exposto	0	0	0	2	0	26	0	28
Não classificada	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	17	29	23	46	24	28	0	167
Índices de acurácia								
Produtor	1	1	1	0.96	0.96	0.93		
Usuário	1	1	1	0.94	1	0.93		
<i>Hellden</i>	1	1	1	0.95	0.98	0.93		
<i>Short</i>	1	1	1	0.90	0.96	0.87		
<i>Kappa por classe</i>	1	1	1	0.94	0.95	0.91		
Acurácia global	0.97							
<i>Kappa</i>	0.96							

Tabela 3. Resultado da avaliação da classificação da imagem Landsat5 TM de 2003, no município de Teresina, Piauí, Brasil

Classes / Amostras	Água	Vegetação densa	Vegetação rasteira	Urbana densa	Urbana verde	Solo exposto	Não classificada	Soma
Matriz de Erros								
Água	17	0	0	0	0	0	0	17
Vegetação densa	0	29	2	0	0	0	0	31
Vegetação rasteira	1	0	24	0	0	0	0	25
Urbana densa	0	0	0	38	1	0	0	39
Urbana verde	0	0	0	0	30	0	0	30
Solo exposto	0	0	0	0	0	33	0	33
Não classificada	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	18	29	26	38	31	33	0	175
Índices de acurácia								
Produtor	0.94	1	0.92	1	0.97	1		
Usuário	1	0.93	0.96	0.97	1	1		
<i>Hellden</i>	0.97	0.97	0.94	0.99	0.98	1		
<i>Short</i>	0.94	0.93	0.89	0.97	0.97	1		
<i>Kappa por classe</i>	0.94	1	0.91	1	0.96	1		
Acurácia global	0.98							
<i>Kappa</i>	0.97							

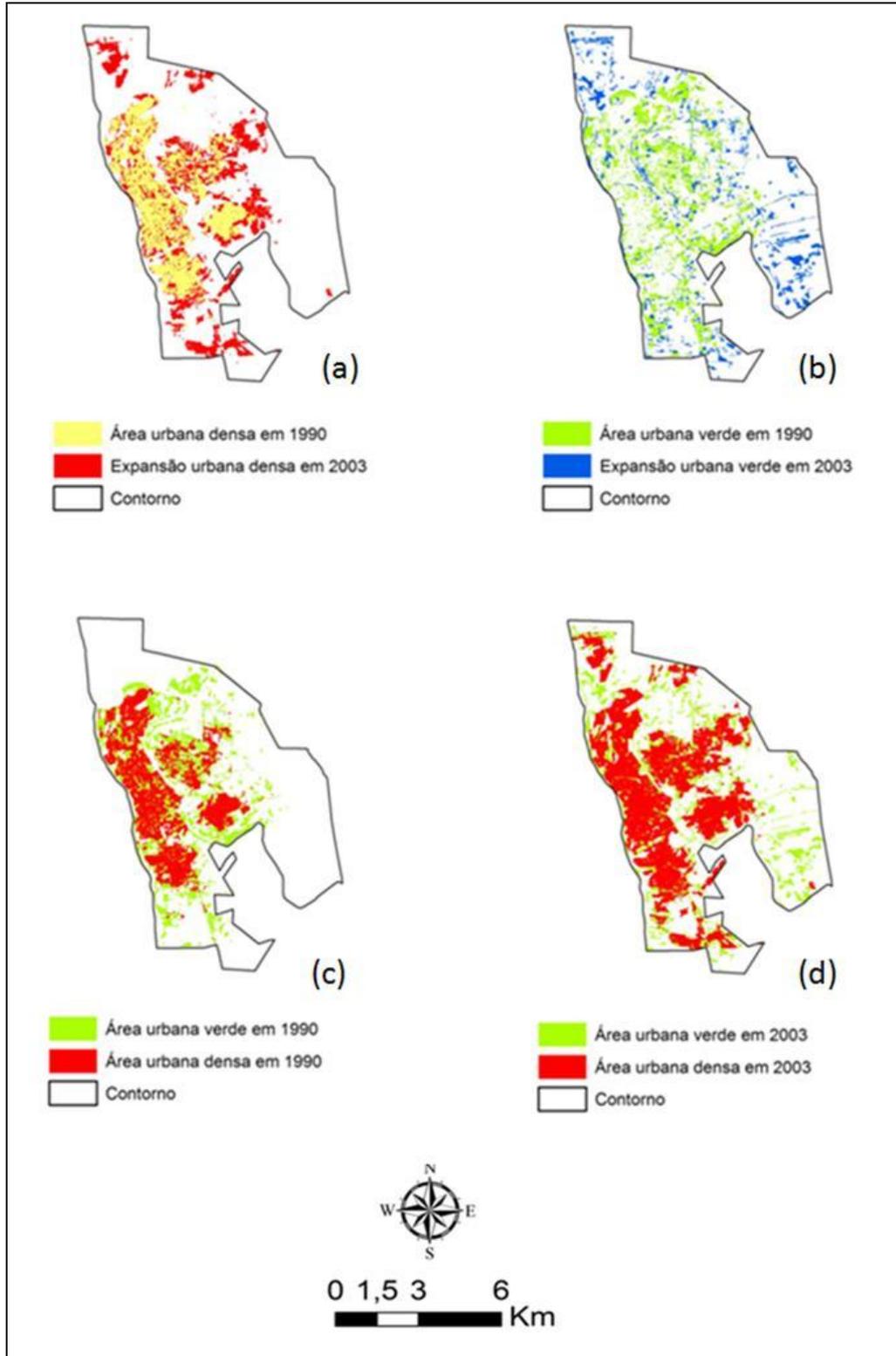


Figura 4. Mapas temáticos da classificação dos indicadores ambientais "*Urbana densa e Urbana verde*" referentes aos anos de 1990 e 2003. Teresina, Piauí, Brasil

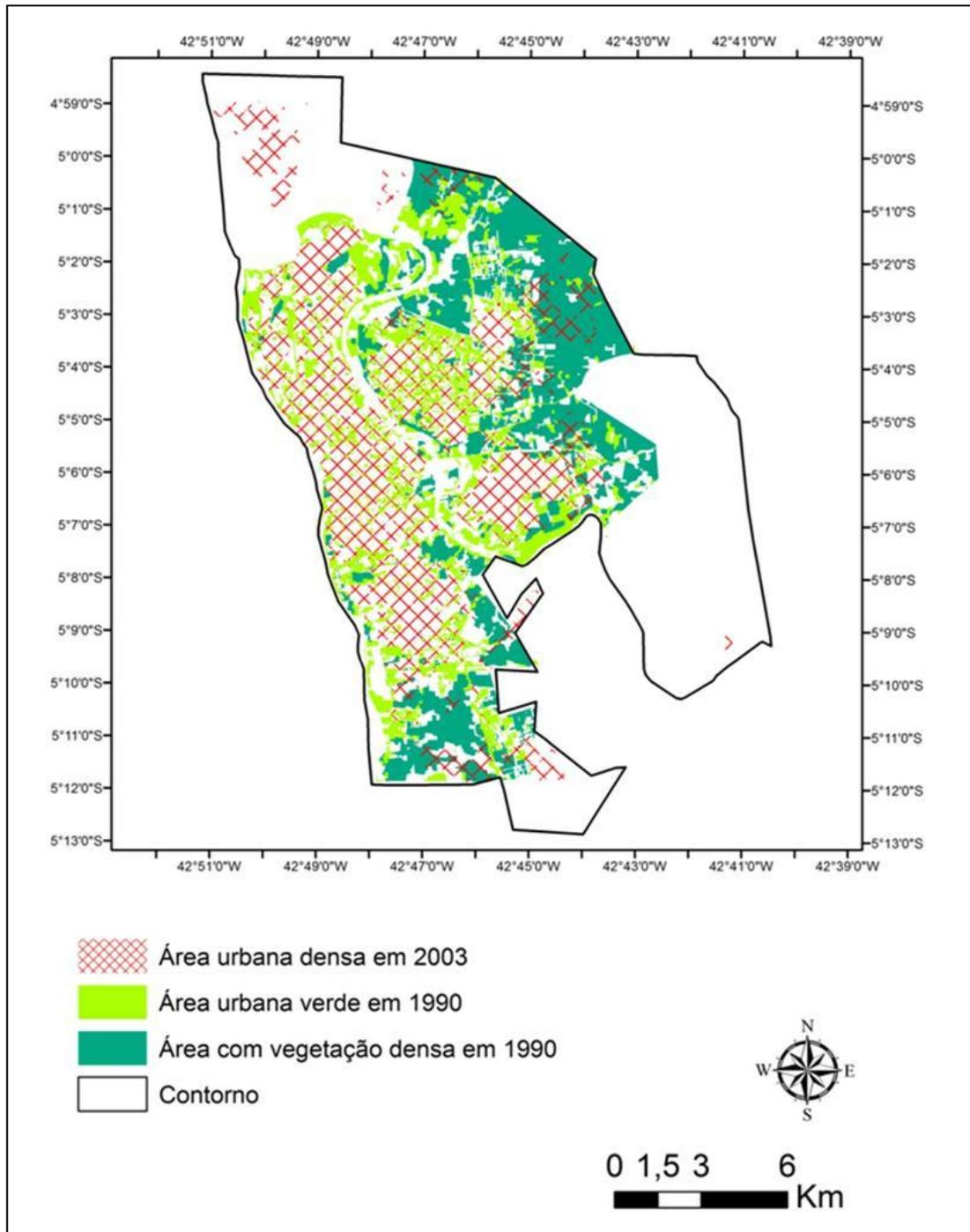


Figura 5. Mapa temático da expansão da área "Urbana densa" em 2003 para área "Urbana verde" em 1990 e com "Vegetação verde" em 1990. Teresina, Piauí, Brasil

Tabela 4. Matriz de correlação da incidência da LV do período de 1993-1996 e indicadores ambientais extraídos da imagem de satélite Landsat 5 TM de 1990 - Coeficiente de Spearman's.
Teresina, Piauí, Brasil

	Incidência	Água	Vegetação densa	Vegetação rasteira	Urbana densa	Urbana verde	Solo exposto
Incidência	1.00						
p valor							
Água	-0.102*	1.00					
p valor	0.035						
Vegetação densa	0.236**	-0.015	1.00				
p valor	0.000	0.754					
Vegetação rasteira	0.135**	0.075	0.577**	1.00			
p valor	0.005	0.119	0.000				
Urbana densa	-0.118*	-0.012	0.011	0.079	1.00		
p valor	0.014	0.802	0.817	0.103			
Urbana verde	-0.016	-0.083	-0.344**	-0.414**	-0.774**	1.00	
p valor	0.742	0.087	0.000	0.000	0.000		
Solo exposto	0.113*	-0.024	0.276**	0.267**	0.018	-0.250**	1.00
p valor	0.019	0.615	0.000	0.000	0.716	0.000	

* p < 0.05 **p < 0.01

Tabela 5. Matriz de correlação da incidência da LV do período de 2001-2006 e indicadores ambientais extraídos da imagem de satélite Landsat 5 TM de 2003 - Coeficiente de Spearman's.
Teresina, Piauí, Brasil

	Incidência	Água	Vegetação densa	Vegetação rasteira	Urbana densa	Urbana verde	Solo exposto
Incidência	1.00						
p valor							
Água	-0.024	1.00					
p valor	0.538						
Vegetação densa	0.174**	0.085*	1.00				
p valor	0.000	0.029					
Vegetação rasteira	0.142**	0.175**	0.498**	1.00			
p valor	0.000	0.000	0.000				
Urbana densa	0.178**	-0.084*	0.128**	0.057	1.00		
p valor	0.000	0.033	0.001	0.147			
Urbana verde	-0.209**	-0.109**	-0.369**	-0.424**	-0.432**	1.00	
p valor	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000		
Solo exposto	0.142**	0.038	0.272**	0.274**	0.009	-0.657**	1.00
p valor	0.000	0.329	0.000	0.000	0.818	0.000	

* p < 0.05 **p < 0.01

DISCUSSÃO

A classificação orientada a objetos apresenta-se como uma ferramenta potencialmente mais efetiva do que os métodos de classificação tradicionais para explorar os usos potenciais das imagens de satélite, em virtude da utilização de objetos como unidade de análise e processamento, e da possibilidade de inserção do conhecimento para a melhoria da classificação através da rede semântica e do uso dos descritores dos objetos aliado à lógica *fuzzy*.¹³ Contudo, ainda há muito para avançar em relação aos tipos de atributos que podem ser utilizados para se caracterizar classes de cobertura do solo em áreas urbanas.¹⁴

Cabe ressaltar que, os resultados obtidos neste estudo indicam que o método orientado a objeto produziu mapas de cobertura do solo urbano com boa acurácia temática para os períodos analisados. A acurácia temática refere-se à precisão da classificação das diferentes categorias que compõem um mapa.^{34,35} Além disso, a classificação mostrou bom desempenho em termos de confiabilidade, conforme demonstrado pelos altos valores dos coeficientes *Kappa* obtidos na classificação das duas imagens.

Outro aspecto importante deste estudo foi a aplicação do mesmo conjunto de regras (descritores) às imagens de períodos distintos, ainda que tenha sido necessário calibrar os parâmetros para a imagem de 2003. O uso de um mesmo procedimento em diferentes imagens permite alcançar maior potencial para a comparação temporal visando identificar modificações ambientais que podem estar relacionadas à ocorrência de doenças endêmicas. Ainda assim, os processos de segmentação e de descrição de classe têm de ser adaptados para cada imagem e estudo, mesmo que o fluxo de trabalho de classificação permaneça o mesmo.³⁶ Também, a rede proposta deve ser aperfeiçoada, inserindo-se novas classes temáticas e validando-a por meio de sua reaplicação em outras áreas.

Os resultados da correlação entre indicadores ambientais e incidência da LV em Teresina corrobora ainda mais a adequação do processo de classificação de imagens, na medida em que demonstram as já esperadas relações entre estrutura urbana e o contexto ambiental que favorecem a transmissão da LV em meio urbano. O indicador de área *Urbana densa* mostra que há um processo de expansão urbana em direção à periferia da cidade, local com maior cobertura vegetal. Esta situação tem criado cenários favoráveis para a reprodução do vetor *Lutzomyia longipalpis*, já que este se adapta facilmente as condições de áreas depauperadas, explorando o acúmulo de matéria orgânica gerada por animais domésticos e más-condições sanitárias.^{8,9} Além disso, alguns estudos apontam que domicílios localizados em regiões com maior cobertura vegetal, e com elevada densidade populacional contribuem

de forma favorável para altas taxas de incidência de LV. Isso significa que quanto maior a proximidade com as florestas, maior também será o número de flebotomíneos nos domicílios, o que torna o risco do indivíduo ser picado mais alto e conseqüentemente maior será a probabilidade de adquirir a infecção por leishmania.^{37,5}

Estudos realizados através do uso de imagens de média resolução espacial, com métodos tradicionais foram capazes de identificar alguns elementos relativos à cobertura vegetal, ao uso do solo e a padrões de ocupação urbana associados ao risco de LV^{37,4,38,5} mas as dificuldades e limitações destas imagens para caracterizar adequadamente as feições mais locais que determinam o padrão de transmissão e ocorrência da LV no meio urbano são evidentes.⁴ Contudo, a aplicação da classificação orientada a objeto às imagens de média resolução espacial, pode apresentar melhor resultado do que os métodos tradicionais, já que incluem atributos de textura, forma, entre outros, assim como, a definição de funções de lógica *fuzzy* no tratamento de incertezas.^{13,39}

Ressalta-se que a estruturação da rede hierárquica de classes temáticas é importante no processo de classificação de imagens, já que através dela é possível estabelecer relações importantes entre objetos de níveis distintos, facilitando a separação de classes. Além disso, as informações temáticas auxiliam no processo de segmentação e classificação. Dessa forma, o uso de informações vetoriais como polígonos de municípios, bairros, localidade, setores censitários, entre outras unidades de análise é fundamental na definição do limite dos objetos e principalmente na caracterização de classes, como por exemplo, as vias.

Apesar de considerar todas as dificuldades para compreender o espaço geográfico, a possibilidade de utilização do sensoriamento remoto^{40,41}, bem como, a aplicação de metodologia de classificação orientada a objeto, nos traz novas perspectivas de análises geográficas para doenças e/ou agravos em saúde.

REFERÊNCIAS

1. Saraiva MGG, Amorim RDS, Moura MAS, Martinez-Espinosa FE, Barbosa MG. Expansão urbana e distribuição espacial da malária no município de Manaus, Estado do Amazonas. Rev Soc Bras Med Trop 2009; 42(5):515-22.
2. Kawa H, Sabroza PC, Oliveira RM, Barcellos C. A produção do lugar de transmissão da leishmaniose tegumentar: o caso da Localidade Pau da Fome na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Cad Saúde Pública 2010; 26(8):1495-1507.

3. Aparicio C, Bitencourt MD. Modelagem espacial de zonas de risco da leishmaniose tegumentar americana. *Rev Saúde Pública* 2004; 38(4):511-516.
4. Correia VRM, Monteiro AM, Carvalho MS, Werneck GL. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. *Cad Saúde Pública* 2007; 23:1015-28.
5. Cerbino Neto J, Werneck GL, Costa CHN. Factors associated with the incidence of urban visceral leishmaniasis: an ecological study in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública* 2009; 25: 1543-51.
6. Hugh-Jones M. Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and disease vectors. *Parasitol Today* 1989; 5:244-51.
7. Correia VRM, Carvalho MS, Sabroza PC, Vasconcelos CH. Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2004; 20:891-904.
8. Aguiar GM, Medeiros WM, De Marco TS, Santos SC, Gambardella S. Ecologia dos flebotomíneos da Serra do Mar, Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. I - A fauna flebotomínica e prevalência pelo local e tipo de captura (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae). *Cad Saúde Pública* 1996; 12:195-206.
9. Rangel EF, Vilela ML. *Lutzomyia longipalpis* (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2008; 24: 2948-52.
10. Werneck GL. Geographic spread of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2010; 26:644-5.
11. Souza IM, Pereira MN, Kurkdjian MLNO. Avaliação de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial para estimativa de população urbana. São José dos Campos: INPE, fev. 2002. 11 p. (INPE- 8885-PRE/4663/B).
12. Pinho CMD. Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP. São José dos Campos. 179 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, 2005.
13. Bernardes T, Fonseca LMG, Moreira MA, Camargo FF. Estruturação de redes semânticas na classificação orientada a objeto de imagens orbitais para mapeamento de áreas cafeeiras. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6789-6796.
14. Pinho CMD, Kux HJH. Dados do Quickbird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, Município de São José dos Campos, SP, Brasil. Anais XI Simpósio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Santiago, Chile, 22-26 novembro 2004, SELPER.

15. Bhaskaran S, Paramananda S, Ramnarayan M. Per-pixel and object-oriented classification methods for mapping urban features using Ikonos satellite data. *Applied Geography* 2010; 30(4):650-665.
16. Costa CHN, Pereira HF, Araújo MV. Epidemia de leishmaniose visceral no estado do Piauí, Brasil, 1980-1986. *Rev. Saúde Públ.* 1990; 24: 361-72.
17. Shryock HS, Siegel JS. *The Methods and Materials of Demography*. Academic Press, San Diego, CA; 1976.
18. Kleinbaum DG, Kupper LL, Morgenstern H. *Epidemiologic Research: Principles and Quantitative Methods*. New York: Van Nostrand Reinhold; 1982.
19. Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference build-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int J Remote Sens.* 2003; 24(17):583-94.
20. Pinho CMD, Feitosa FF, Kux HJH. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. (SBSR) 12, 2005. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos p. 4217 - 4224. CD-ROM. ISBN 85-17- 00018-8.*
21. Baatz, M.; Schäpe, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl J, Blaschke T. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGITSymposium Salzburg . Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag 2000; p. 12–23.*
22. Freire NCF, Pacheco AP. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril 2005, INPE.*
23. Santiago MM, Silva AA, Galvincto JD, Oliveira TH. Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3003-9.*
24. Vicens RS, Barros RS, Senna CAP, Leal JAFR, Cruz CBM. Utilização de imagem Landsat-TM no levantamento do uso da terra e identificação de impactos ambientais na Bacia do rio Mazomba -RJ. *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 421-26.*
25. Flanders D, Hall-Beyer M, Pereverzoff J. Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Can J Remote Sensing* 2003; 29(4): 441-452.
26. Jensen JR. *Introductory digital image processing - A remote sensing perspective*. Prentice Hall: New Jersey, second edition, 1996.
27. Congalton R, Green K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton, Florida: CRC/Lewis Press 1999; 137 p.

28. Definiens Developer 7. 2007: User Guide. Germany. Disponível em: <<http://www.definiens.com>>.
29. Bhaskaran S. Improving classification accuracy of spectrally similar urban classes by using object-oriented classification techniques: A case study of New York City. ASPRS 2010 Annual Conference San Diego, California. April 26-30, 2010.
30. Fleiss JL. Statistical methods for rates and proportions. New York: J. Wiley; 1981.
31. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977; 33:159-74.
32. Cohen, J. A Coeficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Measurment*. Vol XX, No 1, p. 37-46, 1960.
33. Reichenheim ME, Moraes CL. Operacionalização de adaptação transcultural de instrumentos de aferição usados em epidemiologia. *Rev Saúde Pública* 2007; 41(4):665-73.
34. Lingnau C & Antunes AFB. Avaliação da acurácia de Mapas temáticos oriundos de classificação Digital de Imagens. In: IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1997, São Paulo: USP, 1997.
35. Bolfe EL, Pereira RS, Madruga PRA, Fonseca EL. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. *Rev. Árvore* 2004; 28(1):85-90.
36. Ribeiro BMG & Kux HJH. Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo – Métodos de Análise de Expansão Urbana. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE*, p. 7893-900.
37. Werneck GL, Maguire JH. Spatial modeling using mixed models: an ecologic study of visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Publica* 2002; 18:633-7.
38. Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH. Multilevel modelling of the incidence of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Epidemiol infect* 2007; 135:195-201.
39. Dias SO, Corte APD, Beppler M, Sanquetta CR. Análises temporais aplicadas à avaliação do desmatamento no município de Guaraqueçaba - PR. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE*, p. 5749-56.
40. Yang X. Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta Metropolitan Area. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 2002; 68(7):725-34.
41. Yang X. Remote sensing and GIS for urban analysis: an introduction. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 2003; 69(9):937-939.

8 CONCLUSÃO

Em áreas rurais do Brasil, a LV ocorre tipicamente em pequenos focos. Entretanto pouco se conhece sobre a distribuição espacial e temporal da LV em áreas urbanas, onde redes sociais, densidade populacional e as relações entre a habitação e o ambiente natural são mais complexas e estão em constantes transformações. Nesta Tese pode-se identificar padrões espaciais da ocorrência da LV em Teresina e detectar áreas de maior risco com base no uso de modelos preditivos, de abordagem espacial e do sensoriamento remoto.

Portanto, apesar de todas as dificuldades para compreender o espaço geográfico, a utilização do sensoriamento remoto, a aplicação da metodologia de classificação orientada a objeto e a abordagem espacial aplicada neste estudo, traz novas perspectivas de análises geográficas para LV, já que os dados se mostraram muito úteis quando analisados, possibilitando identificar espaços potenciais de transmissão onde, um conjunto de características ambientais, sociais e comportamentais permitiram ou inviabilizaram a manutenção da doença no território de Teresina.

Os resultados deste estudo revelam que a ocorrência da LV na periferia de Teresina está intensamente relacionada aos problemas socioeconômicos e ambientais, decorrente do processo de expansão urbana e das mudanças de habitat do vetor, em função do desequilíbrio ambiental causado pelos desmatamentos e ocupações de territórios com as piores condições de infraestrutura urbana.

Assim, espera-se que esta pesquisa não só contribua para melhorar a eficiência dos sistemas de vigilância epidemiológica da LV, através de medidas de controle direto da doença, otimizando custos, como também, que os resultados obtidos possam reforçar o uso de elementos espaciais na interpretação de estudos epidemiológicos de doenças infecciosas.

REFERÊNCIAS

1. Possas CA. Social ecosystem health: confronting the complexity and emergent of infectious diseases. *Cad Saúde Pública*. 2001; 17: 31-41.
2. Confalonieri UEC. Emergência de doenças infecciosas humanas: processos ecológicos e abordagens preditivas. *Oecologia Australis*. 2010; 14(3): 591-602.
3. Codeço CT, Coelho FC. Redes: um olhar sistêmico para a epidemiologia de doenças transmissíveis. *Ciênc saúde coletiva*. 2008; 13(6): 1767-74.
4. Werneck GL. Spatial approaches to study the epidemiology of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2000; 8: 93-5.
5. Herwaldt BL. Leishmaniasis. *Lancet*. 1999; 354: 1191-9.
6. Marzochi MCA, Coutinho SG, Souza WJ, Amendoeira MR. Leishmaniose Visceral (Calazar). *J Bras Med*. 1981; 41 (5): 61-84.
7. Marzochi MCA, Marzochi KBF. Tegumentary and visceral leishmaniasis in Brazil -- emerging anthroponosis and possibilities for their control. *Cad Saúde Pública*. 1994; 10 Suppl.2: 359-75.
8. Magill AJ. Epidemiology of the Leishmaniasis. *Dermatol Clinical*. 1995; 13(3) 505-23.
9. Rangel EF, Vilela ML. *Lutzomyia longipalpis* (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2008; 24(12): 2948-52.
10. Deane LM. Leishmaniose Visceral no Brasil. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Educação Sanitária; 1956.
11. Silva JGD, Werneck GL, Cruz MSP, Costa CHN, Mendonça IL. Infecção natural de *Lutzomyia longipalpis* por *Leishmania* sp. em Teresina, Piauí, Brasil. *Cad Saúde Pública*. 2007; 23(7): 1715-20.
12. Nascimento MDSB, Costa JMI, Fiori BIP, Viana GMC, Filho MSG, Alvim AC et al. Aspectos epidemiológicos na manutenção da leishmaniose visceral no estado do Maranhão. *Rev Soc Bras Med Trop*. 1996; 29: 233-40.
13. Costa CHN, Gomes RBB, Maguire JH et al. Competence of the human host as a reservoir for *Leishmania chagasi*. *J Infect Dis*. 2000; 182: 997-1000.
14. Ministério da Saúde. Manual de vigilância e controle da Leishmaniose Visceral. Brasília, DF, 2006. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).
15. Alencar JE, Dietze R. Leishmaniose visceral (Calazar). In: Veronesi, R. Doenças infecciosas e parasitárias. 8ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1991.

16. Costa JML, Viana GMC, Saldanha ACR, Nascimento MDSB, Alvim AC, Burattini MN et al. Leishmaniose visceral no estado do Maranhão, Brasil: a evolução de uma epidemia. *Cad Saúde Pública*. 1995; 11(2): 321-24.
17. Penna HA. Leishmaniose visceral no Brasil. *Bras. Med.* 1934; 48: 949-50.
18. Marzochi MCA, Marzochi KBF, Schubach AO. Leishmaniose Visceral Americana. In: Cimerman B, Cimerman S editores. *Parasitologia humana e seus fundamentos gerais*. São Paulo: Atheneu; 2002.
19. Deane LM, Deane MP. Leishmaniose visceral urbana (no cão e no homem) em Sobral, Ceará. *O Hospital*. 1955; 47: 75-87.
20. Sabroza PC, Souza MA, Marzochi MCA Flebotomíneos na cidade do Rio de Janeiro. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical: Anais...; 14: 1978; João Pessoa; Congresso da Sociedade Brasileira de Parasitologia: Anais...; 3; 1978; João Pessoa. João Pessoa; 1978.
21. TDR. Research in Tropical Diseases; 2009. Disponível em: <<http://apps.who.int/tdr/svc/diseases/leishmaniasis>>.
22. Genaro O. Leishmaniose Visceral Americana. In: Neves DP editor. *Parasitologia Humana*. São Paulo: Atheneu; 1995.
23. Desjeux P. Leishmaniasis: current situation and new perspectives. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*. 2004; 27: 305-18.
24. World Health Organization. Making health research work for poor people. *Progress 2003-2004. Tropical Disease Research*: 18-23, 2005. Disponível em: <<http://www.who.int/tdr/publications/publications/pdf/pr17/pr17.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2008.
25. Gontijo CMF, Melo MN. Leishmaniose visceral no Brasil: quadro atual, desafios e perspectivas. *Rev. Bras. Epidemiol*. 2004; 7(3): 338-49.
26. Maguire JH. Leishmania: a parasite on the move. In: Scheld WM, Craig WA, Hughes JM. *Emerging infections 3*. Washington, DC: ASM Press; 1999.
27. Tesh RB, 1995. Control of zoonotic visceral leishmaniasis: is it time to change strategies? *Am J Trop Med Hyg*. 1995; 52: 287-92.
28. Gratz NG. Emerging and resurging vector-borne diseases. *Annu Rev Entomol*. 1999; 44: 51-75.
29. Maia-Elkhoury ANS, Alves WA, Sousa-Gomes ML, Sena JM, Luna EA. Visceral leishmaniasis in Brazil: trends and challenges. *Cad. Saúde Pública*. 2008; 24: 2941-47.
30. Costa CHN, Pereira HF, Araújo MV. Epidemia de leishmaniose visceral no estado do Piauí, Brasil, 1980-1986. *Rev. Saúde Públ*. 1990; 24: 361-72.

31. Jerônimo SM, Oliveira RM, Mckay S, Costa RM, Sweet J, Nascimento ET et al. An urban outbreak of visceral leishmaniasis in Natal, Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1994; 88:386-8.
32. Silva AR, Viana GMC, Varonil C, Pires B, Nascimento MDSD, Costa JML. Leishmaniose visceral (Calazar) na ilha de São Luís, Maranhão, Brasil: evolução e perspectivas. *Rev Soc Bras Med Trop.* 1997; 30: 359-68.
33. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde - Departamento de Vigilância Epidemiológica. Guia de vigilância epidemiológica. 6ª ed. Brasília, DF; 2005. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).
34. Mendes WS, Trovão JR, Silva AAM. Dinâmica de ocupação do espaço na cidade de São Luís e a leishmaniose visceral. *Cad Saúde Pública.* 2000; 16: 872.
35. Mendes WS, Silva AAM, Trovão JR, Silva AR, Costa JMLL. Expansão espacial da leishmaniose visceral americana em São Luis, Maranhão, Brasil. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 2002; 35: 227-31.
36. Bevilacqua PD, Paixão HH, Modena CM, Castro MCPS. Urbanização da leishmaniose visceral em Belo Horizonte. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 2001; 53(1): 1-8.
37. Oliveira ALL, Paniago AMM, Dorval MEC, Oshiro ET, Leal CR, Sanches M et al. Foco emergente de leishmaniose visceral em Mato Grosso do Sul. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2006; 39(5): 446-50.
38. Mestre GLC, Fontes CJF. A expansão da epidemia da leishmaniose visceral no Estado de Mato Grosso, 1998-2005. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2007; 40(1): 42-8.
39. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Guia de Vigilância Epidemiológica. Brasília: Ministério da Saúde; 2009.
40. Boletim Eletrônico Epidemiológico. Brasília, DF: Secretaria de Vigilância em Saúde/Ministério da Saúde; 2009; 9(1).
41. Werneck GL. Forum: geographic spread and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Introduction. *Cad Saúde Pública.* 2008; 24(12): 2937-40.
42. Werneck GL, Batista MSA, Gomes JRB, Costa DL e Costa CHN. Prognostic factors for death from visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Infection* 2003; 31(3): 174-7.
43. Seaman J, Mercer AJ, Sondorp HE, Herwaldt BL. Epidemic visceral leishmaniasis in southern Sudan: treatment of severely debilitated patients under wartime conditions and with limited resources. *Ann Intern Méd.* 1996; 124: 664-72.
44. Collin S, Davidson R, Ritmeijer K, Keus K, Melaku Y, Kipngetch S et al. Conflict and kala-azar: determinants of adverse outcomes of kala-azar among patients in southern Sudan. *Clin. Infect. Diseases.* 2004; 38: 612-19.

45. Alvar J, Canavate C, Gutierrez-Solar B, Jimenez M, Laguna F, Lopez-Velez R et al. Leishmania and human Immunodeficiency virus coinfection: the first 10 years. *Clin Microbiol Rev.* 1997; 10(2): 298- 319.
46. Moreno J, Canavate C, Chamizo C, Laguna F, Alvar J. HIV–*Leishmania infantum* co-infection: humoral and cellular immune responses to the parasite after chemotherapy. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2000; 94: 328-32.
47. Badaró R, Jones TC, Carvalho EM, Sampaio D, Reed SG, Barral A et al. New perspectives on a subclinical form of visceral leishmaniasis. *J. Inf. Dis.* 1986; 154:1003-11.
48. Ministério da Saúde. Doenças infecciosas e parasitárias: guia de bolso. 7ª ed. rev. Brasília, DF; 2008. (Série B. Textos Básicos de Saúde).
49. Alves WA, Bevilacqua PD. Reflexões sobre a qualidade do diagnóstico da leishmaniose visceral canina em inquéritos epidemiológicos: o caso da epidemia de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 1993-1997. *Cad. Saúde Pública.* 2004; 20(1): 259-65.
50. Duxbury RE, Saudun EH. Fluorescent antibody test for the serodiagnosis of visceral leishmaniasis. *Am J Trop Med Hyg.* 1964; 13: 525-9.
51. Cahill KM. Field technique in the diagnosis of calazar. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1970; 64(1): 107-10.
52. El-Amin ER, Wright EP, Abdel Rahman AM, Kolka A, Laarman JJ, Pondman KW. Serodiagnosis of Sudanese visceral and mucosal leishmaniasis: comparison of ELISA-immunofluorescence and indirect haemagglutination. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1986; 80: 271-4.
53. Burns JM Jr, Shreffler WG, Benson DR, Ghalib AW, Badaró R, Reed SG. Molecular characterization of a kinesin-related antigen of *Leishmania chagasi* that detects specific antibody in African and American visceral leishmaniasis. *Proc Natl Acad Sci.* 1993; 90(2): 775-9.
54. Badaró R, Benson D, Eulalio MC, Freire M, Cunha S, Netto EM et al. *rK39*: A cloned antigen of *Leishmania chagasi* that predicts active visceral leishmaniasis. *J Infect Dis* 1996; 173(3): 758-61.
55. Monteiro PS, Lacerda MN, Arias RR. Controle da leishmaniose visceral no Brasil. *Rev Soc Brás Med Trop.* 1994; 27 (Suppl 3): 67-2.
56. Barão SC, Camargo-Neves VLF, Resende MR, Silva LJ. Human Asymptomatic Infection in Visceral Leishmaniasis: A Seroprevalence Study in an Urban Area of Low Endemicity. Preliminary Results. *Am J Trop Med Hyg.* 2007; 77(6): 1051-53.
57. D'Oliveira A Jr, Costa S, Barbosa A, Orge M, Carvalho E. Asymptomatic *Leishmania chagasi* infection in relatives and neighbors of patients with visceral leishmaniasis. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 1997; 92: 15–20.

58. Caldas AJM, Costa JML, Silva AAM, Vinhas V, Barral A. Risk factors associated with asymptomatic infection by *Leishmania chagasi* in Northeast Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2002; 96: 21-8.
59. Costa CHN, Stewart JM, Gomes RBB, Garcez LM, Ramos PKS, Bozza M et al. Asymptomatic human carriers of *Leishmania chagasi*. *Am J Trop Hyg.* 2002; 66: 334-37.
60. Moreno EC, Melo MN, Antunes CMF, Lambertucci JR, Serufo JC, Andrade ASR et al. Epidemiologia da leishmaniose visceral humana assintomática em área urbana, Sabará, Minas Gerais, 1998-1999. *Inf Epidemiol Sus.* 2002; 11(1): 37-9.
61. Cerf BJ, Jones TC, Badaró R, Sampaio D, Texeira R, Jonhson Jr WD. Malnutrition as a risk factor for severe visceral leishmaniasis. *J Infect Dis.* 1987; 156: 1030-3.
62. Dye C, Williams BG. Malnutrition, age and the risk of parasitic disease: visceral leishmaniasis revisited. *Proc R Soc Lond.* 1993; 254: 33-9.
63. Boelaert M, El Safi S, Mousa H, Githure J, Mbatia P, Gurubacharya V et al. Multicenter evaluation of repeatability and reproducibility of the direct agglutination test for visceral leishmaniasis. *Trop Med Int Health.* 1999; 4: 31-7.
64. Schoone GJ, Hailu A, Kroon CC, Nieuwenhuys JL, Schalling HFDH, Oskam L. A fast agglutination screening test (FAST) for detection of anti-*Leishmania* antibodies. *Trans R S Trop Med Hyg.* 2001; 95: 400-1.
65. Lachaud L, Chabbert E, Dubessay P, Reynes J, Lamothe J, Bastien P. Comparison of various sample preparation methods for PCR diagnosis of visceral leishmaniasis using peripheral blood. *J Clin Microbiol.* 2001; 39: 613-7.
66. Disch J, Oliveira MC, Orsini M, Rabello A. Rapid clearance of circulating *Leishmania* kinetoplast DNA after treatment of visceral leishmaniasis. *Acta Trop.* 2004; 92(3): 279-83.
67. Rath S, Trivelin LA, Imbrunite TR, Tomazela DM, Jesús MN, Marzal PC. Antimoniais Empregados no Tratamento da Leishmaniose: Estado da Arte. *Quim. Nova.* 2003; 26(4): 550-5.
68. Sundar S, Rosenkaimer F, Makharia MK, Goyala K, Mandala K, Voss A et al. Trial of oral miltefosine for visceral leishmaniasis. *Lancet* 1998; 352: 1821-23.
69. Arias JR, Monteiro PS, Zicker F. The reemergence of visceral leishmaniasis in Brazil. *Emerg Infect Dis.* 1996; 2: 145-6.
70. Lacerda, M. The Brazilian leishmaniasis control program. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 1994; 89: 489-95.
71. Dye C. The logic of Visceral Leishmaniasis control. *Am J Trop Med Hyg.* 1996; 55: 125-30.

72. Burattini MN, Coutinho FAB, Lopez LF, Massad E. Modelling the dynamics of Leishmaniasis considering human, animal host and vector populations. *J Biol Syst.* 1998; 6: 337-56.
73. Costa CHN, Vieira JBF. Mudanças no da leishmaniose visceral no Brasil. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2001; 34(2): 223-28.
74. Thompson RA, Lima JWO, Maguire JH, Braud DH, Scholl DT. Climatic and demographic determinants of American visceral leishmaniasis in northeastern Brazil using remote sensing technology for environmental categorization of rain and region influences on leishmaniasis. *Am J Trop Med Hyg.* 2002; 67(6): 648-55.
75. Alencar JE. Expansão do calazar no Brasil. *Ceará Méd.* 1983; 5: 86-102.
76. Luz ZMP, Pimenta DN, Cabral AL, Fiuza VO, Rabello A. A urbanização das leishmanioses e a baixa resolutividade diagnóstica em municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2001; 34: 249-54.
77. Werneck GL, Pereira TJCF, Farias GC, Silva FO, Chaves FC, Gouvêa MV et al. Avaliação da efetividade das estratégias de controle da leishmaniose visceral na cidade de Teresina, Estado do Piauí, Brasil: resultados do inquérito inicial - 2004. . 2008; 17(2): 87-96.
78. Cerbino Neto J; Werneck GL, Costa CHN. Factors associated with the incidence of urban visceral leishmaniasis: an ecological study in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad. Saúde Pública.* 2009; 25(7): 1543-51.
79. Silva EA, Andreotti R, Honer MR. Comportamento de *Lutzomyia longipalpis*, vetor principal da leishmaniose visceral americana, em Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2007; 40(4): 420-25.
80. Nunes VLB, Galati EAB, Cardozo C, Rocca MEG, Andrade ARO, Santos MFC et al. Estudo de flebotomíneos (Diptera, Psychodidae) em área urbana do município de Bonito, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Rev Bras entomol.* 2008; 52(3): 446-51.
81. Silva ES, Gontijo CMF, Pacheco RS, Fiuza VOP, Brazil RP. Visceral leishmaniasis in the metropolitan region of Belo Horizonte, state of Minas Gerais, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2001; 96(3): 285-91.
82. Silva DF, Vasconcelos SD. A ten year (1990-1999) survey on leishmaniasis incidence in Pernambuco state, northeastern Brazil. *Rev patol trop.* 2002; 32: 51-61.
83. Queiroz MJA, Alves JGB, Correia JB. Visceral leishmaniasis: clinical and epidemiological features of children in an endemic area. *J pediatr.* 2004; 80: 141-6.
84. Pedrosa CMS, Rocha EMM. Aspectos clínicos e epidemiológicos da leishmaniose visceral em menores de 15 anos procedentes de Alagoas, Brasil. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2004; 37(4): 300-4.

85. Rabello A, Orsini M, Dish J. Leishmania/HIV co-infection in Brazil: an appraisal. *Ann Trop Med Parasitol.* 2003; 97(Suppl): 17-28.
86. Lopez Velez R, Perez Molina JA, Guerrero A. Clinicoepidemiologic characteristics, prognostic factors and survival analysis of patients coinfecting with human immunodeficiency virus and Leishmania in a area of Madrid, Spain. *Am J Trop Med Hygiene.* 1998; 58(4): 436-43.
87. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Centro Nacional de Epidemiologia (Brasil). Leishmaniose visceral no Brasil: situação atual, principais aspectos epidemiológicos, clínicos e medidas de controle. *Boletim Epidemiológico.* 2001; 6: 1-11.
88. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Programa Nacional de DST e AIDS. Manual de recomendações para diagnóstico, tratamento e acompanhamento da co-infecção Leishmania-HIV. Brasília, DF; 2004. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).
89. Franke CR, Ziller M, Staubach C, Latif M. Impact of El Niño/southern oscillation on visceral leishmaniasis, Brazil. *Emerg Infect Dis.* 2002; 8(9): 914-7.
90. Prefeitura Municipal de Teresina. Teresina: aspectos e características. Teresina: SEMPLAN; 1993.
91. Werneck GL, Costa CHN. Utilização de dados censitários em substituição a informações socioeconômicas obtidas no nível individual: uma avaliação empírica. *Epidemiologia e Serviços de Saúde.* 2005; 14:143-50.
92. Spielman A, James AA. Transmission of vector-borne disease. In: Warren KS, Mahmoud AAF, editors. *Tropical and geographical medicine.* 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1990. p. 146-59.
93. Aguiar GM, Medeiros WM, De Marco TS, Santos SC, Gambardella S. Ecologia dos flebotomíneos da Serra do Mar, Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. I - A fauna flebotomínica e prevalência pelo local e tipo de captura (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae). *Cad de Saúde Publica.* 1996; 12: 195-206.
94. Sherlock IA. Ecological interactions of visceral leishmaniasis in the State of Bahia, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 1996; 91: 671-83.
95. Barata RA, França-Silva JC, Costa RT, Fortes-Dias CL, Silva JC, Paulo EV et al. Phlebotomine sand flies in Porteirinha, an area of American visceral leishmaniasis transmission in the state of Minas Gerais, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2004; 99: 481-7.
96. Rebollar-Tellez EA, Reyes-Villanueva F, Fernandez-Salas I, Andrade-Narvaez FI. Population dynamics and biting rhythm of the anthropophilic sandfly *Lutzomyia cruciata* (Diptera: Psychodidae) in Southeast, Mexico. *Rev Inst Med Trop.* 1996; 38: 29-33.
97. Quinell RJ, Dye C. Correlates of the peridomestic abundance of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) in Amazonian Brazil. *Med Vet Entomol.* 1994; 8: 219-24.

98. Gubler DJ. Resurgent vector-borne diseases as a global health problem. *Emerg Infect Dis.* 1998; 4: 442-50.
99. Werneck GL, Rodrigues Jr L, Santos MV, Araújo IB, Moura LS, Lima SS et al. The burden of *Leishmania chagasi* infection during an urban outbreak of visceral leishmaniasis in Brazil. *Acta Trop.* 2002; 83: 13-8.
100. Costa CHN, Werneck GL, Rodrigues Jr L, Santos MV, Araújo IB, Moura LS et al. Household structure and urban services: neglected targets in the control of visceral leishmaniasis. *Ann Trop Med Parasitol.* 2005; 99: 229-36.
101. Ashford DA, David JR, Freire M, David R, Sherlock I, Eulalio MC, Sampaio DP, Badaró R, 1998. Studies on control of visceral leishmaniasis: impact of dog control on canine and human visceral leishmaniasis in Jacobina, Bahia, Brazil. *Am J Trop Med Hyg.* 1998; 59: 53-7.
102. Costa CHN, Pereira HF, Pereira FC, Tavares JP, Araújo MV, Gonçalves MJO. Is the household dog a risk factor for American visceral leishmaniasis? *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1999; 93(5): 464.
103. Dietze R, Barros GB, Teixeira L, Harris J, Michelson K, Falqueto A et al. Effect of eliminating seropositive canines on the transmission of visceral leishmaniasis in Brazil. *Clin Infect Dis.* 1997; 25(5): 1240-2.
104. Oliveira CL, Proietti FA. Leishmaniose Visceral canina como fator de risco para a leishmaniose visceral humana: o que sabemos e o que não sabemos. *Rev. Soc Bras Med Trop.* 2002; 35 Suppl III: 75-81.
105. Oliveira CL, Assunção RM, Proietti FA, Reis IA. Spatial distribution of human and canine visceral leishmaniasis in Belo Horizonte, 1994-1997. *Cad Saúde Pública.* 2001; 17: 1231-39.
106. Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH. Multilevel modelling of the incidence of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Epidemiol Infect.* 2007; 135: 195-201.
107. Margonari C, Freitas CR, Ribeiro RC, Moura ACM, Timbó M, Gripp AH, Pessanha JE, Dias ES. Epidemiology of visceral leishmaniasis through spatial analysis, in Belo Horizonte municipality, state of Minas Gerais, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2006; 101(1): 31-8.
108. Costa CHN, Tapety CMM, Werneck GL. Controle da leishmaniose visceral em meio urbano: estudo de intervenção randomizado fatorial. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2007; 40(4): 415-19.
109. Cressie N. *Statistics for spatial data.* Chichester: J. Wiley; 1991.
110. Souza-Santos R, Carvalho MS. Análise da distribuição espacial de larvas de *Aedes aegypti* na Ilha do Governador, Rio de Janeiro, Brasil. *Cad Saúde Pública.* 2000; 16: 31-42.

- 111.Barcellos C, Sabroza PC. The place behind the case: leptospirosis risks and associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro. *Cad Saúde Pública*. 2001; 17(Supl.): 59-67.
- 112.Rushton G. Public health, GIS, and spatial analytic tools. *Annu Rev Public Health*. 2003; 24: 43-56.
- 113.Tassinari WS, Pellegrini DCP, Sabroza PC, Carvalho MS. Distribuição espacial da leptospirose no Município do Rio de Janeiro, Brasil, ao longo dos anos de 1996-1999. *Cad Saúde Pública*. 2004; 20(6):1721-29.
- 114.Almeida AS, Medronho RA, Valencia LIO. Análise espacial da dengue e o contexto socioeconômico no município do Rio de Janeiro, RJ. *Rev. Saúde Públ*. 2009; 43(4): 666-73.
- 115.Carvalho MS, Souza-Santos R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. *Cad. Saúde Pública*. 2005; 21(2): 361-78.
- 116.Briggs DJ, Elliott P. The use of geographical information systems in studies on environmental and health. *Wld Hlth Statist Quart*. 1995; 48: 85-94.
- 117.Barcellos C, Coutinho K, Pina MF, Magalhães MMAF, Paola JCMD, Santos SM. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. *Cad Saúde Pública*. 1998; 14(3): 597-605.
- 118.Barcellos C, Bastos F. Geoprocessamento, ambiente e saúde: uma união possível? *Cad. Saúde Pública*. 1996; 12(3): 389-97.
- 119.Barcellos C, Ramalho W. Situação atual do geoprocessamento e análise de dados espaciais em saúde no Brasil. *Informática Pública*. 2002; 4(2): 221-30.
- 120.Barcellos C, Pustai AK, Weber MA, Brito MRV. Identificação de locais com potencial de transmissão de dengue em Porto Alegre através de técnicas de geoprocessamento. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2005; 38(3): 246-50.
- 121.Pinheiro RS, Travassos C, Gamerman D, Carvalho MS. Mercados hospitalares em área urbana: uma abordagem metodológica. *Cad. Saúde Pública*. 2001; 17(5): 1111-21.
- 122.Braga C, Ximenes RAA, Albuquerque MFPM, Souza WV, Miranda J, Brayner F et al. Avaliação de indicador sócio-ambiental utilizado no rastreamento de áreas de transmissão de filariose linfática em espaços urbanos. *Cad. Saúde Pública* 2001; 17: 1211-8.
- 123.Souza-Santos R. Análise espacial de dados geográficos. *Cad Saúde Pública*. 2005; 21(4):1292-93.
- 124.Shimakura SE, Carvalho MS, Aerts DRGC, Flores R. Distribuição espacial do risco: modelagem da mortalidade infantil em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *Cad. Saúde Pública*. 2001; 17(5): 1251-61.

125. Medronho RA, Valencia LIO, Fortes BPMD, Braga RCC, Ribeiro SV. Análise espacial da soroprevalência da hepatite A em crianças de uma região carente de Duque de Caxias. *Rev Bras Epidemiol*. 2003; 6(4): 328-34.
126. Valencia LIO, Fortes BPMD, Medronho RA. Spatial Ascariasis risk estimation using socioeconomic Variables. *Int J Environ Health Res*. 2005; 15(6): 411-24.
127. Braga RCC, Valencia LIO, Medronho RA, Escosteguy CC. Estimativa de áreas de risco para hepatite A. *Cad. Saúde Pública*. 2008; 24(8): 1743-52.
128. Machado JP, Oliveira RM; Souza-Santos R. Análise espacial da ocorrência de dengue e condições de vida na cidade de Nova Iguaçu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Cad. Saúde Pública*. 2009; 25(5): 1025-34.
129. Bailey TC, Gatrell AC. *Interactive spatial data analysis*. Essex: Longman; 1995.
130. Assunção RM. *Estatística espacial com aplicações em epidemiologia, economia, sociologia*. São Carlos: ABE; 2001.
131. Marshall R. Mapping disease and mortality rates using Empirical Bayes estimators. *J R Stat Soc Ser C Appl Stat*. 1991; 40(2): 283-94.
132. Assunção RM, Barreto S, Guerra LH, Sakurai E. Mapas de taxas epidemiológicas: uma abordagem bayesiana. *Cad. Saúde Pública*. 1998; 14(4): 713-23.
133. Bernardelli L, Montomolli C. Empirical bayes versus fully bayesian analysis of geographical variation in disease risk. *Statistics in Medicine*. 1992; 11:983-1007.
134. Anselin L. *Interactive techniques and exploratory spatial data analysis*. Morgantown: Regional Research Institute and Department of Economics/West Virginia University; 1996.
135. Anselin L. *Interactive techniques and exploratory spatial data analysis*. In: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Wind DW, editors. *Geographical information system: principles, techniques, management and applications*. New York: Wiley; 1998. p. 253-365.
136. Anselin L, Syabri I, Smirnov O. *Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows*. Champaign: University of Illinois; 2003. Mimeo.
137. Correia VRM, Carvalho MS, Sabroza PC, Vasconcelos CH. Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. *Cad. Saúde Pública*. 2004; 20:891-904.
138. Correia VRM, Tassinari WS, Carvalho MS, Werneck GL. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à endemia de Leishmaniose Visceral em Teresina. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 12.; 2005; Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE; 2005. p. 2629-36.

139. Hay SI, Tucker CJ, Rogers DJ, Packer MJ. Remotely sensed surrogates of meteorological data for the study of the distribution and abundance of arthropod vectors of disease. *Ann Trop Med Parasitol*. 1996; 90: 1-19.
140. Werneck GL, Costa CH, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH. The urban spread of visceral leishmaniasis: clues from spatial analysis. *Epidemiology* 2002; 13: 364-7.
141. Werneck GL, Maguire JH. Spatial modeling using mixed models: an ecologic study of visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2002; 18:633-7.
142. Correia VRM, Monteiro AMV, Carvalho MS, Werneck GL. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. *Cad. Saúde Pública*. 2007; 23(5):1015-28.
143. Sharma, K.; Sarkar, A. A modified contextual classification technique for remote sensing data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1998; 64(4): 273-280.
144. Hofmann, P. Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach. In: *Remote Sensing & Photogrammetry Society. Proceedings of the First Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society*; 2001b; London. p. 28-33.
145. Whiteside, T.; Ahmad, W. A comparison of object-oriented and pixel based classification methods for mapping land cover in Northern Australia. In: *SSC2005 Spatial intelligence, innovation and praxis: The National Biennial Conference of the Spatial Sciences Institute*, 2005, Melbourne. *Proceedings...* Melbourne: Spatial Sciences Institute; 2005. p. 1225-31.
146. Pinho CMD, Feitosa FF, Kux HJH. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. (SBSR) 12*; 2005; Goiânia. *Anais...* São José dos Campos: INPE; 2005. p. 4217-24. CD-ROM.
147. Blaschke, T.; Lang, S.; Lorup, E.; Strobl, J.; Zeil, P. Object oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: *Cremers A, Greve K, editors. Environmental information for planning, politics and the public. Metropolis, Marburg: [s.n.]; 2000. v. 2, p. 555-70.*
148. Blaschke T, Kux HJH. *Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2007. 303 p.
149. Souza IM, Alves CD, Almeida CM, Pinho CMD. Caracterização socioeconômica do espaço residencial construído utilizando imagens de alta resolução espacial e análise orientada a objeto. *Geografia*. 2007; 16(1).
150. Gonçalves CDAB, Souza IM, Pereira MN, Freitas CC. Análise do ambiente residencial urbano visando a inferência populacional a partir do uso de dados de sensoriamento remoto orbital de alta resolução. *Geografia*. 2006; 31(2): 371-402.

151. Gatrell AC, Bailey TC, Diggle PJ, Rowlingson BS. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans Inst Br Geogr* 1996; 21:256-74.
152. Deutsch CV, Journel AG. *GSLIB: geostatistical software library and user's guide*. 2nd ed. New York: Oxford University Press; 1998.
153. Fortes BPMD, Valencia LIO, Ribeiro SV, Medronho RA. Modelagem geoestatística da infecção por *Ascaris lumbricoides*. *Cad Saúde Pública*. 2004; 20(3): 727-34.
154. Medronho RA, Werneck GL. Análise de Dados Espaciais em Saúde. In: Roberto de Andrade Medronho; Kátia Vergetti Bloch; Ronir Raggio Luiz; Guilherme Loureiro Werneck. (Org.). *Epidemiologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Atheneu; 2009. p. 493-511.
155. Medronho RA, Perez MA. Distribuição das doenças no espaço e no tempo. In: Medronho RA, Carvalho DM, Bloch KV, Luiz RR, Werneck GL. *Epidemiologia*. São Paulo: Atheneu; 2004. p. 57-71.
156. Elliott P, Wartenberg D. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. *Environ Health Perspect*. 2004; 112(9): 998-1006.
157. Barreto, FR; Teixeira MG; Costa, MCN; Carvalho, MS, Barreto, ML. Spread pattern of the first dengue epidemic in the city of Salvador, Brazil. *BMC Public Health*. 2008; 8: 51.
158. Baatz, M; Schäpe A Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl J, Blaschke T. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGITSymposium Salzburg*. Karlsruhe: H. Wichmann; 2000. p. 12-23.
159. Flanders D, Hall-Beyer M, Pereverzoff J. Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Can J Remote Sensing* 2003; 29(4): 441-52.
160. Congalton R, Green K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton: CRC/Lewis; 1999; 137 p.
161. Hord RM, Brooner W. Land use map-accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1976; 42(5):671-77.
162. Rosenfield GH, Fitzpatrick-Lins K, Ling SH. Sampling for Thematic Map Accuracy Testing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 1982; 48(1):131-7.
163. Congalton R. A review of assessing the accuracy of classification remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 1991; 37:35-36.
164. Rosenfield GH, Fitzpatrick-Lins K. A coefficient of agreement as measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1986; 52(2):223-7.

165. Story M, Congalton R. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1986; 52(3):379-99.
166. Definiens Developer 7. 2007: user guide. Germany. Disponível em: <<http://www.definiens.com>>.
167. Bhaskaran S. Improving classification accuracy of spectrally similar urban classes by using object-oriented classification techniques: a case study of New York City. In: *ASPRS 2010 Annual Conference San Diego*. California; 2010. p. 26-30.
168. Brites RS, Soares, VP, Ribeiro CAAS. Verificação da exatidão em classificação de uma imagem orbital mediante a utilização de três índices. *Revista Árvore* 1996; 20(3):415-24.
169. Lobão JSB, França-Rocha WJS, Silva AB. Aplicação dos índices KAPPA e PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana – BA. In: *Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 12.; Goiânia; 2005, p. 1207-14.
170. Fleiss JL. *Statistical methods for rates and proportions*. New York: J. Wiley; 1981.
171. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977; 33:159-74.
172. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Measurement*. 1960; 20(1): p. 37-46.
173. Moreira, MAI. *Fundamentos de sensoriamento remoto*. São José dos Campos: INPE; 2001.
174. Breiman L, Friedman J, Olshen R, Stone C. *Classification and regression trees*. Pacific Grove: Wadsworth & Brooks/Cole; 1984.
175. Clark LA, Pregibon D. Tree-based models. In: Chambers JM, Hastie TJ, editors. *Statistical models in S*. New York: Chapman & Hall; 1993. p. 377-419.

ANEXO - Script para o cálculo das proporções de cada classe (temática) ambiental feito no programa LEGAL (aplicativo do SPRING)

```
{
// Declarações
Objeto obj ("scTeresina1990_O"); // verifique o nome do objeto
Tematico tem ("class1990tema"); // nome da categoria tematica da imagem classificada kmean12
Cadastral cad ("shp1990"); // nome da categoria cadastral

tem = Recuperere (Nome="tematicoclass90");
cad= Recuperere ( Nome="vetor");
// conte o # de classes em cada área
obj."Div1"= Variedade(tem, obj NoMapa cad);
// conte o # de pixels em cada área
obj."SomPix1"= Conte(tem, obj NoMapa cad);
// conte o # de pixels cujo tema é Pasto em cada área
obj."urbdensa"= Conte(tem.Classe=="urbana densa", obj NoMapa cad);
obj."agua"= Conte(tem.Classe=="água", obj NoMapa cad);
obj."urbverde"= Conte(tem.Classe=="urbana verde", obj NoMapa cad);
obj."soloexp"= Conte(tem.Classe=="solo exposto", obj NoMapa cad);
obj."vegdensa"= Conte(tem.Classe=="veg densa", obj NoMapa cad);
obj."vegrast"= Conte(tem.Classe=="veg rasteira", obj NoMapa cad);
}
```

```
{
// Declarações
Objeto obj ("bdcasosindiccenso2000_O"); // verifique o nome do objeto
Tematico tem ("class2006tema"); // nome da categoria tematica da imagem classificada kmean12
Cadastral cad ("shp2000"); // nome da categoria cadastral

tem = Recuperere (Nome="temaclass2006");
cad= Recuperere ( Nome="class_vet");
// conte o # de classes em cada área
obj."Div"= Variedade(tem, obj NoMapa cad);
// conte o # de pixels em cada área
obj."SomPix"= Conte(tem, obj NoMapa cad);
// conte o # de pixels cujo tema é Pasto em cada área
obj."vegdensa"= Conte(tem.Classe=="veg densa", obj NoMapa cad);
obj."urbdensa"= Conte(tem.Classe=="urbana densa", obj NoMapa cad);
obj."urbverde"= Conte(tem.Classe=="urbana verde", obj NoMapa cad);
obj."agua"= Conte(tem.Classe=="agua", obj NoMapa cad);
obj."vegrast"= Conte(tem.Classe=="veg rasteira", obj NoMapa cad);
obj."soloexp"= Conte(tem.Classe=="solo exposto", obj NoMapa cad);
}
```