

Revista Brasileira de Cartografia (2016) N^o 68/1: 163-179
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AValiação DA EXPANSÃO DA INFRAESTRUTURA EM ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MANCHA CONURBADA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE: 2000 A 2010

*Sanitary Sewer Expansion in the in Belo Horizonte Metropolitan Region:
An Assessment from 2000 to 2010*

**Grazielle Anjos Carvalho¹, Ana Clara Mourão Moura²
& Mônica Amaral Haddad³**

¹Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Doutorado
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901 , Brasil
grazielleanjoo@gmail.com

²Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Laboratório de Geoprocessamento, Escola de Arquitetura
Rua Paraíba 697 - Savassi, Belo Horizonte – MG, 30130-140, Brasil
anaclara@ufmg.br

³Iowa State University – ISU
Department of Community and Regional Planning
Ames, IA 50011, Estados Unidos
haddad@iastate.edu

Recebido em 26 de Novembro, 2014/ Aceito em 29 de Agosto, 2015
Received on November 26, 2014/ Accepted on August 29, 2015

RESUMO

A Região Metropolitana de Belo Horizonte é composta por 34 municípios e apresentou diferentes eixos de crescimento (norte, sul e oeste) ao longo do tempo, sobretudo nos últimos 10 anos. Esse crescimento aconteceu principalmente em 19 municípios, que compõem um conjunto onde se encontra 79.68% da população da RMBH, e onde vivem 4.314.967 habitantes. Contudo, observa-se que a instalação de infraestrutura, sobretudo a de esgotamento sanitário, não acompanhou o crescimento populacional. O artigo tem como objetivo identificar as áreas prioritárias para investimento em esgotamento sanitário na zona conurbada da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) – MG, Brasil. A metodologia é composta pela monitoria temporal da mancha conurbada de RMBH, que identifica as áreas onde aconteceu o espraiamento da mancha urbana, seguida do cruzamento desta mancha com a análise dos domicílios atendidos por esgotamento sanitário. Como resultado são apresentados o mapa e a análise dos investimentos em esgotamento sanitário correspondente ao período de 2000 a 2010. O cruzamento dos mapas de investimento em esgotamento sanitário com o de crescimento da mancha urbana revela que foi pequeno o investimento em infraestrutura de esgotamento sanitário nas áreas onde houve crescimento da mancha urbana. Observa-se que a maior parte dos investimentos, com incremento da infraestrutura, aconteceu nas áreas de ocupação já existente, mas que ainda eram frágeis quanto à oferta do serviço. A análise final demonstra que já existiam áreas ocupadas com carência de esgotamento sanitário, e os recursos foram destinados a elas, mas as novas áreas de manchas urbanas, resultantes de espraiamento da ocupação,

foram negligenciadas no atendimento pela infraestrutura. No cômputo geral, observa-se ainda muita fragilidade nos serviços de infraestrutura de esgotamento sanitário, e indica-se esta variável como importante forma de mensuração de desenvolvimento social para a realidade brasileira.

Palavras-chave: Esgotamento Sanitário, Uso do Solo, Cluster, Região Metropolitana de Belo Horizonte, Investimento Público.

ABSTRACT

The Belo Horizonte Metropolitan Region (RMBH), Brazil, encompasses 34 municipalities. Currently, 19 out of the 34 municipalities are contiguously connected, forming an enormous urban area of 1,716 km² with approximately 4.3 million inhabitants, representing 80 percent of the total regional population. The main objective of this paper is to identify areas within the conurbation RMBH that should have priority with regards to receiving investments for sewer infrastructure expansion. The methodology combines remote sensing, raster analysis, and Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA). The results pointed out that sewer infrastructure investments were small in areas that have experienced high urbanization during 2000-2010. The large majority of investments took places in areas within RMBH that were already occupied but were lacking sewer infrastructure, which may be related to the infrastructure deficit that RMBH is experiencing. The decision-making process of resource allocation for sewer infrastructure may benefit from the spatial analysis developed in this article.

Keywords: Sanitary Sewer, Land Cover, Cluster, Belo Horizonte Metropolitan Region, Public Investments.

1. BREVE HISTÓRICO DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO URBANA DE BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS - BRASIL

Belo Horizonte foi projetada e planejada no final do século XIX, como decisão política relacionada às lógicas do republicanismo e do positivismo para a instituição de uma capital central, de onde seriam coordenados os municípios do estado. Desenhada segundo a lógica da razão e por estrutura geometrizada, foi inaugurada em 1897, mas só se tornou polo econômico em 1930. Segundo Tonucci Filho (2012), a década de 1940 foi marcada por intervenções estruturantes que aceleraram a expansão urbana e viabilizaram a industrialização, como a implantação da Cidade Industrial e o complexo da Pampulha, mas foi só nas décadas de 1950 a 1960 que se iniciou o processo de conurbação e metropolização de Belo Horizonte e seus arredores.

A década de 1970 foi marcada por intenso crescimento devido ao milagre econômico brasileiro, o que proporcionou investimentos em diferentes projetos estruturantes e serviços que tornou a capital ainda mais atrativa. Porém, segundo Costa e Peixoto (2007), em Minas Gerais, foi adotado um modelo econômico concentrador, o que resultou em uma capital segregada econômica, sócio e culturalmente, ampliando as desigualdades no acesso a lazer e serviços.

A década de 80 foi marcada pela recessão econômica, o que aumentou o desemprego

e intensificou os problemas sociais urbanos. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte este período foi marcado pela periferização dos assentamentos irregulares e crescimento das favelas. Segundo Costa (2003) entre os anos de 1990 e 2000 ocorreram modificações significativas na estrutura social da RMBH, com maior interesse pelo eixo sul, resultando no surgimento de projetos urbanísticos e condomínios fechados, justificados pelo discurso da segurança e da qualidade ambiental, e no vetor norte, com os investimentos do Estado para valorizar a região.

No que se refere ao serviço de esgotamento sanitário na RMBH, segundo a AESBE (2014) entre os anos de 2003 e 2014 houve crescimento de mais de 40% no número de pessoas com acesso a esse serviço. Para atingir estes resultados, foram realizados investimentos de cerca de R\$ 2,6 bilhões, com expectativas de elevar o atendimento do abastecimento de água para 98% dos domicílios e para 85% de domicílios com esgoto coletado, dos quais 80% será tratado. A meta da Companhia de Saneamento era chegar em 2014 com atendimento de 100% de oferta de rede de água e de 90% de rede de esgoto. O presente trabalho não tem como avaliar esta previsão, posto que os dados do IBGE para o universo domiciliar foram coletados em 2010 e só serão coletados novamente em 2020.

A Companhia de Saneamento de

Minas Gerais (COPASA) é responsável pelo abastecimento de água e coleta de esgoto em 22 municípios, e pelo abastecimento apenas de água em 19 municípios da Região e do Colar Metropolitano de Belo Horizonte, conjunto que no total é de 50 municípios (AESBE, 2014). Em alguns municípios a operação aconteceu após 2010 (ano dos dados trabalhados) e em um município acontece operação parcial.

A área de estudo aqui apresentada refere-

se à mancha conurbada de Belo Horizonte (Figura 1), que abrange área de 1716 km² e um contingente populacional de 4.314.967 habitantes, o que corresponde a cerca de 79.68% da população da RMBH (IBGE, 2010). O artigo tem como objetivo avaliar se o crescimento da mancha urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte no período compreendido entre 2000 e 2013 foi acompanhado pelo investimento em infraestrutura de esgotamento sanitário.

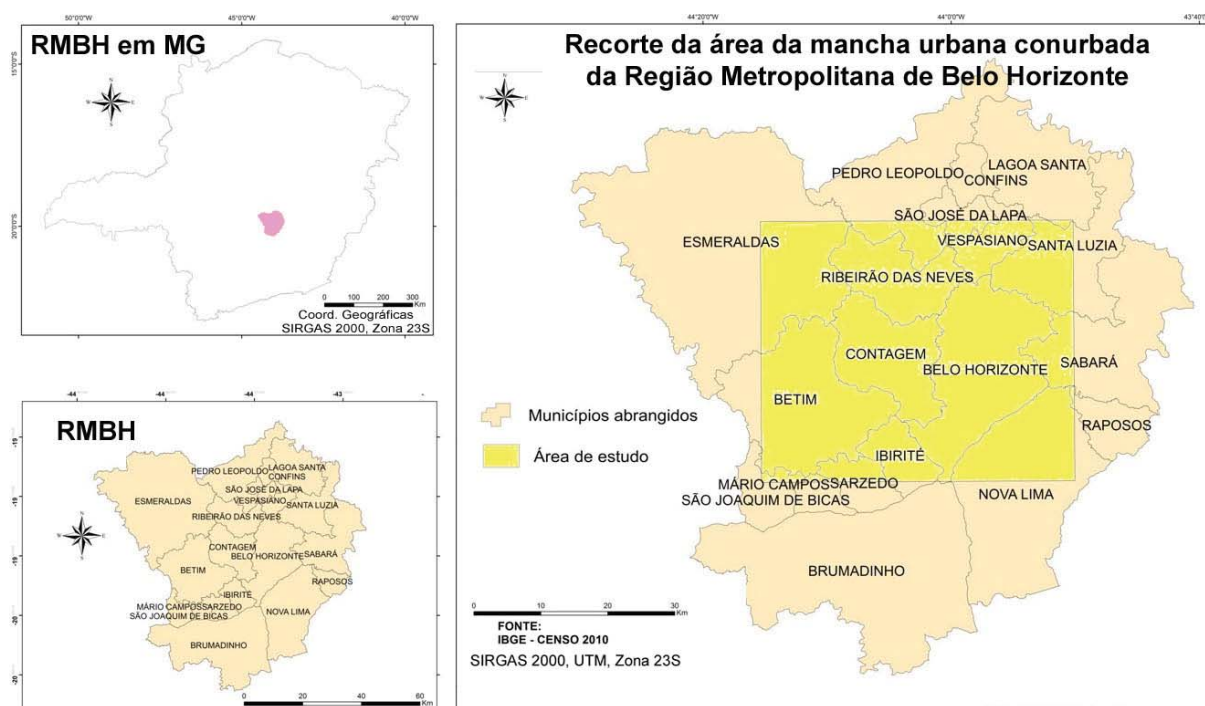


Fig. 1 - Localização da área de estudo. RMBH em Minas Gerais, municípios que correspondem à área urbana conurbada, área de recorte da área estudo correspondente ao retângulo de envolvimento da mancha urbana conurbada.

2. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS

As técnicas de análise espacial têm evoluído com os avanços da computação e dos Sistemas de Informação Geográfica. A possibilidade de aplicar diferentes técnicas estatísticas aos dados geográficos tornou as análises mais eficientes e eficazes na promoção da visualização do comportamento espacial dos dados analisados, dando suporte à análise exploratória de dados espaciais (*Exploratory Spatial Data Analysis*). Este conjunto de ferramentas é definido na literatura como uma coleção de técnicas com o intuito de descrever e visualizar as distribuições espaciais, identificando situações atípicas, descobrindo padrões de associação espacial

(*clusters*) e sugerindo regimes espaciais ou outras formas de heterogeneidade espacial (NEVES *et al.*, 2000; ANSELIN & BAO, 1997; LONGLEY *et al.*, 2013; FUJITA *et al.*, 2002; LOGLEY & BATTY, 2003).

Como Almeida (2012) explica, *clusters* são agrupamentos distintos nos dados, correspondendo frequentemente à multimodalidade na distribuição de probabilidades subjacente para os dados. Regimes espaciais são sub-regiões que mostram distintas distribuições para uma dada variável.

Existem vários métodos para se medir padrões de associação espacial de um determinado evento na literatura. A medição da associação espacial de uma determinada atividade ou serviço envolve a avaliação da concentração

de atividades e seus padrões de localização; ou seja, cabe avaliar a significância estatística dos *clusters* e representar explicitamente a dimensão espacial dos dados. Há interesse em mensurar a dimensão espacial dos serviços de esgotamento sanitário na RMBH.

Segundo Guillain e Le Gallo (2010), a aferição do grau de concentração espacial e a identificação de padrões de localização da variável estudada no espaço discreto apresenta três vantagens: “*Primeiro a configuração espacial dos dados e a autocorrelação espacial na distribuição são explicitamente integrados na análise. Segundo, os limites espaciais da aglomeração são precisamente delimitados e seus padrões espaciais revelados. Terceiro, pode-se obter a significância estatística dos clusters identificados*”.

Os estudos desenvolvidos utilizaram AEDE e foram baseados no Índice de Moran, uma vez que ele mede os padrões de associação espacial da distribuição, o que é o nível de autocorrelação espacial (GUILLAIN & LE GALLO, op. cit.). O Índice de Moran é uma medida global e identifica *clustering*.

A autocorrelação espacial ocorre quando coincidem a semelhança de valores e semelhança locacional, ou seja, valores semelhantes se agrupam em localizações semelhantes (ANSELIN, 2001). Para implementar as técnicas de AEDE é necessário definir uma matriz de pesos espaciais “W”. Esta matriz estabelece uma estrutura de vizinhança nos dados e pode ser definida de diferentes formas.

As matrizes de peso espaciais podem ser baseadas no critério geográfico ou no critério socioeconômico (ALMEIDA, 2012). O critério geográfico é baseado na ideia de proximidade, que “pode ser definida de acordo com a contiguidade e/ou com a distância geográfica segundo uma determinada métrica” (p. 74). Exemplos de matrizes de contiguidade são rainha e bispo. A matriz “rainha de contiguidade” é composta por 0 ou 1: se o distrito tem um vértice em comum com um outro distrito ou um limite em comum com um outro distrito, então eles são vizinhos de peso 1, mas se dois distritos não têm um vértice em comum ou limite em comum, a relação entre eles é de peso 0. A matriz “bispo de contiguidade” é composta por 0 ou 1: se o distrito tem um limite em comum com um outro distrito,

então eles são vizinhos de peso 1, mas se dois distritos não têm um limite comum, a relação entre eles é de peso 0. Em ambas matrizes os elementos na diagonal adquirem peso 0.

Segundo Cliff e Ord (1981) a medida da autocorrelação espacial é geralmente baseada em estatísticas de Moran I, na qual para cada setor “m”, sua estatística é definida como (Equação 1):

$$I_m = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{\mu}_x)(x_j - \bar{\mu}_x)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{\mu}_x)^2} \quad (1)$$

Onde w_{ij} é um elemento da matriz de pesos W padronizada, que indica como a zona *i* está espacialmente conectada com a zona *j*. Os elementos são não estocásticos, não negativos, finitos, e somam 1 em cada linha. Valores de I (índice de Moran) maiores do que o esperado (= $-1/(n-1)$) indicam autocorrelação espacial positiva na distribuição no setor *m*, o que é agrupamento (*clustering*) de valores semelhantes de x_i , ao passo que valores de I menores que o esperado indicam autocorrelação espacial negativa ou agrupamento de valores não semelhantes de x_i (GUILLAIN & LE GALLO, 2010).

Entre as estatísticas de autocorrelação espacial, a estatística *I* de Moran é a mais utilizada. Ela fornece uma indicação formal do grau de associação linear entre os valores observados e a média espacialmente ponderada dos valores dos vizinhos. A estatística *I* de Moran mostra se existem agrupamento no conjunto de dados, indicando ou não um padrão de agrupamento global (*clustering*). Como explica Almeida (2012) “a indicação de padrões globais de autocorrelação espacial pode estar em consonância com padrões locais” (p. 118). Usando *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) pode-se examinar que localizações contribuem para o padrão global de autocorrelação espacial. Pode-se, por exemplo, identificar centros de agrupamentos.

Estes métodos têm sido aplicados em estudos de padrões espaciais de vários fenômenos, incluindo disparidades regionais de renda na União Europeia (DALL’ERBA, 2005; LE GALLO & ERTUR, 2003), taxas de homicídios (MESSNER *et al.*, 1999),

criminalidade (ANDRESEN, 2011), segregação urbana (FLORAX *et al.*, 2005), funcionalidade urbana e regional (RODRIGUES & MANZATO, 2014) atividades culturais (FERREIRA & PEROBELLI, 2013), estudos socioeconômicos (NEVES, 2000), potencial de desenvolvimento energético (PEROBELLI & OLIVEIRA, 2013) e na definição de regiões metropolitanas (RAMOS & SILVA, 2007).

O diagrama de dispersão de Moran (ANSELIN, 1996) e' uma técnica muito útil para avaliar a autocorrelação espacial local. O diagrama revela a estrutura da autocorrelação espacial global através da identificação de agrupamentos locais de valores altos e/ou baixos. Os setores que contribuem para a autocorrelação espacial global são identificados usando esta técnica. O processo também indica os setores individuais ou um grupo de setores vizinhos que desviam do padrão global da autocorrelação espacial. Estes setores são chamados de *outlier* espaciais.

O diagrama de dispersão de Moran subdivide os dados em quatro tipos de associação espacial local entre o valor observado e os valores vizinhos: High-High, Low-Low, High-Low e Low-High.

O quadrante HH (High-High) refere-se a um registro de valor elevado rodeado de valores elevados, o quadrante LH (Low-High) refere-se a um registro de valor baixo rodeado de valores elevados. Os quadrantes HH (High-High) e LL (Low-Low) indicam correlação espacial positiva

refletindo uma aglomeração espacial de valores semelhantes. Quadrantes LH (Low-High) e HL (High-Low) indicam correlação espacial negativa refletindo uma aglomeração espacial de valores distintos. O gráfico de dispersão de Moran pode, assim, ser usado para visualizar os locais atípicos (*outliers* espaciais), ou seja, os quadrantes LH e HL.

3. METODOLOGIA

A metodologia (Figura 2) proposta subdivide-se nos seguintes processos:

- Análise temporal estática da cobertura do solo com imagens LANDSAT: Foram elaborados mapas de cobertura do solo da zona conurbada da RMBH para os anos de 2000 e 2013, a partir dos quais resultou o mapa síntese da expansão da mancha urbana da zona conurbada da RMBH no período.
- Identificação dos *clusters* (agrupamento) de investimento em esgotamento sanitário na zona conurbada da RMBH.
- Análise comparativa da evolução da infraestrutura oficial de esgoto (coletado por rede geral) da RMBH no período compreendido entre 2000 a 2010 (IBGE - Censo). A comparação da presença da infraestrutura nos anos de 2000 e 2010 resultou no mapa síntese de investimento em esgotamento sanitário no período.
- Avaliação da evolução dos investimentos em infraestrutura na área de expansão da mancha urbana entre 2000 a 2010.

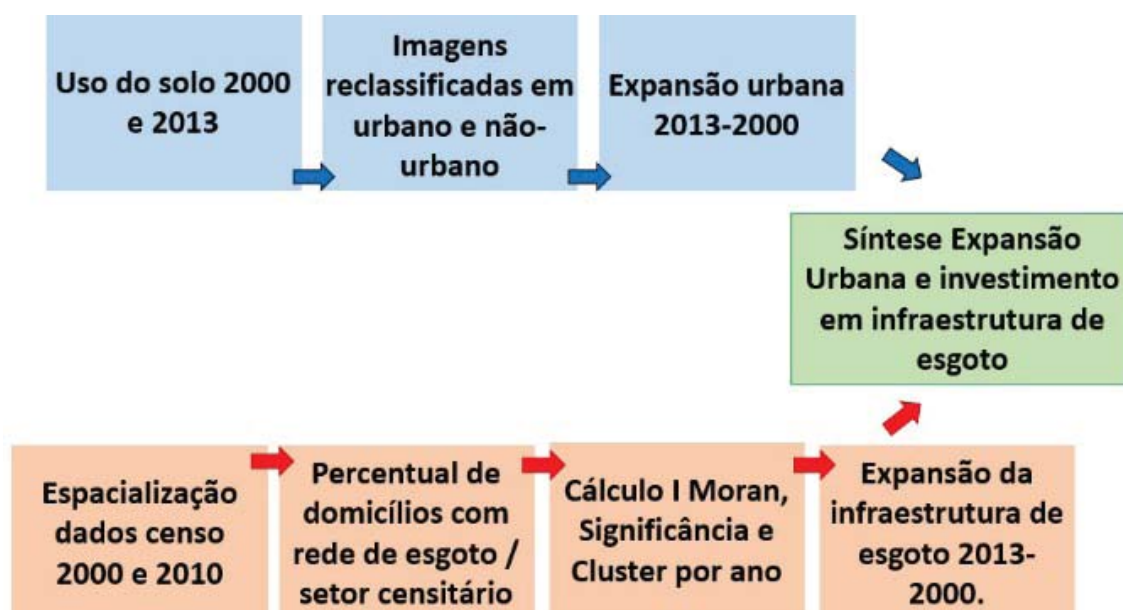


Fig. 2 - Fluxograma geral da metodologia.

3.1 Análise temporal estática da cobertura do solo

Para realizar a análise da cobertura do solo da área de estudo foram utilizadas imagens LANDSAT, de resolução 28.5m, no sistema de coordenadas UTM, WGS84 – Fuso 23, obtidas no site da Universidade de Maryland relativas aos anos de 2000 e no site da U.S. Geological Survey (USGS) relativas ao ano 2013. Foram selecionadas imagens georreferenciadas (geotiff) e ortorretificadas.

No ArcGis10.2 foi realizada a composição 432 RGB das bandas selecionadas para a cena de 2000 e composição 543 RGB para o ano 2013. As composições diferentes foram necessárias para se obter o melhor destaque do uso do solo urbano, mas ambas se referem ao comprimento no intervalo de 0,5 a 0.9 micrometros, que corresponde à faixa do visível (verde e vermelho) e infravermelho próximo (NIR).

Foi aplicada a classificação supervisionada com a criação de polígonos que continham as amostras de uso do solo relativas a: Água, Solo Exposto, Vegetação Densa, Vegetação Rasteira, Urbano/Alterado. O classificador escolhido foi o “Maximum Likelihood Classification”, que considera as amostras de cada classe e realiza a busca por *pixels* de comportamento espectral semelhante. A margem de semelhança selecionada foi de 0.9, em uma escala de 0 (zero) a 1 (um).

Uma vez finalizado o processo de classificação do uso do solo, foi feita a conversão do formato *raster* para polígonos, seguido do cálculo de área de cada tipologia de cobertura do solo por ano e por setor censitário.

Na sequência foi feita a reclassificação do mapa de cobertura do solo para as classes: urbano e não urbano, tanto para o ano de 2000 como para 2013. Foi então realizada a subtração do mapa de 2000 no de 2013, o que resultou na identificação das áreas de expansão urbana no intervalo de tempo considerado.

3.2 Identificação de agrupamento global (*clustering*) de investimento em esgotamento sanitário na zona conurbada da RMBH

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2014) o governo federal pretende universalizar o saneamento básico no Brasil em 20 anos (2014

a 2033) e para isso estima a necessidade de 302 bilhões de reais somente para obras de água e esgotos. Contudo, o mesmo instituto avalia que seria necessário investir em média 15 a 16 bilhões/ano, mas ainda não se chegou ao valor de 9 bilhões de reais por ano.

Na mancha conurbada de Belo Horizonte, onde o percentual de domicílios atendidos por esgotamento sanitário varia de 0% a 100%, observa-se que a média de setores censitários atendidos por este serviço passou de 77,2%, no ano 2000, para 81,91%, no ano 2010 (IBGE, 2000 – 2010). O desvio padrão apresentou uma pequena queda, passando de 33,698 para 32,111, ou seja, houve uma pequena redução nos valores do conjunto em relação à média. Entretanto, no quesito conformidade ambiental, Belo Horizonte passou de 46% para 58% do volume de esgoto tratado por água consumida (Instituto Trata Brasil, 2010).

No software GEODA foram realizados estudos referente à identificação de autocorrelação espacial do fenômeno estudado, com o cálculo do Índice de Moran, e o Cluster Local (LISA). As matrizes de peso espaciais de contiguidade rainha e bispo foram usadas nestes estudos.

O Índice de Moran se destina a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial, e neste caso seu valor seria zero. Valores de I positivos (entre 0 e +1) indicam para autocorrelação direta, e valores de I negativos (entre 0 e -1) autocorrelação inversa. Para os dados de esgotamento sanitário na RMBH, o Índice de Moran resultou em valores positivos, indicando que há uma autocorrelação espacial do fenômeno estudado. Este resultado, estatisticamente significativo (*pseudo-significance* = 0,01), foi obtida usando as duas matrizes de peso, e 999 permutações. A hipótese nula foi rejeitada e a hipótese alternativa de autocorrelação espacial positiva foi aceita. Em resumo, a distribuição da malha de infraestrutura de esgotamento sanitário na RMBH não acontece de forma aleatória no território.

- Índice de Moran (Rook) – dados de 2000 = 0.702596 (Figura 4a)
- Índice de Moran (Queen) – dados de 2000 = 0.532617 (Figura 4b)
- Índice de Moran (Queen) - dados de 2010 = 0.610148 (Figura 4c)
- Índice de Moran (Rook) – dados de 2000

=0.615390 (Figura 4d)

Como explicado acima, uma vez calculado o Índice de Moran, é importante estabelecer sua validade estatística. Para tal, estima-se a significância do índice através do cálculo de p (*pseudo-significance*) com 999 permutações, o que é suficiente para obter um resultado estável. Os filtros de confiança disponíveis no *GEODA* são de 95% (p=0.05), 99% (p=0,01) e 99,9% (p=0,001). Foi selecionado o filtro de significância para p=0,01. Valores maiores que estes demonstram que não são significantes e não há autocorrelação espacial (não rejeitando a hipótese nula). Baseado nos valores de p obtidos, conclui-se que existe uma autocorrelação espacial positiva, em nível global, na distribuição da malha de infraestrutura de esgotamento sanitário na RMBH.

O diagrama de dispersão de Moran se apresenta da seguinte maneira (Figura 3): quando a maioria das observações estão nos quadrantes HH e LL a autocorrelação espacial global pode ser positiva. Quando a maioria das observações estão nos quadrantes LH e HL a autocorrelação espacial global pode ser negativa. Apenas depois de avaliar os testes estatísticos, pode-se afirmar se realmente existe autocorrelação espacial.

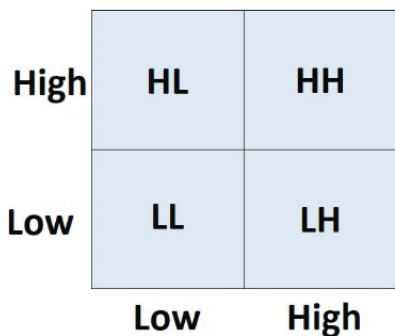


Fig. 3 - Esquema da composição dos quadrantes.

- Quadrante 1 (em cima – direita) ou High-High: refere-se a alto fator de ocorrência no setor censitário cercado por vizinhos que também apresentam alto fator de ocorrência do fenômeno;
- Quadrante 3 (em baixo – esquerda) ou Low-Low: refere-se a baixo fator de ocorrência. Este setor censitário está cercado por vizinhos que também apresentam baixo fator de ocorrência do fenômeno.
- Quadrante 2 e 4 (em cima – esquerda e

baixo - direita) ou High-Low e Low-High: apresentam polígonos de setores Censitários com alta concentração do fenômeno, mas seus vizinhos não, ou o contrário, um polígono com baixa concentração do fenômeno em meio a vizinhos com alta concentração, apresentam discrepâncias no comportamento espacial do fenômeno.

Para ilustrar esta ferramenta, foram gerados os diagramas de dispersão de Moran 2000 e 2010 usando as duas matrizes de peso. Para a maioria dos setores, os valores estão localizados no quadrante HH e LL, sugerindo uma associação espacial positiva.

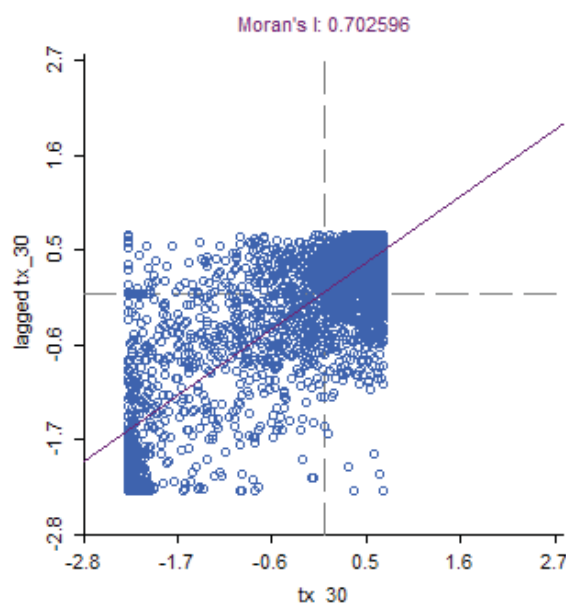


Fig. 4a - Índice de Moran (ROOK) - Ano 2000.



Fig. 4b - Índice de Moran (QUEEN) - Ano 2000.

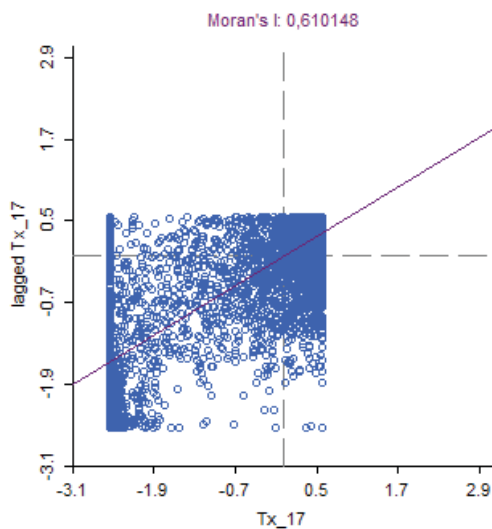


Fig. 4c - Índice de Moran (QUEEN) - Ano 2010.

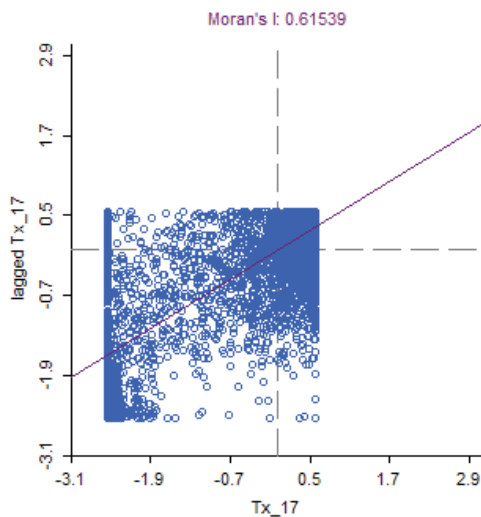


Fig. 4d - Índice de Moran (ROOK) - Ano 2010.

3.3 Análise comparativa da evolução da infraestrutura de rede de esgoto ligada à rede na RMBH – 2000 a 2010

A partir da associação das bases cartográficas de setores censitários de 2000 e de 2010 com as tabelas dos censos dos respectivos anos, foi feita a espacialização dos dados de “Domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial” na RMBH. Os dados foram tratados segundo o percentual de domicílios atendidos para ambos os anos.

3.4 Avaliação da evolução dos investimentos em infraestrutura na variação da mancha urbana de 2000 a 2010

O investimento em esgotamento sanitário considerou o percentual de domicílios atendidos

em 2000 e em 2010, a partir da subtração dos mapas (2010 – 2000). No caso de o valor do setor censitário ter aumentado, consideramos que houve investimento, caso contrário, não. Este procedimento resultou em um mapa que demonstra na escala de cores do vermelho para o verde o grau de investimento neste setor.

Em seguida, o mapa de investimento em esgotamento sanitário foi convertido para raster e reclassificado em duas categorias: ‘Houve investimento’ e ‘Não houve Investimento’. Este foi combinado ao mapa de expansão da mancha urbana, anteriormente reclassificado em ‘Tornou-se urbano’ e ‘Não houve alteração’, explicitando os locais onde houve expansão urbana e investimento em esgotamento sanitário.

4. RESULTADOS

Este trabalho apresenta como resultado os seguintes mapeamentos:

- Mapa de Cobertura do Solo 2000
- Mapa de Cobertura do Solo 2013
- Mapa da Mancha urbana em 2000
- Mapa da Mancha urbana em 2013
- Mapa da expansão urbana entre 2000 e 2013
- Índice de Moran Global, Significância e Cluster da rede de esgoto de 2000
- Índice de Moran Global, Significância e Cluster da rede de esgoto de 2010
- Mapa da Variação no percentual de domicílios atendidos por esgotamento sanitário na RMBH 2010-2000
- Mapa demonstrando onde houve ou onde não houve investimento em esgotamento sanitário nos últimos 10 anos;
- Cruzamento entre a Expansão Urbano e os investimentos em Esgotamento Sanitário na área de estudo.

4.1 Mapa síntese da expansão urbana - 2000 a 2013

A elaboração do mapa síntese de expansão urbana partiu do mapeamento da cobertura do solo nos anos 2000 (Figura 5) e 2013 (Figura 6).

No ano 2000 a região de estudo caracterizava-se por densa mancha urbana, concentrada em Belo Horizonte e com direção de crescimento de vetores para o lado oeste (Contagem e Betim). Solo exposto contornava a área urbana, demonstrando as novas áreas de interesse para loteamentos e intensificação do processo de

periferização e crescimento de Belo Horizonte em direção ao vetor norte, já demonstrando o interesse por investimentos do setor imobiliário na região.

No ano 2013 observou-se que a mancha urbana ocupou praticamente toda a área de solo

exposto, restando pouco mais de 42,55 km², correspondente a novas áreas desta tipologia. É possível observar ainda que o percentual de vegetação rasteira e vegetação densa também diminuiu, sendo substituídas por solo exposto ou predominantemente por uso urbano (Tabela 1).

Tabela 1: comparativo das áreas (km²) por tipologia de uso do solo

Classe	2000		2013		Comparativo 2013/2000
	ÁREA (Km ²)	Percentual (%)	ÁREA (Km ²)	Percentual (%)	Varição percentual
Água	12.604	0.73	6.372	0.37	- 0,36%
Solo exposto	42.550	2.48	46.662	2.72	+ 0,24%
Urbano	495.565	28.87	547.094	31.87	+3,0%
Veg. Rasteira	648.370	37.78	608.342	35.44	-2,74%
Veg. Densa	517.298	30.14	507.917	29.59	-0,55%
Total	1.716.389	100.00	1.716.389	100.00	---

COBERTURA DO SOLO EM 2000

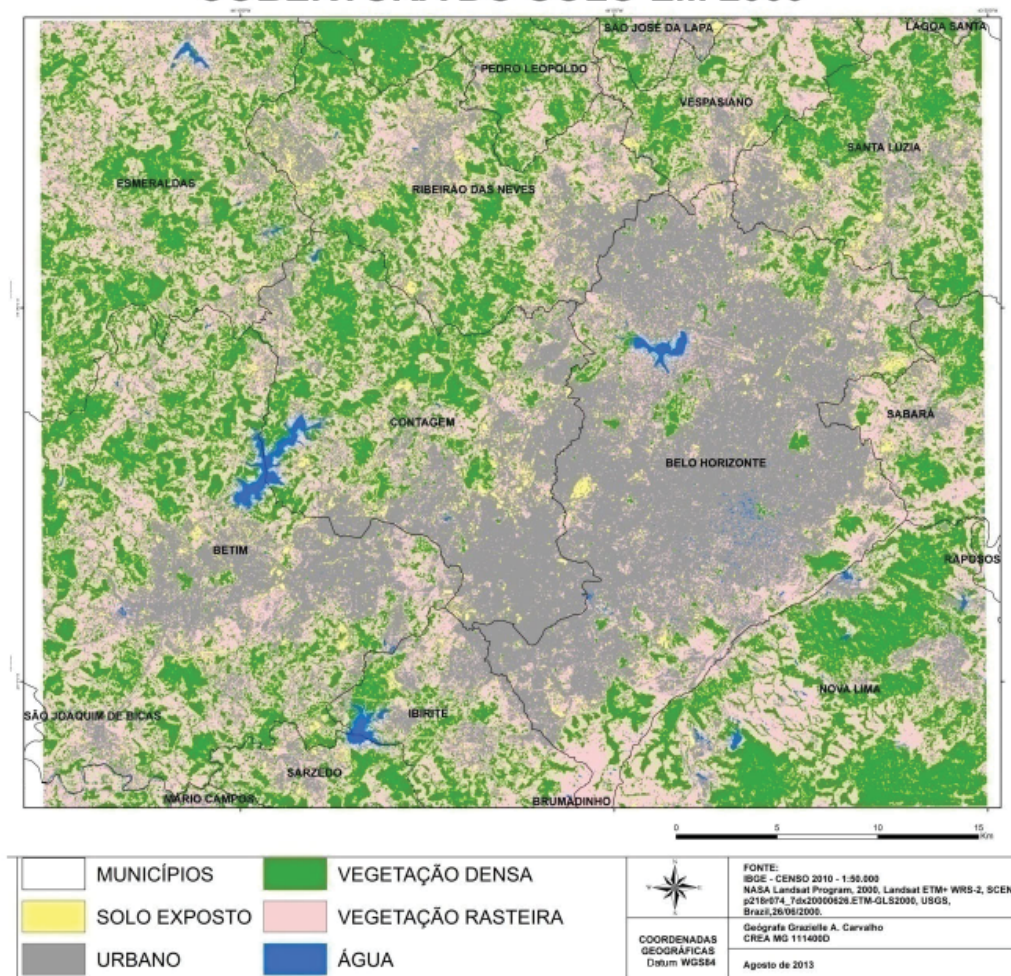


Fig. 5 - Cobertura do Solo 2000.

COBERTURA DO SOLO EM 2013

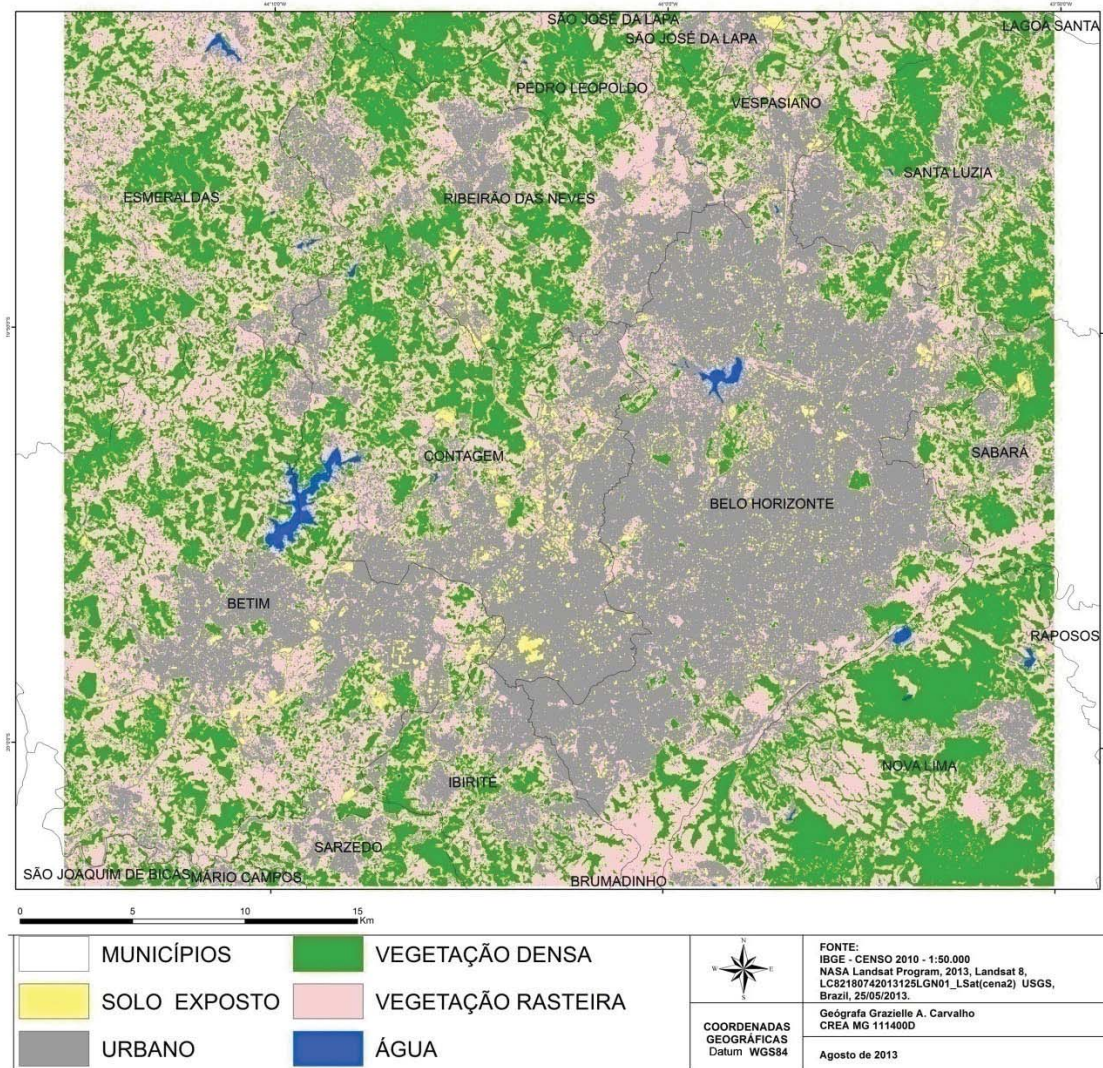


Fig. 6 - Cobertura do solo 2013.

A região de Nova Lima se destaca pelo crescimento da mancha urbana em detrimento da vegetação rasteira, como resultado da valorização do Vetor Sul.

A análise da cobertura do solo de 2013 (Figura 6) revela nitidamente o assoreamento do braço oeste da Lagoa da Pampulha e da Lagoa da Petrobrás, entre Ibirité e Sarzedo, o que valida o dado apresentado na tabela 2, o qual demonstra a redução de cerca de 6km² da área antes ocupada pela água. Isso se deve também ao assoreamento de outros cursos d'água, ou ao fato de muitos deles terem sido cobertos pela malha viária. Além disso, verifica-se que a mancha urbana cresceu cerca de 50 km², o que é 3%, que a vegetação rasteira perdeu 40 km² que são 2.34% da área, e a vegetação densa perdeu os 10 km²

que são 0.55% do território. Além disso, o solo exposto aumentou cerca de 6 km² ou 0.24%, referente, também, à área que ficou exposta na perda dos corpos hídricos.

O mapa de uso dos solos de 2013 também revela maior adensamento na divisa entre Nova Lima e Brumadinho, Eixo Sul de Belo Horizonte, nas proximidades ao centro histórico de Sabará (leste de BH), e junto aos municípios do vetor norte: Vespasiano, Santa Luzia, Ribeirão das Neves. No caso de Santa Luzia, explica-se pela implantação da Cidade Administrativa, o que levou a uma maior valorização da região pelo setor imobiliário, implantando inúmeros projetos urbanísticos, inclusive do programa Minha Casa Minha Vida.

O mapa de expansão da mancha urbana (Figura 7) revela que não houve um vetor

esgotamento sanitário por fossa séptica (quando em condição melhor) ou por fossa rudimentar. Diante deste cenário, identificamos que

no ano 2000 observa-se um clusters High-High apenas na área central de BH e na porção sul de Contagem. Ou seja: setores censitários com

MONITORIAL TEMPORAL - TORNOU-SE URBANO

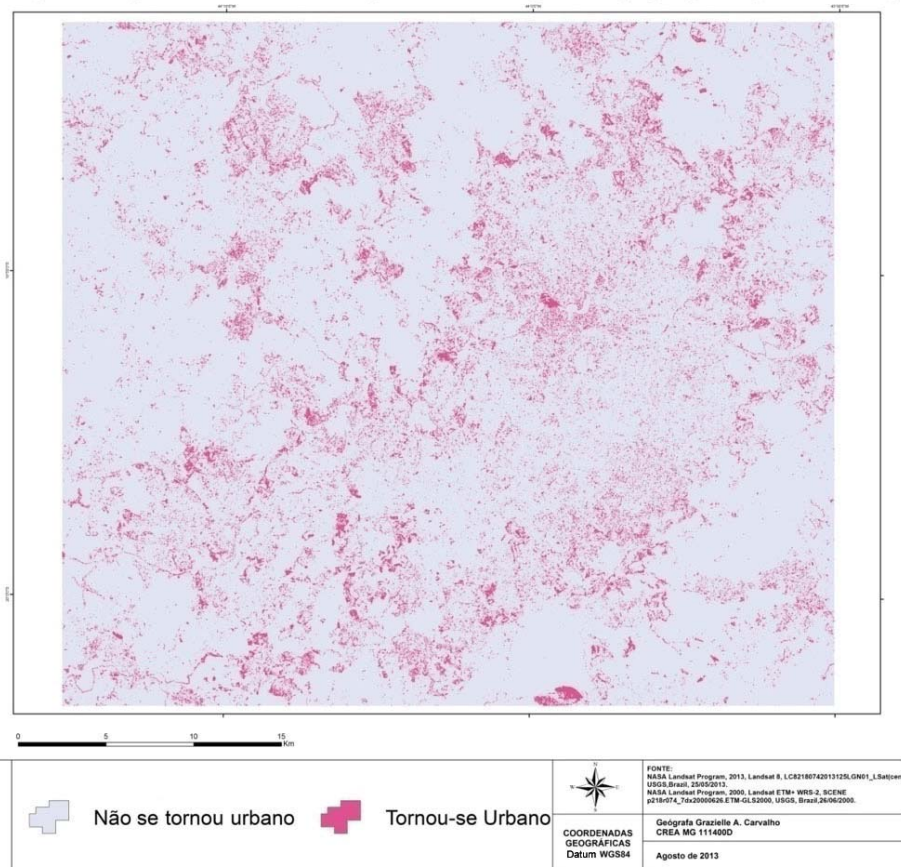


Fig. 7 - Síntese de expansão urbana de 2000 a 2013.

específico de crescimento, mas que este ocorre em todas as direções assim como a intensificação do uso urbano nas áreas ainda disponíveis em Belo Horizonte neste período, ou seja, houve um maior adensamento na mancha urbana na área de estudo.

4.2 Cluster da rede de esgoto - 2000 e 2010

Uma vez verificada a autocorrelação espacial positiva do dado e a sua significância, o trabalho seguiu dois rumos: a elaboração dos clusters e a elaboração do Mapa síntese de investimento em infraestrutura de esgotamento sanitário. A elaboração dos clusters é feita através de LISA. LISA são estimados para esgotamento sanitário, usando a abordagem de permutação e pseudossignificância de 1%. A análise LISA é muito sensível ao nível de significância usada nos testes, por isto foi

escolhido o *p-value* de 0.01. Os resultados são apresentados no Mapa de Agrupamento de LISA para 2000 (Figura 9) e para 2010 (Figura 10).

Ao avaliarmos o cenário apresentado pelo percentual de domicílios com banheiro e esgotamento sanitário ligado à rede geral de esgoto ou à rede pluvial, estamos avaliando o percentual de domicílios que apresentam coleta do esgoto, mas não necessariamente esgoto tratado, uma vez que não há esta informação de destinação. De toda forma, o cenário é caótico. Diferente do serviço de abastecimento de água, o de coleta de esgoto está basicamente restrito a Belo Horizonte. O que se observa, tanto no ano 2000 quanto no ano de 2010, é uma expressiva mancha vermelha, informando que cerca de 80 a 100% da população nestas áreas não tem acesso a esse serviço (Figura 8). Sendo assim, o que provavelmente acontece na falta da rede é o

condições adequadas inseridos em áreas onde os setores censitários também apresentam condições adequadas. (Figura 9).

No ano 2010 observa-se o surgimento de pequenos novos clusters H-H em todas as regionais de BH, assim como nos municípios de Ribeirão das Neves, Nova Lima, Betim, Santa Luzia, Pedro Leopoldo, Lagoa Santa e Sabará, principalmente nos centros urbanos, o que nos mostra a presença de investimento nestes municípios. (Figura 10).

Cabe colocar que nas figuras 9 e 10 foi traçado o limite da área conurbada da RMBH, para análise de resultados. O objetivo é favorecer entender que não há vazios urbanos na área investigada, salvo a Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte, pois qualquer outra grande mancha desocupada, como o Parque das mangabeiras em Belo Horizonte, fica fora da mancha urbana conurbada. Assim, as análises dizem respeito às áreas onde há maior concentração dos domicílios e dos moradores, e deveria, de fato, ser plenamente servida por rede de esgoto.

Observa-se que alguns municípios que no ano de 2000 se encontravam na classe de ‘Não haver significância’ ou ‘Não haver

autocorrelação espacial local’, no ano de 2010 foram classificados predominantemente como Low-Low. Este é o caso dos municípios de Esmeraldas, Nova Lima e Brumadinho. Isto significa que são de baixa condição inseridos em área onde os vizinhos também têm baixa condição.

O *Cluster* nos mostra que os vizinhos limítrofes à capital de Minas Gerais precisam de maior investimento em infraestrutura de esgotamento sanitário, uma vez que estão todos predominantemente classificados como Low-Low, ou seja: baixa condição ladeada por baixa condição.

Já as classes Low-High e High-Low apresentam autocorrelação espacial negativa, ou seja, apresentam polígonos com alta concentração do fenômeno, mas seus vizinhos não, ou o contrário, um polígono com baixa concentração do fenômeno em meio a vizinhos com alta concentração. Observa-se que a presença dessas condições no ano 2000 é quase inexistente, mas aparecem em maior número no ano de 2010, configurando-se como novas áreas de investimento, uma vez que se observa que os Cluster HH que surgem em 2010 refere-se aos HL de 2000.

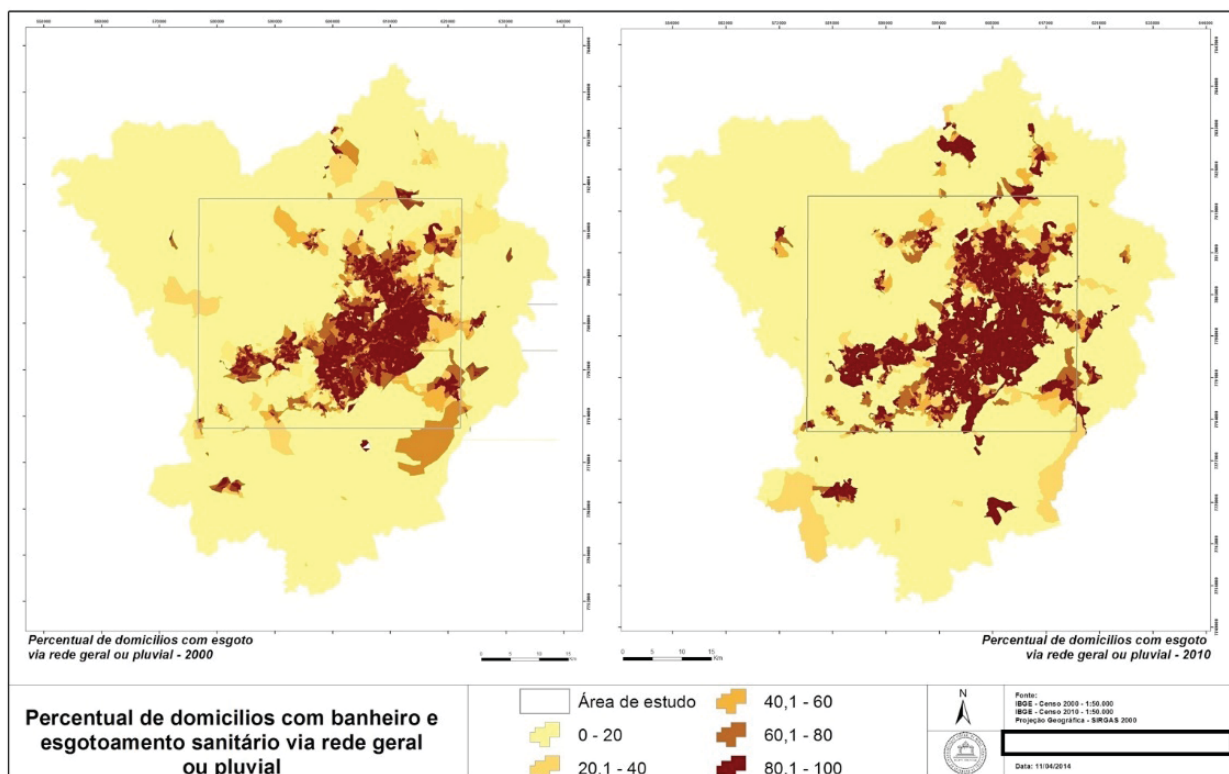


Fig. 8 - Percentual de domicílios com esgotamento sanitário em 2000 e em 2010.

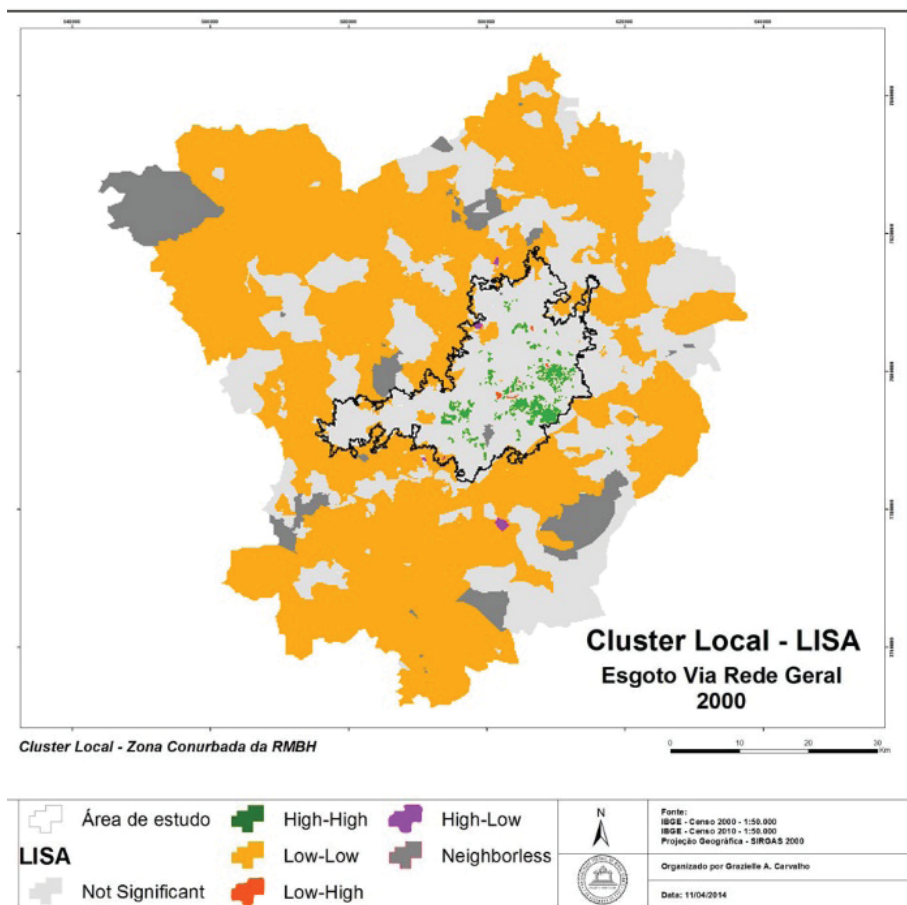


Fig. 9 - Cluster de Esgotamento sanitário no ano 2000.

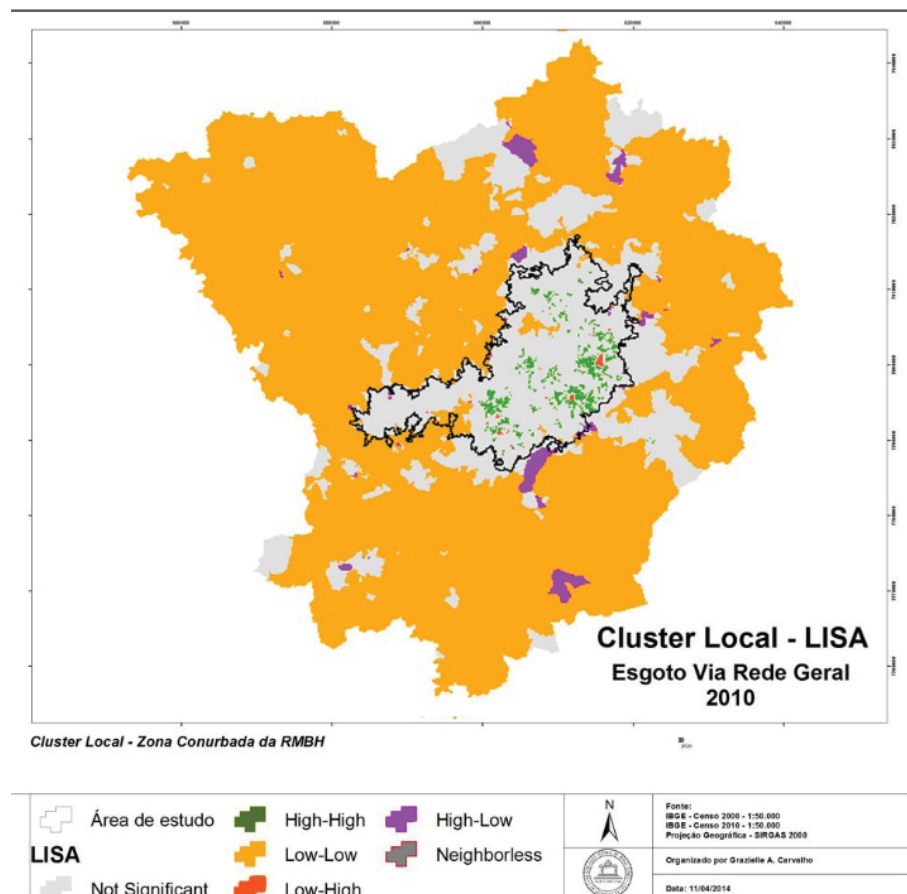


Fig. 10 - Cluster de Esgotamento sanitário no ano 2010.

4.3 Mapeamento do investimento em esgotamento sanitário na zona conurbada da RMBH entre 2000 e 2010

O mapa de investimento em esgotamento sanitário considerou o percentual de população atendida em 2000 e 2010. O mapa demonstra na escala de cores do vermelho para o verde a gradação de investimento neste setor (Figura 11).

As áreas que apresentam tonalidades avermelhadas sugerem que houve diminuição na

oferta do serviço. Isso pode ser explicado pelo aumento da população neste setor, fazendo com que o percentual total final da população atendida tenha diminuído.

Os tons amarelados sugerem que não houve alteração no percentual da população atendida e os tons esverdeados sugerem que houve investimento no setor, aumentando o percentual da população atendida pelo serviço de esgotamento sanitário.

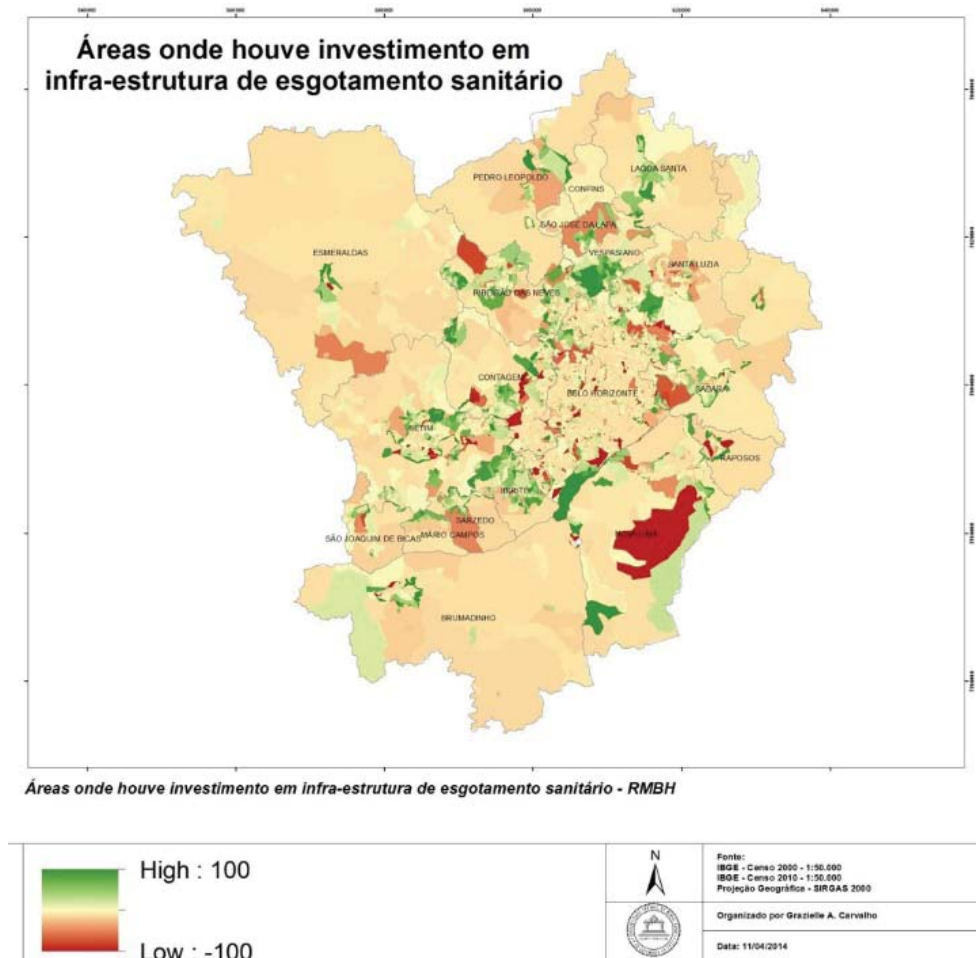


Fig. 11 - Mapeamento do investimento em esgotamento sanitário.

Cotejo entre a expansão urbana e os investimentos em esgotamento sanitário

A assinatura das correspondências espaciais entre o investimento da infraestrutura de esgotamento sanitário e a expansão da mancha urbana (Figura 7) resultou na análise da relação espacial destas condições.

O cruzamento dos mapas de investimento em esgotamento sanitário com o de crescimento da mancha urbana nos mostra que o investimento nas áreas onde houve crescimento foi pequeno, embora estratégico, pois a maior parte dos

investimentos se deu nas áreas já existentes e até então sem a oferta do serviço. Isso pode ser explicado pelo déficit existente do serviço, uma vez que o poder público não tem conseguido acompanhar a dinâmica e a demanda na região metropolitana.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelas análises realizadas observamos que foram insuficientes os investimentos em infraestrutura de esgotamento sanitário nos últimos 10 anos, embora eles tenham acontecido.

Os avanços no setor de saneamento desde 2003 estão presentes, mas ainda em ritmo lento, já que os investimentos estão muito abaixo das necessidades para se alcançar a universalização dos serviços, prevista na Lei de Saneamento (11.445/07) que exige a elaboração de Planos Municipais de Saneamento e os investimentos na melhoria da gestão.

No que se refere à mancha conurbada de Belo Horizonte, a capital mineira ainda se caracteriza como um centro monopolizador dos investimentos em infraestrutura de esgoto, o que pode ser explicado por apresentar o maior contingente populacional e por ser um dos municípios mais ricos de Minas Gerais. Belo Horizonte reúne cerca de 45% da população da RMBH, mas os demais moradores dos outros municípios têm vivido em condições precárias de esgotamento sanitário.

É necessário considerar uma limitação da análise dos dados, uma vez que temos a informação referente à coleta de esgoto, mas o dado não nos traz informações sobre o destino final dos resíduos, se estes são tratados ou não. Pode-se imaginar que a situação não seja boa, pois se a coleta ainda é deficiente, pode-se subentender que o tratamento dos resíduos apresenta situação bastante negativa.

O artigo demonstra que a metodologia proposta permitiu identificar as áreas onde houve investimento e as áreas que ainda demandam investimentos. A metodologia permitiu uma maior compreensão do fenômeno e o destaque de o déficit de oferta é expressivo, o que é surpreendente para uma região considerada mais desenvolvida que grande parte do país.

Uma das limitações a metodologia apresentada neste estudo está relacionada com o mapeamento do investimento em esgotamento sanitário na zona conurbada da RMBH entre 2000 e 2010. O número e a geometria dos setores censitários de 2000 não coincidem em quantidade e geometria dos setores censitários de 2010. Como consequência, a superfície apresentada na Figura 11 possui falhas, não sendo precisa.

Reconhecida esta limitação da metodologia, o trabalho atende ao propósito de alertar os órgãos de produção de dados oficiais no Brasil, e sobretudo os dados georreferenciados, sobre a importância de aplicar normas e

padrões de representação temporal. O correto seria a manutenção da geometria básica de um setor censitário, com subdivisão das feições se necessário, mas através de código de identificação unívoco que mantivesse o histórico da informação. As geometrias de setores censitários manteriam, assim, referências topológicas e poderiam ser associados por dados temporais. A situação é ainda mais complexa quando o motivo de investigação são as áreas de transformação e crescimento, pois são justamente elas que mais passam por subdivisão de setores censitários.

Cabe, ainda, realizar críticas ao modo de generalização da informação por setor censitário, pois o critério de definição de áreas é mais processual (guiado pela ação do recenseador, que aplica um número médio de questionários) do que por critérios geográficos. O resultado são grandes manchas de setores que, comparados a pequenas manchas urbanas que possuem características semelhantes, dão a impressão de que o polígono maior é de maior relevância, como se a condição fosse homogeneamente distribuída em toda a sua área. E sabemos que o dado que gerou o número semelhante (a exemplo renda, número de ligações de rede de esgoto) podem estar concentrados em uma porção do território.

Assim, cabe a revisão do modo como os principais dados para a realização de estudos espaciais são disponibilizados no Brasil. Por outro lado, o presente trabalho, e diante destas limitações, explicita que devem ser estudadas outras metodologias quando a origem da informação for o setor censitário.

Como trabalhos futuros, sugerimos o aprimoramento da metodologia proposta como o uso da análise espacial Krigagem nos dados de taxa de acesso ao serviço de esgotamento sanitário, para ambos os anos. Isto nos permitirá identificar as áreas de investimento nesta infraestrutura básica com mais precisão. Desta maneira, a diferença na quantidade de polígonos e geometria de polígonos entre os arquivos vetoriais de 2000 e 2010 será minimizada.

AGRADECIMENTOS

Às agências de fomento CAPES e CNPQ. Contribuição ao projeto 471089/2014-1, MCTI/CNPQ/MEC/CAPES Nº 22/2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESBE. **Saneamento básico da RMBH - Índice de Qualidade do Saneamento Ambiental – IQSA leva em consideração outros pontos.** Disponível em: <<http://www.aesbe.org.br/conteudo/impresao/6015>>. Acesso em 15 de junho de 2014
- ANSELIN, L. & BAO, S. Exploratory spatial data analysis linking SpaceStat and ArcView. In.: FISHER, M., GETIS, A. **Recent Developments in Spatial Analysis.** Berlin, Springer. P. 35-59, 1997.
- ANSELIN, L. Spatial econometrics. In.: BALTAGI, B. **Companion to Econometrics.** Oxford, Blackwell. 2001. p 310-330.
- ANDRESEN, M. A. Estimating the probability of local crime clusters: The impact of immediate spatial neighbors. **Journal of Criminal Justice**, v. 39, n. 5, p. 394-404, 2011.
- CLIFF, A. D. & ORD, J. K. **Spatial Processes: Models and Applications.** London, Pion, 1981. 266 p.
- COSTA, H. S. M. & PEIXOTO, M. C. D. Dinâmica imobiliária e regulação ambiental: uma discussão a partir do eixo-sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte. In.: **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v. 24, n. 2, p. 317-336, jul/dez, 2007.
- DALL'ERBA, S. Distribution of regional income and regional funds in Europe 1989 - 1999: an exploratory spatial data analysis. **Annals of Regional Science**, n.39, p. 121 - 148, 2005.
- ERTUR, C. & LE GALLO, J. An exploratory spatial data analysis of European regional disparities, 1980–1995. In: **European regional growth.** Berlin, Springer. p. 55-97, 2003.
- FERREIRA NETO, A. B. & PEROBELLI, F. S. Spatial analysis of cultural activities in the microregions of Minas Gerais. **Economia**, v. 14, n. 3, p. 139-157, 2013.
- FLORAX, R.; DE GRAAF, T. & WALDORF, B. A. Spatial economic perspective on language acquisition: segregation, networking and assimilation of immigrants. **Environment and Planning A**, n.37, p. 1877 – 1897, 2005.
- FUJITA, M.; KRUGMAN, P. & VENABLES, A. J. **Economia Espacial.** São Paulo; Editora Futura, 2002. 391 p.
- GUILLAIN, R. & LE GALLO, J. Agglomeration and dispersion of economic activities in and around Paris: an exploratory spatial data analysis. **Environment and Planning B: Planning and Design**, n.37(6), p. 961-981, 2010.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento com avaliação dos serviços nas 81 maiores cidades do País – 2003-2010.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/>> Acesso em 18 de junho de 2014.
- LONGLEY, P. A. & BATTY, M. **Advanced Spatial Analysis.** Redlands, ESRI, 2003. 293 p.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J. & RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.** São Paulo, Bookman, 2013. 560 p.
- MESSNER, S.; ANSELIN, L.; BALLER, R.; HAWKINS, D.; DEANE, G. & TOLNAY, S. The spatial patterning of county homicide rates: an application of exploratory spatial data analysis. **Journal of Quantitative Criminology**, v.15, p. 423 - 450, 1999.
- NEVES, M. C., RAMOS, F. R., CAMARGO, E. C. G., CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. Análise Exploratória Espacial de Dados Sócio-Econômicos de São Paulo. In: **Anais GisBrasil**, 2000. 11 p.
- PEROBELLI, F. S. & OLIVEIRA, C. Energy development potential: An analysis of Brazil. **Energy Policy**, v.59, p. 683-701, 2013.
- RAMOS, R. & DE SILVA A. A spatial analysis approach for the definition of metropolitan regions: the case of Portugal. **Environment and Planning B: Planning and Design**. v. 34, p. 171 - 185, 2007.
- RODRIGUES, A. N.; MANZATO, G. G. & PEREIRA, H. T. S. Defining functional urban regions in Bahia, Brazil, using roadway coverage and population density variables. **Journal of Transport Geography**, v. 36, p. 79-88, 2014.
- TONUCCI FILHO, J. B. Dois momentos do planejamento metropolitano em Belo Horizonte: um estudo das experiências do PLAMBEL e do PDDI-RMBH. **Dissertação (Mestrado)**

– **Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2012. 236 p.

UNISINOS. Saneamento básico no Brasil: Um cenário alarmante. Entrevista especial

com Édison Carlos em 16 de Outubro de 2013. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/524625-qos-servicos-de-coleta-e-tratamento-de-esgoto-ainda-sao-muito-precarios>>. Acesso em 18 de junho de 2014.