

Glauco José de Matos Umbelino

**Simulações de distribuição espacial
domiciliar e projeções demográficas
intraurbanas com apoio de
geotecnologias**

Belo Horizonte, MG
UFMG/Cedeplar
2012

Glauco José de Matos Umbelino

Simulações de distribuição espacial domiciliar e projeções demográficas intraurbanas com apoio de geotecnologias

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Demografia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Demografia.

Orientador: Prof. Alisson Flávio Barbieri

Co-orientador: Prof. Clodoveu Augusto Davis Jr.

Belo Horizonte, MG
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional
Faculdade de Ciências Econômicas – UFMG
2012

Folha de Aprovação

*Aos Matos e Umbelino, imprescindíveis para
minha chegada até aqui. Que a porteira
agora aberta nunca venha a se fechar!!!*

*Em memória do prof. Daniel Hogan, primeiro
a plantar na ABEP as sementes colhidas
nesta tese.*

AGRADECIMENTOS

Compatibilizar estudo, trabalhos, atividades domiciliares, vida conjugal, familiar e social têm sido a tarefa mais complexa da minha vida! Como tive que colocar o estudo à frente das demais atividades para concluir a tese, agradeço a muitas pessoas que me deram suporte, tanto pelo lado de elaboração da tese, como pelo lado de compreensão pela ausência parcial ou total às demais atividades. Dessa forma, agradeço:

- Com muito amor e carinho, as minhas mães (Mercedes e Cynthia), demais familiares e amigos: pessoas que me apoiaram, incentivaram e compreenderam a minha ausência em função de um objetivo traçado. Muito obrigado por me ajudarem a executar meus planos;

- A minha esposa Fernanda, que sempre me apoiou durante minha estadia no Cedeplar. Como você já passou por isso, agradeço pela compreensão e pelos incentivos recebidos de todas as formas ao longo da elaboração da tese;

- Aos doutores Nilton Vitral e Luiz Carlos Molinari, pela amizade e constante empenho em manter minha visão nítida, para que eu pudesse continuar a enxergar o presente e refletir sobre meu futuro;

- A Universidade Federal de Minas Gerais, pela formação na graduação, e em especial ao Cedeplar, pelo excelente aprendizado e profissionalismo recebidos durante o mestrado e o doutorado;

- Aos funcionários e professores do Cedeplar pelo apoio prestado durante minha formação em demografia e na execução dessa tese. Em especial agradeço a Cecília e ao Sebastião que representando a Secretaria, sempre me socorreram na solução dos trâmites internos;

- Ao CNPq, pela bolsa de estudo nos primeiros dois anos do doutorado;

- Ao professor Alisson Barbieri por me orientar mais uma vez, me incentivando no desenvolvimento de metodologias espaciais demandadas pela demografia, bem

como por me auxiliar no desenvolvimento teórico por trás das simulações da tese. Obrigado pelas dicas e ajudas como amigo, orientador e professor;

- Ao professor Clodoveu, que gentilmente aceitou participar da minha qualificação e a partir daí, me norteou pelos caminhos das geotecnologias, prestando todo o apoio necessário na orientação da tese. Sem sua contribuição como amigo e tutor, eu não teria conseguido avançar tanto no desenvolvimento metodológico e na capacidade de síntese dos resultados;

- Aos professores Irineu Rigotti e Roberto Monte-Mór pelas sugestões de aprimoramento durante a qualificação, bem como pela disponibilidade em participar da avaliação final deste trabalho. Agradeço novamente ao Roberto pela sua constante boa vontade e disponibilidade em ajudar quem o procura, uma vez que o tive me avaliando no final da graduação e do mestrado, sem nunca ter sido seu aluno (pelo menos em termos oficiais);

- Aos professores Antônio Miguel Monteiro e Flávio Freire, pela disponibilidade e interesse em participar da minha defesa de doutorado, tendo que compatibilizar seus compromissos para poder se deslocar até Belo Horizonte, meus sinceros agradecimentos;

- As professoras Laura Wong e Moema Fígoli pela oportunidade de trabalhar no Laboratório de Projeções do Cedeplar e pelos comentários recebidos durante a qualificação, que me fizeram pensar que seria possível melhorar esta tese;

- Ao professor Ralfo Matos, amigo “culpado” por tudo isso. Graças à oportunidade que tive de me iniciar nos estudos de população em 2003 como seu bolsista e ser “obrigado” a dominar programas computacionais voltados ao geoprocessamento e à análise de microdados, pude vir da geografia para a demografia com uma expertise que possibilitou a materialização da minha monografia, da minha dissertação e agora desta tese;

- Ao professor Roberto Nascimento, destaco a amizade e incentivo à demografia desde a época da graduação. Obrigado por estar sempre disponível e não medir

esforços para contribuir na minha formação acadêmica. Sua ajuda foi muito valiosa para a minha pesquisa e formação do meu perfil profissional;

- As professoras Carla Machado e Paula Miranda-Ribeiro, que sempre me incentivaram a continuar aprimorando e renovando meus conhecimentos dentro da demografia, bem como pelo carinho demonstrado desde o início do meu mestrado. Para mim foi muito gratificante e inspirador ter recebido esse apoio durante meus sete anos de Cedeplar;

- Ao professor José Alberto, pelo constante compartilhamento de sabedoria e pelos aprendizados em bancos de dados, migração, projeções e principalmente, pelos exemplos de plenitude profissional baseada na humildade, sinceridade e dedicação;

- Aos alunos da Coorte 2005 por terem sempre me incentivando e ajudado quando preciso. Douglas Sathler, Vitor Miranda, Cristina Guimarães, Kátia Campos, Gilvan Guedes e Mauro Santos serão sempre os bons amigos que demonstraram companheirismo dentro e fora de sala;

- Idem para os alunos da Coorte 2007: Kátia Campos (novamente!), Guilherme Leiva, Luana Mirra, Luciana Lima, Luciene Longo, Pamila Sivero, Everton Lima, Fernando Braga e Antônio Gelson Nascimento, que me ajudaram compartilhando conhecimento e ajudando nas soluções dos problemas metodológicos que me deparei;

- A Marília Miranda e Marcos Gonzaga pelo ótimo convívio e constante aprendizado em estatística durante nossos 18 meses juntos no Laboratório de Projeções do Cedeplar;

- À Fundação João Pinheiro, na figura da presidente Marilena Chaves e do diretor Roberto Marinho, agradeço por me concederem todo o tempo necessário durante a reta final da tese e por acreditarem no meu potencial como pesquisador. Sem esse suporte eu não conseguiria vencer essa etapa. Agradeço também a todos os técnicos da instituição que contribuíram de alguma forma para a realização da tese, tanto ajudando no aprimoramento das metodologias, como validando-as

sempre que necessário. Em especial: Paulo Madsen, Mauro Câmara, Geovane Máximo, Maria Izabel do Valle e Raquel Viana;

- Aos geógrafos da “turma da mancha urbana”, que me ajudaram durante os dois anos dedicados à elaboração das bases de uso e ocupação do solo na RMBH: Vladimir Diniz, Brenner Rodrigues e Diego Macedo na parte de classificação de imagens e trabalho de campo, e Laura Lima e Paulo Borges na parte de pente fino da vetorização;

- Agradeço toda a equipe do PDDI, pelos 18 meses de aprendizado e pelo refinamento dos dados básicos utilizados como insumo da minha pesquisa. Mais uma vez sou grato ao Roberto Monte-Mór pelo compartilhamento de conhecimentos e por permitir que eu aprimorasse a metodologia de ACs dentro do plano. No início do PDDI me inseri no grupo ADAMS, e agradeço o aprendizado que tive com Bernardo Lanza, Ernesto Amaral e Reinaldo Santos. Posteriormente, agradeço a coordenação do PDDI pela confiança em me ceder a coordenação da equipe de geoprocessamento durante a finalização do plano, no qual junto com Sibelle Diniz, João Tonucci, Marcos Brito, Reinaldo Santos, Ana Pimenta e Fernando Andrade, finalizamos o SIG do PDDI, bem como elaboramos os mapas finais;

- À Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, representada pelos técnicos da Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano (SMAPU), que gentilmente cederam as bases cadastrais do município e colaboraram na elaboração dos pressupostos para os cenários de adensamento do Artigo 3 da tese: Gina Rende, Júnia Ferrari, João Tonucci, Fernanda Pedrosa, Luciana Barbosa, Valéria Pena, Lidiane Nery, Tiago Esteves, Diego Fonseca, Ana Mourão e Rogério Palhares, que representando a Práxis Consultoria, também ofereceu importantes contribuições junto com a equipe da SMAPU;

- Para a elaboração dessa tese, muitos amigos oriundos da geografia me socorreram nas várias etapas de trabalho ao longo dos últimos anos. Merece destaque a ajuda na revisão de textos feita por Douglas Sathler e Rodrigo Carvalho, o auxílio recebido pelo Diego Macedo e Vladimir Diniz na luta contra os

diversos softwares, assim como o apoio que tive dos amigos Frederico Lopes, Isaac Medeiros, Romulo Louzada, Miguel Felipe, Alfredo Costa e Brenner Rodrigues. Cada um contribuiu como pôde na consecução desta tese;

- Aos colegas da Associação Brasileira de Estudos Populacionais pertencentes ao GT PopAmb, pelas diversas sugestões de aprimoramento da tese durante as conversas de corredor e trocas de mensagens. Esse intercâmbio de ideias foi fundamental para o alinhamento da metodologia desenvolvida. Em especial agradeço: Antônio Miguel Monteiro, Flávia Feitosa, Humberto Fonseca, Ricardo Ojima, Roberta Rosemback e Diego Macedo;

- Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística pelo acesso aos dados censitários da RMBH e resolução das inconsistências detectadas nas divulgações preliminares dos resultados do Universo 2010. Em especial agradeço à Luciene Longo, Fabiana Fábrega e Diego Macedo pela prontidão e esforço contínuo em responder minhas indagações;

- Aos amigos da banda Lado Oposto, pela compreensão de adiamento de ensaios e paralização das atividades em prol da finalização do meu doutorado. Obrigado Douglas Sathler, Wanler Andrade e Leandro Ramos;

Por fim, só tenho a dizer que a finalização desse trabalho só foi possível graças ao suporte que recebi de todos vocês. Valeu!!!

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEP – Associação Brasileira de Estudos Populacionais

ABM – Agent-based models

AC – Autômato celular

ADEs – Áreas de Diretrizes Especiais

AMBEL – Assembleia Metropolitana de Belo Horizonte

CEDEPLAR – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

COMPUR – Conselho Municipal de Política Urbana

CTM – Cadastro Técnico Municipal

DPP – Domicílios Particulares Permanentes

FJP – Fundação João Pinheiro

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais

IPTU – Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana

IUSSP – União Internacional para o Estudo Científico da População

LCM – Land Change Modeler

LPOUS – Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo

LUOS – Lei de Uso e Ocupação do Solo

MLP – Multi-Layer Perceptron

MU – Mancha Urbana

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NGDC – National Geophysical Data Center

PBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

PDM – Plano Diretor Municipal

PDDI – Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte

PLAMBEL – Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

PLHIS – Planos Locais de Habitação de Interesse Social

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RMs – Regiões Metropolitanas

RODOANEL – Anel Viário do Contorno Norte

SEDRO – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SIRUS – Sistema Integrado de Regulação e Uso do Solo

SMAPU – Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano

QT – Quota de Terreno por unidade habitacional

TCG – Taxa de Crescimento Geométrico anual

TDC – Transferência do Direito de Construir

TIN – Triangulated irregular networks

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UTM – Universal Transversa de Mercator

ZA – Zona Adensada

ZAP – Zona de Adensamento Preferencial

ZAR – Zona de Adensamento Restrito

ZC – Zona Central

ZCBA – Zona Central do Barreiro

ZCBH – Zona Central de Belo Horizonte

ZCVN – Zona Central de Venda Nova

ZE – Zona de Grandes Equipamentos

ZEIS – Zona de Especial Interesse Social

ZHIP – Zona Hipercentral

ZP – Zona de Proteção

ZPA – Zona de Preservação Ambiental

SUMÁRIO

RESUMO.....	xx
ABSTRACT	xxi
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Uso de Sistemas Complexos em estudos de população.....	9
1.2 – Uso de geotecnologias no planejamento: aspectos conceituais e metodológicos	14
1.2.1 – Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica	15
1.2.2 – Autômatos celulares aplicados à simulação de áreas urbanas	18
1.2.3 – Mapeamento dasimétrico aplicado à análise urbana	28
1.3 – Integração de fontes de dados demográficos às geotecnologias.....	32
1.4 – Apresentação dos artigos acadêmicos.....	34
Referências bibliográficas	36
2 – ARTIGO 1 – USO DE AUTÔMATOS CELULARES NA SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, 2010 A 2030.....	47
2.1 - Introdução	49
2.2 - Dinâmica demográfica e expansão urbana na RMBH.....	50
2.3 - Expansão da mancha urbana na RMBH: bases metodológicas	53
2.3.1 - Fontes de Informação para a construção de cenários	55
2.3.2 - Criação de cenário de expansão horizontal da mancha urbana	60
2.4 - Resultados	61
2.4.1 - Calibração do Modelo	61
2.4.2 - Simulação	64
2.4.3 - Análise	68

2.5 - Conclusão	80
Referências bibliográficas	82
3 – ARTIGO 2 – PROJEÇÃO DOMICILIAR E SIMULAÇÃO DO ADENSAMENTO INTRAURBANO DE BELO HORIZONTE, 2010 A 2030.....	87
3.1 - Introdução	89
3.2 - Dinâmica demográfica e adensamento domiciliar em Belo Horizonte.....	91
3.3 - Adensamento domiciliar de Belo Horizonte: bases metodológicas	96
3.3.1 – Fontes de Informação para a construção de cenários	98
3.3.2 – Cenário de adensamento da mancha urbana: SIG, mapeamento dasimétrico e ACs	101
3.4 - Resultados	112
3.4.1 – Simulação do adensamento	112
3.4.2 – Projeção domiciliar	115
3.4.2 – Análise dos resultados finais	118
3.5 - Conclusão	127
Referências bibliográficas	131
4 – ARTIGO 3 – PROJEÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DOMICÍLIOS PERMITIDA EM BELO HORIZONTE A PARTIR DE 2011	138
4.1 - Introdução	140
4.2 – Ocupação domiciliar e instrumentos reguladores do espaço urbano de Belo Horizonte	143
4.3 - Metodologia.....	149
4.3.1 - Uso do SIG e mapeamento dasimétrico para projetar a capacidade de carga urbana	151
4.3.2 - Bases de dados utilizadas nas projeções	153
4.3.3 - Criação de três cenários de adensamento domiciliar de Belo Horizonte	155

4.3.4 - Cenário 1: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Legal.....	157
4.3.5 - Cenário 2: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Praticada .	158
4.3.6 - Cenário 3: renovação urbana via demolições	165
4.4 - Resultados	168
4.5 - Conclusão	180
Referências bibliográficas	184
5 – CONCLUSÕES	189
Referências bibliográficas	193

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Localização da área de estudo	4
FIGURA 2 – Componentes e processo de transição de um autômato celular	21
FIGURA 3 – Estrutura de funcionamento do LCM para mudança na previsão de cobertura do solo	25
FIGURA 4 – Estrutura de funcionamento do LCM com a incorporação de variáveis dinâmicas adicionais para mudança na previsão de cobertura do solo	26
FIGURA 5 – Mancha urbana da RMBH em 2009 e simulação para 2030 a partir do Cenário Rígido do LCM.....	27
FIGURA 6 – Mancha urbana da RMBH em 2009 e simulação para 2030 a partir do Cenário Suavizado do LCM	27
FIGURA 7 – Representação esquemática do princípio do mapeamento dasimétrico.....	29
FIGURA 8 – Densidade populacional (hab.km ²) dos municípios da RMBH em 2010.....	31
FIGURA 9 – Geotecnologias utilizadas para o desenvolvimento metodológico presente nos artigos.....	35
FIGURA 10 – Estrutura de funcionamento do LCM com a incorporação de variáveis dinâmicas adicionais para mudança na previsão de cobertura do solo	61
FIGURA 11 – Sub-Modelo de Transição do uso do solo para a categoria mancha urbana entre 2000 e 2010 na RMBH.....	62
FIGURA 12 – Validação da mancha urbana real e da mancha urbana simulada em 2010 para a RMBH	63
TABELA 1 – Bases georreferenciadas utilizadas na simulação da expansão urbana da RMBH	65
FIGURA 13 – Variáveis de potencial de transição na RMBH	66

FIGURA 14 – Potencial de transição do uso do solo para a categoria mancha urbana entre em 2010 e 2030 na RMBH	67
TABELA 2 – Área em km ² , área expandida e TCG da mancha urbana dos municípios da RMBH no período 2000-2010	70
TABELA 3 – Área em km ² , área expandida e TCG da mancha urbana dos municípios da RMBH no período 2010-2030	72
FIGURA 15 – Mancha urbana da RMBH mapeada em 1991, 2000 e 2010	74
FIGURA 16 – Mancha urbana de Belo Horizonte e entorno mapeada em 1991, 2000 e 2010	75
FIGURA 17 – Mancha urbana da RMBH simulada em 2020 e 2030 e probabilidade de expansão	78
FIGURA 18 – Mancha urbana de Belo Horizonte e entorno simulada em 2020 e 2030 e probabilidade de expansão	79
FIGURA 19 – Refinamento dos dados projetados a partir do adensamento máximo domiciliar suportado pelo município	101
FIGURA 20 – Mapeamento dasimétrico dos setores censitários compatibilizados de Belo Horizonte, para a estimativa domiciliar das ZEIS ..	103
FIGURA 21 – Mancha urbana de Belo Horizonte mapeada em 2000 e 2010 e simulação da expansão horizontal para 2020 e 2030	105
TABELA 4 – Proposta de categorização do número de domicílios por célula.....	107
FIGURA 22 – Matrizes com classes de densidade domiciliar de Belo Horizonte em 2000 e 2010	108
FIGURA 23 – Estrutura de funcionamento do LCM com a incorporação de variáveis dinâmicas adicionais para mudança nas classes de densidade domiciliar.....	109
TABELA 5 – Bases georreferenciadas utilizadas na simulação do adensamento urbano de Belo Horizonte.....	109
FIGURA 24 – Localização da Região do Isidoro e arruamento ilustrativo.....	112

FIGURA 25 – Variáveis de potencial de transição domiciliar em Belo Horizonte.....	113
FIGURA 26 – Potencial de transição entre classes de adensamento domiciliar de Belo Horizonte entre 2010 e 2030.....	114
TABELA 6 – Total de domicílios de Belo Horizonte em 2000, 2010 e projeções para 2020 e 2030	117
TABELA 7 – Total de Domicílios, densidade e área em hectares de Belo Horizonte em 2000, 2010 e projeções para 2020 e 2030	119
TABELA 8 – Total de domicílios por Regionais de Planejamento de Belo Horizonte em 2010 e projeções para 2020 e 2030	120
TABELA 9 – Total de pessoas por Regionais de Planejamento de Belo Horizonte em 2010 e projeções para 2020 e 2030	121
FIGURA 27 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte em 2010.....	122
FIGURA 28 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2020.....	123
FIGURA 29 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2030.....	124
FIGURA 30 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2020, ajustadas pela Renovação Urbana	125
FIGURA 31 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2030, ajustadas pela Renovação Urbana	126
FIGURA 32 – Estrutura de funcionamento para a criação de cenários.....	152
FIGURA 33 – Regiões de Planejamento, quadras e zoneamento de Belo Horizonte, atualizados pela Lei 9.959/10	155
TABELA 10 – Parâmetros urbanísticos relativos à Quota de Terreno por unidade habitacional de Belo Horizonte em 2011	158

TABELA 11 – Evolução temporal da média da quota praticada nos domicílios de Belo Horizonte entre 1970 e 2011.....	159
FIGURA 34 – Mapeamento dasimétrico dos setores censitários compatibilizados de Belo Horizonte, para a estimativa domiciliar das ZEIS ..	163
FIGURA 35 – Localização da Região do Isidoro e arruamento ilustrativo.....	165
FIGURA 36 – Procedimentos para a criação da Zona de Renovação Urbana....	167
TABELA 12 – Domicílios existentes na Planta Cadastral de Belo Horizonte e potenciais domicílios a serem construídos conforme cenários simulados	168
FIGURA 37 – Quadras passíveis de adensamento domiciliar e renovação urbana, utilizadas na criação dos cenários	169
FIGURA 38 – Domicílios existentes por quadra na Planta Cadastral de Belo Horizonte em setembro de 2011	170
FIGURA 39 – Domicílios futuros obtidos a partir do Cenário 1: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Legal	171
FIGURA 40 – Domicílios futuros obtidos a partir do Cenário 2: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Praticada	172
FIGURA 41 – Domicílios futuros obtidos a partir do Cenário 3: renovação urbana via demolições	173
FIGURA 42 – Capacidade máxima domiciliar suportada por Belo Horizonte, a partir do somatório dos domicílios de 2011 com os Cenários 2 e 3.....	174

RESUMO

Esta tese foi desenvolvida no formato de uma coletânea de três artigos acadêmicos precedidos por um capítulo introdutório e sucedidos por um capítulo de Conclusão. O caráter metodológico dessa pesquisa tornou possível realizar, na escala intraurbana, simulações da evolução espacial e quantitativa dos domicílios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a partir da integração de dados demográficos com dados espaciais de ocupação urbana. Esse trabalho justifica-se pelo seu potencial em contribuir, no curto e médio prazo, para a formulação de políticas públicas na esfera do planejamento urbano e regional da RMBH e de Belo Horizonte, ao indicar potenciais demandas sociais decorrentes da futura configuração do uso urbano para fins de habitação. O Artigo 1 apresenta um mapeamento da expansão da mancha urbana da RMBH entre 1991-2000-2010, e propõe, a partir do uso de autômatos celulares, um modelo que simula a expansão urbana (área ocupada) para 2020 e 2030. O Artigo 2 analisa o contingente domiciliar de Belo Horizonte em 2000 e 2010 e, a partir do uso de autômatos celulares e do mapeamento dasimétrico, simula para 2020 e 2030 um provável cenário de expansão e adensamento urbano por quadra, além de projetar seu número total de domicílios. O Artigo 3 discorre sobre a técnica de mapeamento dasimétrico aplicada em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permitiu quantificar o máximo de domicílios que o município comporta caso todos os lotes vagos sejam ocupados e o processo de renovação urbana ocorra em todos os domicílios passíveis de demolição. Os resultados obtidos poderão estimular a utilização de geotecnologias para projeções demográficas e simulações da ocupação intraurbana, assim como subsidiar programas visando a minimização dos problemas ou maximização dos benefícios decorrentes do crescimento, adensamento e redistribuição populacional da RMBH.

Palavras-chave: RMBH, Belo Horizonte, expansão urbana, adensamento urbano, projeção domiciliar, geotecnologias, autômato celular, mapeamento dasimétrico.

ABSTRACT

This dissertation is composed of three independent articles, which are preceded by an introductory chapter and followed by concluding remarks. The main purpose is to describe and apply a methodology of forecasting the spatial distribution of households in the Belo Horizonte Metropolitan Area (RMBH), Brazil. Related to this methodological purpose, the dissertation aims to offer instruments and empirical grounds to inform public policies for urban and regional planning in the Metropolitan Area of Belo Horizonte given the findings about potential vectors of growth in the demand for housing in the RMBH. The data sources included the decennial demographic censuses and spatial data from urban sprawl. The first article maps the urban sprawl of the RMBH over the years of 1991-2000-2010. Using data from the Geographic Information System (GIS) and cellular automata (CA), the model forecasts the urban growth of the RMBH in the years 2020 and 2030. The second article uses data from the 2000 and 2010 demographic census, CA and dasymetric mapping techniques to forecast the urban growth and densification by census track by 2020 and 2030 as well as the expected number of households in Belo Horizonte. The third article describes the dasymetric mapping technique applied in the GIS and its application to estimate the maximum number of households that Belo Horizonte can host if all vacant land lots are occupied and buildings able for demolition are renewed. The findings might help fostering the use of geotechnologies in demographic forecasts and in simulations of patterns of urban land use, as well as to help design policies that alleviate some of the negative consequences associated with urban expansion and population growth.

Keywords: RMBH, Belo Horizonte, urban sprawl, urban densification, household projection, geotechnologies, cellular automata, dasymetric mapping.

1 – INTRODUÇÃO

As Regiões Metropolitanas (RMs) são os principais palcos das grandes transformações urbanas ocorridas no Brasil a partir de meados do século XX. O rápido crescimento vivenciado pelas metrópoles brasileiras, sobretudo nas décadas de 1960 e 1970, foi alimentado pelas altas taxas de crescimento vegetativo e pela imigração em larga escala, o que contribuiu para que a dinâmica populacional exercesse grande pressão nas maiores cidades, criando problemas de difícil resolução. Nesse período, cabe destacar a incapacidade governamental no gerenciamento de questões públicas de interesse comum: habitação, transporte intra e intermunicipal, defesa civil, violência urbana, recursos hídricos, saneamento, acesso ao mercado de trabalho, dentre outros (Hogan, 1999; Matos et al, 2005; Rios-Neto et al, 2009; PDDI, 2011).

As transformações das RMs brasileiras tem demandado crescentes esforços de planejamento e monitoramento por parte dos gestores urbanos (UNFPA, 2007). Nessas grandes aglomerações urbanas, o planejamento da ocupação humana é um instrumento essencial para avaliar e orientar transformações ao longo do tempo, demandando conhecimentos sobre formas diferenciadas de organização, produção e gestão. O planejamento territorial passa a ser um importante mecanismo voltado para uma orientação racional do futuro (Buarque, 2003; PDDI, 2011).

Na última década, a importância do planejamento ganhou um novo momentum a partir dos instrumentos norteadores da política urbana presente no Estatuto das Cidades (Lei 10.257/2001). Nesse novo contexto, cabe ressaltar a multiplicação dos Planos Diretores Municipais, a efetivação da participação popular e a obrigatoriedade do planejamento para acessar alguns recursos federais, a exemplo dos Planos Municipais de Regularização Fundiária Sustentável (PMRFS), dos Planos Locais de Habitação de Interesse Social (PLHIS), da

promoção do planejamento por agências locais de desenvolvimento apoiadas pela iniciativa privada, dentre outras ações.

O planejamento nas regiões metropolitanas tem se beneficiado de abordagens interdisciplinares, capazes de estabelecer soluções mais condizentes com a natureza dos problemas urbanos. De acordo com Lima e Mendonça (2001, p. 135), os problemas urbanos “demandam a busca de soluções que ultrapassam o campo restrito de disciplinas isoladas, levando o urbanismo a atingir o patamar de campo básico da interdisciplinaridade”.

No que diz respeito à contribuição da demografia e das geociências, as projeções demográficas e simulações espaciais em pequenas áreas são particularmente importantes para melhor investigar as demandas populacionais, trazendo dessa forma elementos indispensáveis para se pensar o futuro (Reibel e Agrawal, 2007; Jannuzzi, 2007; Santos, 2010; PDDI, 2011).

Para atender às demandas do planejamento, diversos autores têm produzido estudos sobre projeções de domicílios, tanto no que se refere aos seus aspectos metodológicos, quanto às suas aplicações (United Nations, 1973; Waldwogel, 1998; Buarque, 2003; Cedeplar, 2007; Fioravante, 2009; Cedeplar, 2010; Fígoli et al, 2010; Jannuzzi e Pitta, 2010). Entretanto, no caso brasileiro, e em particular nas regiões metropolitanas, há uma carência desse tipo de estudo, principalmente na escala intraurbana. Normalmente, a forma mais usual e simples de se projetar domicílios é indireta, sendo os cálculos feitos a partir de projeções de população e do número médio de pessoas por domicílio (observado e esperado). Ao contrário das projeções populacionais, que consideram implicitamente os impactos de fatores causais da dinâmica demográfica (ou seja, os determinantes da migração, fecundidade e mortalidade), as projeções de domicílios e a sua distribuição no espaço deveriam incorporar as mudanças nos arranjos familiares (e seus consequentes determinantes culturais e sociais), os parâmetros do zoneamento da região, a lógica de atuação da dinâmica imobiliária, a mobilidade populacional e a expansão da mancha urbana. Uma boa parte desses fatores, conforme será apresentado nos artigos que compõem esta tese, serão implicitamente considerados nas projeções domiciliares aqui propostas, e são tratados como

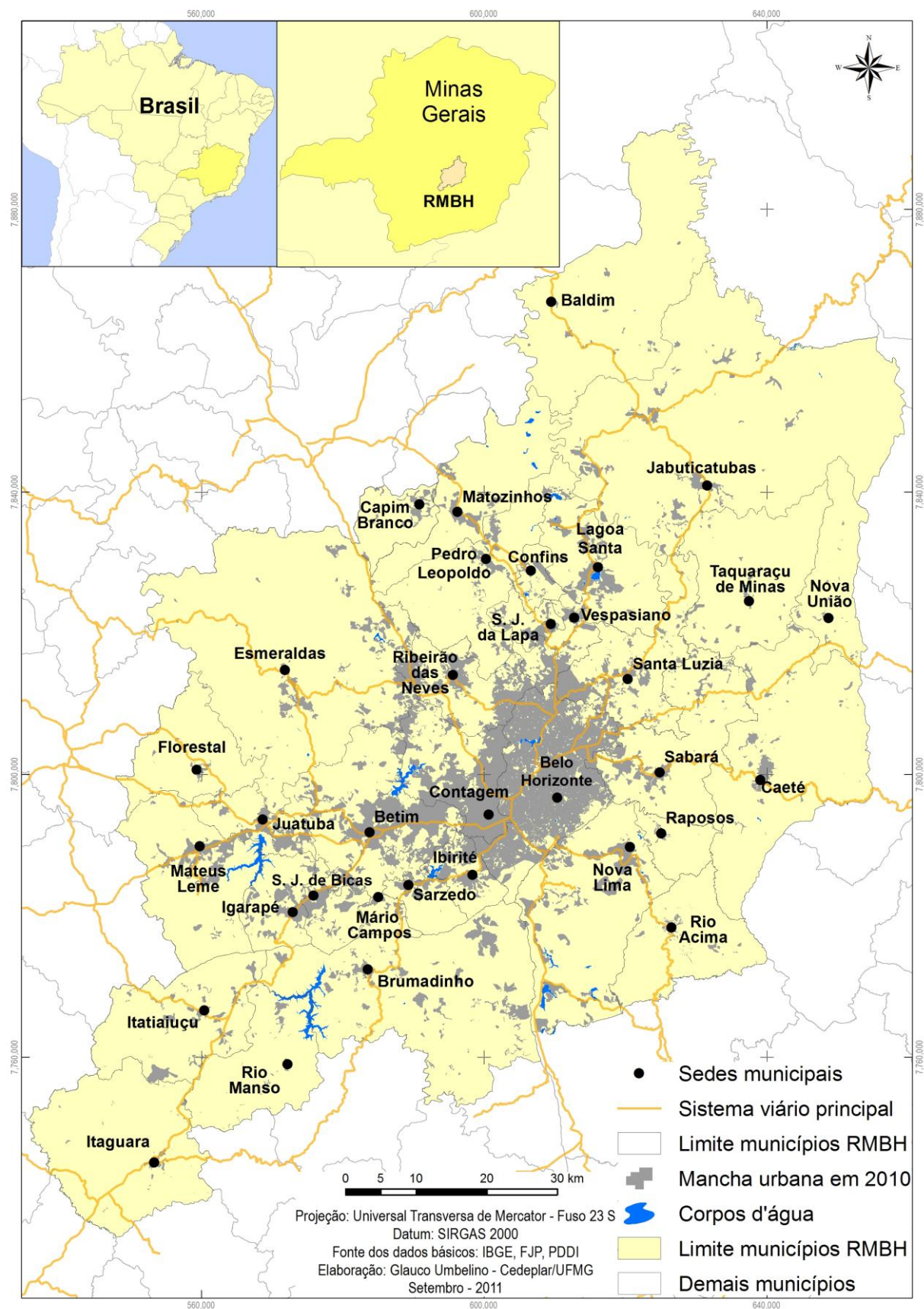
mais adequados para pequenas escalas do que os métodos tradicionais (ver Seção 1.1. abaixo).

Os resultados dos últimos levantamentos censitários demonstram mudanças no comportamento dos componentes da dinâmica demográfica nas principais RMs do país, que criam novas demandas em função do aumento do poder de consumo da população, gerando impactos significativos na estrutura domiciliar e na mobilidade intrametropolitana (FJP, 2010; PDDI, 2011, Leiva, 2012). Nota-se, nesse sentido, que as RMs brasileiras apresentaram nos dois últimos levantamentos censitários uma Taxa de Crescimento Geométrico anual (TCG) domiciliar bastante superior à populacional, o que sinaliza para a relevância do aprofundamento de estudos preditivos de crescimento domiciliar intraurbano, assim como a espacialização desse adensamento, uma vez que os dados permitem que o gestor urbano saiba “onde agir” (Torres, 2006).

Tomando-se como exemplo a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), representada na FIG.1, a TCG domiciliar verificada entre 2000 e 2010 foi de 2,50%a.a., dobro da TCG populacional, mensurada em 1,15% a.a. Na capital Belo Horizonte, que encontra-se próxima ao limite de saturação do espaço construído, a TCG domiciliar foi de 1,94% a.a., valor três vezes superior à TCG populacional de 0,62%a.a (IBGE, 2002 e 2010). A análise e espacialização desse crescimento domiciliar ainda aponta sua predominância em edificações do tipo apartamento¹.

¹ Análise feita a partir da sobreposição das bases cadastrais da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, durante a elaboração dos pressupostos para o desenvolvimento da metodologia do Artigo 3 da tese. Um aspecto importante desse resultado, que não será resultado de aprofundamento nessa tese, mas aponta possibilidades de pesquisa futura, é que 17% dos domicílios construídos na capital no último quinquênio ocorreram em áreas com alto potencial de risco de inundação ou deslizamento de encosta.

FIGURA 1 – Localização da área de estudo



Diante dos novos desafios na esfera do planejamento metropolitano, as transformações demográficas e as demandas a elas associadas assumiram grande importância. Assim, a utilização de instrumentos de análise espacial aplicados à demografia em escalas intraurbanas é uma demanda crescente para o planejamento de curto, médio e longo prazo, dada a carência de uma visão de políticas públicas que vão além da simples gestão de conflitos e recursos, passando para o planejamento como um processo permanente de construção do espaço metropolitano (Buarque, 2003; PDDI, 2011). Dessa forma, modelos que simulam a ocupação do espaço passam a ser um recurso metodológico importante para estudos demográficos aplicados ao planejamento ao estabelecerem referências importantes para a tomada de decisões, como por exemplo, na construção de cenários hipotéticos de oferta e demanda por habitação, equipamentos e serviços públicos.

Avanços metodológicos significativos na avaliação interdisciplinar dos problemas urbanos e nas iniciativas de planejamento territorial foram impulsionados pelo surgimento de novas tecnologias, sobretudo nas duas últimas décadas, aplicadas inclusive à análise das relações entre população e espaço (Umbelino, 2007). Assim, teorias e conceitos desenvolvidos em uma perspectiva interdisciplinar encontram sustentação no uso de novas técnicas e ferramentas inteligentes voltadas para a manipulação e integração de bancos de dados e informações de diversas naturezas (Batty, 2005). Nesse aspecto, as novas possibilidades de utilização de geotecnologias associadas a bancos de dados convencionais merecem destaque, sobretudo a partir de aplicações de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) que procuram simular o espaço geográfico através do armazenamento, manipulação e análise de dados geográficos em um ambiente computacional (Davis e Fonseca, 2001; De By et al, 2001; Longley et al, 2005).

O uso de SIGs é particularmente útil como ferramenta para o planejamento na escala metropolitana, ao possibilitar a integração de uma diversidade de informações em plataformas automatizadas que ofereçam os recursos necessários para a análise espacial. Assim, as projeções demográficas e simulações espaciais devem levar em consideração um conjunto de aspectos

sobre as diversidades demográficas, econômicas, políticas, sociais e ambientais da região em análise (Buarque, 2003; Jannuzzi, 2007; Freire, 2001; Fioravante, 2009; Umbelino e Sathler, 2010).

Na RMBH, o planejamento sempre esteve mais presente na esfera estadual, cujas iniciativas enfrentaram dificuldades frente à desarticulação das gestões locais para a realização de políticas integradas de desenvolvimento regional. Nesse sentido, vale destacar a criação do Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Plambel) na década de 1970, da Secretaria de Estado de Assuntos Metropolitanos, nos anos 1980, e da Assembleia Metropolitana de Belo Horizonte (Ambel), na década de 1990. Recentemente, a criação da Agência Metropolitana, pelo governo estadual, parece ser mais uma iniciativa em prol do planejamento metropolitano (Cota, 2010; PDDI, 2011).

Cabe ressaltar a formulação do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH (PDDI), que teve como objetivo principal o planejamento territorial integrado, a partir das dimensões social, econômica e ambiental. O plano visou construir um processo de planejamento envolvendo os 34 municípios integrantes da RMBH, o Estado de Minas Gerais (em seus inúmeros órgãos de gestão e execução), os órgãos federais atuantes na região, a academia e a sociedade civil, representada pelos movimentos organizados e pelas associações empresariais e populares (PDDI, 2011).

Nesse contexto de iniciativas voltadas para o planejamento da RMBH, o objetivo principal da tese é oferecer uma proposta metodológica que, integrando geotecnologias e informações construídas de forma interdisciplinar (dados demográficos, sociais, econômicos, etc.), permita construir cenários da distribuição espacial domiciliar, fundamentais para o planejamento metropolitano. Os cenários refletem a elaboração e escolha de pressupostos que permitiram a simulação da distribuição domiciliar no espaço intra-metropolitano em 2020 e 2030. Como objetivo complementar, o trabalho busca analisar, para Belo Horizonte, as consequências de cenários projetados para o planejamento urbano, a partir da avaliação do aumento no número de domicílios, do adensamento e da

expansão das áreas urbanas, bem como o limite máximo de ocupação domiciliar que a capital mineira pode suportar.

Esta tese foi desenvolvida no formato de uma coletânea de três artigos acadêmicos, na área temática do Programa de Pós-Graduação em Demografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) intitulada “Dinâmica demográfica em sua interdisciplinaridade”, com enfoque na distribuição espacial da população. A metodologia desta pesquisa tornou possível realizar investigações na escala intrametropolitana, para 2010, 2020 e 2030, com base na integração de dados demográficos aos dados espaciais de simulação da mudança na ocupação urbana. Essa integração contribui com as metodologias convencionais de projeção demográfica, por incorporar atributos espaciais e ser realizada da micro para a macro escala, tornando-se um importante diferencial nas projeções que visam subsidiar o planejamento urbano.

Com base na metodologia proposta, será possível responder às seguintes perguntas:

- Qual o cenário tendencial de expansão domiciliar da RMBH para as próximas décadas, em função das transformações previstas no espaço metropolitano?
- Qual tipo de redistribuição domiciliar é verificada neste cenário? Considerando as possibilidades de expansão horizontal urbana e de adensamento, que fatores ocasionam diferentes formas de apropriação do espaço?
- Quais serão os locais em Belo Horizonte com maior variação da densidade domiciliar e que, por conseguinte, tenderão a apresentar maior pressão sobre a infraestrutura e os serviços urbanos básicos?
- Qual o contingente domiciliar em cada quadra do município em 2020 e 2030?
- Qual o limite máximo de domicílios o zoneamento municipal de Belo Horizonte permite em cada quadra, levando-se em conta os vazios urbanos e as áreas potenciais para reconstrução?

- Como as simulações espaciais podem apoiar o planejamento metropolitano para minimizar os impactos negativos do adensamento demográfico sobre a infraestrutura e os serviços urbanos básicos?

Uma justificativa importante para este trabalho é a possibilidade de contribuir, no médio prazo, para o planejamento da RMBH e de Belo Horizonte, indicando potenciais demandas sociais decorrentes da futura configuração do uso do solo urbano. Os resultados obtidos poderão subsidiar programas que visem a minimização dos problemas ou a maximização dos benefícios decorrentes do crescimento, adensamento e redistribuição domiciliar da RMBH e de Belo Horizonte.

Para responder a essas perguntas e operacionalizar a proposta metodológica, foram adotados os seguintes pressupostos contemplados no PDDI (2011), sobre o cenário tendencial demográfico, com enfoque para o número de domicílios e sua localização no espaço urbano em 2020 e 2030:

- O crescimento populacional já não terá o mesmo ritmo do crescimento domiciliar no espaço intrametropolitano. A manutenção de baixos níveis de fecundidade na RMBH e a relativa diminuição dos movimentos migratórios contribuirá para a redução no ritmo de crescimento da população metropolitana;

- Por outro lado, o aumento no número de domicílios tem sido estimulado pelo alto dinamismo do mercado imobiliário e pelos planos governamentais de habitação, aliados à ampliação do acesso ao crédito, ao aumento do poder aquisitivo da população, às tendências de arranjos domiciliares recentemente verificadas entre a população, ao alto déficit habitacional e à elevada vacância de terrenos na RMBH. Tal fenômeno não é homogêneo ou exclusivo de cada município da RMBH e poderá levar a impactos diferenciados sobre a população futura, seus locais de residência e políticas de infraestrutura urbana (habitação, transporte, saúde, educação e meio físico);

- O processo de expansão urbana ocorrerá em velocidade maior nos municípios do entorno do que na capital, caracterizada por altos custos de moradia, escassez de terrenos e restrições no zoneamento municipal;

- As leis de uso e ocupação do solo dos municípios da RMBH propiciarão a expansão horizontal da mancha urbana em um ritmo mais intenso do que a expansão vertical (adensamento), com exceção de Belo Horizonte, que passará por um intenso adensamento domiciliar;
- As leis de uso e ocupação do solo dos municípios da RMBH serão cumpridas e serão alvo de constante fiscalização, o que as torna um dos principais agentes estruturadores da configuração domiciliar em toda a região analisada;
- Os grandes empreendimentos do espaço metropolitano no vetor norte (Linha Verde, o Aeroporto Industrial de Confins, a cidade Administrativa do Governo do Estado e o Anel Viário Norte) e sul (condomínios fechados) continuarão agindo como fortes condicionantes do processo de expansão domiciliar.

Os elementos teóricos norteadores das propostas metodológicas nos três artigos que compõem esta tese serão apresentados a seguir. Inicialmente, é feita uma discussão sobre a utilidade de simulações demográficas a partir do uso de metodologias baseadas em Sistemas Complexos e sua contribuição para o campo de estudos de população. Em seguida, são apresentados os aspectos conceituais e metodológicos das principais geotecnologias utilizadas no planejamento territorial. Posteriormente, é mostrada a possibilidade de integração de fontes de dados demográficos com métodos computacionais intensivos, baseados em sistemas complexos e geotecnologias, para a realização de projeções domiciliares intraurbanas. Por fim, são apresentados os três artigos acadêmicos que integram o corpo da tese, bem como o capítulo de Conclusão.

1.1 – Uso de Sistemas Complexos em estudos de população

A motivação principal para a adoção, nessa tese, de métodos computacionais intensivos e geotecnologias para a construção de cenários de tamanho e distribuição de domicílios é a possibilidade de oferecer uma contribuição metodológica à demografia. Conforme discutido na seção anterior, o modo usual de projeção demográfica envolve a adoção de pressupostos que poderão levar,

futuramente, à adoção de determinados comportamentos reprodutivos, migratórios e propensões a determinados padrões de mortalidade e morbidade. Tais cenários refletirão os tamanhos e tipos de arranjo domiciliar, os quais, em combinação com outras variáveis, podem servir de base para a projeção de domicílios.

De forma geral, a projeção dos componentes demográficos leva em consideração determinadas preferências e hábitos dos indivíduos. Particularmente no caso dos modelos de escolhas de migração e fecundidade, há um predomínio na literatura de visões utilitaristas e de escolhas racionais influenciadas principalmente por modelos microeconômicos. Estes modelos não consideram de forma adequada como as escolhas dos indivíduos são limitadas pela falta de acesso ou não compreensão de informações diretamente ligadas às limitações e oportunidades oferecidas pelo ambiente e contexto em que estão inseridos. A rigor, são usualmente expressos como modelos formais de maximização de utilidade e de equilíbrio e, se por um lado são eficazes para expressar e clarificar relações entre variáveis, por outro, não são eficientes para esclarecer como as variáveis se relacionam para explicar determinado fenômeno (Gilbert, 2008).

A chamada “Ciência da Complexidade”, ou a proposta de compreender e modelar sistemas complexos, é uma alternativa para se pensar fenômenos naturais e fenômenos sociais como parte de um sistema complexo composto de partes (ou agentes) interconectadas. Os sistemas complexos apresentam propriedades que não são diretamente derivadas de suas partes ou agentes individuais e emergem a partir da interconexão (ou rede) entre agentes heterogêneos que interagem de forma não linear (Joslyn e Rocha, 2000; An, 2001; Miller e Page, 2007).

Miller e Page (2007) destacam que uma das grandes inovações trazidas pelo desenvolvimento da Ciência da Complexidade é o uso de técnicas computacionais que permitem, ao contrário de modelos multivariados que norteiam análises microeconômicas e microssimulações, a modelagem de agentes heterogêneos que interagem em um ambiente dinâmico e sujeitos aos

limites do tempo e espaço². Billari et al (2003b) citam, ainda, algumas vantagens de modelos computacionais intensivos sobre modelos de equilíbrio e sobre os métodos demográficos tradicionais, dentre as quais destacamos: a) a facilidade em incluir mecanismos de realimentação e integrar teorias comportamentais demográficas de inspiração utilitarista (como ocorre na visão microeconômica, anteriormente discutida) e resultados de modelos estatísticos de comportamento demográfico (como as microssimulações citadas acima) a estruturas demográficas em nível agregado; b) a facilidade em introduzir agentes heterogêneos que não são puramente racionais (no sentido microeconômico); c) os modelos são construídos com o objetivo principal de *simulação*, e não de prover uma representação acurada de uma aplicação empírica em particular; d) a possibilidade de construir modelos para os quais não existe uma solução analítica explícita como, por exemplo, modelos não-lineares de interação social; e) a facilidade em modelar comportamentos que não de equilíbrio; f) abordagem “*bottom up*” – ou seja, o objetivo não é explicar um fenômeno social, mas como ele emerge.

Os modelos computacionais utilizados para as simulações nesta tese seguem essa lógica e são distintos das projeções convencionais de população que, em geral, partem de uma unidade maior para a desagregação em unidades menores (de cima para baixo, ou *top down*). Nos Sistemas Complexos, a simulação do desenvolvimento urbano ocorre de forma inversa, partindo de uma unidade menor que, agregada a outras, formam unidades maiores (*bottom up*). A organização espacial observada nos padrões presentes em escalas maiores só pode ser explicada a partir desta relação *bottom up* (Batty, 2005; Billari e Prskawetz, 2005).

A aplicação de modelos baseados na Ciência da Complexidade tem encontrado repercussões importantes em estudos urbanos. Nas últimas cinco décadas começaram a ser desenvolvidas teorias de desenvolvimento da estrutura urbana em termos espaciais, devido aos problemas decorrentes do crescimento urbano, principalmente os relacionados aos sistemas de transporte. Na década de 1960,

² A sessão 1.2.2 discute o surgimento e evolução desses modelos computacionais, e dos autômatos celulares em particular, e sua relação com a Teoria dos Sistemas Complexos.

começaram a ser empreendidos esforços para a construção de modelos operacionais das cidades que pudessem ser usados para análises do tipo “o que aconteceria se?” (“*what-if?*”) (Batty, 1976 e 2005).

A necessidade de melhor compreensão dos problemas decorrentes do crescimento urbano, bem como a criação de soluções consistentes e explicativas do modo como as cidades se expandem, passaram a ser abordadas por pesquisadores voltados para o planejamento urbano, como Jane Jacobs. Essa autora foi a primeira a propor que as cidades eram um exemplo prático da teoria dos “problemas de organização complexa” (“*problems of organized complexity*”) propostos por Warren Weaver³ (Jacobs, 1961; Batty, 2005).

Pensar a dinâmica urbana como fruto da ação de indivíduos (agentes) assumiu um novo *momentum* quando os sistemas computacionais puderam absorver as ideias de desagregação e heterogeneidade. A computação moderna, desenvolvida a partir da década de 1980, tornou-se suficientemente poderosa para tratar essas questões. Começaram a surgir modelos que simulavam um grande número de unidades desagregadas por espaço, tempo e tipologia de atividades ou segmentos internos das cidades. Modelos baseados nos indivíduos tornaram-se factíveis, tanto em termos de capacidade de processamento na computação, como em termos de representação a partir do surgimento de novas linguagens de programação. A partir do momento em que a informação passa gradualmente a ser digitalizada e os bancos de dados tornam-se georreferenciados, os modelos computacionais passam a captar o caminho pelo qual as estruturas espaciais das cidades se formam, emergem e se desenvolvem (Batty, 2005).

As simulações construídas nesta tese partem da representação dos elementos básicos da cidade, que podem ser analisados a partir de modelos distintos, mas relacionados: a partir de *células*, que representam a estrutura física da cidade ou

³ Warren Weaver, em 1948, descreveu o termo “Sistemas Complexos” ou “Teoria da Complexidade”, que começou a se difundir e a ser discutido em várias vertentes acadêmicas. Processos de eventos imprevistos, estruturas emergentes a partir de mecanismos ocultos, novas formas de geometria associadas com padrões fractais e dinâmica caótica passaram a ser combinados para simular sistemas altamente complexos, como é o caso das cidades (Batty, 2005).

através de agentes, que representam as entidades sociais e humanas que fazem a cidade funcionar (Batty, 2005).

Os modelos de células são representados a partir dos autômatos celulares (ACs), em que mudanças em uma célula ocorrem a partir da influência de células vizinhas e cuja ação local gera padrões espaciais que são refletidos até a escala global. Estas estruturas permitem simular tipos de dinâmica que caracterizam o crescimento das cidades através da difusão espacial, como em uma epidemia, onde as ações celulares influenciam o que está adjacente ou mais próximo. Os ACs passaram a ser úteis para o planejamento urbano por mostrarem como a forma e o padrão das cidades emergem a partir de simples relações locais. Os ACs passaram a ser utilizados para simular o crescimento urbano e as mudanças que dão origem a padrões reais e ideais de ocupação (White e Engelen, 1993 e 1997; Wagner, 1997; Batty et al, 1999; Batty, 2005).

Os modelos de agentes, por sua vez, são móveis no espaço e deslocam-se entre localidades, podendo ser pensados como células móveis. A maneira de simular esses agentes é através dos “modelos ou sistemas baseados em agentes”, ou “*agent-based models or systems*” (ABMs). Os agentes se comunicam entre si e com seu ambiente, sendo programados para serem proativos, autônomos e capazes de perceberem o mundo virtual que se encontram, gerando uma resposta a partir do indivíduo. Os resultados partem de unidades espaciais menores para outras maiores, mostrando como o comportamento na escala local pode ser usado para explicar padrões na escala de uma região urbana. A ação local é o elemento central para os processos operados a partir de unidades espaciais menores para unidades maiores, produzindo o ordenamento espacial de uma região a partir do resultado de ações locais (Gimblett, 2002; Gilbert, 2008; Feitosa, 2010).

No caso dos ACs, a ação e difusão local são os elementos chave, o que torna esses sistemas mais adequados para análises espaciais referentes ao meio físico. Nos ABMs, o foco muda para um campo onde a geometria e a aleatoriedade são centrais à maneira que ocorrem os movimentos nas cidades (Gimblett, 2002; Billari e Prskawetz, 2003a; Batty, 2005; Gilbert, 2008). Por

mudarem sua posição no espaço e no tempo os ABMs não foram utilizados, pois a calibragem desses modelos seria altamente complexa e traria desafios teóricos e computacionais que fogem ao âmbito deste trabalho.

Os modelos que buscam representar o meio urbano através de células e agentes são o mote principal dessa tese. Trata-se de uma aplicação demográfica de modelos de ACs que tornem possível captar a configuração atual das cidades, realizar simulações e analisar os cenários sob diferentes aspectos.

1.2 – Uso de geotecnologias no planejamento: aspectos conceituais e metodológicos

O objetivo deste tópico é realizar uma revisão da literatura sobre geotecnologias aplicadas às ciências sociais, em particular à demografia. Nas pesquisas sobre as relações entre população, espaço e ambiente, as geotecnologias, com destaque para o SIG, têm propiciado um ganho expressivo de informações, permitindo uma melhor compreensão e análise da ocupação populacional em diversas escalas, desde trabalhos na escala nacional, até a escala intra-urbana⁴. As geotecnologias são ferramentas importantes para se planejar o uso do meio urbano, particularmente por viabilizarem estratégias de uso racional do espaço e gerarem informações úteis e precisas para a elaboração de políticas públicas mais eficazes.

Para uma melhor compreensão das geotecnologias utilizadas nesta tese, inicialmente é apresentado o conceito de geoprocessamento e de elementos fundamentais para sua operacionalização, como os geocampos e geobjetos. Posteriormente, são apresentadas as três ferramentas computacionais derivadas do geoprocessamento, que permitem analisar o uso e ocupação do solo no

⁴ Devido a essa ampla gama de opções, demógrafos têm adotado cada vez mais esses recursos computacionais nos estudos de população, tanto em encontros de associações profissionais quanto em artigos científicos. Nos últimos encontros da Associação Brasileira de Estudos Populacionais (ABEP) e da International Union for the Scientific Study of Population (IUSSP), trabalhos buscando integrar aspectos teóricos, metodológicos e práticos associados ao uso de geotecnologias na demografia tem sido cada vez mais comuns, possuindo até Sessões Temáticas específicas, como pode ser verificado em www.abep.org.br e www.iussp.org.

presente, bem como simular cenários futuros: Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), autômatos celulares (ACs) e mapeamento dasimétrico.

1.2.1 – Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica

Geoprocessamento é um termo bastante amplo dentro das geotecnologias. Nesse trabalho, o conceito refere-se a um conjunto de tecnologias para processamento da informação, cuja localização geográfica é a característica indispensável para a análise. Trata-se de um conjunto de tecnologias que exige um esforço interdisciplinar para sua melhor compreensão e aproveitamento, sendo útil para todas as áreas do conhecimento nas quais a palavra “onde” apareça como característica de objetos que precisam ser analisados por um sistema informatizado (Câmara e Davis, 1999; De By et al, 2001; Longley et al, 2005). A seguir, estão descritos alguns requisitos especiais identificados na literatura que devem ser observados nas aplicações geográficas.

Considerando-se os modelos formais de representação de dados geográficos difundidos por Couclelis (1992), Câmara (1995 e 2005), Câmara e Monteiro (1999), Borges et al (2005) e Longley et al (2005), existem duas visões complementares de representação do espaço absoluto: os geo-objetos e os geocampos.

O modelo de geo-objetos molda a realidade em um espaço onde entidades existem de forma discreta, são individualizáveis, e delimitadas por fronteiras bem definidas. Cada objeto tem suas propriedades e ocupa um determinado lugar no espaço. Os geo-objetos são representados por objetos espaciais do tipo ponto, linha e polígono. Cada entidade possui uma localização definida por uma referência à superfície da Terra. Dependendo da escala do mapa onde é apresentada, a entidade geográfica pode ser representada por um objeto espacial distinto, ou seja, dependendo da escala de representação, um edifício pode ser representado por um ponto ou um polígono (Couclelis,1992; Longley et al, 2005). É possível também definir geo-objetos interconectados topologicamente, formando redes. Os componentes de redes são representados usando nós e

arcos, também localizados espacialmente. Nós e arcos compartilham a representação geométrica com pontos e linhas, porém têm o papel adicional de materializar as interconexões topológicas entre os elementos. Por exemplo, na representação do sistema viário de uma cidade, podem ser usados nós para representar os cruzamentos entre vias e arcos para indicar os trechos de vias entre cruzamentos (Câmara, 1995 e 2005).

No modelo de geocampos a realidade é simulada pela distribuição contínua de fenômenos no espaço, como por exemplo na representação de precipitação, temperatura, tipo de solo e relevo de uma região. Naturalmente, não é possível medir esses fenômenos em todos os pontos do espaço, sendo as representações formadas por amostragem (medições localizadas) e interpolação. Segundo Borges et al (2005) e Vinhas (2006), os geocampos possuem representações sofisticadas, podendo ser classificados nos seguintes tipos:

- Grades regulares (ou imagens, ou ainda matrizes): o geocampo é representado por um conjunto de células retangulares com um único valor por célula, representando o valor do geocampo na extensão da célula;
- Pontos amostrais: o geocampo é representado apenas em localizações pontuais conhecidas;
- Isolinhas: o geocampo é representado por linhas com valor constante no geocampo;
- Subdivisões planares: o geocampo é representado por um conjunto de polígonos adjacentes entre si;
- Malhas triangulares irregulares ou TINs (*triangulated irregular networks*): representam o geocampo por um conjunto de triângulos que cobrem totalmente a área do geocampo e não se superpõem. São formados por conexões entre amostras do valor do atributo, com distribuição espacial irregular via triangulação.

As representações de geocampos e geo-objetos estão no nível conceitual, ou de abstração mais alta. Esses conceitos são mapeados para representações físicas que combinam uma forma geométrica (por exemplo, sequências de pares de coordenadas geográficas ou matrizes de pixels), restrições de integridade

espaciais e semânticas, além de características descritivas alfanuméricas (atributos, equivalentes aos utilizados em bancos de dados convencionais) (Câmara, 1995 e 2005). Os programas computacionais de geoprocessamento mais completos, como os utilizados nessa tese, são sistemas capazes de tratar dados representados dessa forma, permitindo a integração de geocampos e geo-objetos através de operações que combinam ou transformam dados na medida das necessidades de cada aplicação.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) buscam simular a realidade do espaço geográfico, permitindo o armazenamento, manipulação e análise de dados geográficos num ambiente computacional, utilizando as representações apresentadas anteriormente. Esses dados representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e é indispensável para investigá-la (Davis e Fonseca, 2001; De By et al, 2001; Longley et al, 2005).

Os SIGs são recursos tecnológicos, materializados em pacotes de software comerciais ou *open source*, tais como ArcGIS, Idrisi, MapInfo, Grass, Manifold, Quantum e Spring. Esses produtos, entre outros, têm evoluído significativamente ao longo das últimas duas décadas, pela incorporação de recursos mais sofisticados de captura e armazenamento de informação geográfica.

Com a evolução dos aplicativos computacionais ocorrida na última década, ferramentas capazes de desenvolver representações realistas de processos espaço-temporais têm sido desenvolvidas, permitindo a simulação de mudanças no uso e ocupação do solo ao longo do tempo. Um dos principais desenvolvimentos neste sentido tem sido a integração de SIGs a modelos dinâmicos que utilizam autômatos celulares (White e Engelen, 1997; Pedrosa e Câmara, 2003; Eastman, 2009).

1.2.2 – Autômatos celulares aplicados à simulação de áreas urbanas

Na maioria dos SIGs disponíveis as informações são incluídas e alteradas ao longo do tempo, com o histórico dessas transformações não sendo mantido. Este problema vem recebendo uma atenção crescente devido à necessidade de um melhor entendimento dos processos geográficos e das relações de causa e efeito entre as atividades humanas e o ambiente. A necessidade dos dados geográficos estarem qualificados com base no tempo se deve à necessidade de registro de estados passados e presentes, para simular estados futuros, possibilitando o estudo da evolução dos fenômenos analisados (Clarke et al, 1994; White e Engelen, 1997; Pedrosa e Câmara, 2003).

Para tanto, os sistemas de inteligência artificial que utilizam a modelagem dinâmica, construídos a partir de orientações teóricas delineadas pela teoria de Sistemas Complexos (ver Seção 1.1), são amplamente aceitos como uma tecnologia que oferece caminhos para simular a complexidade presente nos estudos urbanos (Almeida, 2003; Billari et al, 2003a e 2005; Pedrosa e Câmara, 2003). Pretende-se, com essa tese, mostrar como a inteligência artificial contribui para a modelagem da dinâmica urbana e, conseqüentemente, como os estudiosos de população podem estruturar esse conhecimento e escolher a melhor ferramenta de análise.

A integração de SIGs e ACs deve-se principalmente à possibilidade de compatibilizar representações espaciais, dado que estes permitem a dinamização da análise espacial. Os SIGs disponibilizam suas funcionalidades para a produção de dados dos ACs e para a análise dos resultados de simulações dos mesmos (Clarke et al, 1994; Wagner, 1997; Batty et al, 1999; Leão, 2002; Liu, 2008).

O autômato celular pode ser definido como um sistema dinâmico e discreto cujo comportamento é determinado a partir de relações locais com as células da vizinhança imediata. Um modelo AC representa o espaço na forma de grades regulares, no qual cada célula possui somente um estado por vez, dentro de uma série de estados que definem os atributos do sistema, que podem mudar ao longo

do tempo. A transformação do estado de uma célula ocorre a partir da situação dos estados das células na vizinhança, o que é denominado de regra de transição (Couclelis, 1989; White e Engelen, 1997; Clarke et al, 1994; Wagner, 1997; Batty et al, 1999).

O surgimento dos ACs remonta à década de 1940, quando Stanislaw Ulam estudou o crescimento de cristais no Laboratório Nacional de Los Alamos, modelando-os a partir do uso de uma grelha. Simultaneamente, John von Neumann, colega de Ulam em Los Alamos, trabalhava em sistemas auto-replicativos e encontrava dificuldades em operacionalizar o seu modelo inicial de um robô que fosse capaz de se copiar sozinho a partir de um conjunto de peças separadas. Ulam o aconselhou a se inspirar nos seus trabalhos, o que conduziu von Neumann a conceber um modelo matemático abstrato para seu problema. O resultado foi chamado de “copiador e construtor universal”, o primeiro AC, baseado numa grelha com duas dimensões onde cada célula podia estar em um estado, de 29 possíveis (Wolfram, 1984).

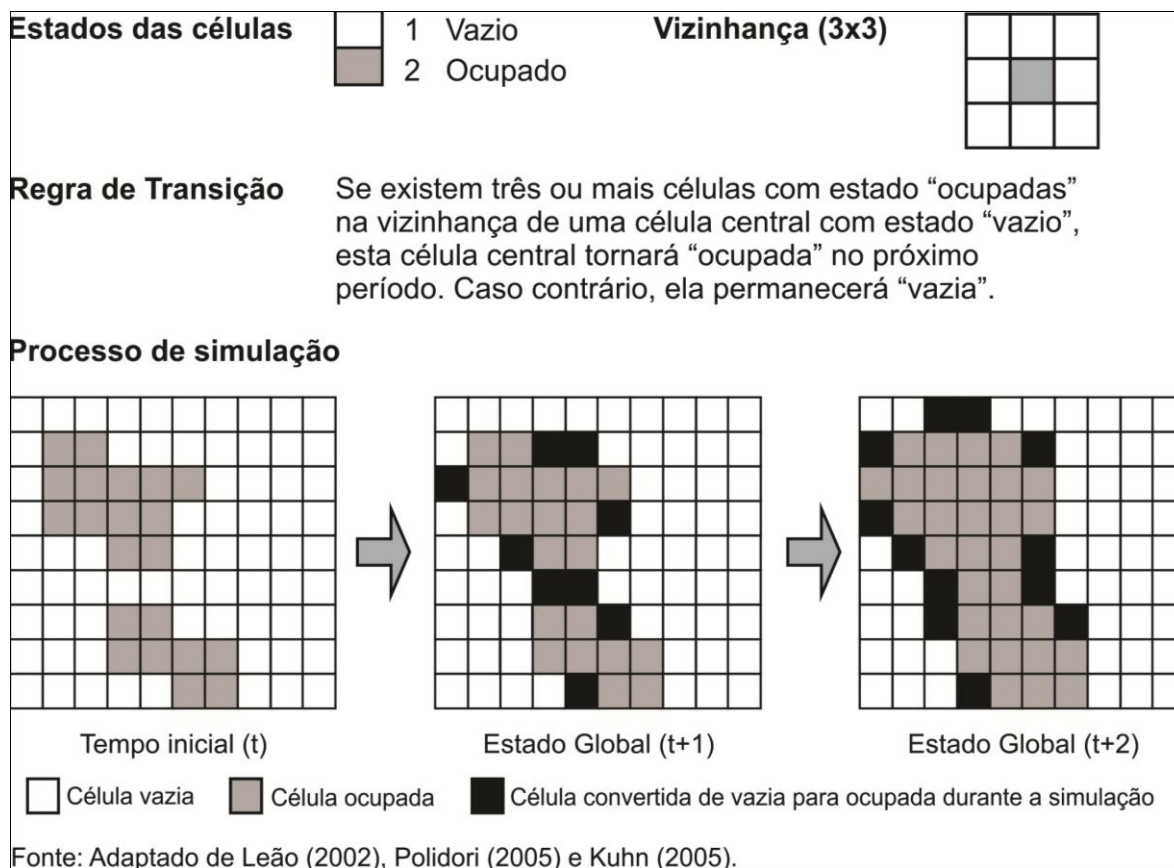
Em 1970, o matemático John Conway desenvolveu o exemplo mais conhecido de AC, denominado Jogo da Vida. O jogo é formado por regras simples que, aplicadas repetidamente sobre estados aleatórios, produzem resultados semelhantes à forma como certos sistemas evoluem no mundo real. Neste jogo, o espaço é formado por uma grade de células, sendo que algumas estão vivas, enquanto outras estão mortas. Dado um estado inicial aleatório, a cada geração, novas células nascem e morrem. O que determina o estado de uma célula é sua vizinhança que, no jogo, é definida por quatro células adjacentes, que atendem às regras: 1) Qualquer célula viva com menos de dois vizinhos vivos morre de solidão; 2) Qualquer célula viva com mais de três vizinhos vivos morre de superpopulação; 3) Qualquer célula com exatamente três vizinhos vivos se torna uma célula viva; 4) Qualquer célula com dois vizinhos vivos continua no mesmo estado para a próxima geração (Wolfram, 1984; Pedrosa e Câmara, 2003 e 2004; Soares-Filho et al, 2004).

A introdução dos ACs na Geografia Quantitativa deu-se principalmente a partir do trabalho de Waldo Tobler, atualmente na Universidade da Califórnia – Santa

Barbara mas que na década de 1970 atuava na Universidade de Michigan. Neste local, Arthur Burks e o seu Grupo de Lógica da Computação aplicavam as teorias sobre auto-reprodutibilidade das máquinas, propostas durante a década de 1930 pelos precursores da computação digital, Alan Turing e John von Neumann, este último, ex-professor e colega de Burks. Na década de 1970, Waldo Tobler começou a explorar os modelos de autômatos em sistemas geográficos, levando à publicação dos artigos “*A computer movie simulating urban growth in the Detroit Region*” em 1970 e “*Cellular Geography*” em 1975. Na década de 1980, influenciada por Tobler, a pesquisadora Helen Couclelis deu continuidade aos estudos de autômatos, que se consolidaram até o final da década, quando as aplicações de autômatos passaram a ser dotadas de aprimoramentos conceituais, como as noções de fractais, entropia e criticalidade (Tobler, 1970 e 1979; Batty et al, 1997; Almeida, 2003; Liu, 2008).

A FIG. 2, adaptada de Leão (2002), Polidori (2004) e Kuhn (2005), apresenta a lógica de funcionamento de um autômato celular básico e ilustra sua regra de transição. Primeiramente, é apresentado um estado inicial (t), que consiste na distribuição espacial das células nas categorias ‘vazio’ ou ‘ocupado’. Depois é apresentado o estado destas células em um intervalo de tempo ($t+1$ e $t+2$). Estas sequências são o resultado da aplicação da regra de transição no espaço celular. Os ACs analisam a vizinhança de cada célula ‘vazia’, e de acordo com a regra, se existirem três ou mais células ‘vazias’ na vizinhança, a célula central é convertida de ‘vazia’ para ‘ocupada’, ou caso contrário, ela permanece ‘vazia’. A simulação é finalizada quando todas as células do espaço geográfico são analisadas e adequadas à regra de transição, gerando um novo estado global que se torna a base para a próxima simulação (Leão, 2002; Liu, 2008).

São diversas as aplicações dos modelos integrados SIG-AC para o planejamento territorial e ambiental, como a simulação da expansão de manchas urbanas, de incêndios florestais, de áreas agrícolas, dos impactos geográficos de mudanças climáticas, do desmatamento e das mudanças no uso e ocupação do solo, dentre outros (Clarke et al, 1994; Sietchiping, 2004; Polidori, 2004; Kuhn, 2005; Eastman, 2009).

FIGURA 2 – Componentes e processo de transição de um autômato celular

Nos últimos anos, diversos estudos de expansão urbana via ACs tem sido realizados por estudiosos de população. A título de ilustração, na literatura internacional, Michael Batty tem realizado estudos da expansão urbana envolvendo teorias de modelagem urbana (Batty, 1976), geometria fractal urbana (Batty e Longley, 1994) e simulações via ACs (Batty et al, 1999; Batty, 2006, 2007 e 2011). Clarke e Gaydos (1998) simularam a expansão populacional nas áreas costeiras de São Francisco e Washington/Baltimore, a partir de dados históricos de crescimento urbano. White e Engelen (1993 e 1997) utilizaram ACs para a construção de um modelo integra(do de transição do uso do solo urbano. Messina e Walsh (2001a, 2001b, 2005) utilizaram ACs para simular o uso e ocupação do solo na Amazônia Equatoriana. Billari e Prskawetz (2003a) organizaram um livro tratando da modelagem computacional de agentes aplicada à demografia. Rindfuss et al (2004) desenvolveram uma pesquisa de simulação de mudanças no uso do solo, a partir da junção de ACs, redes neurais e modelos de agentes. Mantelas et al (2007, 2008 e 2010) utilizaram ACs para criar cenários de

expansão urbana na Grécia. De forma similar, na Arábia Saudita, Al-Ahmadi et al (2009) trabalham com ACs e lógica fuzzy para simular o crescimento urbano e populacional local. Yan Liu (2008) lançou um livro em que discute aspectos teóricos e metodológicos da modelagem de áreas urbanas com ACs, utilizando Sidney (Austrália) como estudo de caso.

Na literatura nacional, os pesquisadores do INPE são os que mais têm utilizado ACs em estudos populacionais. Almeida (2003) simulou, em sua tese de doutorado, mudanças de uso do solo urbano em Bauru e Piracicaba (SP). Almeida et al (2005 e 2007) apresentaram modelos que utilizam ACs para simular mudanças no uso e ocupação do solo, voltados para o planejamento urbano. Pedrosa (2003) trabalhou com o ambiente computacional TerraML, que permite a modelagem dinâmica baseada em ACs, tomando como estudo de caso a Amazônia. Carneiro (2006) também desenvolveu sua tese utilizando a região amazônica como unidade de análise, onde os ACs são utilizados no modelo Nested-CA, voltado para a simulação de mudanças no uso e cobertura do solo em múltiplas escalas. Além das referidas publicações, existem capítulos de livros divulgados pelo INPE, que tratam do uso de ACs para simulações espaço-temporais, como por exemplo, os textos de Pedrosa e Câmara (2003 e 2004).

Soares Filho et al (2002) desenvolveram o software Dinamica que utiliza ACs para a modelagem da dinâmica da paisagem. Polidori (2004) desenvolveu em sua tese o software Saci, que utiliza ACs para simular o crescimento urbano de Pelotas (RS). Furtado e Ruiz (2006) simularam com ACs a organização espacial urbana a partir da renda fundiária, para o município de Belo Horizonte. Bastos (2007) simulou com ACs o crescimento urbano de Bauru (SP). Por fim, o Plano Diretor da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI, 2011) apresentou uma metodologia desenvolvida pelo autor desta tese, na qual foi possível desenvolver simulações de cenários de expansão da mancha urbana da RMBH em 2023 e 2050 utilizando ACs. Os resultados serviram de subsídio para o desenvolvimento desta pesquisa, que apresenta um refinamento da metodologia supracitada.

Diversos SIGs atualmente utilizados e implementados segundo diferentes paradigmas computacionais apresentam uma interface bastante complexa para o

uso de ACs por um usuário comum⁵. Foi escolhido, para as simulações realizadas nesta tese, o aplicativo Land Change Modeler (LCM), que permite a utilização dos ACs para modelagem dinâmica do uso e ocupação do solo e possui uma interface amigável, voltada para o usuário comum de SIGs (Eastman, 2009; Umbelino e Barbieri, 2010). Vale ressaltar que, para realizar uma simulação em qualquer programa que utilize ACs, toda a base de dados deve estar compatibilizada, ou seja, os arquivos georreferenciados devem ter os mesmos parâmetros espaciais e sistema de referência como: projeção e extensão espacial, escala, tamanho dos pixels e o mesmo número de linhas e colunas da imagem raster. Caso não haja esta simetria para cada camada de informação, os autômatos celulares não podem ser utilizados com precisão (Eastman, 2009).

O Land Change Modeler é um aplicativo comercial desenvolvido pelo Clark Labs que trabalha dentro da arquitetura dos programas Idrisi e ArcMap, permitindo a análise de mudanças na cobertura do solo e a simulação de cenários futuros. A principal utilização do LCM é para a conservação da biodiversidade, embora ele se adeque perfeitamente a outras demandas de planejamento territorial. O LCM é um aplicativo robusto, estável, de fácil utilização e possui um eficiente suporte técnico, sendo organizado em torno das seguintes ferramentas: análise de mudanças no uso do solo, projeção de mudanças no uso do solo, avaliação de impactos para o habitat e biodiversidade e o planejamento de intervenções em áreas de interesse. Por ser um programa comercial integrado a dois grandes pacotes de mapeamento (ArcGIS e Idrisi), o LCM tem sido amplamente utilizado, principalmente em trabalhos técnicos de estudos ecológicos. A ferramenta “Projeção de Mudanças”, adequada para o desenvolvimento metodológico realizado nos artigos 1 e 2 dessa tese, permite simular cenários futuros a partir do comportamento passado da cobertura do solo, inserindo-se variáveis restritivas e variáveis estimuladoras da expansão de cada classe de cobertura do solo, sendo que estas podem ser ambientais ou socioeconômicas. A projeção se baseia em

⁵ Descrições detalhadas de modelos computacionais que utilizam ACs foram apresentadas por EPA (2000), Umbelino e Barbieri (2010), Costa (2010) e Furtado e Delden (2011).

uma mudança dinâmica entre dois pontos no tempo, que permite a criação de modelos simuladores de uma determinada data futura.

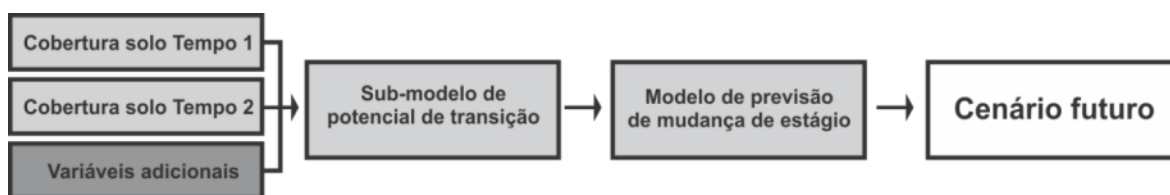
Os padrões das mudanças podem ser modelados através de uma análise da cadeia de Markov ou pela elaboração de uma Matriz de Probabilidade de Transição entre as classes (por exemplo, a probabilidade de uma área de cerrado virar uma área urbana ou vice-versa). O LCM permite a especificação do número de estágios de reavaliação durante o qual as variáveis dinâmicas são atualizadas. Em cada estágio, o sistema também verifica a presença do planejamento de intervenções, que são os parâmetros que podem alterar o curso do desenvolvimento do processo de previsão de mudança (por exemplo, a implantação de uma rodovia no local analisado, a partir de um determinado período). As intervenções também incluem variáveis restritivas (áreas de preservação, corpos d'água, áreas de restrições legais) e estimuladoras (rodovias, loteamentos, zonas de aquecimento econômico, dentre outros).

Diferente dos outros programas apresentados por Costa (2010) e Umbelino e Barbieri (2010), o LCM, além de permitir a criação de um cenário rígido (*Hard Prediction*), também apresenta um módulo de criação de um cenário suavizado (*Soft Prediction*) (FIG 6). Neste último, os locais com maior probabilidade de mudança são apresentados de forma mais abrangente, ou seja, apresentando maior vulnerabilidade à mudança de classe do solo. A lógica da mudança na previsão de cobertura do solo do LCM é elaborada a partir da aquisição de dois mapas de cobertura do solo, em datas diferentes (tempo 1 e tempo 2), com o objetivo de prever como a cobertura do solo será no futuro (tempo 3). Dentro da programação do LCM, isso é realizado em duas grandes fases: o Sub-Modelo de Potencial de Transição e o Modelo de Previsão de Mudança de Estágio (Eastman et al, 1995; Eastman, 2009).

O Sub-Modelo de Potencial de Transição utiliza o método *Multi-Layer Perceptron* (MLP), que gera a probabilidade de transição utilizando o princípio das Redes Neurais. Este método é utilizado para reconhecer padrões de evolução entre o tempo 1 e o tempo 2, através da amostragem de áreas que sofreram transição e áreas que eram passíveis de mudanças e não sofreram transição. De forma

complementar, o Modelo de Previsão de Mudança de Estágio especifica em qual data futura a transição ocorrerá⁶. Na primeira etapa, o usuário especifica no sub-modelo as classes de transição que o interessam (por exemplo, cerrado e mancha urbana) e especifica as variáveis que levam ao tipo de transição em curso. Por exemplo, para determinar o potencial de um empreendimento, pode-se considerar a inclinação do terreno, a distância aos corpos d'água e a distância às estradas. Na segunda etapa, o modelo irá prever, para uma data futura, a atribuição da mudança na cobertura do solo. Em suma, o modelo vai determinar quais mudanças ocorreram entre o tempo 1 e o tempo 2, como as variáveis adicionais influenciarão nas mudanças futuras e calcular como ocorrerá a transição para o tempo 3 (FIG. 3).

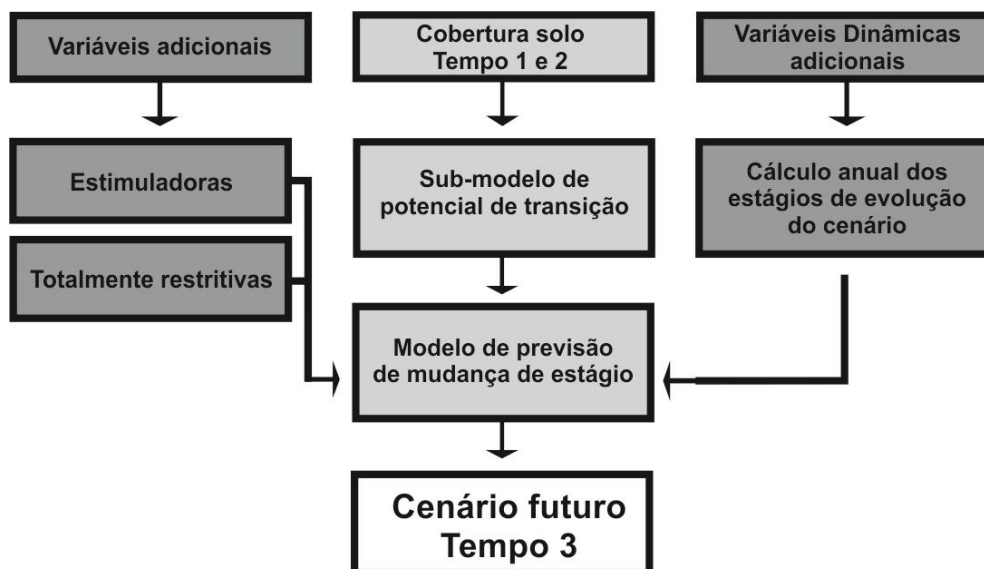
FIGURA 3 – Estrutura de funcionamento do LCM para mudança na previsão de cobertura do solo



A fim de tornar o modelo mais robusto, o aplicativo LCM permite ao usuário incluir variáveis de restrições e de incentivos, tais como mapas de zoneamento urbano e mudanças planejadas (cálculo de variáveis dinâmicas) como, por exemplo, novas estradas e empreendimentos. Cada uma dessas opções pode ser usada de forma isolada ou integrada, determinadas a partir dos pressupostos metodológicos da simulação. Variáveis de restrições podem incluir Unidades de Conservação, áreas de restrições legais e corpos d'água. Mesmo que haja potencial para a mudança, o modelo não se expandirá para estas áreas. Por outro lado, incentivos como isenções fiscais para o desenvolvimento de determinadas áreas ou a criação de novas rodovias dá às áreas um maior potencial para a mudança (FIG. 4).

⁶ Mais informações sobre as métricas de simulação do LCM podem ser encontradas em Atkinson et al (1997), Chan et al (2001), Civco (1993), Richards e Jia (1999), Tso e Mather (2001).

FIGURA 4 – Estrutura de funcionamento do LCM com a incorporação de variáveis dinâmicas adicionais para mudança na previsão de cobertura do solo



A seguir é apresentado um exemplo de aplicação do LCM na simulação da expansão da mancha urbana (FIGs. 5 e 6), desenvolvida pelo autor desta tese para o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI-2010).

FIGURA 5 – Mancha urbana da RMBH em 2009 e simulação para 2030 a partir do Cenário Rígido do LCM

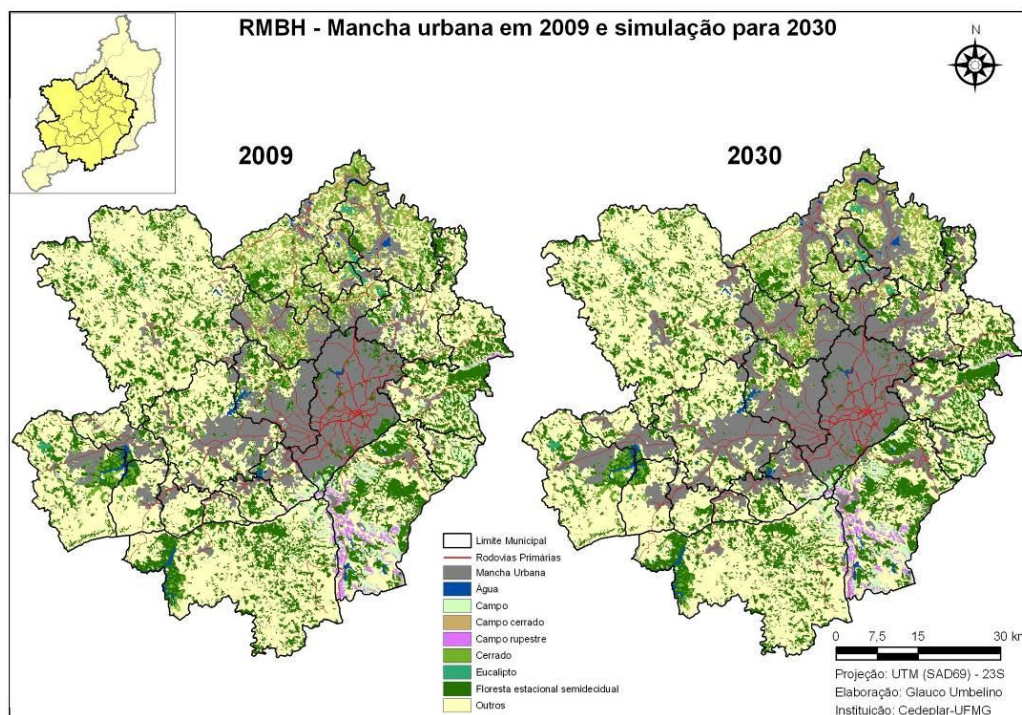
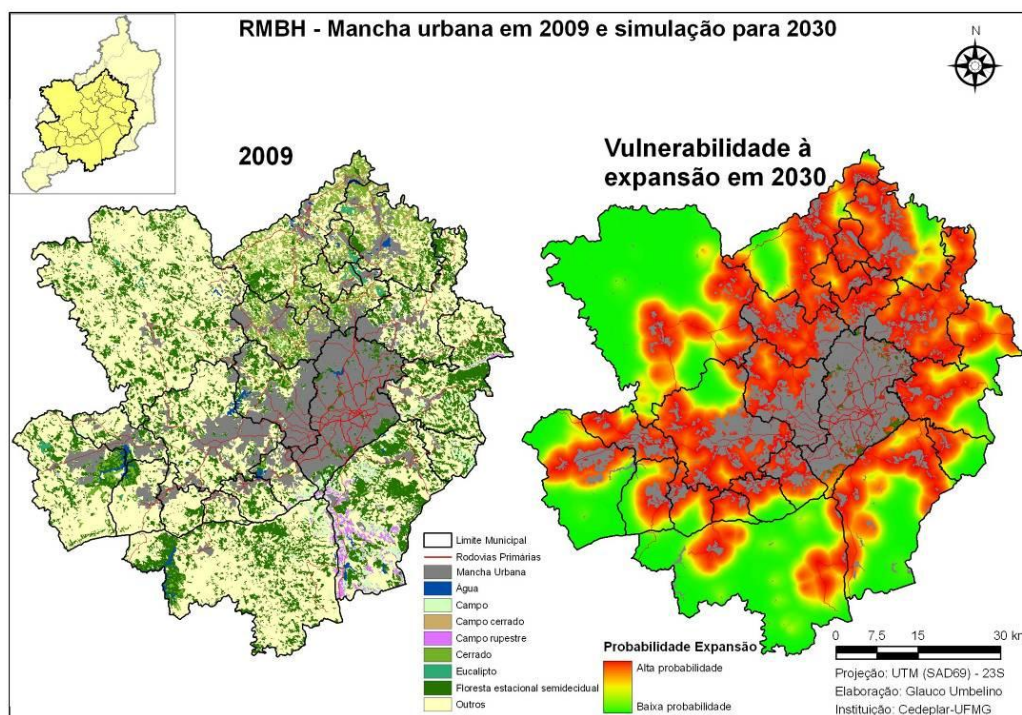


FIGURA 6 – Mancha urbana da RMBH em 2009 e simulação para 2030 a partir do Cenário Suavizado do LCM

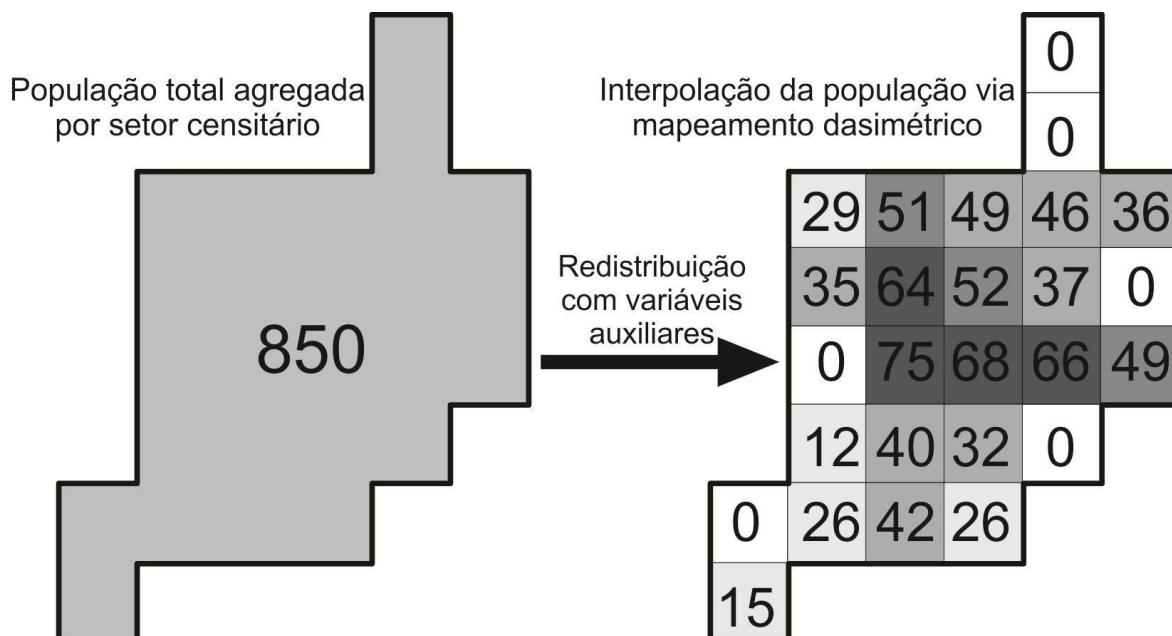


1.2.3 – Mapeamento dasimétrico aplicado à análise urbana

O mapeamento dasimétrico pode ser definido como um método de refinamento da informação espacial que, através de dados externos auxiliares, subdivide a informação contida em uma área em unidades menores e homogêneas em relação à variável mapeada, permitindo um maior nível de detalhamento da densidade da informação analisada (Eicher e Brewer, 2001; Mennis, 2003; Langford, 2007).

Um exemplo de utilidade desta técnica é o refinamento da representação da densidade populacional dentro de um setor censitário que contém algumas áreas não habitadas, como mostra a FIG. 7. Considerando as alternativas de representação de geocampos apresentadas anteriormente, a densidade populacional neste caso está sendo representada por uma subdivisão planar, cujo elemento básico é o polígono do setor censitário. Essa representação assume que a distribuição da variável pela superfície do polígono é homogênea. Embora em muitos casos não exista informação mais detalhada, essa suposição não é realista. Caso existam informações complementares, essa distorção pode ser reduzida com o uso do mapeamento dasimétrico. A presença de corpos d'água, a localização do arruamento, os limites conhecidos da mancha urbana e dados cadastrais indicando vazios urbanos são exemplos de informações que podem ser usadas para limitar ou excluir determinadas áreas da representação da distribuição espacial do fenômeno no polígono original (Eicher e Brewer, 2001; Kampel, 2003; Mennis, 2003; Langford, 2007).

FIGURA 7 – Representação esquemática do princípio do mapeamento dasimétrico



Fonte: Adaptado de Kampel (2003), Mennis e Hultgren (2006) e Langford (2007).

Essa técnica começou a ser difundida no início do século XIX (época de formação da cartografia temática moderna) a partir da publicação de um mapa de densidade da população mundial por George Scrope, em 1833, e de um mapa de densidade populacional da Irlanda em 1837, elaborado por Henry Harness. Contudo, nenhum dos dois pesquisadores utilizou o termo “dasimétrico” ou explicou os métodos utilizados para chegar aos mapeamentos publicados (Robinson, 1955; MacEachren, 1979; Petrov, 2008).

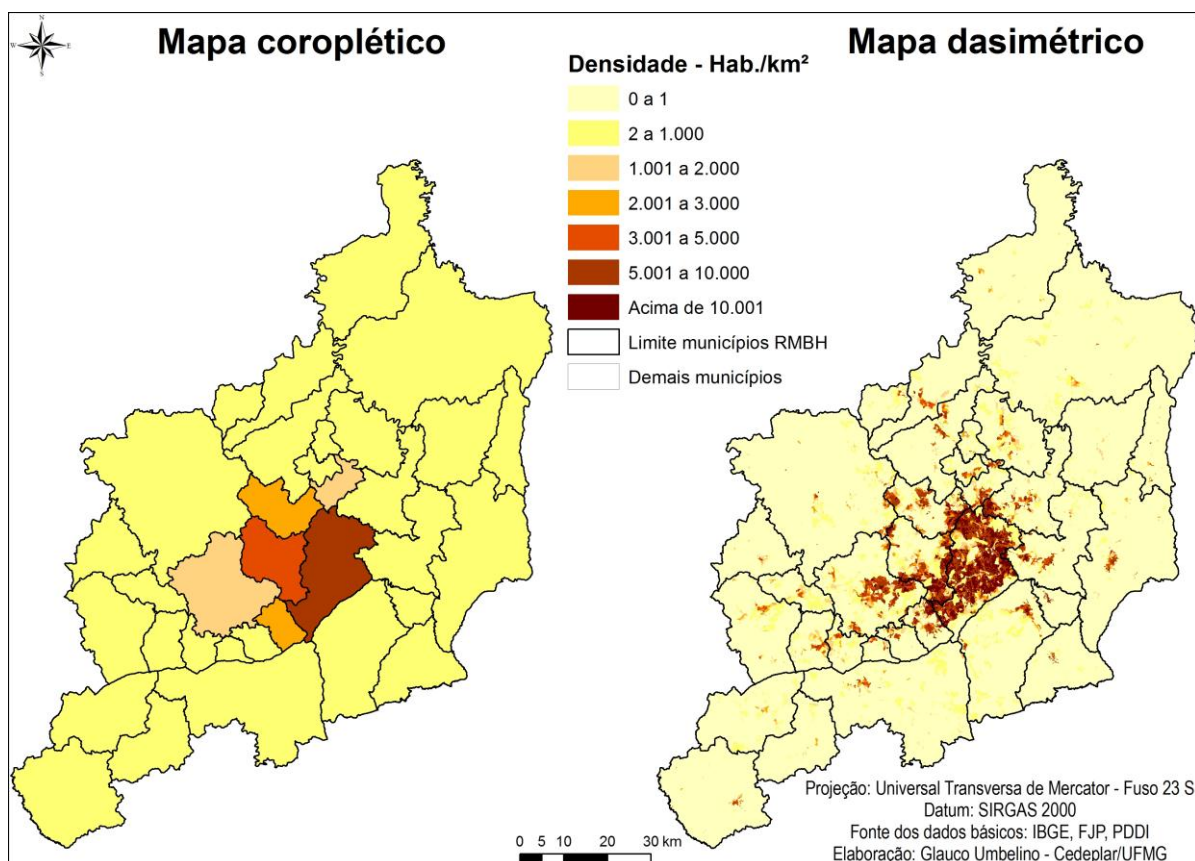
Petrov (2008) cita que o termo “mapeamento dasimétrico” apareceu pela primeira vez em 1911, em um relatório da Sociedade Geográfica Russa. O termo seria derivado da tradução das palavras gregas “medir” e “densidade”, que formaram a palavra russa “dazimetricheskiy”. O autor menciona ainda que existem dúvidas se o criador do termo foi Peter Semenov-Tian-Shansky ou Benjamin Semenov-Tian-Shansky, ambos geógrafos, embora este último, filho do primeiro, seja apontado na maior parte da literatura como o criador do termo devido à sua famosa publicação do mapa de densidade populacional da Rússia em 1926 (Semenov, 1928). A técnica do mapeamento dasimétrico foi popularizada nos Estados Unidos pelas publicações de Sten De Geer, em 1926, e John Wright, em 1936,

passando, a partir de então, a ser mais utilizada em análises espaciais (Mennis e Hultgren, 2006; Petrov, 2008).

O mapa dasimétrico é diferente de um mapa coroplético (mapa temático poligonal convencional), que dá ao leitor uma impressão de distribuição homogênea da variável de interesse dentro da área analisada. Um exemplo é um mapa de distribuição populacional por setor censitário, no qual cada setor tem um valor para o polígono como um todo. Na divisa de um setor para outro ocorre uma ruptura abrupta de valores, o que não ocorre no mapa dasimétrico. Neste é criada uma interpolação de área através de dados auxiliares, distribuindo a variável analisada de forma mais heterogênea dentro do setor (Langford et al, 1991; Eicher e Brewer, 2001; Mennis e Hultgren, 2006). O objetivo é criar limites de densidade que sejam mais próximos da verdadeira distribuição geográfica da variável analisada, o que usualmente não ocorre nos mapas temáticos, visto que agregam os dados em polígonos maiores (Kampel, 2003).

Em uma análise das unidades territoriais censitárias (limites municipais, áreas de ponderação e setores censitários), o pesquisador deve sempre estar ciente das limitações dos mapas coropléticos, que representam a unidade mínima espacial como uma região homogênea. Dependendo do objetivo, tal representação pode enviesar os resultados como, por exemplo, em análises de mapas temáticos de densidade demográfica na escala municipal. As definições dos limites das áreas censitárias são em grande parte artificiais, incluindo áreas representativas do valor mapeado, como áreas urbanas, e áreas não representativas da densidade populacional, como corpos d'água, florestas, dentre outros. Um exemplo concreto dessa situação é apresentado na FIG. 8, que mostra um mapa de densidade populacional (habitantes/km²) dos municípios da RMBH em 2010 (feito a partir de um mapa coroplético convencional) e um mapa dasimétrico, refinado por informações intraurbanas.

FIGURA 8 – Densidade populacional (hab.km²) dos municípios da RMBH em 2010



O mapeamento dasimétrico está se popularizando como uma forma de aprimorar a representação dos dados poligonais. Recentemente, diversos pesquisadores de distintas áreas do conhecimento têm empregado esta técnica, dada a renovação pelo seu interesse em função da disseminação do uso dos SIGs para o mapeamento aplicado (Hawley, 2005; Petrov, 2008; Silva, 2009; Dutenkefer, 2010). Entretanto, a ausência de um software de referência e a falta de padronização nos métodos de produção são obstáculos à uma utilização mais generalizada do mapeamento dasimétricos nos SIGs.

Surpreendentemente, existe pouca literatura sobre o mapeamento dasimétrico em estudos realizados por demógrafos. Aplicações mais recentes da técnica, dentro dos SIGs, são realizadas sobretudo em estudos demográficos voltados para o mapeamento da densidade populacional e domiciliar, como nos trabalhos

realizados por Langford et al (1991); Eicher e Brewer (2001); Kampel (2003), Mennis (2003); Mennis e Hultgren (2006).

1.3 – Integração de fontes de dados demográficos às geotecnologias

Na última década, o setor público e o privado têm aumentado suas demandas por projeções demográficas e domiciliares. Prefeituras, agências governamentais, concessionárias de serviços urbanos básicos, consultorias em planejamento urbano e regional, universidades, empresas do mercado imobiliário, dentre outras, vêm requerendo esse tipo de informação para a execução e monitoramento de suas atividades (Arriaga, 2001; UNFPA, 2006; Jannuzzi, 2007).

Na demografia, a demanda por dados quantitativos para orientar o planejamento territorial também tem se elevado, sobretudo pelo aumento da formação de profissionais na área, pelos avanços tecnológicos ocorridos na computação, pelo maior acesso a equipamentos de hardware e software e pela disponibilização crescente de microdados de Censos Demográficos e outras pesquisas pelas agências estatísticas (Jannuzzi, 2007).

Esses mesmos fatores também têm impulsionado o desenvolvimento de projetos específicos voltados para a oferta de outros insumos informacionais para o planejamento (Arriaga, 2001). Embora seja uma demanda crescente do planejamento, a integração de projeções demográficas a geotecnologias ainda é rara (Jannuzzi e Pitta, 2010; Umbelino e Barbieri, 2010). A produção de informações prospectivas detalhadas para pequenas áreas na escala intraurbana, passa a ser algo primordial para o planejamento da ocupação humana.

Um dos maiores desafios em estudos preditivos em pequenas áreas é a integração da projeção de população e de domicílios de forma espacialmente explícita, revelando as implicações da distribuição espacial e respondendo, dessa forma, “quantos” seremos e “onde” estaremos (PDDI, 2011). A utilização de sistemas computacionais que analisam dados espaciais do passado e do presente têm oferecido, cada vez com maior precisão, possibilidades de criação

de cenários voltados para a simulação do uso e ocupação do solo no futuro (Umbelino e Barbieri, 2010).

O geoprocessamento constitui uma ferramenta fundamental para este tipo de simulação ao permitir que diversas representações espaciais possam ser combinadas. Atualmente, um dos grandes desafios dos planejadores é pensar a expansão da área urbana da sua região e conseguir responder “onde”, “como” e “quando” essa expansão urbana irá ocorrer, caso determinados critérios forem seguidos. O uso da variável espaço passa a ser fundamental na elaboração de cenários que simulem o desenvolvimento do ambiente urbano (Batty et al, 1999; Pedrosa e Câmara, 2003; Torres, 2006; Eastman, 2009).

Sabe-se que projeções do contingente domiciliar e populacional são demandadas no planejamento de políticas públicas habitacionais, nos serviços de apoio à moradia (transporte, energia elétrica, água, esgoto, coleta de lixo), na provisão de infraestrutura (pavimentação, drenagem, saneamento) e na existência de equipamentos coletivos de saúde, educação, abastecimento e lazer (IPEA, 2004 e 2007; Jannuzzi e Patarra, 2006; Rios-Neto et al, 2009). Simulações como as desenvolvidas nesta tese podem levar ao aperfeiçoamento das decisões relativas ao planejamento urbano pelos gestores públicos que, salvo raras exceções, desconsideram simulações da ocupação urbana e até mesmo o contingente domiciliar e populacional.

Este trabalho discute como a demografia pode avançar nessa linha de pesquisa através da apresentação de uma metodologia de projeção de domicílios e de manchas urbanas. As metodologias desenvolvidas nos três artigos acadêmicos mostram como os estudiosos dessas áreas podem se beneficiar com essas ferramentas. A partir do estudo de caso da RMBH e de Belo Horizonte, foram abordados aspectos teóricos, metodológicos e empíricos que se enquadram na discussão sobre os desafios decorrentes do crescimento domiciliar para o planejamento metropolitano no Brasil, a partir da expansão e reconfiguração do espaço intraurbano.

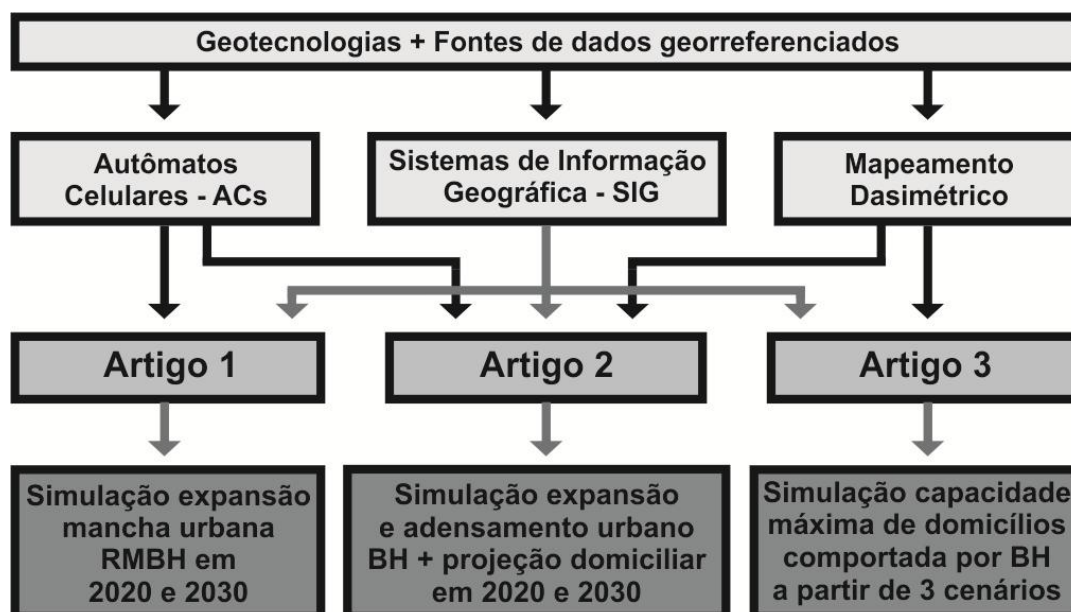
De acordo com o diagnóstico realizado durante a elaboração do PDDI, os municípios e órgãos responsáveis pelo planejamento da RMBH possuem bases cartográficas georreferenciadas e informações cadastrais aquém de suas necessidades. De uma maneira geral, com exceção da capital, essas informações são inexistentes nos demais 33 municípios da RMBH e, quando existem, possuem incongruências, incompatibilidade com os municípios vizinhos ou estão desatualizadas. Tal fato limitou a aplicação da metodologia proposta em todos artigos da tese para a RMBH, que foi contemplada somente no Artigo 1. Belo Horizonte, por sua vez, desde a década de 1990 tem implantado gradualmente as geotecnologias em seu planejamento (Caldas et al, 2008), o que resultou em um consistente banco de dados georreferenciado que permitiu o refinamento da metodologia do Artigo 1, viabilizando assim, os Artigos 2 e 3.

Deve-se frisar, conforme apontado em FJP (2010) e PDDI (2011), a necessidade eminente da criação de um núcleo de geoprocessamento em todas as prefeituras da RMBH que produza bases precisas de informações intraurbanas compatíveis com os municípios limítrofes, visando um planejamento mais acurado da área metropolitana. Destaca-se que se a toda a RMBH possuísse bases cartográficas e de informações cadastrais georreferenciadas, os métodos propostos nos três artigos desta tese poderiam ser aplicados à região metropolitana com um todo.

1.4 – Apresentação dos artigos acadêmicos

A seguir é apresentada uma breve descrição dos três artigos acadêmicos desenvolvidos nesta tese. Embora constituam textos independentes, os artigos são correlacionados, conforme explicado pela FIG.9:

FIGURA 9 – Geotecnologias utilizadas para o desenvolvimento metodológico presente nos artigos



Deve-se ressaltar que o banco de dados e a metodologia dos três artigos foi resultado de um esforço de combinação de informações geradas para o PDDI, para projetos realizados pela FJP, para a administração da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) e para os objetivos específicos desta pesquisa. A metodologia do Artigo 1 foi validada junto à equipe de especialistas que integrou o projeto do PDDI, no ano de 2010. O Artigo 3 teve sua metodologia gerada a partir de um constante processo de validação junto à equipe de técnicos da Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano (SMAPU-PBH) e da FJP, no segundo semestre de 2011 e janeiro de 2012. Os resultados do Artigo 3 já estão sendo utilizados pela PBH para subsidiar os nove Planos Diretores das Regionais de Planejamento do município.

- Artigo 1 – Uso de autômatos celulares na simulação da expansão urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2010 a 2030

Esse artigo investiga cenários de expansão da mancha urbana da RMBH. Para tanto, é proposta uma metodologia de mapeamento da evolução da mancha urbana da RMBH entre 1991-2000 e 2000-2010, bem como a simulação da

expansão urbana (área ocupada) para 2020 e 2030, feita a partir do uso de autômatos celulares.

- Artigo 2 – Projeção domiciliar e simulação do adensamento intraurbano de Belo Horizonte, 2010 a 2030

O artigo analisa o contingente domiciliar de Belo Horizonte no ano de 2010 e as características e condicionantes de seu adensamento. A partir do uso de autômatos celulares e do mapeamento dasimétrico foi simulado, para cada quadra de Belo Horizonte, um provável cenário de expansão e adensamento urbano, o que permitiu projetar o número de domicílios para 2020 e 2030.

- Artigo 3 – Projeção da quantidade máxima de domicílios permitida em Belo Horizonte a partir de 2011

O artigo utiliza o mapeamento dasimétrico aplicado em um SIG para o levantamento do número de domicílios existentes na capital em 2011. Esta técnica permitiu simular o limite máximo de domicílios que o município pode suportar, caso todos os lotes vagos recebam construções em sua capacidade máxima e caso todos os domicílios com potencial de demolição deem lugar a novos edifícios residenciais, também construídos em sua capacidade domiciliar máxima. Para ambas as situações, os parâmetros utilizados foram extraídos do zoneamento municipal estabelecido na Lei 9.959/2010 (Belo Horizonte, 2010).

Referências bibliográficas

AL-AHMADI, K. et al. A Fuzzy Cellular Automata Urban Growth Model (FCAUGM) for the City of Riyadh, Saudi Arabia. Part 2: Scenario Testing. **Applied Spatial Analysis and Policy**. v.2, p.85-105. 2009.

ALMEIDA, C. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento**: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP). 2003. 351f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Divisão de Processamento de Imagens, INPE, São José dos Campos, 2003.

ALMEIDA, C. et al. Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Públicas Urbanas. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 11, 2005, Salvador-BA. **Anais eletrônicos**. Salvador: ANPUR, 2005. Disponível em: <www.xienanpur.ufba.br/142p.pdf>. Acesso em: 28 out. 2010.

ALMEIDA, C. et al. Modelos Celulares de Dinâmicas Espaço-Temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos. In: MEIRELLES, M. et al (Orgs.). **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 2007. p.445-496.

AN, L. Modeling human decisions in coupled human and natural systems: review of agent-based models. **Ecological Modelling**. v.229, n.1, p.25-36. 2011.

ARRIAGA, E. La obsolescencia de las proyecciones de población. **Estudios Demográficos e Urbanos**. México. v.16, n.1, p.5-18. 2001.

ATKINSON, P. et al. Neural networks in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**. v.18, n.4, p.699-709. 1997.

BASTOS, A. **Simulação de uso do solo urbano utilizando uma abordagem baseada em Sistemas Multiagentes Reativos**. 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BATTY, M. **Urban Modelling** – Algorithms, Calibrations, Predictions. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 381p.

BATTY, M. **Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals**. Cambridge: MIT Press, 2005. 589p.

BATTY, M. **Model Cities**. Working Papers Series – Paper 113. Londres: UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, 2006, 37p. Disponível em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper113.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2011.

BATTY, M. **Complexity in City Systems: Understanding, Evolution, and Design**. Working Papers Series – Paper 117. Londres: UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, 2007, 35p. Disponível em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper117.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2011.

BATTY, M. **Visually-Driven Urban Simulation: Exploring Fast and Slow Change in Residential Location**. Working Papers Series – Paper 164. Londres: UCL Centre for Advanced Spatial Analysis, 2011, 35p. Disponível em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper164.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2011.

BATTY, M., LONGLEY, P. **Fractal Cities**. San Diego: Academic Press Limited, 1994. 394p.

BATTY, M. et al. Urban systems as cellular automata (Editorial). **Environment and Planning B**. v.24, n.2, p.159-164. 1997.

BATTY, M. et al. Modeling Urban Dynamics through GIS-Based Cellular Automata. **Computers, Environments and Urban Systems**. v.23, n.3, p.205-233. 1999.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 9.959/10, de 20 de julho de 2010. Altera as leis nº 7.165/96 – que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte – e nº 7.166/96 – que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte. 2010a. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-9959.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

BILLARI, F., PRSKAWETZ, A. **Agent-Based Computational Demography** – Using simulation to improve our understanding of demographic behaviour. Heidelberg: Physica-Verlag, 2003a. 210p.

BILLARI, F. et al. Introduction: Agent-Based Computational Demography. In: BILLARI, F., PRSKAWETZ, A. **Agent-Based Computational Demography** – Using simulation to improve our understanding of demographic behaviour. Heidelberg: Physica-Verlag, 2003b. p.1-18.

BILLARI, F., PRSKAWETZ, A. **Studying population dynamics from the bottom-up: the crucial role of agent-based computational demography**. In: INTERNATIONAL UNION FOR THE SCIENTIFIC STUDY OF POPULATION, 25, 2005, Tours, France. Anais eletrônicos. Tours, France: IUSSP, 2005. Disponível em: <<http://iussp2005.princeton.edu/download.aspx?submissionId=51988>>. Acesso em: 28 fev. 2011.

BORGES, K. et al. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al (Orgs.). **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: EspaçoGeo, 2005. p.83-136.

BUARQUE, S. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Brasília: Ipea, 2003 (Texto para discussão, 939).

CALDAS, M. et al. **Estudos Urbanos - Belo Horizonte 2008: transformações recentes na estrutura urbana**. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2008. 513p.

CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. 1995. 264 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al (Orgs.). **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: EspaçoGeo, 2005. p.1-44.

CÂMARA, G., DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G. et al (Orgs.). **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. São José dos Campos: INPE, 1999. p.1-5. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 12 set. 2008.

CÂMARA, G., MONTEIRO, A. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G. et al (Orgs.). **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. São José dos Campos: INPE, 1999. p.1-5. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 12 set. 2008.

CARNEIRO, T. **Nested-CA: A foundation for multiscale modelling of land use and land cover change**. 2006. 109f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

CEDEPLAR – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. **Projeto projeção da demanda demográfica habitacional, o déficit habitacional e assentamentos subnormais**. Belo Horizonte: Cedeplar/Ministério das Cidades, 2007.

CHAN, J. et al. Detecting the nature of change in an urban environment: A comparison of machine learning algorithms. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.67, n.2, p.213-225. 2001.

CIVCO, D. Artificial neural networks for land cover classification and mapping. **International Journal of Geographic Information Systems**. v.7, n.2, p.173-186. 1993.

CLARKE, K. et al. A cellular automaton model of wildfire propagation and extinction. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.60, n.11, p.1355-1367. 1994.

CLARKE, K; GAYDOS, L. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. **International Journal of Geographical Information Science**. v.12, n.7, p.699-914. 1998.

COSTA, J. **Criação de cenários de expansão urbana com recurso a autómatos celulares no apoio ao planeamento e gestão territorial: Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal)**. 2010. 126f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território) - Departamento de Geografia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

COTA, D. **A parceria público-privada na política urbana brasileira recente: reflexões a partir da análise das operações urbanas em Belo Horizonte**. 2010. 430f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

COUCLELIS, H. Macrostructure and microbehavior in metropolitan area. **Environment and Planning B**. v.16, n.2, p.141-154. 1989.

COUCLELIS, H. People manipulate objects (but cultivate fields): beyond the raster-vector debate in GIS. In: FRANK, A. et al (Eds.). **Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space**. Berlin: Springer, 1992. p.65-77.

DAVIS, C., FONSECA, F. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográficos**. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia/UFMG, 2001. 261p.

DE BY, R. et. Al. **Principles of Geographic Information Systems – An Introductory Textbook**. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001. 490p.

DUTENKEFER, E. **Representações do espaço geográfico: mapas dasimétricos, anamorfoses e modelização gráfica**. 2010. 254f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas , Belo Horizonte, 2010.

EASTMAN, J. et al. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.61, n.5, p.539-547. 1995.

EASTMAN, J. **Idrisi Taiga Tutorial**. Massachusetts: Clark Labs, 2009. 342p. Disponível em <www.clarklabs.org>. Acesso em 03 fev. 2010.

EICHER, C., BREWER, C. Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. **Cartography and Geographic Information Science**. v.28, n.2, p.125–138. 2001.

EPA (Environmental Protection Agency). **Projecting Land-Use Change: A Summary of Models for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Patterns**. Washigton: EPA, 2000. Disponível em <www.epa.gov>. Acesso em 03 abr. 2010.

FEITOSA, F. **Urban segregation as a complex system: an agent-based simulation approach**. 2010. 209f. Tese (Doutorado em Geografia) – Rheinische Friedrich-Wilhelms, Universidade Bonn, Alemanha, 2010.

FÍGOLI, M. et al. Projeção populacional, por sexo e grupos de idades quinquenais Mesorregiões e total de Minas Gerais, 2010-2030. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 14, 2010, Diamantina-MG. **Anais**. Diamantina: Cedeplar, 2010.

FIORAVANTE, E. **Projeção de domicílios por modelo multi-estado e aplicação para previsão da frota de automóveis em Belo Horizonte**. 2009. 278f. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FJP - Fundação João Pinheiro. **O mercado da Terra na RMBH: estudo de caso no entorno do aeroporto de Confins**. Relatório de pesquisa (circulação restrita). Belo Horizonte: FJP, 2010.

FREIRE, F. **Projeção populacional para pequenas áreas pelo método das componentes demográficas usando estimadores bayesianos espaciais**. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

FURTADO, B., RUIZ, R. MetrÓpole Fractal: um modelo com autômatos celulares para análise do espaço urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 34, 2006, Salvador-BA. **Anais eletrônicos**. Salvador: ANPEC, 2006. Disponível em: <<http://ideias.repec.org/p/anp/en2006/73.html>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

FURTADO, B., DELDEN, H. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Brasília: Ipea, 2011 (Texto para discussão, 1576).

GILBERT, N. **Agent-based models**. London: Sage Publications, 2008. 112p.

GIMBLETT, H. **Integrating Geographic Information Systems and Agent-Based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes**. A volume in Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. New York: Oxford University Press, 2002. 327p.

HAWLEY, K. **A comparative analysis of areal interpolation methods**. 2005. 88f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - The Ohio State University, Columbus, Estados Unidos, 2005.

HOGAN, D. Mudança Ambiental e o Novo Regime Demográfico. In: CAVALCANTI, C. (Org.). **Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas**. São Paulo: Cortez, 1999. p.369-381.

IBGE. **Censo demográfico 2000**: agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **Censo demográfico 2010**: agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios>. Acesso em 30 out. 2011.

IPEA. **Quarenta anos apontando caminhos**. Brasília: IPEA, 2004. 250p. (Texto para discussão, 1000)

IPEA. **Políticas sociais** – acompanhamento e análise. Brasília: IPEA, 2007. (Texto para discussão, 14)

JACOBS, J. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Vintage Books, Random House, 1961. 458p.

JANNUZZI, P. Cenários futuros e projeções populacionais para pequenas áreas: método e aplicação para distritos paulistanos 2000-2010. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.24, n.1, p.109-136. 2007.

JANNUZZI, P., PATARRA, N. **Manual para capacitação em indicadores sociais nas políticas públicas e em direitos humanos**. São Paulo: Oficina Editorial, 2006. Cap. 3. Estimção de demandas sociais futuras e as projeções populacionais: marco metodológico e aplicação ilustrativa, p.89-116.

JANNUZZI, P., PITTA, M. **Projeção e estimção de população e de públicos-alvo de programas sociais**. 2010 (Mini-curso apresentado no Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 17, 2010, Caxambu, MG).

JOSLYN, C., ROCHA, L. **Towards semiotic agent-based models of socio-technical organizations**. Proc. AI, Simulation and Planning and High Autonomy Systems (AIS 2000) Conference. Tucson, Arizona. p.70-79, 2000.

KAMPEL, S. **Geoinformação para estudos demográficos**: representação espacial de dados de população na amazônia brasileira. 2003. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

KUHN, C. **Uma análise sistêmica das transformações de uso do solo como suporte a decisão para o planejamento de Unidades de Conservação**. Estudo de caso: Parque Nacional do Superagui – PR. 2005. 163f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2005.

LANGFORD, M. Rapid facilitation of dasymetric based population interpolation by means of raster pixel maps. **Computers, Environment and Urban Systems**. v.31, n.1, p.19-32. 2007.

LANGFORD, M. et al. The areal interpolation problem: Estimating population using remote sensing in a GIS framework. In: MASSER, I., BLAKEMORE, M. **Handling geographic information: Methodology and potential applications**. Londres: Longman, 1991. p.55-77.

LEÃO, S. **Spatial-temporal model for demand and allocation of landfills in growing urban regions**. Department of Geomatics Engineering. 2002. 194f. Tese (Doutorado em Engenharia Geomática) – The University of Melbourne, Melbourne, Australia, 2002.

LEIVA, G. **Composição, formação e localização de domicílios**: um estudo dos domicílios com jovem adulto. 2012. 203f. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

LIMA, C., MENDONCA, F. Planejamento urbano-regional e crise ambiental: Região Metropolitana de Curitiba. **São Paulo Perspectiva**. v.15, n.1, p.135-143. 2001. Disponível em: <dx.doi.org/10.1590/S0102-88392001000100015>. Acesso em: 20 jan. 2011.

LIU, Y. **Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata**. New York: CRC Press, 2008. 188p.

LONGLEY, P. et al (Orgs.) **Geographic Information Systems and Science**. New York: John Wiley and Sons, 2005. 512p.

MACEACHREN, A. The Evolution of thematic Cartography. A Research Methodology and Historical Review. **The Canadian Cartographer**. v.16, n.1, p.17-33. 1979.

MANTELAS, L. et al. A Fuzzy Cellular Automata Based Shell for Modeling Urban Growth – A Pilot Application in Mesogia Area. In: AGILE INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 10, 2007, Alborg-Dinamarca. **Anais eletrônicos**. Alborg-Dinamarca: IACM, 2007. Disponível em: <http://www.iacm.forth.gr/_docs/pubs/4/Mantelas-Prastacos2007.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2009.

MANTELAS, L. et al. Modeling Urban Growth using Fuzzy Cellular Automata. In: AGILE INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 11, 2008, Girona-Espanha. **Anais eletrônicos**. Girona-Espanha: IACM, 2008. Disponível em: <Modeling Urban Growth using Fuzzy Cellular Automata>. Acesso em: 12 jan. 2009.

MANTELAS, L. et al. Using fuzzy cellular automata to access and simulate urban growth. **GeoJournal- Springer Netherlands**. v.77, n.1, p.13-28. 2010.

MATOS, R. et al. Pobreza urbana e a dimensão socioespacial nos processos de redistribuição da população em periferias de Belo Horizonte. In: MATOS, R. (Org.). **Espacialidades em rede: população, urbanização e migração no Brasil contemporâneo**. Belo Horizonte: C/Arte, 2005. p.213-231.

MENNIS, J., Generating surface models of population using dasymetric mapping. **The Professional Geographer**. v.55, n.1, p.31-42. 2003.

MENNIS, J., HULTGREN, T. Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. **Cartography and Geographic Information Science**. v.33, n.3, p.179-194. 2006.

MESSINA, J., WALSH, S. **Simulating Land Use and Land Cover Dynamics in the Ecuadorian Amazon through Cellular Automata Approaches and an Integrated GIS**. Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community, Special Session. Rio de Janeiro, 2001a. Disponível em: <http://sedac.ciesin.org/openmeeting/downloads/1005859063_presentation_swalsh_riopaper.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2011.

MESSINA J., WALSH S. 2.5D morphogenesis: modeling landuse and landcover dynamics in the Ecuadorian Amazon. **Plant Ecology**. v.156, n.1, p.75-88. 2001b.

MESSINA J., WALSH S. Dynamic spatial simulation modeling of the population environment matrix in the Ecuadorian Amazon. **Environment and Planning B: Planning and Design**. v.32, n.6, p.835-856. 2005.

MILLER, J., PAGE, S. **Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life.** Princeton: Princeton University Press, 2007. 284p.

PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Relatório final de definição das propostas de políticas setoriais, projetos e investimentos prioritários.** Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2011. Disponível em: <www.rmbh.org.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

PEDROSA, B. **Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial.** 2003. 80f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

PEDROSA, B., CÂMARA, G. Modelagem Dinâmica: conceitos básicos e exemplos de sistemas (Capítulo 1). In: CÂMARA, G., MONTEIRO, A. (Orgs). **Introdução a Modelagem Dinâmica Espacial.** Belo Horizonte: INPE, 2003. p.1-41.

PEDROSA, B., CÂMARA, G. Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento. São José dos Campos, 2004. In: Druck, S. et al (Eds.) **Análise Espacial de Dados Geográficos.** Brasília, Embrapa, 2004. p.1-39 Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap6-dinamica.pdf>>. Acesso em 04 out. 2007.

PETROV, A. On the Russian origins of dasymetric mapping. *Cartographica*. **The International Journal for Geographic Information and Geovisualization.** v.43, n.2, p.133-136. 2008.

POLIDORI, M. **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade.** 2004. 352f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

REIBEL, M., AGRAWAL, A. Areal Interpolation of Population Counts Using Pre-classified Land Cover Data. **Springer Science.** v.36, n.5-6, p.619-633. 2007.

RICHARDS, J., JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis.** New York: Springer. 1999. 464p.

RINDFUSS et al. Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. **PNAS.** v.101, n.39, p.13976-13981. 2004.

RIOS-NETO, E. et al. **Oportunidades perdidas e desafios críticos: a dinâmica demográfica brasileira e as políticas públicas.** Belo Horizonte: ABEP/UNFPA/CNPd, 2009. 196p.

ROBINSON, A. The 1837 Maps of Henry Drury Harness. **The Geographical Journal.** v.121, n.4, p.440-450. 1955.

SANTOS, R. **Projeções populacionais para pequenas áreas a partir de cenários econômicos**: aplicação de ratio methods para a região do Alto Paraopeba-MG, 2010-2025. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SEMENOV-TIAN-SHANSKY, B. Territory and Population: A Perspective on the 1926 Census. **Geographical Review**. v.18, n.4, p.616-640. 1928.

SIETCHIPING, R. **A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth**. 2004. 272f. Tese (Doutorado em Geografia) - School of Anthropology, Geography and Environmental Studies, University of Melbourne, Melbourne, 2004.

SILVA, F. **Modelação cartográfica e ordenamento do território**: um ensaio metodológico de cartografia dasimétrica aplicado à Região Oeste e Vale do Tejo. 2009. 163f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território) - Universidade do Porto, Porto-Portugal, 2009.

SOARES-FILHO B. et al. Dinamica - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**. v.154, n.3, p.217-235. 2002.

SOARES-FILHO B. et al. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. In: ALBENAZ, A. et al (Eds.) **Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais**. Belém: Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. p.74-86.

TOBLER, W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit Region. **Economic Geography**. v.46, n.2, p.234-240. 1970.

TOBLER, W. Cellular Geography. In: GALE, S., OLSSON, G. (Eds.) **Philosophy in Geography**. Dordrecht: D. Reidel, 1979. p.379-386.

TORRES, H. Demografia urbana e políticas sociais. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.23, n.1, p.27-42. 2006.

TSO, B., MATHER, P. **Classification Methods for Remotely Sensed Data**. New York: Taylor and Francis. 2001. 352p.

UMBELINO, G. **Proposta metodológica para avaliação da população residente em áreas de risco ambiental**: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Onça/MG. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

UMBELINO, G., BARBIERI, A. Uso de autômatos celulares em estudos de população, espaço e ambiente. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 17, 2010, Caxambu. **Anais eletrônicos**. Caxambu: ABEP, 2010. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs_pdf/eixo_2/abep2010_2432.pdf>. Acesso em: 25 set. 2011.

UMBELINO, G., SATHLER, D. Os jovens no futuro: projeções para o Brasil Metropolitano em 2020 e 2030. In: BARBER-MADDEN, R., SANTOS, T. (Orgs.). **A juventude brasileira no contexto atual e em cenário futuro**. Brasília: Editora UNFPA, 2010. p.147-170.

UNFPA. **Indicadores Sociodemográficos Prospectivos para o Brasil 1991-2030**. Brasília: UNFPA/IBGE, 2006.

UNFPA. **State of World population 2007: unleashing the potential of urban growth**. UNFPA: New York, 2007. 129p.

UNITED NATIONS. **Housing requirements and demand: current methods of assessment and problems of estimation**. Geneva: United Nations Publication, 1973. 185p.

VINHAS, L. **Um subsistema extensível para o armazenamento de geocampos em bancos de dados geográficos**. 2006. 114f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

WAGNER, D. Cellular automata and geographic information system. **Environment and Planning**. v.24, n.5, p.193-204. 1997.

WALDVOGEL, B. **Técnicas de projeção populacional para planejamento regional**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1998.

WHITE, R., ENGELEN, G. Cellular Automata and Fractal Urban Form: A Cellular Modelling Approach to the Evolution of Urban Land Use Patterns. **Environment and Planning A**. v.25, n.8, p.1175-1199. 1993.

WHITE, R., ENGELEN, G. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling. **Environment and Planning B: Planning and Design**. v.24, n.2, p.235-246. 1997.

WOLFRAM, S. Cellular Automata as Models of Complexity. **Nature**. v.311, p.419-424. 1984. Disponível em <<http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/84-cellular/>>. Acesso em 04 abr. 2010.

2 – ARTIGO 1 – USO DE AUTÔMATOS CELULARES NA SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, 2010 A 2030

Resumo

Esse artigo apresenta o mapeamento da expansão da mancha urbana (área ocupada) da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) entre 1991-2000 e 2000-2010, e propõe um modelo que simula sua expansão para 2020 e 2030, tomando como base as informações e pressupostos gerados para o planejamento metropolitano durante a elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI). O mapeamento da expansão permitiu analisar o comportamento da mancha urbana nas últimas duas décadas, frente ao crescimento residencial, comercial e de equipamentos urbanos verificado na região. Aliadas a essas informações, foram adicionadas variáveis restritivas e estimuladoras da expansão urbana propostas no PDDI, o que permitiu a criação de um cenário da expansão da mancha urbana para 2020 e 2030. A criação deste cenário envolveu o uso de autômatos celulares (ACs), formados por um tipo de modelo de agentes que, ao permitirem interações complexas entre variáveis em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), adequam-se à construção dos cenários aqui propostos, por fazerem a junção dos vetores de expansão urbana com informações demográficas, socioeconômicas e do ambiente físico da região de estudo. A simulação indica como seria a configuração das áreas urbanas da RMBH em 2020 e 2030, além de apontar caminhos para discutir as dimensões da ocupação humana de médio prazo e longo prazo, bem como as implicações dessa expansão para o planejamento da ocupação do espaço metropolitano.

Palavras-chave: Geotecnologias, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), autômatos celulares, expansão urbana, Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

Abstract

This paper empirically addresses the question of how the urban sprawl within a geographical boundary evolves over time. It first estimates the expansion of settled urban area within Belo Horizonte Metropolitan Area (RMBH) from 1991 to 2010, comprising two periods of expansion: 1991-2000 and 2000-2010. Then, using historical data, it proposes a projection model for the urban expansion of the RMBH to 2020 and 2030, based on data and assumptions set forth on the Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PPDI). By mapping the dynamics of urban sprawl it was possible to analyze how the settled urban area relates to the growth of residences, commercial areas, and urban infrastructure over time. In addition, the inclusion of urban sprawl restrictive and inductive variables allowed for the construction of projected scenarios for 2020 and 2030. Complex systems models (cellular automata-CA) were used within a Geographic Information Systems (GIS) environment to define the prospective scenarios, explicitly addressing the complex interactions between urban expansion vectors, sociodemographic, and physical environment variables. The results suggest how the spatial configuration of the urban areas within the RMBH would be in 2020 and 2030, providing empirical support for the planning of urban land use and human settlement within the RMBH in the years to come.

Keywords: Geotecnologies, Geographic Information System (GIS), cellular automata, urban sprawl, metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH).

2.1 - Introdução

É possível antecipar mudanças na ocupação urbana de uma determinada localidade? Respostas a essa pergunta, que têm instigado pesquisadores em diversas áreas do conhecimento, tem sido cada vez mais buscadas com o auxílio de sistemas computacionais que analisam dados espaciais do passado e presente, para gerar pressupostos e hipóteses evolutivas utilizadas em modelos dinâmicos de cenários de uso e ocupação do solo (White e Engelen, 1997). Em estudos sobre distribuição espacial da população – particularmente em espaços intraurbanos - há muito tempo é possível estimar o contingente populacional e domiciliar de uma dada localidade, respondendo a questão de “quantos seremos”; mas somente nos últimos anos tem sido possível uma representação espacial mais robusta sobre uma questão igualmente importante: “onde estaremos?”.

A resposta às duas questões acima têm contado, cada vez mais, com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), os quais procuram simular a realidade do espaço geográfico, permitindo o armazenamento, manipulação e análise de dados geográficos num ambiente computacional. Esses dados representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e é indispensável para investigá-la (Davis e Fonseca, 2001; De By et al, 2001; Longley et al, 2005).

O SIG é uma ferramenta fundamental para simulações de mudanças no uso e ocupação do solo, ao permitir que diversas informações georreferenciadas possam ser combinadas em prol da elaboração de alternativas de políticas públicas. Atualmente, um dos grandes desafios dos planejadores é pensar na expansão de áreas urbanas, sendo que o uso de modelos de simulação via autômatos celulares (ACs) passa a ser uma alternativa metodológica poderosa para apontar “onde”, “como” e “quando” essa expansão urbana irá ocorrer, se determinados pressupostos forem seguidos. A simulação através de ACs divide o espaço em células de tamanho regular, às quais podem ser associados os diversos atributos existentes no SIG. São definidas regras e restrições que, de acordo com os valores dos atributos de cada célula e de seus vizinhos, determinam o valor dos mesmos atributos para um instante de tempo

subsequente (White e Engelen, 1997; Pedrosa e Câmara, 2003; Batty, 2005). A integração espacial entre o SIG e os ACs permitiu, ainda, a dinamização da análise espacial, pois enquanto o SIG disponibiliza suas funcionalidades para a produção de dados, os ACs utilizam esses dados para executar e calibrar suas simulações (Clarke et al, 1994; Wagner, 1997; Batty et al, 1999; Leão, 2002; Liu, 2008).

As simulações espaciais propostas acima são o objetivo central deste artigo, que propõe cenários de expansão da mancha urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) entre 1991-2000 e 2000-2010, e a sua provável expansão para novas áreas em 2020 e 2030. A próxima sessão destaca algumas características do processo recente de espraiamento urbano da RMBH que ajudam a identificar alguns dos principais atributos que devem ser considerados em futuros cenários de expansão metropolitana. Em seguida é feita uma discussão da metodologia e informações utilizadas na criação dos cenários, seguida dos resultados, conclusões e considerações finais.

2.2 - Dinâmica demográfica e expansão urbana na RMBH

A partir de 1970, a RMBH, assim como outras regiões metropolitanas brasileiras, apresentou uma intensificação do dinamismo demográfico em função dos movimentos migratórios impulsionados pela busca de emprego e melhoria nas condições de vida, além da fragilidade econômica e da baixa capacidade dos pólos regionais do interior do Estado em estancar os fluxos de pessoas (Costa e Monte-Mór, 2002; Lemos et al, 2004; Matos et al, 2005; Brito e Souza, 2005; Costa et al, 2006; Caldas et al, 2008; PDDI, 2011).

As transformações demográficas em Minas Gerais tiveram implicações com significados diversos, cabendo destacar a inflexão na distribuição espacial da população rural-urbana do estado nas últimas décadas que antecederam a virada do milênio. Do ponto de vista do planejamento regional, o rápido crescimento populacional das cidades (especialmente nas décadas de 1970 e 1980) e a conformação da RMBH criaram desafios de difícil superação que se misturam a novas demandas que são criadas a todo o momento. A expansão urbana do tipo

centro-periferia desafiou os gestores municipais, bem como sua capacidade de prover as amenidades urbanas básicas. Essas transformações agravaram o elevado nível de pobreza estrutural já existente na RMBH e em todo o país (Hogan, 1999; Costa e Monte-Mór, 2002; Matos et al, 2005; Brito e Souza, 2005).

Em meio à diversidade de uso e ocupação urbana da RMBH, é possível verificar uma população composta por diferentes estratos da classe média e segmentos da mais alta, contracenando com a enorme população de baixa renda residente em domicílios subnormais (Matos et al, 2005). No crescimento urbano experimentado por todos os estratos da população metropolitana, o processo de conurbação é, em grande parte, a concretização das interações do mercado da terra entre os municípios. Todavia, além da conurbação decorrente da integração entre as manchas urbanas dos municípios do entorno da capital, o maior fluxo de bens, mercadorias e pessoas torna o espaço urbano metropolitano cada vez integrado, o que aponta a necessidade de um contínuo monitoramento e avaliação desse fenômeno (Linhares et al, 2004; PDDI, 2011).

Recentemente, a RMBH tem experimentado uma relativa estabilidade em seus indicadores demográficos. Se por um lado o crescimento populacional, as Taxas Líquidas de Migração e a Taxa de Fecundidade Total da RMBH (como um todo⁷) têm diminuído, por outro lado, novos fenômenos geram grandes impactos no espaço metropolitano, com destaque para o aumento da capacidade de consumo da população, expressa no aumento do número de edificações e de automóveis, dentre outros (Silva, 2008; FJP, 2010; Sathler, 2010; Leiva, 2012). A título de ilustração, entre 2000 e 2010 a Taxa de Crescimento Geométrico anual (TCG) da população de Belo Horizonte foi de 0,62% a.a., enquanto que a TCG domiciliar foi de 1,94% a.a. De forma complementar, verifica-se que nos últimos quatro anos, a TCG de veículos foi de 9,41% a.a., o que demonstra o aumento considerável de domicílios e veículos ocorrido na capital (IBGE, 2002 e 2011; DENATRAN, 2011).

⁷ Há que se destacar, no caso específico das migrações, a existência de importantes diferenças entre os municípios, conforme retratado pelo Censo de 2010. Em particular, e à semelhança de outras regiões metropolitanas do país, verifica-se um processo de perda populacional via migração do centro da RMBH (Belo Horizonte) e ganhos expressivos de população (via imigração) em alguns municípios da região metropolitana.

Nesse contexto, algumas questões se colocam como desafio para o processo de planejamento da RMBH, como o aumento domiciliar e populacional em determinados vetores, a explosão recente do mercado imobiliário, a valorização econômica de áreas antes deprimidas, a instalação de domicílios em locais em desconformidade com a legislação, dentre outros. Estas transformações, embora presentes em todo o espaço metropolitano ocorrem em maior intensidade em alguns vetores privilegiados de expansão, seja pela predominância de incentivos públicos, sobretudo do governo do estado, seja pelo direcionamento dos agentes especulativos do mercado imobiliário (Matos et al, 2005; FJP, 2010; PDDI, 2011).

Assim, não obstante as modificações em outros espaços da RMBH, dois vetores de expansão da capital têm se destacado nas pautas de reuniões para o planejamento regional da RMBH: o Vetor Sul e o Vetor Norte (Costa et al, 2006; Caldas et al, 2008; PDDI, 2011).

No caso do Vetor Sul, os crescentes níveis de insegurança e violência, associados com um dinâmico mercado imobiliário na RMBH, tem proporcionado o surgimento de condomínios fechados em um ritmo acelerado de ocupação. O uso e ocupação do solo na região têm sido dotado de inúmeras sobreposições espaciais, dado que os condomínios fechados disputam espaço com unidades de conservação, pequenos núcleos urbanos tradicionais, áreas de adensamento não controlado, cavas de mineração e, nos últimos anos, empreendimentos mistos de residências, comércio e serviços, intercalados com áreas naturais legalmente protegidas (Costa et al, 2006).

No caso do Vetor Norte, a construção de grandes projetos como a Linha Verde, o Aeroporto Industrial de Confins, a cidade Administrativa do Governo do Estado e o Anel Viário de Contorno Norte (Rodoanel) tem favorecido a instalação de novos empreendimentos comerciais e industriais, além de um aumento na demanda domiciliar nas intermediações dessa região que abriga alguns dos municípios metropolitanos mais carentes de infraestrutura (Nunes, 2008; FJP, 2010; PDDI, 2011).

Assim, os novos empreendimentos públicos e privados no Vetor Norte da RMBH e a reestruturação das principais vias de conexão metropolitana que apontam

para esta direção criam um forte dinamismo na ocupação territorial dos municípios desta parte da RMBH, remodelando os desafios em áreas tradicionalmente pobres e de uso predominantemente residencial. Essas transformações parecem surtir efeitos especulativos de maneira mais imediata naqueles municípios próximos à Cidade Administrativa (Santa Luzia, Vespasiano, Ribeirão das Neves e porção setentrional de Belo Horizonte), em que os impactos territoriais deverão ser mais intensos no curto prazo. Nestas áreas de influência direta e indireta da Cidade Administrativa, as intervenções públicas e privadas tendem a ditar novos padrões de ocupação territorial, com a criação de novas funções, adensamento populacional e gentrificação de espaços deprimidos (Nunes, 2008; Sathler, 2010; PDDI, 2011).

Nesse cenário de grandes transformações do espaço metropolitano, é necessária a geração de informações e instrumentos que alimentem o processo de planejamento integrado da RMBH, permitindo ganhos na eficiência dos mecanismos de planejamento e gestão. Para essa eficiência, é de suma importância a projeção e representação espacial da ocupação do solo intraurbano, que poderá ajudar a delinear as políticas públicas mais adequadas à realidade futura nas áreas de habitação, saúde, segurança, transporte, meio ambiente, educação e outros.

2.3 - Expansão da mancha urbana na RMBH: bases metodológicas

O mapeamento da evolução da ocupação na RMBH durante a última década permitiu analisar o comportamento da mancha urbana frente ao crescimento domiciliar verificado na região, e dessa forma, possibilitou a elaboração de pressupostos para um cenário de expansão da mancha urbana em novas áreas. A partir do uso dos ACs foi possível agregar os vetores de expansão urbana a informações demográficas, socioeconômicas e naturais georreferenciadas, permitindo a representação desses cenários em uma matriz com resolução espacial de 50 metros.

Os resultados do modelo mostram como será a configuração dos espaços urbanos da RMBH em 2020 e 2030, caso os pressupostos abaixo⁸ sejam observados:

- O crescimento populacional já não terá o mesmo ritmo do crescimento domiciliar no espaço intrametropolitano. O aumento no número de domicílios tem sido estimulado pelo alto dinamismo do mercado imobiliário, pelos planos governamentais de habitação aliados à ampliação do acesso ao crédito, pelo aumento do poder aquisitivo da população, pelo alto déficit habitacional e pela elevada taxa de vacância de terrenos. Tal fenômeno não é homogêneo ou peculiar para cada município da RMBH e poderá levar a impactos diferenciados sobre a população futura e seus locais de residência (habitação, transporte, saúde, educação e no meio físico);
- O processo de expansão urbana ocorrerá em maior velocidade nos municípios do entorno em relação à capital, a qual apresentará um processo mais intenso de adensamento urbano devido aos altos custos de moradia, escassez de terrenos e restrições no zoneamento municipal;
- Decisões de planejamento territorial tomadas por um município influenciam diretamente a ocupação urbana dos municípios limítrofes. As leis municipais de zoneamento dos municípios influenciarão diretamente no uso e ocupação do solo na RMBH, incluindo a expansão das áreas urbanas para determinados espaços;
- A malha viária, as áreas edificáveis permitidas nos zoneamentos municipais e os locais de aquecimento econômico serão os principais estruturadores do processo de expansão urbana;
- As unidades de conservação e preservação ambiental permanente, bem como os corpos d'água, não serão ocupados durante o processo de expansão urbana.

⁸ Construídos a partir dos resultados sobre o cenário tendencial demográfico do projeto PDDI (2011).

A seguir é apresentada uma breve descrição das etapas utilizadas na simulação da expansão horizontal da mancha urbana da RMBH em 2020 e 2030. Vários programas computacionais foram utilizados para compatibilizar, processar, analisar e modelar os dados georreferenciados. As informações adquiridas passaram por um processo de compatibilização, utilizando os programas ArcGIS 10, MapInfo 10 e Idrisi 16. Inicialmente, os dados georreferenciados tiveram seu limite geográfico adaptado de forma a corresponder à delimitação da RMBH. Em um segundo momento, essas informações foram ajustadas à projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000⁹.

Para a simulação das dinâmicas espaciais de ocupação urbana, as bases digitais nos formatos raster e vetor foram processadas no ArcGIS 10 e Spring 5.1.4, sendo depois transportadas para o módulo Land Change Modeler (LCM) do IDRISI 16 para a simulação da expansão horizontal da mancha urbana em 2020 e 2030. Para que a simulação fosse possível, todas as bases cartográficas foram convertidas em uma matriz de 2.500 x 3.160 células com resolução espacial de 50 metros, das quais 3.786.892 foram utilizadas, pois são as que envolvem toda a RMBH. Essas células ocupam uma região de aproximadamente 9.475km² e possuem como limite geográfico as coordenadas UTM 535.200E/7.892.400N e 660.200E/7.734.400N.

2.3.1 - Fontes de Informação para a construção de cenários

- Limites municipais

Os limites municipais foram utilizados para a delimitação da área de estudo. As bases dos limites oficiais dos 34 municípios que integram a RMBH foram adquiridas a partir do banco de dados existente no Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais (IGA), órgão oficial responsável pela espacialização da delimitação dos municípios de Minas Gerais.

⁹ Todos os dados georreferenciados da tese atendem ao novo referencial geodésico brasileiro, pois incorporam o datum planimétrico SIRGAS 2000, atendendo à resolução 01/2005 do IBGE, que propõe esse referencial como o único oficial do país a partir de 2014. Maiores informações podem ser obtidas em www.ibge.gov.br/sirgas.

- Ocupação urbana (mancha urbana)

“Ocupação urbana” é a principal variável da simulação, pois permite explicitar a distribuição populacional através da localização de áreas edificadas, bem como a evolução da oferta domiciliar, via vetores de expansão urbana. Uma das fontes mais usuais de dados de mancha urbana para a confecção de mapas de uso e ocupação do solo são as imagens orbitais de sensoriamento remoto, que permitem, dentre outras funcionalidades, detectar os locais urbanizados de uma região (Câmara e Freitas, 1997; Davis e Fonseca, 2001). A extração de informações destas imagens para a geração de mapas pode ser realizada por meio de procedimentos de interpretação visual ou por métodos de classificação e segmentação automatizadas de imagens. Como o processo de interpretação visual é um procedimento demorado e dispendioso, optou-se pela utilização de técnicas automáticas para a extração de informações, que possibilitassem identificar para 1991, 2000 e 2010 a categoria mancha urbana dentro da RMBH.

As imagens selecionadas para integrar o banco de dados tiveram suas datas escolhidas em função da baixa cobertura de nuvens (abaixo de 10%) e de sua proximidade com as datas dos três últimos levantamentos censitários¹⁰. Com o uso do programa ENVI 4.6, a área da RMBH foi recortada e ajustada à projeção cartográfica padrão. Para a padronização dos limites das imagens, foi feito um novo georreferenciamento a partir de pontos de controle previamente conhecidos. Após estes pré-processamentos, as imagens encontraram-se adequadamente corrigidas para sua classificação quanto ao tipo de ocupação.

Para a padronização das informações presentes nas imagens Landsat, foi utilizado o programa Spring 5.1.4, com a metodologia adotada por Ramos (2009). O primeiro passo foi realizar a correção geométrica e radiométrica das imagens. Para garantir que nas três datas o comportamento das classes obtidas fosse semelhante, o que permitiria identificar as mesmas classes nos dois períodos, foi

¹⁰ As datas de referência dos censos de 1991, 2000 e 2010, são, respectivamente: 01/09/1991, 01/08/2000 e 01/08/2010. Dessa forma, foram escolhidas, no sítio do INPE (<http://www.dgi.inpe.br>), as imagens do sensor TM/Landsat 5 correspondentes à órbita 218 e ponto 74 obtidas em 12/07/1991, 22/09/2000 e 01/08/2010. Em todas as datas, as imagens foram obtidas através da composição RGB 543, com resolução espacial de 30 metros.

aplicado o realce e a equalização das imagens Landsat¹¹. Com as imagens processadas, foram definidas as classes de cobertura do solo: Mancha Urbana, Água e Outros Usos. O próximo passo foi a aplicação do método de classificação supervisionada por regiões, através da aplicação do algoritmo Battacharya¹², que produz resultados mais consistentes (Ramos, 2009).

O próximo passo para melhorar a qualidade da classificação foi a comparação dos resultados obtidos com fotografias aéreas de todos municípios da RMBH, acompanhados da realização de trabalhos de campo para a validação da classificação das classes que foram erroneamente apontadas como Mancha Urbana, Água ou Outros Usos. A partir da classificação das três imagens e levando em consideração as classes temáticas Mancha Urbana, Água e Outros Usos, foram produzidas três bases vetoriais da ocupação humana na Região Metropolitana de Belo Horizonte em 1991, 2000 e 2010.

Como a modelagem da expansão urbana é o foco principal do trabalho, optou-se por refinar a tipologia Mancha Urbana, incorporando, para as três datas analisadas, os arquivos vetoriais disponíveis das manchas urbanas dos municípios da região de estudo, existentes nos Planos Municipais de Regularização Fundiária Sustentável, elaborados pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - SEDRU (SEDRU, 2010a). Para a tipologia Mancha Urbana de 2010, foram acrescentados arquivos vetoriais extraídos das bases de Loteamentos Vagos e Áreas Urbanas Antropizadas, integrantes do banco de dados georreferenciado do PDDI (2011) e das imagens espaciais de alta resolução da RMBH em 2010, existentes no programa Google Earth. Dessa forma, a tipologia Mancha Urbana ficou mais precisa, pois foi parcialmente incorporada a arquivos com uma maior resolução espacial, atendendo melhor à

¹¹ Para este tratamento, utilizou-se a ferramenta aritmética $C = \text{ganho} * A + \text{offset}$ do Spring, com média de 127 e desvio padrão de 40, sendo estes os melhores parâmetros para realçar imagens LandSat (Ramos, 2009)

¹² Segundo o INPE (2004), a medida da distância de Battacharya é usada neste classificador por regiões para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, avaliar a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. No processo de segmentação das imagens, o classificador do Spring segue padrões de similaridade e área pré-definidos, onde o limiar de rejeição estabelecido foi de 95%, a similaridade entre o comportamento espectral de cada pixel foi definida como 15, e a área mínima correspondendo a 20 pixels para a criação das regiões. Partindo da segmentação, o classificador Battacharya identifica as amostras referentes a cada classe, através de um processo de seleção de áreas com mesmo comportamento espectral.

proposta da tese e permitindo, de forma mais refinada, verificar o pressuposto de que o processo de espraiamento urbano ocorre em uma maior velocidade nos municípios do entorno do que na capital.

- Iluminação noturna

A variável “Iluminação Noturna” é utilizada como indicador dos vetores de expansão urbana, conforme a localização e intensidade da iluminação emitida nas áreas urbanizadas. A localização dos focos luminosos foi obtida em uma resolução espacial de 50 metros, a partir da interpolação de informações da localização de postes da Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig (PDDI, 2011). A fonte de intensidade de iluminação foi obtida em uma resolução inferior (900 metros), junto ao projeto Nighttime Lights Time Series, gerido pelo National Geophysical Data Center (NGDC, 2010) e passou por um aumento de resolução via interpolação, de tal forma que os dados finais fossem representados para o ano de 2010 em uma matriz com resolução espacial de 50 metros¹³.

- Malha viária atual

A variável “Malha Viária Atual” representa um dos principais indutores da ocupação humana, por indicar possibilidades de acesso novas áreas de ocupação. As bases de arruamento municipal, de principais vias de acesso aos municípios, e bases rodoviárias estaduais, federais e malha ferroviária, foram adquiridas junto ao Sistema Integrado de Regulação e Uso do Solo – SIRUS¹⁴ (SEDRU, 2010b).

- Malha viária proposta

Propostas de novos eixos estruturadores também foram utilizadas como indutores da ocupação humana. Tais propostas são representadas pela variável “Malha Viária Proposta”. A malha rodoviária e ferroviária proposta no PDDI (2011) complementa a atual malha viária metropolitana, ao apresentar uma estrutura policêntrica, organizada em torno de uma rede de mobilidade multimodal, planejada para melhorar a articulação e deslocamento entre as várias porções da

¹³ Mais informações sobre o projeto estão disponíveis em <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp>.

¹⁴ O projeto pode ser acessado em www.sirus.tectran.com.br.

RMBH. Na modelagem, a proposta do Anel Viário do Contorno Norte (Rodoanel) foi incorporada nas simulações como uma variável dinâmica que irá agir no modelo após o ano de 2014, enquanto as propostas de anéis viários Leste e Sul atuarão no modelo a partir de 2023 (PDDI, 2011).

- Macrozoneamento municipal

A variável representando as áreas do macrozoneamento municipal, extraídas dos Planos Diretores Municipais dos municípios da RMBH e do projeto SIRUS, permite a verificação dos padrões de ocupação possíveis para cada parcela de terra, (SEDRU, 2010a e 2010b). A variável foi utilizada na simulação segundo a influência estimuladora ou restritiva da expansão: estimuladora, agindo no tipo de adensamento urbano permitido nos Planos Diretores dos municípios da RMBH; restritiva, impedindo novas áreas urbanas nos locais de preservação ambiental dos municípios.

- Áreas de aquecimento econômico

Esta variável foi utilizada nas simulações como estimuladora da expansão urbana. Tais regiões relacionam-se à movimentação recente da economia na RMBH, aqui sintetizada por vetores de crescimento econômico e áreas de atuação mais intensa do mercado imobiliário (PDDI, 2011).

- Centralidades e eixos de estruturação metropolitana

Assim como a variável anterior, “Centralidades e Eixos de Estruturação Metropolitana” foi utilizada nas simulações como estimulador de expansão. A partir do estudo da dinâmica econômica atual da RMBH e visando fortalecer as identidades metropolitana e da vida urbana, foram propostas no PDDI (2011) regiões para a concentração de novas centralidades econômicas urbanas, complementares às atualmente existentes, que serão conectadas por eixos estruturadores.

- Unidades de conservação e áreas de preservação

Por fim, a variável “Unidades de Conservação e Áreas de Proteção” visa incluir, nas simulações, os impactos dos locais totalmente restritivos à expansão urbana.

As bases de Unidades de Conservação ambiental foram adquiridas junto ao Instituto Estadual de Florestas - IEF (SEMAD, 2010). De forma complementar, foram extraídas dos Planos Diretores Municipais dos municípios da RMBH as informações de delimitação de parques municipais, praças e demais áreas verdes protegidas por lei municipal.

2.3.2 - Criação de cenário de expansão horizontal da mancha urbana

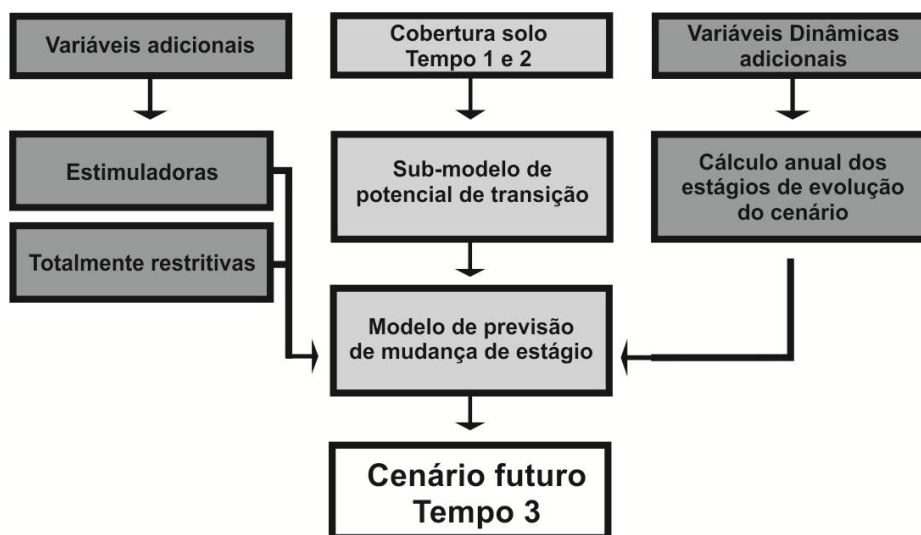
O *Land Change Modeler* (LCM), um aplicativo comercial que realiza simulações e trabalha dentro da arquitetura dos programas Idrisi e ArcMap, permite a análise de mudanças na cobertura do solo e a simulação de cenários futuros. A ferramenta “Projeção de Mudanças”, existente no LCM, é específica para a temática deste artigo, pois permite simular cenários futuros conforme o comportamento passado da cobertura do solo, associado à inserção de variáveis restritivas e variáveis estimuladoras da expansão de cada classe de cobertura do solo. Estas variáveis podem estar presentes em todas as datas da simulação, ou serem dinâmicas, aparecendo na modelagem a partir de um determinado ano. O LCM permite a criação de um cenário rígido (*Hard Prediction*) e também apresenta um módulo de criação de um cenário suavizado (*Soft Prediction*), no qual são apresentados de forma mais abrangente os locais com maior probabilidade de mudança, ou seja, alta vulnerabilidade à mudança de classe do solo (Eastman et al, 1995; Eastman, 2009; Umbelino e Barbieri, 2010).

Eastman (2009) mostra que os padrões de mudança podem ser modelados através de uma análise da cadeia de Markov ou pela elaboração de uma matriz de probabilidade de transição entre as classes (exemplo: probabilidade do cerrado virar área urbana ou vice-versa). O LCM permite a especificação do número de estágios de reavaliação durante os quais as variáveis dinâmicas são atualizadas. Em cada estágio, o sistema também verifica a presença do planejamento de intervenções, que são os parâmetros que podem alterar o curso do desenvolvimento do processo de previsão de mudança (exemplo: a implantação de uma rodovia no local analisado daqui a cinco anos). As intervenções também incluem variáveis restritivas (áreas de proteção ambiental

integral e corpos d'água) e estimuladoras (rodovias, loteamentos, zonas de aquecimento econômico, dentre outros). A lógica da mudança na previsão de cobertura do solo do LCM é elaborada a partir da aquisição de dois mapas de cobertura do solo em datas diferentes (tempo 1 e tempo 2) para prever o futuro (tempo 3).

A FIG. 10 mostra a estrutura de funcionamento do LCM após a incorporação dos pressupostos levantados para o modelo.

FIGURA 10 – Estrutura de funcionamento do LCM com a incorporação de variáveis dinâmicas adicionais para mudança na previsão de cobertura do solo



2.4 - Resultados

2.4.1 - Calibração do Modelo

A aplicação dos ACs permitiu criar um cenário de expansão horizontal da mancha urbana em 2010, tomando-se como base sua evolução entre 1991 e 2000. Os resultados simulados passaram por um processo de calibração, que consistiu no ajuste do cenário, para que o mesmo apresentasse uma resposta próxima à mancha urbana real verificada em 2010.

De acordo com este procedimento foi possível gerar probabilidades de mudança de classes através de um modelo de redes neurais artificiais, denominado Multi-Layer Perceptron (MLP), que foi parametrizado para reconhecer padrões de evolução entre 1991 e 2000 através da amostragem de áreas que sofreram transição e áreas passíveis de mudanças que não sofreram transição (Civco, 1993; Atkinson et al, 1997; Chan et al, 2001; Eastman, 2009). A partir do MLP é elaborado um Sub-Modelo de Potencial de Transição, em que quanto maior for o valor da célula, mais elevada será a probabilidade da mesma tornar-se urbana.

A FIG. 11 apresenta o mapa com o resultado do Sub-Modelo de Potencial de Transição. Verifica-se que a Taxa de Precisão calculada pelo LCM para esse modelo de transição foi de 100%, o que significa um altíssimo reconhecimento do padrão de evolução da mancha urbana.

FIGURA 11 – Sub-Modelo de Transição do uso do solo para a categoria mancha urbana entre 2000 e 2010 na RMBH

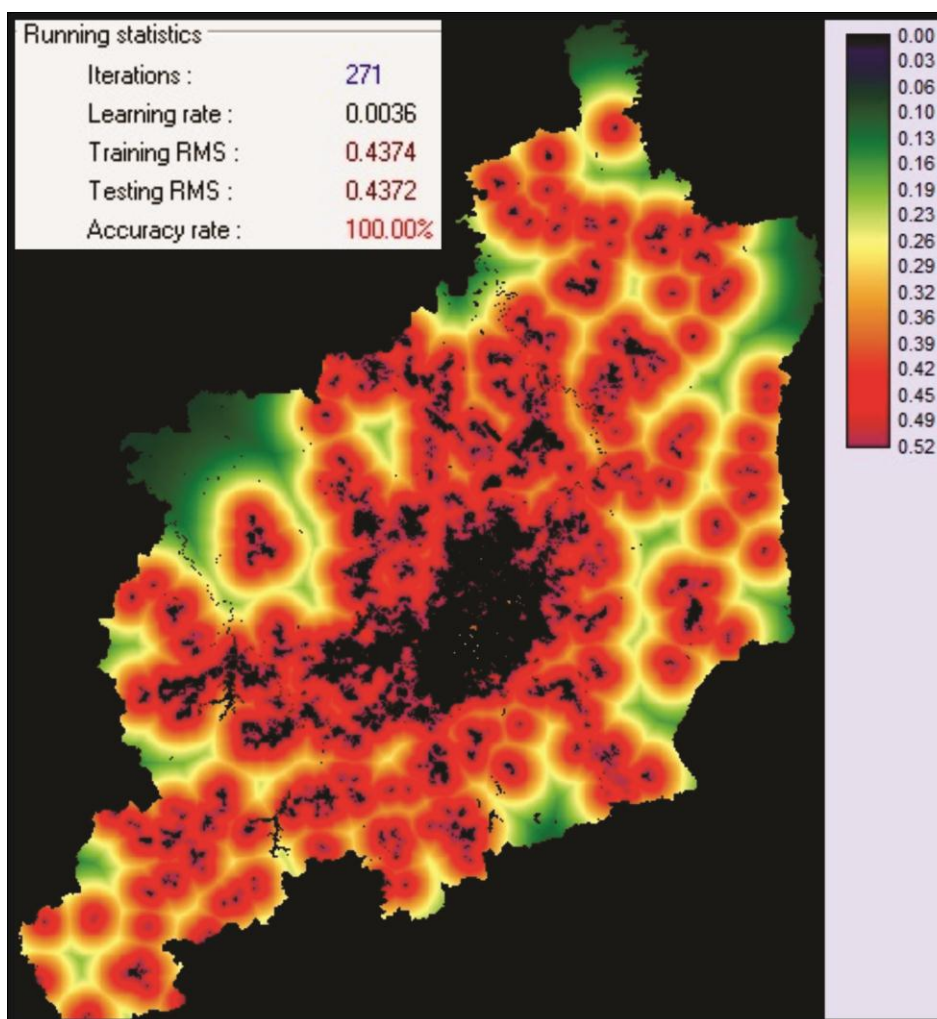
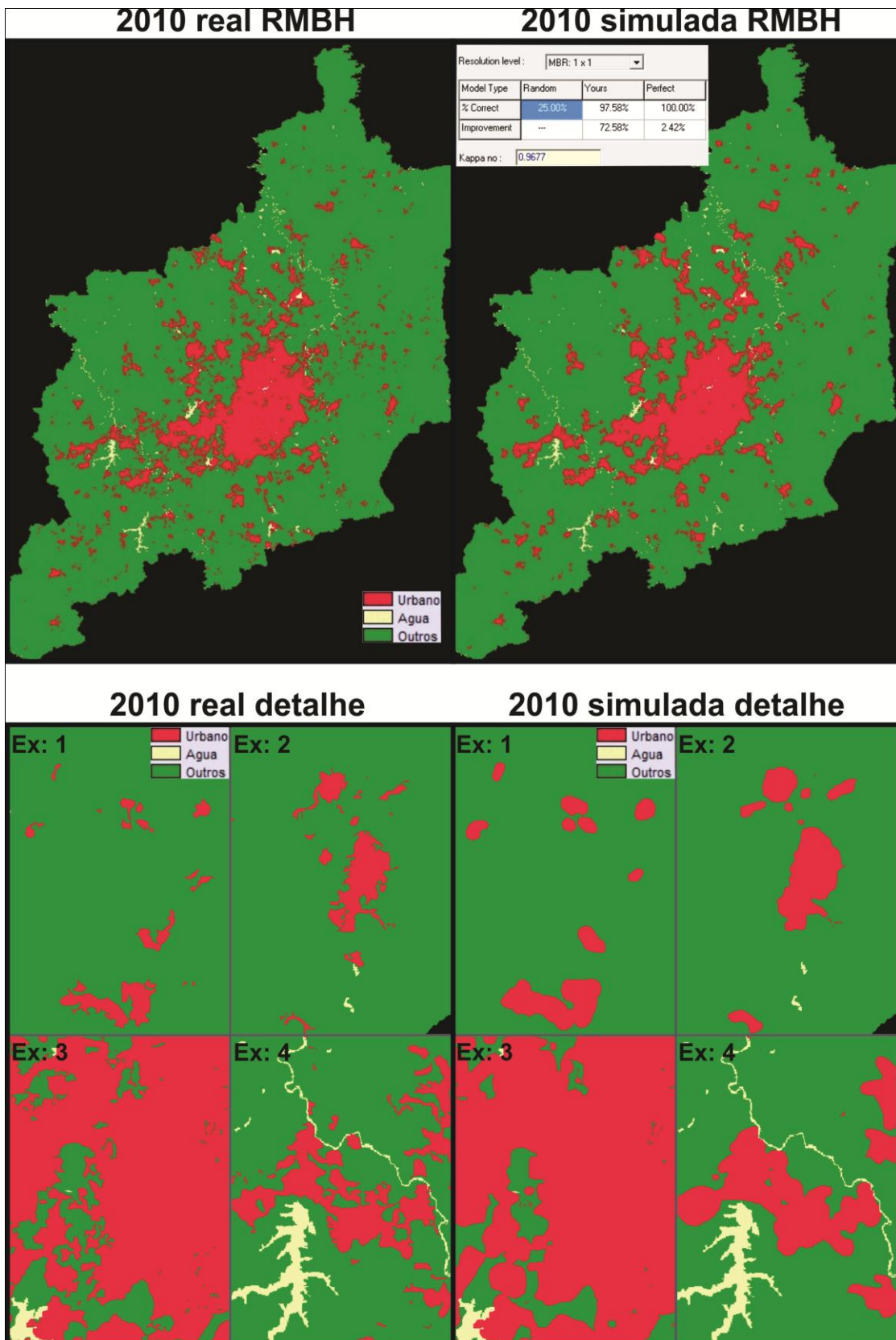


FIGURA 12 – Validação da mancha urbana real e da mancha urbana simulada em 2010 para a RMBH



O Sub-Modelo de Potencial de Transição apresentado na FIG. 11 foi aplicado à mancha urbana de 2000, que foi posteriormente simulada para 2010. A FIG.12 apresenta esses resultados e os compara à mancha urbana real de 2010. É possível visualizar toda a RMBH nas duas situações, bem como comparar em uma escala menor quatro áreas ocupadas, que permitem verificar em um maior nível de detalhamento a precisão na calibração do modelo. Para a validação das duas imagens, foi utilizado o módulo *Validate* existente no Idrisi, que utiliza o Índice de Kappa¹⁵ para comparar a similaridade entre dois mapas (Pontius, 2000 e 2002; Eastman, 2009). O resultado foi satisfatório, dado que existe uma similaridade de 96,77% entre as duas imagens comparadas. A partir desse resultado, foi verificado que o LCM estava apto a trabalhar na simulação da expansão urbana de 2010 para 2020 e 2030.

Eastman (2009) chama atenção para a importância existente na calibração do modelo nos períodos anteriores à simulação, embora o mais importante para a expansão futura seja a incorporação no modelo de variáveis restritivas e estimuladoras à mudança de classes na região analisada.

2.4.2 - Simulação

Os parâmetros de expansão para o período 2000-2010 foram utilizados para simular a mancha urbana para 2020 e 2030, incorporando no modelo bases georreferenciadas que proíbem a ocupação humana (corpos d'água e áreas de proteção ambiental integral) e bases estimuladoras da ocupação (sistema viário principal, áreas de adensamento do macrozoneamento municipal, regiões com o mercado imobiliário ativo, vetores de crescimento econômico, vazios urbanos). Conforme discutido anteriormente, a importância dessas informações para pensar a expansão urbana foi discutida e definida no PDDI (2011).

¹⁵ O Índice de Kappa baseia-se no algoritmo desenvolvido por Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), que realiza uma medida de estatística espacial que compara o grau de similaridade entre os pixels de cada classe de uma imagem real e uma imagem simulada. Neste índice, 0 significa que as duas imagens analisadas não possuem similaridade na sobreposição de nenhuma classe da imagem, enquanto 1 significa uma perfeita simetria entre os pixels de todas as classes nas duas imagens analisadas. Mais informações sobre o Índice de Kappa podem ser encontradas nos referidos autores, bem como em Carstensen (1987), Pontius (2000) e Eastman (2009).

A TAB. 1 detalha, para cada variável, o tipo de influência (restritiva ou estimuladora), bem como sua ação na expansão 2010-2020 ou 2010-2030. Para cada camada de informação utilizada no modelo, foi calculado o nível de influência de uma célula na transição para a categoria urbana (FIG. 13), sendo que quanto mais próximo de zero, maior é a probabilidade dessa camada de informação estimular a célula a se tornar urbana. Por outro lado, as variáveis de Corpos d'água, Unidades de conservação e áreas de preservação ambiental integral exerceram função totalmente restritiva quanto à transição para a mancha urbana, nos espaços ocupados por estas categorias.

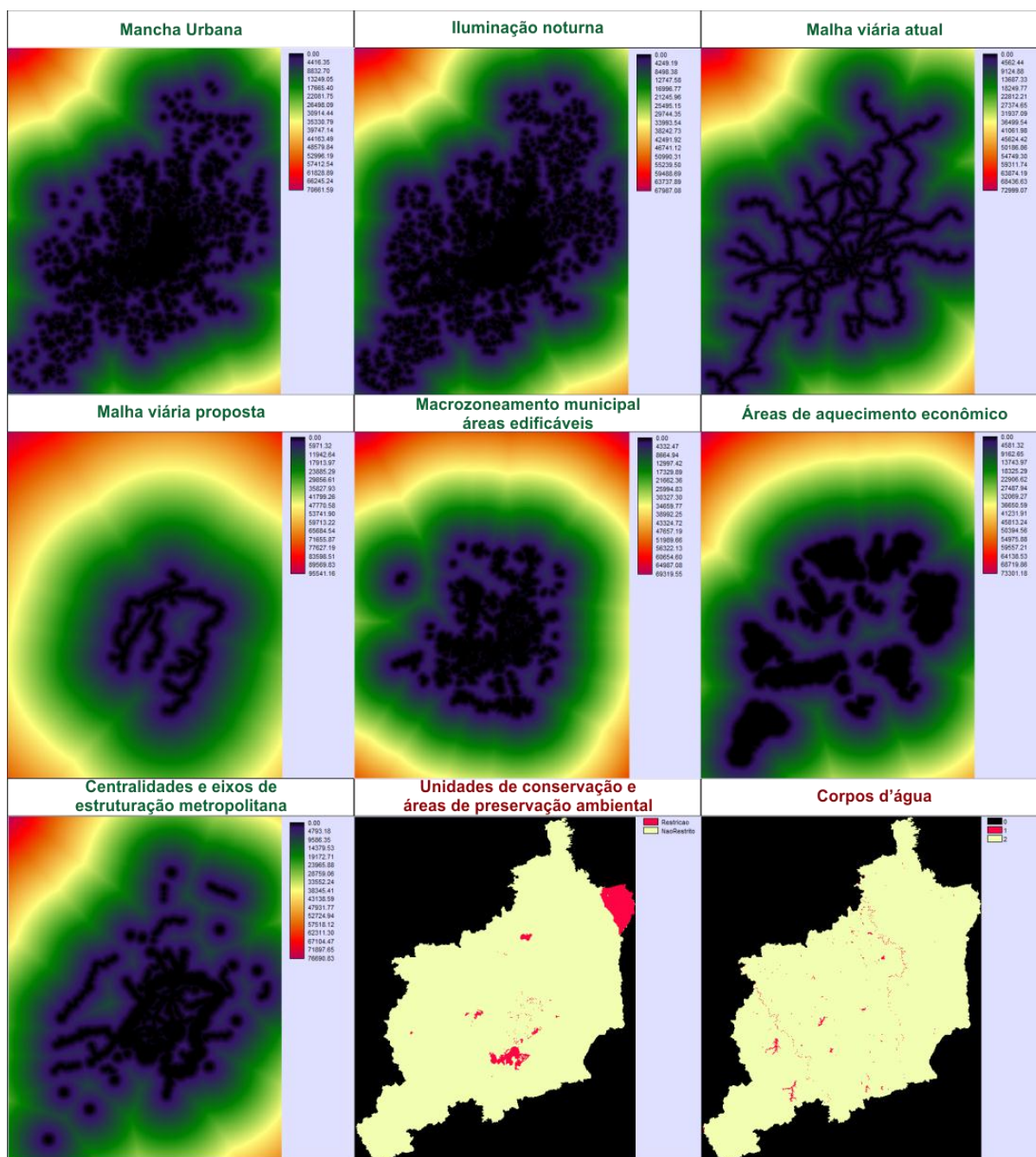
As informações da TAB. 1 permitiram a obtenção de um resultado consistente de expansão da mancha urbana (FIG. 13), dado que as principais variáveis apontadas como condicionantes da ocupação humana na RMBH estão incorporadas no modelo (PDDI, 2011).

TABELA 1 – Bases georreferenciadas utilizadas na simulação da expansão urbana da RMBH

Tipo da variável	Origem	Nome	Influência na modelagem expansão	Ação na modelagem
Principal	Ambiente construído	Mancha urbana	Estimuladora	Vetores de expansão urbana
		Iluminação noturna		Indutores da ocupação
Malha viária atual				
Malha viária proposta				
Macrozoneamento municipal - áreas edificáveis		Permissão do grau de adensamento na expansão urbana		
Áreas de aquecimento econômico		Forte atuação do mercado imobiliário		
Auxiliar	Ambiente Natural	Centralidades e eixos de estruturação metropolitana	Totalmente Restritiva	Áreas de ocupação induzida
		Corpos d'água		Impróprias à ocupação humana
		Unidades de conservação e áreas de preservação ambiental integral		

Fonte dos dados básicos: PDDI, 2010.

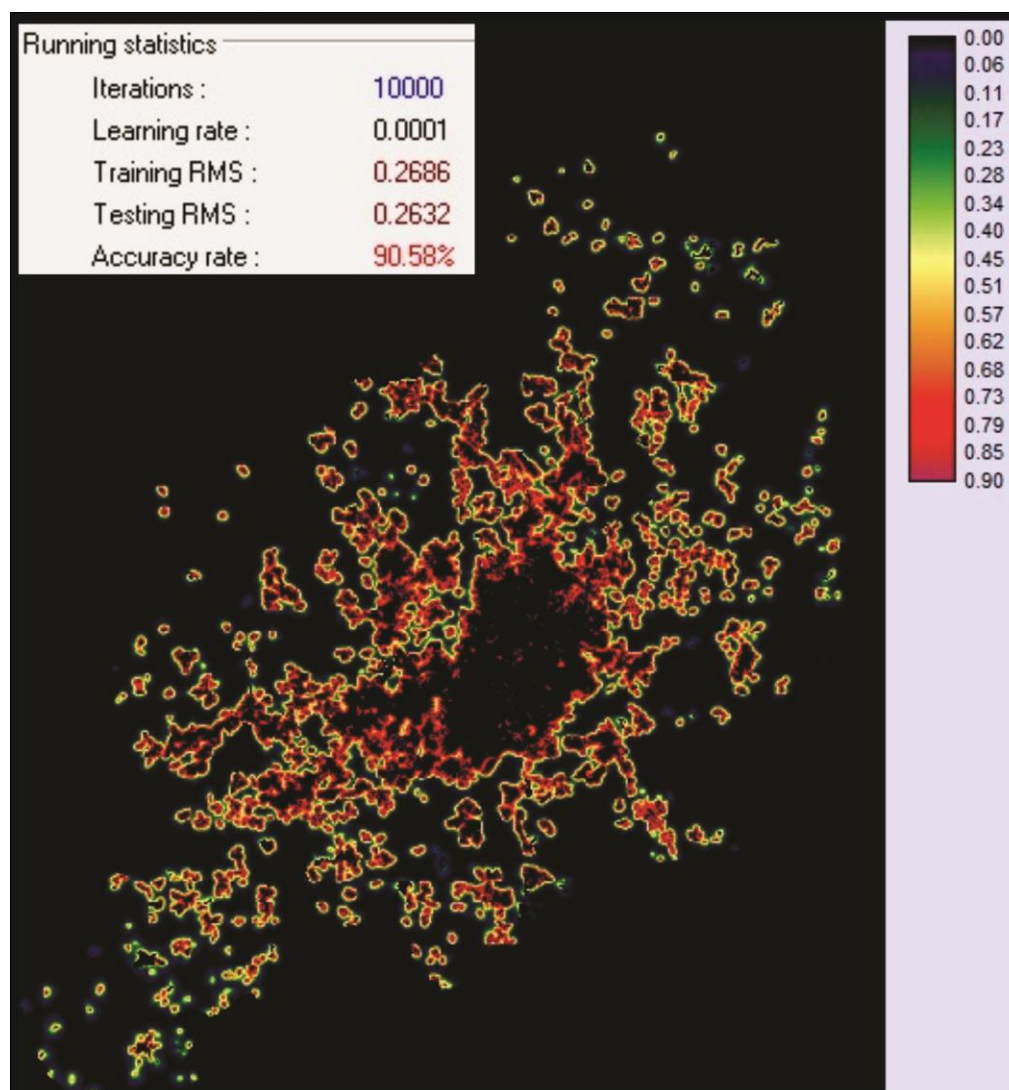
FIGURA 13 – Variáveis de potencial de transição na RMBH



A FIG. 14 apresenta o mapa com o Sub-Modelo de Potencial de Transição final, calculado a partir dos vetores de expansão urbana entre 2000 e 2010, com a incorporação das variáveis estimuladoras e restritivas apresentadas na FIG. 13. Nesta figura, quanto mais próximo de zero (cores escuras), maior é a probabilidade que a célula mude para outra classe de densidade. A Taxa de Precisão calculada pelo LCM foi de 90,58%, o que demonstra que o modelo de simulação reconheceu um elevado padrão de evolução da mancha urbana.

Visando um maior grau de precisão na simulação, foram incorporadas variáveis dinâmicas adicionais referentes a Mudanças na Infraestrutura Planejada. Essa é uma funcionalidade existente dentro do LCM que permite ao usuário inserir no modelo uma determinada obra de infraestrutura, bem como o ano que ela começará a influenciar o Sub-Modelo de Potencial de Transição (Eastman, 2009). No caso do PDDI (2011), que prevê a construção de novos eixos viários estruturantes para a RMBH, essa funcionalidade foi utilizada incorporando o Rodoanel no modelo a partir do ano 2014 e os demais traçados viários passaram a exercer influência a partir do ano 2021. Por fim, este Sub-Modelo de Potencial de Transição foi aplicado na mancha urbana de 2010, que foi então simulada para 2020 e 2030.

FIGURA 14 – Potencial de transição do uso do solo para a categoria mancha urbana entre em 2010 e 2030 na RMBH



2.4.3 - Análise

A seguir são exibidos os resultados obtidos a partir do mapeamento da RMBH nas duas últimas décadas, bem como a simulação espacial criada no LCM para os próximos 20 anos. A TAB. 2 mostra a área e a evolução da mancha urbana na escala municipal, mensurada em km² entre 2000 e 2010, assim como apresenta os dados simulados para 2010 na calibração do modelo de expansão urbana.

Em termos de área total do município, área com ocupação urbana e ritmo de espraiamento urbano, a RMBH é uma região completamente heterogênea, onde cada município é identificado com uma evolução urbana específica. Em 2010, dos 9.474,7 km² totais da RMBH, cerca de 13% encontra-se ocupado pela mancha urbana. Belo Horizonte é o município que mais se destaca nesse aspecto, com 84% de sua área total preenchida pela mancha urbana. Em seguida aparecem Contagem, Ribeirão das Neves e Vespasiano, com respectivamente, 59%, 40% e 40% de áreas urbanas. Como a RMBH possui alguns municípios com grandes extensões territoriais e pouca ocupação humana, o inverso também ocorre, por exemplo, em Itaguara, Nova União, Rio Manso, Baldim e Taquaraçu de Minas, que possuem menos de 2% de sua área total com ocupação urbana.

Entre 2000 e 2010, a RMBH apresentou uma expansão urbana de 38%, passando de 869,7 km² para 1.196,0 km². A expansão nesse período foi de 326,3 km², valor equivalente à área total do município Belo Horizonte. Nova Lima e São José da Lapa foram os municípios que exibiram maior aumento percentual de expansão da mancha urbana, chegando a 2,7 vezes sua área ocupada. Em ordem crescente, os municípios com maior espraiamento urbano no período (em termos absolutos) foram: Nova Lima, Betim, Esmeraldas, Sabará, Brumadinho e Belo Horizonte. Com exceção de Esmeraldas, a expansão urbana da RMBH se concentrou nas regiões adjacentes à capital, devido ao alto dinamismo do mercado imobiliário, aos planos governamentais de habitação aliados à ampliação do acesso ao crédito, ao aumento do poder aquisitivo da população, ao alto déficit habitacional e à elevada taxa de vacância de terrenos existente nesse período (FJP, 2010; PDDI, 2011). Em Esmeraldas, a expansão da mancha urbana justifica-se pelo reflexo da ocorrência de uma TCG populacional e domiciliar

elevadíssima nos últimos vinte anos, além da expansão urbana ocorrida ao longo da BR-040 que saturou o município Ribeirão das Neves e estendeu-se para esse município (IBGE, 2002 e 2011; PDDI, 2011).

Em contrapartida, os municípios Baldim, Raposos, Florestal, Confins e Mário Campos, todos de pequeno porte, apresentaram pequena expansão de sua mancha urbana entre 2000 e 2010, principalmente por não serem limítrofes à capital, e exibirem na última década uma TCG populacional diminuta, quando comparados aos demais municípios da RMBH.

A TAB. 2 também compara os resultados reais da mancha urbana de 2010 com os resultados simulados para a mesma data. Verifica-se que o Índice de Kappa de 96,77% mencionado anteriormente, obtido através da comparação dos dois resultados, é justificado pela pequena diferença adicional de 6,1 km² entre a mancha urbana simulada e a real para 2010, o que corresponde a um erro de 0,5% na área simulada. Tal fato torna evidente que, para a RMBH como um todo, a simulação apresenta um alto grau de calibração, embora na escala municipal existam grandes diferenças devido à sub ou superestimação da expansão da mancha urbana. Como a simulação foi realizada a partir de dados de 1991 e 2000, essas inconsistências ocorridas na escala municipal são justificadas por duas razões, que não ocorrem na simulação feita com os dados de 2010: baixa qualidade das informações intraurbanas existentes em 1991, quando comparadas com as mais recentes; e ausência de variáveis restritivas e estimuladoras à expansão, dado que estas informações não foram geradas para o período 1991-2000.

TABELA 2 – Área em km², área expandida e TCG da mancha urbana dos municípios da RMBH no período 2000-2010

Local	Área total em km ²	Mancha urbana em km ²			Área expandida	TCG
		2000	2010	2010 simul.	2000-2010	2000-2010
RMBH	9.474,7	869,7	1.196,0	1.202,1	326,2	3,2
Baldim	556,4	4,6	5,3	9,7	0,7	1,3
Belo Horizonte	332,3	265,2	279,5	274,6	14,3	0,5
Betim	346,3	80,4	116,2	108,1	35,8	3,8
Brumadinho	640,1	26,9	47,2	46,7	20,3	5,8
Caeté	542,2	11,1	19,1	18,7	8,0	5,6
Capim Branco	94,7	8,6	10,5	16,8	1,9	2,0
Confins	41,7	5,3	6,7	10,0	1,4	2,3
Contagem	194,4	100,4	115,5	119,1	15,1	1,4
Esmeraldas	910,0	18,6	49,8	33,4	31,3	10,4
Florestal	195,9	2,7	3,7	5,2	1,0	3,2
Ibirité	73,2	23,7	27,0	35,0	3,4	1,3
Igarapé	110,1	9,9	21,6	16,2	11,7	8,1
Itaguara	410,6	3,0	5,2	5,6	2,2	5,6
Itatiaiuçu	295,6	11,3	21,5	22,1	10,2	6,6
Jaboticatubas	1.116,8	35,7	38,6	66,7	2,9	0,8
Juatuba	97,1	20,5	26,0	32,3	5,5	2,4
Lagoa Santa	229,5	29,3	36,0	47,0	6,7	2,1
Mário Campos	35,1	4,2	5,7	7,2	1,5	3,0
Mateus Leme	303,1	20,2	27,7	30,4	7,4	3,2
Matozinhos	253,1	12,8	15,7	19,7	2,9	2,0
Nova Lima	428,5	15,4	57,7	25,1	42,4	14,2
Nova União	171,8	0,9	3,1	2,3	2,2	13,4
Pedro Leopoldo	292,6	16,9	23,1	31,5	6,2	3,2
Raposos	71,6	1,4	2,1	3,1	0,8	4,6
Ribeirão das Neves	154,7	47,4	61,9	65,8	14,5	2,7
Rio Acima	227,8	3,5	5,5	7,9	2,0	4,6
Rio Manso	231,5	1,9	5,2	4,0	3,3	10,6
Sabará	302,5	13,0	36,3	22,3	23,3	10,8
Santa Luzia	234,5	36,1	45,5	55,5	9,5	2,4
São Joaquim de Bicas	72,0	8,5	17,5	11,9	9,1	7,5
São José da Lapa	48,9	3,8	14,0	5,4	10,2	14,0
Sarzedo	62,3	7,9	10,2	13,2	2,3	2,6
Taquaraçu de Minas	329,0	2,4	7,1	5,8	4,6	11,2
Vespasiano	71,0	16,4	28,4	23,7	12,0	5,7

Fonte dos dados básicos: PDDI, 2010.

A TAB. 3, por sua vez, mostra a área e a evolução da mancha urbana a partir da simulação de expansão urbana nos períodos 2010-2020 e 2020-2030. Os dados simulados indicam que na próxima década a RMBH passará por uma nova

mudança no seu processo de crescimento domiciliar. Até 2030 o espraiamento urbano será mais intenso nos municípios de pequeno porte, enquanto o adensamento urbano será mais frequente nos centros urbanos maiores, devido principalmente à proximidade de saturação das áreas vagas urbanas e ao crescente processo de adensamento domiciliar. Essa nova dinâmica explica a gradual diminuição da TCG da mancha urbana da RMBH ao longo das décadas, embora o aumento do número de domicílios seja constante no mesmo período pois o processo de adensamento urbano ganha força em um ritmo mais acelerado do que o de diminuição do espraiamento urbano¹⁶.

Em 2020, da área total de 9.474,7 km², cerca de 16% da RMBH será ocupado pela mancha urbana e em 2030 esse valor aumentará para 19%. Belo Horizonte continuará sendo o município que mais se destaca, alcançando na próxima década seu limite de saturação da expansão urbana, dado que em 2020 aproximadamente 85% de sua área total será preenchida pela mancha urbana. Esse valor de expansão urbana só não é mais elevado porque 14% da área total do município possui algum tipo de preservação ambiental parcial ou total. Em seguida aparecem Contagem, Vespasiano e Ribeirão das Neves, com respectivamente, 74%, 63% e 59% de áreas urbanas. Alguns municípios da RMBH que possuem grandes extensões e pouca influência da capital continuarão com baixíssimo percentual de sua ocupação urbana em relação à área total. Baldim e Itaguara estão enquadrados nessa categoria, com 2% ocupados pela mancha urbana, enquanto Rio Manso e Taquaraçu de Minas terão 4% de sua área total ocupada pela mancha urbana.

Entre 2010 e 2020, a RMBH apresentará uma expansão de 26% de sua mancha urbana, passando de 1.196 km² para 1.507 km². A área expandida nesse período foi de 311 km². Já no período entre 2020 e 2030, a expansão da mancha urbana diminuirá para 20%, atingindo a área total de 1.811 km² no final do período, que terá se expandido em 304 km². Os municípios que tendem a apresentar maior aumento percentual da mancha urbana são os de pequeno porte e menor vínculo com a capital, listados em ordem: Rio Acima, Nova União, Florestal, Taquaraçu de Minas e Raposos.

¹⁶ Um maior detalhamento dessa questão poderá ser encontrado no Artigo 2 da tese.

TABELA 3 – Área em km², área expandida e TCG da mancha urbana dos municípios da RMBH no período 2010-2030

Local	Área total em km ²	Área em km ²			Área expandida		TCG	
		2010	2020 simul.	2030 simul.	2010-2020	2020-2030	2010-2020	2020-2030
RMBH	9.474,7	1.196,0	1.507,0	1.810,9	311,1	303,9	2,3	1,9
Baldim	94,7	5,3	7,9	11,4	2,6	3,5	4,1	3,8
Belo Horizonte	71,0	279,5	281,8	282,7	2,3	0,9	0,1	0,0
Betim	48,9	116,2	146,8	169,8	30,6	23,0	2,4	1,5
Brumadinho	910,0	47,2	59,1	84,1	12,0	25,0	2,3	3,6
Caeté	97,1	19,1	26,4	34,1	7,2	7,7	3,3	2,6
Capim Branco	227,8	10,5	13,8	16,7	3,4	2,8	2,8	1,9
Confins	195,9	6,7	12,2	16,8	5,5	4,7	6,1	3,3
Contagem	329,0	115,5	131,1	143,1	15,6	12,0	1,3	0,9
Esmeraldas	110,1	49,8	74,5	99,4	24,7	24,9	4,1	2,9
Florestal	346,3	3,7	6,5	9,9	2,8	3,4	5,8	4,3
Ibirité	62,3	27,0	36,3	40,8	9,3	4,5	3,0	1,2
Igarapé	229,5	21,6	28,8	37,1	7,2	8,3	2,9	2,6
Itaguara	41,7	5,2	6,6	9,5	1,4	2,9	2,3	3,8
Itatiaiuçu	73,2	21,5	26,2	35,4	4,7	9,2	2,0	3,1
Jaboticatubas	303,1	38,6	51,1	65,6	12,5	14,6	2,8	2,5
Juatuba	231,5	26,0	35,7	42,4	9,7	6,7	3,2	1,7
Lagoa Santa	292,6	36,0	50,0	63,2	14,0	13,1	3,3	2,4
Mário Campos	295,6	5,7	9,6	12,5	3,9	3,0	5,4	2,7
Mateus Leme	35,1	27,7	40,2	51,8	12,5	11,6	3,8	2,6
Matozinhos	171,8	15,7	23,0	29,3	7,4	6,2	3,9	2,4
Nova Lima	154,7	57,7	71,6	88,4	13,9	16,8	2,2	2,1
Nova União	332,3	3,1	5,8	9,0	2,7	3,2	6,6	4,5
Pedro Leopoldo	253,1	23,1	41,6	53,1	18,6	11,5	6,1	2,5
Raposos	542,2	2,1	4,5	6,5	2,3	2,0	7,7	3,8
Ribeirão das Neves	72,0	61,9	78,3	90,8	16,4	12,5	2,4	1,5
Rio Acima	556,4	5,5	8,4	14,1	2,8	5,8	4,2	5,4
Rio Manso	194,4	5,2	6,2	8,9	1,0	2,7	1,7	3,7
Sabará	410,6	36,3	56,0	74,3	19,7	18,3	4,4	2,9
Santa Luzia	428,5	45,5	64,3	82,0	18,8	17,6	3,5	2,5
São Joaquim de Bicas	1.116,8	17,5	22,9	29,7	5,4	6,8	2,7	2,6
São José da Lapa	71,6	14,0	18,2	22,8	4,2	4,7	2,7	2,3
Sarzedo	234,5	10,2	14,2	16,5	3,9	2,4	3,3	1,6
Taquaraçu de Minas	640,1	7,1	9,9	14,7	2,8	4,8	3,4	4,0
Vespasiano	302,5	28,4	37,6	44,5	9,2	6,8	2,9	1,7

Fonte dos dados básicos: PDDI, 2010.

A FIG. 15 mostra a evolução da mancha urbana mapeada na RMBH em 1991, 2000 e 2010, onde é possível verificar os principais vetores de crescimento, os locais que passaram para a categoria mancha urbana em cada período, bem como as áreas não urbanizadas remanescentes. Como a RMBH possui uma extensão territorial de 9.475km² e os resultados foram elaborados em uma matriz com resolução espacial de 50 metros, a FIG. 16 apresenta uma ampliação dos

resultados a partir do detalhamento da porção mais urbanizada de Belo Horizonte e municípios limítrofes, dado que esses são os locais mais populosos e com maior pressão da expansão urbana.

FIGURA 15 – Mancha urbana da RMBH mapeada em 1991, 2000 e 2010

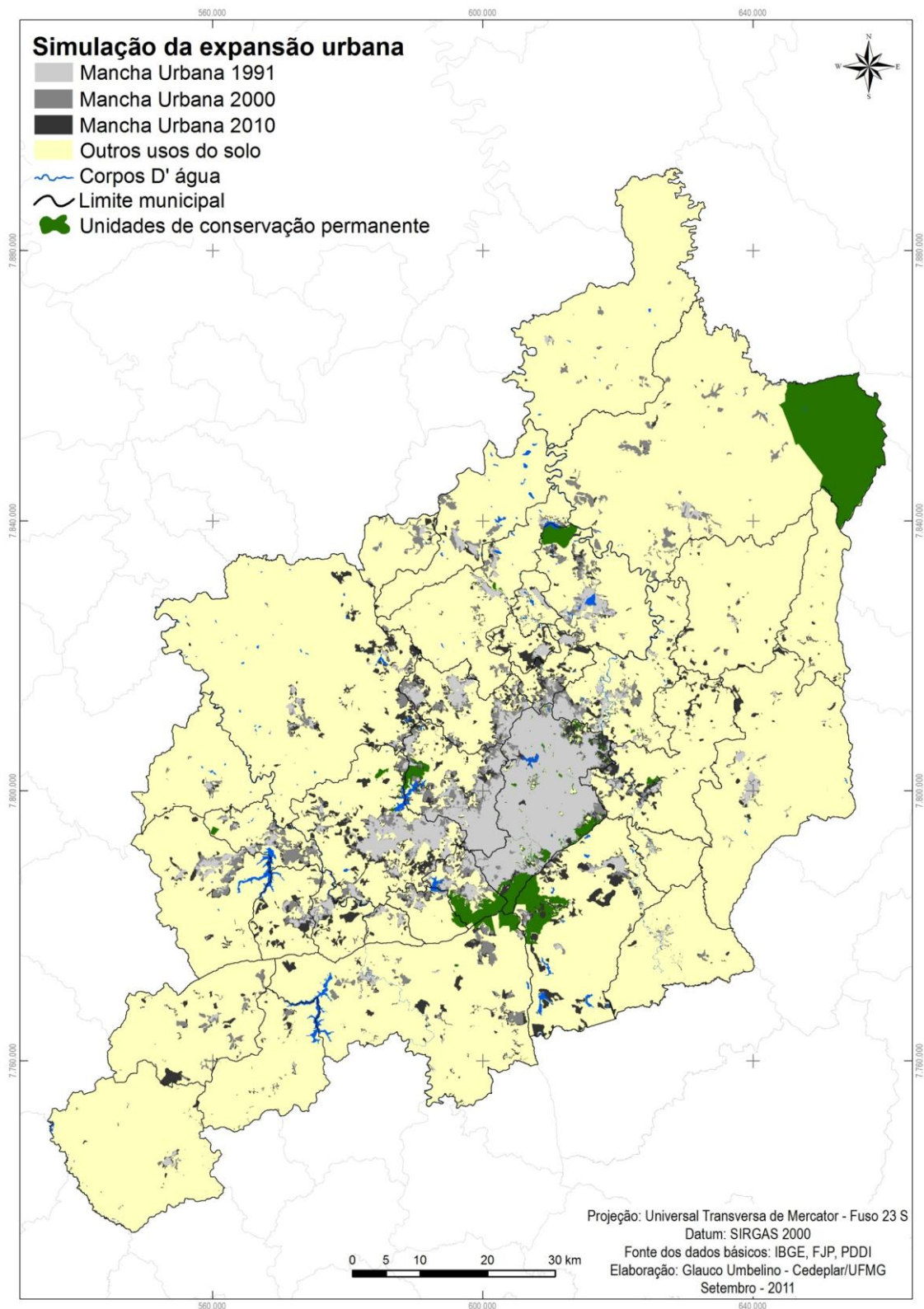
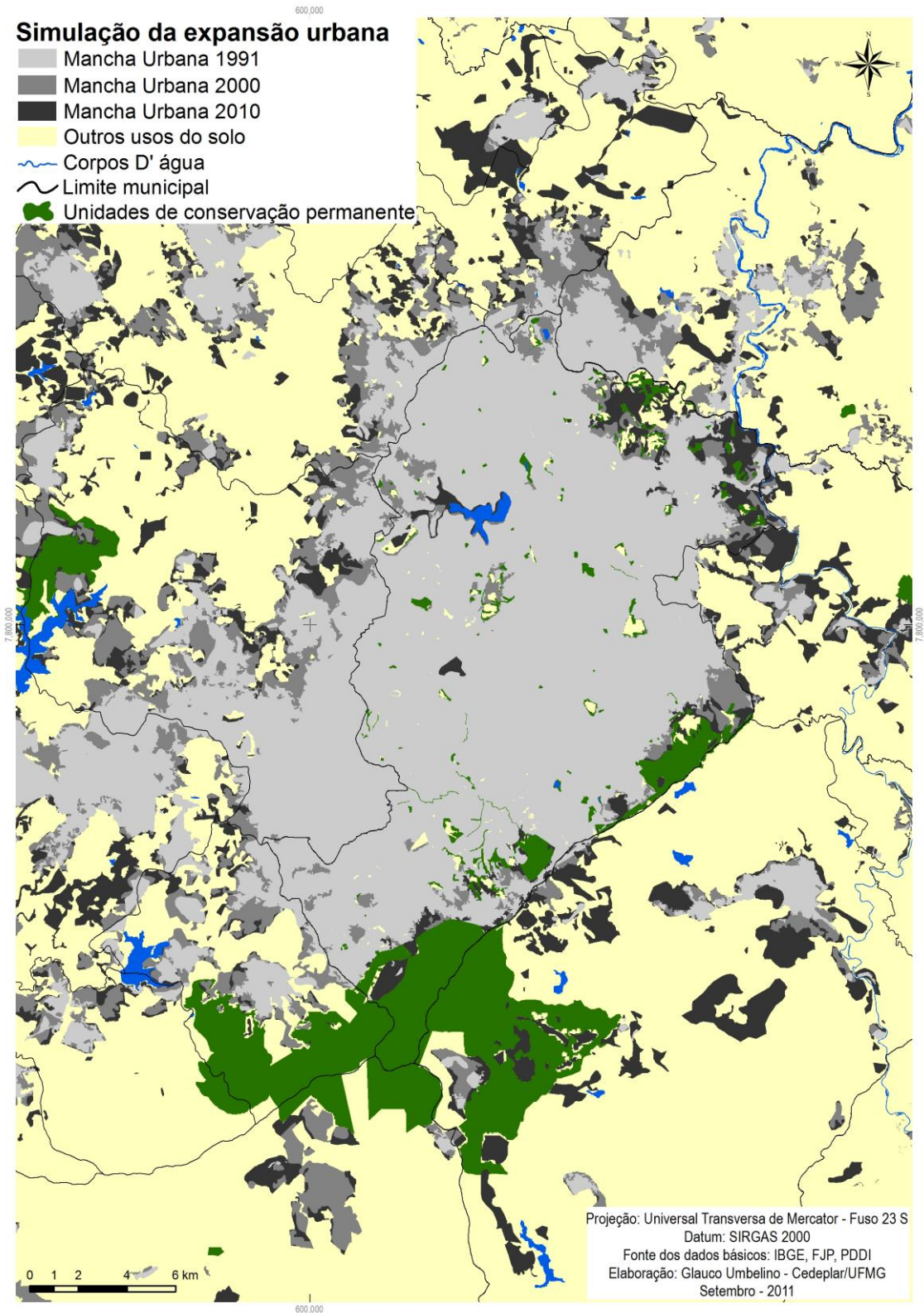


FIGURA 16 – Mancha urbana de Belo Horizonte e entorno mapeada em 1991, 2000 e 2010



Por sua vez, a FIG. 17 mostra os resultados da simulação da configuração urbana da RMBH em 2020 e 2030, enquanto a FIG. 18 apresenta a ampliação da simulação em Belo Horizonte e municípios limítrofes. O módulo de simulação do LCM possui uma funcionalidade muito útil para o resultado final da expansão urbana, pois além do cenário final simulado para 2020 e 2030, é criada uma mancha suavizada da expansão (*Soft Prediction*), que mostra de forma mais abrangente o processo de mudança da ocupação do solo para a categoria mancha urbana. Esse resultado complementar da simulação serve para apontar que o cenário final da simulação não é rígido e pode ser passível de mudanças. Caso um ou mais pressupostos do modelo sejam alterados, os locais de alta probabilidade (mais próximos do vermelho) terão uma maior chance de tornarem-se mancha urbana do que os locais de baixa probabilidade (mais próximos do azul), enquanto os locais em branco no mapa não foram apontados pelo modelo como potenciais de expansão da mancha urbana em nenhuma das situações, no horizonte projetado.

Em síntese, a observação das FIGs. 15 a 18 permite inferir a existência de uma tendência de expansão da mancha urbana em todos os municípios da RMBH, embora cada um apresente uma intensidade diferente de expansão. Percebe-se que os grandes empreendimentos do espaço metropolitano nos vetores norte (Linha Verde, o Aeroporto Industrial de Confins, a cidade Administrativa do Governo do Estado e o Anel Viário Norte), sul (condomínios fechados) e oeste (região industrial e de novas habitações populares e novos condomínios) exerceram maior influência como condicionantes do processo de expansão e adensamento urbano. De forma secundária, foi observado que as variáveis utilizadas na simulação referentes aos locais de forte atuação do mercado imobiliário e das principais rodovias¹⁷ ao longo das áreas conurbadas ajudaram a conformar esses cenários de expansão.

Por outro lado, as regiões que apresentam baixa probabilidade de expansão da mancha urbana, ou ausência de indicativos de expansão, situam-se nos espaços metropolitanos mais longínquos à capital, que possuem uma rede urbana pouco

¹⁷ MG-10, MG-424, BR-381 (sentido leste) e BR-040 (sentido noroeste).

consolidada. Este é o caso dos municípios Taquaraçu de Minas, Baldim, Nova União, Itaguara e Itatiaiuçu.

FIGURA 17 – Mancha urbana da RMBH simulada em 2020 e 2030 e probabilidade de expansão

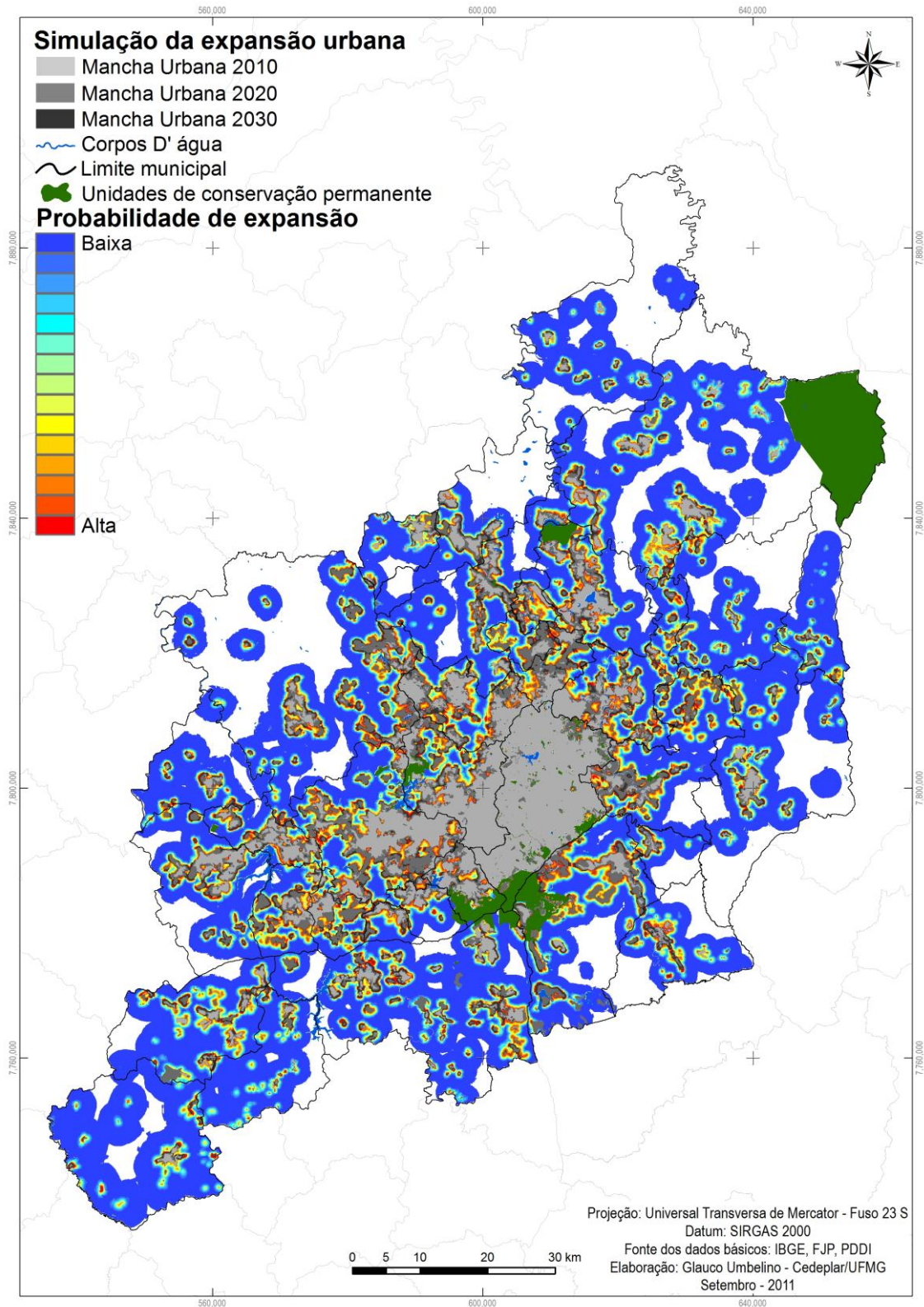
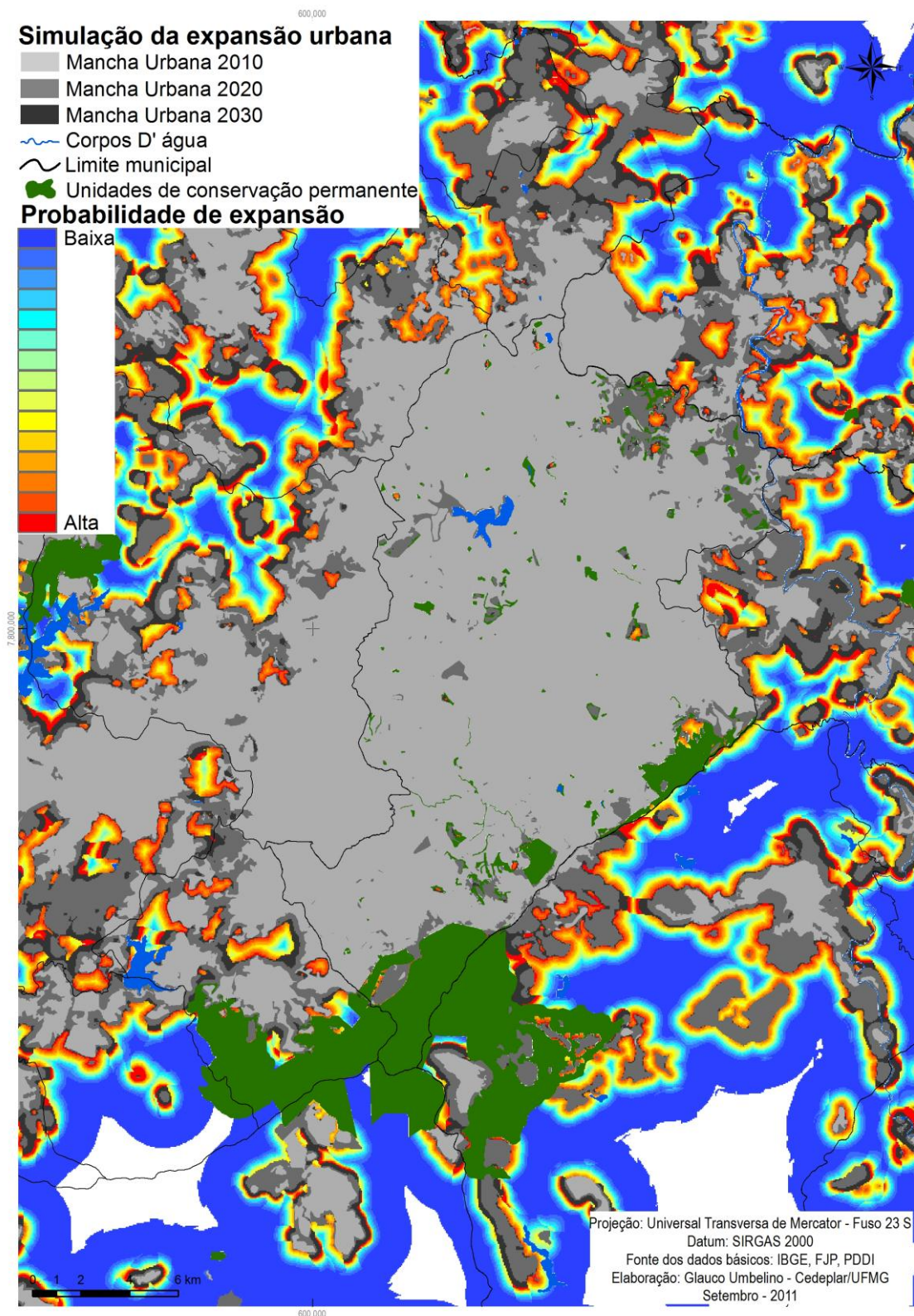


FIGURA 18 – Mancha urbana de Belo Horizonte e entorno simulada em 2020 e 2030 e probabilidade de expansão



2.5 - Conclusão

Este trabalho apresentou ferramentas computacionais que utilizam geotecnologias úteis para o monitoramento e investigação de cenários da ocupação urbana, assim como das tendências que levam a estes cenários. Para pesquisas específicas na escala intrametropolitana, o uso de Sistemas Complexos representados a partir de autômatos celulares permitiu um alto nível de detalhamento para simulações da evolução da mancha urbana. Pretende-se demonstrar, dessa forma, a utilidade dessa proposta metodológica como instrumento de geração de informações passíveis de incorporação em estratégias de planejamento metropolitano de curto, médio e longo prazos.

Apesar da crescente demanda pela utilização dos SIGs e simulações espaciais em pequenas áreas, o seu pleno domínio e utilização em planejamento intraurbano é um dos desafios mais expressivos da atualidade na demografia aplicada (Torres, 2006). Nesse sentido, este artigo propõe avanços metodológicos relativos à demanda pela criação de instrumentos eficientes de planejamento na escala intrametropolitana, que possam minimizar os desequilíbrios causados pela expansão urbana desordenada do passado, e que possibilitem estudos preditivos e integrados de fatores ambientais, socioeconômicos e demográficos na representação da dinâmica espacial.

Por ser uma ferramenta de alto desempenho e com aplicação direta na simulação de mudanças na ocupação urbana, acredita-se que a modelagem dinâmica via ACs possa ter maior difusão e aplicabilidade nas diversas subáreas da demografia. Como demonstrado, é possível que um demógrafo com noções intermediárias de geoprocessamento crie simulações dentro da sua região de estudo, através da modelação de fenômenos de natureza variada, que ajudem na tomada de decisões.

A utilização de ACs mostrou-se eficaz para a RMBH na simulação para 2010 e apontou de maneira acurada elementos para se pensar as próximas duas décadas, conforme o cenário tendencial simulado. O uso de informações georreferenciadas e pressupostos derivados do PDDI (2011) foi fundamental para tornar o modelo mais robusto, de tal forma que as simulações possam ser mais

úteis como instrumentos de planejamento intrametropolitano. Como a precisão e a quantidade de informações georreferenciadas no Brasil têm crescido em um ritmo acelerado desde a década de 1990, acredita-se que nos próximos anos modelos de simulação (particularmente com aplicações na demografia) contarão com séries históricas mais concisas, o que contribuirá para simulações mais sofisticadas, de maiores unidades territoriais e de alcance temporal mais longo do que os resultados gerados neste trabalho.

Analisando a RMBH como um todo, os cenários apresentados neste artigo apontam, com o passar das décadas, a diminuição gradual da TCG da mancha urbana, principalmente nos locais mais populosos e com baixa vacância de terrenos. Isso ocorre devido ao gradual aumento do processo de adensamento urbano, caracterizado principalmente pela crescente expansão vertical das áreas urbanas¹⁸. Comparando de forma sintética a mancha urbana atual com a simulada para 2030, fica evidente a priorização do processo de expansão urbana nos municípios limítrofes à capital, enquanto esta passará por uma intensificação do processo de adensamento urbano. Dessa forma, os resultados apontam a necessidade de estratégias de intervenção distintas para cada espaço da capital, sendo que os dados da simulação apontam dentro de cada município, em espaços de 50 x 50m, “onde” cada tipo de intervenção é mais adequado.

Deve-se mencionar uma importante limitação da metodologia: a dificuldade de replicação do modelo em grandes áreas, em função da dificuldade de obtenção de bases com alta resolução espacial, bem elaboradas e compatíveis entre os municípios analisados. A qualidade dessas informações é o quesito principal para a garantia e refinamento dos pressupostos elaborados, assim como a confiabilidade do resultado final da simulação.

Por fim, as simulações da evolução da mancha urbana apontam múltiplos benefícios passíveis de aplicação no planejamento da RMBH, uma vez que o método pode ser adaptado às seguintes demandas:

¹⁸ Essa questão será explorada em maior detalhamento no Artigo 2 dessa tese.

- Análise da distribuição e adensamento da área ocupada constituída somente por domicílios e pelos demais equipamentos urbanos, como indústrias, comércio e serviços;
- Análise da distribuição e adensamento populacional nos espaços internos à mancha urbana simulada em cada um dos municípios analisados;
- Simulação dos efeitos decorrentes da implantação de novos empreendimentos e equipamentos urbanos na dinâmica de configuração da mancha urbana;
- Simulação do impacto na ocupação dos municípios limítrofes, em decorrência da distribuição populacional e domiciliar de um determinado município;
- Análise dos impactos da expansão da mancha urbana na qualidade ambiental metropolitana, possibilitando a abertura de novas frentes de análise do ambiente urbano, como por exemplo, o acompanhamento da diminuição da área verde, ou a avaliação das implicações positivas e negativas do crescimento e adensamento da mancha urbana no planejamento da RMBH. Pode-se supor, a partir de alguns exemplos da literatura, que os grandes centros urbanos adensados sejam potencialmente mais sustentáveis a médio e longo prazos, por gerarem economias de escala que possibilitem a oferta mais eficiente de serviços e infraestrutura, desde que políticas de manutenção da infraestrutura urbana voltadas para o adensamento sejam adotadas (Martine, 2007; PRB, 2010).

Referências bibliográficas

ATKINSON, P. et al. Neural networks in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**. v.18, n.4, p.699-709. 1997.

BATTY, M. **Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals**. Cambridge: MIT Press, 2005. 589p.

BATTY, M. et al. Modeling Urban Dynamics through GIS-Based Cellular Automata. **Computers, Environments and Urban Systems**. v.23, n.3, p.205-233. 1999.

BRITO, F., SOUZA, J. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em Perspectiva**. v.19, n.4, p.43-63. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392005000400003>. Acesso em: 14 nov. 2010.

CALDAS, M. et al. **Estudos Urbanos - Belo Horizonte 2008**: transformações recentes na estrutura urbana. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2008. 513p.

CÂMARA, G., FREITAS, U. **Perspectivas em Sistemas de Informação Geográfica**. São José dos Campos: INPE, 1997. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/fatorgis95.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2008.

CARSTENSEN, L. A Measure of Similarity for Cellular Maps. **The American Cartographer**. v.14, n.4, p.345-358. 1987.

CHAN, J. et al. Detecting the nature of change in an urban environment: A comparison of machine learning algorithms. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.67, n.2, p.213-225. 2001.

CIVCO, D. Artificial neural networks for land cover classification and mapping. **International Journal of Geographic Information Systems**. v.7, n.2, p.173-186. 1993.

CLARKE, K. et al. A cellular automaton model of wildfire propagation and extinction. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.60, n.11, p.1355-1367. 1994.

COSTA, H. et al. **Novas periferias metropolitanas**. A expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no eixo sul. Belo Horizonte: C/Arte, 2006. 464p.

COSTA, H., MONTE-MÓR, R. Urbanization and environment: trends and patterns in contemporary Brazil. In: HOGAN, D. et al (Orgs.). **Population and environment in Brazil: Rio + 10**. Campinas, S.P.: CNPD, ABEP, NEPO, 2002. p.127-146.

DAVIS, C., FONSECA, F. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográficos**. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia/UFMG, 2001. 261p.

DE BY, R. et. Al. **Principles of Geographic Information Systems – An Introductory Textbook**. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001. 490p.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Estatística mensal da frota veicular municipal**. Brasília: Ministério das Cidades/DENATRAN, 2012. Disponível em <www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em 10 jan. 2012.

EASTMAN, J. et al. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.61, n.5, p.539-547. 1995.

EASTMAN, J. **Idrisi Taiga Tutorial**. Massachusetts: Clark Labs, 2009. 342p. Disponível em <www.clarklabs.org>. Acesso em 03 fev. 2010.

FJP - Fundação João Pinheiro. **O mercado da Terra na RMBH: estudo de caso no entorno do aeroporto de Confins**. Relatório de pesquisa (circulação restrita). Belo Horizonte: FJP, 2010.

HOGAN, D. Mudança Ambiental e o Novo Regime Demográfico. In: CAVALCANTI, C. (Org.). **Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas**. São Paulo: Cortez, 1999. p.369-381.

IBGE. **Censo demográfico 2000**: agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **Censo demográfico 2010**: agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios>. Acesso em 30 out. 2011.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING**: manual do usuário. São José dos Campos: INPE. 2004.

LEÃO, S. **Spatial-temporal model for demand and allocation of landfills in growing urban regions**. Department of Geomatics Engineering. 2002. 194f. Tese (Doutorado em Engenharia Geomática) – The University of Melbourne, Melbourne, Australia, 2002.

LEIVA, G. **Composição, formação e localização de domicílios: um estudo dos domicílios com jovem adulto**. 2012. 203f. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

LEMOS, M. et al (Orgs.). **Belo Horizonte no Século XXI**. Belo Horizonte: Cedeplar, 2004. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/projetos-concluidos/projeto-bh-seculo-xxi.php>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

LINHARES, L. et al. Urbanização Extensiva e Desconcentração Econômica: a extensão das condições gerais de produção ao entorno metropolitano de Belo Horizonte. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 11, 2004, Diamantina. **Anais eletrônicos**. Diamantina: Cedeplar, 2004. Disponível em: <www.cedeplar.ufmg.br/diamantina2004/textos/D04A056.PDF>. Acesso em: 28 out. 2006.

LIU, Y. **Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata**. New York: CRC Press, 2008. 188p.

LONGLEY, P. et al (Orgs.) **Geographic Information Systems and Science**. New York: John Wiley and Sons, 2005. 512p.

MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.24, n.2, p.181-190. 2007.

MATOS, R. et al. Pobreza urbana e a dimensão socioespacial nos processos de redistribuição da população em periferias de Belo Horizonte. In: MATOS, R. (Org.). **Espacialidades em rede: população, urbanização e migração no Brasil contemporâneo**. Belo Horizonte: C/Arte, 2005. p.213-231.

NGDC. **Nighttime Lights Time Series: Version 4 DMSP-OLS**. Boulder-Estados Unidos: NOAA's National Geophysical Data Center (NGDC), 2010. Disponível em: < <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>>. Acesso em: 13 jul. 2010.

NUNES, L. **Mobilidade populacional na Região Metropolitana de Belo Horizonte: o caso dos municípios do Eixo da Linha Verde – 1991/2000**. 146f. Dissertação (Mestrado em Demografia) - Cedeplar/UFMG, 2008.

PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Relatório final de definição das propostas de políticas setoriais, projetos e investimentos prioritários**. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2011. Disponível em: <www.rmbh.org.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

PEDROSA, B., CÂMARA, G. Modelagem Dinâmica: conceitos básicos e exemplos de sistemas (Capítulo 1). In: CÂMARA, G., MONTEIRO, A. (Orgs). **Introdução a Modelagem Dinâmica Espacial**. Belo Horizonte: INPE, 2003. p.1-41.

PONTIUS, R. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v.66, n.8, p.1011-1016. 2000.

PONTIUS, R. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v.68, n.10, p.1041-1049. 2002.

PRB – Population Reference Bureau. **World Population Highlights: Key Findings for PRB 2010 World Population Data Sheet**. Population Bulletin. New York: Population Reference Bureau, v.65, n.2. 2010. Disponível em: <<http://www.prb.org/pdf11/world-at-7-billion.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

RAMOS, V. **Caracterização e análise da dinâmica de mudanças da ocupação do município de Nova Lima como apoio a estudos preditivos de transformação espacial**. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ROSENFELD, G., FITZPATRICK-LINS, K. A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.52, n.2, p.223-227. 1986.

SATHLER, D. A Virada Metropolitana na RMBH: transformações, desafios e oportunidades. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 12, 2011, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos**. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2011. Disponível em: <<http://xiisimpurb2011.com.br/app/web/arq/trabalhos/4b423fc2d688eab8cf98547e839d31d8.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

SEDRO - Secretaria de Desenvolvimento Regional e Política Urbana. **Planos de Regularização Fundiária Sustentável dos Municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte** – Levantamentos e Diagnósticos. Relatório de pesquisa (circulação restrita). 2010a.

SEDRO - Secretaria de Desenvolvimento Regional e Política Urbana. **Sistema Integrado de Regulação do Uso do Solo**. Relatório de pesquisa (circulação restrita). 2010b.

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Base cartográfica de Unidades de Conservação, rios, represas e lagos da Região Metropolitana de Belo Horizonte** (circulação restrita). 2010.

SILVA, H. **Aspectos demográficos associados à geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte, 2002**. 197f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

TORRES, H. Demografia urbana e políticas sociais. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.23, n.1, p.27-42. 2006.

UMBELINO, G., BARBIERI, A. Uso de autômatos celulares em estudos de população, espaço e ambiente. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 17, 2010, Caxambu. **Anais eletrônicos**. Caxambu: ABEP, 2010. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs_pdf/eixo_2/abep2010_2432.pdf>. Acesso em: 25 set. 2011.

WAGNER, D. Cellular automata and geographic information system. **Environment and Planning**. v.24, n.5, p.193-204. 1997.

WHITE, R., ENGELEN, G. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling. **Environment and Planning B: Planning and Design**. v.24, n.2, p.235-246. 1997.

3 – ARTIGO 2 – PROJEÇÃO DOMICILIAR E SIMULAÇÃO DO ADENSAMENTO INTRAURBANO DE BELO HORIZONTE, 2010 A 2030

Resumo

Este artigo propõe um método de projeção domiciliar para a simulação de cenários de adensamento intraurbano de Belo Horizonte em 2020 e 2030. Para tanto, foram consideradas as características e os condicionantes do adensamento domiciliar de Belo Horizonte em 2000 e 2010, conforme retratado pelas leis do zoneamento municipal (Leis 7165/96, 7166/96 e 9.959/10) e pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI). A simulação é desenvolvida a partir da combinação entre informações tratadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a técnica de mapeamento dasimétrico, a qual permite uma distribuição domiciliar por quadras da capital em 2010 de forma mais acurada. Posteriormente, com o uso de autômatos celulares (ACs), foi simulada a distribuição domiciliar para 2020 e 2030, o que possibilitou o cálculo do contingente domiciliar para esses períodos. Os resultados agregados são apresentados por Regional de Planejamento, unidade de análise da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Propõe-se a partir da metodologia desenvolvida e seu exemplo de aplicação em Belo Horizonte, uma contribuição importante às análises formais de dinâmica demográfica aplicadas ao planejamento – em particular, como integrar projeções para pequenas áreas com informações sobre condicionantes do uso e ocupação do solo urbano.

Palavras-chave: Geotecnologias, Sistema de Informação Geográfica (SIG), autômatos celulares, expansão urbana, adensamento urbano, mapeamento dasimétrico, projeção domiciliar, Belo Horizonte.

Abstract

This paper proposes a methodology to simulate scenarios of household growth and density for the municipality of Belo Horizonte in 2020 and 2030. The hypotheses used in the simulation were created from the zoning laws of Belo Horizonte (Laws 7165/96, 7166/96 and 9.959/10) and from the Development Plan for the Metropolitan Area of Belo Horizonte (PDDI), which delineate the characteristics and conditions for future housing growth and density. The combination of information from a Geographical Information System (SIG), and the technique of dasymetric mapping, allows achieving simulations with precision at very low scales (named *quadras*). Then, it was built a cellular automata (AC) model which simulates household size and distribution for 2020 and 2030. The results are aggregated for *Regional de Planejamento* (an intramunicipal planning unit). The empirical exercise for Belo Horizonte aims to provide a contribution to the analysis of demographic dynamics applied to urban and regional planning, and in particular, how to integrate small area population projections to information on land use and occupation of urban land.

Keywords: Geotecnologies, Geographic Information System (GIS), cellular automata, urban sprawl, urban densification, dasymetric mapping, household projection, Belo Horizonte municipality.

3.1 - Introdução

Apesar da diminuição nas taxas de crescimento ao longo das últimas décadas, a população mundial vem apresentando um aumento em números absolutos, chegando ao ano de 2012 com 7 bilhões de habitantes, em sua maioria residentes em centros urbanos (PRB, 2010; UNFPA, 2011). No Brasil, o Censo de 2010 contabilizou 190,8 milhões de pessoas e um grau de urbanização de 85%. Tendo em vista que 36,2% da população brasileira reside em regiões metropolitanas, a concentração populacional nestes locais atrai a atenção dos demógrafos e demais estudiosos de população (IBGE, 2011).

A expansão horizontal (ocupação de novas áreas) e vertical (construção de edificações de múltiplos pavimentos) das grandes metrópoles brasileiras nas décadas recentes tem como condicionante fundamental, sob a ótica da dinâmica demográfica, os fluxos migratórios. A imigração torna-se preponderante em função da queda da fecundidade no país, embora o crescimento natural (diferença entre fecundidade e mortalidade) tenha representado, junto com o saldo migratório positivo, um papel importante no crescimento urbano entre as décadas de 1960 e 1990 (Monte-Mór et al, 1994; Matos et al, 2005; Costa et al, 2006).

A concentração de grande parte da população do país nas regiões metropolitanas tem demandado esforços contínuos de planejamento e monitoramento dos problemas urbanos (UNFPA, 2007). O planejamento da ocupação humana é um instrumento essencial para avaliar e orientar as transformações do espaço ao longo do tempo. Além disso, a produção de conhecimentos sobre formas diferenciadas de organização, produção e gestão busca uma orientação mais racional do futuro (Buarque, 2003; PDDI, 2011). Ressalta-se, ainda, que o planejamento das metrópoles tem se beneficiado com as abordagens interdisciplinares, capazes de estabelecer soluções mais condizentes com a natureza dos problemas urbanos. Corroborando essa afirmação, Lima e Mendonça (2001, p. 135) sugerem que as grandes questões urbanas “demandam a busca de soluções que ultrapassem o campo restrito de disciplinas isoladas, levando o urbanismo a atingir o patamar de campo básico da

interdisciplinaridade”. Assim, pode-se dizer que é impossível estudar a cidade apenas sob uma perspectiva urbana (Castells, 1983).

Alguns avanços metodológicos significativos nos estudos urbanos foram impulsionados pelo surgimento de novas tecnologias, sobretudo nas duas últimas décadas. Tais avanços têm surgido exatamente de esforços no sentido de desenvolver teorias e conceitos em uma perspectiva interdisciplinar, e com sustentação no uso de novas técnicas que contam com ferramentas inteligentes voltadas para a manipulação e integração de bancos de dados e de bases de informação de diversas naturezas.

Nesse sentido, as novas possibilidades de análise com a utilização de geotecnologias associadas a bancos de dados convencionais merecem destaque. Na última década ocorreu um aumento significativo de estudos na demografia brasileira incorporando de forma explícita a variável “espaço”, o que proporciona aos demógrafos uma melhor compreensão da ocupação populacional em diversas áreas, com destaque para as urbanas (Umbelino, 2007). Tal avanço foi facilitado pelo uso dos sistemas de informação geográfica (SIG), que procuram representar o espaço geográfico, através do armazenamento, manipulação e análise de dados geográficos em um ambiente computacional (Davis e Fonseca, 2001; De By et al, 2001; Longley et al, 2005).

O uso de ferramentas computacionais complementares ao SIG, visando a criação de modelos que representem a dinâmica espacial de um município (como a sua expansão e adensamento) e suas tendências futuras, apresenta outro potencial de aplicação ao planejamento urbano. Destacam-se, nesse contexto, os modelos baseados em autômatos celulares (ACs), que possuem uma aplicabilidade particularmente relevante em simulações de pequenas áreas, como por exemplo, na expansão horizontal, adensamento vertical e seus impactos sobre a gestão urbana (Clarke et al, 1994; Wagner, 1997; Batty et al, 1999; Pedrosa e Câmara, 2003; Polidori, 2004).

Este artigo apresenta uma proposta metodológica de integração de dados demográficos e geotecnologias para a análise do adensamento domiciliar de Belo Horizonte em 2000 e 2010, e sugere elementos para a simulação de cenários em

2020 e 2030. A simulação também possibilitou o desenvolvimento de um método de projeção domiciliar para cada quadra do município. Para tanto, foram consideradas as leis do zoneamento municipal de Belo Horizonte (Leis 7165/96, 7166/96 e 9.959/10) e o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI, 2011).

A metodologia de projeção para pequenas áreas apresentada neste artigo é desenvolvida a partir da interação entre os dados do SIG, a técnica de mapeamento dasimétrico, e o uso de metodologias baseadas em Sistemas Complexos¹⁹, aqui representados pelo uso de autômatos celulares. Essa combinação de geotecnologias permitiu a simulação da distribuição domiciliar e o cálculo do contingente domiciliar por quadras da capital em 2020 e 2030. Os resultados finais são apresentados de forma agregada por Regional de Planejamento, unidade de análise utilizada pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH).

A próxima sessão apresenta uma síntese da dinâmica demográfica e adensamento domiciliar em Belo Horizonte, assim como os principais instrumentos reguladores do espaço urbano da capital. Em seguida é feita a apresentação da metodologia utilizada na simulação do adensamento e na projeção domiciliar, complementada com os resultados, conclusões e considerações finais.

3.2 - Dinâmica demográfica e adensamento domiciliar em Belo Horizonte

A partir da década de 1970, Belo Horizonte e os municípios do entorno apresentaram uma intensificação do dinamismo demográfico em função dos movimentos migratórios impulsionados pela busca de emprego e melhoria nas condições de vida, além da fragilidade econômica e da baixa capacidade dos

¹⁹ Os “Sistemas Complexos” representam uma orientação teórica para a construção de modelos computacionais de agentes heterogêneos que interagem em um ambiente dinâmico e são sujeitos aos limites do tempo e espaço. Os modelos mais comuns são baseados em autômatos celulares (ACs) ou em modelos baseados em agentes (ABMs). Uma discussão mais detalhada sobre Sistemas Complexos podem ser encontradas em Billari e Prskawetz (2003), Miller e Page (2007) e Batty (2005).

pólos regionais do interior do Estado em estancar os fluxos de pessoas (Costa e Monte-Mór, 2002; Lemos et al, 2004; Matos et al, 2005; Brito e Souza, 2005; Costa et al, 2006; Caldas et al, 2008; PDDI, 2011).

A expansão urbana desses locais atravessou um novo momento após a virada do milênio: os fluxos migratórios e o crescimento vegetativo já não causam os mesmos impactos nas taxas de crescimento demográfico da capital. Do ponto de vista do planejamento urbano, a rápida expansão domiciliar de Belo Horizonte (especialmente nas décadas de 1970 e 1980) criou desafios de difícil superação, uma vez que expansão urbana do tipo centro-periferia desafiou os gestores municipais, além de sua capacidade de prover as amenidades urbanas básicas (Costa e Monte-Mór, 2002; Matos et al, 2005; Brito e Souza, 2005).

O município de Belo Horizonte tem experimentado diminuição no ritmo de crescimento populacional nas décadas recentes, particularmente em função da perda de população via migração e de na Taxa de Fecundidade Total (TFT). Tais mudanças associam-se a novos fenômenos que tem gerado grandes impactos no espaço metropolitano, com destaque para o envelhecimento da estrutura etária da população, mudanças na configuração domiciliar (constituída por domicílios cada vez menores e com menor densidade populacional), aumento da capacidade de consumo da população (expressos no rápido aumento do número de apartamentos e automóveis), entre outros (Silva, 2008; FJP, 2010; Sathler, 2010; Leiva, 2012).

Destaca-se que entre 2000 e 2010 a Taxa de Crescimento Geométrico anual (TCG) da população de Belo Horizonte foi 0,62% a.a., enquanto que a TCG dos Domicílios Particulares Permanentes (DPP) foi 1,97% a.a. e a TCG de veículos foi 9,41% a.a. (entre 2007 e 2011), demonstrando o aumento considerável de domicílios e veículos ocorrido na capital (IBGE, 2002 e 2011; DENATRAN, 2011).

Nesse contexto, algumas questões se colocam como desafios para o planejamento urbano, como o crescimento domiciliar e populacional mais intenso em determinados vetores, a explosão recente do mercado imobiliário, a supervalorização econômica de regiões antes deprimidas, a instalação de domicílios em locais em desconformidade com a legislação, dentre outras. Estas

transformações, embora presentes em todo o espaço municipal, ocorrem com maior intensidade em alguns vetores de expansão, seja pela predominância de incentivos públicos, seja pelo direcionamento dos agentes especulativos do mercado imobiliário (Matos et al, 2005; FJP, 2010; PDDI, 2011). Dois vetores de expansão da capital têm se destacado no planejamento urbano da capital na última década: o Vetor Sul e o Vetor Norte (Costa et al, 2006; Caldas et al, 2008; PDDI, 2011).

O crescente nível de insegurança e violência, associado ao dinamismo do mercado imobiliário da RMBH, é um fator explicativo do surgimento de condomínios fechados em um ritmo acelerado no Vetor Sul. O uso e ocupação do solo na região têm ocorrido através de inúmeras sobreposições espaciais, dado que os condomínios fechados disputam espaço com pequenos núcleos urbanos tradicionais, locais de adensamento não controlado, cavas de mineração e, nos últimos anos, empreendimentos mistos de residências, comércio e serviços, intercalados com áreas naturais protegidas legalmente (Costa et al, 2006).

No caso do Vetor Norte, a implementação de grandes projetos, como a Linha Verde, o Aeroporto Industrial de Confins, a cidade Administrativa do Governo do Estado e o Anel Viário de Contorno Norte (Rodoanel), tem favorecido a instalação de novos empreendimentos comerciais e industriais, além de um aumento na demanda domiciliar nas intermediações dessa região, que abriga alguns dos municípios metropolitanos mais carentes de infraestrutura (Nunes, 2008; FJP, 2010; PDDI, 2011). Os novos empreendimentos públicos e privados no Vetor Norte e a reestruturação das principais vias de conexão metropolitana que apontam para essa direção criam um forte dinamismo na ocupação territorial na porção setentrional de Belo Horizonte. Por exemplo, nas regiões de influência direta e indireta da Cidade Administrativa, as intervenções públicas e privadas tendem a ditar novos padrões de ocupação territorial, com a criação de novas funções, de adensamento populacional e da gentrificação de espaços deprimidos (Nunes, 2008; Sathler, 2010; PDDI, 2011).

Nesse cenário de grandes transformações do espaço da capital, é necessária a geração de informações e instrumentos que, ao representar espacialmente a ocupação do solo intraurbano, ajudem a delinear as políticas públicas mais

adequadas à realidade futura nas áreas de habitação, saúde, segurança, transporte, meio ambiente, educação entre outros.

A projeção populacional e domiciliar em níveis desagregados é um importante insumo para a modelagem de cenários de adensamento da mancha urbana. De acordo com um conjunto de pressupostos e tendências passadas, as projeções apontam as consequências que virão no futuro a partir das tendências verificadas no presente (Stoto, 1983; Celade, 1984; Waldvogel, 1998). Para o planejamento urbano, a projeção é um mecanismo que permite avaliar os impactos das mudanças e demandas futuras decorrentes do crescimento demográfico (Jannuzzi, 2007; Santos, 2010).

As projeções populacionais e domiciliares envolvem tarefas complexas e devem levar em consideração um conjunto de aspectos sobre as diversidades demográficas, econômicas, políticas, sociais e ambientais das populações em análise (Waldvogel, 1998; Freire, 2001; Jannuzzi, 2007; Cedeplar, 2010; Fígoli et al, 2010). Neste artigo, as projeções visam responder a seguinte pergunta: Quantos domicílios existirão em cada quadra de Belo Horizonte em 2020 e 2030?

Deve-se mencionar que o planejamento da ocupação domiciliar está presente em Belo Horizonte desde a época de sua criação (Matos, 1984 e 1992; Torre, 2003; Epaminondas, 2006). Com o passar das décadas foram implementados diversos mecanismos de regulação urbana, visando controlar a expansão e o adensamento domiciliar nas áreas edificáveis da capital. Atualmente, encontra-se em vigor a Lei 9.959/10 (Belo Horizonte, 2010a), que forneceu os parâmetros básicos necessários para as simulações deste trabalho. A Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPOUS) e o Plano Diretor Municipal de Belo Horizonte definem critérios e limites para a ocupação domiciliar, através da criação de um zoneamento, que divide o território municipal seguindo critérios do modelo de ordenamento territorial municipal.

O zoneamento atual de Belo Horizonte é dividido nas seguintes categorias:

- Zona de Preservação Ambiental – ZPA. Regiões que, por suas características e pela tipicidade da vegetação, destinam-se à preservação e à recuperação de ecossistemas;

- Zona de Proteção – ZP. Regiões sujeitas a critérios urbanísticos especiais, que determinam a ocupação com baixa densidade e maior Taxa de Permeabilidade, tendo em vista o interesse público na proteção ambiental e na preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico. São divididas em ZP-1, ZP-2 e ZP-3;
- Zona de Adensamento Restrito – ZAR. Regiões em que a ocupação é desestimulada, em razão de ausência ou deficiência de infraestrutura de abastecimento de água ou de esgotamento sanitário, de precariedade ou saturação da articulação viária interna ou externa ou de adversidade das condições topográficas. São divididas nas categorias ZAR-1 e ZAR-2;
- Zona de Adensamento Preferencial – ZAP. Regiões passíveis de adensamento, em decorrência de condições favoráveis de infraestrutura e de topografia;
- Zona Central – ZC. Regiões configuradas como centros de polarização regional, municipal ou metropolitana, e que se subdividem em: ZHIP - Zona Hipercentral; ZCBH - Zona Central de Belo Horizonte; ZCBA - Zona Central do Barreiro; ZCVN - Zona Central de Venda Nova;
- Zona Adensada – ZA. Regiões nas quais o adensamento deve ser contido, por apresentarem alta densidade demográfica e intensa utilização da infraestrutura urbana, de que resultam, sobretudo, problemas de fluidez do tráfego, principalmente nos corredores viários;
- Zona de Especial Interesse Social – ZEIS. Regiões edificadas, em que o Executivo tenha implantado conjuntos habitacionais de interesse social ou que tenham sido ocupadas de forma espontânea, nas quais há interesse público em ordenar a ocupação por meio de implantação de programas habitacionais de urbanização e regularização fundiária, urbanística e jurídica, subdividindo-se essas regiões nas categorias ZEIS-1 e ZEIS-3;
- Zona de Grandes Equipamentos – ZE. Regiões ocupadas ou destinadas a usos de especial relevância na estrutura urbana, nas quais é vedado o uso residencial.

3.3 - Adensamento domiciliar de Belo Horizonte: bases metodológicas

O mapeamento da evolução da ocupação de Belo Horizonte nas três últimas décadas permitiu analisar o comportamento da mancha urbana frente ao crescimento domiciliar ocorrido na região. Dessa forma, foi possível elaborar pressupostos para um cenário de expansão e adensamento da área ocupada²⁰. A seguir são descritos os pressupostos e técnicas que permitiram o uso das geotecnologias para a criação dos cenários futuros.

A partir do uso da construção de um SIG, refinado pela técnica do mapeamento dasimétrico, foi obtido o número aproximado de domicílios por quadra em Belo Horizonte para os anos 2000 e 2010. Posteriormente, com o uso dos ACs, foi possível analisar o adensamento urbano nesse período via representação dos dados em uma matriz com resolução espacial de 50 metros, que forneceram os dados básicos para a criação dos cenários. Os resultados das simulações mostram como será a distribuição domiciliar nas quadras da capital em 2020 e 2030, caso os pressupostos abaixo sejam observados:

- Nas próximas décadas o crescimento populacional já não terá o mesmo ritmo do crescimento domiciliar no espaço intrametropolitano. O aumento no número de domicílios tem sido estimulado pelo alto dinamismo do mercado imobiliário, pelos planos governamentais de habitação aliados à ampliação do acesso ao crédito, ao aumento do poder aquisitivo da população, ao alto déficit habitacional e à vacância ainda existente na capital. Dessa forma acredita-se que a oferta domiciliar futura certamente terá demanda advinda de moradores de todos os estratos sociais;
- O crescimento domiciliar ocorrerá conforme duas situações: a construção de novas edificações em lotes vagos ou em locais que possam ser demolidos, sendo que, sempre que o zoneamento aceitar, as novas construções serão do tipo apartamento e não do tipo casa;

²⁰ Pressupostos construídos a partir dos resultados do projeto PDDI (2011), do Plano Diretor de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 1996a; 1996b, 2010a), das bases cadastrais do município em 2010 (Belo Horizonte, 2011a; 2011b; 2011c; 2011d).

- As unidades de conservação e preservação ambiental permanente, bem como os corpos d'água, não serão ocupadas durante o processo de expansão urbana;
- As leis municipais 7165/96, 7166/96 e 9.959/10 referentes ao parcelamento, ocupação e uso do solo no município influenciarão diretamente na expansão das áreas urbanas e no adensamento dos espaços já ocupados:
 - O zoneamento municipal será constante em todo o período analisado, de tal forma que a legislação de ocupação do solo no presente se aplique até 2030;
 - As categorias de zoneamento impróprias à ocupação domiciliar não serão ocupadas por moradias (ZPAM-Zonas de Preservação Ambiental; ZE-Zonas de Grandes Equipamentos);
 - O adensamento domiciliar ocorrerá somente nas categorias Zona de Proteção (ZP), Zona de Adensamento Restrito (ZAR), Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), Zona Central (ZC), Zona Adensada (ZA) e Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS), segundo os critérios próprios de cada uma das zonas;
 - As quadras do município passíveis de ocupação que não possuem lotes vagos ou edificações potenciais para demolição manterão seu estoque domiciliar ao longo do tempo;
- A Região do Isidoro passará na próxima década por um intenso processo de adensamento domiciliar, pois possui um Plano de Urbanização que permite um aumento de até 67 mil novos domicílios.

A seguir é apresentada uma breve descrição das etapas de simulação do adensamento da mancha urbana de Belo Horizonte. Primeiramente, as informações adquiridas passaram por um processo de compatibilização, processamento e análise, com o uso dos softwares ArcGIS 10, MapInfo 10 e Idrisi 16. Os arquivos georreferenciados tiveram seu limite geográfico adaptado de forma a corresponder à delimitação do município. Em um segundo momento,

essas informações foram ajustadas à projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000.

Para a simulação das dinâmicas espaciais de adensamento domiciliar, as bases digitais no formato raster foram processadas no ArcGIS 10, sendo depois transportadas para o módulo Land Change Modeler (LCM) do IDRISI 16 para a simulação do adensamento domiciliar dentro da mancha urbana em 2020 e 2030. Para que a simulação fosse possível, as bases cartográficas foram convertidas em uma matriz de 441 por 633 células com resolução espacial de 50 metros, das quais 134.277 foram utilizadas, pois são as que cobrem totalmente o território do município. Essas células ocupam uma região de 33.287 hectares e possuem como limite geográfico as coordenadas UTM 597.600E/7.813.200N e 620.000E/7.781.000N.

3.3.1 – Fontes de Informação para a construção de cenários

- Setores censitários de 2000 e 2010

A quantidade e localização dos domicílios, a análise da variação da densidade domiciliar na última década e a espacialização dos vetores de adensamento urbano foram obtidos através dos arquivos georreferenciados de setores censitários (SCs) dos Censos de 2000 e 2010 (IBGE, 2002 e 2011). Os dados originais foram compatibilizados conforme a metodologia desenvolvida por Umbelino (2007), de tal forma que as variáveis e limites dos SCs apresentassem comparabilidade entre 2000 e 2010. Posteriormente, os dados foram refinados a partir do uso da técnica de mapeamento dasimétrico, de tal forma que representassem somente as áreas internas aos SCs ocupadas por domicílios.

- Mancha urbana de 2020 e 2030

Trata-se da variável de simulação que permite espacializar a área com ocupação humana no município, através da localização de espaços edificados, equipamentos urbanos e demais elementos que caracterizam locais ocupados no meio urbano. As bases referentes aos limites da mancha urbana em 2000 e 2010,

bem como a simulação de seu espraiamento para 2020 e 2030, foram extraídas dos resultados do artigo produzido por Umbelino et al (2012a)²¹.

- Zoneamento

O zoneamento de Belo Horizonte é representado por uma base vetorial formada por 16.492 polígonos, com informações atualizadas de acordo com a Lei 9.959/10 (Belo Horizonte 2011a). Cada polígono possui atributos referentes ao zoneamento específico, que pode englobar uma porção ou a área total de cada quadra do município. Essa base de informação foi utilizada para verificar os terrenos que são passíveis ou não de adensamento domiciliar.

- Quadras

A base de quadras do município, referente ao Cadastro Técnico Municipal (CTM) de 2011 (Belo Horizonte, 2011a), é uma base vetorial formada por 17.155 polígonos que correspondem a todas as quadras do município, com informações atualizadas conforme a Lei 9.959/10. Para facilitar a visualização da ocupação que ocorrerá na região do Isidoro (descrita adiante), foram criadas 293 quadras ilustrativas, baseadas no zoneamento previsto para a região (Belo Horizonte, 2010b), o que resultou em um total de 17.444 quadras.

- Quadras restritivas ou estimuladoras ao adensamento domiciliar

Umbelino et al (2012b) apresentam as quadras de Belo Horizonte passíveis de adensamento domiciliar com base nas leis de zoneamento municipal (Lei 9.959/10) e na metodologia desenvolvida por estes autores. Este adensamento só pode ocorrer após a edificação em lotes vagos ou a partir do processo de renovação urbana, na qual edificações com potencial de demolição cedam lugar a novos edifícios residenciais. Os terrenos do município que não se enquadram nessa categoria não sofrerão alteração no contingente domiciliar ao longo do tempo.

²¹ Metodologia e resultados apresentados no Artigo 1 da tese, que simula a expansão urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte para 2020 e 2030.

- Quadras passíveis de Operações Urbanas

A PBH possui em suas metas de desenvolvimento quadras susceptíveis às operações urbanas da capital, definidas como um conjunto de intervenções para viabilizar projetos urbanísticos especiais voltados para a transformação estrutural de determinados espaços urbanos. Esses projetos incluem parâmetros construtivos que se sobrepõem ao zoneamento municipal envolvendo, entre outras funções, o estímulo ao adensamento domiciliar (Brasil, 2005; Belo Horizonte, 2011c; Cota, 2010; Epaminondas, 2006). Os locais de operações urbanas foram inseridos na modelagem do adensamento domiciliar, com efeito sobre a simulação somente após o ano de 2014.

- Áreas Protegidas

Essa base de informação poligonal da PBH aponta, em um alto nível de detalhamento, todas as áreas verdes protegidas do município, como o Programa BH Verde ²², os parques municipais atuais e de implantação futura, além das reservas particulares ecológicas. As informações referentes ao tipo de uso e de ocupação do lote permitiram um refinamento dos dados censitários, visando a mancha urbana domiciliar de 2000 e 2010.

- Tipologias de ocupação

As informações georreferenciadas de tipos de uso dos lotes foram extraídas do CTM de 2011 (Belo Horizonte, 2011a) e são formadas por 336.051 polígonos que contêm diversas informações sobre os lotes cadastrados do município. As informações referentes ao uso e ocupação do lote permitiram um refinamento dos dados censitários, visando definir a mancha urbana domiciliar de 2000 e 2010.

- Regional de Planejamento

A base atualizada com as delimitações das Regionais de Planejamento da capital foi extraída do CTM de 2011 (Belo Horizonte, 2011a) e possui nove polígonos que

²² O Programa BH Verde detém informações cadastrais e georreferenciadas sobre as cerca de 1.500 áreas verdes públicas municipais da cidade, nelas incluídas os espaços livres de propriedade pública destinados a praças, parques, áreas de preservação permanente e as demais áreas livres de uso público ainda não edificadas.

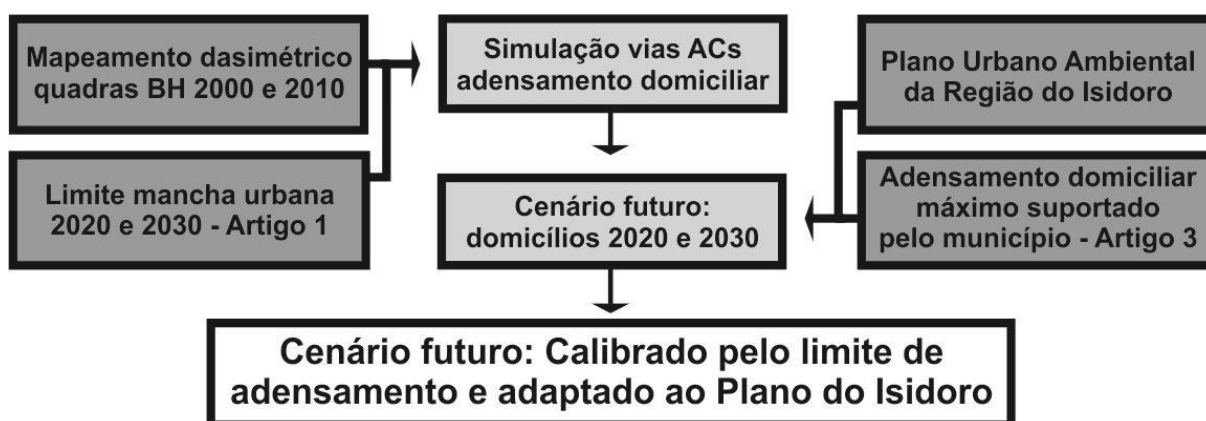
foram utilizados para possibilitar uma interpretação dos resultados agregados por regional.

3.3.2 – Cenário de adensamento da mancha urbana: SIG, mapeamento dasimétrico e ACs

A FIG. 19 apresenta um esquema do exercício metodológico proposto neste artigo. Inicialmente, foram obtidas as manchas urbanas referentes aos decênios 2000 – 2030 (IBGE, 2002 e 2011; Umbelino et al, 2012a). Em seguida, a técnica do mapeamento dasimétrico foi aplicada aos dados censitários de 2000 e 2010 para a obtenção do número de domicílios por quadra na capital. Na etapa seguinte, a partir do uso dos ACs, os dados domiciliares foram projetados para 2020 e 2030. Os resultados dessa simulação foram submetidos a um processo de refinamento baseado na capacidade máxima domiciliar de cada quadra (Umbelino et al, 2012b) e no projeto de ocupação da Região do Isidoro (Belo Horizonte, 2010b), visando a projeção final do número de domicílios por quadra de Belo Horizonte em 2020 e 2030.

Estas etapas são descritas em maior detalhe nas próximas seções.

FIGURA 19 – Refinamento dos dados projetados a partir do adensamento máximo domiciliar suportado pelo município



- Uso do mapeamento dasimétrico para a distribuição domiciliar nas quadras do município em 2000 e 2010

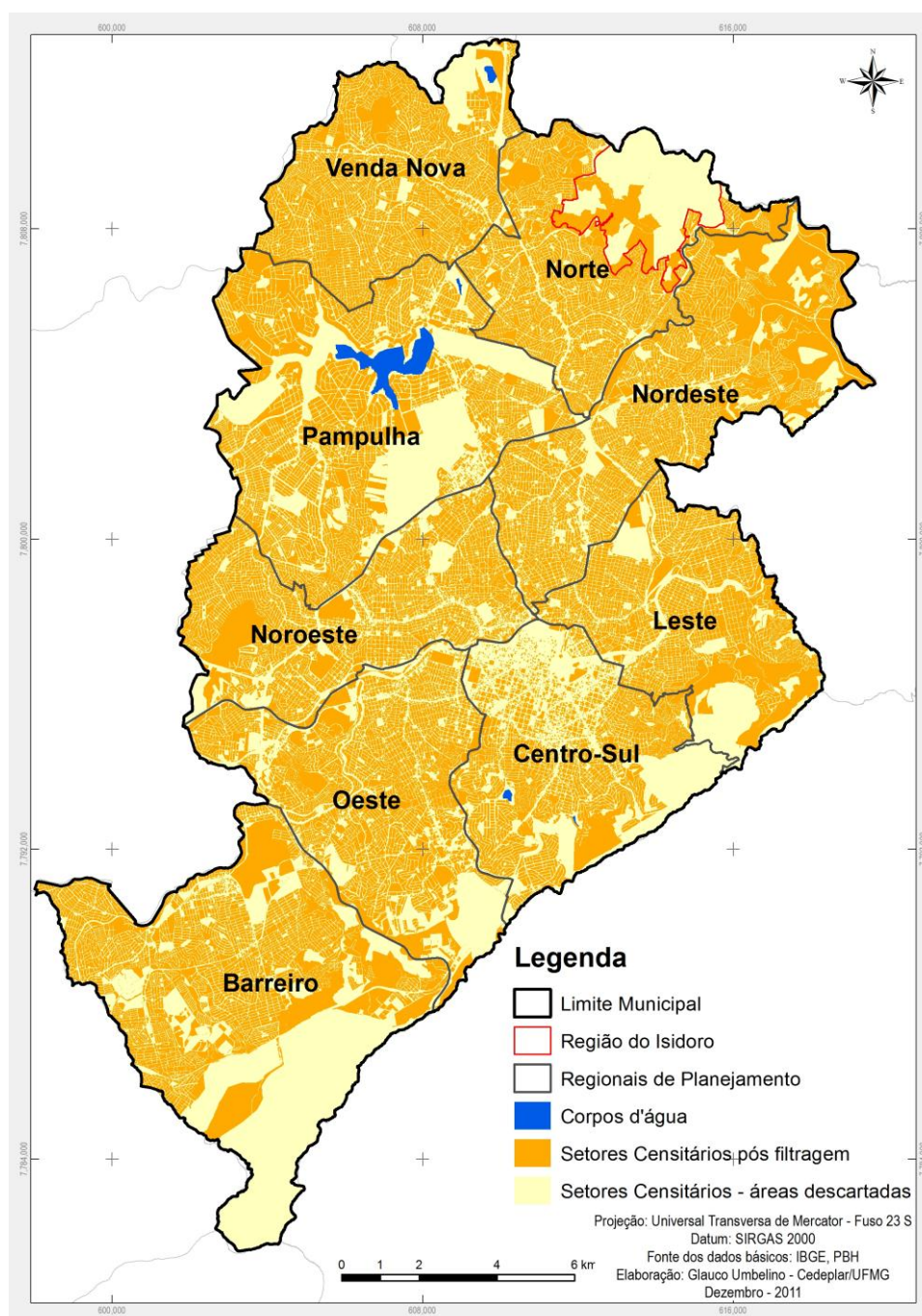
Para conferir maior precisão às análises que envolvem a densidade de parâmetros, mensurada a partir do número de domicílios em cada quadra, foi utilizada a técnica de mapeamento dasimétrico. Esta técnica pode ser considerada uma sofisticação de um mapa coroplético (mapa temático poligonal convencional), que utiliza de dados auxiliares para refinar a representação da distribuição espacial da variável analisada (Langford et al, 1991; Eicher e Brewer, 2001; Mennis e Hultgren, 2006), em oposição à premissa simplificadora usual, segundo a qual a variável se distribui uniformemente pelo espaço delimitado.

No caso do SIG elaborado para este artigo, os dados de SCs obtidos junto ao IBGE referem-se à distribuição domiciliar dentro de cada polígono. Em vez de considerá-la homogênea, o mapeamento dasimétrico permite distribuir essa variável de forma mais realista dentro do setor, pois bases secundárias permitem identificar que os domicílios se concentram em determinadas quadras e lotes. Assim, é possível excluir da distribuição espacial as regiões que não são ocupadas por residências (arruamento, parques, canteiros, praças, etc.). O objetivo é criar, no mapeamento da variável analisada, limites de densidade que sejam mais próximos de sua verdadeira distribuição espacial, o que usualmente não ocorre em um mapa temático que agrega os dados em polígonos maiores e os apresenta de forma homogênea (Kampel, 2003; Hawley, 2005; Dutenkefer, 2010).

Dessa forma, as bases poligonais dos SCs de 2000 e 2010 foram refinadas através da base de quadras e tipologias de ocupação. A primeira permitiu retirar dos SCs as áreas referentes ao arruamento e espaços públicos, e a base de tipologias e áreas protegidas possibilitou retirar dos SCs os locais ocupados por edificações não residenciais, equipamentos públicos e áreas verdes, de tal forma que a porção analisada dos SCs se restringisse às regiões potencialmente ocupadas por domicílios. A FIG. 20 apresenta o resultado final do mapeamento dasimétrico, na qual é possível identificar os locais do município potencialmente ocupados pelas edificações domiciliares.

Após os procedimentos metodológicos de compatibilização e padronização de arquivos georreferenciados, já descritos anteriormente, os resultados do mapeamento dasimétrico de 2000 e 2010 foram convertidos em uma matriz de células com resolução espacial de 50 metros, possuindo como atributo o número de domicílios em cada célula, para que pudessem ser submetidos à criação dos cenários futuros a partir do uso dos autômatos celulares.

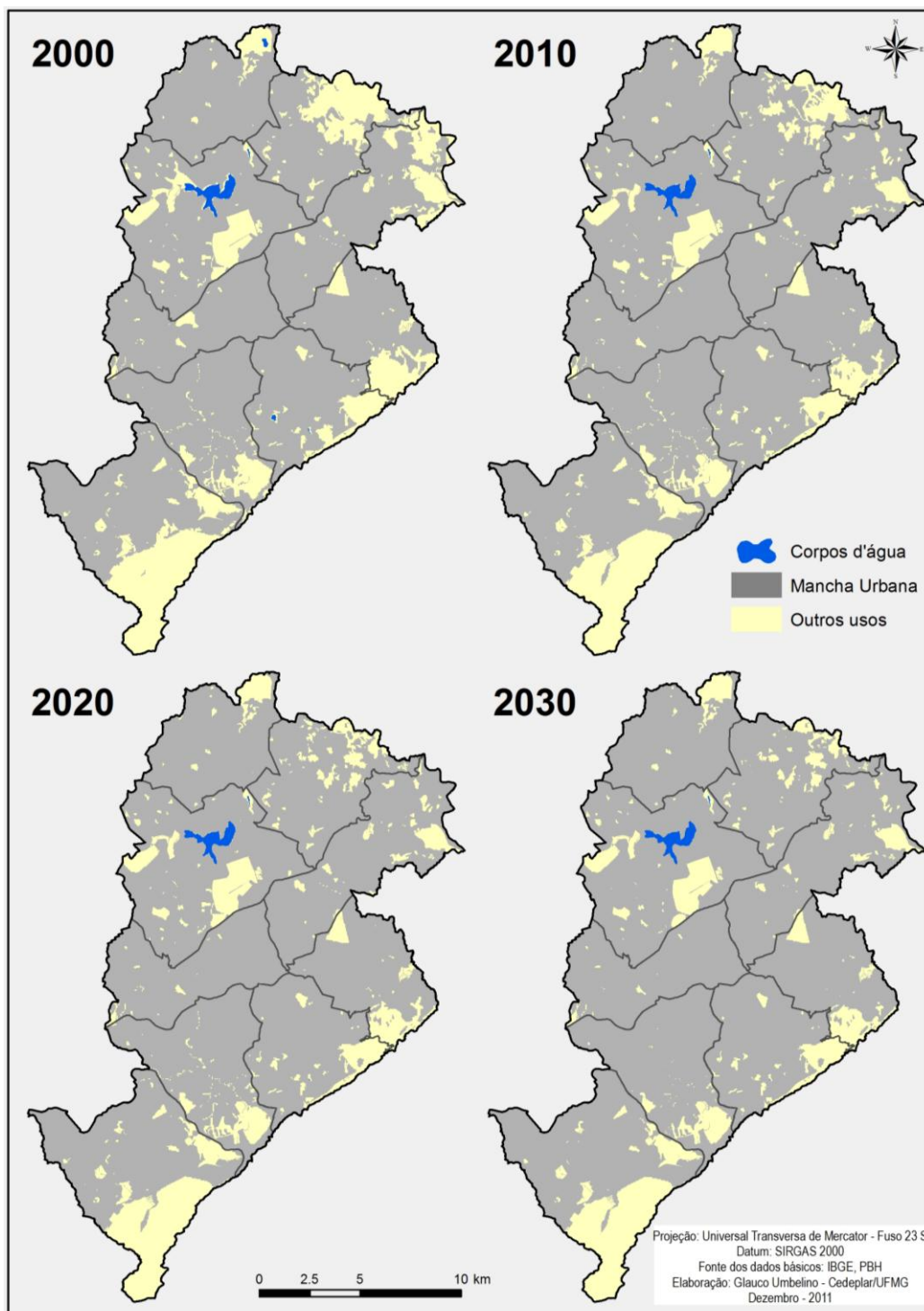
FIGURA 20 – Mapeamento dasimétrico dos setores censitários compatibilizados de Belo Horizonte, para a estimativa domiciliar das ZEIS



- Contorno da mancha urbana em 2020 e 2030

A espacialização da área ocupada de Belo Horizonte em 2020 e 2030 em uma matriz de células com resolução espacial de 50 metros foi obtida a partir dos resultados de simulação da expansão da mancha urbana via ACs, realizados por Umbelino et al (2012a). Esse procedimento permitiu a inserção de um polígono para 2020 e outro para 2030, referentes à porção do município ocupada pela mancha urbana, que foi submetida a um processo de redistribuição de classes de adensamento domiciliar, descrito a seguir. A FIG. 21 apresenta a mancha urbana nas datas analisadas neste artigo.

FIGURA 21 – Mancha urbana de Belo Horizonte mapeada em 2000 e 2010 e simulação da expansão horizontal para 2020 e 2030



- Uso dos autômatos celulares para simulação do adensamento e projeção domiciliar em 2020 e 2030

O *Land Change Modeler* (LCM), que trabalha dentro da arquitetura dos programas Idrisi e ArcMap, é um aplicativo que realiza simulações e permite a análise de mudanças na cobertura do solo e a simulação de cenários futuros. A ferramenta “Projeção de Mudanças”, existente no LCM, é específica para a temática deste artigo, pois permite simular cenários futuros conforme o comportamento passado da cobertura do solo, associado à inserção de variáveis restritivas e variáveis estimuladoras da expansão de cada classe de cobertura do solo. Estas variáveis podem estar presentes em todas as datas da simulação, ou serem dinâmicas, aparecendo na modelagem a partir de um determinado ano (Eastman et al, 1995; Eastman, 2009; Umbelino e Barbieri, 2010).

Eastman (2009) mostra que os padrões de mudança podem ser modelados através de uma análise da cadeia de Markov ou pela elaboração de uma matriz de probabilidade de transição entre as classes (exemplo: probabilidade do cerrado virar área urbana ou vice-versa). O LCM permite a especificação do número de estágios de reavaliação durante os quais as variáveis dinâmicas são atualizadas. Em cada estágio, o sistema também verifica a presença do planejamento de intervenções, que são os parâmetros que podem alterar o curso do desenvolvimento do processo de previsão de mudança (exemplo: a implantação de uma rodovia no local analisado daqui a cinco anos). As intervenções também incluem variáveis restritivas (regiões de preservação, corpos d’água, áreas de restrições legais) e estimuladoras (rodovias, loteamentos, zonas de aquecimento econômico, dentre outros). A lógica da mudança na previsão de cobertura do solo do LCM é elaborada segundo a aquisição de dois mapas de cobertura do solo em datas diferentes (tempo 1 e tempo 2) para prever o futuro (tempo 3).

Para que os dados de SCs de 2000 e 2010 pudessem ser importados pelo LCM, os números absolutos de domicílios foram convertidos em 8 intervalos de classes, limite máximo suportado pelo LCM para grandes bases de dados, o que permitiu a simulação da evolução da densidade domiciliar. A categorização do número de domicílios por célula foi realizada observando-se os percentis de sua distribuição

original (valores da variável que deixam certo percentual dos dados organizados em ordem crescente). Por meio de um histograma de frequências observou-se que a variável possuía uma distribuição altamente assimétrica, com os valores modais (os que mais se repetem) tendendo para a esquerda (assimetria positiva). Optou-se, então, por excluir as células sem domicílios e posteriormente categorizar o universo restante levando-se em consideração as “quebras naturais” exibidas pelo histograma. Assim, a primeira, a segunda e a terceira categorias englobam os percentis de ordem 40, 70 e 90, respectivamente. Ou seja, as três primeiras categorias da variável representam 90% do total dos dados. Tal procedimento levou a obtenção de três categorias distintas, mas bastante homogêneas, ou seja, com desvios-padrões muito similares (entre 1,02 e 1,38).

Como os 10% dos dados restantes apresentavam grande variabilidade interna (desvio padrão muito alto), optou-se por separá-los em quatro outras classes distintas, que correspondem, cada uma, aos quartis do último decil da variável. Desse modo, a quebra natural exibida pelo histograma foi preservada, o que produziu uma classificação mais fidedigna aos dados originais. A TAB. 4 apresenta a classificação proposta e algumas estatísticas descritivas de sua distribuição de valores (absoluta e relativa).

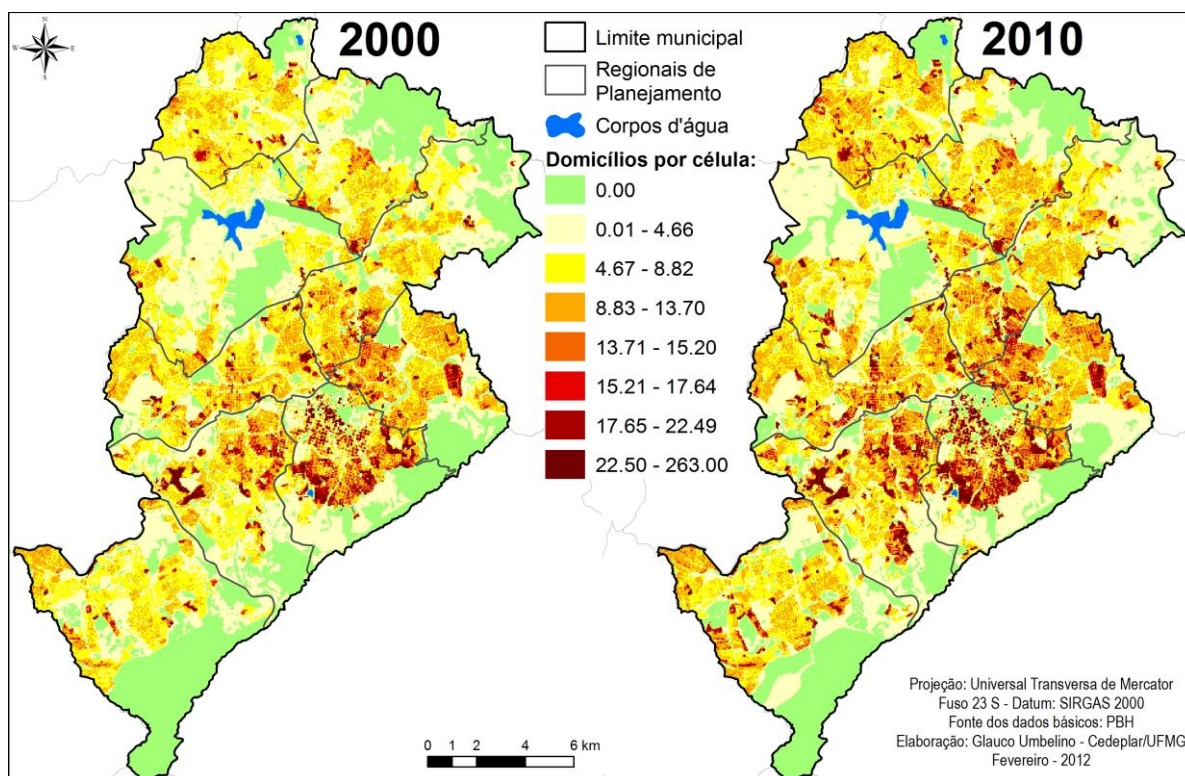
TABELA 4 – Proposta de categorização do número de domicílios por célula

Classe	Intervalo	Média de domicílios	Mediana	Desvio Padrão	Frequência absoluta	Frequência relativa
0	0	-	-	-	-	-
1	0,01 a 4,66	1,81	1,51	1,42	81.749	40,3%
2	4,67 a 8,82	6,79	6,78	1,17	60.642	29,9%
3	8,83 a 13,70	10,76	10,53	1,33	40.157	19,8%
4	13,71 a 15,20	14,39	14,38	0,44	5.036	2,5%
5	15,21 a 17,64	16,31	16,22	0,71	5.066	2,5%
6	17,65 a 22,49	19,79	19,65	1,40	4.980	2,5%
7	22,50 a 262,71	31,00	27,54	12,81	5.004	2,5%

Fonte dos dados básicos: IBGE, 2011.

A FIG. 22 mostra o resultado final da categorização da densidade domiciliar em 2000 e 2010.

FIGURA 22 – Matrizes com classes de densidade domiciliar de Belo Horizonte em 2000 e 2010



De acordo com esta categorização, as oito classes de densidade domiciliar em 2000 e 2010 foram submetidas à ferramenta “Projeção de Mudanças” do LCM. De forma complementar, foram incorporadas ao modelo variáveis adicionais, a partir das bases georreferenciadas, que indicam regiões de proibição à ocupação humana (categorias do zoneamento restritivas à ocupação domiciliar, corpos d’água e áreas de proteção ambiental) e regiões em que a ocupação é estimulada (categorias do zoneamento permissivas à ocupação domiciliar, espaços de adensamento domiciliar, regiões de renovação urbana e eixos de operações urbanas). Como existem Operações Urbanas previstas para alterarem o adensamento domiciliar da capital no curto prazo, essa informação foi inserida como variável dinâmica no modelo, de tal forma que atuará na simulação após 2014. A junção de todas essas informações espaciais permitiu que o LCM criasse um Modelo de previsão de mudança de estágio, o que por sua vez possibilitou a simulação da classe de adensamento presente em cada célula em 2020 e 2030, conforme demonstrado na FIG. 23 e na TAB. 5, que exhibe o tipo de influência (restritiva ou estimuladora) de cada variável, bem como sua ação na expansão 2010-2020 ou 2020-2030.

FIGURA 23 – Estrutura de funcionamento do LCM com a incorporação de variáveis dinâmicas adicionais para mudança nas classes de densidade domiciliar

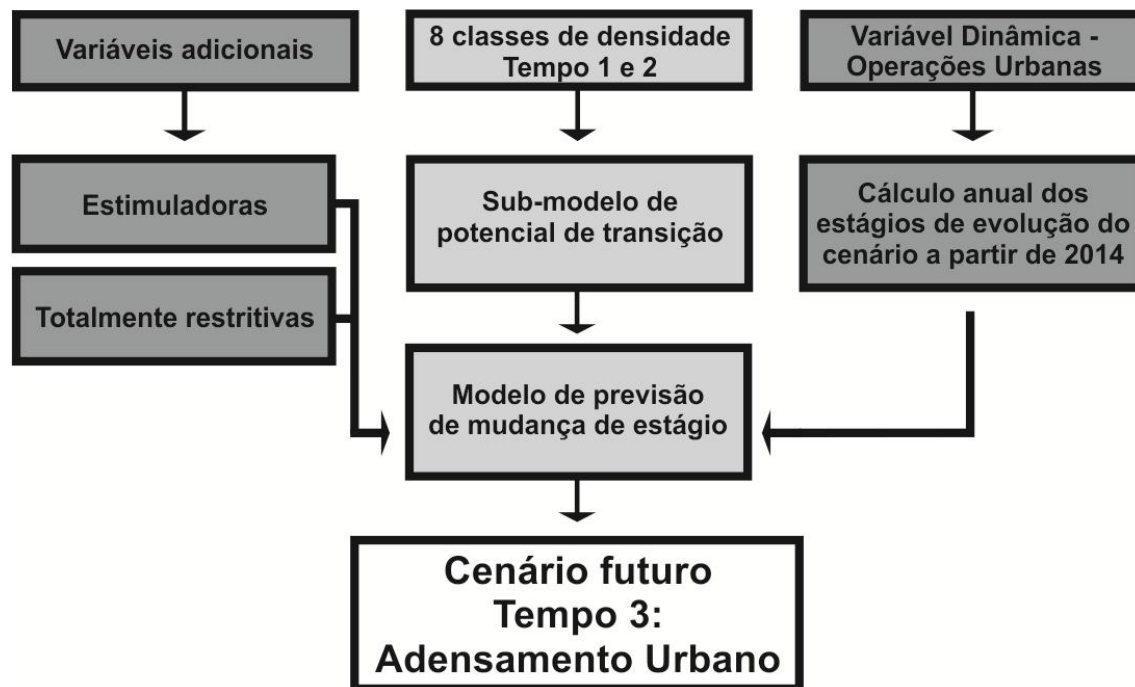


TABELA 5 – Bases georreferenciadas utilizadas na simulação do adensamento urbano de Belo Horizonte

Tipo da variável	Origem	Nome	Influência na modelagem expansão	Ação na modelagem
Principal	Ambiente construído	Mancha urbana em 8 classes de densidade	Estimuladora	Vetores de adensamento urbano
		Zoneamento municipal - zonas passíveis de adensamento (ZP, ZAR, ZAP, ZC, ZA, ZEIS)		Permissão do grau de adensamento na mancha urbana
		Áreas de alta densidade domiciliar e susceptíveis à renovação urbana		Maior probabilidade de adensamento nessas áreas
		Operações urbanas (<i>variável dinâmica - incorporada a partir de 2014</i>)		
		Zoneamento municipal - quadras sem lotes vagos	Totalmente Restritiva	Áreas residenciais saturadas
	Zoneamento municipal - Zona de Grandes Equipamentos (ZE)	Restritiva à construção de residências		
	Ambiente Natural	Áreas de Preservação Ambiental		Impróprias à ocupação humana
		Corpos d'água		

Fonte dos dados básicos: PDDI, 2011; Belo Horizonte, 2011b.

- Complemento à projeção domiciliar de 2020 e 2030: a Região do Isidoro

A porção norte do município de Belo Horizonte é uma região que tem vivenciado nos últimos anos forte pressão do mercado imobiliário, em função de diversos investimentos como a implantação da Cidade Administrativa, a criação da Linha Verde e a reestruturação do aeroporto de Confins. A Região do Isidoro localiza-se no extremo norte da capital, na Regional de Planejamento Norte. Além de possuir uma localização estratégica no contexto metropolitano, o local caracteriza-se por estar predominantemente desocupado: é a última grande fronteira de expansão urbana da capital, com a maior porção de terra contínua passível de parcelamento existente no município, em uma área de 950 hectares, tamanho ligeiramente superior ao do interior da Avenida do Contorno (Belo Horizonte, 2010b; Cota, 2010; PDDI, 2011).

Devido às diversas possibilidades de adensamento existentes no meio urbano, os dois cenários de adensamento urbano tiveram que ser adaptados ao segundo Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro, elaborado pela PBH e que visa promover a proteção e recuperação ambiental da região, por meio de um processo de ocupação ordenado para as próximas duas décadas (Belo Horizonte, 2010b; Cota, 2010). Atualmente a Região do Isidoro está classificada, pela Lei 9.959/10, predominantemente na categoria ZP-2 (52% da área), com manchas descontínuas na categoria ZPAM (40% da área), e trechos formados pela categoria ZAR-2 (8% da área). De acordo com o Plano, a região será composta por três tipos de proteção. O Grau 1 é formado por 40% da região, destinada à preservação ambiental permanente. O Grau 2 representa 36% do espaço total, sendo destinado à proteção elevada, onde a ocupação, o adensamento e a impermeabilização do solo deverão sofrer restrições. Já o Grau 3 ocupa 20% da área e se refere aos locais de proteção moderada, nas quais poderão ser estabelecidos parâmetros de ocupação e adensamento menos restritos²³. As diretrizes do Plano preveem, para a próxima década, a construção de um contingente variando entre 54.340 domicílios (cenário de adensamento

²³ Para fins de compatibilização de resultados do Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro com os resultados da simulação, bem como a espacialização das informações na escala de quadra, foram criadas quadras ilustrativas nas áreas que serão habitadas (formadas pelos zoneamentos ZP-2 e ZAR-2), tomando-se como base o traçado típico das quadras que integram essas duas categorias de zoneamento em outras áreas da capital.

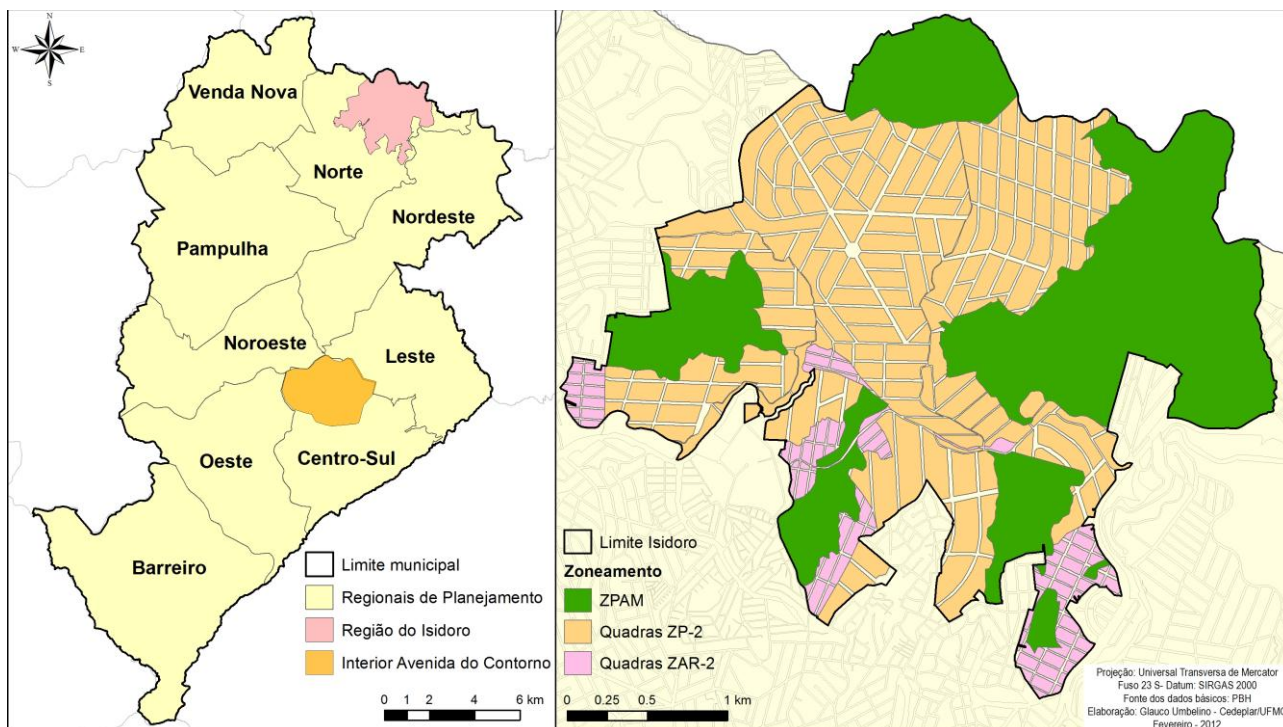
populacional médio) e 67.623 domicílios (cenário de adensamento populacional máximo) (Belo Horizonte, 2010b).

Os resultados finais da simulação e projeção domiciliar para essa porção do município seguiram dois pressupostos básicos:

- Devido ao alto crescimento domiciliar da capital esperado para os próximos anos, a tendência de saturação dos lotes vagos da capital, a alta pressão do mercado imobiliário na Região do Isidoro e o Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro propriamente dito, acredita-se que o cenário de adensamento máximo é mais plausível de concretização, sendo que sua ocupação máxima está prevista para ocorrer por volta de 2030, onde 67.623 domicílios estarão parcialmente ou totalmente construídos (Belo Horizonte, 2010b; Umbelino et al, 2012b);
- A Região do Isidoro iniciará sua explosão imobiliária em 2012 e chegará em 2020 com 33.811 domicílios parcialmente ou totalmente construídos, o que corresponde à metade de domicílios do cenário escolhido;

Para a visualização dos resultados, os domicílios simulados em cada cenário foram distribuídos proporcionalmente dentro das quadras criadas para cada zoneamento, visando elucidar como será o adensamento quando o Plano da Região do Isidoro se materializar. Dessa forma, serão incorporados, aos resultados da simulação, o total de 33.811 domicílios instalados na região em 2020 e 67.623 domicílios instalados em 2030. A FIG. 24 mostra a localização da Região do Isidoro, bem como o parcelamento ilustrativo criado para espacializar a simulação de adensamento.

FIGURA 24 – Localização da Região do Isidoro e arruamento ilustrativo

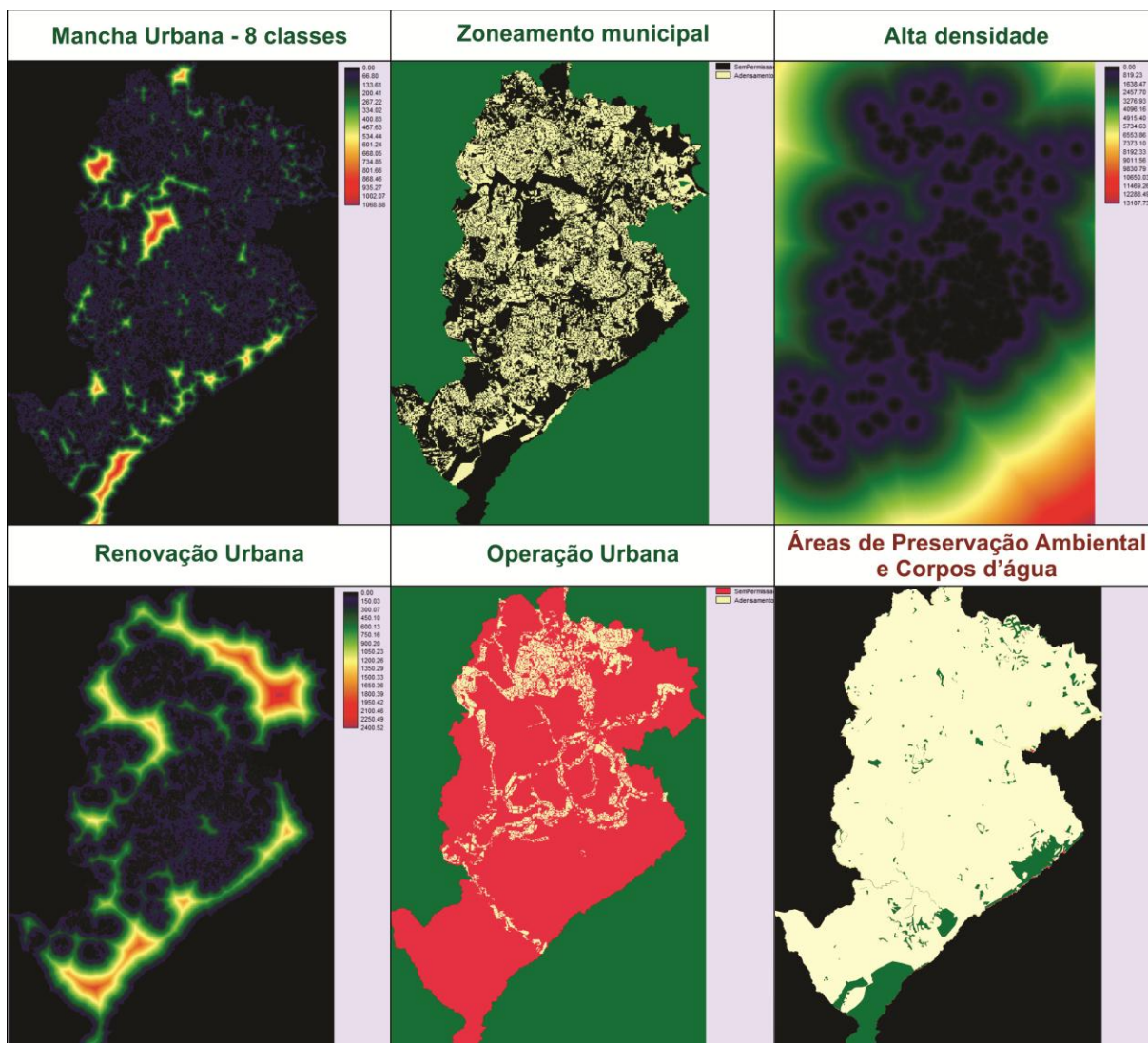


3.4 - Resultados

3.4.1 – Simulação do adensamento

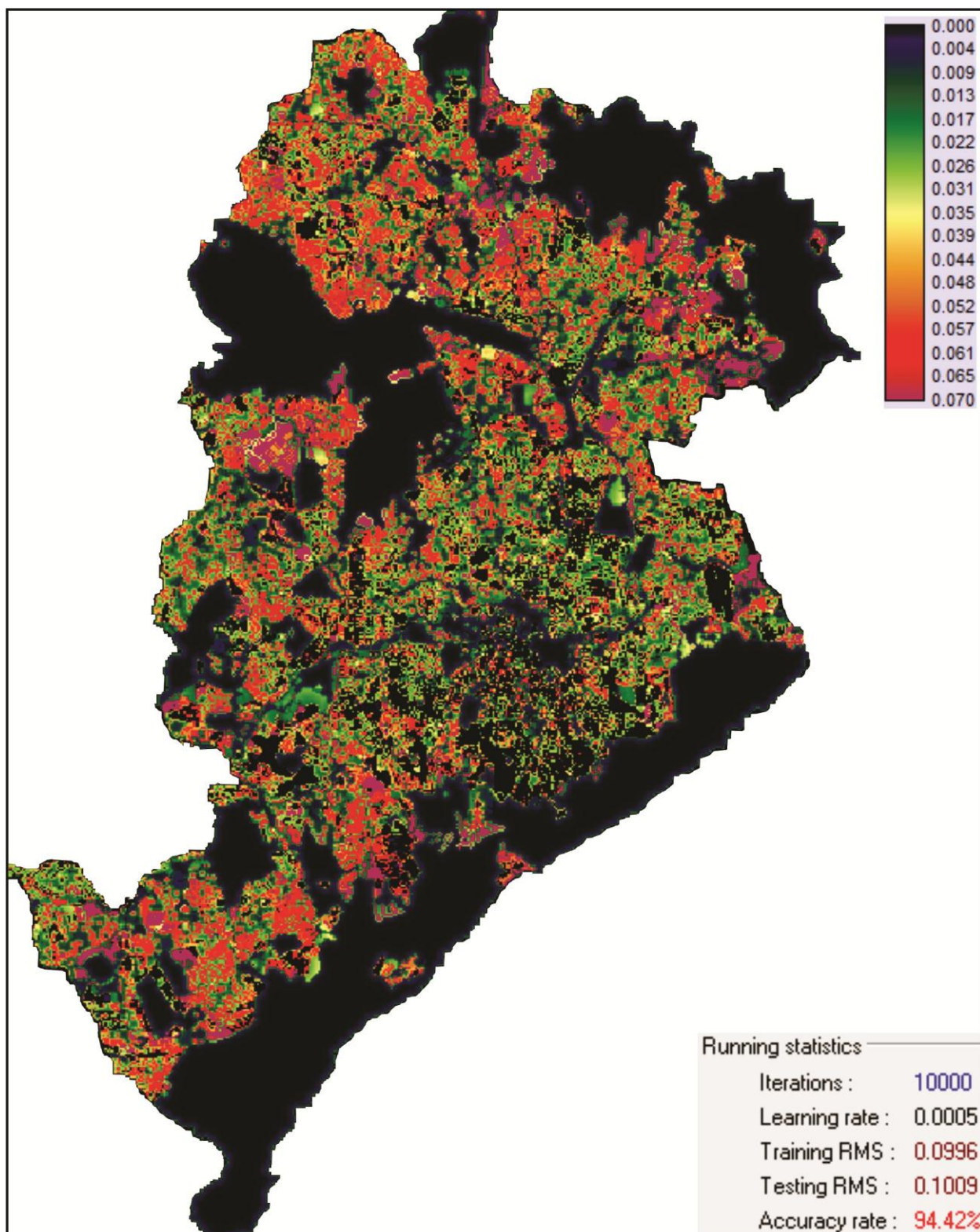
A FIG. 25 apresenta as variáveis com os potenciais de transição obtidos no LCM. Para cada variável utilizada na modelagem, foi calculado seu nível de influência na transição de uma célula para uma categoria mais elevada de adensamento, sendo que quanto mais próximo de zero (cores escuras), maior é a probabilidade dessa camada de informação estimular a célula a aumentar sua densidade. Por outro lado, as variáveis restritivas exerceram função totalmente limitativa ao adensamento nas células que se sobrepuseram a essas categorias.

FIGURA 25 – Variáveis de potencial de transição domiciliar em Belo Horizonte



A FIG. 26 apresenta o modelo de potencial de transição final, calculado segundo os vetores de expansão urbana entre 2000 e 2010, com a incorporação das variáveis estimuladoras e restritivas. Nesta figura, quanto mais próximo de zero (cores escuras), menor é a probabilidade que a célula mude para outra classe de densidade. A análise do modelo mostra que a combinação dos insumos para a simulação apresentou alta consistência, dado que a taxa de precisão calculada pelo LCM foi de 94,42%, o que demonstra que o modelo de simulação reconheceu uma elevada consistência no padrão de evolução entre as classes de adensamento domiciliar.

FIGURA 26 – Potencial de transição entre classes de adensamento domiciliar de Belo Horizonte entre 2010 e 2030



3.4.2 – Projeção domiciliar

A seguir são apresentados os resultados das simulações para 2020 e 2030, que permitiram espacializar a densidade domiciliar do município, assim como projetar o contingente domiciliar futuro. Cada célula em 2010 possuía uma classe de adensamento (variando entre 0 e 8), que foi recalculada para 2020 e posteriormente para 2030. A partir da classe de densidade obtida no LCM em cada data, foi possível projetar o número de domicílios por célula.

Considerando que o resultado da simulação foi o valor de uma classe de adensamento e não um número de domicílios, foi necessário recalcular, para cada célula, o número aproximado de domicílios no futuro. Para isso, existiam três possibilidades de valores a serem extraídos de cada célula em 2020 e 2030: o menor valor de domicílios da classe, o valor máximo e o valor médio; este último foi escolhido para a interpretação dos resultados. A título de ilustração, se uma célula possuía 12,5 domicílios (classe 3) em 2010 e foi transformada para a classe 5 em 2020, significa que ela tende a possuir um número de domicílios variando entre 15,2 e 17,6 como mostrado na TAB. 4. Dado que a análise via *número médio* foi escolhida para a interpretação final dos resultados, essa célula possuirá 16,3 domicílios, ou seja, experimentou um aumento de 3,8 domicílios.

A partir deste procedimento, todas as 134.277 células que englobam o município tiveram seu número de domicílios recalculados para 2020 e posteriormente 2030. Visando dar maior robustez à simulação, a matriz de células resultante do LCM foi distribuída nas quadras do município para que os dados pudessem ser confrontados com os resultados do número máximo de domicílios permitido em cada quadra a partir da Lei 9.959/10, divulgados nos resultados da metodologia desenvolvida por Umbelino et al (2012b)²⁴. Foi verificado, para cada quadra, o número de domicílios projetado e o número máximo de domicílios permitidos pela legislação municipal. Todas as quadras que apresentaram o número de domicílios projetados superior ao permitido foram novamente ajustadas para os valores máximos legais, de tal forma que os dados projetados não ficassem incompatíveis

²⁴ Metodologia e resultados apresentados no Artigo 3 da tese, que simula a quantidade máxima de domicílios permitida em cada quadra de Belo Horizonte.

com os limites estabelecidos pela legislação municipal. À título de exemplo, foi estimado para uma quadra, inicialmente, 150 domicílios em 2030. Se os resultados presentes em Umbelino et (2012b) apontam que essa quadra comporta no máximo 100 domicílios, esse passa a ser o número final da quadra na projeção de 2030.

A TAB. 6 apresenta os três cenários de projeção, o cenário da média domiciliar ajustado conforme a legislação, assim como a população e a taxa de crescimento geométrico anual obtida em cada cenário para 2020 e 2030. Deve-se frisar, como já mencionado, que os dados referentes à Região do Isidoro não foram simulados e sim extraídos de Belo Horizonte (2010b), que prevê a construção de até 67 mil domicílios adicionais na região, durante as próximas duas décadas. Segundo a análise desses dados, fica evidente o grande impacto que a Região do Isidoro causará ao crescimento domiciliar de Belo Horizonte. De acordo com os dados abaixo, se nenhuma outra porção do município for alvo de adensamento e o Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro se efetivar, o município crescerá entre 2010 e 2020 a uma TCG de 0,43% a.a. e passará para um crescimento de 0,36% a.a. entre 2020 e 2030, o que corresponde a um número absoluto de domicílios quase equivalente ao da Regional de Planejamento Pampulha no presente.

TABELA 6 – Total de domicílios de Belo Horizonte em 2000, 2010 e projeções para 2020 e 2030

Projeção domiciliar obtida a partir da simulação	Valores para o total de Belo Horizonte	Valores para a Região do Isidoro*	Valores Belo Horizonte (sem Região do Isidoro)
Total domicílios 2010	767.560	719	766.841
Total domicílios 2020 - menor valor célula	875.280	33.811	841.469
Total domicílios 2020 - valor médio célula	929.103	33.811	895.292
Total domicílios 2020 - maior valor célula	1.006.031	33.811	972.220
Total domicílios 2020 - ajustado	887.782	33.811	853.971
TCG domiciliar 2020 - menor valor célula	1,35	0,43	0,95
TCG domiciliar 2020 - valor médio célula	1,93	0,43	1,55
TCG domiciliar 2020 - maior valor célula	2,77	0,43	2,42
TCG domiciliar 2020 - ajustado legislação	1,47	0,43	1,08
Total domicílios 2030 - menor valor célula	1.053.670	67.623	986.047
Total domicílios 2030 - valor médio célula	1.104.838	67.623	1.037.215
Total domicílios 2030 - maior valor célula	1.205.895	67.623	1.138.272
Total domicílios 2030 - ajustado	1.006.379	67.623	938.756
TCG domiciliar 2030 - menor valor célula	0,95	0,36	0,61
TCG domiciliar 2030 - valor médio célula	1,75	0,36	1,48
TCG domiciliar 2030 - maior valor célula	2,37	0,36	2,07
TCG domiciliar 2030 - ajustado legislação	1,26	0,36	0,95

Nota: Os dados referentes à Região do Isidoro foram extraídos do Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro (Belo Horizonte, 2010).

Fonte dos dados básicos: IBGE (2010), Belo Horizonte (2010), Umbelino et al (2012a, 2012b).

A TAB. 6 permite verificar que a escolha dos valores médios por célula, com posterior ajuste conforme a legislação, foi coerente com as tendências demográficas verificadas nos últimos levantamentos censitários, assim como o resultado de pesquisas similares. A comparação entre os censos de 2000 e 2010 mostra uma TCG dos domicílios mensurada em 1,97% a.a., com tendência de decréscimo, o que converge com os resultados finais deste artigo. As projeções de domicílios para Belo Horizonte apresentadas nas pesquisas Cedeplar (2010) e PDDI (2011) apresentam uma TCG dos domicílios entre 2010 e 2020 de aproximadamente 1,13% a.a., contra 1,47% a.a. dos resultados finais deste artigo, o que aponta certa similaridade entre os dois resultados, indicando que o novo método desenvolvido nessa pesquisa acompanha a tendência demográfica projetada em pesquisas similares.

3.4.2 – Análise dos resultados finais

Os resultados apresentados na TAB. 6 apontam para a continuidade do crescimento domiciliar de Belo Horizonte, embora em um ritmo mais modesto quando comparado à década anterior. Em 2010 a capital possuía 767.560 domicílios e a partir da TCG de 1,47% a.a., chegará em 2020 a aproximadamente 887.782 moradias e continuará em uma TCG de 1,26% a.a. até 2030, quando contará com aproximadamente 1.006.379 domicílios.

A TAB. 7 demonstra a variação da densidade domiciliar e da área ocupada pela mancha urbana do município, evidenciando o processo de expansão e adensamento que tende a ocorrer até 2030. Verifica-se, em 2010, que cerca de 89% de Belo Horizonte (de um total de 33.287 hectares) encontrava-se ocupado pela mancha urbana; em 2030, esse percentual aumentaria para 92%. Os valores de área ocupada só não atingem a totalidade do município porque 2.334 hectares do município são de preservação ambiental permanente (Belo Horizonte 2011a).

De forma complementar, foi inserida na TAB. 7 a média de moradores por domicílio, extraída dos resultados finais do PDDI (2011), o que possibilitou um exercício de aproximação do número total de moradores existentes na capital em 2020 e 2030, apontando uma nova possibilidade de sofisticação do método proposto para atender às projeções populacionais intraurbanas²⁵.

²⁵ Em trabalhos futuros, pretende-se adaptar os métodos aqui desenvolvidos na aplicação de estudos populacionais, de tal forma que seja projetado o número tendencial de pessoas para cada quadra ou célula intraurbana, assim como a simulação do número máximo de pessoas comportada nos ambientes urbanos. A simples aplicação da densidade populacional atual nos resultados das simulações não apresenta resultados consistentes, uma vez que é necessária a separação dos domicílios ocupados e não ocupados, além de uma análise da evolução populacional dentro dos domicílios nas próximas décadas, buscando-se entender os efeitos que o envelhecimento populacional e a diminuição da média de moradores por domicílio irão causar na dinâmica demográfica futura.

TABELA 7 – Total de Domicílios, densidade e área em hectares de Belo Horizonte em 2000, 2010 e projeções para 2020 e 2030

Variável analisada	2010	2020	2030
Total células 50 m x 50m de Belo Horizonte	132.484	132.484	132.484
Total células da mancha urbana	117.482	120.474	121.512
Total Domicílios	767.560	887.782	1.006.379
Área total do município (hectares)	33.287,0	33.287,0	33.287,0
Área total da mancha urbana (hectares)	29.473,0	30.362,4	30.626,7
Percentual ocupado pela mancha urbana	88,5	91,2	92,0
Densidade populacional média por domicílio*	3,08	2,99	2,98
População total*	2.365.761	2.656.478	2.997.986

Nota: *População estimada em 2020 e 2030 a partir da densidade domiciliar publicada em PDDI (2010), aplicada aos dados domiciliares projetados.

Fonte dos dados básicos: IBGE (2010), Belo Horizonte (2010), PDDI (2010), Umbelino et al (2012a, 2012b).

Embora ainda ocorra um singelo espraiamento da mancha urbana, o maior fenômeno de crescimento domiciliar no município ocorrerá por conta do expressivo aumento da densidade domiciliar, decorrente da verticalização e diminuição da área média dos domicílios. Os espaços da capital mais susceptíveis a este processo serão os locais ocupados por lotes vagos e edificações com potencial de demolição. A TAB. 8 apresenta o número total de domicílios e a densidade em hectares para Belo Horizonte, suas nove Regionais de Planejamento e a Região do Isidoro no período entre 2010 e 2030. Analisando a densidade do município como um todo²⁶, verifica-se que a densidade de domicílios passará gradualmente de 53 domicílios por hectare para 69 domicílios por hectare em duas décadas, o que corresponde a um aumento de 31% da densidade domiciliar, gerando mais pressão sobre a infraestrutura urbana em todas as regiões da capital, em menos de duas décadas. A Região do Isidoro será o local com maior adensamento domiciliar do município, atingindo em 2030 uma média de 147 domicílios por hectare. Esta região sofrerá um crescimento domiciliar correspondente ao somatório do que está previsto para três Regionais de Planejamento: Pampulha, Norte (exclusive Isidoro) e Nordeste. Após a região do Isidoro, os aumentos mais expressivos de densidade ocorrerão nessas regionais, enquanto o local com menor aumento da densidade será a regional Barreiro, seguida pelas regionais Noroeste e Centro-Sul.

²⁶ A área utilizada no cálculo da densidade domiciliar foi a área líquida domiciliar de cada Regional de Planejamento, ou seja, a área total das quadras passíveis de adensamento domiciliar.

Em termos de aumento do total de domicílios por regional, os resultados da simulação refletem a tendência apontada por Umbelino et al (2012b), segundo a qual o município passará, na próxima década, por uma saturação de seus lotes vagos e em aproximadamente 10 anos o crescimento domiciliar da capital ocorrerá em sua quase totalidade via demolição de edificações para a construção de apartamentos utilizando a capacidade máxima dos terrenos, no processo denominado “renovação urbana”. Entre 2010 e 2020 as regionais Pampulha, Nordeste e Oeste apresentarão incremento acima de 10 mil domicílios, enquanto os aumentos mais expressivos entre 2020 e 2030 ocorrerão nas regionais Oeste, Pampulha e Centro-Sul. Nesse período, a renovação urbana será a forma mais viável de adensamento domiciliar. Nos dois períodos, a regional Barreiro apresentará o menor acréscimo domiciliar, a partir de um aumento de 7 mil moradias na próxima década, contra 5,7 mil moradias na década seguinte.

TABELA 8 – Total de domicílios por Regionais de Planejamento de Belo Horizonte em 2010 e projeções para 2020 e 2030

Domicílios	Total			TCG		Densidade em hectares		
	2010	2020	2030	2010-	2020-	2010	2020	2030
				2020	2030			
Barreiro	85.703	92.746	98.493	0,8	0,6	50,8	54,9	58,3
Centro-Sul	102.385	111.442	123.935	0,9	1,1	79,5	86,5	96,2
Leste	77.347	85.733	95.027	1,0	1,0	59,0	65,4	72,5
Nordeste	92.203	105.198	113.507	1,3	0,8	47,8	54,5	58,8
Noroeste	88.763	96.228	105.070	0,8	0,9	65,1	70,6	77,0
Norte (sem Isidoro)	63.716	72.928	79.389	1,4	0,9	55,2	63,2	68,8
Oeste	102.344	112.689	126.266	1,0	1,1	61,2	67,4	75,5
Pampulha	73.318	86.966	99.225	1,7	1,3	31,1	36,9	42,1
Venda Nova	81.062	90.041	97.844	1,1	0,8	63,2	70,2	76,3
Norte (só Isidoro)	719	33.811	67.623	47,0	7,2	1,6	73,3	146,6
Total	767.560	887.782	1.006.379	1,5	1,3	52,9	61,2	69,4

Fonte dos dados básicos: IBGE (2010), Belo Horizonte (2010), Umbelino et al (2012a, 2012b).

Quanto à espacialização do adensamento domiciliar por quadras, as FIGs. 27 a 31 completam as informações da TAB. 8, apresentando a densidade domiciliar para cada quadra de Belo Horizonte em 2010 e suas tendências futuras para 2020 e 2030.

TABELA 9 – Total de pessoas por Regionais de Planejamento de Belo Horizonte em 2010 e projeções para 2020 e 2030

Habitantes	Total*			TCG		Densidade em hectares		
				2010-2020	2020-2030	2010	2020	2030
	2010	2020	2030					
Barreiro	264.152	277.521	293.409	0,5	0,6	156,5	164,4	173,8
Centro-Sul	315.569	333.464	369.200	0,6	1,0	244,9	258,8	286,5
Leste	238.398	256.536	283.084	0,7	1,0	181,8	195,7	215,9
Nordeste	284.187	314.780	338.135	1,0	0,7	147,3	163,1	175,2
Noroeste	273.584	287.940	313.002	0,5	0,8	200,6	211,1	229,5
Norte (sem Isidoro)	196.384	218.220	236.498	1,1	0,8	170,1	189,1	204,9
Oeste	315.443	337.195	376.144	0,7	1,1	188,7	201,7	225,0
Pampulha	225.980	260.225	295.590	1,4	1,3	95,8	110,4	125,4
Venda Nova	249.848	269.426	291.476	0,8	0,8	194,9	210,2	227,4
Norte (só Isidoro)	2.216	101.171	201.448	46,5	7,1	4,8	219,3	436,6
Total	2.365.761	2.656.478	2.997.986	1,2	1,2	163,1	183,1	206,6

Nota: *População estimada em 2020 e 2030 a partir da densidade domiciliar publicada em PDDI (2010), aplicada aos dados domiciliares projetados.

Fonte dos dados básicos: IBGE (2010), Belo Horizonte (2010), PDDI (2010), Umbelino et al (2012a, 2012b).

FIGURA 27 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte em 2010

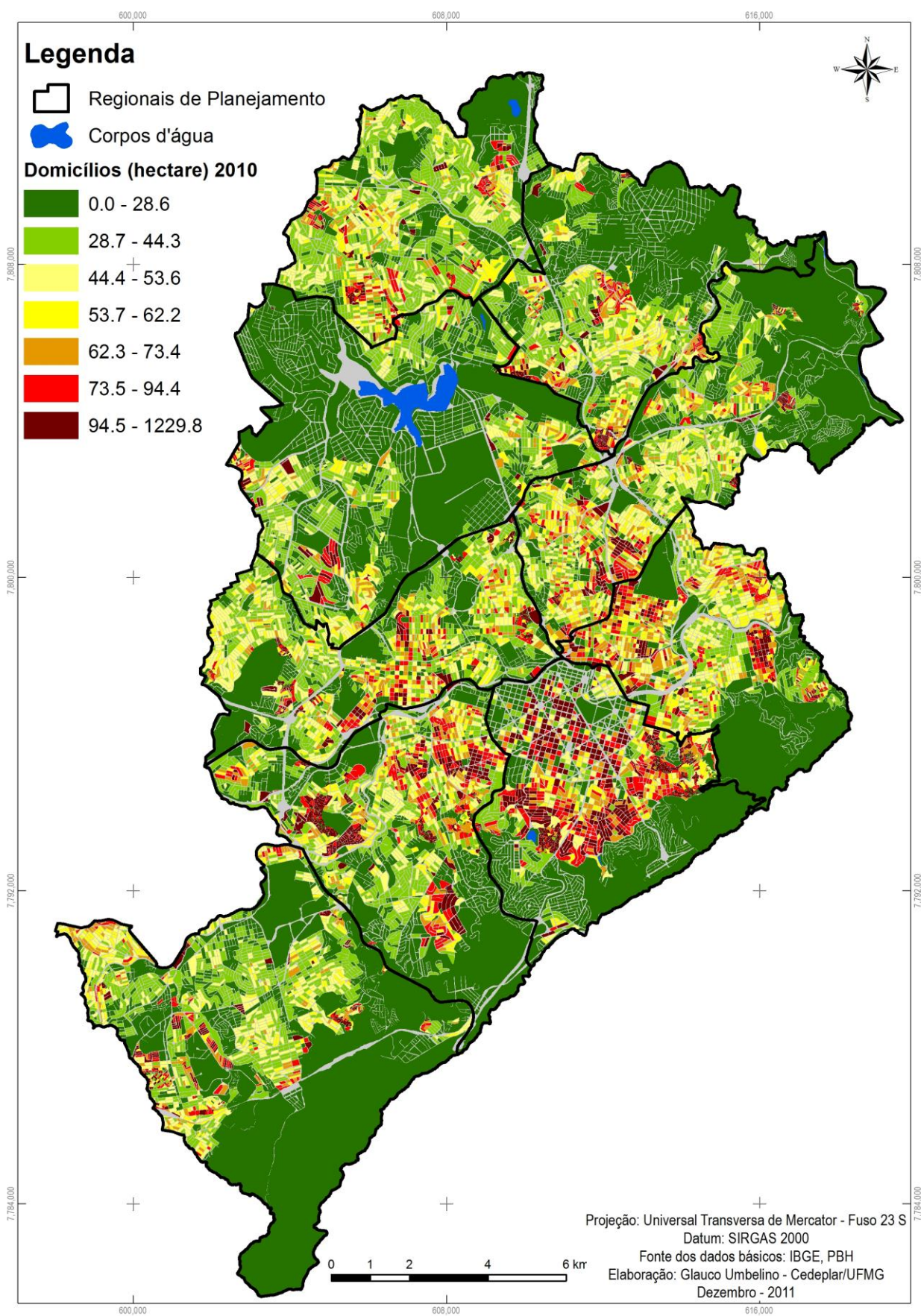


FIGURA 28 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2020

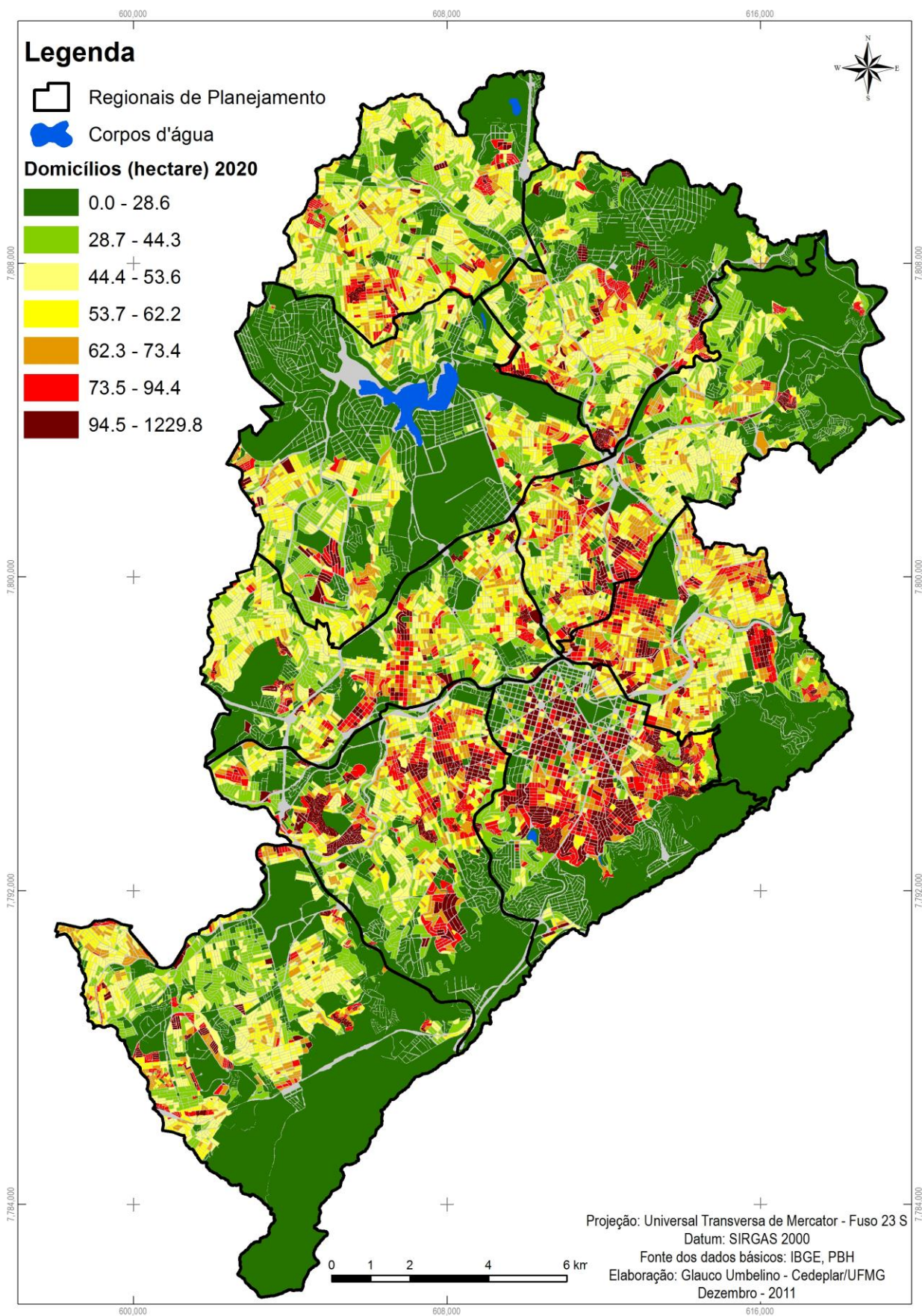


FIGURA 29 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2030

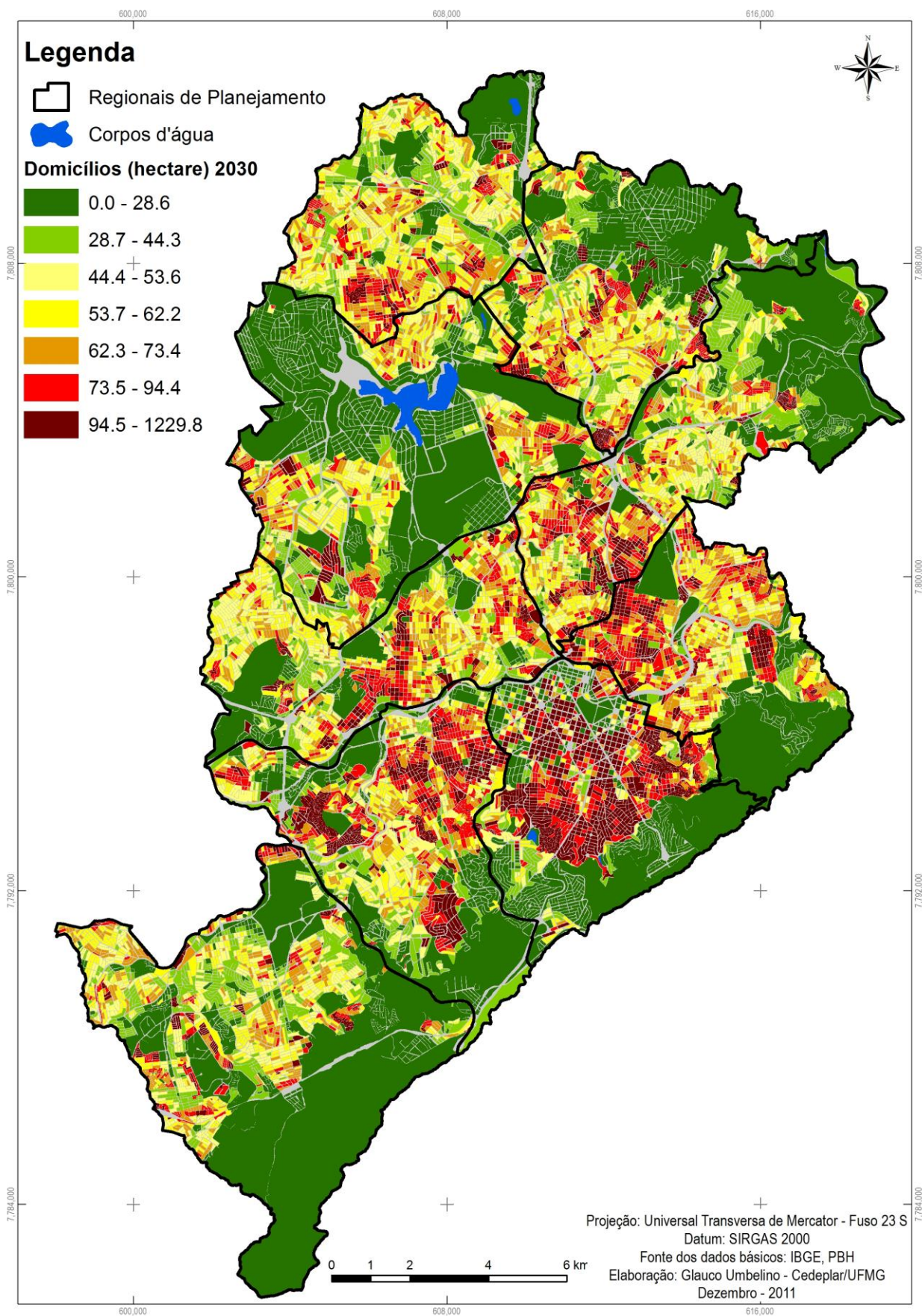


FIGURA 30 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2020, ajustadas pela Renovação Urbana

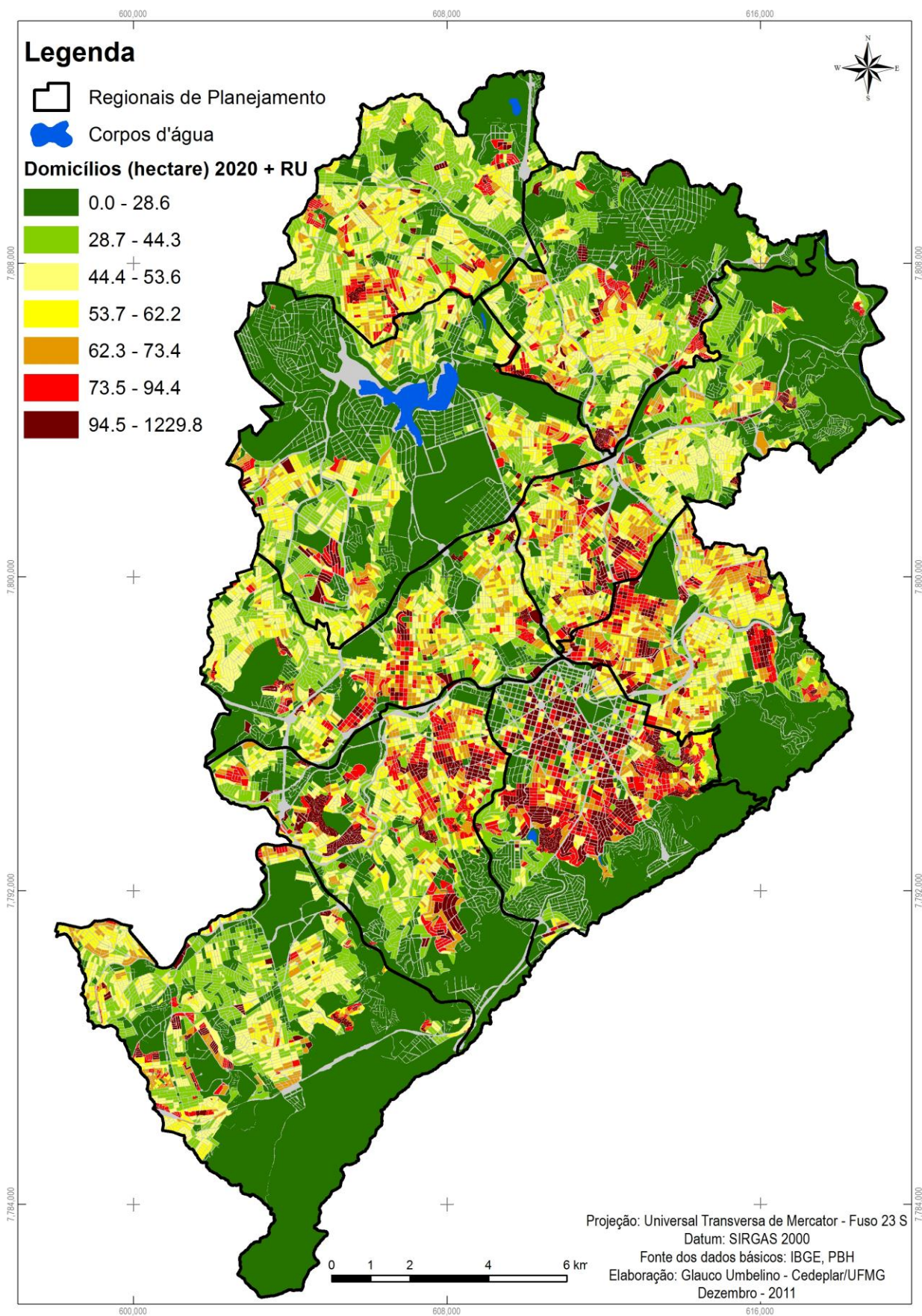
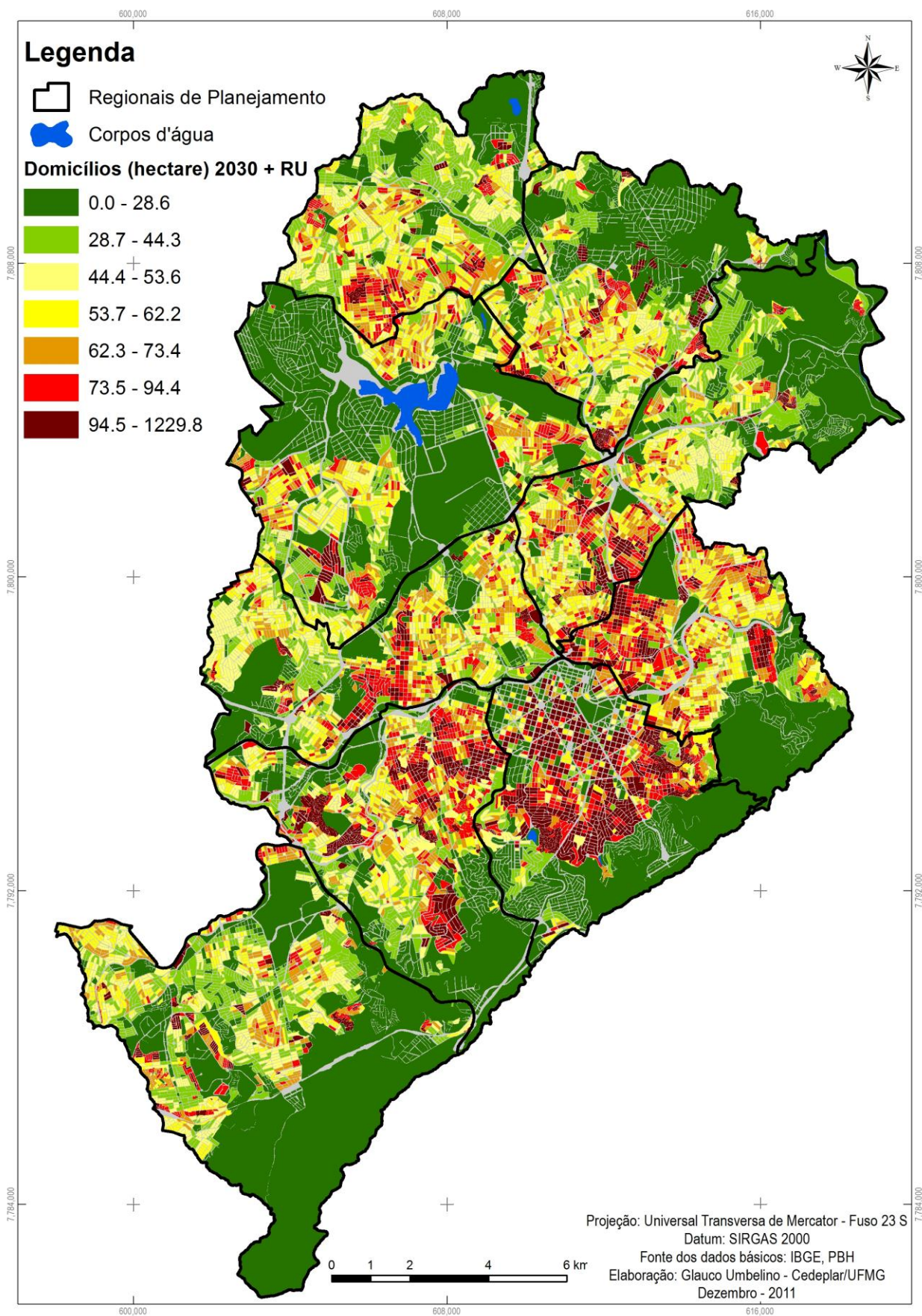


FIGURA 31 – Domicílios por hectare nas quadras de Belo Horizonte simuladas em 2030, ajustadas pela Renovação Urbana



3.5 - Conclusão

Um dos grandes desafios dos gestores municipais é ordenar a expansão e adensamento domiciliar de forma a propiciar um desenvolvimento equilibrado e sustentável no longo prazo, com geração de riqueza, qualidade de vida e qualidade ambiental para habitantes do presente e do futuro (Araújo e Caram, 2006). A proposta metodológica deste artigo responde à demanda pela criação de instrumentos eficientes de planejamento em escalas intraurbanas que possam atenuar os desequilíbrios causados pelo crescimento demográfico desordenado ocorrido no passado, o qual proporcionou um elevado grau de ocupação da capital mineira, que encontra-se próxima à saturação dos espaços de expansão urbana.

Os cenários construídos para 2020 e 2030 identificam os potenciais rumos do processo de adensamento da capital e as suas repercussões em uma escala intraurbana. Não obstante, uma análise mais aprofundada dos dados permitirá verificar as implicações positivas e negativas que o crescimento e adensamento domiciliar causarão no planejamento urbano de Belo Horizonte, principalmente por meio da verticalização. Uma hipótese a ser investigada, e defendida por alguns autores, é sobre a existência de razões demográficas, socioeconômicas e ambientais que fariam os grandes centros urbanos adensados potencialmente mais sustentáveis a médio e longo prazos, por gerarem economias de escala que possibilitem a oferta mais eficiente de serviços e infraestrutura, desde que políticas de manutenção da infraestrutura urbana voltadas para o adensamento sejam adotadas (Martine, 2007; PRB, 2010).

Dado o avanço das tecnologias voltadas à análise espacial, a tendência verificada é de uma gradual incorporação dos estudos preditivos nas análises territoriais, particularmente em função das possibilidades de análise integrada de fatores ambientais, socioeconômicos e demográficos na representação da dinâmica espacial e do planejamento de curto, médio e longo prazos. A metodologia proposta neste artigo permite avaliar a dinâmica do uso do solo urbano, como o espraiamento e adensamento domiciliar, em diferentes momentos no tempo. Por ser uma ferramenta de alto desempenho, que possui aplicação direta na

simulação de mudanças na ocupação urbana, verifica-se que a modelagem dinâmica via autômatos celulares e mapeamento dasimétrico tende a apresentar maior difusão e aplicabilidade nas diversas subáreas de estudos populacionais. Particularmente em pesquisas para pequenas áreas, o uso de Sistemas Complexos, representados a partir de autômatos celulares aliados à técnica do mapeamento dasimétrico, permitiu um alto nível de detalhamento para simulações da evolução do adensamento domiciliar.

A proposta metodológica considerou as tendências de crescimento e adensamento domiciliar existentes nos últimos levantamentos censitários, bem como em outras pesquisas voltadas para a projeção domiciliar da capital (Cedeplar, 2010; PDDI, 2011). Cabe ressaltar aqui uma significativa diferença entre essa pesquisa e as projeções convencionais de população, que ocorrem segundo o desmembramento dos resultados de uma unidade maior em unidades menores (cima para baixo ou *top down*). Nos Sistemas Complexos, categoria em que se enquadram os autômatos celulares, a simulação ocorre de forma inversa, através de uma unidade menor que é agregada em unidades maiores (baixo para cima ou *bottom up*) (Batty, 2005). Para estudos em pequenas escalas, é evidente que o nível de precisão oriundo de estudos na lógica *bottom up* é bem mais elevado do que o verificado nas pesquisas do tipo *top down*, dado que especificidades locais são agregadas nas projeções. Tal fato dá um caráter inovador à metodologia desenvolvida, que pode auxiliar nas simulações da evolução do adensamento domiciliar intraurbano.

A metodologia proposta, porém, apresenta algumas limitações que serão consideradas para aprimorar trabalhos futuros. Um primeiro aspecto é o oposto da vantagem mencionada acima, sobre a abordagem *bottom up*: a difícil replicação do modelo para unidades espaciais muito grandes, tendo em vista que as especificidades locais perdem o significado em uma escala mais agregada. Em segundo lugar, deve-se ressaltar que a qualidade dos insumos básicos fornecidos pelo IBGE e pela PBH é o principal responsável pela qualidade do produto final e seu constante aprimoramento contribui para uma simulação cada vez mais precisa. Outra limitação da metodologia refere-se à sua restrição espacial aos limites de Belo Horizonte. Em uma época na qual o planejamento metropolitano

está cada vez mais consolidado, a necessidade de construção de bases cadastrais para os demais municípios da RMBH deve ser questão prioritária para a efetivação de um planejamento integrado da expansão metropolitana.

Estudos ambientais demonstram que a paisagem não pode ser planejada apenas a partir de prioridades econômicas que remetem à perda dos valores ambientais (Leite, 1994). Partindo deste princípio, outro desdobramento na análise dos resultados pode vir nos estudos de hemerobia, na qual é avaliado o grau de antropização do ambiente, de tal forma que seja possível o planejamento da paisagem e da qualidade ambiental urbana. Os cenários de expansão domiciliar obtidos neste artigo demonstram para onde e quanto Belo Horizonte tende a crescer. Tais resultados são a base para a formulação de princípios voltados ao planejamento e gestão urbana ambientalmente sustentáveis (Troppmair, 1983; Nucci, 1996 e 2008).

Abre-se aqui uma linha de pesquisa para trabalhos futuros: articular as possibilidades analíticas geradas pela Ciência da Complexidade, como demonstrado no exercício para Belo Horizonte, à discussão teórica sobre capacidade de suporte em regiões urbanas. Em outras palavras, segundo este referencial teórico e havendo a disponibilidade de informações pertinentes (por exemplo, sobre infraestrutura urbana, carga urbana de poluentes e cenários de transporte), poder-se-ia construir cenários de capacidade de suporte que associem as projeções de domicílios, na forma descrita neste artigo, e suas repercussões em termos de limites de qualidade de vida e qualidade ambiental²⁷.

Especificamente em relação aos cenários aqui propostos, nota-se que Belo Horizonte tende a elevar em 1/3 sua densidade domiciliar nas próximas duas

²⁷ Alguns estudos nessa linha poderiam incluir: a) análise da distribuição e adensamento populacional e domiciliar decorrente de edificações do tipo casa e apartamento, por cada quadra da capital; b) análise da distribuição e adensamento domiciliar e populacional em áreas de risco; c) simulação da distribuição domiciliar e adensamento decorrentes de novos planos de urbanização, similares ao da Região do Isidoro; d) projeção demográfica estratificada (características espaciais, nível ou capacidade de consumo, etc); e) simulação da explosão do tráfego veicular decorrente do adensamento demográfico e suas implicações para o planejamento do transporte público; f) simulação do adensamento de edificações não residenciais e da oferta e demanda de equipamentos urbanos (escolas, hospitais, parques, lugares públicos, equipamentos de saneamento); g) análise dos impactos da verticalização na infraestrutura urbana e na qualidade ambiental domiciliar (por exemplo o efeito da verticalização nas correntes de vento, ou seu efeito na diminuição da incidência de raios solares em edifícios já existentes, o que interfere na salubridade local, assim como no uso de energia solar).

décadas, o que constitui um enorme desafio para o planejamento do município, cujos problemas de infraestrutura urbana serão agravados, caso não sejam adotadas medidas mitigadoras para planejar essa densificação domiciliar. Essa tendência, que será ainda mais acelerada durante a próxima década, estará fortemente relacionada à construção de apartamentos a partir de lotes vagos, enquanto na década seguinte o ritmo será mais acelerado a partir da renovação urbana de terrenos edificadas, uma vez que os lotes vagos da capital estarão próximos do seu esgotamento. Tal evidência deve ser considerada no planejamento da capital e municípios limítrofes, que podem se direcionar para o mesmo processo de adensamento domiciliar, ou então sofrerem pressões de deseconomias de escala e de aglomeração em função do processo de adensamento em Belo Horizonte (por exemplo, pressões por habitações precárias).

Cabe refletir, dessa forma, sobre *onde* o zoneamento da capital permitirá a implantação de novos conjuntos habitacionais, novos condomínios fechados e novos bairros, dado que a população mais carente está se deslocando cada vez mais para determinados espaços das periferias de Belo Horizonte ou para os municípios limítrofes. Nesse sentido, deve-se ressaltar que o adensamento domiciliar da Região do Isidoro não suprirá a deficiência de habitação para a população mais pobre, uma vez que somente 10% das moradias (cerca de 6,7 mil) estão previamente destinadas a conjuntos habitacionais.

Os cenários simulados evidenciam o grande impacto que os empreendimentos da Região do Isidoro causarão à capital, uma vez que seu crescimento domiciliar será igual ao crescimento total previsto para as Regionais Pampulha, Norte (exclusive Isidoro) e Nordeste, os locais com as maiores TCGs previstas para a capital. Tal fato também configura uma especificidade na ocupação domiciliar da capital, e talvez seja o maior desafio para seu planejamento na próxima década. Recomenda-se que esse processo seja acompanhado por uma contínua análise dos impactos locais e regionais que o adensamento da Região do Isidoro causará à medida que as novas moradias forem construídas.

Há, em relação à discussão acima, uma conclusão chave para se pensar os rumos e o futuro de Belo Horizonte, por si mesmo, e em suas interações com os

municípios próximos: a necessidade de uma perspectiva de planejamento integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Tal perspectiva, a rigor, foi lançada (e reforçada) com o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH (PDDI, 2011).

Por fim, outra questão que pode interferir nos resultados das projeções domiciliares é a evolução da transição demográfica nos grandes centros urbanos, que pode alterar a velocidade e a forma do processo de adensamento domiciliar, conforme tem sido verificado nos países em estágios mais avançados dessa transição. Como a longevidade da população aumenta a cada ano, as pessoas idosas estão demorando mais para ceder seus domicílios aos herdeiros. Além disso, as grandes cidades presenciam o aumento de domicílios unipessoais e a constante diminuição da densidade de pessoas por domicílio. A combinação destes dois fatores certamente estimulará nas próximas décadas o aumento da demanda domiciliar, sendo que as incorporadoras imobiliárias já estão atentas às novas exigências do mercado, cada vez mais voltado para famílias menores.

Referências bibliográficas

ARAÚJO, B., CARAM, R. Análise Ambiental: Estudo Bioclimático Urbano em Centro Histórico. **Ambiente & Sociedade**. v.9, n.1, p.149-167. 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2006000100008>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

BATTY, M. et al. Modeling Urban Dynamics through GIS-Based Cellular Automata. **Computers, Environments and Urban Systems**. v.23, n.3, p.205-233. 1999.

BATTY, M. **Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals**. Cambridge: MIT Press, 2005. 589p.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 7.165, de 27 de agosto de 1996. Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: 1996a.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1996b. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-7166.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 9.959/10, de 20 de julho de 2010. Altera as leis nº 7.165/96 – que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte – e nº 7.166/96 – que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte. 2010a. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-9959.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – Secretaria Municipal de Políticas Urbanas (Circulação restrita). 2010b.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Bases georreferenciadas de Regionais de Planejamento, quadras e lotes do Cadastro Técnico Municipal (CTM)**, referentes a setembro de 2011 (Circulação restrita). Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2011a.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Base georreferenciada do Zoneamento Municipal**, referente a setembro de 2011 (Circulação restrita). Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2011b.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Base georreferenciada das áreas de Operações Urbanas**, referentes a setembro de 2011 (Circulação restrita). Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2011c.

BILLARI, F., PRSKAWETZ, A. **Agent-Based Computational Demography – Using simulation to improve our understanding of demographic behaviour**. Heidelberg: Physica-Verlag, 2003. 210p.

BRASIL. Estatuto da Cidade - Guia para implementação pelos municípios e cidadãos: Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001, que estabelece diretrizes gerais da política urbana. **Senado Federal**. Brasília, Senado Federal, 2005.

BRITO, F., SOUZA, J. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em Perspectiva**. v.19, n.4, p.43-63. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392005000400003>. Acesso em: 14 nov. 2010.

BUARQUE, S. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Brasília: Ipea, 2003 (Texto para discussão, 939).

CALDAS, M. et al. **Estudos Urbanos - Belo Horizonte 2008: transformações recentes na estrutura urbana**. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2008. 513p.

CASTELLS, M. **A questão urbana**. São Paulo: Paz e Terra, 1983. 506p.

CEDEPLAR – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. **Projeção populacional e domiciliar para os municípios de Minas Gerais 2010-2030**. Relatório de pesquisa (circulação restrita). Belo Horizonte: Cedeplar, 2010.

CELADE. **Metodos para Proyecciones Demográficas**. Santiago, Chile: CELADE, 1984.

CLARKE, K. et al. A cellular automaton model of wildfire propagation and extinction. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.60, n.11, p.1355-1367. 1994.

COSTA, H. et al. **Novas periferias metropolitanas**. A expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no eixo sul. Belo Horizonte: C/Arte, 2006. 464p.

COSTA, H., MONTE-MÓR, R. Urbanization and environment: trends and patterns in contemporary Brazil. In: HOGAN, D. et al (Orgs.). **Population and environment in Brazil: Rio + 10**. Campinas, S.P.: CNPD, ABEP, NEPO, 2002. p. 127-146.

COTA, D. **A parceria público-privada na política urbana brasileira recente: reflexões a partir da análise das operações urbanas em Belo Horizonte**. 2010. 430f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DAVIS, C., FONSECA, F. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográficos**. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia/UFMG, 2001. 261p.

DE BY, R. et. Al. **Principles of Geographic Information Systems – An Introductory Textbook**. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001. 490p.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Estatística mensal da frota veicular municipal**. Brasília: Ministério das Cidades/DENATRAN, 2012. Disponível em <www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em 10 jan. 2012.

DUTENKEFER, E. **Representações do espaço geográfico: mapas dasimétricos, anamorfozes e modelização gráfica**. 2010. 154f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de São Paulo - Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, São Paulo, 2010.

EASTMAN, J. et al. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.61, n.5, p.539-547. 1995.

EASTMAN, J. **Idrisi Taiga Tutorial**. Massachusetts: Clark Labs, 2009. 342p. Disponível em <www.clarklabs.org>. Acesso em 03 fev. 2010.

EICHER, C., BREWER, C. Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. **Cartography and Geographic Information Science**. v.28, n.2, p.125–138. 2001.

EPAMINONDAS, L. **A legislação urbanística e a produção do espaço: estudo do bairro Burity em Belo Horizonte**. 2006. 211f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FÍGOLI, M. et al. Projeção populacional, por sexo e grupos de idades quinquenais Mesorregiões e total de Minas Gerais, 2010-2030. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 14, 2010, Diamantina-MG. **Anais**. Diamantina: Cedeplar, 2010.

FJP - Fundação João Pinheiro. **O mercado da Terra na RMBH: estudo de caso no entorno do aeroporto de Confins**. Relatório de pesquisa (circulação restrita). Belo Horizonte: FJP, 2010.

FREIRE, F. **Projeção populacional para pequenas áreas pelo método das componentes demográficas usando estimadores bayesianos espaciais**. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

HAWLEY, K. **A comparative analysis of areal interpolation methods**. 2005. 99f. Tese (Mestrado em Artes). The Ohio State University, Columbus, 2005.

IBGE. **Censo demográfico 2000**: agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **Censo demográfico 2010**: agregado por Setores censitários dos resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em <ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios>. Acesso em 30 out. 2011.

JANNUZZI, P. Cenários futuros e projeções populacionais para pequenas áreas: método e aplicação para distritos paulistanos 2000-2010. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.24, n.1, p.109-136. 2007.

KAMPEL, S. **Geoinformação para estudos demográficos**: representação espacial de dados de população na amazônia brasileira. 2003. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LANGFORD, M. et al. The areal interpolation problem: Estimating population using remote sensing in a GIS framework. In: MASSER, I., BLAKEMORE, M. **Handling geographic information: Methodology and potential applications**. Londres: Longman, 1991. p.55-77.

LEIVA, G. **Composição, formação e localização de domicílios**: um estudo dos domicílios com jovem adulto. 2012. 203f. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

LEMOS, M. et al (Orgs.). **Belo Horizonte no Século XXI**. Belo Horizonte: Cedeplar, 2004. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/projetos-concluidos/projeto-bh-seculo-xxi.php>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

LIMA, C., MENDONÇA, F. Planejamento urbano-regional e crise ambiental: Região Metropolitana de Curitiba. **São Paulo Perspectiva**. v.15, n.1, p.135-143. 2001. Disponível em: <<dx.doi.org/10.1590/S0102-88392001000100015>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

LONGLEY, P. et al (Orgs.) **Geographic Information Systems and Science**. New York: John Wiley and Sons, 2005. 512p.

MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.24, n.2, p.181-190. 2007.

MATOS, R. **Impactos da legislação urbanística sobre a estrutura urbana de Belo Horizonte**: um estudo de caso. 217f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1984.

MATOS, R. **Evolução Urbana e Formação Econômica de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1992. 39p. (Texto para discussão, 64).

MATOS, R. et al. Pobreza urbana e a dimensão socioespacial nos processos de redistribuição da população em periferias de Belo Horizonte. In: MATOS, Ralfo (Org.). **Espacialidades em rede**: população, urbanização e migração no Brasil contemporâneo. Belo Horizonte: C/Arte, 2005. p.213-231.

MENNIS, J., HULTGREN, T. Intelligent dasymmetric mapping and its application to areal interpolation. **Cartography and Geographic Information Science**. v.33, n.3, p.179-194. 2006.

MILLER, J., PAGE, S. **Complex adaptive systems**: an introduction to computational models of social life. Princeton: Princeton University Press, 2007. 284p.

MONTE-MÓR, R. et al. **Belo Horizonte**: espaços e tempos em construção. Belo Horizonte: Cedeplar/PBH, 1994. 94p.

NUCCI, J. **Qualidade ambiental e adensamento**: um estudo de planejamento da paisagem do distrito de Santa Cecília. 1996. 229f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo - Programa de Pós-Graduação em Geografia, São Paulo, 1996.

NUCCI, J. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/Fapesp, 2008, 236p. Disponível em: <www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs>. Acesso em: 07 fev. 2012.

NUNES, L. **Mobilidade populacional na Região Metropolitana de Belo Horizonte**: o caso dos municípios do Eixo da Linha Verde – 1991/2000. 146f. Dissertação (Mestrado em Demografia) - Cedeplar/UFMG, 2008.

PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Relatório final de definição das propostas de políticas setoriais, projetos e Investimentos prioritários**. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2011. Disponível em: <www.rmbh.org.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

PEDROSA, B., CÂMARA, G. Modelagem Dinâmica: conceitos básicos e exemplos de sistemas (Capítulo 1). In: CÂMARA, G., MONTEIRO, A. (Orgs). **Introdução a Modelagem Dinâmica Espacial**. Belo Horizonte: INPE, 2003. p.1-41.

POLIDORI, M. **Crescimento urbano e ambiente**: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. 2004. 352f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PRB – Population Reference Bureau. **World Population Highlights**: Key Findings for PRB 2010 World Population Data Sheet. Population Bulletin. New York: Population Reference Bureau, v.65, n.2. 2010. Disponível em: <<http://www.prb.org/pdf11/world-at-7-billion.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

SANTOS, R. **Projeções populacionais para pequenas áreas a partir de cenários econômicos**: aplicação de ratio methods para a região do Alto Paraopeba-MG, 2010-2025. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SATHLER, D. A Virada Metropolitana na RMBH: transformações, desafios e oportunidades. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 12, 2011, Belo Horizonte. Anais eletrônicos. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2011. Disponível em: <<http://xiisimpurb2011.com.br/app/web/arq/trabalhos/4b423fc2d688eab8cf98547e839d31d8.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

SILVA, H. **Aspectos demográficos associados à geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte, 2002**. 197f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

STOTO, M. The accuracy of population projections. **Journal of the American Statistical Association**. v.78, n.1, p.13-20. 1983.

TORRE, F. **Aspectos da dimensão ambiental no processo de consolidação do plano diretor de belo horizonte (1993-2000)**: atores e interesses. 2003. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

TROPMAIR, H. Ecossistemas e Geossistemas do Estado de São Paulo. **Geografia**. v.13, n.25, p.27-36. 1983.

UMBELINO, G. **Proposta metodológica para avaliação da população residente em áreas de risco ambiental**: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Onça/MG. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

UMBELINO, G., BARBIERI, A. Uso de autômatos celulares em estudos de população, espaço e ambiente. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 17, 2010, Caxambu. **Anais eletrônicos**. Caxambu: ABEP, 2010. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs_pdf/eixo_2/abep2010_2432.pdf>. Acesso em: 25 set. 2011.

UMBELINO, G. et al. **Uso de autômatos celulares na simulação da expansão urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2010 a 2030**. Artigo não publicado (No prelo) 2012a.

UMBELINO, G. et al. **Simulação da quantidade máxima de domicílios permitida em Belo Horizonte a partir de 2011**. Artigo não publicado (No prelo) 2012b.

UNFPA. **Relatório sobre a Situação da População Mundial 2011: Pessoas e possibilidades em um mundo de 7 bilhões**. UNFPA: Brasília, 2011. 125p.

WAGNER, D. Cellular automata and geographic information system. **Environment and Planning**. v.24, n.5, p.193-204. 1997.

WALDVOGEL, B. **Técnicas de projeção populacional para planejamento regional**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1998.

4 – ARTIGO 3 – PROJEÇÃO DA QUANTIDADE MÁXIMA DE DOMICÍLIOS PERMITIDA EM BELO HORIZONTE A PARTIR DE 2011

Resumo

O artigo propõe, segundo um conjunto de pressupostos derivados da literatura e da legislação urbanística municipal de Belo Horizonte (Leis 7165/96, 7166/96 e 9.959/10), uma metodologia de projeção da quantidade máxima de domicílios comportada por cada quadra do município. Os parâmetros utilizados na simulação foram extraídos das informações cadastrais da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, associadas com os resultados do Universo dos Censos 2000 e 2010. A simulação é desenvolvida a partir de uma base georreferenciada compatibilizada para todas as quadras do município, construída através do mapeamento dasimétrico da distribuição domiciliar na capital em 2011. Em um segundo momento, é realizada a projeção do limite máximo de novos domicílios permitidos pelas leis municipais, caso todos os lotes vagos sejam ocupados em sua capacidade máxima domiciliar e caso todas as edificações com potencial de demolição cedam lugar a novos edifícios residenciais também construídos em sua capacidade domiciliar máxima. Os resultados mostram o número atual de domicílios e qual seria o máximo que poderia vir a se instalar em Belo Horizonte no futuro. As informações produzidas apontam caminhos para discutir as dimensões da ocupação urbana da capital e em escala refinada, os limites potenciais dessa ocupação, as áreas preferenciais de adensamento e suas implicações para o planejamento da capital. De forma complementar, servem como um novo insumo para os dados de projeções demográficas de pequenas áreas, ao apontar onde a expansão e o adensamento domiciliar podem ocorrer, bem como o limite máximo suportado em cada quadra.

Palavras-chave: Geotecnologias, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mapeamento dasimétrico, expansão urbana, domicílios, adensamento urbano, zoneamento, Belo Horizonte.

Abstract

This paper proposes a methodology to project scenarios of maximum number of households for each *quadra* (a fine scale intramunicipal unit) in the municipality of Belo Horizonte. It departs from assumptions and hypotheses derived from the literature and from urban zoning laws, and parameters built from secondary public data (municipal and from the 2000 and 2010 Brazilian censuses). A Geographical Information System (GIS) combined with techniques of dasymetric mapping allowed the construction of detailed information and simulations for each *quadra* in 2011. These information, combined with the limits of occupation established by municipal law, are used to project the maximum number of households allowed to be built in the future if all vacant urban land are occupied in their maximum capacity, and if smaller size buildings with potential risk of demolition are substituted for new buildings in their maximum household capacity (particularly in areas of high real estate value). The results show the actual number of households in Belo Horizonte and the maximum number in the future if these conditions are achieved. It is expected that these scenarios help to guide discussions about potential alternatives of urban expansions and verticalization in a fine scale, the limits of occupation, priority areas for occupation, and their implications for urban planning. Nonetheless, it is expected that the paper provides a contribution for the field of small area population.

Keywords: Geotechnologies, Geographic Information System (GIS), dasymetric mapping, urban sprawl, households, urban densification, urban zoning, Belo Horizonte municipality.

4.1 - Introdução

Um dos grandes desafios dos gestores municipais de países em desenvolvimento é como associar um crescimento urbano que tende a dobrar até 2025 (PRB, 2010; UNFPA, 2011), a um processo de desenvolvimento urbano inclusivo e sustentável que proporcione a geração de riqueza, a qualidade de vida e a qualidade ambiental para habitantes do presente e do futuro (Araújo e Caram, 2006, Martine, 2007; PRB, 2010). A expansão urbana (horizontal) das cidades passa cada vez mais a ser acompanhada do adensamento (expansão vertical) na maioria dos aglomerados urbanos, o que agrava seus problemas de planejamento à medida que a população aumenta (Lemos et al, 2004, PDDI, 2011; UNFPA, 2011).

Além das questões sobre o desenvolvimento sustentável e inclusivo, a tendência de concentração urbana e os efeitos decorrentes deste processo constituem um grande desafio para o planejamento territorial em termos da ordenação do adensamento. Tal ordenação tende a evitar ocupações irregulares, bem como prover a população com serviços públicos, infraestrutura urbana e qualidade ambiental adequada nos espaços urbanos.

O crescimento demográfico experimentado pelas cidades combinado à baixa atuação de um Poder Público efetivamente regulador das relações econômicas e de mercado têm sido agravante de inúmeros problemas fomentados pela ausência de políticas que contemplem questões de ordem social, econômica e ambiental. As dificuldades com a regulação urbana dos municípios estão relacionadas com diversos problemas, tais como controle da poluição, segurança pública, falta de vegetação e espaços livres públicos, ausência de desenvolvimento econômico, reabilitação de áreas centrais, políticas habitacionais, regularização fundiária, transporte e mobilidade e saneamento ambiental. De forma paralela, aparecem outras questões de ocupação do solo, como os estudos de impactos de vizinhança, os instrumentos tributários e de indução de desenvolvimento, a descentralização de funções, a circulação urbana, o transporte coletivo, o uso e ocupação do solo, a distribuição dos serviços

públicos e as propostas de apropriação mais coletiva do capital da cidade (Costa e Monte-Mór, 2002, Nucci 2008; Tonetti, 2011).

Equilibrar as demandas por um desenvolvimento urbano inclusivo de forma a contemplar questões físico-territoriais, econômicas, sociais, políticas, ambientais e de gestão tem sido o maior desafio da administração municipal em grandes centros urbanos. Diante desse quadro, a administração pública municipal demanda competência e efetividade dos seus gestores, que devem agir por meio de instrumentos técnicos, modernos e práticos de planejamento e gestão, tais como os advindos das geotecnologias (Torres, 2006; Rezende e Ultramari, 2007; UNFPA, 2011).

Essa demanda por qualificação do processo de planejamento encontra um grande desafio nos números: o Censo de 2010 mostra um contingente de 190.755.799 habitantes vivendo em 67.569.688 domicílios. Calculou-se que cerca de 84% dessa população está localizada em áreas urbanas, que ocupam aproximadamente 101.503 km², o que corresponde a 1,2% do território nacional (IBGE, 2011). No caso de Belo Horizonte, dos 332,33 km² do município, foi mensurado que 294,73 km² estão ocupados pela mancha urbana e vários locais se encontram com a ocupação futura aprovada, sendo o mais expressivo o Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro, que contempla a expansão urbana de uma área aproximada de 5 km² (Belo Horizonte, 2010).

Nesse contexto, o presente trabalho desenvolve uma metodologia de projeção por quadra²⁸ da capacidade máxima de domicílios comportada por Belo Horizonte, a partir da análise da legislação urbanística e ambiental (Leis 7165/96, 7166/96 e 9.959/10). Os parâmetros utilizados foram extraídos das informações cadastrais da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH), associadas aos resultados do Universo dos Censos 2000 e 2010. A projeção é desenvolvida segundo Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que buscam simular a realidade do espaço geográfico, permitindo o armazenamento, manipulação e análise de dados geográficos num ambiente computacional. Esses dados representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à

²⁸ A quadra ou quarteirão é a unidade de análise formada por um polígono circundado pela malha viária, que comporta todos os lotes e espaços públicos do município.

informação e é indispensável para investigá-la (Davis e Fonseca, 2001; De By et al, 2001; Longley et al, 2005). O SIG possibilita a análise sistêmica do ambiente urbano, gerando inúmeros benefícios para o gestor de políticas públicas, como a incorporação da dimensão espacial dos fenômenos analisados de forma consistente e precisa, a análise integradora de informações intersetoriais e a fiscalização de áreas urbanas.

O SIG utilizado nesse artigo é representado por uma base georreferenciada para todas as quadras do município, construída a partir do mapeamento dasimétrico da distribuição domiciliar na capital em 2011. Em um segundo momento, o limite máximo de novos domicílios permitidos pela Lei é projetado, tomando-se como pressupostos a ocupação de todos os lotes vagos em sua capacidade máxima domiciliar e a demolição das edificações que possam, potencialmente, ceder lugar a novos edifícios residenciais também construídos em sua capacidade domiciliar máxima.

Os resultados mostram o número atual de domicílios e qual seria o máximo de domicílios que podem vir a se instalar no futuro em cada quadra do município. As informações produzidas apontam, em uma perspectiva de racionalizar e aumentar a eficiência dos instrumentos de planejamento, caminhos para discutir as dimensões da ocupação urbana de médio prazo, os limites potenciais da ocupação humana, as áreas preferenciais de adensamento e as implicações dessa ocupação para o planejamento da capital. Além disso, os resultados propõem uma contribuição para a demografia, ao possibilitar a construção de projeções demográficas e simulações espaciais em pequenas áreas para investigar cenários de demandas sociais, apontando *onde* a expansão e adensamento urbano podem ocorrer, bem como o *limite máximo suportado* em cada quadra (Torres, 2006; Reibel e Agrawal, 2007; Jannuzzi, 2007; Santos, 2010; PDDI, 2011).

A próxima sessão apresenta uma síntese da expansão domiciliar em Belo Horizonte, assim como os principais instrumentos reguladores do espaço urbano da capital. Em seguida é feita a apresentação da metodologia e informações utilizadas na criação dos três cenários de adensamento, complementada com os resultados, conclusões e considerações finais.

4.2 – Ocupação domiciliar e instrumentos reguladores do espaço urbano de Belo Horizonte

O planejamento da ocupação do espaço é uma marca instaurada em Belo Horizonte desde a sua criação em 1897, conferindo-lhe o título de primeira capital planejada implantada no país. Desde seu surgimento, esteve presente a implantação de mecanismos voltados para o ordenamento do espaço urbano, embora a maioria provocou diversos efeitos colaterais que dificultaram a gestão urbana municipal, como descrito a seguir.

A regulação urbanística já aparece no primeiro Código de Posturas criado em 1898, que dispunha de elementos que promoviam a segregação da população, separada entre as zonas: Urbana (região nobre da cidade, destinada ao aparato burocrático-administrativo e residências de funcionários públicos, localizada no interior da Avenida do Contorno); Suburbana (áreas e bairros limítrofes à Contorno, prevista para a construção de chácaras e sítios) e Rural (que funcionaria como cinturão verde e seria responsável pelo abastecimento da cidade). Na zona urbana já existiam diferentes categorias de zonas residenciais, definidas segundo critérios de parcelamento e diferentes coeficientes de aproveitamento dos lotes, o que conferia uma valorização diferenciada em termos imobiliários, além de vantagens e privilégios em termos de infraestrutura urbana (Matos, 1984 e 1992; Torre, 2003; Epaminondas, 2006).

Com o passar das décadas foram implantados diversos mecanismos de regulação urbana pelo município, visando controlar a enorme expansão para além dos limites da Avenida do Contorno. Na década de 1940, embora ainda houvesse grandes espaços vazios na área central do município, a população da capital já havia extrapolado o teto máximo de 200 mil habitantes previsto no projeto inicial (Matos, 1992; Lemos et al, 2004). Em 1976 foi lançada a Lei 2.662/76, também conhecida como Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), a qual foi apontada por Ferreira (1999) como a primeira tentativa de ordenação da produção do meio urbano e que anunciou o fim da expansão urbana sem a efetiva presença de um processo de planejamento urbano. De acordo com essa lei, o município foi dividido nas zonas Urbana, Suburbana e Rural, e a zona Urbana foi subdividida

em zoneamentos com características homogêneas de uso e ocupação. Deve-se frisar que a LUOS de 1976 não resolveu todos os problemas urbanos existentes e propiciou inúmeras outras dificuldades para o Poder Público, com destaque para o aumento da segregação socioespacial, ao permitir que o custo do solo urbano na porção central do município elitizasse sua ocupação. Via-se, ao mesmo tempo, um processo de expulsão da população mais pobre para a periferia ou para áreas impróprias à ocupação, como fundos de vale e locais de alta declividade (Matos, 1984; Torre, 2003; Epaminondas, 2006).

Em 1979, entra em vigor a Lei Federal n. 6.766/1979, que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e que definiu loteamentos e desmembramentos, além de ditar normas para os parcelamentos urbanos. A partir de então, todos os municípios brasileiros deveriam criar sua legislação de parcelamento do solo com base nos parâmetros desta Lei (Brasil, 1979; Cavalcanti, 1999). Como a Lei 6.766/79 levou dez anos para aprovação, muitos de seus dispositivos já haviam sido incorporados na Lei 2.662/76, que acabou ganhando mais força com a divulgação da referida Lei Federal (Epaminondas, 2006).

Em 1985 foi aprovada a Lei n. 4.034/1985, que fazia uma adaptação da LUOS de 1976. O conteúdo básico, seus princípios e metodologia se mantiveram os mesmos. As mudanças foram pontuais e pretendiam fazer os ajustes necessários surgidos pela evolução da cidade, como a primeira espacialização oficial das áreas de favela, representadas no zoneamento Setor Especial 4, ou SE4. As tendências de espraiamento urbano existentes na década de 1970 foram reforçadas na década seguinte, que também passou a experimentar um processo de adensamento domiciliar e a contínua reprodução pelo mercado imobiliário de construções na área central para a população mais rica (Belo Horizonte, 1995; Fabiano, 2005; Monte-Mór, 1994; Epaminondas, 2006).

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988, o Plano Diretor Municipal (PDM) consolida-se como um instrumento importante e obrigatório para o planejamento urbano dos municípios populosos. Os princípios que norteiam o PDM apareceram com maior robustez em 2001, com a criação do Estatuto da Cidade. A Constituição ainda apresenta importantes instrumentos voltados para a

intervenção do poder público, como o parcelamento e edificação compulsórios, a transferência do direito de construir, e o solo criado (Brasil, 1988, 2001, 2005).

O PDM de Belo Horizonte foi elaborado em 1996 (Lei 7.165/96), assim como a Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo ou LPOUS (Lei 7.166/96). Trata-se de instrumentos urbanísticos mais restritivos e que se reforçavam mutuamente, prevendo maiores áreas permeáveis nos lotes, maior controle na altura das edificações, maiores valores para recuos e afastamentos da edificação em relação às divisas do lote, dentre outros (Belo Horizonte, 1996a e 1996b). Por influência direta da Constituição Federal de 1988, as Leis instituídas em 1996 visavam a alteração da lógica de ocupação e de ordenamento do espaço urbano²⁹.

Em 2000, a LPOUS foi modificada pela Lei 8.137/00, tornando-se mais restritiva. As principais alterações ocorreram nos zoneamentos e na hierarquização do sistema viário, com a inclusão de novas zonas e Áreas de Diretrizes Especiais (ADEs). A LPOUS de 2000 contribuiu para promover o redirecionamento das possibilidades de atuação do setor imobiliário, especialmente nas áreas delimitadas como ZAP, que apresentaram uma convergência entre os objetivos e interesses do setor imobiliário com os princípios que orientam a busca pela ocupação mais racional do espaço urbano. A Lei 98.137 também serviu para criar a primeira operação urbana da Região do Isidoro, com o intuito de promover a ocupação ordenada da região, embora essa ocupação não tenha vingado devido à falta de interesse dos proprietários dos terrenos (Cota, 2002 e 2010; Fabiano, 2005; Epaminondas, 2006).

²⁹ Vale mencionar os seguintes mecanismos criados em Belo Horizonte após 1996: Transferência do Direito de Construir (TDC); Operação Urbana; Convênio Urbanístico de Interesse Social; Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) progressivo no tempo; a sobreposição da linha do perímetro urbano com o limite municipal, de tal forma que toda a área do município seja considerada como urbana; Criação das ADEs; a desconcentração urbana e a garantia da multiplicidade das atividades urbanas no território através do estímulo ao surgimento e fortalecimento de centros fora da Área Central e à sua articulação; estabelecimento de parâmetros urbanísticos de ocupação que consideram as condições de adensamento de cada área; o macrozoneamento voltado para o redirecionamento do adensamento, estimulando o aproveitamento da infraestrutura instalada, a ocupação de áreas subutilizadas, restringindo a ocupação de áreas ambientalmente impróprias, sendo regulamentado pelos parâmetros de ocupação de cada zona; e a inserção da sociedade civil nas tomadas de decisão das políticas urbanas, via criação do Conselho Municipal de Política Urbana (COMPUR).

Na esfera federal, foi criado em 2001 o Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001), que define o PDM como instrumento básico para fornecer as diretrizes e prioridades de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana do município. O Estatuto da Cidade apresenta orientações visando a minimização/solução dos problemas urbanos anteriormente mencionados, e prega a regulação do uso da propriedade urbana em prol do bem-estar dos cidadãos, assim como o equilíbrio ambiental a partir da utilização de mecanismos que procurem corrigir distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o ambiente, procurando o ordenamento e controle do uso do solo. Além disso, esta Lei difunde a proteção, a preservação e a recuperação do ambiente construído e natural (Brasil, 2001).

Em 2010 é lançada, em Belo Horizonte, a Lei 9.959/10³⁰, que altera as leis 7.165/96 e 7.166/96, de forma mais restritiva no que tange ao adensamento e expansão urbana do município, que já conta com 2,37 milhões de habitantes e quase 800 mil domicílios (IBGE, 2011; Belo Horizonte, 2011a).

Após esta breve descrição da evolução da legislação municipal que trata da expansão urbana e adensamento do município, percebe-se que, apesar da maior restrição nos critérios de uso e ocupação do solo, a legislação vigente até 2010 possibilitou a saturação e conurbação do espaço urbano do município, assim como o adensamento domiciliar em níveis de verticalização incompatíveis com a infraestrutura urbana. O resultado foi a criação de problemas de difícil solução para a capital, como por exemplo, no que tange ao déficit habitacional, à verticalização da paisagem e ao acúmulo de veículos. Os locais mais afetados do município foram a área central interna à Avenida do Contorno e entorno imediato, bem como porções do território alvo do mercado imobiliário voltado para a verticalização residencial máxima, como por exemplo, nos bairros Buritis, Estoril, Belvedere III, Castelo e Novo Engenho Nogueira. Lemos et al (2004) mencionam, ainda, que o adensamento mais permissivo ao longo dos anos possibilitou a descentralização do comércio e serviços da capital, que passou a contar com a

³⁰ Dentre as diversas modificações previstas, vale mencionar: Instituição de instrumentos de política urbana previstos no Estatuto da Cidade e atualização dos já existentes; previsão de intervenções urbanísticas estruturantes em pontos estratégicos do município; busca pela desaceleração do processo de adensamento construtivo da cidade; instituição das Áreas de Especial Interesse Social; flexibilização da instalação de usos não residenciais nas ADEs da Pampulha e do Belvedere; previsão de Operações Urbanas nas seguintes áreas: Braúnas, Avenida Barão Homem de Melo, Assembleia Legislativa, Savassi e Isidoro.

formação de centros de baixo e médio porte ao longo dos principais eixos viários. Lemos et al (2004, p. 12) ainda ressaltam que “são inúmeros os problemas resultantes do desenvolvimento urbano das grandes cidades, os quais se tornam ainda mais complexos quando são justificados e muitas vezes agenciados por parâmetros normativos”. Por fim, os autores concluem que, como a mancha urbana ocupou praticamente todo o município, restou ao zoneamento da capital estimular o adensamento domiciliar nucleado, que prioriza a descentralização de atividades e que, espera-se, não condicione a uma contínua degradação da qualidade do ambiente urbano.

A Lei 9.959/10 (Belo Horizonte, 2011a), que vigora atualmente, forneceu os parâmetros necessários para as projeções deste trabalho. Como o PDM e a LPOUS definem critérios e limites para o exercício do direito de propriedade, o principal instrumento utilizado para a definição do modo pelo qual a função social da propriedade deve ser cumprida é o zoneamento, que divide o território municipal em glebas, conforme critérios que atendem ao modelo de ordenamento territorial traçado.

O zoneamento atual é dividido nas seguintes categorias:

- Zona de Preservação Ambiental – ZPA. Regiões que, por suas características e pela tipicidade da vegetação, destinam-se à preservação e à recuperação de ecossistemas;
- Zona de Proteção – ZP. Regiões sujeitas a critérios urbanísticos especiais, que determinam a ocupação com baixa densidade e maior Taxa de Permeabilidade, tendo em vista o interesse público na proteção ambiental e na preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico;
 - ZP-1, regiões predominantemente desocupadas, de proteção ambiental e preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico ou em que haja risco geológico, nas quais a ocupação é permitida mediante condições especiais;
 - ZP-2, regiões predominantemente ocupadas, de proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística ou em que existam

condições topográficas ou geológicas desfavoráveis, onde devem ser mantidos baixos índices de densidade demográfica;

- ZP-3, regiões em processo de ocupação, que será controlado visando à proteção ambiental e preservação paisagística.

- Zona de Adensamento Restrito – ZAR. Regiões em que a ocupação é desestimulada, em razão de ausência ou deficiência de infraestrutura de abastecimento de água ou de esgotamento sanitário, de precariedade ou saturação da articulação viária interna ou externa ou de adversidade das condições topográficas. Categorias:

- ZAR-1, regiões com articulação viária precária ou saturada, em que se faz necessário manter baixa densidade demográfica;

- ZAR-2, regiões em que as condições de infraestrutura e as topográficas ou de articulação viária exigem a restrição da ocupação;

- Zona de Adensamento Preferencial – ZAP. Regiões passíveis de adensamento, em decorrência de condições favoráveis de infraestrutura e de topografia;

- Zona Central – ZC. Regiões configuradas como centros de polarização regional, municipal ou metropolitana, e que se subdividem em:

- ZHIP - Zona Hipercentral;

- ZCBH - Zona Central de Belo Horizonte;

- ZCBA - Zona Central do Barreiro;

- ZCVN - Zona Central de Venda Nova;

- Zona Adensada – ZA. Regiões nas quais o adensamento deve ser contido, por apresentarem alta densidade demográfica e intensa utilização da infraestrutura urbana, de que resultam, sobretudo, problemas de fluidez do tráfego, principalmente nos corredores viários;

- Zona de Especial Interesse Social – ZEIS. Regiões edificadas, em que o Executivo tenha implantado conjuntos habitacionais de interesse social ou que tenham sido ocupadas de forma espontânea, nas quais há interesse público em ordenar a ocupação por meio da implantação de programas habitacionais de

urbanização e regularização fundiária, urbanística e jurídica, subdividindo-se essas regiões nas seguintes categorias:

- ZEIS-1, regiões ocupadas desordenadamente por população de baixa renda, nas quais existe interesse público em promover programas habitacionais de urbanização e regularização fundiária, urbanística e jurídica, visando à promoção da melhoria da qualidade de vida de seus habitantes e à sua integração à malha urbana;
- ZEIS-3, regiões edificadas em que o Executivo tenha implantado conjuntos habitacionais de interesse social;
- Zona de Grandes Equipamentos – ZE. Regiões ocupadas ou destinadas a usos de especial relevância na estrutura urbana, nas quais é vedado o uso residencial.

Os limites praticáveis nas edificações construídas em cada tipo de zoneamento são dados pelos valores dos parâmetros urbanísticos do PDM, sendo que a Quota de Terreno por unidade habitacional (QT), vinculada ao zoneamento, existe no município desde a LUOS de 1996. A QT é o parâmetro que define, para cada tipo de zona, o número máximo de domicílios comportado por lote, ou seja, é o instrumento que controla o nível de adensamento domiciliar nas edificações destinadas ao uso residencial ou na parte residencial das edificações de uso misto (Belo Horizonte, 2010).

4.3 - Metodologia

A partir dos textos de Cota (2002 e 2010), Lemos et al (2004), Caldas et al (2008), PDDI (2011), da análise das Leis 7.165/96, 7.166/96 e 9.959/10, e contando com um processo de validação pela equipe de técnicos da Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano (SMAPU-PBH) e da FJP no segundo semestre de 2011 e em janeiro de 2012, foram levantados os seguintes pressupostos, que tornaram possível o desenvolvimento da metodologia:

- O trabalho visa projetar a ocupação humana máxima em construções do tipo “residencial”, caracterizada pelos domicílios. Não foram analisadas

ocupações do tipo “não residencial”, como indústria, comércio, serviços e equipamentos públicos;

- O processo de expansão domiciliar ocorrerá através de duas situações: a construção de novas edificações em lotes vagos ou em locais que possam ser demolidos, sendo que, sempre que o zoneamento aceitar, as novas construções serão do tipo apartamento e não do tipo casa;
- As leis municipais 7165/96, 7166/96 e 9.959/10 referentes ao parcelamento, ocupação e uso do solo no município influenciarão diretamente na expansão das áreas urbanas e no adensamento dos espaços já ocupados:
 - O zoneamento municipal será constante durante a simulação;
 - As categorias de zoneamento impróprias à ocupação domiciliar não serão ocupadas por moradias (ZPAM-Zonas de Preservação Ambiental; ZE-Zonas de Grandes Equipamentos);
 - O adensamento domiciliar ocorrerá somente nas categorias Zona de Proteção (ZP), Zona de Adensamento Restrito (ZAR), Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), Zona Central (ZC), Zona Adensada (ZA) e Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS-1 e ZEIS-3), segundo os critérios próprios de cada uma das zonas;
 - O adensamento domiciliar nas áreas de vilas e aglomerados (ZEIS-1 e ZEIS-3) continuará a ocorrer em um ritmo parecido com o restante da capital. Embora possuam uma dinâmica diferenciada das demais categorias, essas áreas passarão por um adensamento domiciliar peculiar, pois estão em processo de Regularização Fundiária ou serão alvo de políticas específicas de urbanização;
 - As quadras do município passíveis de ocupação, mas que não possuem lotes vagos ou edificações potenciais para demolição, manterão seu estoque domiciliar ao longo do tempo;
- A QT existente na Lei 9.959/10 geralmente é inferior à quota de terreno praticada pelo mercado imobiliário, o que justificou a criação de um cenário alternativo (aqui denominado “Cenário 2”) de adensamento domiciliar, que

acredita-se ser mais condizente com a QT futura que será praticada no município;

- Os grandes empreendimentos estruturadores do espaço no vetor norte da capital - Linha Verde, o Aeroporto Industrial de Confins, a Cidade Administrativa do Governo do Estado, o Anel Viário Norte e as operações urbanas para a Copa do Mundo de 2014 - aumentarão a pressão sobre áreas passíveis de crescimento domiciliar em toda a porção setentrional do município;
- A Região do Isidoro passará na próxima década por um intenso processo de adensamento domiciliar, pois possui um Plano de Urbanização que permite um aumento de até 67 mil novos domicílios.

Os próximos tópicos apresentam uma descrição mais detalhada do processo de projeção da capacidade de adensamento domiciliar de Belo Horizonte.

4.3.1 - Uso do SIG e mapeamento dasimétrico para projetar a capacidade de carga urbana

Reunindo dados relevantes para esta pesquisa, foi construído um SIG cujo conteúdo será descrito adiante. Para conferir maior precisão às análises que envolvem a densidade de parâmetros como o número de domicílios ou a população em cada quadra, foi utilizada a técnica de mapeamento dasimétrico, que consiste em distribuir valores conhecidos para uma unidade especial de referência apenas sobre partes de sua área em que se sabe que o fenômeno se manifesta. Por exemplo, conhecendo a população de um setor censitário, e sabendo que a população se concentra nas quadras e lotes residenciais, é possível excluir da distribuição espacial as áreas de outra natureza (arruamento, parques, canteiros, praças, indústrias e áreas comerciais não habitadas).

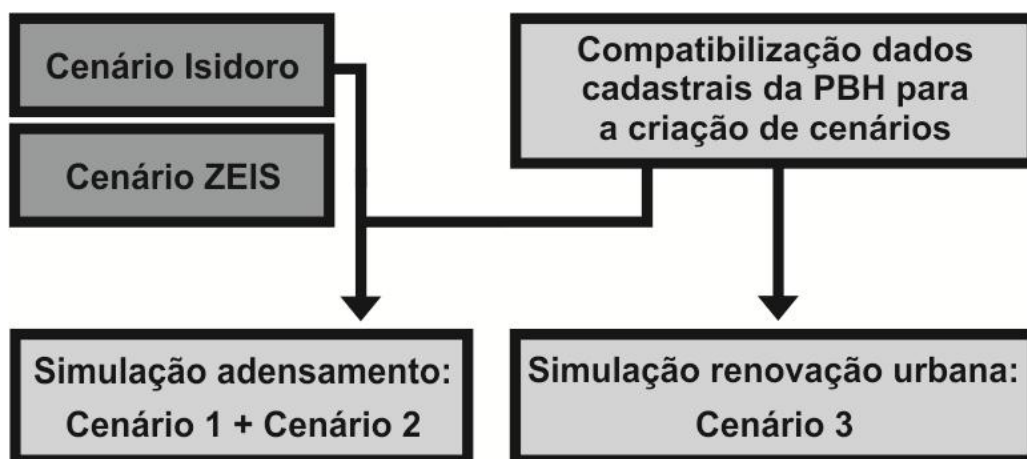
Esta técnica pode ser considerada uma sofisticação de um mapa coroplético (mapa temático poligonal convencional), que utiliza de dados auxiliares para refinar a representação da distribuição espacial da variável analisada (Langford et al, 1991; Eicher e Brewer, 2001; Mennis e Hultgren, 2006), em oposição à

premissa simplificadora usual, segundo a qual a variável se distribui uniformemente pelo espaço delimitado.

A metodologia apresentada a seguir foi elaborada e validada em conjunto com os técnicos da SMAPU³¹ e da Fundação João Pinheiro. Todas as informações vetoriais adquiridas passaram por um processo de compatibilização das bases de dados utilizando o programa MapInfo 11. Inicialmente, os arquivos georreferenciados tiveram seu limite geográfico adaptado de forma a corresponder à delimitação oficial do município Belo Horizonte. Em um segundo momento, todos os arquivos foram ajustados à projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000.

A FIG. 32 mostra a estrutura desenvolvida para três porções distintas do município (Região do Isidoro, Região das ZEIS e demais áreas), possibilitando a criação dos três cenários que compõem o artigo, que serão descritos após a próxima subseção.

FIGURA 32 – Estrutura de funcionamento para a criação de cenários



³¹ As bases de dados cadastrais da capital foram gentilmente cedidas pela Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano de Belo Horizonte (SMAPU-PBH), para uso exclusivo na realização desta pesquisa. Os resultados deste trabalho estão sendo utilizados pela PBH para subsidiar os nove Planos Diretores das Regionais de Planejamento do município.

4.3.2 - Bases de dados utilizadas nas projeções

A seguir são apresentadas as informações básicas disponibilizadas pela PBH e pelo IBGE, que serviram de insumo para as projeções. A FIG. 33 mostra os limites das nove Regiões de Planejamento e 17.155 quadras da capital, bem como as 19.008 manchas que formam as 15 categorias de zoneamento presentes na Lei 9.959/10.

- Quadras

A base de quadras de Belo Horizonte, referente ao Cadastro Técnico Municipal (CTM) de setembro de 2011 (Belo Horizonte, 2011b), é uma base vetorial formada por 17.155 polígonos que correspondem a todas as quadras do município, com informações atualizadas segundo a Lei 9.959/10. Para facilitar a visualização da ocupação que ocorrerá na região do Isidoro, foram criadas 293 quadras conforme o zoneamento previsto para a região (Belo Horizonte, 2010), o que resultou em um total de 17.448 quadras utilizadas na projeção.

- Regional de Planejamento

A base atualizada com as delimitações das Regionais de Planejamento da capital foi extraída do Cadastro Técnico Municipal (CTM) de setembro de 2011 (Belo Horizonte, 2011c), e possui 9 polígonos que foram utilizados para possibilitar uma interpretação dos resultados por regional.

- Cadastro de contribuintes do IPTU

A base de faces dos lotes de Belo Horizonte, referente a setembro de 2011, foi extraída do cadastro do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana, ou IPTU (Belo Horizonte, 2011b). Trata-se de uma base vetorial formada por 705.850 linhas que correspondem a todas as faces de lotes do município, com informações utilizadas para a coleta do IPTU. Cada face possui os seguintes atributos: área do terreno em m², área construída no terreno em m², tipo de ocupação (residencial, não residencial e territorial), tipo construtivo (casa, barracão, apartamento, área comercial e lote vago) e a quantidade de domicílios por registro. Para a criação de uma evolução temporal das informações, foram

utilizadas as mesmas bases com as datas de referência em julho de 2006 e agosto de 2010.

- Zoneamento

O zoneamento de Belo Horizonte em setembro de 2011 (Belo Horizonte 2011d) é representado por uma base vetorial formada por 16.492 polígonos que correspondem a todas as manchas de zoneamento do município, com informações atualizadas conforme a Lei 9.959/10. Cada mancha possui atributos referentes ao zoneamento específico, que pode englobar uma porção ou a área total de cada quadra do município.

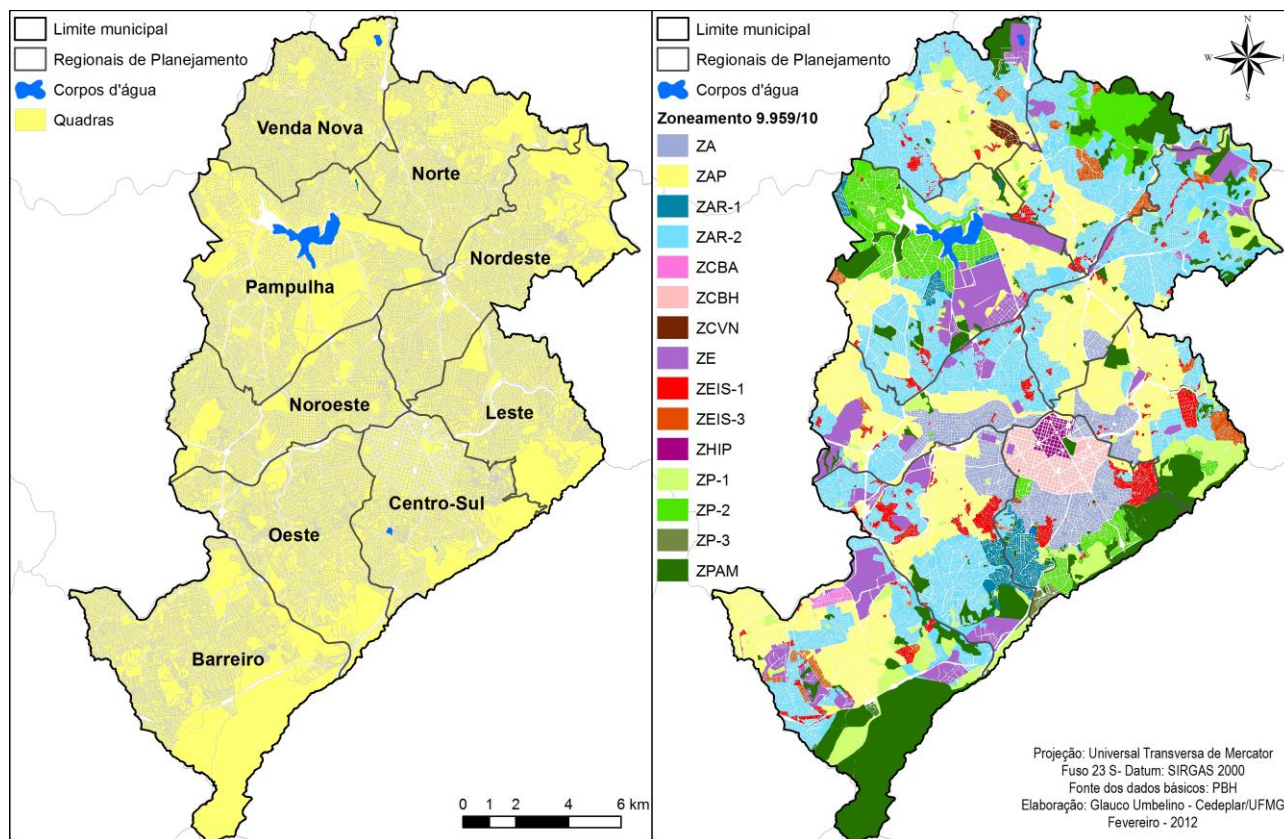
- Tipologias de ocupação

As informações georreferenciadas de tipologias de ocupação foram extraídas do CTM de setembro de 2011 (Belo Horizonte, 2011c) e são formadas por 336.051 polígonos que representam todos os lotes cadastrados do município, com informações sobre a tipologia de ocupação do lote, ano de construção, quantidade de pavimentos da edificação, tipo de uso e área do lote.

- Setores censitários

Os arquivos georreferenciados referentes aos Setores Censitários (SCs) dos Censos de 2000 e 2010 (IBGE, 2002 e 2011) foram utilizados de forma complementar, para suprir informações das áreas de vilas e favelas do município, que possuem baixa cobertura no cadastro do IPTU.

FIGURA 33 – Regiões de Planejamento, quadras e zoneamento de Belo Horizonte, atualizados pela Lei 9.959/10



4.3.3 - Criação de três cenários de adensamento domiciliar de Belo Horizonte

Os cenários construídos neste trabalho buscaram projetar o número máximo de domicílios que podem vir a ser edificados em Belo Horizonte, adotando-se como pressuposto que todas as áreas vazias e com potencial de reconstrução sejam utilizadas para fins de habitação. Inicialmente, foi necessária a aplicação do mapeamento dasimétrico para o ajuste de todas as bases de informação, de tal forma que houvesse uma perfeita sobreposição espacial entre todas as bases de dados e que todas as informações possuíssem atributos devidamente preenchidos. As etapas de manipulação das informações para a criação dos cenários são descritas a seguir:

- Conversão da base de cadastro do IPTU de polilinhas para vetores pontuais e ajuste manual dos pontos que não estavam sobrepostos em nenhuma quadra, de tal forma que eles fossem deslocados para a quadra mais próxima;

- Posterior divisão da base segundo a variável “tipo de construção” em 2 arquivos: “IPTU residencial” e “IPTU territorial”, com a exclusão dos dados não residenciais (lojas, salas, galpões, etc.);
- Compatibilização dos vetores com sobreposição espacial na base IPTU residencial, como no caso dos edifícios e condomínios;
- Ajuste da área dos lotes que possuíam área maior do que a quadra ou que estavam muito discrepantes na amostra;
- Verificação manual e retirada da maioria dos lotes cujo tamanho é maior do que 60% do tamanho total da quadra na qual ele está inserido;
- Exclusão de todos os lotes vagos nos zoneamentos ZE, ZPAM, ZEIS-1 e ZEIS-3;
- Exclusão de todos os lotes vagos sobrepostos às bases de Áreas Verdes (áreas protegidas, Programa BH Verde, Parques Municipais atuais e futuros, Reserva Particular Ecológica);
- Exclusão de todos os lotes vagos da base do IPTU que não fossem sobrepostos à categoria de uso “Lote Vago” ou “Nulo (existe lote mas sem cadastro no IPTU)” da base do CTM³²;
- Exclusão de lotes vagos com projetos de construção aprovados pela PBH:
 - Exclusão dos 236 lotes vagos com projetos aprovados do tipo Não Residencial;
 - Exclusão dos 1.814 lotes vagos com projetos aprovados do tipo Residencial³³;
- Justaposição das bases “IPTU residencial” e “IPTU territorial” com a base de quadras. Cálculo para cada quadra:

³² Para esses lotes excluídos, foi calculado o número de domicílios, extraídos da base do CTM. Os resultados foram incorporados à base “IPTU residencial”, dado que esses “lotes vagos” já estão ocupados e não estão atualizados no cadastro do IPTU.

³³ Para esses lotes excluídos, foi calculado o número de domicílios, extraídos do cadastro de unidades planejadas existente na base de Projetos Aprovados da PBH. Os resultados foram incorporados à base “IPTU residencial”, dado que esses “lotes vagos” já possuem planejamento de ocupação domiciliar.

- Área total (m²) dos terrenos residenciais;
 - Área total construída (m²) nos terrenos residenciais;
 - Quantidade total de domicílios;
 - Quantidade de casas, barracões e apartamentos;
 - Quantidade de lotes vagos;
 - Área total (m²) dos lotes vagos;
 - Área total (m²) da quadra;
- Exclusão das quadras com os zoneamentos ZE, ZPAM e ZEIS. Para o caso das ZEIS, foi elaborado um método específico, descrito adiante;

Após todos os ajustes, foram construídos dois cenários de adensamento via lotes vagos, descritos a seguir.

4.3.4 - Cenário 1: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Legal

Como explicitado no início deste artigo, a Quota de Terreno por unidade habitacional (QT) é o parâmetro que define para cada zoneamento, o número máximo de domicílios aceito por lote, ou seja, é o instrumento que controla o nível de adensamento domiciliar nas edificações destinadas ao uso residencial ou na parte residencial das edificações de uso misto (Belo Horizonte, 2010). A QT foi o instrumento urbanístico do zoneamento mais importante para a criação dos cenários de projeção deste artigo. A TAB. 10 apresenta a QT vigente no município, a partir dos valores mínimos permitidos para cada domicílio em cada categoria do zoneamento. Esses dados subsidiaram a criação do Cenário 1 de expansão, descrito adiante.

TABELA 10 – Parâmetros urbanísticos relativos à Quota de Terreno por unidade habitacional de Belo Horizonte em 2011

Categoria do Zoneamento	Quota de Terreno por unidade habitacional (m²/un)
ZPAM	-
ZP-1	2.500
ZP-2	1.000
ZP-3	200
ZAR-1	180
ZAR-2	45
ZA	40
ZAP	40
ZHIP	8
ZCBH	20
ZCBA	25
ZCVN	25
ZEIS	-
ZE	-

Fonte dos dados básicos: Belo Horizonte (2010).

O Cenário 1 foi criado a partir do pressuposto de utilização da Quota de Terreno por unidade habitacional prevista na Lei 9.959/10 para a ocupação dos lotes vagos existentes na capital. O cálculo foi realizado conforme a seguinte Razão de Adensamento:

$$\text{Cenário 1} = (\text{Lv Iptu} / \text{Quota Legal}) + \text{EcTot}$$

onde:

Lv Iptu – área em m² disponível para construção na quadra;

Quota Legal - Quota de Terreno por unidade habitacional (m²/un)

EcTot – Total de domicílios existentes em setembro de 2011.

4.3.5 - Cenário 2: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Praticada

A justificativa de criação do Cenário 2 se deu pelo fato, comprovado a partir da análise das informações cadastrais, de que a dinâmica do mercado imobiliário do município pratica uma Quota de Terreno diferente da prevista na Lei 9.959/10, sendo que a quota praticada usualmente é mais elevada do que a existente na

legislação. O cálculo da QT praticada pelo mercado imobiliário do município foi realizado através da divisão da área total do lote da edificação do CTM, pela quantidade de domicílios cadastrados no lote. Os resultados foram refinados segundo a análise anual da evolução da QT praticada em cada quadra no município, entre os anos de 1970 e 2011, para o total de domicílios, assim como para as construções do tipo casa e apartamento. A evolução temporal da média por quadra das quotas praticadas é apresentada na TAB. 11.

TABELA 11 – Evolução temporal da média da quota praticada nos domicílios de Belo Horizonte entre 1970 e 2011

Quota média praticada	Período				
	1970-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2007	2008-2011
Total domicílios	217,6	226,6	224,9	219,5	174,1
Domicílios do tipo casa	225,6	236,4	258,0	283,3	274,7
Domicílios do tipo apto	63,2	63,1	68,7	62,8	60,8

Fonte dos dados básicos: Belo Horizonte (2011a).

Os dados analisados apontam, para o total municipal, uma tendência nas últimas duas décadas de diminuição da quota praticada, principalmente nos domicílios do tipo apartamento. Nesse contexto, os valores obtidos para apartamentos no período entre 2008 e 2011, mais próximos ao praticado atualmente pelos agentes imobiliários, foram escolhidos como parâmetro para calcular a QT de cada quadra que irá integrar a Razão de Adensamento do Cenário 2. A data de corte foi escolhida devido à predominância de solicitações de construção do tipo apartamento em relação às construções do tipo casa que passa a ocorrer nos dados cadastrais do município a partir de 2008, permitindo a obtenção de uma QT praticada pelo mercado similar à esperada para o futuro nos lotes vagos existentes no município. A título de ilustração, do total de projetos de edificações domiciliares submetidos à PBH desde 2000, 1/3 foi referente à construção de casas e 2/3 referente à construção de apartamentos (Belo Horizonte, 2011c).

Outra fonte de dados que confirma o pressuposto descrito acima são os dados referentes aos Domicílios Particulares Permanentes dos Censos Demográficos de 2000 e 2010 (IBGE 2002, 2011). Uma análise pormenorizada mostra que na última década a Taxa de Crescimento Geométrico anual (TCG) dos apartamentos

foi de 4,0% ao ano, contra 0,9% ao ano para os domicílios do tipo casa. No período de 2000 a 2010, o número de casas no município aumentou em 41 mil unidades, passando de 458.893 para 499.867, enquanto que o número de apartamentos aumentou em 81 mil unidades, passando de 169.554 para 251.275 unidades.

Para as quadras que não tiveram construção do tipo apartamento entre 2008 e 2011, foi calculada a média de QT praticada em cada zoneamento, dentro de cada Regional de Planejamento do município, de tal forma a se obter uma QT média para cada espaço intraurbano.

A única exceção foi feita para as quadras localizadas nas tipologias ZP-1 e ZP-2, que seguiram as diretrizes previstas na Lei 9.959/10. Dessa forma, para as quadras inseridas na categoria ZP-1, a QT foi calculada da seguinte forma:

- QT de 2.500 m²/un. para lotes com área maior ou igual a 2.500 m²;
- QT do tamanho do terreno para lotes com área menor que 2.500 m²;

Para as quadras inseridas em ZP-2, a QT foi calculada da seguinte forma:

- QT de 1.000 m²/un. para lotes com área maior ou igual a 1.000 m²;
- QT do tamanho do terreno para lotes com área menor que 1.000 m²;

Feitas todas as ressalvas, o cálculo foi realizado a partir da seguinte Razão de Adensamento:

$$\text{Cenário 2} = (\text{Lv Iptu} / \text{Quota Praticada}) + \text{EcTot}$$

onde:

Lv Iptu – área em m² disponível para construção na quadra;

Quota Praticada - Quota de Terreno por unidade habitacional (m²/un) praticada na quadra ou no zoneamento por regional (onde não existia informação por quadra);

EcTot – Total de domicílios existentes em setembro de 2011.

Devido às diversas possibilidades de adensamento existentes no meio urbano da capital, os dois cenários tiveram que ser adaptados a duas peculiaridades existentes, já mencionadas na FIG. 32 e descritas a seguir.

- Complemento aos cenários 1 e 2: cálculo dos domicílios atuais e futuros das categorias ZEIS 1 e ZEIS 3

O mapeamento dasimétrico dos setores censitários de 2000 e 2010 mostrou-se mais preciso para gerar as informações domiciliares para as quadras cobertas pelos zoneamentos ZEIS-1 e ZEIS-3. Este mapeamento mostrou-se mais confiável em função da imprecisão dos registros da PBH sobre a população residente nas áreas de vilas e favelas.

Para o Cenário 1, que segue a legislação municipal, o número de domicílios não aumenta, dado que do ponto de vista legal o adensamento não é desejado nessas áreas. Para o Cenário 2, que segue as tendências mais reais de ocupação domiciliar da capital, foi constatado que o número de domicílios nas ZEIS cresceu na última década a uma TCG de 1,82% ao ano, valor ligeiramente inferior à TCG de 1,94% ao ano, referente ao total de domicílios da capital. Na última década, o número de moradias nessas zonas passou de 83.455 domicílios em 2000 para 99.964 em 2010 (IBGE, 2002 e 2011). Isso representa um diferencial de 16,5 mil domicílios, e uma média de 141 domicílios novos surgidos nas ZEIS do município a cada mês, demonstrando que essas áreas continuam em processo de crescimento domiciliar, ao contrário do que é desejado nos instrumentos urbanísticos previstos no Estatuto das Cidades e na Lei 9.959/10.

A primeira etapa necessária para o cálculo de adensamento das ZEIS foi a compatibilização dos SCs de 2000 e 2010 conforme a metodologia desenvolvida por Umbelino (2007). Após a compatibilização, o mapeamento dasimétrico foi utilizado nos SCs, que tiveram sua área total filtrada pela subtração das áreas de preservação, arruamento, equipamentos públicos e locais de comércio/serviços, de tal forma que se obteve a área líquida de cada SC (ocupada somente por moradias). Dessa forma, 3.935 setores censitários de 2010 foram unificados com os 2.563 setores censitários de 2000, resultando em uma base de 3.880 polígonos que representam a área ocupada por domicílios na capital. Esse procedimento possibilitou a análise temporal dos dados censitários na menor escala de desagregação possível. A FIG. 20 ilustra o resultado final obtido a partir do uso do mapeamento dasimétrico na compatibilização dos setores censitários.

O próximo ajuste foi a adaptação das informações censitárias de agosto de 2010 para a data de referência dessa pesquisa, através da extrapolação da TCG de cada SC entre 2000 e 2010, o que resultou em uma estimativa de 101.723 domicílios existentes nas ZEIS em setembro de 2011.

Para o cálculo dos domicílios futuros que podem surgir nas ZEIS, via construção nas áreas vagas ou adensamento domiciliar (também conhecidos como “puxadinhos”), foram adotados os seguintes procedimentos:

- Construção nas áreas vagas:

- A partir da área não ocupada (m^2) em 2011 em cada quadra, e da densidade média domiciliar de ocupação ($9.387 \text{ dom}/\text{km}^2$) das ZEIS, foi calculado o número aproximado de domicílios que cada quadra ainda comportaria, caso essa densidade média fosse aplicada na área não ocupada.

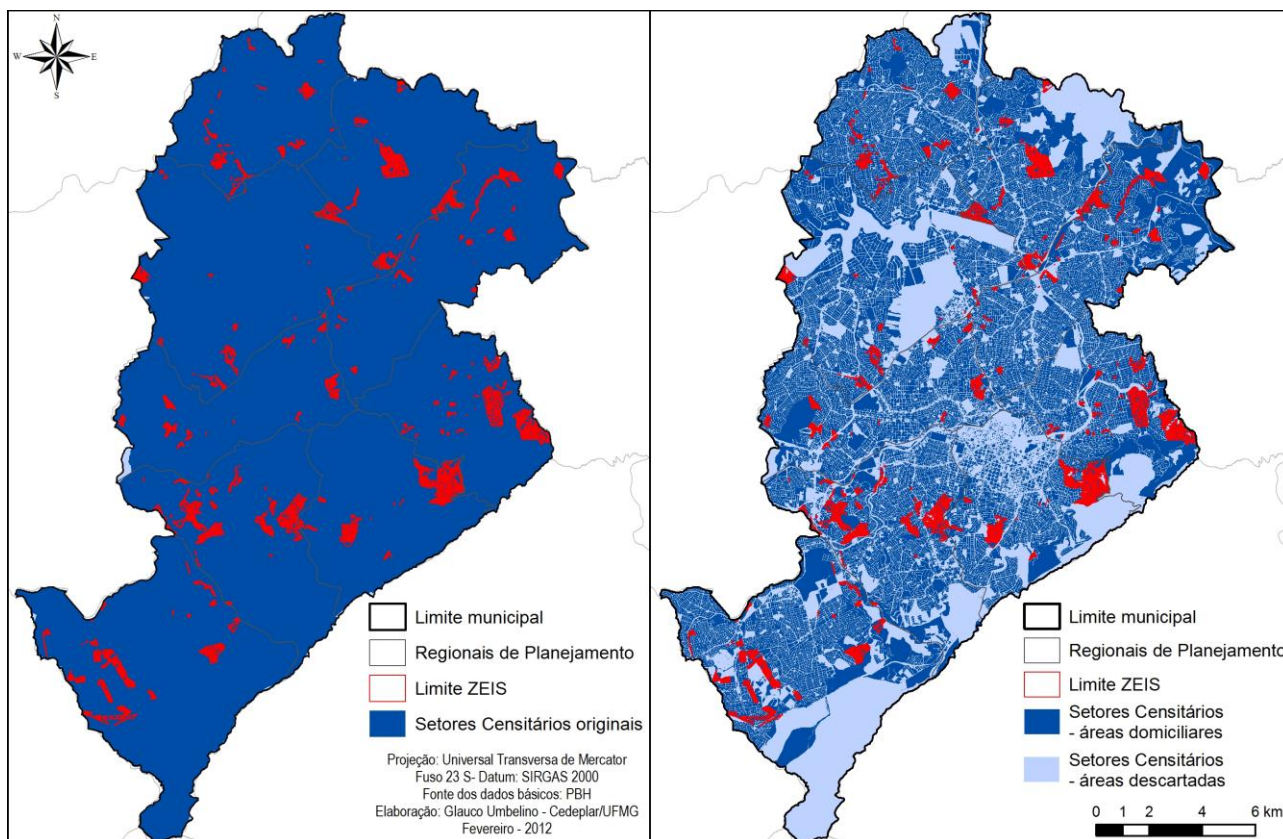
- Adensamento (verticalização):

- Para as quadras com TCG nula ou negativa entre 2000 e 2011 foi adotado o pressuposto de que o adensamento não ocorrerá nesses locais;

- Para as quadras com TCG positiva e acima da densidade domiciliar média ($9.387 \text{ dom}/\text{km}^2$), também foi adotado o pressuposto de que o adensamento da quadra na área construída não ocorrerá, dado que o espaço edificado já está saturado;

- Já nas quadras com TCG positiva e abaixo da densidade domiciliar média, foi calculado o número de domicílios que ainda podem surgir (puxadinhos), caso o adensamento médio seja atingido nessas quadras.

FIGURA 34 – Mapeamento dasimétrico dos setores censitários compatibilizados de Belo Horizonte, para a estimativa domiciliar das ZEIS



- Complemento aos cenários 1 e 2: cálculo dos domicílios futuros para a Região do Isidoro

A porção norte do município de Belo Horizonte é uma região que tem vivenciado nos últimos anos forte pressão do mercado imobiliário em função de diversos investimentos, como a implantação da Cidade Administrativa, a criação da Linha Verde e a reestruturação do aeroporto de Confins (Belo Horizonte, 2010; Cota, 2010; PDDI, 2011). A Região do Isidoro localiza-se no extremo norte da capital, na Regional de Planejamento Norte. Além de possuir uma localização estratégica no contexto metropolitano, o local caracteriza-se por estar predominantemente desocupado, sendo a última grande fronteira de expansão urbana de Belo Horizonte, com a maior porção de terra contínua passível de parcelamento existente no município, em uma área de 9,6 km², tamanho ligeiramente superior ao interior da Avenida do Contorno (Belo Horizonte, 2010).

Para minimizar a ocupação desordenada do local, a Prefeitura elaborou o segundo Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro, que visa promover, após 2012, a proteção e recuperação ambiental da região, por meio de um processo de ocupação ordenado (Belo Horizonte, 2010; Cota, 2010). Atualmente a Região do Isidoro está classificada pela Lei 9.959/10 predominantemente na categoria ZP-2 (52% da área), com manchas descontínuas na categoria ZPAM (40% da área), e trechos formados pela categoria ZAR-2 (8% da área). De acordo com o Plano, a região será composta por três tipos de proteção. O Grau 1 é formado por 40% da área, destinada à preservação ambiental permanente. O Grau 2 representa 36% da área, sendo destinado à proteção elevada, onde a ocupação, o adensamento e a impermeabilização do solo deverão sofrer restrições. Já o Grau 3 ocupa 20% da área e se refere às áreas de proteção moderada, nas quais poderão ser estabelecidos parâmetros de ocupação e adensamento menos restritos³⁴. As diretrizes do Plano preveem, para a próxima década, a construção de um contingente variando entre 54.340 domicílios (Cenário Adensamento Populacional Médio) e 67.623 domicílios (Cenário Adensamento Populacional Máximo) (Belo Horizonte, 2010).

Para a concretização dos cenários de projeção, foram adotados os seguintes pressupostos:

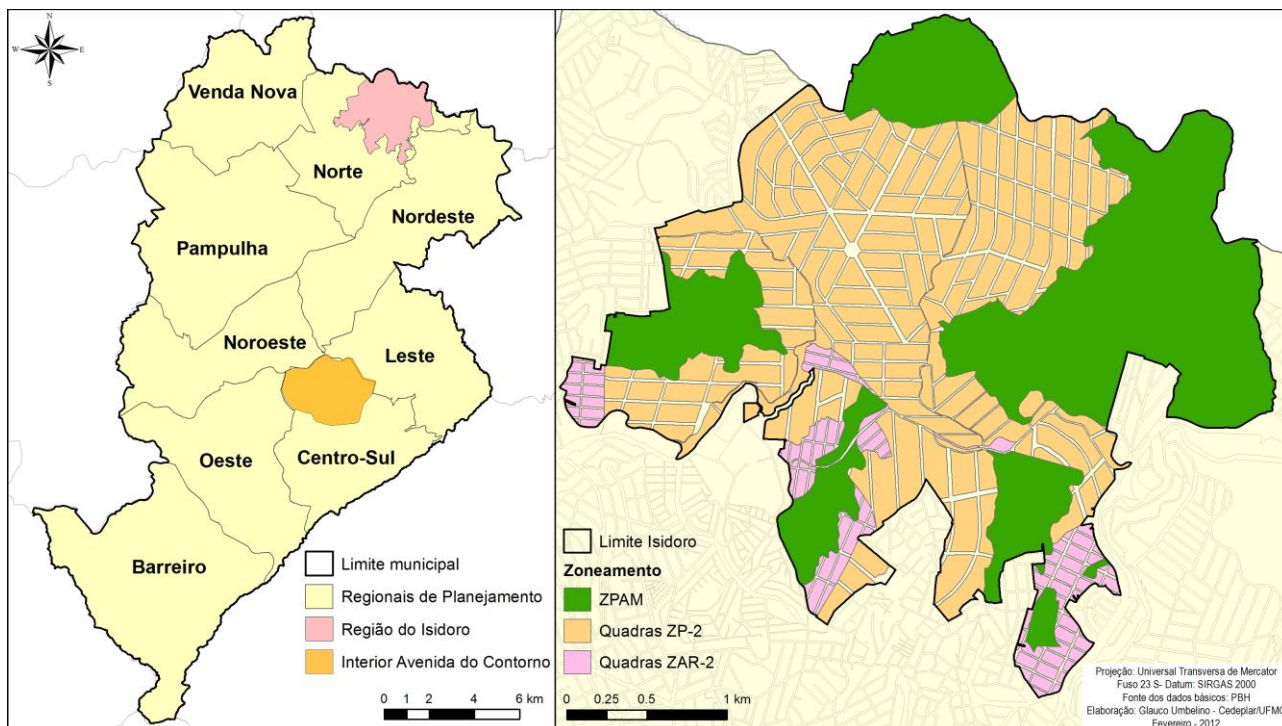
- O contingente de 54.340 domicílios do Cenário de Adensamento Populacional Médio integra os resultados do Cenário 1 (Quota Legal) da projeção;
- O contingente de 67.623 domicílios do Cenário de Adensamento Populacional Máximo integra os resultados do Cenário 2 (Quota Praticada) da simulação.

Para a visualização dos resultados, os domicílios simulados em cada cenário foram distribuídos proporcionalmente dentro das quadras criadas para cada zoneamento, visando elucidar como será o adensamento quando o Plano da

³⁴ Para fins de compatibilização de resultados do Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro com os resultados da projeção, bem como a espacialização das informações na escala de quadra, foram criadas quadras ilustrativas nas áreas que serão habitadas (formadas pelos zoneamentos ZP-2 e ZAR-2), tomando-se como base o traçado típico das quadras que integram essas duas categorias de zoneamento em outras áreas da capital.

Região do Isidoro se materializar. A FIG. 24 mostra a localização da Região do Isidoro, bem como o parcelamento ilustrativo criado para espacializar a simulação de adensamento.

FIGURA 35 – Localização da Região do Isidoro e arruamento ilustrativo



4.3.6 - Cenário 3: renovação urbana via demolições

Diferentemente dos pressupostos dos cenários anteriores, o Cenário 3 visa simular o máximo de domicílios que podem surgir no município oriundos da renovação urbana, ou seja, caso todos os domicílios com potencial de demolição cedam lugar a novas edificações residenciais construídas em sua capacidade domiciliar máxima.

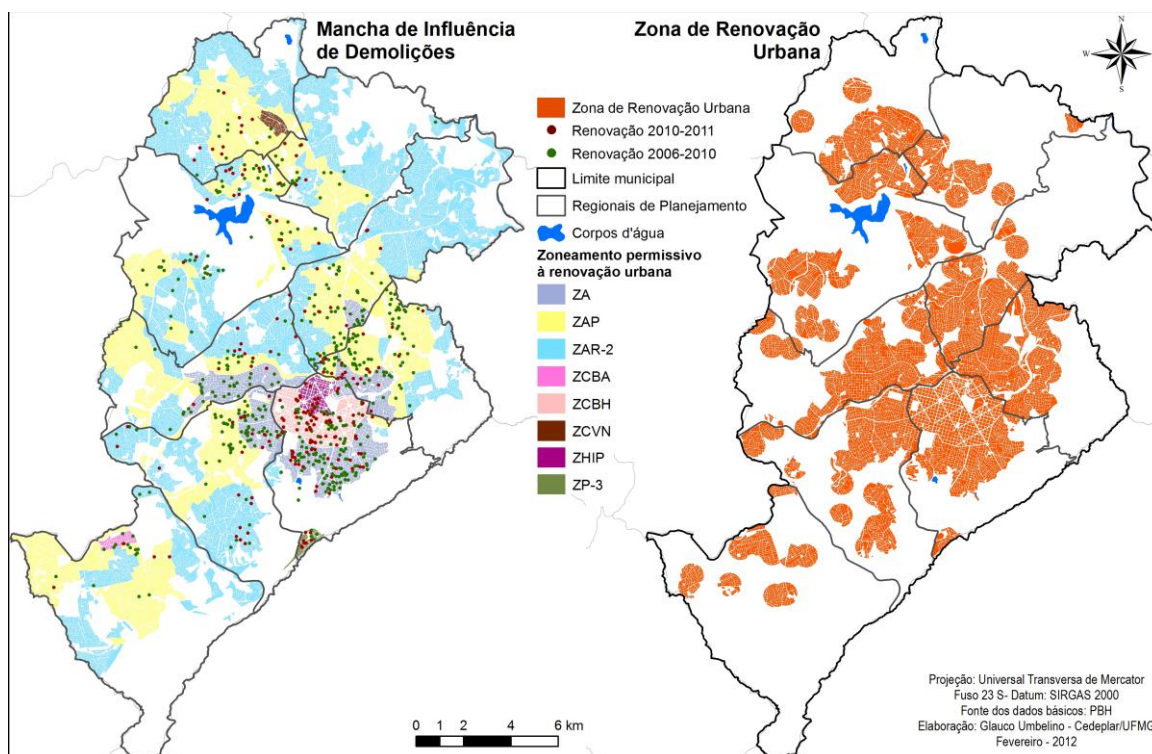
O primeiro procedimento para simular o processo de renovação urbana domiciliar foi adotar como pressuposto a criação de um único cenário, tomando-se como parâmetro a QT praticada, uma vez que a QT legal não tem sido utilizada pelo mercado imobiliário e, caso fosse, contribuiria para um limite domiciliar ainda maior do que o obtido nesta simulação.

Em seguida, foi analisada a evolução temporal das bases do tipo residencial do cadastro de contribuintes do IPTU, referentes a julho de 2006, agosto de 2010 e setembro de 2011. Verificou-se, na comparação entre a localização espacial e número do CTM das três bases, as edificações do tipo apartamento existentes em 2011 e que nos períodos anteriores eram casas, barracões ou edificações do tipo apartamento, mas com um número menor de moradias do que em 2011. Acredita-se que dessa forma tenha sido possível captar todas as demolições recentes ocorridas no município em prol da renovação urbana. Os dados cadastrais revelaram que em todo o período analisado ocorreram 700 alterações em registros de edificações do município, originando 11.373 novos domicílios que podem ser caracterizados como oriundos da renovação urbana. Entre 2006 e 2010, 509 registros de edificações foram renovados, originando 6.736 domicílios. Entre 2010 e 2011, 191 registros de edificações foram renovados, gerando 4.637 domicílios.

A partir da espacialização das referidas edificações, foi utilizado o método de análise espacial *Distance*³⁵ existente no programa Idrisi, para criar uma Mancha de Influência de Demolições, estimada em 500 metros a partir de cada edificação com potencial de demolição. Posteriormente, estas informações foram filtradas através da sobreposição desta mancha com as categorias de zoneamento que permitem a renovação urbana (ZA, ZAP, ZAR2, ZCBA, ZCBH, ZCVN, ZHIP, ZP3). O produto final foi uma área denominada Zona Potencial de Renovação Urbana, apresentada na FIG. 36.

³⁵ Módulo do programa Idrisi que calcula a distância euclidiana de cada célula da imagem às células analisadas, permitindo a obtenção de áreas de influência na forma de anéis concêntricos, ou *buffers* (Eastman, 2009).

FIGURA 36 – Procedimentos para a criação da Zona de Renovação Urbana



Como a maioria dos domicílios localizados na Zona Potencial de Renovação Urbana não necessariamente será demolida, o próximo passo foi detectar características das edificações que as tornassem passíveis de demolição. Para isso, foram analisados padrões comuns nas variáveis disponíveis no SIG das edificações que sofreram renovação urbana entre 2006 e 2011. Foi feita a remoção de toda edificação dentro da Zona de Renovação Urbana que:

- Foi construída após o ano 2000;
- Possui área do lote menor que 360m²;
- Possui alto padrão de acabamento construtivo (padrão P5);
- Possui acima de 10 domicílios por lote;
- Possua 4 ou mais pavimentos;
- Não sejam classificadas na base de Tipologia de Ocupação como ZEIS, Clubes, Equipamentos de Saúde e Instituições Religiosas.

4.4 - Resultados

Serão apresentados a seguir os principais resultados voltados para o objetivo proposto neste artigo. Apesar de todos os resultados das simulações terem sido obtidos na escala de quadras, para fins de análise optou-se pela agregação dos dados por Regional de Planejamento.

A TAB. 12 apresenta o número de domicílios existentes na Planta Cadastral de Belo Horizonte e os resultados, para os três cenários de simulação, do número potencial de domicílios a serem adicionados a Belo Horizonte ao longo do tempo.

TABELA 12 – Domicílios existentes na Planta Cadastral de Belo Horizonte e potenciais domicílios a serem construídos conforme cenários simulados

Regional	Total em 2011	Lotes Vagos em 2011	A serem construídos Cenário 1 (Quota Legal)	A serem construídos Cenário 2 (Quota Praticada)	Total 2011 + Cenário 1 (Quota Legal)	Total 2011 + Cenário 2 (Quota Praticada)	Cenário 3 (Renovação Urbana)	Total de domicílios 2011 + Cenário 2 + Cenário 3
Barreiro	76.630	2.241	40.875	22.712	117.505	99.342	27.039	126.381
Centro-Sul	132.930	2.145	13.436	13.467	146.366	146.397	19.227	165.624
Leste	77.062	780	9.289	10.788	86.351	87.850	60.377	148.227
Nordeste	88.243	3.230	73.944	46.458	162.187	134.701	34.274	168.975
Noroeste	88.399	1.258	12.824	7.732	101.223	96.131	36.264	132.395
Norte (sem Isidoro)	61.017	2.306	30.267	21.875	91.284	82.892	27.605	110.497
Oeste	114.238	2.439	38.985	33.312	153.223	147.550	36.097	183.647
Pampulha	87.313	4.479	37.251	31.316	124.564	118.629	54.015	172.644
Venda Nova	73.108	1.846	20.081	14.850	93.189	87.958	41.442	129.400
Norte (só Isidoro)	-	-	54.340	67.623	54.340	67.623	-	67.623
Total	798.940	20.724	331.292	270.133	1.130.232	1.069.073	336.340	1.405.413

Fonte dos dados básicos: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2011.

Complementar à TAB. 3, são apresentados os mapas da FIG. 37, que mostram as quadras passíveis de adensamento domiciliar e renovação urbana utilizadas na construção dos cenários. Os resultados das simulações (representados via densidade de quadras/hectare) podem ser visualizados na coleção de mapas (FIGs. 38 a 42), que apresentam, respectivamente, o adensamento domiciliar de Belo Horizonte em 2011, os Cenários 1, 2, 3 e por fim, o somatório dos domicílios de 2011 com os Cenários 2 e 3, mostrando as quadras do município que podem ter maior pressão em termos de adensamento domiciliar futuro.

FIGURA 37 – Quadras passíveis de adensamento domiciliar e renovação urbana, utilizadas na criação dos cenários

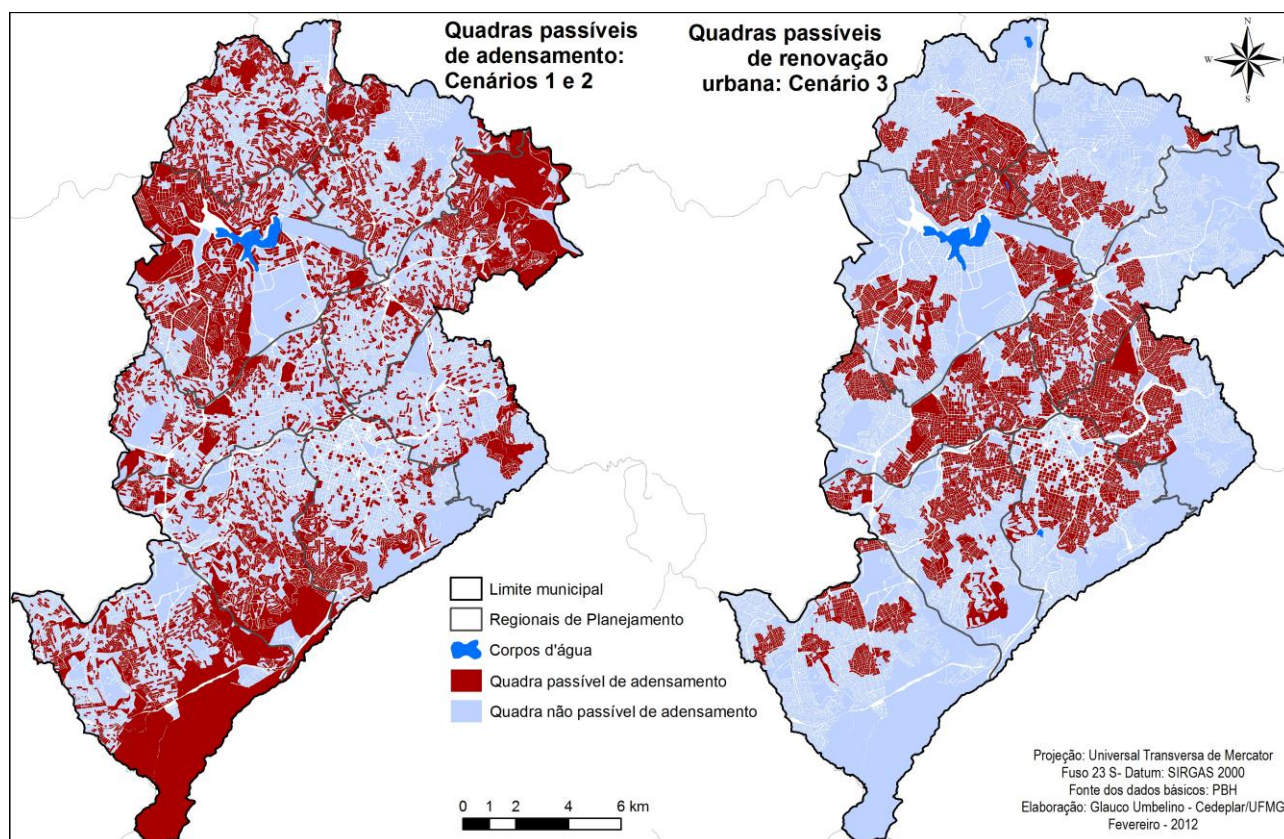


FIGURA 38 – Domicílios existentes por quadra na Planta Cadastral de Belo Horizonte em setembro de 2011

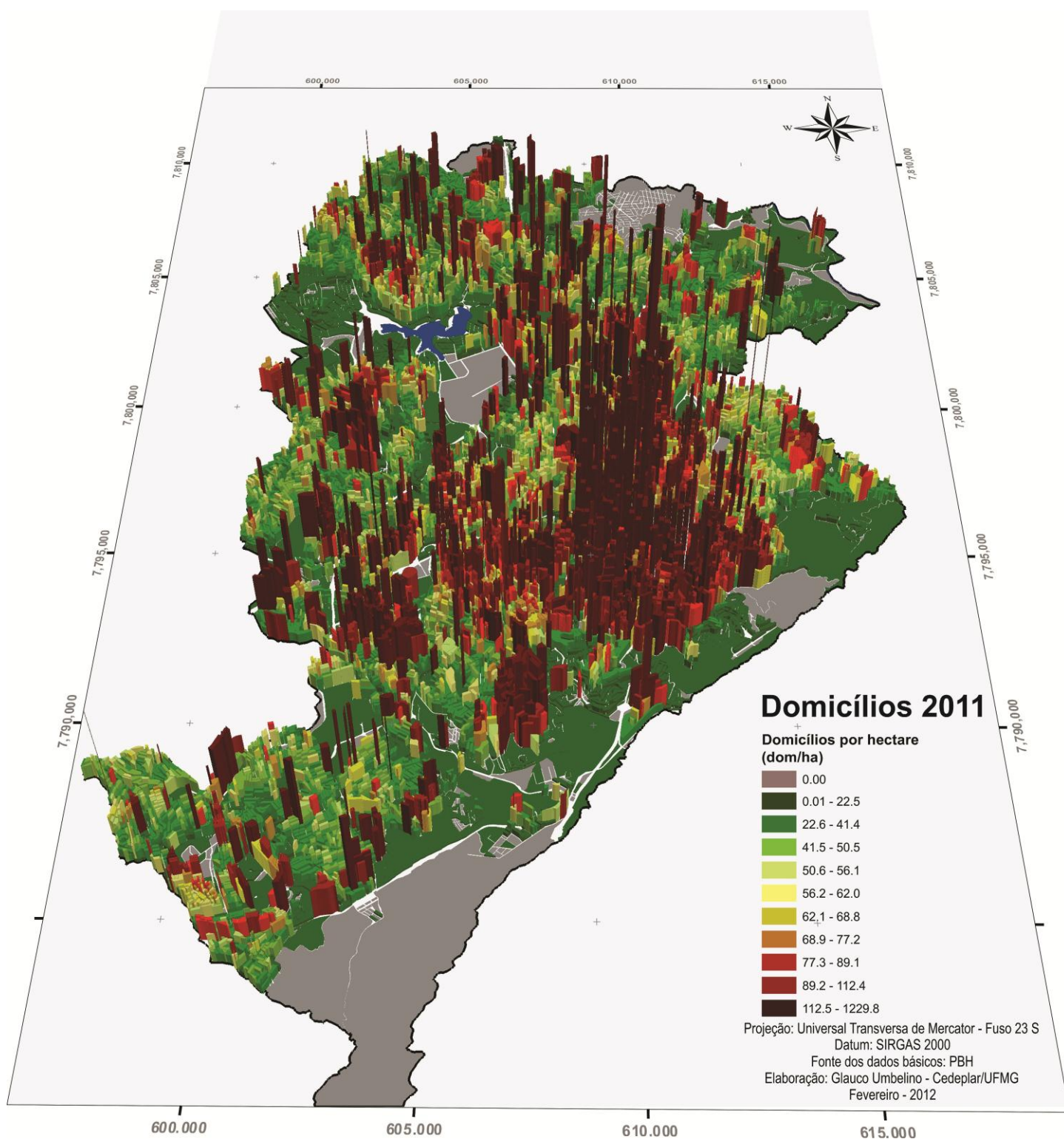


FIGURA 39 – Domicílios futuros obtidos a partir do Cenário 1: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Legal

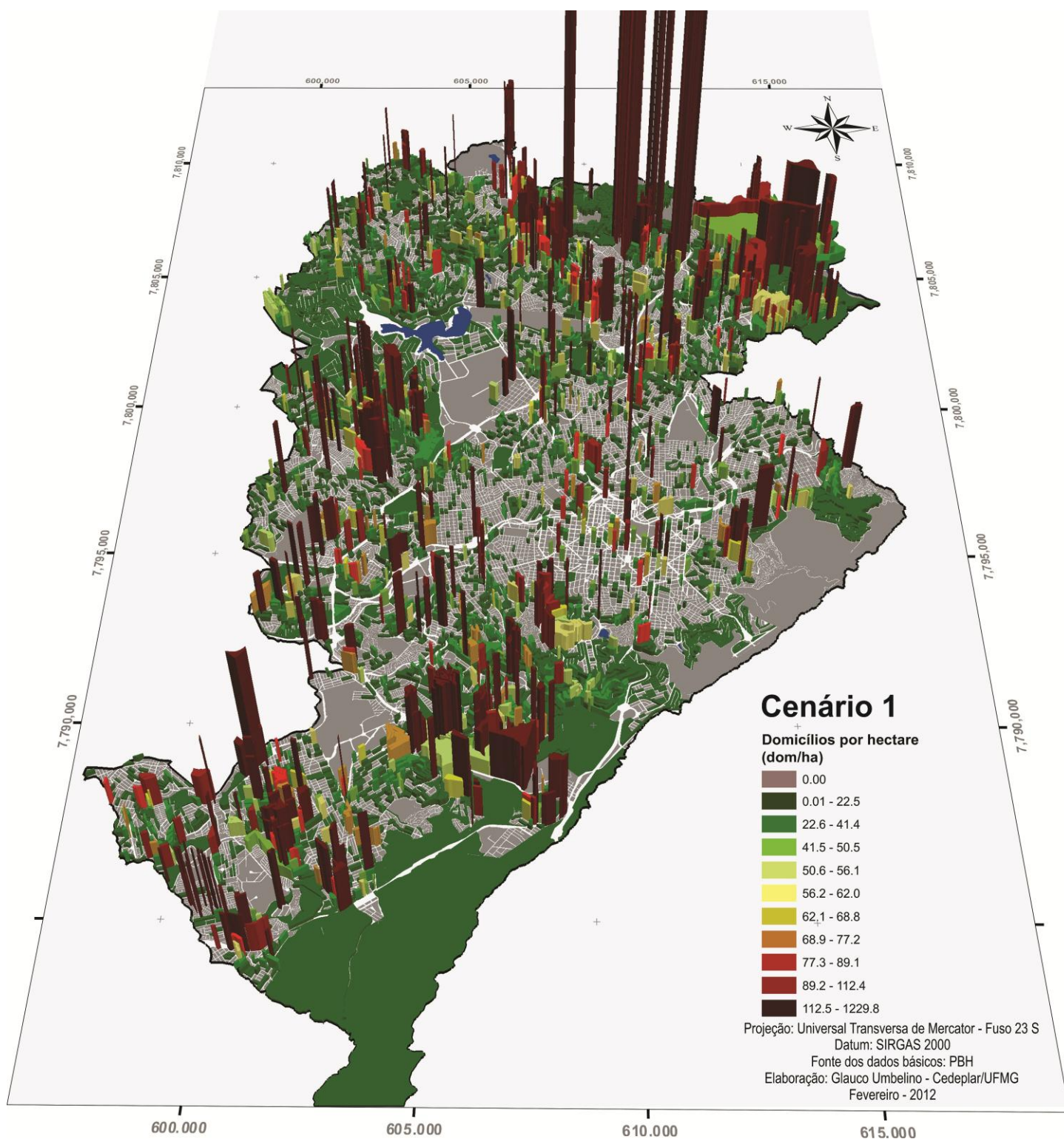


FIGURA 40 – Domicílios futuros obtidos a partir do Cenário 2: ocupação dos lotes vagos utilizando a Quota Praticada

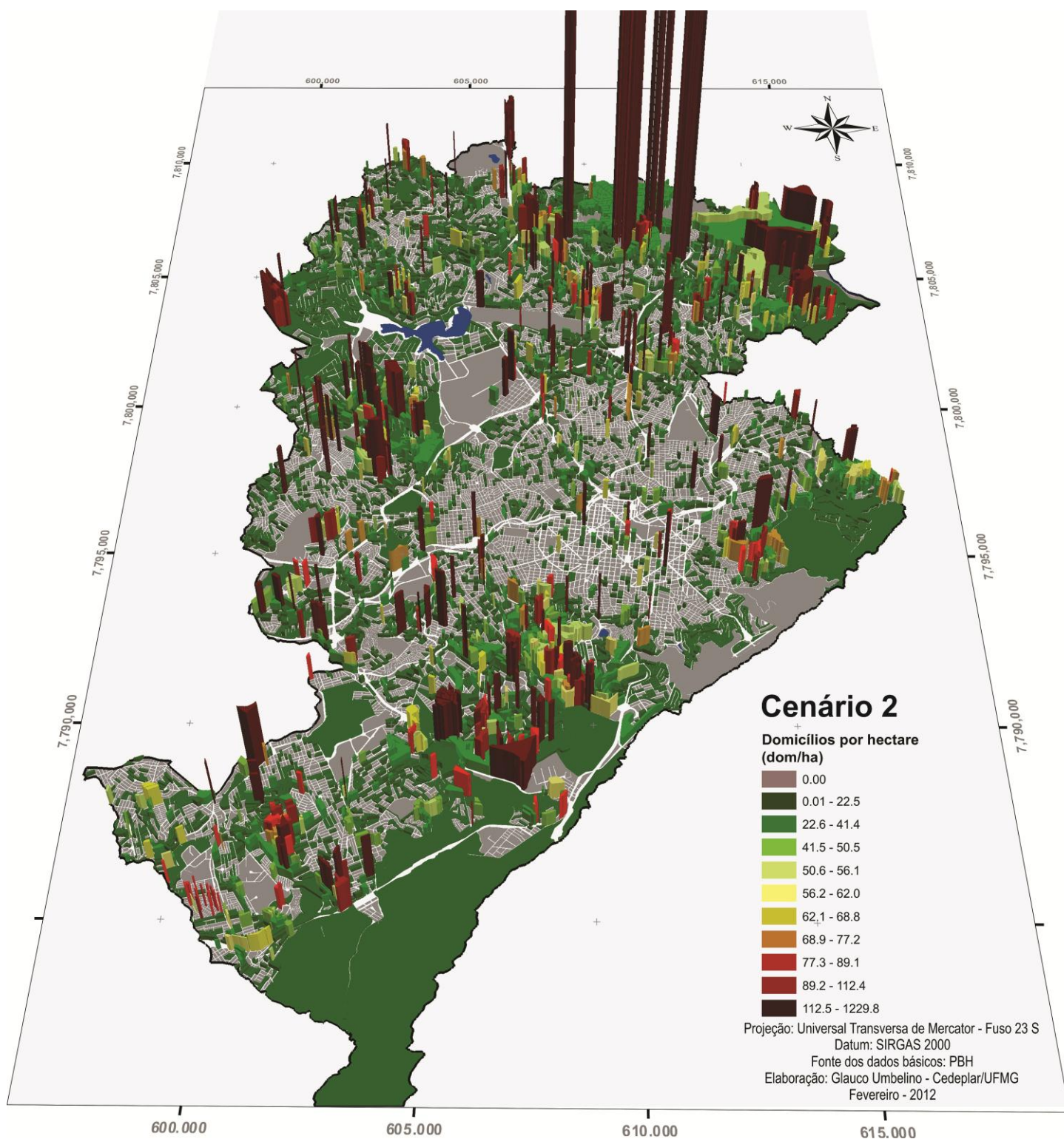


FIGURA 41 – Domicílios futuros obtidos a partir do Cenário 3: renovação urbana via demolições

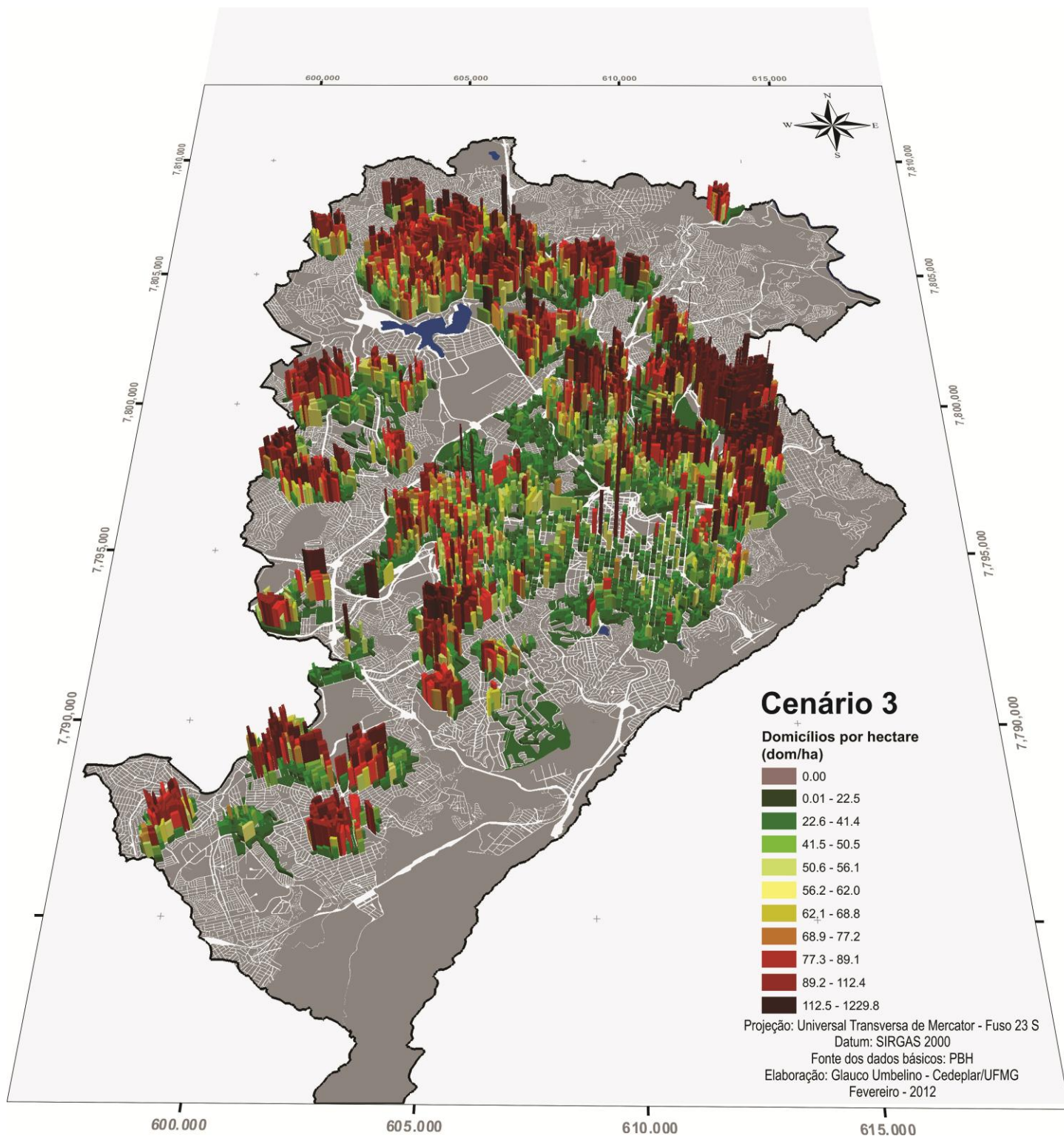
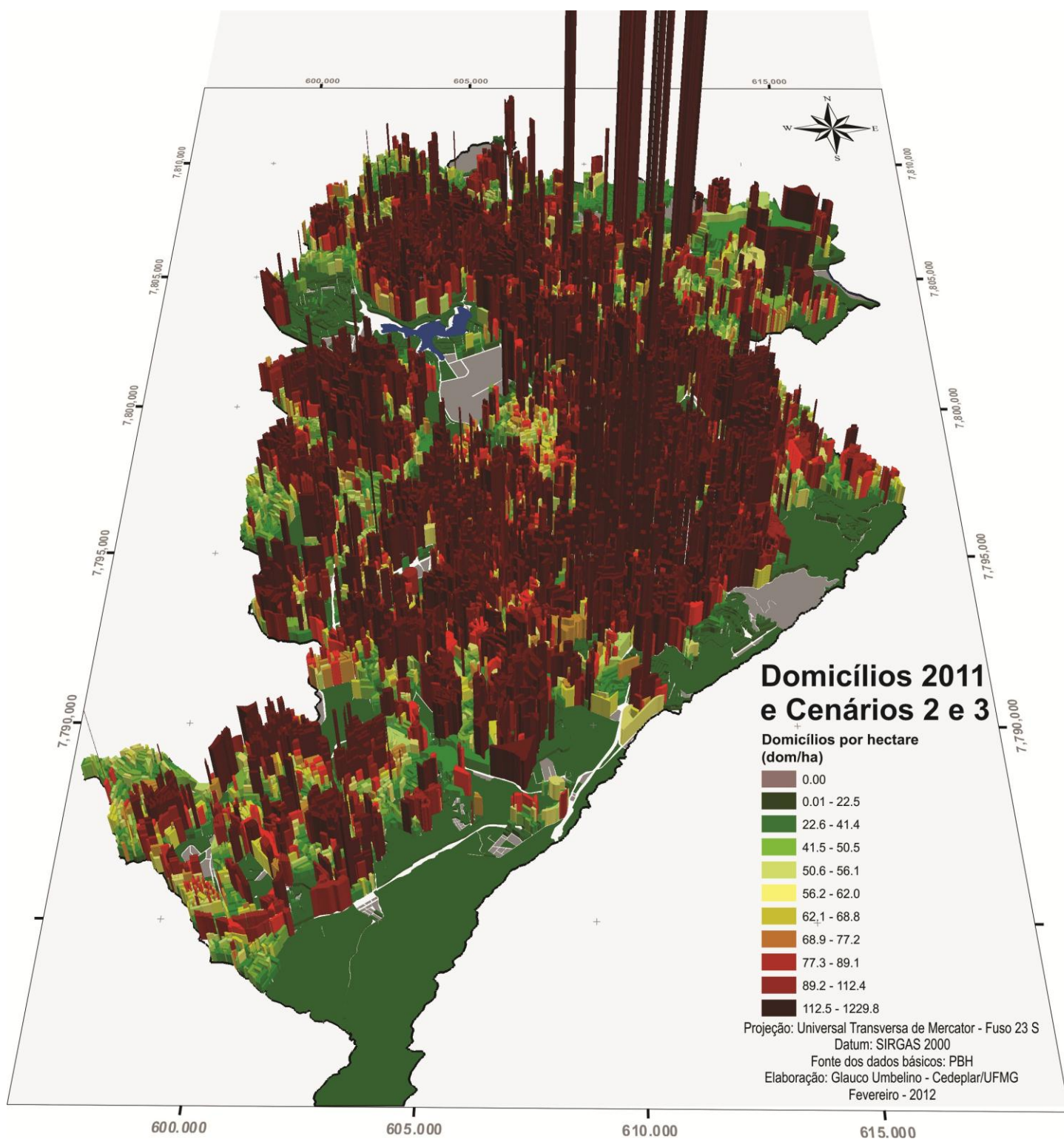


FIGURA 42 – Capacidade máxima domiciliar suportada por Belo Horizonte, a partir do somatório dos domicílios de 2011 com os Cenários 2 e 3



Analisando a área total proveniente da soma das 17.155 quadras do município, foi verificado que 3,1% encontra-se em algum tipo de zoneamento que proíbe a construção de novas edificações, 14,6% é formada por ZEIS e 82,3% situa-se em regiões passíveis de adensamento ou demolição. Além das áreas de ZEIS e da Região do Isidoro, existem 5.195 quadras em Belo Horizonte com lotes vagos onde é permitida a materialização dos Cenários 1 e 2, bem como existem 6.453 quadras onde os dados do Cenário 3 possam se concretizar.

A análise do SIG construído através da junção das informações possibilitou quantificar 798.359 habitações na capital em 2011. De acordo com o cruzamento dos dados apresentados na TAB. 12, o resultado das simulações aponta que o município ainda comporta 331.292 moradias no Cenário 1, 270.133 moradias no Cenário 2 e 336.340 moradias no Cenário 3. Em termos percentuais, o Cenário 1 pode ocasionar um aumento de 41,5% no número de domicílios da capital, enquanto que o Cenário 2 prevê o aumento de até 33,8% e o Cenário 3 possibilita um incremento de 42,1% novos domicílios via demolição.

A comparação dos resultados entre os dois cenários de adensamento (1 e 2) permite qualificar a legislação atual como bastante permissiva (apesar das últimas alterações adotarem maiores instrumentos de restrição). Nesse sentido, os 14.898 lotes vagos analisados ainda comportam um aumento de aproximadamente 40% do número de domicílios da capital, caso o espaço urbano seja ocupado em sua potencialidade máxima. Embora esse seja um limite máximo de ocupação domiciliar, fica claro que existem mecanismos na legislação municipal atual que permitem a saturação de novos espaços urbanos, que podem se tornar vilas e aglomerados ainda mais densos ou bairros de classe média com saturação de infraestrutura urbana. Acredita-se, ainda, que uma avaliação dos resultados em escalas mais refinadas (intraurbanos), possíveis a partir da metodologia desenvolvida nesse artigo, permita identificar locais que podem vir a se concretizar (ou estão se concretizando) como focos de adensamento maiores do que seria desejável. Poder-se-ia, dessa forma, antever e evitar problemas decorrentes do adensamento urbano que têm ocorrido, por exemplo, nos bairros Buritis, Estoril, Castelo e Novo Engenho Nogueira.

Os problemas decorrentes do adensamento exagerado, como verificado nos bairros supracitados, estimulam uma discussão para o planejamento urbanístico futuro da capital. Em particular, recomenda-se o aumento dos valores da QT na legislação vigente para níveis maiores do que os atuais e preferencialmente acima dos praticados pelo mercado, visando a minimização do adensamento domiciliar e problemas decorrentes nas quadras que ainda apresentam alto potencial construtivo. A categoria de zoneamento que mais chama a atenção na discrepância de valores é a ZHIP, localizada na porção central do município e que possui uma QT de somente 8 m²/un. Embora seu impacto na expansão domiciliar seja mínimo na atualidade, pois esta zona já está quase toda saturada (são possíveis 849 novos domicílios no Cenário 1 e 329 domicílios no Cenário 2), acredita-se que sua QT deva ser aumentada para cerca de 30 m²/un, que é o valor médio praticado pelo mercado entre 2008 e 2011, condizente com um tamanho mínimo adequado para uma habitação básica. Dessa forma, essa categoria de zoneamento ficaria mais protegida dos potenciais impactos advindos da renovação urbana.

O mesmo princípio deve ser aplicado às demais categorias de zoneamento permissivas de habitação, pois fica evidente que a QT legal está muito além do desejado, em um município sede de Região Metropolitana que encontra-se próximo à saturação dos espaços livres aptos à ocupação humana, que enfrenta inúmeros problemas decorrentes do adensamento domiciliar já existente e que possui planos de desenvolvimento como o PDDI (2011), que sugere a desconcentração populacional para além dos limites municipais, em regiões mais propícias à criação de domicílios dotados de melhor infraestrutura básica e maior qualidade ambiental urbana.

Conforme discutido anteriormente, pode-se assumir o Cenário 2 como mais provável em relação ao Cenário 1, por apresentar um tamanho mínimo de habitação mais atrativo para os padrões construtivos do Brasil, e dessa forma, uma QT praticada mais condizente com os padrões que serão praticados nos próximos anos. Nesse cenário podem ser gerados até 61 mil domicílios a menos do que o Cenário 1, fato positivo em termos de sobrecarga da infraestrutura urbana. Mas deve-se destacar que a diminuição da QT praticada em domicílios do

tipo apartamento nos últimos anos, associada ao iminente esgotamento de lotes vagos do município e às pressões do mercado imobiliário, pode gerar uma maior exploração do mercado imobiliário sobre a utilização da QT legal nas edificações. Essa suposição faria com que os resultados do Cenário 2 convirjam para um número de domicílios próximo ao Cenário 1, o que mais uma vez remete à sugestão de revisão dos valores da QT legal por parte da administração municipal de Belo Horizonte. A título de exemplo, os cenários criados permitem afirmar que caso o mercado imobiliário continue se comportando como nos últimos cinco anos, os lotes vagos do município se esgotarão no mais tardar até a virada da década.

Já o Cenário 3 permite uma reflexão suplementar à do parágrafo anterior, pois à medida que os lotes vagos vão diminuindo, aumenta a tendência do mercado imobiliário se apossar de edificações passíveis de demolição. A renovação urbana é um nicho de mercado cuja atividade no município está se expandindo rapidamente, como mostram os dados de evolução do cadastro do IPTU, que apresentou a renovação de 191 edificações entre 2010 e 2011 contra uma média de 127 edificações renovadas por ano entre 2006 e 2010. O aumento anual do número de demolições sinaliza a necessidade de se pensar melhor nesse tipo de mecanismo, que será o único em um futuro próximo que possibilitará o adensamento urbano, caso a Lei 9.959/10 continue vigorando.

Através de uma interpretação integrada dos cenários, acredita-se que uma situação mais plausível poderia ocorrer a partir da junção do adensamento via QT praticada (Cenário 2), com a renovação urbana (Cenário 3), o que permitiria que Belo Horizonte aumentasse o número de domicílios em 75,9%, chegando a atingir sua capacidade máxima de adensamento em cerca de 1.405.413 moradias. Analisando esses valores por Regionais de Planejamento, verifica-se que a maior concentração pode ocorrer na regional Oeste (183.647 domicílios), seguida pelas regionais Norte (178.120)³⁶, Pampulha (172.644 domicílios), Nordeste (168.975 domicílios) e Centro-Sul (165.624 domicílios). Estes resultados devem ser analisados pelo poder público com muita cautela, pois apesar de serem hipotéticos, servem para refletir sobre os impactos potenciais da expansão urbana

³⁶ Incluindo o cenário de adensamento domiciliar previsto na Região do Isidoro.

e sua capacidade de manter a qualidade de vida da população e do ambiente natural em um cenário de aumento de $\frac{3}{4}$ no número de domicílios.

Dentre as Regionais de Planejamento, a Nordeste possui a maior vacância, o que a torna mais apta a um adensamento domiciliar expressivo (Cenário 2) – em até 52,6%. Já a renovação urbana é mais significativa para o crescimento domiciliar nos espaços mais antigos da capital. O aumento no número de domicílios pode atingir até 78,3% na Regional Leste, seguido pelas Regionais Pampulha e Venda Nova, com aumentos respectivos de 61,9% e 56,7%. Conforme as tendências verificadas na evolução dos dados de demolição e na dinâmica imobiliária recente, acredita-se que estas duas regionais irão presenciar as maiores alterações urbanas domiciliares da capital, pois agregam alto potencial de renovação e tem experimentado a recente atuação do poder público e do setor imobiliário em função dos empreendimentos ocorridos no vetor norte da capital (Linha Verde, Cidade Administrativa, obras estruturadoras para a Copa do Mundo 2014). Nesses locais o crescimento domiciliar poderá ser positivo até mesmo em situações onde for verificada uma redução no contingente populacional.

Especificamente em relação à Região do Isidoro, deve-se reforçar que essa é a porção do município com maior probabilidade de concretização das projeções, pois diferente das demais projeções, já existe um plano de habitação em execução que prevê 54.340 moradias no Cenário 1 e 67.623 moradias no Cenário 2 (Belo Horizonte, 2011b).

O primeiro Plano do Isidoro criado na Lei 8.137/00 expirou durante seus 6 anos de prazo da operação, porque o poder público não se mobilizou para criar o aparato necessário à atração do parceiro privado (Cota, 2010). Diferente do primeiro Plano do Isidoro, o atual apresenta um enorme potencial de implantação com rápido crescimento imobiliário, devido à facilidade de crédito para financiamento imobiliário, à saturação dos demais espaços da capital, a ampliação dos investimentos no vetor norte do município, e a criação de um espaço que dê um aporte necessário à hospedagem de atletas durante a Copa do Mundo de 2014. Apesar do plano de ocupação da região ter sido realizado por uma equipe multidisciplinar dotada de extrema competência, chama-se atenção

para alguns pressupostos que podem ocasionar problemas de planejamento urbano domiciliar local:

- O plano por si só não irá conter o processo de adensamento domiciliar em outras áreas do município;
- A malha viária projetada deve ser mais larga tanto nas vias primárias como secundárias, visando a minimização de problemas de trânsito, pois não foi considerado que os veículos já existentes na RMBH também circularão na região junto com os veículos dos moradores novos. O mesmo princípio se aplica aos demais quesitos de infraestrutura urbana básica, pois a região estará aberta ao restante do município;
- Se todos os parâmetros construtivos previstos no plano forem seguidos à risca, o zoneamento atual terá que ser modificado, redimensionando áreas da categoria ZAR para ZP-2, ou criando novas categorias mais permissivas do adensamento nas áreas de ZAR e ZP-2. Somente dessa maneira será possível construir o número de moradias previsto nos dois cenários, sem alterar as áreas de preservação ambiental. Uma análise das FIGs 39, 40 e 42 clarifica esse argumento.

O crescimento domiciliar ocorrido na última década nas categorias de zoneamento ZEIS-1 e ZEIS-3 mostra que, apesar do arrefecimento da TCG ao longo das últimas décadas, esses ainda são lugares dinâmicos, que possuem potencial de adensamento e que certamente terão esses potenciais explorados, uma vez que essa é a categoria de zoneamento menos vulnerável à legislação urbanística do município. Os resultados mostram que em 2011 existiam 101.723 domicílios nesses locais, que ainda podem ser adensados em cerca de 20%, chegando a comportar 18.439 novas moradias precárias, distribuídas de forma homogênea em todas as partes da capital. Assim como no restante do município, as áreas de ZEIS também apresentam escassez de terrenos vazios e possuirão a maioria do seu adensamento domiciliar se manifestando a partir de novas construções surgidas nos fundos de quintal, ou nas verticalizações de até 3 pavimentos erigidas acima das lajes dos domicílios precários, nas construções conhecidas como “puxadinhos”.

4.5 - Conclusão

A partir de um referencial teórico e metodológico construído com o uso das geotecnologias, através da interação entre SIGs e a técnica de mapeamento dasimétrico, pôde-se analisar na escala intraurbana de quadras (com o município de Belo Horizonte como estudo de caso) um modelo capaz de projetar cenários de aumento e distribuição da oferta domiciliar (adensamento domiciliar máximo), inclusive no que tange aos seus potenciais impactos sobre a verticalização da mancha humana. A importância dessa análise é predicada na necessidade de criar instrumentos eficientes de planejamento em pequenas escalas, que corrijam desequilíbrios da expansão domiciliar e do alto grau de antropização presente na capital mineira. Espera-se, assim, que este artigo contribua para a difusão das novas potencialidades advindas do geoprocessamento na demografia e nas áreas relativas ao planejamento urbano e regional. Em trabalhos futuros será realizada uma exploração mais acurada dos diversos resultados e tendências verificadas através das projeções.

A simulação do adensamento máximo comportado pela capital mostrou-se eficaz na espacialização por quadras do município, uma vez que aponta elementos para se pensar o futuro conforme os impactos decorrentes desse adensamento. Ressalta-se que o uso de informações georreferenciadas oficiais do município, assim como o envolvimento de vários especialistas na elaboração dos pressupostos, foi fundamental para tornar o modelo mais acurado, de tal forma que estas projeções possam ser mais úteis como instrumentos de planejamento intraurbano da capital, provando, inclusive, que apesar da Lei 9.959/10 ser considerada a mais restritiva já implantada no planejamento da capital, ela ainda mostra-se bastante permissiva.

É nesse sentido que a metodologia desenvolvida pode servir para o aprimoramento de diversas atividades de manutenção e planejamento do meio urbano, tais como a planificação de políticas de infraestrutura e habitação, a expansão e manutenção de redes de serviços públicos ou privados (água, eletricidade, esgotamento sanitário, telefonia, TV a cabo, dentre outros), a identificação de locais para a instalação de equipamentos públicos, a

caracterização de novas áreas de assentamentos precários e a identificação da vulnerabilidade ambiental presente e futura da população. Todos esses elementos mostram a importância da desagregação espacial da informação urbana em pequenas áreas (Torres, 2006).

Comparando de forma sintética a densidade domiciliar atual com a projetada conforme os parâmetros da referida Lei, percebe-se que sob a ótica de um cenário conservador, embora aparentemente próxima à saturação dos espaços de expansão urbana, a capital ainda possui instrumentos legais que permitem e estimulam um expressivo adensamento domiciliar. Este adensamento está ocorrendo de forma contínua a partir da ocupação em lotes vagos e em um segundo momento se acentuará através da renovação urbana. O processo está ocorrendo em todas as porções do município, sendo que o vetor norte, com destaque para a Região do Isidoro, será o mais afetado nos próximos anos e que conseqüentemente, recomenda-se que seja alvo de políticas mais intensas de análise e manutenção dos impactos deste adensamento domiciliar. Dessa forma, os resultados apontam a necessidade dos gestores urbanos desenharem estratégias de intervenção distintas para cada espaço da capital, sendo que os dados da simulação apontam para cada quadra município, o impacto que poderá ser resultante de cada um dos cenários projetados, o que permite uma intervenção mais adequada para cada tipo de situação.

Deve-se frisar que estudos complementares voltados para o planejamento da paisagem e da qualidade ambiental urbana podem ser feitos através de cenários de expansão domiciliar, ao demonstrar para onde e quanto a cidade pode crescer. Tais resultados são a base para a formulação do planejamento e gestão urbana ambientalmente sustentáveis, buscados em análises que utilizam os princípios da hemerobia (Troppmair, 1983; Nucci, 1996 e 2008). Além disso, um planejamento ordenado da ocupação urbana pode potencializar benefícios de um maior adensamento populacional, ao gerar economias de escala que possibilitam a oferta mais eficiente de serviços e infraestrutura (Martine, 2007; PRB, 2010).

O método proposto neste artigo possui algumas limitações que serão consideradas em trabalhos futuros. Em primeiro lugar, deve-se ressaltar que a qualidade dos insumos básicos fornecidos pela Prefeitura Municipal de Belo

Horizonte (PBH) é o principal responsável pela qualidade do produto final e seu constante aprimoramento contribui para uma projeção cada vez mais precisa. Para isso, recomenda-se que a PBH passe a ter uma série histórica dos seus dados, que atualmente possuem atualização contínua sem *backup*. O armazenamento de informações temporais é fundamental para a comparação de mudanças domiciliares, principalmente no que se refere à dinâmica domiciliar de renovação urbana.

Como a PBH possui uma pequena parcela de domicílios que não está inserida na legalidade, ou por não contribuir com o IPTU (principalmente nas ZEIS) ou por subdeclarar suas informações cadastrais (em todo o município), os dados projetados podem estar passíveis de inconsistência em algumas destas áreas. Outra limitação é a alta dependência dos pressupostos com o PDM e a LPOUS. Caso esses instrumentos tenham parâmetros urbanísticos alterados, a metodologia e os resultados dos cenários deve ser revista.

Uma limitação final dos cenários produzidos é que são essencialmente conservadores, por não considerarem:

- A incorporação da TDC nos cenários produzidos. Infelizmente a PBH não possui informações precisas de Processos de Transferência do Direito de Construir, que permitam quantificar quantos domicílios surgiram na capital por causa desse mecanismo, assim como quantos domicílios ainda podem surgir a partir do seu uso. A única informação a ser considerada é que o TDC pode ser utilizado em determinadas áreas do município para aumentar o potencial construtivo básico da edificação em até 20% ou o número de domicílios dessas edificações em até 20% (Pena, 2010);
- As construções ilegais em categorias de zoneamento não permissivas de adensamento (ZE e ZPAM), bem como acima dos parâmetros permitidos pela lei em cada zona;
- A renovação urbana a partir de edificações do tipo não residencial que possam se tornar residenciais. Por problemas de indisponibilidade de informações domiciliares, essa remota possibilidade não foi incorporada à projeção final;

- Mudanças nos parâmetros construtivos de determinados locais do município devido às Operações Urbanas e ADEs, que tornem o zoneamento mais ou menos permissivo ao adensamento domiciliar nesses locais;

- Os efeitos decorrentes do adensamento domiciliar nas áreas de outros municípios conurbadas com a capital. Talvez essa seja a principal limitação da metodologia, dada sua restrição espacial nos limites de Belo Horizonte. Em uma época na qual o planejamento metropolitano está cada vez mais consolidado, a necessidade de construção de bases cadastrais para os demais municípios da RMBH deve ser questão prioritária para a efetivação de um planejamento integrado da expansão metropolitana.

Como já apontado anteriormente, a metodologia de construção de cenários de expansão, distribuição e verticalização domiciliar sugere diversos benefícios que podem ser aplicados em prol do melhor planejamento urbano de Belo Horizonte. Além do que já foi explanado, merece menção a possibilidade de utilização do método para:

- Cálculo e espacialização por quadras do déficit habitacional básico de Belo Horizonte. Como complemento ao que já havia sido desenvolvido no PDDI (2011) em uma escala mais agregada, o mapeamento dasimétrico dos setores censitários espacializou a demanda habitacional (informações de moradias precárias e de aluguel) e parte da oferta (informações de moradias vagas ou em construção), enquanto o resultado final da projeção espacializou a oferta habitacional a partir da capacidade domiciliar obtida via vacância e renovação urbana. Os resultados das simulações mostram que existe solução para o déficit habitacional municipal sem a abertura de novas áreas de expansão urbana (até porque o município não as possui);

- Simulação da explosão do tráfego veicular. A metodologia proposta neste trabalho pode ser adaptada para o monitoramento do adensamento da frota veicular, cuja Taxa de Crescimento Geométrico anual é quatro vezes maior que a TCG domiciliar. Seria possível, por exemplo, calcular os trechos de ruas com potencial de saturação viária em função do crescimento domiciliar, podendo dessa forma subsidiar políticas específicas de mobilidade como a adição na

legislação do número máximo de vagas veiculares por edificação, ou a necessidade de renovação urbana visando a construção de novos estacionamentos;

- Projeção da capacidade máxima de adensamento suportada pela capital em edificações do tipo não residencial (indústria, comércio e serviços);

- Projeção e avaliação da oferta e demanda de equipamentos urbanos, como escolas, hospitais, parques e lugares públicos;

- Análise dos impactos da verticalização na infraestrutura urbana e na qualidade ambiental urbana;

- Análise da ocupação domiciliar em áreas susceptíveis a inundações e deslizamentos de encosta.

Referências bibliográficas

ARAÚJO, B., CARAM, R. Análise Ambiental: Estudo Bioclimático Urbano em Centro Histórico. **Ambiente & Sociedade**. v.9, n.1, p.149-167. 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2006000100008>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

BELO HORIZONTE. **Plano Diretor de Belo Horizonte**: Lei de Uso e Ocupação do Solo - Estudos Básicos. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 1995.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 7.165, de 27 de agosto de 1996. Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: 1996a.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1996b. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-7166.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Lei nº 9.959/10, de 20 de julho de 2010. Altera as leis nº 7.165/96 – que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte – e nº 7.166/96 – que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte. 2010. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-9959.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

BELO HORIZONTE. **Base georreferenciada de quadra-face do Imposto Territorial e Predial Urbano (IPTU)**, referente a setembro de 2011 (Circulação restrita). Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2011a.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Plano Urbano Ambiental da Região do Isidoro**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – Secretaria Municipal de Políticas Urbanas (Circulação restrita). 2011b.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Bases georreferenciadas de Regionais de Planejamento, quadras e lotes do Cadastro Técnico Municipal (CTM)**, referentes a setembro de 2011 (Circulação restrita). Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2011c.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Base georreferenciada do Zoneamento Municipal**, referente a setembro de 2011 (Circulação restrita). Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2011d.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília: 1979. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/urbanistico/legislacao/id3382.htm> >

BRASIL. Constituição Federal de 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, Senado Federal, 05/out/1988.

BRASIL. Estatuto da Cidade. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União - Seção 1 - Atos Poder Legislativo**. Brasília, v.133, 10/jul/2001.

BRASIL. Estatuto da Cidade - Guia para implementação pelos municípios e cidadãos: Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001, que estabelece diretrizes gerais da política urbana. **Senado Federal**. Brasília, Senado Federal, 2005.

CALDAS, M. et al. **Estudos Urbanos - Belo Horizonte 2008**: transformações recentes na estrutura urbana. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2008. 513p.

CAVALCANTI, C. (Org.). **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. 2.ed. São Paulo: Cortez, 1999. 436p.

COSTA, H., MONTE-MÓR, R. Urbanization and environment: trends and patterns in contemporary Brazil. In: HOGAN, D. et al (Orgs.). **Population and environment in Brazil**: Rio + 10. Campinas, S.P.: CNPD, ABEP, NEPO, 2002. p. 127-146.

COTA, D. **Legislação urbana e capital imobiliário na produção de moradias, em Belo Horizonte**: um estudo de caso. 2002. 123f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

COTA, D. **A parceria público-privada na política urbana brasileira recente: reflexões a partir da análise das operações urbanas em Belo Horizonte.** 2010. 430f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DAVIS, C., FONSECA, F. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográficos.** Belo Horizonte: Departamento de Cartografia/UFMG, 2001. 261p.

DE BY, R. et. Al. **Principles of Geographic Information Systems – An Introductory Textbook.** Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001. 490p.

EASTMAN, J. **Idrisi Taiga Tutorial.** Massachusetts: Clark Labs, 2009. 342p. Disponível em <www.clarklabs.org>. Acesso em 03 fev. 2010.

EICHER, C., BREWER, C. Dasymeric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. **Cartography and Geographic Information Science.** v.28, n.2, p.125–138. 2001.

EPAMINONDAS, L. **A legislação urbanística e a produção do espaço: estudo do bairro Buritis em Belo Horizonte.** 2006. 211f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FABIANO, P. **O Processo de Planejamento Urbano e suas Temporalidades: Uma análise da influência da legislação urbanística na produção do espaço urbano de Belo Horizonte.** 2005. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FERREIRA, T. **Planejamento Urbano: reflexões sobre as práticas no município de Belo Horizonte.** 142f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

IBGE. **Censo demográfico 2000: agregado por Setores censitários dos resultados do universo.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **Censo demográfico 2010: agregado por Setores censitários dos resultados do universo.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios>. Acesso em 30 out. 2011.

JANNUZZI, P. Cenários futuros e projeções populacionais para pequenas áreas: método e aplicação para distritos paulistanos 2000-2010. **Revista Brasileira de Estudos de População.** v.24, n.1, p.109-136. 2007.

LANGFORD, M. et al. The areal interpolation problem: Estimating population using remote sensing in a GIS framework. In: MASSER, I., BLAKEMORE, M. **Handling geographic information: Methodology and potential applications.** Londres: Longman, 1991. p.55-77.

LEMOS, M. et al (Orgs.). **Belo Horizonte no Século XXI**. Belo Horizonte: Cedeplar, 2004. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/projetos-concluidos/projeto-bh-seculo-xxi.php>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

LONGLEY, P. et al (Orgs.) **Geographic Information Systems and Science**. New York: John Wiley and Sons, 2005. 512p.

MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.24, n.2, p.181-190. 2007.

MATOS, R. **Impactos da legislação urbanística sobre a estrutura urbana de Belo Horizonte**: um estudo de caso. 217f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1984.

MATOS, R. **Evolução Urbana e Formação Econômica de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1992. 39p. (Texto para discussão, 64).

MENNIS, J., HULTGREN, T. Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. **Cartography and Geographic Information Science**. v.33, n.3, p.179-194. 2006.

MONTE-MÓR, R. et al. **Belo Horizonte**: espaços e tempos em construção. Belo Horizonte: Cedeplar/PBH, 1994. 94p.

NUCCI, J. **Qualidade ambiental e adensamento**: um estudo de planejamento da paisagem do distrito de Santa Cecília. 1996. 229f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo - Programa de Pós-Graduação em Geografia, São Paulo, 1996.

NUCCI, J. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/Fapesp, 2008, 236p. Disponível em: <www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs>. Acesso em: 07 fev. 2012.

PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Relatório final de definição das propostas de políticas setoriais, projetos e Investimentos prioritários**. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2011. Disponível em: <www.rmbh.org.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

PENA, V. **A Transferência do Direito de Construir para a proteção do patrimônio cultural**: estudo do caso do Município de Belo Horizonte. 2010. 72f. Monografia (Bacharelado em Direito), Fundação Mineira de Educação e Cultura, Belo Horizonte, 2010.

PRB – Population Reference Bureau. **World Population Highlights**: Key Findings for PRB 2010 World Population Data Sheet. Population Bulletin. New York: Population Reference Bureau, v.65, n.2. 2010. Disponível em: <<http://www.prb.org/pdf11/world-at-7-billion.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

REIBEL, M., AGRAWAL, A. Areal Interpolation of Population Counts Using Pre-classified Land Cover Data. **Springer Science**. v.36, n.5-6, p.619-633. 2007.

REZENDE, D., ULTRAMARI, C. Plano diretor e planejamento estratégico municipal: introdução teórico-conceitual. **Revista de Administração Pública On Line**. v.41, n.2, p.255-271. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-76122007000200005>>. Acesso em: 27 mai. 2011.

SANTOS, R. **Projeções populacionais para pequenas áreas a partir de cenários econômicos**: aplicação de ratio methods para a região do Alto Paraopeba-MG, 2010-2025. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

TONETTI, E. **Potencialidades de adesamento populacional por verticalização das edificações e qualidade ambiental urbana no município de Paranaguá, Paraná. Brasil**. 2011. 235f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TORRE, F. **Aspectos da dimensão ambiental no processo de consolidação do plano diretor de belo horizonte (1993-2000)**: atores e interesses. 2003. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

TORRES, H. Demografia urbana e políticas sociais. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.23, n.1, p.27-42. 2006.

TROPMAIR, H. Ecossistemas e Geossistemas do Estado de São Paulo. **Geografia**. v.13, n.25, p.27-36. 1983.

UMBELINO, G. **Proposta metodológica para avaliação da população residente em áreas de risco ambiental**: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Onça/MG. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

5 – CONCLUSÕES

Esta tese propôs o uso de novas metodologias aplicadas ao estudo da distribuição espacial da população em áreas urbanas, baseadas na utilização das geotecnologias, através da interação entre SIGs, a técnica de mapeamento dasimétrico e o uso de autômatos celulares (ACs). Os resultados demonstraram a potencialidade dessas metodologias como instrumento para o planejamento urbano e regional. Além disso, o uso das metodologias a partir de informações da RMBH e de Belo Horizonte indicou potenciais cenários, para estes locais, em termos de novos padrões de ocupação, calcados na expansão e adensamento domiciliar. As principais contribuições da tese são detalhadas nos parágrafos a seguir, acompanhados da descrição dos principais resultados das análises demográficas realizadas. Em seguida, são apresentadas as limitações das técnicas aqui desenvolvidas e a descrição de potenciais trabalhos futuros.

Embora exista uma ampla literatura especializada sobre a temática abordada nesta tese em outras disciplinas, acredita-se que o desenvolvimento de uma proposta metodológica que integre dados demográficos e geotecnologias, permitindo a produção de simulações detalhadas da distribuição espacial da população seja um caminho que mereça ser mais aprofundado na demografia. A natureza interdisciplinar desta área do conhecimento possibilita o diálogo e favorece a absorção de técnicas desenvolvidas em outras áreas do conhecimento, possibilitando o aprimoramento dos estudos demográficos preditivos.

Sobre os resultados específicos da tese, verificou-se que em 2020 e 2030 a RMBH vivenciará novos padrões de ocupação, com destaque para o adensamento domiciliar pelo qual passará a capital e a reestruturação espacial dos municípios limítrofes a partir da gentrificação³⁷ da periferia. Isso tende a ocorrer principalmente no vetor norte da RMBH, em função da valorização imobiliária promovida pelos

³⁷ De forma sucinta, gentrificação refere-se a intervenção em espaços urbanos (com ou sem auxílio governamental), visando sua melhoria e conseqüente valorização imobiliária, muitas vezes com a retirada de moradores tradicionais, geralmente pertencentes a classes sociais menos favorecidas.

novos investimentos estruturais na região (como a Linha Verde, o Rodoanel, o Centro Administrativo e o Aeroporto Industrial), que implicará em uma realocação das populações de baixa e alta renda (PDDI, 2011).

Os resultados também indicam que o planejamento territorial da RMBH deverá considerar prioritariamente a dinâmica demográfica e as mudanças na distribuição espacial da população. Poderão, ainda, orientar políticas públicas visando uma regulação mais eficiente da ocupação urbana e a diminuição da população residente em áreas impróprias à ocupação humana e em desconformidade com a legislação.

Como as projeções mostram onde o crescimento irá ocorrer e quais espaços urbanos terão maior densidade populacional, os cenários gerados ajudam a resolver um dos problemas mais complexos de gestão urbana apontado por Torres (2006): o de “onde agir”. A projeção de cenários possibilita um planejamento mais preciso ao indicar em escalas refinadas (municípios, regiões de planejamento, quadras) os impactos das mudanças na habitação, no transporte, na saúde, na educação, no ambiente físico, além de outras áreas essenciais ao planejamento urbano.

Em termos das limitações dos métodos, ressalta-se que, dentre os diversos campos de atuação da demografia, as projeções são, em geral, as mais susceptíveis a erros, dada a complexidade envolvida na elaboração dos pressupostos, que devem levar em consideração aspectos demográficos, econômicos, políticos, sociais e ambientais das populações em análise. Em estudos de pequenas áreas o cuidado deve ser redobrado, uma vez que a modificação das variáveis que regem a dinâmica demográfica é maior (Freire, 2001; Jannuzzi, 2007).

A qualidade dos insumos básicos utilizados nas simulações é o principal responsável pela confiabilidade obtida nos resultados finais, e seu constante aprimoramento contribui para resultados cada vez mais precisos. Como as simulações de expansão e adensamento urbanos são frutos de uma combinação de pressupostos, as imprecisões tendem a aumentar de acordo com o nível de detalhamento. A partir da disponibilidade de novas fontes de dados, esses pressupostos devem ser revistos periodicamente com o intuito de atualizar as simulações.

Talvez a principal limitação da metodologia dos artigos 2 e 3 seja sua restrição espacial ao limite municipal de Belo Horizonte, que por sua vez possui continuidade do tecido urbano com todos os municípios limítrofes. Em uma época na qual a consciência da necessidade do planejamento metropolitano está cada vez mais consolidada, a necessidade da construção de bases cadastrais precisas para os grandes centros urbanos deve ser uma questão prioritária para o planejamento integrado da expansão das metrópoles.

Neste sentido, é necessário que o poder público estadual e municipal invista na criação de um SIG das áreas urbanas desses municípios, que seria alimentado a partir de bases cadastrais e de planejamento urbano. Seria possível, assim, realizar análises detalhadas a partir de metodologias como as propostas nessa tese, bem como sua adaptação e aplicação para outras áreas urbanas da RMBH e do país. Atualmente essa é uma possibilidade de baixo custo em termos de instrumentos (dados, programas computacionais e equipamentos), devido a fatores como a enorme variedade de dados georreferenciados gratuitos (dados censitários, dados de prestadoras de serviços municipais e imagens orbitais), além da crescente disponibilidade de softwares livres que permitam a análise das informações. A maior limitação, talvez, seja no treinamento adequado dos gestores de políticas públicas, e a falta de prioridade em investir em instrumentos mais eficazes de planejamento regional e urbano. Em termos de aprimoramentos para pesquisas futuras, a dinâmica domiciliar (relativamente pouco explorada quando comparada à dinâmica populacional) deve estar sempre presente nas pesquisas de população voltadas para o planejamento urbano, pois um estudo completo relativo ao crescimento demográfico deve levar em conta não só as pessoas, mas também os locais nos quais elas residem.

Em trabalhos futuros pretende-se, ainda, adaptar os métodos aqui desenvolvidos para a projeção tendencial do número de pessoas por quadra ou célula intraurbana, além da simulação do número máximo de pessoas comportado nos ambientes urbanos. A simples utilização de dados relativos à densidade populacional atual nas simulações da tese não apresentaria resultados consistentes, pois é necessário que seja feita a separação dos domicílios ocupados e não ocupados, além de uma análise da evolução populacional dentro dos domicílios nas próximas décadas. Esta

análise é fundamental para o entendimento dos efeitos do envelhecimento populacional e da diminuição da média de moradores por domicílio na dinâmica demográfica futura (Fioravante, 2010). Neste sentido, foram realizados alguns exercícios exploratórios para o cálculo aproximado da população total em 2010 e 2030 no Artigo 2, utilizando a média de moradores por domicílio (PDDI, 2011).

Uma vez que é possível projetar na escala de quadras o total de pessoas, e sabendo-se que atualmente existem estimativas confiáveis de mortalidade e fecundidade em pequenas escalas, seria possível estimar o saldo migratório e os efeitos da migração no crescimento populacional e domiciliar intraurbano, o que traria uma contribuição adicional para as projeções populacionais de pequenas áreas e para os estudos de migração intraurbana.

Dentre outros benefícios que parte ou o somatório dos métodos propostos pode trazer para a demografia, e tomando-se como estudo de caso Belo Horizonte, deve-se ressaltar a possibilidade de refinamento das informações para atender políticas públicas específicas. É possível desmembrar os resultados para: a simulação da distribuição espacial e projeção de edificações do tipo casa e apartamento em cada quadra da capital; a simulação do adensamento domiciliar decorrente de novos planos de urbanização; e a análise e projeção domiciliar estratificada por nível socioeconômico ou características demográficas, tais como a projeção de bolsões de pobreza, regiões com maior proporção de idosos ou regiões habitadas com elevados riscos ambientais.

Uma possibilidade futura, possibilitada pelos métodos aqui propostos, é investigar as *consequências dos cenários* de domicílios e população, por exemplo em termos de simulação do tráfego veicular decorrente do adensamento demográfico, a simulação da oferta e demanda de equipamentos urbanos, a simulação do adensamento de edificações não residenciais (indústrias, comércio e serviços) e a análise dos impactos da verticalização na infraestrutura urbana e na qualidade ambiental do município.

Os métodos propostos nos artigos 2 e 3 também podem subsidiar modelos de planejamento da paisagem e da qualidade ambiental de espaços urbanos obtidos a partir de estudos de hemerobia (Troppmair, 1983; Nucci, 1996 e 2008). A

importância dos espaços públicos livres de construções e com vegetação preservada é cada vez mais reconhecida no que diz respeito à qualidade ambiental e à qualidade de vida das populações urbanas. Atualmente, cada município planeja estes espaços à sua maneira, e não há consenso geral sobre a extensão desejável e/ou necessária, ou ainda onde estes espaços devem ser localizados (Buccheri Filho, 2010).

Por fim, verifica-se que a demografia vive um momento oportuno para uma maior absorção das geotecnologias, em função das novas fontes de dados que se tornam acessíveis, as inovações nos recursos computacionais voltados para simulações, e a maior abertura da demografia (assim como outras disciplinas) a diálogos interdisciplinares. Assim, espera-se que a integração de dados demográficos às geotecnologias seja mais difundida entre os demógrafos, e que o exercício proposto nesta tese sirva como exemplo de possibilidades de análise de informações contemporâneas e de simulação de cenários futuros sobre a dinâmica demográfica.

Referências bibliográficas

BUCCHERI FILHO, A. **O planejamento dos espaços de uso público, livres de edificação e com vegetação (Euplevs) no município de Curitiba, PR: planejamento sistemático ou planejamento baseado em um modelo oportunista?**. 2010. 226f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba, 2010.

FIORAVANTE, E. **Projeção de domicílios por modelo multi-estado e aplicação para previsão da frota de automóveis em Belo Horizonte**. 2009. 278f. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FREIRE, F. **Projeção populacional para pequenas áreas pelo método das componentes demográficas usando estimadores bayesianos espaciais**. Tese (Doutorado em Demografia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

JANNUZZI, P. Cenários futuros e projeções populacionais para pequenas áreas: método e aplicação para distritos paulistanos 2000-2010. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.24, n.1, p.109-136. 2007.

NUCCI, J. **Qualidade ambiental e adensamento: um estudo de planejamento da paisagem do distrito de Santa Cecília**. 1996. 229f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo - Programa de Pós-Graduação em Geografia, São Paulo, 1996.

NUCCI, J. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/Fapesp, 2008, 236p. Disponível em: <www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs>. Acesso em: 07 fev. 2012.

PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Relatório final de definição das propostas de políticas setoriais, projetos e Investimentos prioritários**. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2011. Disponível em: <www.rmbh.org.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

TORRES, H. Demografia urbana e políticas sociais. **Revista Brasileira de Estudos de População**. v.23, n.1, p.27-42. 2006.

TROPMAIR, H. Ecossistemas e Geossistemas do Estado de São Paulo. **Geografia**. v.13, n.25, p.27-36. 1983.