

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais

Giovanni Candido Miranda

**Mobilidade urbana por ônibus em Belo Horizonte: uma
proposta de modelo preditivo de viagens e fluxos**

Belo Horizonte

2018

Giovanni Candido Miranda

**Mobilidade urbana por ônibus em Belo Horizonte: uma proposta de
modelo preditivo de viagens e fluxos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em
Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade
Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Carlos Lobo

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Alexandrino Garcia

Belo Horizonte

Instituto de Geociências da UFMG

2018

M672m
2018

Miranda, Giovanni Candido.

Mobilidade urbana por ônibus em Belo Horizonte [manuscrito]: uma proposta de modelo preditivo de viagens e fluxos / Giovanni Candido Miranda. – 2018.

xii, 121 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Carlos Lobo.

Coorientador: Ricardo Alexandrino Garcia.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.

Bibliografia: f. 114-119.

Inclui anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Transporte urbano – Belo Horizonte (MG) – Teses. 3. Planejamento urbano – Teses. I. Lobo, Carlos. II. Garcia, Ricardo Alexandrino. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mobilidade urbana por ônibus em Belo Horizonte: uma proposta de modelo preditivo de viagens e fluxos

GIOVANNI CANDIDO MIRANDA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 02 de março de 2018, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Carlos Fernando Ferreira Lobo - Orientador
UFMG

Prof. Ricardo Alexandrino Garcia
UFMG

Prof. Leandro Cardoso
UFMG

Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega
UFMG

Belo Horizonte, 02 de março de 2018.

Aos meus amados pais Mariza e Jadir, porto seguro em todos os momentos.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, princípio e razão de tudo.

Aos meus queridos pais, que me ensinaram a lutar com honestidade e dedicação e me amparam em todos os instantes com paciência e compreensão. Meus irmãos Thiago e Fabrício, sempre dispostos a auxiliar e apoiar minhas escolhas. Minha amada avó Alaíde, sempre carinhosa mesmo nos momentos difíceis.

Um agradecimento especial ao meu orientador e amigo Professor Carlos Lobo, que, desde o início, tanto me ensinou com sua dedicação, criatividade, paciência e bom humor. As incontáveis horas processando os dados da pesquisa, sua revisão cuidadosa e seu respeito por minha característica de escrita e pensamento foram fundamentais nessa jornada. Valeu Lobo !!!

Ao Professor Ricardo Alexandrino Garcia, meu coorientador, pelas importantes dicas no desenvolvimento do trabalho. Ao Professor Leandro Cardoso, pelo auxílio na aplicação do pensamento geográfico no estudo da mobilidade urbana. Ao Professor Rodrigo Albuquerque pelas dicas preciosas e por conduzir com maestria o programa. À Daniela pelo fundamental auxílio com os dados da OD e parceria nos artigos. Aos queridos amigos do Instituto de Geociências: Julio, Hugo, Marcilla, Glauco, Fabrício, Max, Clara, Clarice, Hélio, Trevor, Rafael Santiago, Laura, Lucas, Nunes, Fabiano, Leilson, Linda, Luciano Chagas e todos que me auxiliaram com companheirismo, incentivo, experiências, boas conversas e boas risadas nesses dois anos.

Aos colegas e amigos da E.E. Celso Machado, minha segunda casa, por todo o auxílio, apoio e compreensão. Companheiros de lutas do Sind-UTE/MG, em especial, aos queridos amigos da Subsede Barreiro, que seguem firmes na luta por uma educação de qualidade que valorize os docentes. Aos meus queridos amigos do meio musical que compreenderam minha não presença nesse período e, mesmo assim, sempre me mantiveram ativo nas seis cordas.

Resumo

O rápido processo de urbanização do Brasil tem a desigualdade socioespacial como mais marcante característica. As diferentes condições de acessibilidade e mobilidade da população seguem essa característica e têm como resultado as diferenças no acesso a oportunidades. O uso crescente do transporte individual nas grandes cidades brasileiras provoca consequências econômicas, sociais e ambientais que afetam diretamente os usuários do transporte público. Em Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais/Brasil, o aumento da utilização do automóvel e da motocicleta entre os anos de 1992 e 2012 foi acompanhado pela redução do número de passageiros do transporte coletivo. Portanto, entender a dinâmica da demanda por transporte público e projetar tendências se faz necessário para a proposição de políticas públicas que tenham como propósito obter ganhos de eficiência na mobilidade urbana, tornando-a mais democrática e justa. O presente trabalho propõe modelos preditivos para estimar o número de viagens do transporte público por ônibus em Belo Horizonte e os fluxos/trajetos potenciais com origem na Regional Venda Nova, localizada no mesmo município. Para a construção do modelo, foram utilizados dados da matriz de deslocamentos por ônibus relativos aos campos e às áreas homogêneas do município, obtidos nas Pesquisas Origem e Destino dos anos de 1992, 2002 e 2012. Os resultados do modelo preditivo de viagens por ônibus demonstram a desaceleração na queda observada no número de deslocamentos por esse modo de transporte, bem como a continuidade do processo de desconcentração das viagens do centro de Belo Horizonte, ambos observados entre 1992 e 2012. Por sua vez, o modelo de fluxos/trajetos potenciais por ônibus com origem na Regional Venda Nova demonstra a concentração dos deslocamentos nas principais vias de acesso, como as avenidas Dom Pedro I, Vilarinho e Presidente Antônio Carlos. A metodologia desenvolvida possibilita a replicação para estimação de viagens aos demais municípios da RMBH e de fluxos às demais regionais de Belo Horizonte. Os modelos desenvolvidos permitiram identificar áreas prioritárias com maior necessidade de intervenções relacionadas ao transporte público e ao trânsito, de maneira a contribuir para o planejamento estratégico da mobilidade na metrópole.

Palavras chave: Mobilidade urbana; Acessibilidade; Transporte público por ônibus; Modelos preditivos; Modelagem urbana.

Abstract

The fast urbanization process in Brazil has the socio-spatial imbalance as the most characteristic feature. The different accessibility conditions and mobility population follow this characteristic and result in differences in access to opportunities. The increasing use of individual transportation in large Brazilian cities causes economic, social and environmental consequences which directly affects public transportation users. In Belo Horizonte, capital of the state of Minas Gerais / Brazil, the increase in automobile and motorcycle use between 1992 and 2012 was accompanied by a reduction in the number of public transport passengers. Therefore, understanding the dynamics of the demand for public transportation and to creating trends is necessary for the proposal of public policies which purpose is to get efficiency gains in urban mobility, making it more democratic and fair. The present work proposes predictive models to estimate the number trips of public transportation by bus in Belo Horizonte and its potential flows originating from Regional Venda Nova, located in the same county. For the model construction, were used data from the matrix of trips by buses related to the fields and the homogeneous areas of the county, obtained by Pesquisa Origem e Destino from the years 1992, 2002 and 2012. The predictive model of trips by bus results demonstrate the slowdown in the fall observed by the number of journeys in this mode of transportation, as well as the permanency of the process of deconcentration of the trips from Belo Horizonte downtown, both observed between 1992 and 2012. On the other hand, the model potential flows by bus with start in the Regional Venda Nova shows the concentration of the displacements in the main access routes, like as Dom Pedro I, Vilarinho and Presidente Antônio Carlos avenues. The developed methodology enables a replication to estimate trips to the other counties of the RMBH and flows to the further Belo Horizonte zone. The developed models allowed to identify priority areas with a superior need for interventions related to public transportation and traffic, in the way to contribute to the strategic planning of mobility in the metropolis.

Keywords: Urban mobility; Accessibility; Public transport by bus; Predictive models; Urban modeling.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| Introdução | 13 |
| 1. Modelagem e mobilidade urbana: aspectos teóricos e conceituais | 18 |
| 1.1 - Acessibilidade e Mobilidade | 19 |
| 1.2 - Modelagem de sistemas: conceitos, perspectivas e limitações | 23 |
| 1.3 – Modelagem urbana: um breve quadro histórico | 26 |
| 1.3.1 – Modelos de interação espacial e modelagem gravitacional | 27 |
| 1.3.2 - Modelos econométricos | 31 |
| 1.3.3 - Modelos de microsimulação | 34 |
| 2. O sistema de transporte público por ônibus em Belo Horizonte: da institucionalização à configuração atual | 36 |
| 2.1 – Antecedentes: institucionalização e os primeiros anos da nova capital | 37 |
| 2.2 – Industrialização e crescimento populacional de Belo Horizonte: a mobilidade urbana em um novo patamar | 43 |
| 2.3 – A metropolização e os novos desafios do transporte público | 46 |
| 2.4 – O sistema de transporte na RMBH no início do século XXI: o PDDI e as transformações no Vetor Norte | 53 |
| 3. Modelo preditivo de viagens e fluxos/trajetos por ônibus em Belo Horizonte: base de dados e a metodologia proposta | 59 |
| 3.1 – Base de dados: A Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte | 59 |
| 3.2 - O Modelo Preditivo de Viagens por Ônibus: o caminho metodológico | 64 |
| 3.3 – O Modelo de Fluxos/Trajetos por Ônibus para as viagens com origem na Regional Venda Nova | 70 |
| 4. A mobilidade urbana por ônibus em Belo Horizonte: análises e projeções de viagens e fluxos/trajetos | 78 |
| 4.1 – Análise dos resultados da OD/RMBH de 1992, 2002 e 2012 | 79 |
| 4.2 – Análise dos resultados do modelo preditivo de viagens por ônibus em Belo Horizonte | 98 |
| 4.3 – Os fluxos/trajetos por ônibus para as viagens com origem na Regional Venda Nova | 103 |
| Conclusões | 111 |
| Referências bibliográficas | 114 |
| Anexos | 120 |

Lista de equações

| | |
|--|----|
| Equação 1: Forma geral do modelo de gravidade | 28 |
| Equação 2: Modelo de regressão linear | 68 |

Lista de Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Fluxograma do modelo de Lowry | 120 |
| Figura 2: Centro de Belo Horizonte na década de 1980 durante a vigência do sistema de transporte coletivo implantado pela METROBEL | 50 |
| Figura 3: Campos por regionais administrativas de Belo Horizonte | 67 |
| Figura 4: Fluxograma com o resumo da metodologia aplicada | 77 |
| Figura 5: Total de viagens por regionais administrativas de Belo Horizonte | 80 |
| Figura 6: Total de viagens (todos os modos de transporte) por Campos, de acordo com as ODs de 1992, 2002 e 2012 | 81 |
| Figura 7: Variação do total de viagens (todos os modos de transporte) com origem e destino nos campos de Belo Horizonte – 1992-2012 | 83 |
| Figura 8: Total de viagens por ônibus nas regionais administrativas de Belo Horizonte | 84 |
| Figura 9: Total de viagens por ônibus por Campos de Belo Horizonte | 88 |
| Figura 10: Percentual de viagens por ônibus em relação ao total de viagens com origem em cada campo de Belo Horizonte | 90 |
| Figura 11: Variação do total de viagens por ônibus com origem em cada campo de Belo Horizonte – 1992-2012 | 92 |
| Figura 12: Razão de mobilidade por ônibus aplicada aos campos de Belo Horizonte | 95 |
| Figura 13: Renda média domiciliar em reais para os Campos de Belo Horizonte em 2010 | 97 |
| Figura 14: Projeção das viagens por ônibus em Belo Horizonte por campos – 2022 e 2032, de acordo com o modelo preditivo de viagens por ônibus | 100 |
| Figura 15: Variação percentual das viagens por ônibus com origem nos campos de Belo Horizonte para os períodos 2012-2022 e 2022-2032 | 102 |
| Figura 16: Fluxos/trajetos das viagens por ônibus com origem na Regional Venda Nova em 2012 de acordo com o modelo preditivo de fluxos/trajetos | 105 |
| Figura 17: Fluxos/trajetos potenciais gerados por viagens por ônibus com origem nas AHs da Regional Venda Nova | 108 |
| Figura 18: Fluxos/trajetos potenciais gerados por viagens por ônibus com origem nas AHs da Regional Venda Nova – 2022 e 2032 | 110 |

Lista de Quadros

| | |
|--|-----|
| Quadro 1: Resumo dos modelos de interação espacial / gravidade..... | 30 |
| Quadro 2: Resumo dos modelos econométricos..... | 33 |
| Quadro 3: Modelos de uso do solo e transporte baseados em microsimulação..... | 35 |
| Quadro 4: Compatibilização dos campos das ODs 2002 e 2012 | 121 |
| Quadro 5: Ajuste da variação de viagens por ônibus nos Campo São Lucas, empregado no modelo preditivo de viagens por ônibus | 70 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Campos por regional administrativa de Belo Horizonte | 66 |
| Tabela 2 – Variação percentual das viagens por todos os modos de transporte, por automóvel + motocicleta e por ônibus em Belo Horizonte entre 1992 e 2012 | 85 |
| Tabela 3 – Variação do número de viagens nas regionais de Belo Horizonte de acordo com o modelo preditivo | 99 |

INTRODUÇÃO

Conforme dados da United Nations (2015), em 2014, 54% da população mundial vivia em áreas urbanas, proporção que deve aumentar para 66% em 2050. A população urbana mundial passou de 746 milhões em 1950 para 3,9 bilhões em 2014. Estima-se que esse contingente ultrapasse seis bilhões de pessoas em 2045, sendo que a maior parte do crescimento se concentrará na Índia, China e Nigéria. Se em 1990 havia no mundo um total de 10 cidades com população superior a 10 milhões de habitantes (as chamadas megacidades), em 2014 o número passou para 28 (UNITED NATIONS, 2015).

O Brasil se destaca como o país onde o processo de urbanização do território foi um dos mais velozes no mundo, notadamente a partir da segunda metade do século XX. A população urbana brasileira em 1950 era 36% da população total, e alcançou em cinco décadas 81% dessa população. Dados do Censo 2010 do IBGE apontam que 84,34% da população residia em cidades no Brasil (IBGE, 2010). Associado ao processo de industrialização, o crescimento urbano no país foi marcado pelo deslocamento de multidões de trabalhadores rurais rumo às futuras metrópoles, como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, o que caracterizou um período de forte concentração espacial. Para o trabalhador urbano, nesse período, a esperança por melhores salários e condições de trabalho é acompanhada pela expectativa de inserção na vida urbana que, aos poucos, se torna metropolitana. Essa inserção esperada inclui não apenas o emprego formal, mas também a moradia digna, aliada à possibilidade de se deslocar diariamente entre a casa e o trabalho. De fato, a vida urbana inclui ainda os deslocamentos para espaços de lazer e vida comunitária, que, a partir da expansão do tecido urbano, demanda viagens cada vez mais longas.

Grandes cidades brasileiras, como São Paulo e Belo Horizonte, conforme sugerem Kowarick (1979), Costa (1994) e Costa (2003), se expandiram consideravelmente durante a segunda metade do século XX, de maneira que já não se comportavam dentro dos limites territoriais oficialmente demarcados. Com o aumento do preço da terra urbana, o salário médio do trabalhador o impossibilita de habitar em áreas centrais providas de equipamentos públicos. A saída encontrada, principalmente pela população de menor renda, é migrar para locais sem infraestrutura urbana adequada, distantes dos locais de trabalho. Muitos dos

municípios vizinhos às grandes capitais se tornam cidades dormitório, exigindo grandes deslocamentos para atividades de trabalho, lazer e estudo. Esses longos deslocamentos não se restringem apenas aos trabalhadores de baixa renda, embora sejam eles os maiores prejudicados. Nas últimas décadas, um fenômeno na urbanização brasileira é a opção de moradia em pontos distantes das áreas centrais da cidade por parte de grupos de maior renda, motivados pela busca de espaços socialmente homogêneos e pelo contato com a natureza (COSTA, 2003).

De acordo com Zandonade e Moretti (2012), a dispersão urbana e a metropolização transformaram o sistema de mobilidade - entendida nesse trabalho como efetividade do acesso aos locais de interesse - que até então se constituía como secundário, em um elemento estruturador das formas de trabalho e moradia nas grandes cidades. O novo modelo territorial desenvolvido no Brasil, marcado por descontinuidades físicas e territoriais, se relaciona à expansão da mobilidade ocorrida a partir da década de 1970. Nesse novo paradigma, a valorização da terra não está mais ligada à proximidade dos locais de interesse, mas sim à acessibilidade, aqui entendida como possibilidade de acesso aos locais de interesse. O rápido crescimento urbano brasileiro foi acompanhado pelo aumento dos deslocamentos realizados por veículos motorizados, principalmente ônibus, automóveis particulares e, mais recentemente, motocicletas. Os investimentos e as ações públicas colaboraram para viabilizar a ampliação do modelo rodoviário, de forma que outros modos de transporte, como a caminhada e a bicicleta, tiveram sua qualidade e segurança afetadas (VASCONCELLOS, 2016).

A desigualdade social, característica intrínseca das grandes cidades brasileiras, se expressa também nos diferentes graus de acessibilidade e mobilidade da população. Para Zandonade e Moretti (2012), a desigualdade social nas cidades brasileiras é, na realidade, um sistema de desigualdades, amenizado ou ampliado mediante a inserção nos três eixos principais de caracterização do padrão de mobilidade cotidiana: renda/trabalho, moradia, transporte/deslocamentos. Outros sistemas de desigualdade, como educação, cultura, consumo e saúde são alicerçados no tripé moradia/renda/transporte. Para Balbim (2016), a mobilidade deve ser entendida de maneira sistêmica, ao passo que melhorias na mobilidade cotidiana possibilitam a mobilidade social, bem como melhorias no padrão de renda tendem a resultar em melhorias nas condições de deslocamento diário.

Diante da crise da mobilidade nas grandes cidades, o automóvel recebe o errôneo status de solução para os problemas de mobilidade nos diferentes estratos de renda da sociedade brasileira. A parcela da população com maior poder aquisitivo raramente utiliza o transporte público, mesmo residindo em áreas com melhor infraestrutura, comportamento que tende a ser seguido pelos setores de renda média. Por sua vez, parte da população de menor renda, por ter condições de transporte precárias, compromete importante parcela do orçamento com a aquisição de automóveis e motocicletas, com o objetivo de sanar os problemas de mobilidade em áreas precárias da metrópole, diante da redução dos preços e facilidades de financiamento dos últimos anos. Tal situação impacta em maior grau os trabalhadores informais e subempregados, que, além dos gastos excessivos com o transporte público pouco integrado, inclui em seu orçamento intermináveis parcelas dos financiamentos de automóveis e motocicletas. Dessa maneira, um círculo vicioso se forma, pois, com mais veículos nas ruas, há maior demora dos ônibus, seja devido aos congestionamentos ou à redução do número de viagens provocada pela queda da demanda, resultando em maior tempo de viagem, maior lotação e maiores custos. Porém, os custos são divididos de maneira desigual entre a população, pois quem mais sofre é a população que se utiliza do transporte público, enquanto que a maior parte dos recursos públicos é direcionada ao transporte individual motorizado (ZANDONADE E MORETTI, 2012; VASCONCELLOS, 2016).

A ação do Estado no planejamento e gerenciamento do transporte nas metrópoles brasileiras se constitui como elemento fundamental no enfrentamento da atual “crise de mobilidade”. Entretanto, as políticas públicas no Brasil têm contribuído para o aumento da motorização da população, algo comprovado por maiores subsídios ao transporte individual, em detrimento do transporte público. Vasconcellos *et al.* (2011) apontam que, do total de subsídios direcionados ao transporte urbano em 2005, 90% foi direcionado aos automóveis. Nesse cálculo, os autores incluem os subsídios direcionados à aquisição de automóveis, como a redução de IPI, a não cobrança de estacionamento nas vias públicas e os valores das taxas de IPVA e licenciamento de veículos. Por sua vez, o subsídio ao transporte público ocorre principalmente na aquisição de veículos e operação (redução de impostos), não existindo subsídio direto às passagens, salvo raros casos.

Belo Horizonte apresenta atualmente alto grau de adensamento populacional, o que resulta em diversos pontos marcados pela saturação do trânsito nos horários de pico. A única

linha de Trem Metropolitano (metrô de superfície) da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) possui 28,2 km de extensão e interliga o Bairro Eldorado, em Contagem, à Regional Venda Nova, em Belo Horizonte (linha 1). De acordo com os dados da Pesquisa Origem e Destino, essa linha foi responsável por 1,73% dos deslocamentos realizados na metrópole em 2012. Assim como na maior parte das cidades brasileiras, o transporte público em Belo Horizonte e demais municípios da RM tem o ônibus como principal meio de transporte, em geral, com viagens longas e tarifas dispendiosas, consumindo parte significativa do orçamento das famílias¹. Diante da baixa qualidade do transporte público, verifica-se nas últimas décadas em Belo Horizonte o significativo aumento do percentual de viagens por transporte individual, acompanhado da queda da participação dos deslocamentos por ônibus sobre o total de viagens realizadas, conforme demonstram Lessa *et al.* (2017) e Miranda, Lobo e Lessa (2017). Dessa forma, se torna relevante o desenvolvimento de modelos de previsão da demanda por transporte público, identificando áreas da cidade com maiores necessidades de intervenções.

O presente trabalho tem como OBJETIVO principal a proposição de dois modelos preditivos baseados na observação dos resultados da Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte dos anos de 1992, 2002 e 2012. O primeiro se ocupa em estimar o número de viagens por ônibus em Belo Horizonte para os anos de 2022 e 2032, utilizando-se de uma regressão linear. O segundo modelo tem como objetivo identificar os fluxos/trajetos potenciais gerados pelos deslocamentos por ônibus com origem na Regional Venda Nova, localizada na porção norte/noroeste do município de Belo Horizonte. A escolha por essa regional administrativa se deve à sua inserção e importância enquanto uma das principais centralidades do Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte², dada a sua localização em uma área de influência direta da Cidade Administrativa de Minas Gerais. A inclusão de região de Venda Nova nas intervenções direcionadas ao transporte público, desenvolvidas na ocasião da realização da Copa do Mundo em 2014, e as recentes mudanças

¹ Em janeiro de 2017, a tarifa do transporte por ônibus em Belo Horizonte figurava como a mais cara entre as capitais do Brasil. <http://www.otempo.com.br/cidades/bh-tem-a-tarifa-de-%C3%B4nibus-mais-cara-entre-as-capitais-do-brasil-veja-1.1420305>

² De acordo com o Decreto Estadual 44500, de 03 de abril de 2007, o Vetor Norte da RMBH é formado pelos municípios de Ribeirão das Neves, Santa Luzia, Vespasiano, Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, São José da Lapa, Confins, Jaboticatubas e pelos bairros localizados na área de influência das regionais administrativas de Venda Nova e Norte do município de Belo Horizonte.

na dinâmica imobiliária da região são outros fatores que justificam a escolha por tal área de estudo para a projeção dos fluxos por ônibus.

A pesquisa investe nas seguintes questões: de que maneira a modelagem espacial pode contribuir com o planejamento da mobilidade urbana em Belo Horizonte? Quais áreas de Belo Horizonte exigirão maiores intervenções? Caso a tendência atual se mantenha, quais serão os possíveis impactos das rotas utilizadas no transporte público por ônibus sobre as vias do município? O primeiro capítulo dessa dissertação se ocupa em propor uma reflexão a respeito dos conceitos de acessibilidade e mobilidade. Em um segundo instante, apresentar conceitos da modelagem de sistemas e um breve histórico de sua aplicação na modelagem urbana e da mobilidade. No segundo capítulo foi posta uma análise da formação e consolidação de Belo Horizonte como uma das principais metrópoles do Brasil, com ênfase na identificação dos processos socioespaciais que resultaram nos atuais padrões de mobilidade urbana. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para a proposição dos modelos. O capítulo final se ocupa em desenvolver a análise dos resultados obtidos no presente trabalho, bem como apontar caminhos e reflexões para novas pesquisas a respeito do tema em questão.

1 – MODELAGEM DA MOBILIDADE URBANA: ASPECTOS TEÓRICOS E CONCEITUAIS

A mobilidade de pessoas em busca de refúgio e/ou oportunidades é prática que acompanha a humanidade e carrega características que explicam a diversidade inerente às diversas populações. Em uma sociedade urbano-industrial, a necessidade dos deslocamentos que envolvem os espaços de moradia, trabalho e consumo requer a existência de sistemas de transporte eficientes e acessíveis a todos os indivíduos, independentemente de sua condição física, econômica e social. O baixo nível de mobilidade dos indivíduos pode agravar dificuldades de acesso aos bens produzidos socialmente, que se localizam de maneira não uniforme no território. Dessa maneira, a possibilidade de acessar os locais dotados de bens e serviços de interesse coletivo se constitui como fator fundamental na qualidade de vida da população nos dias atuais.

A criação e gerenciamento de sistemas de transporte capazes de atender às necessidades da população de maneira eficiente e igualitária se apresentam como grandes desafios aos governos dos países centrais e periféricos do capitalismo. O planejamento da mobilidade se constitui como uma importante etapa do processo de criação e gerenciamento de um sistema de transportes que se propõe a atender as demandas da sociedade. A modelagem urbana pode ser uma ferramenta eficaz nesse processo, o que pode ser confirmado em experiências positivas desenvolvidas em grandes cidades como Paris (França) e Nova York (EUA).

Essa unidade apresenta aspectos teóricos e conceituais referentes aos estudos de deslocamento humano e modelagem urbana ligada aos sistemas de transporte. As principais definições disponíveis na literatura, que envolvem os termos acessibilidade e mobilidade, serão abordadas na primeira parte. Esses termos constituem-se fundamentais ao entendimento da dinâmica que envolve o ir e vir dos indivíduos nas sociedades urbano-industriais. A segunda parte dessa unidade se ocupa inicialmente da apresentação dos conceitos de modelo, sistemas e modelagem, bem como a reflexão sobre as funções, limites e perspectivas da criação de modelos para representar a realidade. Ao final, foi elaborado um breve histórico

dos principais modelos desenvolvidos, que se propunham a analisar de forma integrada o uso do solo e os transportes, os chamados *Land Use Transport Interaction – LUTI*.

1.1 - **Acessibilidade e Mobilidade**

Os termos mobilidade e acessibilidade são recorrentes na literatura relacionada às diversas áreas do conhecimento. Em diversos trabalhos, ambos os termos são entendidos como sinônimos, gerando certa confusão e imprecisão em sua conceituação, como bem observam autores como Raia Jr (2000) e Cardoso (2007). De maneira geral, a literatura sobre o deslocamento de pessoas nas cidades se utiliza dos termos acessibilidade e mobilidade de maneira complementar, conjunta e, por vezes, indissociável.

Como demonstrado por Cardoso (2007), o primeiro autor a construir uma definição formal do termo acessibilidade foi Hansen, em 1959. Para esse autor, a acessibilidade é uma medida da distribuição espacial de atividades sobre um ponto, relacionada com a capacidade e o desejo de pessoas ou empresas para superar a separação espacial. Em outras palavras, a acessibilidade está ligada ao potencial de oportunidades para a interação (JONES, 1981). Esta definição se caracteriza como a primeira noção do termo acessibilidade, exercendo influência sobre os estudos posteriores a respeito do tema, em especial aqueles ligados ao planejamento dos transportes. Para Jones (1981), a acessibilidade é relacionada à potencialidade de participação do indivíduo a uma dada atividade, mediante a existência de sistemas de transporte em um determinado espaço. Bhat *et al.* (2000, p: 13, tradução nossa) definem a acessibilidade como a “*medida de facilidade com que um indivíduo pode exercer uma atividade de um tipo desejado, por um modo desejado e em um momento desejado*”. Para esses autores, a mobilidade dá maior ênfase aos sistemas de transporte, enquanto que a acessibilidade leva em conta também os padrões de uso da terra (BHAT *et al.*, 2000).

Ingram (1971) define a acessibilidade como a vantagem inerente a um lugar com relação à superação de alguma fonte de atrito espacialmente operacional, tais como tempo ou distância. A acessibilidade pode ser subdividida em acessibilidade relativa e acessibilidade integral. A acessibilidade relativa se refere ao grau de conexão entre duas localidades ou pontos em uma mesma superfície. O grau de acessibilidade relativa entre uma e outra localidade pode ser diferente, como, por exemplo, no caso de dois pontos interligados por uma rua de sentido único. Por sua vez, a acessibilidade integral é entendida como o grau de

interconexão de um ponto com todos os outros pontos de uma mesma superfície (INGRAM, 1971).

Wachs e Kumagai (1972) elaboram uma importante discussão acerca da acessibilidade ao emprego e aos serviços enquanto medida fundamental de qualidade de vida urbana. Os autores realizam uma análise da acessibilidade por meio da maior ou menor facilidade de alcançar demandas de emprego e serviços na cidade de Los Angeles (EUA). A análise da acessibilidade ligada ao acesso a empregos e serviços (WACHS e KUMAGAI, 1972) e o entendimento da acessibilidade enquanto “vantagem” de um lugar (INGRAM, 1971) demonstram sua importância na produção de desigualdades socioespaciais nas metrópoles.

Estudos mais recentes, como o de Couclelis (2000), abordam a influência das novas tecnologias sobre a acessibilidade, entendida pela autora como “a definição geográfica da oportunidade”. A oportunidade de um indivíduo participar de atividades necessárias ou desejadas, assim como explorar novas atividades, depende diretamente de sua capacidade de alcançar os locais certos em horários apropriados, com gastos de recursos e esforços condizentes. Tal definição se revela importante, pois a igualdade de oportunidades não se traduz apenas na existência de meios de transporte e na capacidade física do indivíduo. A eficiência do meio de transporte utilizado se caracteriza como componente da própria definição de acessibilidade, de maneira que o não atendimento dos tempos esperados, a existência de tarifas elevadas e em desacordo com as condições financeiras do indivíduo demonstram situações de não acessibilidade (COUCLELIS, 2000).

Essa autora defende ainda que, historicamente, o aumento da acessibilidade em escalas local, regional e global tem se desenvolvido através das melhorias no transporte. Com a fusão das telecomunicações e tecnologias digitais, alternativas viáveis surgem para interligar o indivíduo e as atividades econômicas, sociais e culturais. As atividades econômicas, educacionais e comerciais exercidas através da rede mundial de computadores são um exemplo dessas novas formas de acessibilidade. Porém, nos últimos anos o que se observa é um aumento das interações físicas, com a respectiva descentralização de atividades econômicas. Se o acesso ao local de trabalho era suficiente para o cumprimento de jornadas laborais, atualmente é necessário se deslocar até vários ambientes, dada a flexibilização das atividades. Dessa forma, existe uma crescente demanda por meios de transporte, resultando

em um desafio para a concretização do chamado “transporte sustentável” (COUCLELIS, 2000).

Cardoso e Matos (2007) afirmam que a acessibilidade refere-se à facilidade com que os indivíduos interagem com diferentes locais no espaço por meio da utilização do sistema de transporte. Para esses autores, a questão da acessibilidade é um indicador de exclusão socioespacial:

“A acessibilidade urbana é condicionada pela interação entre o uso do solo e transporte e se constitui como um importante indicador de exclusão social, ao lado, entre outros, da mobilidade, da habitação, da educação e da renda. Nesse sentido, a acessibilidade, ao ser parte integrante e fundamental da dinâmica e do funcionamento das cidades, passa a ser um elemento que contribui para a qualidade de vida urbana, na medida em que facilita o acesso da população aos serviços e bens urbanos, além de viabilizar sua aproximação com as atividades econômicas” (CARDOSO; MATOS, 2007, p. 95).

Hanson (1995) *apud* Raia Jr (2000) afirma que a mobilidade diz respeito à capacidade de se mover entre diferentes locais de atividade, se diferenciando assim do termo acessibilidade, que se refere, segundo o autor, ao número de oportunidades dentro de certa distância ou tempo de viagem. Morris *et al.* (1979) afirmam que a capacidade de um indivíduo realizar viagens é influenciada pela mobilidade e pela acessibilidade em conjunto. De acordo com os autores, a mobilidade individual representa a capacidade do indivíduo se locomover de um lugar ao outro. A mobilidade é ainda dependente da disponibilidade dos diferentes tipos de modos de transporte, incluindo a caminhada.

Jones (1981) define a mobilidade como a capacidade de um indivíduo acessar determinada localidade, envolvendo, portanto, tanto o serviço de transporte, quanto sua condição física e financeira para acessar o local desejado. Para Alves e Raia Jr. (2009), a mobilidade pode ser definida, de maneira simplificada, como a facilidade de deslocamento de pessoas e bens. O conceito de mobilidade está relacionado com os deslocamentos diários de pessoas no espaço urbano. Não apenas sua ocorrência efetiva, mas ainda a facilidade e a possibilidade de ocorrência desse deslocamento. Para esses autores, a abordagem convencional da mobilidade sempre relacionou o termo à quantidade de deslocamentos nas cidades, utilizando como parâmetros um local de origem e um local de destino, se referindo, na maior parte dos trabalhos, às viagens motorizadas.

Barbosa (2014) afirma que a mobilidade não se refere apenas ao tempo de duração dos deslocamentos ou à eficácia do sistema viário para deslocar pessoas. Ela não significa simplesmente um deslocamento melhor entre pontos do território para o exercício de atividades econômicas, sociais e culturais. Esse significado, comumente atribuído à mobilidade, se remete na realidade à circulação intra ou entre lugares. De acordo com esse autor, a mobilidade inclui a circulação, mas a supera, pois trata de um movimento que permite ampliar as possibilidades de apropriação e uso coletivo e individual do espaço urbano. Balbim (2016) defende que a mobilidade não se resume a uma ação, ou seja, supera a ideia de deslocamento físico e inclui causas e consequências, de maneira a integrar a ação de deslocar, quer seja uma ação física, virtual ou simbólica, às condições e posições dos indivíduos e da sociedade. Os movimentos em si não se constituem como a mobilidade, mas apenas sua expressão. De maneira sintética, a mobilidade nas ciências sociais se constitui como “*o conjunto de motivações, possibilidades e constrangimentos que influem tanto na projeção, quanto na realização dos deslocamentos de pessoas, bens e ideias*” (BALBIM, 2016, p. 27).

O presente trabalho entende a acessibilidade como uma potencialidade, ou seja, uma medida de facilidade ligada às possibilidades de acesso a partir de uma dada localidade, com destino aos demais pontos de interesse no espaço geográfico. Essa medida está diretamente relacionada à disponibilidade de infraestrutura, tais como vias de acesso e meios de transporte. Essa definição de acessibilidade se aproxima da apresentada por Bhat *et al.* (2000). Por sua vez, a mobilidade é aqui entendida em seu caráter sistêmico, de maneira que a mobilidade cotidiana tem papel central nas possibilidades de mobilidade social e outros tipos de mobilidade, como o turismo e as migrações (BALBIM, 2016). Nesse sentido, entende-se que o conceito de mobilidade inclui as possibilidades de apropriação do espaço, as motivações, constrangimentos e representações sociais que influem no deslocamento. Dessa maneira, o termo está ligado tanto às condições físicas e econômicas do indivíduo, como a possibilidade de se efetuar uma caminhada em determinado tipo de terreno, a renda disponível para arcar com tarifas de transporte ou adquirir um automóvel, como também como representações e condições inerentes ao espaço que possibilitam o bem-estar, tais como a sensação de segurança. Nesse sentido, a definição adotada no trabalho para o termo mobilidade corrobora com aquelas apresentadas por Barbosa (2014) e Balbim (2016).

1.2 – Modelagem de sistemas: conceitos, perspectivas e limitações

O termo modelo se refere, genericamente, à representação de um sistema, alcançada através do uso de linguagens diversas, tais como a matemática, a lógica, a física, a linguagem icônica, gráfica, dentre outras, de acordo com uma ou mais teorias (NOVAES, 1981). Para Frigg (2005), são ferramentas que permitem o aprendizado sobre o mundo e seu estudo possibilita a descoberta de características do sistema representado. Segundo esse mesmo autor, o modelo representa uma parte do mundo, podendo ser de fenômenos ou de dados, ou, ainda, representar uma teoria através da interpretação de axiomas e leis que a integram. Por sua vez, o termo sistema é entendido como “*um conjunto organizado de elementos e de interações entre esses elementos*” (CHRISTOFOLLETTI, 1999, p. 5). Para esse autor, uma das principais dificuldades ao se conceituar um sistema é identificar os elementos, suas variáveis e respectivas relações, com o objetivo de demarcar com clareza a extensão abrangida por esse sistema.

De acordo com Christofolletti (1999), a modelagem é um procedimento teórico que envolve um conjunto de técnicas que objetivam compor de maneira simplificada e inteligível uma determinada parcela da realidade. É um procedimento teórico, pois consiste em construir uma representação da realidade em função das concepções de mundo do modelador, trabalhando, assim, no campo da abordagem teórica ajustando-se e/ou orientando as experiências empíricas. A modelagem pode ser considerada instrumento entre os procedimentos metodológicos da pesquisa científica. Insere-se como procedimento metodológico hipotético-dedutivo, pois expressa configurações elaboradas em decorrência de hipóteses ou de explicações. A construção de modelos é o problema a ser resolvido pelo modelador, guiado por um conjunto de regras semiformais as quais se constitui a modelagem. Essas regras não são mecânicas, nem meras instruções computacionais que, seguidas de maneira estrita, garantem o êxito e sucesso do modelo (CHRISTOFOLLETTI, 1999).

A modelagem, entendida como “*a arte de se construir modelos*” (SOARES-FILHO, 2016), representa a expressão de uma hipótese científica que necessita ser avaliada. Jakeman *et al.* (2008) defendem que a modelagem é um processo científico muito comum de simplificação da realidade para melhorar a compreensão a respeito de um determinado fenômeno ou processo. Em seu nível mais básico, se constitui como um processo que permite pensar sistematicamente sobre um problema. As principais finalidades da modelagem são a

comunicação de conceitos e a previsão a curto prazo, possibilitando responder e prever, ou ainda, comparar previsões de alternativas como sendo um instrumento de planejamento (CHRISTOFOLLETTI, 1999). Como defende Haggett e Chorley (1975, *apud* CHRISTOFOLLETTI, 1999), as principais funções da modelagem são:

- Psicológica: possibilita que determinada categoria de fenômenos seja visualizada e compreendida;
- Comunicativa: constituem estruturas que permitem que os cientistas comuniquem suas ideias e concepções a um público amplo;
- Promissora: os modelos possuem um sentido gerador e promissor para se extrair dos dados o máximo de informações;
- Lógica: a função lógica dos modelos auxilia na explicação da maneira como ocorre e se desencadeia determinado fenômeno;
- Normativa: permite a formulação de representações que possibilitam a comparação entre categorias de fenômenos;
- Adequada: os modelos devem ser avaliados como apropriados, corretos ou ajustados, e não como verdadeiros ou falsos, já que sua construção se insere no contexto dos procedimentos metodológicos, o que permite a verificação de hipóteses que levam à validação ou refutação de leis e teorias;
- Previsível: os modelos são construídos em muitas situações para fornecer previsões específicas como base para tomadas de decisão imediatas. Nesses casos, normalmente contêm detalhes específicos da área objeto de sua construção, o que limita sua adequação para outros locais, bem como seu uso para a comunicação de conceitos.
- Simulativa: o planejamento se ocupa em realizar previsões, considerando os impactos de planos alternativos sem os custos de esperar ou colocá-los em prática. Desse modo, a modelagem é utilizada para se prever mudanças que ocorrerão nas variáveis, desenvolvendo, assim, simulações que podem ser utilizadas para se fazer escolhas e embasar as tomadas de decisões.

Novaes (1981) apresenta uma categorização básica dos modelos, que podem ser classificados em descritivos, exploratórios, preditivos e operacionais. Os descritivos têm como objetivo descrever o funcionamento de um dado sistema, resultando em seu entendimento. Os exploratórios são entendidos como modelos descritivos que envolvem a análise paramétrica por meio da variação nos elementos dos sistemas e nas relações estabelecidas, porém, sem exercer interferência sobre eles. Esses modelos se destinam a responder perguntas do tipo “what if”. Os preditivos são modelos exploratórios que incluem a variável tempo. São também chamados de dinâmicos, já que descrevem a evolução de um sistema ao longo do tempo. Por sua vez, os operacionais são aqueles que possibilitam a interferência do modelador, de maneira que é possível alterar seu comportamento ao se introduzir outros fatores nos componentes do sistema. Dentre os modelos operacionais, há ainda aqueles que procuram modificar o sistema em análise, denominados de prescritivos ou normativos (NOVAES, 1981).

A modelagem é uma importante ferramenta para a análise de características, investigação de mudanças e proposição de cenários em diversas áreas da ciência. Porém, a utilização dos modelos deve considerar suas limitações. Jakeman *et al.* (2006) defendem que as limitações da modelagem são afetadas por fatores como a maneira como o problema é formulado; o conhecimento à disposição (tais como dados, pressupostos e informações); o estilo do modelo construído; os critérios de desempenho utilizados para julgar seu sucesso e o rigor com o qual aplicamos o processo de modelagem, o que inclui o grau de avaliação da aplicabilidade e limitações. Além disso, uma das limitações generalizadas da modelagem se refere à disponibilidade (quantidade e qualidade) de dados para conduzir, calibrar ou testar o modelo (JAKEMAN *et al.*, 2008).

Para Christofolletti (1999), os maiores problemas em relação aos modelos se referem à ajustagem de suas previsões e o estabelecimento de valores aos seus parâmetros, de maneira a possibilitar sua compatibilização com mensurações do mundo real. Eles podem aumentar a eficiência dos experimentos em laboratório e observações *in loco*, porém, não devem substituí-los, embora as vantagens de custo e economia de tempo tenham a tendência de substituir as pesquisas de campo (CHRISTOFOLLETTI, 1999).

Os avanços na área da computação, como a notável ampliação da capacidade de processamento de dados, o desenvolvimento de linguagens de programação amigáveis, a

interconexão da modelagem com ferramentas como banco de dados e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), além da adoção de técnicas ligadas à análise fractal e multifractal, às redes neurais e à lógica *fuzzy* trouxeram amplas possibilidades para a modelagem nas últimas décadas. Christofolletti (1999) aborda a utilização de procedimentos ligados à inteligência artificial, como os conceitos relacionados à teoria difusa (*fuzzy theory*) e às redes neurais na modelagem, ampliando assim o potencial de análise e tomadas de decisão no tocante aos sistemas complexos. A construção de modelos que se utilizam de metodologias como autômatos celulares – *cellular automata* (CA) - (SOARES-FILHO, CERQUEIRA e PENNACHIN, 2002; SOARES-FILHO, 2005), redes neurais (RAIA JR, 2000) e modelagem baseada em agentes – *agente-based-modeling* (ABM) - (FURTADO e VAN DELDEN, 2011) comprovam a ampliação das possibilidades de uso da modelagem nas últimas décadas, além de apontar caminhos para o aperfeiçoamento dos projetos na área.

1.3 – Modelagem urbana: um breve quadro histórico

O desafio de planejar e gerir as áreas urbanas tem demandado, desde o século XIX, pesquisas em diversas áreas do conhecimento com o objetivo de entender a dinâmica das cidades no âmbito econômico, social e ambiental. A partir da década de 1950, os modelos urbanos baseados na teoria econômica se utilizaram da computação e da chamada Revolução Quantitativa (uma revolução científica com a finalidade de dar mais rigor às áreas como Sociologia, Geografia, Urbanismo e Ciências Políticas) para o desenvolvimento de robustos modelos que buscavam reproduzir a dinâmica das cidades (ALMEIDA, 2003). O desenvolvimento da modelagem urbana se constituiu, desde então, como uma importante ferramenta de planejamento e gestão, haja vista a dificuldade em se testar empiricamente e de maneira imediata as teorias desenvolvidas sobre o crescimento e desenvolvimento das cidades.

A tentativa de criar modelos que expliquem a dinâmica urbana e regional antecede a modelagem computacional. De acordo com Almeida (2003), os primeiros modelos teóricos e matemáticos com a finalidade de compreender as mudanças urbanas e regionais se ancoraram na teoria econômica, constituindo-se como parte importante da economia urbana e regional. Um dos mais relevantes trabalhos a levar em conta a localização foi a teoria de anéis

concêntricos, desenvolvida por Von Thünen em 1826. Esse trabalho teve como foco questões de localização agrícola, porém, tendo o uso urbano como fundamental. Seu modelo econômico apresentava uma cidade e regiões concêntricas a esta. Para Von Thünen, o preço do aluguel e da terra diminui conforme se aumenta a distância do centro urbano. Da mesma forma, os custos de transporte também aumentam com a distância, enquanto que o afastamento dos mercados consumidores determina a seleção das culturas agrícolas na área rural, de maneira que a maior intensidade de uso da terra ocorre justamente na centralidade. Von Thünen concluiu que a renda econômica depende da distância dos mercados, ou seja, as terras próximas ao centro consumidor têm maior renda em relação às mais distantes (ALMEIDA, 2003).

Desde os primeiros modelos com objetivo de representar a dinâmica das cidades, é possível observar a relação entre a localização das atividades econômicas e os transportes. Autores como Almeida (2003) e Iacono *et al.* (2005) apresentam uma detalhada análise dos modelos urbanos construídos até então. Dentre os principais, se destacam aqueles que apresentam maior ênfase às atividades desenvolvidas na cidade e as mudanças do uso do solo (*Land Use and Cover Change - LUCC*), e os que analisam de forma integrada o uso do solo e os transportes (*Land Use Transport Interaction - LUTI*). A seção que se segue traça uma breve análise da modelagem urbana produzida até então, optando em dar maior ênfase aos modelos que analisam de maneira integrada o uso do solo e o transporte.

1.3.1 - Modelos de interação espacial e modelagem gravitacional

O crescimento da frota de automóveis nas décadas de 1940 e 1950 levou à compreensão de que a infraestrutura das cidades não era capaz de suprir as demandas por mobilidade. Surge daí a necessidade de desenvolvimento de modelos voltados para o estudo dos transportes, aplicados principalmente à realidade dos Estados Unidos. No início da década de 1950 alguns modelos experimentais de transporte e uso da terra são construídos, tornando possíveis as primeiras previsões de demanda por mobilidade (ALMEIDA, 2003).

Os primeiros modelos desenvolvidos com o objetivo de simular o uso do solo de maneira integrada ao planejamento dos transportes eram baseados em princípios de interação espacial, populares nas décadas de 1950 e 1960, especialmente nas Ciências Regionais. A maior parte dos modelos desenvolvidos nessa época eram variações do modelo de gravidade,

uma adaptação da física newtoniana. Na forma geral do modelo de gravidade, o efeito da interação decrescente em função do custo de viagem (incluindo o tempo de viagem) é capturado pelo termo exponencial no modelo (IACONO *et al.*, 2005).

Equação 1: Forma geral do modelo de gravidade

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta c_{ij})$$

Em que:

T_{ij} = viagens ou outras medidas de interação entre duas zonas;

O_i = origens da zona i ;

D_j = destinos para a zona j ;

A_i e B_j = fatores de equilíbrio para assegurar que as origens totais sejam iguais aos destinos totais.

O “Modelo de Metrópole”, desenvolvido por Lowry (1964),   considerado o primeiro de simula o operacional do uso da terra e foi projetado para simular padrões de localiza o residencial e de serviços na região de Pittsburgh (EUA). O modelo se ancora na teoria econômica desenvolvida até então e divide o emprego de uma região em serviços básicos e não básicos. Ele supõe que as indústrias básicas exportam a maior parte de seu produto para fora da região, de forma a gerar renda adicional que apoia os serviços adicionais não básicos. As indústrias não básicas servem às famílias e outras indústrias da região. Os empregos básicos (indústrias) têm localiza o fixa, exigindo assim uma aloca o inicial do emprego em zonas da região, classificadas como residencial, de serviços e industrial (dados de entrada). A partir da localiza o dos empregos básicos, se alocam as moradias através de uma fun o que assume implicitamente que os trabalhadores escolhem se instalar próximos aos locais de trabalho, e que apenas um membro da família está empregado fora do local de moradia (IACONO *et al.*, 2008).

No modelo de Lowry, as atividades eram organizadas em regiões da cidade, com a popula o sendo distribuída de maneira proporcional   popula o potencial de cada área urbana. Os empregos terciários seguem essa lógica e são incluídos no espaço urbano de maneira proporcional aos empregos potenciais ou ao mercado potencial de cada zona da cidade. Após a aloca o das várias atividades de acordo com as restri es informadas, o modelo efetua o teste da distribui o projetada de popula o e empregos para calcular os potenciais, o que influencia a localiza o dessas variáveis. Tal situa o ocorre por

retroalimentação através de dados de população e empregos, retornando na sequencia todo o procedimento de alocação, até que as distribuições de entrada se assemelhem às de saída. Almeida (2003), conforme representado na **figura 1** (seção de anexos), faz uma esquematização do modelo de Lowry.

Alguns modelos foram desenvolvidos a partir da estrutura básica do modelo de Lowry. O modelo TOMM – *Time Oriented Metropolitan Model* - descrito por Crecine (1964 *apud* IACONO *et al.*, 2008) desagrega a população em grupos socioeconômicos com o objetivo de melhorar a representação de Lowry. Além disso, o TOMM permitia a realocação de apenas algumas atividades não básicas entre as iterações, gerando certo grau de inércia na localização. Almeida (2003) aponta a importância desse modelo urbano no sentido de ser um dos primeiros a incluir a variável tempo, sendo entendido pela autora como um dos primeiros modelos urbanos dinâmicos.

Iacono *et al.* (2008) aborda ainda o modelo desenvolvido por Garin em 1966, que reformula o original de Lowry, propondo a representação matricial dos componentes, além de alocar todas as atividades em cada iteração. O **quadro 1** apresenta o resumo dos modelos de interação espacial/gravidade e suas principais características,

Os primeiros modelos receberam diversas críticas relacionadas às suas deficiências. O fato de serem, em sua maioria, estáticos os tornava incapazes de captar a dinâmica dos sistemas urbanos. Iacono *et al.* (2008) apontam que as críticas à primeira geração de modelos se relacionava à não representação dos mercados de terras com preços explícitos, ao fato das zonas urbanas serem desprovidas de detalhes e altamente agregadas, além de se considerar que a teoria utilizada era inadequada. Batty (2005) defende que os primeiros modelos centrados no uso do transporte entendiam a cidade de maneira estática. Elas eram vistas enquanto estruturas com causas e efeitos distintos. Essa situação era explicada pela compreensão da cidade tendo como padrão a “cidade industrial”, em que padrões residenciais e serviços relacionados eram agrupados em torno dos locais de emprego. As rotas de transporte determinavam um padrão relativo de acessibilidade. Essa visão relativamente superficial era aplicada em diversas cidades sem uma devida adequação.

Quadro 1: Resumo dos Modelos de Interação Espacial / Gravidade

| Modelo | Características distintas |
|--|--|
| Modelo de Metrópolis | Primeiro modelo operacional reconhecido de uso da terra desenvolvido por Lowry. |
| TOMM - <i>Time Oriented Metropolitan Model</i> | Desagregação da população; incorporação de efeitos de inércia na alocação de atividades. |
| PLUM – <i>Projective Land Use Model</i> | Modelo de gravidade padrão substituído com modelo de oportunidade interveniente; uso de parâmetros de dispersão específicos do condado. |
| ITLUP – <i>Integrated Transportation and Land Use Planning</i> | Primeiro pacote de software completo para modelagem integrada; técnicas de calibração melhoradas; modelo de rede melhorado com múltiplos modos; incorporação de efeitos de congestionamento na alocação de atividades. |
| LILT – <i>The Leeds Integrated Land-Use Transport Model</i> | Uso da função de acessibilidade; submodelo de propriedade de carro; modelo de uso do solo capaz de lidar com a demolição, mudança de ocupação e taxas de vacância. |
| IRPUD (leva o nome do Institute of Spatial Planning of the University of Dortmund) | Contém sete submodelos separados; microsimação do uso da terra; uso de diferentes escalas espaciais para submodelos; separa as viagens discricionárias e não discricionárias. |

Fonte: IACONO *et al.* (2008)

1.3.2 - Modelos econométricos

As principais críticas aos modelos urbanos da primeira geração se referiam ao uso de teoria inadequada ou que não descrevesse o comportamento que se pretendia capturar. O avanço nos estudos relacionados à teoria da utilidade aleatória para descrever escolhas entre alternativas conhecidas foi o ponto de partida para que diversos pesquisadores formulassem novos modelos urbanos. Uma nova geração foi então desenvolvida com o objetivo de modelar as escolhas relacionadas à localização e aos transportes. Iacono *et al.* (2005) classifica essa geração como *modelos econométricos*, em que a simulação que inclui a previsão de fluxos de transporte é geralmente desenvolvida a partir de dois tipos de modelos de simulação: o econômico regional e o de mercado de terras. Ambos possuem uma melhor representação dos mercados de terras, preços determinados pelo mercado, bem como os respectivos mecanismos de compensação.

Dentre os modelos urbanos econométricos construídos em torno de um núcleo baseado em um modelo econômico regional, se destacam o MEPLAN e o TRANUS. O MEPLAN (ECHENIQUE *et al.*, 1990) tem sua estrutura baseada em zonas. Porém, diferente dos modelos de interação espacial, as atividades nas zonas são determinadas por um modelo de *input-output* espacial que prediz os fluxos de comércio por setor entre as zonas de uma região, alimentando assim a demanda por espaço. Os fluxos comerciais são convertidos em demanda por tráfego comercial e por passageiros. Os congestionamentos e os tempos de viagem do modelo são levados em conta e informados ao modelo econômico de uso da terra. Medidas de acessibilidade são utilizadas no cálculo da escolha de localização. O MEPLAN se tornou adequado para a modelagem em escala intraurbana e interurbana, e foi utilizado em estudos de impacto regional decorrentes da construção do túnel sob o Canal da Mancha, na década de 1990 (IACONO *et al.*, 2008). O TRANUS (DE LA BARRA, 1989) se assemelha ao MEPLAN por incorporar fluxos de tráfego entre as zonas, gerados a partir de matrizes de entrada e saída. Há características únicas nesse modelo por estimar de maneira avançada os deslocamentos pessoais levando em conta o modo utilizado e o custo³. Ao final do processo, uma matriz de viagens é estimada para a área de estudo.

³ O TRANUS é um dos modelos de melhor adequação à realidade das cidades nos países em desenvolvimento. Para maiores informações sobre sua aplicação na RMBH, vide Werneck (2015).

De acordo com Iacono *et al.* (2008), uma das melhorias apresentadas pelos modelos urbanos econométricos se refere à representação dos mercados de terra nas cidades. Alguns desses modelos, como o CATLAS, incluíam a simulação dos efeitos de melhorias do transporte no mercado de terras e no bem-estar geral. Esse modelo descreve o lado da oferta e da demanda do mercado imobiliário e inclui uma variedade de modos de transporte disponíveis. A calibração é efetuada com dados do censo. A estrutura original do CATLAS foi utilizada no desenvolvimento do modelo METROSIM, projetado para a região metropolitana de Nova York. Este último incorpora um modelo de mercados imobiliários metropolitanos em conjunto com um de mercados de espaços comerciais, além de combinar outros de emprego, terrenos baldios, viagens de trabalho e não trabalho e atribuições de tráfego (IACONO *et al.*, 2008).

Outro modelo que apresenta previsões de deslocamentos interligados ao uso da terra é o MUSSA. Como novidade, ele utiliza zonas menores como unidade de análise, alcançando um alto nível de desagregação espacial, resolvendo assim uma das críticas efetuadas aos modelos da primeira geração. Outro esforço do modelo é apresentar diversos tipos de famílias, incluindo sessenta e cinco tipos diferentes de agregados familiares. O UrbanSim, desenvolvido por Waddell (2002), segue o exemplo do MUSSA e apresenta o uso de modelos econométricos juntamente com uma estrutura altamente desagregada. Modelos separados efetuam a microsimulação de transições demográficas da população, bem como da formação domiciliar (IACONO, *et al.*, 2008). O *UrbanSim* apresenta características inovadoras que o diferem dos modelos econométricos, como métodos de microsimulação que o aproximam da geração atual de modelos urbanos.

O uso da teoria da utilidade aleatória e os avanços relacionados à modelagem de escolha discreta do comportamento individual solucionaram um dos maiores problemas dos modelos urbanos desenvolvidos até então, relacionados à falta de teoria. Porém, a maior parte deles permaneceu estática, com o equilíbrio geral entre cada passo de tempo sendo encontrado dentro do próprio modelo. Além disso, existiram críticas quanto ao fato de que a maioria dos modelos permaneceu altamente agregada, enquanto se utilizavam de métodos de calibração desagregados (IACONO *et al.*, 2008). Como discutido anteriormente, alguns modelos urbanos de uso do solo e transporte já apontavam para novos desenvolvimentos baseados em microsimulação, com alto grau de desagregação. A eficiência no armazenamento de dados e

os avanços em termos de poder de computação foram fundamentais para possibilitar uma melhor representação dos processos que envolvem a vida urbana.

Quadro 2: Resumo dos modelos econométricos

| Modelo | Características distintas |
|--|---|
| CATAS - Chicago Area Transportation/Land Use Analysis System | Melhor representação dos agentes econômicos e tomada de decisões; tratamento explícito dos mercados de habitação; capacidade de análise econômica. |
| MEPLAN - <i>Marcial Echenique and Partners Planning Model</i> | Incorporação do modelo de input-output espacial com componente de avaliação econômica; capacidade de geração de viagens comerciais; viagens tratadas como uma demanda derivada. |
| TRANUS | Modelo de oferta de desenvolvimento, simula escolhas de desenvolvedores; modelo de viagem sofisticado com opção de rota de modo combinado. |
| MUSSA – <i>Modelo de Uso del Suelo de Santiago</i> | Incorporação da estrutura de aluguéis para terrenos; representação detalhada da rede de trânsito no modelo de viagem; alto nível de desagregação do tipo de agregado familiar. |
| METROSIM | Modelo estendido aos mercados imobiliários comerciais. |
| NYMTC-LUM – <i>New York Metropolitan Transit Commission Land Use Model</i> | Determinação endógena de preços de habitação; aluguel de espaços e salários; alto nível de desagregação espacial; adequado para a avaliação da política de trânsito e de uso da terra. |
| DELTA | Microsimulação de alterações demográficas; tratamento da qualidade no mercado do espaço. |
| PECAS - <i>Production, Exchange and Consumption Allocation System</i> | Modelo econométrico regional com microsimulação do desenvolvimento da terra ao nível das parcelas; capacidade de acoplar-se a um modelo de viagem baseado em atividade e aplicar-se a nível supra-regional. |

Fonte: IACONO *et al.* (2008)

1.3.3 - Modelos de microsimulação

Os modelos desenvolvidos até então apresentavam dentre suas características um alto nível de agregação, sendo em sua maioria classificados como modelos estáticos. Conforme McNally (2007), o modelo de demanda por transporte convencional, estruturado normalmente na previsão de procura de viagens, se mostrou incompleto, em especial por não representar o comportamento de deslocamentos subjacentes. As mudanças na política urbana, ambiental e energética na década de 1970 forçaram um maior estudo a respeito da previsão dos deslocamentos para fins de modelagem, o que resultou em um entendimento de que esses deveriam ser analisados como padrões diários ou de vários dias de comportamento. O foco maior estaria em compreender que as locomoções se baseiam em atividades, e que as decisões em realiza-las são secundárias a uma compreensão do fundamento da atividade (MCNALLY, 2007). Tal abordagem foi incorporada na modelagem urbana e ficou conhecida como modelo de viagens baseadas em atividades.

Os modelos baseados em atividades são necessariamente desagregados e tentam simular o comportamento de viagem dentro dos limites de tempo e espaço. Este processo não pode ser modelado em uma estrutura que trata os deslocamentos como independentes e devem gerar viagens de maneira agregada, devido às interdependências espaciais e temporais. A nova geração de modelos, baseada em microsimulação, absorveu a modelagem de viagens baseadas em atividades enquanto complementar aos que se concentram na análise dos agentes. As pesquisas atuais visam modelar o uso da terra e o transporte com representações em nível de agentes individuais, de maneira a simular o comportamento de toda a população de interesse.

Algumas das vantagens relacionadas à adoção da microsimulação dinâmica na modelagem de sistemas urbanos se referem ao fato desses últimos serem essencialmente dinâmicos e apresentarem mudanças em seus componentes em tempos diferentes; ao complexo comportamento dos sistemas urbanos, com diversos agentes em interação e processos de decisão complexos; e ao fato de que representações estatísticas e matemáticas dos sistemas urbanos de forma fechada induzem a grande quantidade de viés (IACONO *et al.* 2008).

Modelos anteriores como MUSSA e UrbanSim apontavam para um padrão de microsimulação baseado em uma análise dos agentes individuais, porém, as utilizando para

modelagem de curto prazo e de maneira estática. O UrbanSim (WADDELL, 2002) em sua versão atual, pode ser entendido como um desses modelos da atual geração, haja vista apresentar microsimulação na estrutura de seus vários submodelos. O ILUMASS (WAGNER e WEGENER, 2007) também se insere nessa categoria e inclui modelos de mudança demográfica, formação domiciliar, ciclos de vida residencial e não residencial e mobilidade residencial nos mercados habitacionais e mobilidade de mão de obra em um mercado de trabalho regional. Inclui ainda um componente GIS que combina representações em formato *raster* e vetorial. O **quadro 3** sintetiza as características dos principais modelos de microsimulação.

Quadro 3: Modelos de uso do solo e transporte baseados em microsimulação

| Modelo | Características distintas |
|---|---|
| ILUTE – <i>Integrated Land Use Transportation Environment</i> | Modelo de microsimulação do sistema urbano abrangente; estruturado para captar com precisão elementos temporais de mudança urbana; o modelo de atividade-viagem inclui as interações dos membros da família; estrutura de modelagem de desequilíbrio. |
| ILUMASS - <i>Integrated Land-Use Modelling and Transportation System Simulation</i> | Descendente do modelo IRPUD; incorpora a simulação dinâmica microscópica; modelo de fluxo de tráfego e modelo de movimento de mercadorias; concebido com submodelo de avaliação ambiental. |
| Ramblas | Modelo inteiramente baseado em regras; projetado para simular grandes populações. |
| UrbanSim | Modelo de uso da terra incorporando microsimulações de processos demográficos e desenvolvimento do uso da terra; representação do uso do solo em nível de parcela; alto nível de desagregação do tipo de agregado familiar; |

Fonte: IACONO *et al.* (2008)

2 – O SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS EM BELO HORIZONTE: DA INSTITUCIONALIZAÇÃO À CONFIGURAÇÃO ATUAL

A configuração espacial exerce influência direta sobre as necessidades de deslocamento da população. Áreas urbanas possuem padrões de deslocamento diferentes das áreas rurais, da mesma forma que cidades espacialmente dispersas exigem modos de transporte diferenciados se comparadas às cidades compactas. Fatores como as mudanças no padrão de consumo da população, as novas formas de trabalho e as necessidades ligadas ao lazer e à formação individual não seriam possíveis de realização sem a revolução da mobilidade, ocorrida no século XX, baseada na produção massiva de automóveis. De fato, a massificação do automóvel resultou na possibilidade de acessar maiores distâncias, o que proporcionou a ocupação de áreas cada vez mais distantes dos centros de comércio e serviços.

Belo Horizonte, pensada para possuir um tecido urbano concentrado, passa a apresentar, já nas primeiras décadas após sua inauguração, um padrão espacial notavelmente disperso. O resultado da crescente dispersão espacial é a exigência de viagens cada vez mais longas, fruto de um padrão de ocupação metropolitano, que contrasta com a concentração do comércio e dos serviços. Os problemas relacionados à mobilidade da população, que acompanham a cidade desde os primeiros anos, se tornam razão de mobilização social, seja pela ampliação das linhas de bondes na década de 1920, seja pelos protestos contra reajustes nas tarifas de transporte em 2013.

A presente unidade tem como objetivo refletir sobre os processos socioespaciais que resultaram na configuração do atual sistema de transporte público em Belo Horizonte. A subunidade 3.1 aborda o contexto político e econômico que resultou na escolha da nova capital do estado de Minas Gerais e a dinâmica socioespacial nos anos que sucederam a inauguração. Observa-se que a ação do poder público para materializar o projeto desenvolvido por Aarão Reis tem a segregação espacial como regra geral desde as primeiras décadas da nascente capital. A subunidade 3.2 aborda o período da industrialização de Belo Horizonte, que inaugura uma nova fase da produção do espaço na cidade e exige um novo sistema de transportes. Como resultado, se observou a abertura de novas vias, novos eixos de ocupação e

o crescente uso do ônibus como meio de transporte público, dado a ampliação da demanda por viagens.

Os desafios do transporte público, diante da expansão espacial acelerada e formação da metrópole belo-horizontina, são o tema da subunidade 3.4. O papel do mercado imobiliário e do Estado na produção do espaço e na provisão e gerenciamento dos serviços de transporte são enfatizados nesse trecho do trabalho. A subunidade 3.5, por sua vez, discute a mobilidade urbana em um contexto de planejamento metropolitano participativo, tendo a elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI/RMBH) como marco. O direcionamento de investimentos públicos para o chamado Vetor Norte da RMBH, a criação e fortalecimento de centralidades (como Venda Nova) e os efeitos de tais investimentos sobre a mobilidade urbana são discutidos ao final da seção.

2.1 – Antecedentes: institucionalização e os primeiros anos da nova capital

Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, foi a primeira cidade planejada do Brasil em seu período republicano. Sua origem se relaciona à tentativa de superação de um passado colonial-imperial, que simbolizava o atraso e a estagnação (PAULA e MONTE-MOR, 2001). A incapacidade da antiga capital de integrar economicamente as diversas regiões do estado é o principal fator apontado por Singer (1977) para a construção de Belo Horizonte, dado que Ouro Preto era, meramente, a sede administrativa do estado. Como destaca esse autor:

De fato, Ouro Preto nunca exerceu a função de capital econômica, e, para tal, deveria estabelecer conexões com outras regiões do estado, sendo um ponto onde os fluxos de mercadorias pudessem se concentrar e dispersar. Na economia colonial, geralmente esse papel é exercido por localidades que se comunicam com o mercado externo. No caso brasileiro, as cidades portuárias exerceram esse papel, e, como Minas não possui mar, essa função de capital econômica foi exercida por cidades fora do território da então capitania (SINGER, 1977, p. 199).

A insignificância de Ouro Preto enquanto capital econômica de Minas Gerais é latente, mesmo no auge da mineração, em meados do século XVIII. Nesse período, ao lado da mineração, atividade voltada ao mercado externo, se desenvolvia no estado a agricultura e a pecuária de subsistência, com o Vale do Rio São Francisco ocupado por fazendas de gado. Dentre essas áreas, se encontrava o Arraial do Curral Del Rey, *“um dos mais providos*

celeiros de cereais que abasteciam as grandes minerações da zona do Rio das Velhas” (Barreto, 1928). Esse povoamento, parte da extensa obra bandeirante em Minas Gerais, foi erguido em 1711, recebendo mais tarde (entre 1890 e 1897) o nome de Arraial de Belo Horizonte.

Além da necessidade de uma capital econômica, a mudança era vista como um ato simbólico que demarcaria a superação da condição colonial, uma tese já defendida pelos inconfindentes. A falta de coesão e unidade da economia mineira resultou em ideias separatistas, como a proposta de criação de novas províncias, como Minas do Sul, Jequitinhonha e Rio Doce. Após a proclamação da República, se amplifica o volume das vozes que pediam a mudança da capital, dada a necessidade de se criar um centro dos centros no que se refere aos interesses econômicos e políticos existentes⁴ (SINGER, 1977). A proposta de mudança da capital ganha efetividade quando, em 1890, o governador interino, Domingos Rocha, nomeia o engenheiro Ferreira Pena para a tarefa de verificar possíveis localidades para a construção da nova capital. Verificou-se que a melhor localização geográfica estaria no Vale do Rio das Velhas, entre Sabará e o povoado de Traíras (atual município de Santana do Pirapama). O engenheiro Aarão Reis foi contratado para chefiar uma equipe incumbida de desenvolver estudos detalhados nas localidades de Belo Horizonte, Paraúna, Várzea do Marçal, Barbacena e Juiz de Fora, para assim, dentre essas, escolher a nova capital.

Belo Horizonte e Várzea do Marçal foram consideradas as localidades ideais, ambas próximas às zonas econômicas do estado. Belo Horizonte se localizava próxima à Sabará e a caminho do sertão, característica relevante para um período em que se acreditava que a marcha da povoação em Minas Gerais tomaria a direção oeste e norte no estado. Várzea do Marçal, por sua vez, apresentava maior disponibilidade de terras devolutas e ligação por

⁴ A atividade cafeeira em Minas Gerais, que substituiu a mineração enquanto principal produto de exportação do estado após um hiato no setor de mercado externo, não é capaz de fazer de Ouro Preto o centro econômico e político do estado. De acordo com Singer (1977), em 1880, 27% de todo o café exportado do Brasil é produzido em solo mineiro. Porém, o Rio de Janeiro continua a ser o verdadeiro centro econômico da maior parte do estado de Minas Gerais, já que toda a produção de café, bovinos, suínos e queijos têm como destino a então capital do país. Juiz de Fora, ponto de confluência de boa parte das ferrovias do território mineiro, se constituía como centro econômico da Zona da Mata. Por sua vez, o Sul de Minas, área de expansão da atividade cafeeira do Vale do Paraíba Paulista, demonstrava maior integração com São Paulo, haja vista que a produção cafeeira era escoada pelo porto de Santos. O estado de Minas Gerais, nesse período, se apresentava dividido em diversas regiões autônomas, interligadas a centros econômicos externos. Ouro Preto em nada se beneficiava do surto cafeeiro da segunda metade do século XIX (SINGER, 1977).

ferrovia. Mesmo com a opção da comissão por Várzea do Marçal (localidade próximo de São João del Rey), a ação de partidários de Ouro Preto foi fundamental na escolha de Belo Horizonte, pois entendiam ser impossível a construção de uma capital em quatro anos, conforme estipulava a legislação, sem a existência de uma ferrovia de ligação (SINGER, 1977).

Embora a necessidade econômica da época seja adotada como um dos fatores fundamentais para o surgimento da nova capital, Paula e Monte-Mor (2001) defendem que a criação e escolha da nova capital do estado é, antes de mais nada, a materialização da vitória de uma corrente política. De fato, houve nos debates sobre a mudança da capital um confronto entre setores progressistas com um ideal republicano; setores liberais, que defendiam outro modelo de república, marcado por uma modernização conservadora; e setores conservadores ligados a um ideal monárquico. Ao final, os dois primeiros grupos se conformaram em um projeto arquitetônico moderno e uma composição política conservadora para a nova capital.

Escolhido o local de construção, foi nomeada uma comissão construtora, chefiada por Aarão Reis, que iniciou os trabalhos com a construção de um ramal ferroviário que seguia o curso do Ribeirão Arrudas e ligaria a nova capital à estrada de ferro Central do Brasil. Esse ramal foi fundamental para a chegada de materiais e trabalhadores, sendo inaugurado em Setembro de 1895. A Comissão Construtora entregou em Março de 1895 a planta original da cidade, baseada na planta de Washington D.C. e claramente inspirada no urbanismo modernista. Seguindo o exemplo de cidades europeias, a então Cidade de Minas era dividida em três setores: urbano (de ocupação inicial), suburbano (área de expansão) e rural (o cinturão verde). A maior parte da zona urbana, claramente a zona nobre da cidade, da zona suburbana, três vezes maior que a zona urbana e com plano viário menos elaborado, e da zona rural, ocupada por sítios e fazendas, se localizavam ao sul de uma barreira constituída pelo Ribeirão Arrudas e pela ferrovia que acompanha seu curso (VILLAÇA, 1998). Singer (1977) aborda que o planejamento generoso permitiu que a área urbana de Belo Horizonte evitasse, nos primeiros anos, problemas comuns às cidades que surgem espontaneamente. Sistemas de água, esgoto, iluminação e telefone foram previamente construídos. De acordo com Cardoso (2007), a proposta de Aarão Reis apresentava avenidas largas, em uma perceptível preocupação com a acessibilidade:

“A atenção com a acessibilidade urbana, revelada na preocupação com o traçado e as dimensões técnicas das vias públicas, vinha ao encontro das inovações da época, a exemplo dos bondes, que representavam o mais avançado modo de transporte coletivo urbano existente. A criação da Avenida do Contorno, por sua vez, também revela o mesmo apelo modernista e remonta às características da reforma promovida em Paris, em meados do século XIX, pelo então prefeito Eugene Haussmann, ao separar as áreas urbana e suburbana.” (CARDOSO, 2007, p. 7)

Radicalmente positivista e republicano, Aarão Reis foi substituído por Francisco Bicalho em maio de 1895, antes da inauguração da Cidade de Minas, em 12 de Dezembro de 1897. Em 1901 o nome da capital é alterado para Belo Horizonte. Planejada para acolher de imediato uma população de 30 mil habitantes, e, no futuro, comportar o contingente de 200 mil pessoas, Belo Horizonte, no ano de 1900, apresentou uma população de pouco mais de 13 mil habitantes. Em 1920 esse número chega a mais de 55 mil, superando 116 mil habitantes em 1930, e, por fim, o contingente esperado no planejamento inicial, com mais de 214 mil habitantes em 1940. Em 1950, a capital de Minas Gerais atinge o número de 370 mil habitantes em sua zona urbana, suburbana e rural. De fato, Aarão Reis e sua equipe, assim como todos os planejadores de sua época, não foram capazes de prever as consequências das profundas transformações da Segunda Revolução Industrial sobre a dinâmica urbana, demográfica, ambiental e industrial das cidades. Como bem apontam Paula e Monte-Mor (2001), o engenheiro não estaria em grande erro ao estipular uma população de 200 mil habitantes para a capital, levando em conta Ouro Preto, que apresentou o número de 100 mil habitantes em seu auge. De fato, os impactos sobre o transporte, sobre as comunicações e sobre a dinâmica demográfica, empreendidos pela revolução técnico-científica do século XX, tendo como um de seus principais componentes o surgimento e popularização do automóvel, eram de previsão quase impossível ao final do século XIX.

Se o projeto moderno da nova capital foi considerado símbolo do período republicano que se iniciava, representando, assim, os ideais de uma corrente política tida como progressista à época, a característica segregadora da cidade nascente se colocava como materialidade da presença do velho, em meio à conjugação de forças que dirigiam Belo Horizonte. O que restou do antigo arraial do Curral Del Rey, ou seja, seus habitantes, bem como os trabalhadores na construção da cidade e os pobres em geral, não eram considerados “população ideal” para a capital planejada. De acordo com Costa (1994), a maior parte dos

terrenos da área urbana foi objeto de leilão público, o que definiu o caráter da seleção da ocupação pelo critério da renda, fato que possibilitou a concentração de lotes e a especulação com os preços dos terrenos urbanos.

Como apresentado por Villaça (1998), os primeiros moradores de Belo Horizonte eram funcionários públicos transferidos de Ouro Preto, moradores da antiga capital, proprietários de imóveis desapropriados do antigo Curral Del Rey e pioneiros capazes de arcar com a compra dos terrenos na nova capital. Esses desbravadores se instalaram no bairro que ficou conhecido como Funcionários, a leste da encosta que tem como cume o Palácio da Liberdade. A alta e a média burguesia, formada por altos funcionários, comerciantes e industriais, chegam à cidade mais tarde e se instalam na mesma área, ocupando, porém, o lado oeste da encosta, tendo como eixo a Rua da Bahia. Nos primeiros anos de vida da cidade, as camadas populares foram provisoriamente toleradas na zona urbana, onde ocupavam barracões de obras das empreiteiras, alojamentos, casas não demolidas do antigo arraial e as primeiras favelas (VILLAÇA, 1998).

Aos funcionários públicos foram doados e vendidos lotes, e desenvolvidos projetos habitacionais de acordo com sua hierarquia no funcionalismo. A zona suburbana da cidade, projetada para ser a área de expansão e separada da zona urbana pela Avenida 17 de Dezembro (atual do Contorno), apresentava padrões de urbanização mais flexíveis. Nessa área não foram seguidos os padrões definidos pela Comissão Construtora, dissolvida após a inauguração da cidade. Diferente de muitas cidades, em Belo Horizonte o crescimento da periferia não se relacionou à saturação da área central. De acordo com Costa (1994), a diferença dos preços dos terrenos na zona urbana, dotada de infraestrutura, e na zona suburbana e rural, consideradas áreas de segunda categoria, provocaram a intensa ocupação dessas últimas em detrimento da primeira. A intenção de direcionar o adensamento de Belo Horizonte a partir do centro foi subvertida pelo mercado imobiliário e pelos imigrantes que se instalavam. O Censo de 1912 demonstrou que 68% dos 39 mil moradores viviam em espaços exteriores à Avenida do Contorno (COSTA, 1994). Na década de 1920 a maior parte da zona urbana estava vaga, enquanto que, na década de 1940, quadras inteiras no interior da Avenida do Contorno estavam vazias (VILLAÇA, 1998).

A implantação de novos arruamentos, muitos dotados de arborização e calçamento, o loteamento de terrenos urbanos e a instalação de serviços e equipamentos públicos resultaram

em uma rápida transformação da paisagem na nova capital. Símbolo do ideal de modernidade, a primeira linha de bonde elétrico foi inaugurada em 1902, de maneira a ligar os eixos norte, sul e leste da área urbana (CARDOSO, 2007). A acessibilidade já se apresentava como importante componente na valorização dos terrenos. Para Villaça (1998), os custos gerados pelo aumento do tempo de deslocamento para a travessia da barreira rio-ferrovia, ao norte da Avenida do Contorno, foram fundamentais na definição das melhores localizações nas primeiras décadas de Belo Horizonte. À medida que a classe média e a burguesia ocuparam o setor urbano planejado, as camadas populares eram expulsas para fora da Avenida do Contorno, contribuindo para o surgimento e crescimento de bairros populares situados além da barreira, como a Floresta e a Lagoinha.

As áreas mais distantes do centro seguiam carentes de serviços essenciais como eletricidade e transporte, enquanto que a zona urbana, dotada de infraestrutura, era pouco adensada. Segundo Cardoso (2007), a inexistência de serviços de transporte e a precariedade em termos de infraestrutura na zona suburbana fomentaram a ocupação irregular de áreas da zona urbana e o crescimento das favelas. As linhas de bonde eram o principal meio de transporte público na época e foram fundamentais para o direcionamento do adensamento populacional na cidade. As necessidades de ampliação das linhas em direção aos bairros populares tinham como obstáculo vias sinuosas e a falta de eletricidade. O endividamento crescente e o agravamento das condições de infraestrutura da cidade resultaram na decisão de privatizar, em 1912, os serviços de energia elétrica e o transporte urbano por bondes (PAULA e MONTE-MOR, 2001). Era latente na jovem capital uma política de mobilidade urbana voltada à elite econômica, como no caso da extensão das linhas de bonde até o hipódromo (atual Bairro Prado), em 1906, e para o atual Bairro Serra, uma área pouco adensada na época e caracterizada pela presença de sítios e chácaras destinadas à população de alta renda. Bairros populares próximos ao centro, como o Calafate e a Floresta, receberiam linhas de bonde somente na década de 1920, resultado de uma maior mobilização de seus moradores (CARDOSO, 2007).

De maneira geral, os primeiros anos de Belo Horizonte foram marcados pela tentativa do Estado em cumprir o plano original, construindo uma cidade que simbolizasse os anseios de renovação e progresso característicos da classe política dominante naquele período. Porém, a lógica da desordem estava implícita no próprio plano de se criar uma cidade ordenada. A

segregação socioespacial, virtualmente planejada na planta da cidade, que criava espaços de primeira e segunda ordem, foi amplificada pelos já previstos déficits orçamentários dos primeiros anos da capital, o que resultou na privatização de serviços importantes como eletricidade e transporte público. Dessa maneira, a implantação da infraestrutura necessária para uma mínima qualidade de vida da população foi bloqueada pela lógica de mercado, dado que não era de interesse da companhia privada de energia elétrica efetuar investimentos em eletrificação e serviços de bondes em bairros de baixa renda. De fato, a privatização de serviços essenciais ao desenvolvimento da cidade materializava a vitória política de setores que defendiam um projeto de república centrado na hegemonia da propriedade privada e do liberalismo. A década de 1930 marcaria o retorno do protagonismo do Estado, em uma tentativa de controlar o crescimento e o desenvolvimento de Belo Horizonte.

2.2 - Industrialização e crescimento populacional de Belo Horizonte: a mobilidade urbana em um novo patamar

A distância em relação a outros centros, como o Rio de Janeiro, possibilitou que, já em 1908, a cidade se destacasse como um dos polos têxteis do estado. Tal situação ocorreu, em parte, devido à existência de um mercado consumidor, representado por funcionários públicos. Segundo Singer (1977), em 1920, Belo Horizonte demonstra uma economia sem tanta dependência de suas funções de capital, com certa expressão industrial, sendo um centro regional comparável às cidades de Juiz de Fora, Barbacena e Uberlândia. Porém, o papel de Belo Horizonte enquanto centro econômico de Minas Gerais foi limitado até 1930.

A conclusão da ferrovia Vitória-Minas, em 1930, favoreceu a implantação da siderurgia em municípios próximos da capital, como Sabará, Caeté e Barão de Cocais. O crescimento do volume de salários pagos na região provocou o aumento da demanda por produtos industrializados e favoreceu a expansão da indústria ligada à alimentação, tecelagem e utensílios domésticos, indústrias essas que se instalaram na capital. Além disso, o plano de construção de rodovias, iniciado em 1924, teve Belo Horizonte como centro, o que permitiu que em 1936 a capital tivesse linhas de ônibus intermunicipais para diversas cidades de Minas Gerais. A nova ferrovia e a abertura de rodovias fizeram com que Belo Horizonte se tornasse, no início da década de 1930, um importante polo econômico do estado, porém, não ainda o

principal. Tais mudanças resultaram em um considerável acréscimo populacional para a capital (SINGER, 1977; CARDOSO, 2007).

Em 1936 foi criada a área industrial do Barro Preto, onde se instalaram 20 indústrias que contavam com incentivos fiscais e tarifas reduzidas de energia elétrica. Como consequência, se verificou a valorização imobiliária da região e um processo de elitização do espaço (COSTA, 1994). Mesmo com indústrias de porte na época, como a Companhia Souza Cruz de Cigarros, o distrito não prosperou da maneira esperada, devido, principalmente, às questões ambientais e energéticas (GOUGH, 1994). De fato, existia a preocupação na preservação do título de cidade jardim já naquele período. Logo, o governo estadual buscou uma nova área industrial, dessa vez, fora do território de Belo Horizonte. A decisão por parte do governo do estado em criar a Cidade Industrial Juventino Dias no município de Contagem, através de decreto em 1941, não surtiu o efeito esperado em um primeiro momento, dado que, em 1950, apenas 10 indústrias haviam se instalado nos 4 km² de terrenos (COSTA, 1994). O problema crônico relacionado à disponibilidade de energia elétrica foi solucionado em 1952, com a criação da estatal Centrais Elétricas de Minas Gerais (atual Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG). Com isso, a Cidade Industrial entrou em pleno funcionamento, e, em 1960, contava com 82 indústrias em operação, sendo dois terços ligadas à produção de bens intermediários, se constituindo como a maior área industrial de Minas Gerais e empregando 14.863 operários (DINIZ, 1981).

De acordo com Costa (1994), Souza e Teixeira (1999) e Cardoso (2007), a criação da Cidade Industrial em Contagem e a criação do complexo da Pampulha, favoreceram a expansão urbana para o eixo oeste e norte da capital. Esse processo foi a base da conurbação que moldaria a futura metrópole. A Avenida Amazonas, prolongada em 1941 com o objetivo de interligar a área central da capital à Cidade Industrial, serviu como eixo de direcionamento da expansão no vetor oeste. Nesse período, os bairros no entorno da avenida foram adensados, dentre eles a Barroca, Nova Suíssa e a Gameleira. Regiões próximas à Cidade Industrial sofreram ocupação desordenada, como a Cabana do Pai Tomás (SOUZA, 1999) e o Barreiro (SOUZA, 1999; CARDOSO, 2007). No eixo norte, a abertura da Avenida Antônio Carlos e a criação do complexo da Pampulha favoreceram a expansão em direção ao núcleo de Venda Nova e aos municípios de Ribeirão das Neves, Vespasiano e Santa Luzia. Ao lado das intervenções públicas ligadas à tentativa de induzir a industrialização e a ocupação do espaço,

o final da década de 1940 até meados da década de 1970 foi marcado pela atuação do capital imobiliário, responsável pela criação de vários loteamentos. Somente na década de 1950 foram lançados 22 loteamentos novos, além de outros 50 que foram regularizados (COSTA, 1994). O resultado foi o espraiamento das áreas urbanas para regiões cada vez mais distantes do centro, de maneira a dificultar ainda mais a provisão de infraestrutura.

O aumento populacional, acelerado pela industrialização e conseqüente êxodo rural, bem como a expansão urbana para áreas cada vez mais distantes do centro, provocaram a explosão da demanda por serviços de transporte público. Nesse período, observa-se o prenúncio do domínio do modelo rodoviário em Belo Horizonte. O sistema de auto-ônibus, movido a diesel e já existente de maneira clandestina na cidade desde a década de 1920, se mostrou mais adaptado a uma realidade em que a cidade se expandia rapidamente para áreas cada vez mais distantes. De acordo com Cardoso (2007), em 1949 o sistema de ônibus alcança o sistema de bondes em percentual de passageiros transportados. O planejamento e criação do sistema trólebus, com ônibus movidos a energia elétrica, e, portanto, mais rápidos e silenciosos que os bondes, e menos poluentes que os ônibus a diesel, bem como a ampliação das linhas de bondes nas áreas suburbanas consolidadas, foram algumas das ações do Departamento de Bondes e Ônibus, autarquia criada diante da precariedade do transporte público em Belo Horizonte. Porém, os altos custos de operação dos bondes e as restrições de seu funcionamento nas áreas carentes de transporte resultaram na decadência desse modo de transporte durante a década de 1950. O resultado foi a extinção do sistema de bondes em 1963 (CARDOSO, 2007).

Em 1960, a população de Belo Horizonte atinge o número de 693.328 habitantes, um incremento de 96% em apenas 10 anos (SINGER, 1977). O crescimento da cidade, que, ao contrário das teorias a respeito do assunto, acontecia da periferia para o centro, tinha, dentre seus componentes, a existência de diversas aglomerações pouco articuladas às zonas urbana e suburbana – as colônias agrícolas. Somado a isso, vários núcleos de povoação se constituíram em torno das estações ferroviárias e paradas, direcionando o crescimento do extremo leste (General Carneiro, em Sabará) ao extremo oeste (Barreiro, já existente desde 1894) (SOUZA, 1999). Diante da impossibilidade de se habitar áreas cada vez mais distantes dos locais de trabalho, seja pelos altos custos do transporte público precário, seja pela sua inexistência, a saída encontrada pela população de baixa renda foi ocupar áreas próximas do Centro e da

Cidade Industrial, bem como fundos de vale e áreas de risco geológico. Entre 1964 e 1965, havia 79 favelas em Belo Horizonte, correspondendo a 25 mil domicílios ou 120 mil pessoas (COSTA, 1994).

Como bem aborda Paula e Monte-Mór (2001), a “expansão urbana aos saltos” foi um importante instrumento de valorização das terras nos intervalos inter aglomeração de equipamentos urbanos e ao longo de eixos viários na cidade. Porém, não foi capaz de reverter o processo de hipercentralização no anel interno à Avenida do Contorno. A desconcentração da população não foi acompanhada de uma desconcentração das atividades econômicas, salvo nas áreas industriais, onde se instalavam indústrias de menor porte (CARDOSO, 2007). O fato da maior parte dos bairros da cidade dependerem do centro da cidade para o acesso a equipamentos públicos e ao comércio provocou sérios impactos sobre o padrão de viagens em Belo Horizonte, situação verificada até os dias atuais e que será discutida com maior profundidade nas seções seguintes do presente trabalho.

2.3 – A metropolização e os novos desafios ao transporte público

A década de 1970 marca uma nova fase da industrialização em Minas Gerais. Grandes projetos industriais nos setores de bens de capital e consumo duráveis foram atraídos para Belo Horizonte e sua região metropolitana – institucionalizada em 1973 - amparados pelo direcionamento de investimentos públicos para criar as condições gerais de produção, tais como infraestrutura, transportes, mercado de trabalho e imobiliário (PAULA e MONTE-MÓR, 2001). O chamado “milagre mineiro” teve como indústria motriz a Fiat Automóveis S/A, implantada em Betim no ano de 1976, consolidando o eixo oeste da Região Metropolitana como o grande centro industrial do estado. Contagem e Betim seguiam o ritmo da expansão metropolitana, que logo atingiu municípios como Ibirité, Esmeraldas, Juatuba e Igarapé nesse eixo.

A produção do espaço urbano-metropolitano no período 1975/1984 foi marcada pela expansão acelerada da habitação das camadas de média e alta renda da população, pelo predomínio da ocupação extensiva de novas áreas e pelo crescimento da densidade populacional nas áreas de transição (SOUZA, 1999). A ocupação extensiva de novas áreas foi materializada principalmente pela produção em massa dos chamados loteamentos

populares. Sem infraestrutura básica como água, luz, esgoto e pavimentação das vias, o chamado loteamento popular se tornava uma opção para o trabalhador assalariado que sonhava “sair do aluguel”. De acordo com Costa (1994), entre 1975 e 1979 foram produzidos na Região Metropolitana de Belo Horizonte mais de 85 mil lotes considerados populares. O segredo do mercado imobiliário que produzia tais loteamentos era justamente escolher áreas não programadas para intervenções do Estado. Em suma, a ausência de infraestrutura era um componente que permitia a redução do custo do lote, ampliando assim seu mercado potencial. A ação dos loteadores, que encontravam mercado pela omissão do Estado em desenvolver regulações quanto aos parcelamentos, resultou na elaboração de diretrizes pelo Plambel, órgão do governo estadual incumbido do planejamento metropolitano. A aplicação dessas diretrizes em Contagem e Betim provocou a migração dos loteadores para áreas mais distantes na metrópole. Ribeirão das Neves foi considerado o local ideal para tal empreendimento, sendo que entre 1975 e 1978, mais de 50% dos lotes populares RMBH se localizaram nesse município (COSTA, 1994).

Segundo Souza (1999), durante a década de 1970 assiste-se a uma extensão da mancha urbana belo-horizontina até localidades como Justinópolis, em Ribeirão das Neves, General Carneiro, em Sabará, São Benedito, em Santa Luzia e Durval de Barros, em Ibirité. A produção de conjuntos habitacionais, por parte do poder público, direcionados à população de baixa renda, foi outro importante componente da expansão no período 1975/1984. Morro Alto, em Vespasiano, e Palmital, em Santa Luzia, são exemplos de tais espaços, que, em suma, receberam antigos moradores de favelas e áreas de risco de Belo Horizonte. As enchentes de 1979 e 1983 aceleraram a criação e ocupação dos conjuntos habitacionais, que favoreceram o adensamento de seu entorno através da autoconstrução. A expansão metropolitana terá diminuição somente após 1985, devido à queda da renda real das famílias, às altas inflacionárias e os efeitos da Lei Federal 6766/79, que regulamenta os parcelamentos do solo no Brasil. O período que se segue é caracterizado pelo adensamento via informalidade na produção de moradias (SOUZA, 1999) e pela apropriação de espaços criados na metrópole (COSTA, 1994).

Problemas relacionados ao acesso aos serviços básicos, como saúde, educação, saneamento e transporte são compartilhados por todos os municípios da RMBH, em graus diferenciados. Porém, é latente a falta de coordenação dos serviços de interesse metropolitano,

e, em especial, a coordenação do transporte e do trânsito. Na década de 1970 e início da década de 1980, a estrutura de circulação do transporte coletivo seguia um modelo de ligação direta dos bairros com o centro de Belo Horizonte. De acordo com Azevedo e Mares Guia (2000), os pontos finais das linhas de ônibus no centro da capital eram instalados distantes uns dos outros, de maneira que o transbordo exigia grandes deslocamentos a pé. Em 1979, por exemplo, cerca de 850 mil passageiros se deslocaram de um bairro a outro, trocando de coletivo no centro. Cerca de 40% do tempo gasto no trajeto se devia a deslocamentos a pé no próprio bairro e no centro.

Os trajetos sobrepostos de várias linhas de ônibus resultavam em concorrência predatória entre as empresas, enquanto que os serviços de transportes nas periferias eram caracterizados pela falta de regularidade e precariedade. A inexistência de um sistema tarifário único levava a graves distorções que se refletiam na qualidade do serviço⁵. Não existiam critérios claros para a definição da tarifa, que era discutida para cada linha pela Superintendência Municipal de Transportes – SMT – diretamente com o proprietário da empresa. Linhas com menor percurso ou de empresas com maior poder de barganha junto ao órgão obtinham alta rentabilidade, possibilitando a contínua renovação da frota. Por sua vez, linhas de periferia com maiores trajetos tinham reduzido número de coletivos e em pior estado de conservação. O resultado era a existência de tarifas dispendiosas, de maneira a provocar uma elevada participação dos custos com transporte no orçamento doméstico. Em 1979 existia o total de 3.474 ônibus que efetuavam o transporte coletivo na RMBH, operados por 123 empresas concessionárias (AZEVEDO e MARES GUIA, 2000).

A institucionalização da Região Metropolitana de Belo Horizonte ocorreu em 1973, com a Lei Federal Complementar nº 14. Como desdobramento, foi criada em 1974 a autarquia Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Plambel -, com o objetivo de coordenar a execução de serviços metropolitanos como o transporte. Na prática, se torna a instituição que efetua a intermediação dos recursos do Governo Federal direcionados aos órgãos setoriais e municípios metropolitanos (AZEVEDO e MARES GUIA, 2000). Ainda em 1974, foi finalizado o Plano Metropolitano de Transporte que, dentre suas principais propostas, sugeria a criação de um órgão com a função de gerenciar o transporte e o trânsito

⁵ Azevedo e Castro (1990) citam a ocorrência de diferenças tarifárias de até 200% entre linhas concorrentes em um mesmo corredor de tráfego, diante de uma diferença de apenas dois quilômetros em seus respectivos itinerários.

na RMBH. A efetivação dessa proposta é a criação da Companhia de Transportes Urbanos da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Metrobel.

Dentre as ações de maior impacto da Metrobel, se insere a implantação de uma nova estrutura de circulação que objetivou racionalizar o serviço de transporte coletivo na RMBH. Em suma, as linhas foram classificadas em três diferentes tipos: expressas, que ligavam dois polos com grande fluxo de passageiros, percorrendo basicamente os principais corredores de tráfego, com pontos finais em terminais; semi-expressas, que ligavam bairros mais distantes às áreas centrais de Belo Horizonte, Contagem e Betim, de maneira que, sem ter um ponto final fixo nas áreas centrais, essas linhas efetuavam um percurso que se cruzasse com linhas de outros eixos; linhas de serviço, que atendiam deslocamentos de curta e média distância entre bairros, passando pelo centro (linhas diametrais) ou que circulavam na área central (linhas circulares). Houve, com tal mudança, a redução do número de veículos em circulação (de 3.743 para 2.740), a diminuição da tarifa média em cerca de 20% e a redução do número de empresas que operavam o sistema, que passou de 123 para 79 empresas (AZEVEDO e CASTRO, 1990).

Um dos objetivos da Metrobel era possibilitar que as áreas periféricas tivessem uma tarifa comparativamente menor, em relação à extensão do trajeto. Para isso, foi criado um mecanismo de subsídio cruzado entre as linhas, de modo que, aquelas que serviam aos bairros nobres, geralmente com maior demanda e menores percursos, teriam preços relativamente mais altos para compensar o déficit decorrente dos valores mais baixos das passagens das linhas que atendiam a periferia (AZEVEDO e CASTRO, 1990). Em setembro de 1982 instituiu-se a Câmara de Compensação Tarifária – CCT – através da qual se procedia a compatibilização do custo do pagamento do serviço prestado pelas empresas permissionárias com os valores arrecadados com as passagens. As empresas que operavam linhas mais rentáveis, e arrecadavam acima da remuneração estipulada, devolviam o valor excedente à CCT. Esse valor, por sua vez, complementava o pagamento das empresas que não cobriam os custos estipulados na planilha através das tarifas. Dessa maneira, a Metrobel cumpriu, em um primeiro momento, seu objetivo de equilibrar financeiramente o sistema de transporte coletivo na RMBH. Com os surtos inflacionários que se seguiram nos anos posteriores, a CCT passou a enfrentar seguidos déficits, que, em geral, eram repassados às tarifas (AZEVEDO e MARES GUIA, 2000).

A criação da Metrobel não foi suficiente para solucionar os problemas relacionados ao trânsito e ao transporte na RMBH na década de 1980. Com essência centralizadora, típica do período de sua criação (AZEVEDO e MARES GUIA, 2000), a empresa era um dos principais alvos das críticas da população, e, aos poucos, passa a apresentar maior flexibilidade e abertura com relação às demandas populares. Ganhos importantes foram alcançados, como o passe livre para alguns segmentos da população e o congelamento de tarifas (CARDOSO, 2007). Tais ganhos eram fruto de reivindicações populares que materializavam o período de abertura democrática que se aproximava. Cabe citar que, nesse período, a organização dos empresários do transporte fez surgir um sindicato atuante, capaz de exercer pressão considerável para mudanças da planilha de custos, que, em sua interpretação, eram subremuneradas. Graças ao *lobby* exercido, esse sindicato obteve vitória, o que resultou em aumentos do custo do serviço de transporte coletivo (AZEVEDO e MARES GUIA, 2000). Com a eleição de Newton Cardoso em 1986, a Metrobel é extinta em 1987, com seus serviços sendo repassados à TRANSMETRO, que, basicamente, continuava com as mesmas atribuições e estrutura de sua antecessora (CARDOSO, 2007).

Figura 2: Centro de Belo Horizonte na década de 1980 durante a vigência do sistema de transporte coletivo implantado pela METROBEL



Fonte: Arquivo pessoal Marcio Schenker.

Em 1981, se iniciam as obras para implantação do Trem Metropolitano, uma das soluções apontadas para o caótico transporte público na Região Metropolitana. O cronograma

inicial do projeto previa uma linha entre o Bairro Eldorado (em Contagem) e o Bairro São Gabriel, na região nordeste de Belo Horizonte, com um total de 26,5 quilômetros de extensão, além de um ramal entre o Bairro Calafate e o Barreiro, com 10,5 quilômetros, totalizando 22 estações e 25 trens-unidade-elétrica (CBTU, 2017). As mudanças no projeto e os atrasos no cronograma de obras resultaram na inauguração da linha 1 em Agosto de 1986, com apenas seis estações, três trens e um total de 10,5 quilômetros de extensão, entre o Bairro Eldorado e o Bairro Lagoinha, vizinho ao centro de Belo Horizonte. Em 1987 é inaugurada a Estação Central e entram em operação mais dois trens. A linha de trem metropolitano foi construída se aproveitando da malha ferroviária já existente na capital, solução que se apresentou como a mais viável (SILVA FILHO, 2011). Com obras entregues de maneira inacabada, foram identificados diversos problemas que impediram o trem metropolitano de ser a solução para o transporte público no período. Um desses problemas foi a ineficaz integração com o transporte por ônibus da RMBH (CARDOSO, 2007).

O período que engloba o final da década de 1980 e a década de 1990 é de uma “repolitização da cidade”, marcada por maior participação popular, levadas a cabo por movimentos sociais urbanos, que já demonstravam força desde a década de 1970. As respostas governamentais buscaram a descentralização dos serviços sociais urbanos como transportes, abastecimento, educação e saúde (PAULA e MONTE-MÓR, 2001). Essa descentralização resultou, eventualmente, em municipalização dos serviços. Em relação aos serviços de transporte e trânsito, essa municipalização ocorreu em Belo Horizonte na década de 1990. De acordo com Cardoso (2007), essa mudança resultou na perda de poder de atuação da TRANSMETRO no que se refere ao gerenciamento do transporte na RMBH, especialmente após Contagem, Betim, Ibirité, Ribeirão das Neves, Santa Luzia e Pedro Leopoldo seguirem o mesmo caminho da capital. Em Belo Horizonte, é criada em 1991 a BHTRANS, que assume paulatinamente o controle das linhas de ônibus e o gerenciamento do trânsito na capital.

O processo de descentralização das soluções para o transporte e trânsito na Região Metropolitana de Belo Horizonte gerou a possibilidade de maior participação da população, como, no caso da capital, a criação de canais abertos de comunicação entre poder público e comunidade. A municipalização do gerenciamento dos transportes resultou no fim da TRANSMETRO, em 1994, e a transferência das linhas metropolitanas para o Departamento

de Estradas de Rodagem – DER/MG. Medidas de grande impacto no transporte e no trânsito da capital são desenvolvidas pela BHTRANS durante a década de 1990. Um das principais ações é o desenvolvimento do Plano de Restruturação do Transporte Coletivo na capital que, dentre suas medidas, estipulava a criação do sistema tronco-alimentador e a implantação de estações de ônibus em regiões periféricas, reduzindo assim o tráfego na região central (CARDOSO, 2007). Em 1997 é inaugurada a primeira estação desse programa no Bairro Diamante, Regional Barreiro. Tais intervenções estavam condizentes com a proposta do Plano Diretor de Belo Horizonte, instituído em 1996. Dentre as diretrizes do plano, se encontravam a reformulação da estrutura viária radiocêntrica, a articulação do sistema viário municipal com as vias metropolitanas e as rodovias estaduais e federais, a implantação de pistas especiais para o transporte de massa e o desenvolvimento do policentrismo com a criação de novas centralidades no território municipal (BELO HORIZONTE, 1996).

Significativas melhorias são alcançadas com a atuação dos principais órgãos de transporte e trânsito da RMBH, com destaque para a BHTRANS - que conta com maior capacidade técnica - TransCon (Contagem) e TransBetim (Betim). Porém, a ação restrita aos limites municipais torna urgente o desenvolvimento de um planejamento dos transportes públicos para toda a RMBH. Alguns efeitos negativos da municipalização do gerenciamento dos transportes e da falta de uma coordenação em nível metropolitano podem ser verificados na RMBH no período atual, como a diferença tarifária entre as linhas de ônibus gerenciadas pelo governo estadual e as linhas gerenciadas pelos municípios⁶. Com a descentralização pós Constituição Federal de 1988 e a extinção do Plambel, em 1996, um “certo vazio” se estabeleceu no que refere ao planejamento metropolitano, algo que seria modificado com a elaboração, no início da segunda década do século XXI, do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte – PDDI RMBH.

⁶ O não repasse dos recursos estipulados para a Câmara de Compensação Tarifária Metropolitana em meados dos anos 1990 representou uma “saída branca” da BHTRANS da CCT (AZEVEDO E MARES GUIA, 2000). A CCT foi mantida até o ano de 2008, em moldes distintos do estipulado na década de 1980.

2.4 – O sistema de transporte na RMBH no início do século XXI: O PDDI e as transformações no Vetor Norte

O início do século XXI marca, a exemplo de décadas anteriores, o papel do governo estadual na definição de vetores de crescimento na RMBH. Com a elaboração e execução de projetos como a Linha Verde e o Centro Administrativo de Minas Gerais, o crescimento da RMBH foi direcionado para o chamado Vetor Norte da região metropolitana. Além disso, esse período é marcado por uma maior participação da sociedade organizada e das universidades no processo de planejamento da metrópole. Esse processo foi materializado na elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte - PDDI-RMBH - que tem como objetivo propor soluções para problemas compartilhados pelos municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, que, desde o ano de 2002, passa a englobar 34 municípios⁷.

Em conformidade com os preceitos expressos na Constituição Federal de 1988 e no Estatuto da Cidade de 2001, entre os anos de 2009 e 2010, o PDDI-RMBH foi contratado pelo Governo do Estado de Minas Gerais à Universidade Federal de Minas Gerais e contou, em sua elaboração, com a participação de mais de uma centena de docentes pesquisadores, estudantes de graduação e pós-graduação, além de alguns consultores. Elaborado na universidade, o plano é sistematizado em áreas temáticas transversais, de maneira a buscar articulação com a totalidade. Os quatro eixos temáticos integradores das propostas de políticas públicas – urbanidade, acessibilidade, seguridade e sustentabilidade - caracterizam a transdisciplinaridade que alicerça o PDDI. Um processo participativo acompanhou o processo de construção do plano através de oficinas, seminários e reuniões técnicas abertas. O pressuposto, expresso no PDDI é que:

(...) a abordagem crítica supera o sentido analítico e funcional de um planejamento reformista, sem desqualifica-lo, mas limitando-o ao seu caráter operacional e imediato e indo além, com o objetivo de pensar a totalidade em transformação e buscar construir processos voltados para a transformação social, econômica e ambiental (UFMG; PUCMINAS; UEMG; SEDRU-MG, 2011, p.3)

⁷ Os municípios que compõem a RMBH desde 2002 são: Baldim, Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Caeté, Capim Branco, Confins, Contagem, Esmeraldas, Florestal, Ibirité, Igarapé, Itaguara, Itatiaiuçu, Jaboticatubas, Juatuba, Lagoa Santa, Mário Campos, Mateus Leme, Matozinhos, Nova Lima, Nova União, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Rio Manso, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa, Sarzedo, Taquaraçu de Minas e Vespasiano.

No plano, o transporte público e o trânsito na RMBH são entendidos de maneira integrada ao uso e ocupação do solo, de forma a evitar as propostas setoriais. Estruturado em oito políticas⁸, o eixo Acessibilidade do PDDI propõe ações estruturais de integração territorial e dos transportes. São elas: a implantação de um sistema viário metropolitano em rede; a expansão e implantação das malhas rodoviária, ferroviária e metroviária metropolitanas, a integração do transporte público coletivo através de suporte à rede de centralidades, melhoria da infraestrutura, informação e informatização do transporte público e incentivo ao transporte alternativo complementar; restrição ao transporte motorizado individual, incentivo ao pedestrianismo, ao ciclismo e outros modos não motorizados alternativos; integração institucional e tarifária; racionalização da logística metropolitana de distribuição física de cargas em Belo Horizonte. Embora inovador em sua concepção, a materialização efetiva do PDDI foi praticamente inexistente até o fechamento do presente trabalho. Ações estruturantes, como a construção do Rodoanel e a ampliação do metrô, dependem de elevado aporte de recursos, o que contrasta com a crise fiscal dos entes federativos, principalmente durante a segunda década do século XXI. Em suma, há um significativo risco de que o plano, marcado pela transdisciplinaridade e resultado de significativos esforços em pesquisa, mobilização e participação social, não seja aplicado em um prazo adequado e se torne obsoleto, ou, ainda, seja resumido a um mero objeto de consulta bibliográfica para as pesquisas futuras a respeito do planejamento metropolitano na RMBH.

Inserido em um contexto de maior integração das políticas de mobilidade urbana na RMBH, o Governo do Estado de Minas Gerais lançou em janeiro de 2013 o sistema tronco alimentador metropolitano. O projeto original, denominado Terminais Metropolitanos de Integração, previa a implantação de 10 terminais de integração nos municípios de Belo Horizonte (Av. Bernardo Monteiro), Contagem (bairros Darcy Ribeiro, Cidade Industrial e São Joaquim), Ibirité, Ribeirão das Neves (bairros Jardim Colonial e Justinópolis), Santa Luzia (no bairro São Benedito), Sarzedo e Vespasiano (no bairro Morro Alto). Até o início de 2018, os terminais de Ibirité, Sarzedo, Justinópolis (Ribeirão das Neves), Morro Alto (Vespasiano) e São Benedito (Santa Luzia) se encontravam em funcionamento. Com atrasos nos cronogramas de implantação, linhas pouco integradas aos demais modos de transporte do

⁸ São elas: Política Integrada Metropolitana de Centralidades em Rede, Política Integrada Metropolitana de Mobilidade Metropolitana, Política Metropolitana Integrada de Direito ao Espaço Cotidiano, Política Metropolitana Integrada de Integração dos Serviços de Saúde, Política Metropolitana Integrada de Assistência Social e Política Metropolitana Integrada de Democracia Digital.

sistema metropolitano, inadequação de itinerários e quadro de horários das linhas, além das elevadas tarifas, o programa passa por uma reestruturação com o objetivo de solucionar os graves problemas observados nos terminais até então “concluídos”.

A Prefeitura de Belo Horizonte desenvolveu nos últimos anos importantes ações para aumentar a competitividade do sistema de transporte coletivo na capital. Como a linha de Trem Metropolitano apresenta baixo percentual de viagens sobre o total dos deslocamentos realizados na capital (1,73% em 2012), o transporte por ônibus permanece como mais importante modo de transporte coletivo em operação. O Plano Diretor de 1996 instituiu o programa BHBUS, que previa instalação do sistema tronco-alimentador em todo o município com a criação de estações de transferência nas regionais Barreiro, Venda Nova, Pampulha, Oeste, Noroeste e Nordeste. Inserida no pacote de intervenções na ocasião da realização da Copa do Mundo de 2014, a criação do sistema de transporte rápido por ônibus – BRT – denominado MOVE, possibilitou a construção da Estação Pampulha e adequação das estações Venda Nova, Vilarinho e São Gabriel, todas integradas ao novo sistema de transporte por ônibus. Atualmente, além dos terminais citados, estão em funcionamento na capital, operando majoritariamente com o sistema do ônibus convencional, as estações Diamante e Barreiro, localizadas na Regional Barreiro, a Estação José Cândido da Silveira, na Regional Nordeste (integrada ao metrô) e a Estação Ponto São José, na Regional Noroeste.

Além do desenvolvimento de um plano diretor metropolitano integrado, a RMBH é palco de uma série de projetos estruturantes empreendidos pelo Estado no chamado Vetor Norte, elaborados e, em parte, executados desde o final da primeira década do século XXI. Dentre esses grandes empreendimentos se destacam a construção do Centro Administrativo de Minas Gerais (CAMG), a ampliação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, bem como sua transformação em aeroporto industrial, a construção da Linha Verde e a construção do Contorno Viário Norte, parte integrante do Rodoanel. A Linha Verde é um conjunto de vias que ligam o hipercentro de Belo Horizonte ao CAMG e ao Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins. O Centro Administrativo é um projeto com o objetivo de centralizar as atividades administrativas do estado de Minas Gerais e foi implantado no extremo norte de Belo Horizonte, na divisa com os municípios de Santa Luzia e Vespasiano. Por sua vez, o Contorno Viário Norte é uma rodovia a ser implementada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes e se insere no conjunto de adequações

da BR 381, de maneira a ligar na RMBH os municípios de Betim a Sabará sem cruzar a capital. Dos projetos citados, o Contorno Viário Norte e a transformação do Aeroporto Tancredo Neves em um aeroporto industrial não foram efetivados até a data de conclusão da presente pesquisa, e permanecem sem previsão de execução.

O Vetor Norte da RMBH é formado pelos municípios de Belo Horizonte, Confins, Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Sabará, Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasiano. Em termos absolutos, excluindo-se a capital, a população urbana dos municípios do Vetor Norte passou de cerca de 80 mil habitantes em 1970 para 700 mil no ano 2000. O Vetor Norte é caracterizado por municípios com um quadro de precariedades relacionadas à habitação, infraestrutura e serviços urbanos essenciais como o transporte público. A mobilidade pendular identificada entre os municípios desse eixo que fazem limite com Belo Horizonte demonstra a existência de “cidades dormitório”. Com base nos dados da Pesquisa OD de 2002 analisados por Costa (2009), 45% do total de movimentos pendulares realizados em 2001/2002 pela população ocupada dos municípios da RMBH com destino a Belo Horizonte, teve como origem os municípios de Ribeirão das Neves, Santa Luzia, Sabará e Vespasiano, todos integrantes do Vetor Norte. Embora se observe a redução percentual dos movimentos pendulares com destino a Belo Horizonte em toda RMBH nos últimos anos (LOBO, CARDOSO E MATOS, 2008; LOBO *et al.*, 2015), em parte, devido à consolidação de novas centralidades na periferia da metrópole, há de se apontar a intensidade da dependência desses municípios em relação aos serviços e atividades econômicas exercidas em Belo Horizonte.

É de se esperar que os grandes empreendimentos citados anteriormente provoquem intensas mudanças nos municípios integrantes do Vetor Norte, algo já evidenciado pela valorização imobiliária no eixo constituído pela Linha Verde. De acordo com o Relatório Síntese do Plano Diretor de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte PLANMOB-BH 2030 – espera-se que ações de grande impacto, como as operações urbanas consorciadas das avenidas Presidente Antônio Carlos e Pedro I, favoreçam o desenvolvimento de centralidades, reduzindo, assim, a necessidade de grandes deslocamentos e favorecendo o uso de modos de transporte ativos, como a caminhada e a bicicleta. Porém, é importante destacar a tendência de gentrificação na região, o que poderia resultar em efeitos contrários ao esperado, dado que a população de maior renda tende a utilizar o transporte individual motorizado mesmo em áreas

com maior oferta de transporte público. Há de se somar a esses investimentos as intervenções realizadas em Belo Horizonte com a ocasião da realização de jogos da Copa do Mundo de Futebol de 2014. Dentre as principais obras, se destacam o alargamento da Avenida Presidente Antônio Carlos e Dom Pedro I (marcado pela queda de um viaduto que provocou a morte de duas pessoas e ferimentos em outras 23, em julho de 2014), a implantação de pistas exclusivas para o transporte público nessa avenida e na Avenida Cristiano Machado, a ampliação da estação multimodal Vilarinho, em Venda Nova, a criação de uma estação de ônibus na Pampulha (que até os dias atuais funciona de maneira precária) e a implantação do sistema BRT nas avenidas Vilarinho, Presidente Antônio Carlos e Cristiano Machado.

As intervenções desenvolvidas pelo Estado têm, dentre seus objetivos, a criação de novas centralidades no Vetor Norte, bem como o fortalecimento de outras preexistentes, com destaque para Venda Nova. Caracterizada como pouso de tropeiros no século XVIII, o antigo distrito de Venda Nova foi anexado ao município de Belo Horizonte em 1949, atendendo reivindicação da comunidade local (BELO HORIZONTE, 2017). Atualmente, é uma das nove regionais administrativas de Belo Horizonte e se constitui como importante centro econômico, em especial, com atividades terciárias.

A Regional Venda Nova recebeu nos últimos anos importantes intervenções voltadas ao transporte público. Destaca-se a implantação do sistema tronco-alimentador (BHBUS), com a inauguração da Estação Venda Nova no ano de 2000; a inauguração em 2002 da Estação Intermodal Vilarinho, que permite a integração da linha 1 do metrô ao sistema de ônibus de Belo Horizonte e RMBH; a implantação em 2014 do sistema BRT, que foi adaptado às duas estações de ônibus existentes. Para a implantação do sistema BRT, foram construídas pistas exclusivas para ônibus nas avenidas Vilarinho e Dom Pedro I. A regional tem como eixos viários principais a Rua Padre Pedro Pinto e a Avenida Vilarinho, vias paralelas entre si que atravessam o território da regional no sentido sudeste-noroeste, a Avenida Dom Pedro I, que liga a região à Avenida Presidente Antônio Carlos e à Pampulha, e a Avenida Cristiano Machado, um dos principais eixos de acesso da região ao centro de Belo Horizonte. Devido à importância da regional enquanto uma das principais centralidades do Vetor Norte, o presente trabalho apresenta a construção e análise dos resultados de um modelo preditivo de fluxos por ônibus para as viagens com origem em todo o território da

Regional Venda Nova. Com isso, espera-se identificar os trajetos preferenciais esperados para cada viagem realizada na regional, com destino a quaisquer pontos de Belo Horizonte.

3 - MODELO PREDITIVO DE VIAGENS E FLUXOS POR ÔNIBUS EM BELO HORIZONTE: A METODOLOGIA PROPOSTA

Conhecer os padrões de deslocamento da população é uma das ações fundamentais para o processo de planejamento do transporte público. Ao que se refere ao transporte urbano, o entendimento da natureza e característica das viagens realizadas pelos indivíduos ao longo do dia, bem como as atividades que as produzem, podem ser realizadas por pesquisas para averiguar os trajetos e motivos desses deslocamentos. As informações produzidas possibilitam a criação de modelos de previsão da demanda por transporte, a identificação de linhas de desejo e a adequação dos sistemas de transporte público.

A presente unidade, além caracterizar a base de dados utilizada, descreve a metodologia utilizada na construção dos modelos preditivos para o transporte por ônibus em Belo Horizonte. A primeira subunidade tem como foco a descrição da Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte, principal base de dados utilizada. Um breve histórico das pesquisas realizadas até então é apresentado, assim como sua metodologia. A segunda subunidade apresenta a metodologia desenvolvida para a construção do modelo preditivo de viagens por ônibus, que propõe estimar o número de deslocamentos com origem nos campos da capital e destino em quaisquer outros campos do município para os anos de 2022 e 2032. Por fim, a última subunidade detalha a metodologia adotada para estimar os possíveis trajetos de ônibus com origem na Regional Venda Nova. Essa proposta possibilita identificar os fluxos esperados para as viagens por ônibus com origem nas áreas homogêneas da Regional Venda Nova, em Belo Horizonte. O tratamento dos dados, as compatibilizações desenvolvidas e os procedimentos adotados na construção dos modelos são detalhados de maneira a possibilitar sua replicação para outros municípios da RMBH e para outras regionais de Belo Horizonte.

3.1 – Base de dados: A Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte

As pesquisas origem e destino são consideradas a mais completa forma de estudo da demanda por transporte humano no Brasil e registram os movimentos realizados pelos indivíduos por meio de entrevistas domiciliares (ANTP, 1997). Elas apresentam informações

sobre o deslocamento realizado (motivo, horário, modo, origem, destino e tempo de viagem) e sobre as pessoas envolvidas (idade, escolaridade e renda). Sua realização deve ser periódica, como uma maneira de acompanhar as mudanças no desejo de deslocamento da população, bem como sua relação com a distribuição espacial das atividades, permitindo, dessa forma, desenvolver projeções futuras. É importante salientar que a identificação do destino de real desejo dos indivíduos é uma tarefa de grande complexidade, dado que restrições econômicas e sociais, como a renda, a insegurança e a inexistência de meios de transporte, acabam por condicionar a escolha dos locais a serem acessados. Portanto, as pesquisas origem e destino não são capazes de captar o real desejo de deslocamento da população, mas sim a expressão de uma mobilidade possível. De maneira geral, recomenda-se que essas pesquisas sejam aplicadas a uma amostra estatisticamente representativa dos domicílios de cada uma das zonas em que é dividido o espaço urbano, considerando o uso e ocupação do solo e o sistema de transporte. No Brasil, a primeira pesquisa origem e destino foi aplicada no município de São Paulo no ano de 1967 (ANTP, 1997).

A Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte, no presente trabalho denominada OD/RMBH, foi realizada pela primeira vez em 1972, sendo repetida nos anos de 1982, 1992, 2002 e 2012. O objetivo da OD/RMBH é *“ aferir as estruturas de deslocamento da população e de mercadorias na Região Metropolitana, bem como reavaliar os padrões de articulação dos diferentes lugares que caracterizam a área conurbada metropolitana ”* (MINAS GERAIS, 2003, p. 2). Na RM, dada uma fração amostral previamente definida, todos os ocupantes do domicílio objeto de estudo são investigados a respeito do número de deslocamentos realizados no dia anterior, o modo de transporte, o motivo, a duração, o horário e o destino das viagens. O resultado final é uma base de dados detalhada, com o registro das locomoções realizadas no limite territorial da RMBH, de maneira a possibilitar estudos posteriores a respeito do deslocamento da população metropolitana, tais como pontos de origem e destino, modos utilizados, horários de maior pico de deslocamentos, motivos da viagem e faixa etária que realiza tais locomoções. A realocação de atividades econômicas nos municípios, a identificação de demandas por novas linhas de transporte coletivo, bem como a implantação de intervenções direcionadas ao transporte público têm como base os resultados da OD/RMBH.

A primeira OD/RMBH teve como objeto de estudo a área conurbada ao município de Belo Horizonte. Vale ressaltar que a realização da primeira OD é anterior à institucionalização da Região Metropolitana de Belo Horizonte, que ocorreu em 1973, e serviu como subsídio ao planejamento metropolitano da época. Os levantamentos da OD de 1972 foram complementados por outros estudos, a citar: a Pesquisa Socioeconômica, a Pesquisa das Atividades Econômicas, a Pesquisa de Uso do Solo e a Pesquisa Sociopolítica. Ao se integrar a uma série de estudos sobre domicílio, atividades econômicas e uso do solo, a OD de 1972 se constituiu como uma primeira leitura compreensiva da RMBH. Além disso, a pesquisa buscou efetuar o vínculo das informações coletadas às bases de dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. As unidades de análise, denominadas nessa pesquisa de “zonas ODS”, são agregações dos setores censitários do Censo Demográfico do IBGE (MINAS GERAIS, 2003).

A segunda Pesquisa OD foi desenvolvida em 1981 e 1982. Essa versão englobou todos os 14 municípios que integravam a RMBH, independente de existir conurbação com Belo Horizonte. Os municípios incluídos na pesquisa foram Belo Horizonte, Betim, Caeté, Contagem, Ibirité, Lagoa Santa, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano. Mateus Leme e Igarapé, municípios que, naquele momento, se localizavam na área de influência imediata da metrópole, foram também incluídos na OD de 1982. Diferente de 1972, em 1982 existia um órgão responsável pela coordenação das ações na área de transporte e trânsito na RMBH: a METROBEL. Na OD de 1982 foi desenvolvido o Sistema de Unidades Espaciais, que seria utilizado nas ODS posteriores com o objetivo de consolidar uma série histórica compatível com as unidades anteriores. Nesse sistema, a menor unidade espacial é a área homogênea, que agrega um pequeno número de setores censitários do IBGE.

A Pesquisa OD de 1992, realizada um ano após o Censo Demográfico de 1991, foi desenvolvida pelo Núcleo de Ensino e Pesquisa em Transporte – NEPT – do Departamento de Transporte e Geotecnia da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, por meio do convênio firmado entre a TRANSMETRO – Transportes Metropolitanos – e a Fundação Christiano Ottoni. Desenvolvida em um contexto de crise na gestão metropolitana e afirmação crescente da autonomia municipal, a OD de 1992 abrangeu os 18 municípios integrantes da RMBH naquele momento. Em relação à última OD, foram incluídos os

municípios de Brumadinho, Esmeraldas, Igarapé e Mateus Leme. O sistema de codificação das unidades espaciais se mostrou eficaz para análises futuras, já que se preocupou em identificar divisões intramunicipais que se emancipariam anos mais tarde. Tal codificação facilitou a tarefa de compatibilização desenvolvida posteriormente, com o objetivo de análise das séries históricas e o desenvolvimento de projeções. Essa tarefa veio ao encontro da política de descentralização defendida na Constituição Federal de 1988 e na Constituição Estadual de 1989.

A Pesquisa OD de 2002, realizada em 2001 e 2002, foi executada pela Fundação João Pinheiro (FJP), órgão ligado ao Governo do Estado de Minas Gerais. Essa edição também contou com a participação outros órgãos federais, estaduais e municipais, sendo eles a Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral de Minas Gerais – SEPLAN/MG; o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DER/MG; a Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU, a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e a Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte – BHTRANS. Nessa OD, foram preservados os limites das unidades espaciais da OD anterior, compatibilizando a codificação de acordo com os novos municípios criados e/ou incluídos à RMBH após 1992. São eles: Confins, Juatuba, Mário Campos, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa e Sarzedo, todos emancipados de municípios já incluídos na RMBH, e os municípios de Baldim, Capim Branco, Florestal, Itaguara, Itatiaiuçu, Jaboticatubas, Matozinhos, Nova União, Rio Manso, Taquaraçu de Minas.

A Pesquisa OD de 2012, a mais recente até o presente momento, foi executada pela Secretaria Extraordinária de Gestão Metropolitana – SEDRU. Quanto às unidades espaciais, foram realizadas várias alterações nos limites das unidades espaciais, mais que aquelas utilizadas em 2002. Em boa medida, isso ocorreu devido ao desmembramento de setores censitários por parte do IBGE no Censo Demográfico de 2010. Em relação às edições anteriores, a OD 2012 efetuou a redução das variáveis socioeconômicas de maneira a priorizar a mobilidade, fato que teve como justificativa o extenso tempo de resposta aos questionários domiciliares. O relatório final dessa edição da pesquisa destaca a incorporação de ferramentas como smartphones e *tablets*. Diferente das pesquisas anteriores, que envolviam apenas órgãos estatais no processo de planejamento, execução e processamento dos resultados obtidos, a OD

2012 foi executada e teve consultoria realizada por uma empresa privada, contratada pela Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas – SETOP⁹ (MINAS GERAIS, 2013).

O Sistema de Unidades Espaciais da RMBH, ao qual a Pesquisa Origem e Destino se vincula, é estruturado em códigos que identificam os municípios (dois primeiros dígitos), e seus respectivos distritos ou regiões administrativas (três últimos dígitos). As unidades mínimas são as áreas homogêneas, que englobam um conjunto de setores censitários agregados. A agregação de Áreas Homogêneas (AHs) dá origem às unidades espaciais Campos, que, por sua vez, agregados originam os Subcomplexos Diferenciados de Campos. A agregação desses últimos dá origem ao Complexo Diferenciado de Campos e, finalmente, as Macrounidades se configuram como um conjunto de Complexos Diferenciados de Campos (MINAS GERAIS, 2003).

Em termos metodológicos, a OD/RMBH é composta, desde sua primeira edição, por quatro pesquisas: Domiciliar, Linha de Contorno, Linha de Travessia e Terminal Rodoviário. A pesquisa domiciliar tem como objetivo efetuar o levantamento dos dados das viagens realizadas no dia anterior ao da realização da pesquisa. Todos os deslocamentos desenvolvidos por cada morador da residência são identificados na entrevista. A pesquisa na linha de contorno consiste no levantamento do perfil das viagens dos veículos que adentram a RMBH através de todos os acessos rodoviários. São identificadas características dos deslocamentos, tais como origem, destino, número de ocupantes nos veículos, motivo da viagem, e, no caso de veículos de carga, o tipo de carga transportado e a capacidade do veículo. É ainda contabilizado o número de veículos que passam pelo posto de pesquisa, de maneira a possibilitar o cálculo de fatores de expansão da amostra.

A pesquisa na linha de travessia tem como finalidade obter uma base numérica real de volumes de tráfego que pudessem ser comparados aos volumes decorrentes da tabulação dos dados de trajetos, obtidos nas pesquisas domiciliar e de contorno, criando assim um fator de ajuste a ser aplicado no processo de calibração. Por fim, a pesquisa nos terminais é realizada por meio de entrevistas pessoais com os passageiros que aguardam o embarque ou desembarcam. Aplicadas de acordo com um plano amostral, essa pesquisa busca identificar

⁹ Inicialmente seriam contratadas três empresas por meio de processo licitatório, sendo uma para supervisão, uma para a execução da pesquisa de campo e uma empresa para o apoio aos pesquisadores e pesquisados através de um *call center*. Ao final, após mudanças no processo licitatório, foi efetuada a contratação de apenas uma empresa, ficando a pesquisa sem uma adequada estrutura de supervisão.

motivo, origem, destino e regularidade da viagem dos passageiros. Na OD 2012, as entrevistas foram realizadas no Terminal Rodoviário Israel Pinheiro (Rodoviária de Belo Horizonte), no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Aeroporto de Confins), no Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (Aeroporto da Pampulha) e na Estação Ferroviária (MINAS GERAIS, 2012).

É importante destacar, como elucidado no próprio relatório da OD que:

(...) o conjunto de levantamentos característicos da Pesquisa Origem e Destino se limita a definir a relação de dependência da Região Metropolitana com outras regiões medida pelo fluxo de mercadorias e pessoas, de um lado; e os movimentos dos indivíduos em um dia típico da semana, por motivos, meio de transporte, origem e destino, detectados através de entrevistas no domicílio, de outro lado. A pesquisa, portanto, não afere o total de deslocamentos gerados pelas atividades econômicas, sendo essas registradas aproximadamente por contagem de fluxos de veículos e estimativas de ocupação (MINAS GERAIS, 2003, p. 6).

Nesse trabalho, cujo objetivo é desenvolver um modelo preditivo de viagens por ônibus com origem e destino no município de Belo Horizonte e, posteriormente, para os fluxos potenciais do transporte coletivo por ônibus com origem na Regional Venda Nova, município de Belo Horizonte, utilizou-se das ODs realizadas na RMBH nos anos de 1992, 2002 e 2012 como principais bases de dados. As seções que se seguem demonstram detalhadamente a metodologia utilizada para a construção de cada modelo.

3.2 – O Modelo Preditivo de Viagens por Ônibus: o caminho metodológico

A análise das séries históricas da Pesquisa Origem e Destino torna possível estimar a evolução da mobilidade na RMBH. Com as devidas compatibilizações, o desenvolvimento de modelos preditivos de viagens permite aos órgãos interessados a elaboração de planos de intervenção, com a finalidade de otimizar os serviços de transporte e trânsito. O modelo de viagens por ônibus aqui desenvolvido se utiliza dos dados compatibilizados das ODs de 1992, 2002 e 2012 para desenvolver projeções para 2022 e 2032, permitindo, assim, apontar as áreas com maior variação do número de deslocamentos por esse modo de transporte. Essa seção tem como objetivo apresentar detalhadamente as compatibilizações realizadas nas ODs.

As bases das ODs de 1992, 2002 e 2012 permitiram identificar uma matríz de viagens que possibilitou a contagem numérica necessária à elaboração do modelo preditivo para os deslocamentos por ônibus com origem e destino em Belo Horizonte. Para tal, optou-se em utilizar a unidade espacial definida pelos limites dos Campos, uma vez que se aproxima do limite territorial dos bairros em Belo Horizonte. O banco de dados da OD/RMBH de 1992 e 2002 foi fornecido pela Fundação João Pinheiro, que disponibilizou a série histórica para consulta. Por sua vez, a OD/RMBH 2012 foi obtida junto à Secretaria de Gestão Metropolitana de Minas Gerais. O primeiro passo para a construção do modelo foi a compatibilização espacial entre os campos da ODs de 2002 e 2012. Como as unidades espaciais da OD têm como base os setores censitários do Censo Demográfico, a desagregação de áreas homogêneas e de campos seguiu a desagregação efetuada pelo IBGE em 2010.

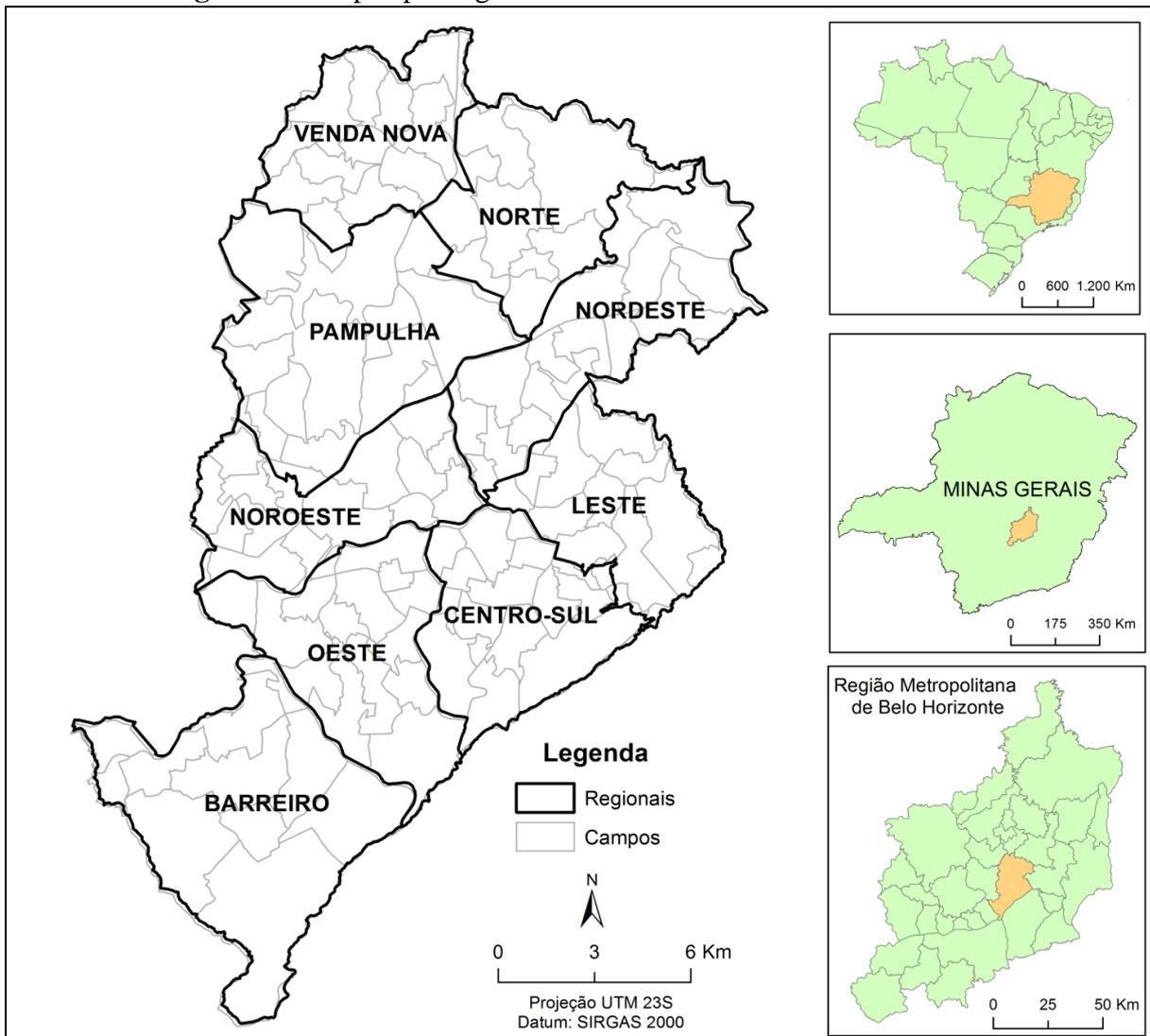
A compatibilização foi realizada pela comparação das bases cartográficas da OD de 2002 e 2012, com o uso de um sistema de informações geográficas. Todos os campos que sofreram alterações entre 2002 e 2012 (em sua grande maioria desagregações) foram identificados em uma planilha. Dessa maneira, foram utilizados os limites territoriais dos campos da OD/RMBH de 2002, dado que não houve mudanças em relação aos campos de 1992. Um total de doze campos foram desagregados entre 2002 e 2012. Sendo assim, as viagens observadas nos campos desagregados foram somadas em 2012, para realizar a compatibilização. Por sua vez, apenas o campo Serra Verde foi gerado por agregação em 2012, o que resultou em soma de deslocamentos entre os dois campos (Hipódromo e Serra Verde) para as ODs de 1992 e 2002. Os campos que sofreram alterações, bem como seu código nas bases de dados disponibilizadas pelos órgãos responsáveis são apresentados no **quadro 4** (seção anexos). Efetuadas as alterações e realizada a devida compatibilização dos campos das ODs de 2012 e 2002, identificou-se um total de 109 campos no município de Belo Horizonte. A distribuição dos campos por regionais administrativas é apresentada na **tabela 1**.

Tabela 1: Campos por regional administrativa de Belo Horizonte

| Regional Administrativa | Número de Campos | Percentual |
|-------------------------|------------------|------------|
| Barreiro | 11 | 10,09% |
| Centro-Sul | 15 | 13,76% |
| Leste | 10 | 9,17% |
| Nordeste | 14 | 12,84% |
| Noroeste | 14 | 12,84% |
| Norte | 8 | 7,34% |
| Oeste | 13 | 11,93% |
| Pampulha | 12 | 11,01% |
| Venda Nova | 12 | 11,01% |
| Total | 109 | 100% |

Fonte: Pesquisas OD 1992, 2002 e 2012.

Figura 3: Campos por regionais administrativas de Belo Horizonte



Fonte dos dados: Pesquisa Origem e Destino e IBGE.

Autoria: Elaboração própria.

Desenvolvida a devida compatibilização dos campos, foram selecionados os deslocamentos por ônibus com origem e destino no município de Belo Horizonte nas três edições da OD/RMBH. Dessa maneira, foi possível observar as locomoções realizadas apenas no limite territorial da capital, excluindo, assim, aquelas que se originam ou tem destino nos demais municípios metropolitanos. Para tal ação, foi utilizado o software Microsoft Excel® e a sua função *Tabela Dinâmica*, que permitiu selecionar apenas os dados das viagens com origem e destino em campos de Belo Horizonte e o modo de transporte ônibus coletivo para cada OD. Os resultados foram transportados para uma segunda tabela no mesmo software, de maneira a organizar o modelo em si e aplicar os cálculos necessários.

O modelo preditivo baseia-se nas tendências lineares observadas pelo método de regressão, tendo como base a equação que tenta explicar alterações na variável dependente (Y) pela variação dos níveis da(s) variável(is) independente(s) (X). O estabelecimento do modelo para a explicação do fenômeno verifica qual tipo de curva e equação de um modelo matemático mais se aproxima dos pontos representados no diagrama de dispersão. Há, porém, na maior parte dos pontos, uma distância entre os pontos do diagrama e a curva do modelo matemático, já que os pontos são influenciados por fatores externos não identificados. Dessa forma, o objetivo da regressão é obter um modelo matemático que melhor se ajuste aos valores observados de Y, em função da variação dos níveis da variável X. A regressão linear é dada pela equação 2:

Equação 2: Modelo de regressão linear

$$Y = \alpha X + \beta + \varepsilon$$

Em que:

Y: Variável Explicada (variável dependente);

α : Coeficiente angular (inclinação da reta);

X: Variável explicativa (variável independente);

β : Intercepto;

ε : Componente aleatória (erro).

O modelo se utiliza de uma regressão linear, em que a variável dependente (Y) é expressa pelo número de viagens por ônibus em cada campo e a variável independente (X) é expressa pelo tempo (1992, 2002 e 2012). Ele se baseia na hipótese de que as causas da variação nos anos anteriores devem se manter constantes no tempo. Para estimar o coeficiente angular e o intercepto da regressão foram utilizadas as respectivas funções disponibilizadas no software Microsoft Excel®.

A calibração demonstrou indicadores satisfatórios em relação à significância das variáveis utilizadas, com *p-value* inferior a 0,05 (indicando que o modelo se encontra dentro do intervalo de confiança de 95%). As estatísticas geradas demonstram um valor para R igual a 0,997, o que revela alto grau de correlação entre a variável independente e a variável dependente. Por sua vez, o valor apresentado para R² ajustado foi igual a 0,994, o que

demonstra que o modelo é capaz de explicar um percentual superior a 99% da variabilidade de Y, se revelando, portanto, adequado na projeção do número de viagens.

Encontrados os coeficientes do modelo, o mesmo foi configurado para estimar o número de deslocamentos por ônibus em cada campo para os anos de 2022 e 2032. Nesse ponto, observou-se que, por ser um modelo linear, os elevados índices de queda no número de deslocamentos entre 1992 e 2012 para alguns campos resultaram em valores negativos para 50 campos. Houve, portanto, a necessidade de se efetuar um ajuste nesses campos para os anos de 2022 e 2032. Esse ajuste se amparou na maior variação percentual observada entre as ODs, ou seja, entre 1992-2002 e 2002-2012. Dessa forma, o modelo foi configurado de maneira que a redução no número de viagens para 2022 e 2032 não poderia superar em termos percentuais a maior queda observada nos períodos anteriores. Nas situações em que o modelo resultou em valores cujo percentual de variação em relação ao período anterior superou o maior observado entre 1992-2002 e 2002-2012, o percentual adotado foi igual ao maior observado até então.

Tal situação foi verificada, por exemplo, no campo São Lucas. O número de viagens por ônibus observado em 1992 foi de 3.905. Em 2002, esse número foi de 2.473 e, em 2012, foram 995 deslocamentos por ônibus com origem nesse campo. O modelo projetou para 2022 um número negativo: -452 viagens. Dessa forma, houve a necessidade de se ajustar tais valores com base no maior percentual de variação observado nos períodos 1992-2002 e 2002-2012. O percentual máximo de redução foi de 60%, observado entre 2002 e 2012. Os deslocamentos projetados inicialmente para 2022 e 2032 foram ajustados com base no maior percentual observado (-60%), resultando em valores positivos, já que existe a tendência de intervenção do poder público diante de uma situação de queda constante do número de viagens no transporte coletivo por ônibus. O **quadro 5** apresenta o ajuste realizado no Campo São Lucas.

Quadro 5: Ajuste da variação do número de deslocamentos por ônibus no Campo São Lucas empregado no modelo preditivo de viagens por ônibus.

| Campo São Lucas | |
|--|--------|
| Viagens observadas em 1992 | 3.905 |
| Viagens observadas em 2002 | 2.473 |
| Viagens observadas em 2012 | 995 |
| Variação percentual 1992-2002 | -37% |
| Variação percentual 2002-2012 | -60% |
| Viagens 2022 (projetadas) | -452 |
| Viagens 2022 (projetadas e ajustadas – variação de -60% em relação a 2012) | 400 |
| Viagens 2032 (projetadas) | -1.907 |
| Viagens 2032 (projetadas e ajustadas: variação de -60% em relação a 2022) | 161 |

Fonte: Elaboração própria

3.3 – O Modelo de Fluxos/Trajetos por Ônibus para as viagens com origem na Regional Venda Nova

A metodologia adotada na Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte tem nas entrevistas domiciliares uma de suas principais fontes de informações. Nessa entrevista, as viagens realizadas por cada morador são identificadas, de maneira a tomar conhecimento da origem e o destino de cada viagem realizada no dia anterior, bem como o modo de transporte utilizado e o motivo do deslocamento. Em termos de localização, a OD/RMBH tem a área homogênea como unidade espacial de maior desagregação, sendo essa uma junção de setores censitários (em média três setores). Essa metodologia não permite, porém, a identificação de algumas características dos

deslocamentos, como a localização exata dos pontos de origem e destino das viagens (domicílios de saída e chegada), bem como os trajetos utilizados pelo indivíduo entre esses pontos em todas as ODs realizadas até então.

Entende-se que a identificação dos trajetos desenvolvidos em cada viagem permitiria ampliar o leque de conhecimentos a respeito da dinâmica da mobilidade urbana na RMBH. A possibilidade de identificar as vias com maior concentração de fluxo gerado pelos deslocamentos por ônibus permitiria ao poder público criar alternativas mais eficientes de deslocamento, tais como novas linhas de transporte público. Nesse sentido, essa seção do trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo que permita, primeiramente, identificar os trajetos potenciais utilizados pelos indivíduos nas viagens por ônibus entre as áreas homogêneas de origem e de destino. Em um segundo momento, utiliza-se do mesmo modelo preditivo desenvolvido na seção anterior, para projetar os fluxos/trajetos em 2022 e 2032 com origem em cada área homogênea da Regional Venda Nova e destino em quaisquer áreas homogêneas do município de Belo Horizonte. O objetivo principal do Modelo Preditivo de Fluxos por Ônibus, aplicado às viagens com origem na Regional Venda Nova, é identificar as principais vias potencialmente utilizadas nos deslocamentos originados nessa região da capital, de maneira a produzir conhecimento a respeito dos trajetos que potencializam maior eficiência ao usuário em termos de tempo de viagem e custos.

A escolha da Regional Venda Nova como área de estudo para a projeção dos fluxos se justifica por sua importância enquanto centralidade no Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Dotada de um robusto centro de comércio e serviços, Venda Nova recebeu importantes investimentos direcionados à mobilidade urbana nos últimos anos, a citar, a implantação do terminal de ônibus Venda Nova e do terminal intermodal Vilarinho (ônibus e metrô) e a implantação do sistema BRT/MOVE. Investigar os fluxos gerados pelas viagens com origem na regional possibilita avaliar, de maneira preliminar, o grau de dependência em relação ao centro de Belo Horizonte e as vias preferencialmente utilizadas nos trajetos.

O primeiro passo para o desenvolvimento do Modelo de Fluxos por Ônibus foi a identificação dos centroides de cada área homogênea de Belo Horizonte. Como não há identificação dos pontos exatos de origem e destino das viagens na OD/RMBH, se adotou os centroides de cada área homogênea como local de início e término dos deslocamentos realizados. Para possibilitar a realização das projeções no modelo, que exige pelo menos três

pontos no tempo (1992, 2002 e 2012), foi necessário desenvolver a compatibilização das áreas homogêneas que sofreram desagregações entre as ODs de 2002 e 2012. A maior parte dessas desagregações teve como razão a compatibilização com os setores censitários do IBGE, que sofreram alterações no Censo Demográfico de 2010. Foram identificadas alterações em 159 áreas homogêneas no município de Belo Horizonte. A exemplo do critério adotado no modelo preditivo para os campos, foi efetuada a agregação dessas AHs, tendo como critério as bases cartográficas disponibilizadas pela Fundação João Pinheiro, responsável pela elaboração da OD/RMBH de 2002. Essa compatibilização foi utilizada apenas para o desenvolvimento do modelo preditivo dos fluxos, já que os trajetos foram elaborados com base nos limites das áreas homogêneas de 2012 para possibilitar uma maior aproximação da área real de origem e destino das viagens realizadas.

O segundo passo para a elaboração do modelo de fluxos foi a identificação das possíveis rotas utilizadas nas viagens por ônibus. O objetivo foi traçar rotas com base em análise multicritério e nos itinerários das linhas de ônibus de Belo Horizonte. Após diversos testes, optou-se pela utilização do algoritmo de rotas utilizado pela empresa Google em softwares como o Google Maps® e Google Earth®. O Google Transit, é um subsistema que integra o Google Maps e o Google Earth e foi implantado pela empresa no Brasil em dezembro de 2008, tendo como cidades pioneiras São Paulo e Belo Horizonte, em parceria com suas respectivas empresas de trânsito – SPTrans e BHTRANS (GOOGLE, 2017). Após diversas melhorias, o Google Transit é, atualmente, um dos mais robustos e difundidos softwares para busca por rotas de transporte público nas cidades em que o serviço está disponível. Até o momento, apenas o município de Belo Horizonte conta com o serviço de rotas de transporte público na RMBH.

Foi feita a escolha pelo uso do software Google Earth®, dada a opção de exportação das rotas criadas para o formato KMZ, possibilitando, posteriormente, a conversão para o formato *shape file*. Esse último formato é comumente utilizado em sistemas de informações geográficas - SIG. As rotas foram criadas tendo como ponto de origem o centroide de cada área homogênea da Regional Venda Nova, e, como ponto de destino, o centroide das áreas homogêneas de destino para cada viagem, todas dentro dos limites municipais de Belo Horizonte. Para efetuar a identificação da AH de origem e destino em cada deslocamento, foi utilizado o software Microsoft Excel® e sua função *Tabela Dinâmica*. Para tal, foram

selecionadas todas as viagens com origem na Regional Venda Nova (AHs com código entre 1701 e 1741) e destino em qualquer AH de Belo Horizonte. Com as coordenadas geográficas de cada AH, obtidas com o auxílio do SIG Esri ArcGis®, foram traçadas 761 rotas no software Google Earth Pro® e, posteriormente, salvas no formato KMZ. Com o objetivo de padronizar as opções de trajetos e se aproximar dos horários com maior oferta de viagens por ônibus, as rotas foram traçadas entre as 16 e 20 horas de dias úteis.

O software sugere, em média, quatro rotas para cada viagem, especificando o tempo de viagem, linhas de ônibus utilizadas e existência de deslocamento a pé. Os critérios utilizados para a escolha dos trajetos, em ordem de importância, foram:

- **Número de baldeações realizadas:** Entende-se que a necessidade da realização de transbordos afeta diretamente a escolha dos trajetos pelo indivíduo, seja pela necessidade de pagamento de nova tarifa ou, nos casos de existência da possibilidade de integração entre linhas, pelo tempo de espera para o novo embarque. Portanto, o primeiro critério de definição das rotas foi o menor número de baldeações possível, mesmo que as baldeações existentes não impliquem em pagamento de nova tarifa, como ocorre no sistema troncal, que abrange a totalidade da Regional Venda Nova.
- **Tempo de deslocamento:** O segundo critério adotado foi o tempo de deslocamento, utilizado na escolha entre trajetos com mesmo número de baldeações. Mesmo diante de itinerários mais extensos, entende-se que o usuário tende a optar pelo menor tempo de viagem. Cabe salientar que o software utilizado informa o tempo de espera previsto entre a saída do local de origem e o primeiro embarque, entre as baldeações necessárias e o tempo de deslocamento a pé até o destino final. Todas essas informações foram analisadas dentro do critério tempo de deslocamento.
- **Valor da tarifa:** Em Belo Horizonte existe a padronização do valor das tarifas, que, de acordo com a BHTRANS (2017), era, no período da pesquisa, de R\$ 2,85 para as linhas circulares e alimentadoras (trajetos menores entre os bairros e pontos de interesse regional e/ou terminais de integração); R\$ 4,05 para as linhas troncais convencionais e do sistema MOVE (ligação entre os terminais de transporte e pontos de grande atração de viagens, como o Centro e a Área Hospitalar); R\$4,05 para as linhas perimetrais (bairro a bairro passando pelo centro), radiais, semi-expressas

(bairro-centro) e perimetrais; R\$ 0,90 para as linhas do transporte convencional que atendem vilas e favelas; e R\$ 4,05 para as linhas do transporte suplementar. Na capital é adotado um sistema de integração tarifária que permite tarifas reduzidas em viagens que demandam a utilização de mais de uma linha. Para o desenvolvimento do modelo, foi levado em conta o sistema de integração tarifária vigente em Belo Horizonte no ano de 2017 para o cálculo da tarifa em cada viagem. De acordo com esse sistema, o usuário que embarcar em linhas alimentadoras pode efetuar o transbordo nas estações BRT/MOVE e BHBUS com o complemento da tarifa caso embarque em linhas troncais, ou sem o pagamento de nova tarifa, no caso de haver novo embarque em linhas alimentadoras ou tenha desembarcado das linhas troncais. A integração também ocorre fora das estações, nesse caso, ocorrendo a redução da segunda tarifa mediante o uso do sistema de bilhetagem eletrônica (denominado em Belo Horizonte de Cartão BHBUS).

- **Distância percorrida a pé:** Como último critério para a escolha do trajeto para cada viagem, foi feita uma análise do tempo de deslocamento a pé do ponto de origem até o local de embarque, e do ponto de desembarque até o destino final da viagem. Essas informações são fornecidas pelo software utilizado na elaboração dos trajetos.

A compatibilização das áreas homogêneas foi realizada apenas para o desenvolvimento do modelo, de maneira que as AHs desagregadas em 2012 foram consideradas com o limite de 2002 e 1992. Essa compatibilização foi necessária para a correta projeção dos deslocamentos para 2022 e 2032. A identificação do número de viagens em cada rota foi desenvolvida pela construção de uma matriz de origem e destino, tendo como eixos as áreas homogêneas de origem e destino. Para essa tarefa, foi utilizado o software Microsoft Excel® e a função *Tabela Dinâmica*, de maneira a identificar as AHs de destino para viagem com origem nas AHs da Regional Venda Nova nos anos de 1992, 2002 e 2012.

A conversão dos arquivos gerados no formato KMZ para o formato *shapefile* foi desenvolvida com o auxílio do SIG Esri ARCGIS® e um script escrito na linguagem de programação Python que se utiliza da biblioteca ArcPy, de forma a possibilitar a automatização da tarefa. Os arquivos resultantes foram nomeados com a identificação das AHs de origem e destino, além de receberem a inclusão de cinco novos campos: AH de origem, AH de destino, viagens em 2012, em 2022 e em 2032. Para a inclusão desses campos

foi também desenvolvido um script em Python que trabalha com a classe *Cursor*, incluída na biblioteca ArcPy, dado o número elevado de arquivos a serem modificados.

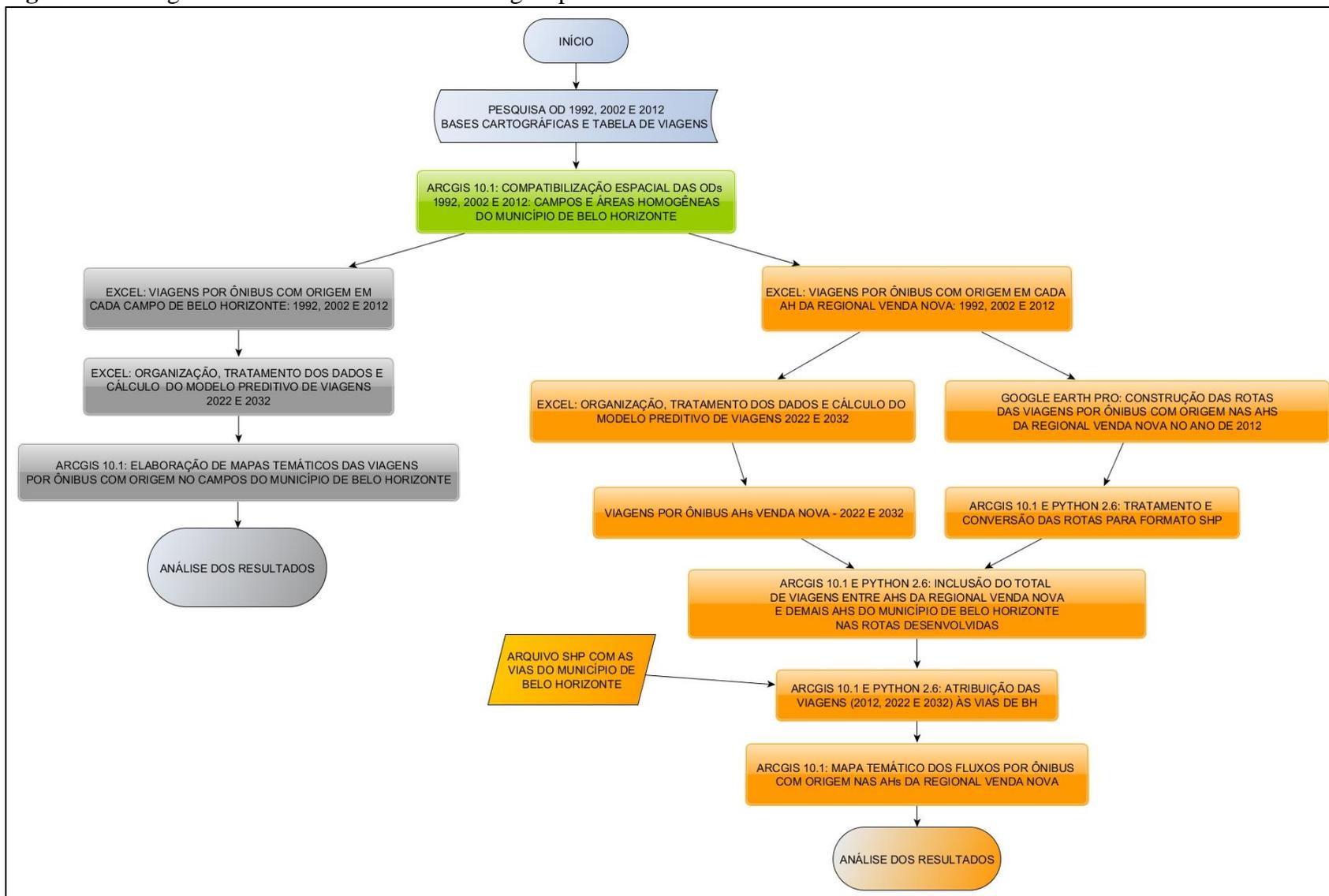
De maneira semelhante ao modelo de projeção de viagens por campos, o modelo de projeção de fluxos por ônibus se utilizou de uma regressão linear, em que a variável dependente (Y) é expressa pelo número de deslocamentos por ônibus em cada rota, e a variável independente (X) é expressa pelo tempo em anos (1992, 2002 e 2012). As estatísticas do modelo demonstraram correlação de 95% entre a variável X e a variável Y. Por sua vez, o indicador R^2 , que revela o percentual de variabilidade da variável resposta (Y) explicado pela variável explicativa (X), apresentou o valor de 91,7%. Cabe salientar que era esperado que o modelo de projeção de fluxos por ônibus apresentasse um valor de R^2 inferior ao de projeção por campos, indicando menor poder de explicação da variável resposta. De fato, é compreensível uma ampla variação do número de locomoções entre duas áreas homogêneas dentro do período de vinte anos. Fatores relacionados às melhorias da acessibilidade (abertura de novas vias e criação de novas linhas de ônibus, por exemplo), mudanças demográficas (crescimento populacional) e a criação de novos polos de atração de viagens são determinantes no aumento dos deslocamentos entre dois pontos. A análise dos dados demonstra que, em 1992 e 2002, vários fluxos entre áreas homogêneas observados na OD de 2012 não apresentaram viagens, o que influenciou no ajuste da reta da regressão empregada.

Após a elaboração do modelo, foi repassado à tabela de atributos de cada trajeto construído o número de deslocamentos projetados. A etapa seguinte do modelo de fluxos por ônibus foi migrar o total das viagens observadas em 2012 e projetadas para 2022 e 2032 para as vias utilizadas em cada trajeto. Em resumo, para tornar possível que cada via de Belo Horizonte fosse identificada juntamente com o total de deslocamentos, foi necessário, primeiramente, identificar os trajetos, atribuir o número de viagens em 2012, 2022 e 2032 a cada trajeto e migrar esses dados para as vias utilizadas. Para essa última etapa, foi utilizada uma base cartográfica contendo a vetorização das vias públicas de Belo Horizonte. A ferramenta *Intersect*, presente no SIG Esri ARCGIS®, possibilitou que os dados do número de locomoções para os três anos fossem atribuídos às vias. Esse procedimento foi efetuado para cada um dos trajetos com o auxílio de um script para automatização escrito na linguagem de programação Python. Ao final, os arquivos gerados com os atributos das vias e dos

deslocamentos observados e projetados foram compactados em um único arquivo através da ferramenta *Merge*, presente no SIG utilizado.

O resultado do processo desenvolvido até então foi um arquivo vetorial contendo todos os trajetos potenciais das viagens originadas na Regional Venda Nova, com destino a qualquer AH de Belo Horizonte. Esse arquivo contém o código de cada via utilizada no trajeto e o número de locomoções em 2012 (observada), 2022 (projetada) e 2032 (projetada). Com o objetivo de gerar análises a respeito do impacto das viagens por ônibus nas vias de Belo Horizonte, a tabela de atributos do arquivo construído foi exportada e tratada no software Microsoft Excel® com uso da função *Tabela Dinâmica*, de maneira a identificar o total de deslocamentos para cada trecho das ruas e avenidas da capital. Ao final, obteve-se um arquivo com o total de viagens em 2012, 2022 e 2032 para cada nó de todas as vias utilizadas nos potenciais trajetos desenvolvidos entre as AHs da Regional Venda Nova e as demais AHs de Belo Horizonte. Um resumo da metodologia aplicada é apresentado na **figura 4**.

Figura 4: Fluxograma com o resumo da metodologia aplicada.



Fonte: Elaboração própria.

4 – A MOBILIDADE URBANA POR ÔNIBUS EM BELO HORIZONTE: ANÁLISES E PROJEÇÕES DE VIAGENS E FLUXOS/TRAJETOS

As informações disponibilizadas nas pesquisas Origem e Destino permitem uma série de análises a respeito dos padrões de mobilidade da população na RMBH. As séries históricas também permitem identificar áreas de crescimento, redução e concentração das viagens nos diversos modos. São importantes para o entendimento da dinâmica socioespacial na metrópole belo-horizontina, de maneira a subsidiar a ação do poder público para criar um ambiente urbano equilibrado sob o ponto de vista social, econômico e ambiental.

Essa unidade busca analisar os deslocamentos realizados por ônibus entre 1992, 2002 e 2012, com origem e destino no município de Belo Horizonte, e uma descrição dos fluxos potenciais gerados pelas viagens por ônibus originadas na Regional Venda Nova. Os resultados dos modelos preditivos são apresentados e comparados aos resultados observados nas ODs, de maneira a investigar a permanência ou não das tendências observadas.

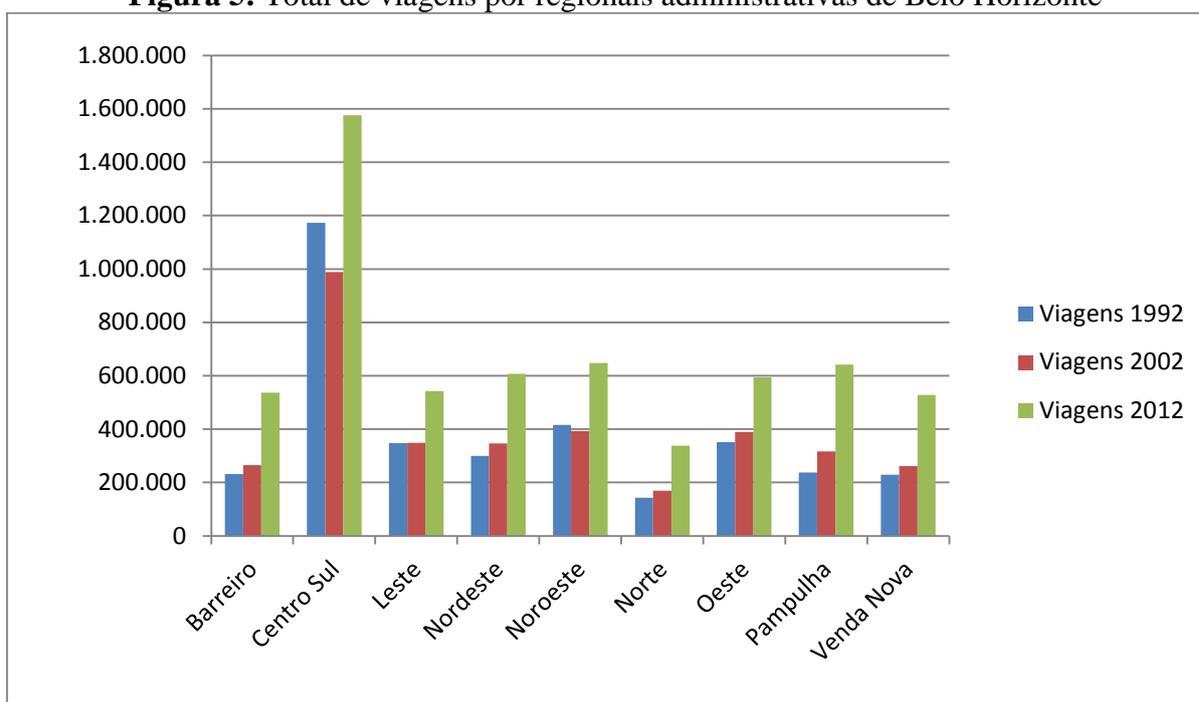
Uma descrição dos deslocamentos por modos de transporte e, especificamente, por ônibus é apresentada na subunidade 5.1. Observa-se, de maneira geral, o aumento do número de viagens em todo o município no período estudado e a queda da participação do modo ônibus sobre esse total. A comparação entre a utilização do transporte por ônibus e do transporte individual por automóvel é espacialmente analisada com a utilização do indicador *Razão de Mobilidade por Ônibus*. A subunidade 5.2 apresenta os resultados do modelo preditivo de viagens por ônibus em Belo Horizonte para os anos de 2022 e 2032. Nesse trecho do trabalho é desenvolvida uma investigação a respeito da permanência ou não das tendências observadas entre 1992 e 2012 na capital. Os resultados do modelo de fluxos/trajetos potenciais dos deslocamentos com origem na Regional Venda Nova são observados na subunidade 5.3, bem como as projeções desenvolvidas para 2022 e 2032. A análise do impacto esperado sobre as vias de Belo Horizonte e, de maneira específica, sobre as ruas e avenidas da Regional Venda Nova, é apresentada no final da unidade.

4.1 – Análise dos resultados da OD/RMBH de 1992, 2002 e 2012

A análise dos dados obtidos nas ODs de 1992, 2002 e 2012 demonstra o aumento do número total de deslocamentos realizados em Belo Horizonte, considerando-se todos os modos de transporte. Foi observado um total de 3.429.331 viagens em 1992, 3.477.372 em 2002 e 6.012.444 em 2012. Parece evidente que parte desse incremento decorre da própria dinâmica demográfica no município no período. Porém, há de se questionar as razões para o vigoroso crescimento do número de viagens entre 2002 e 2012, dado que as taxas de crescimento demográfico no município foram de 10,8% entre os anos de 1991 e 2000, e 6,1% entre os anos de 2000 e 2010. Entende-se que o aumento real da renda, a expansão do crédito e as políticas de subsídio à indústria desenvolvidas no Brasil na primeira década do século XXI contribuíram de maneira relevante para a ampliação do número de deslocamentos realizados em Belo Horizonte.

Todas as regionais administrativas da capital apresentaram aumento no total de viagens no período estudado. As maiores variações percentuais observadas entre 1992 e 2012 ocorreram na Regional Pampulha, que apresentou um crescimento de 170% no número total de deslocamentos com destino a qualquer ponto de Belo Horizonte. As taxas de crescimento foram de 137% na Regional Norte, 131% nas regionais Barreiro e Venda Nova, 103% na Regional Nordeste, 69% na Regional Oeste e 56% nas regionais Leste e Noroeste. Embora concentre o maior número de viagens na capital, a Regional Centro-Sul apresentou o menor crescimento percentual entre 1992 e 2012, com 34%. A desigual distribuição do aumento dos deslocamentos pode ser explicada, dentre outros fatores, pelo surgimento e/ou adensamento de bairros caracterizados pela presença majoritária de uma população de alta renda (que tende a efetuar um maior número de viagens) como o Castelo e Ouro Preto, na Regional Pampulha, e Buritis, na Regional Oeste. Por sua vez, o adensamento e aumento da renda média em regiões periféricas do município (como Norte, Barreiro e Venda Nova) e a ampliação das taxas de motorização da população em todas as faixas de renda em um período de maior facilidade na obtenção de crédito, podem explicar o elevado crescimento percentual.

Figura 5: Total de viagens por regionais administrativas de Belo Horizonte

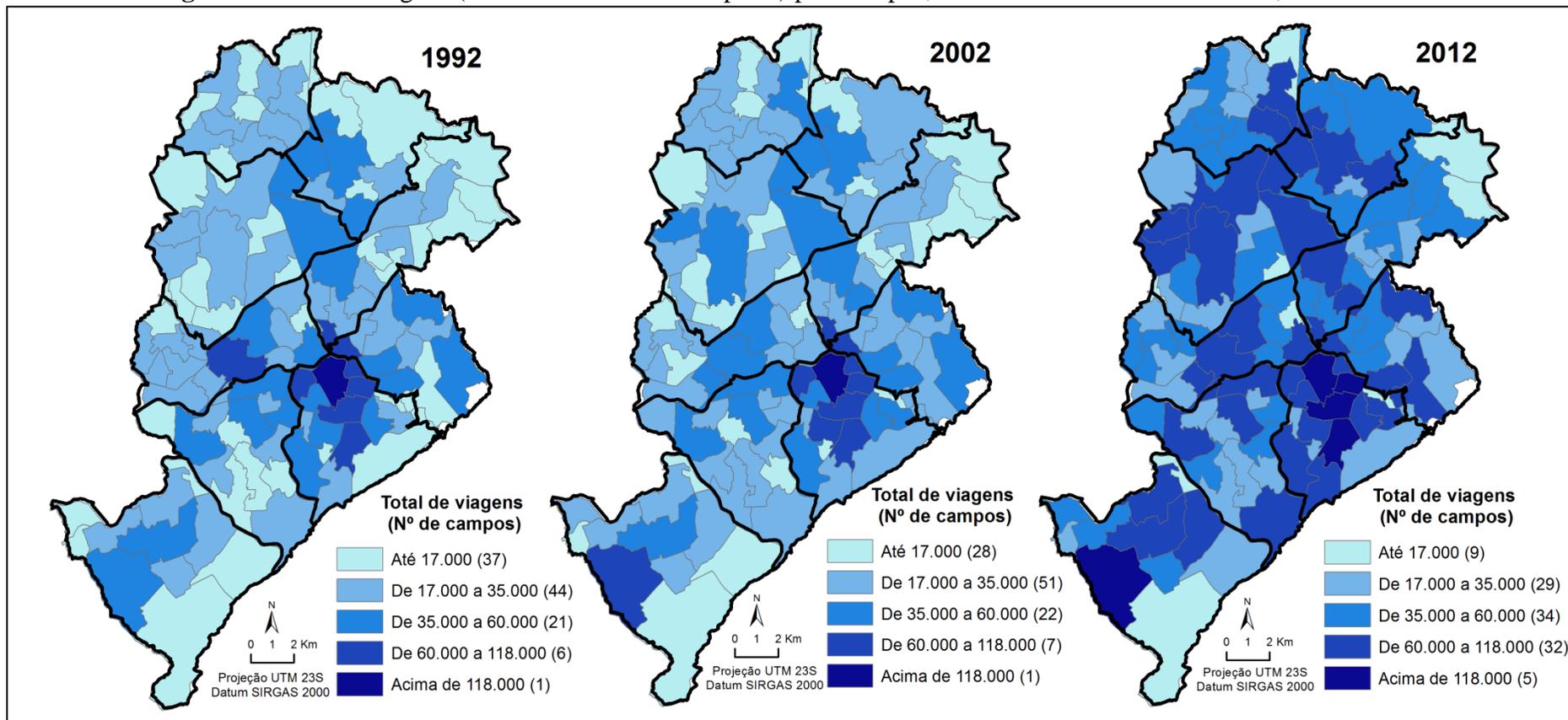


Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

De maneira geral, as ODs demonstram um maior número de viagens com origem na Regional Centro-Sul, mais especificamente no campo Centro, que engloba a área do chamado hipercentro. Observa-se, porém, uma tendência de desconcentração desses deslocamentos desde 1992. Do total de locomoções realizadas em 1992 na capital, 15,43% teve como origem o Campo Centro, percentual reduzido para 8,41% em 2002 e 7,39% em 2012. Essa redução pode ser explicada por vários fatores, dentre eles, a política de descentralização das atividades econômicas na capital, defendidas no Plano Diretor de 1996, que resultou no espraiamento das atividades comerciais pela área municipal. Autores como Cardoso (2007) e Lobo, Cardoso e Matos (2010) apresentam evidências desse processo de desconcentração espacial no município de Belo Horizonte, que se insere em uma dinâmica metropolitana. A espacialização das viagens realizadas por qualquer modo de transporte com origem e destino em Belo Horizonte é apresentada na **figura 6**.

Figura 6: Total de viagens (todos os modos de transporte) por Campos, de acordo com as ODs de 1992, 2002 e 2012



Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

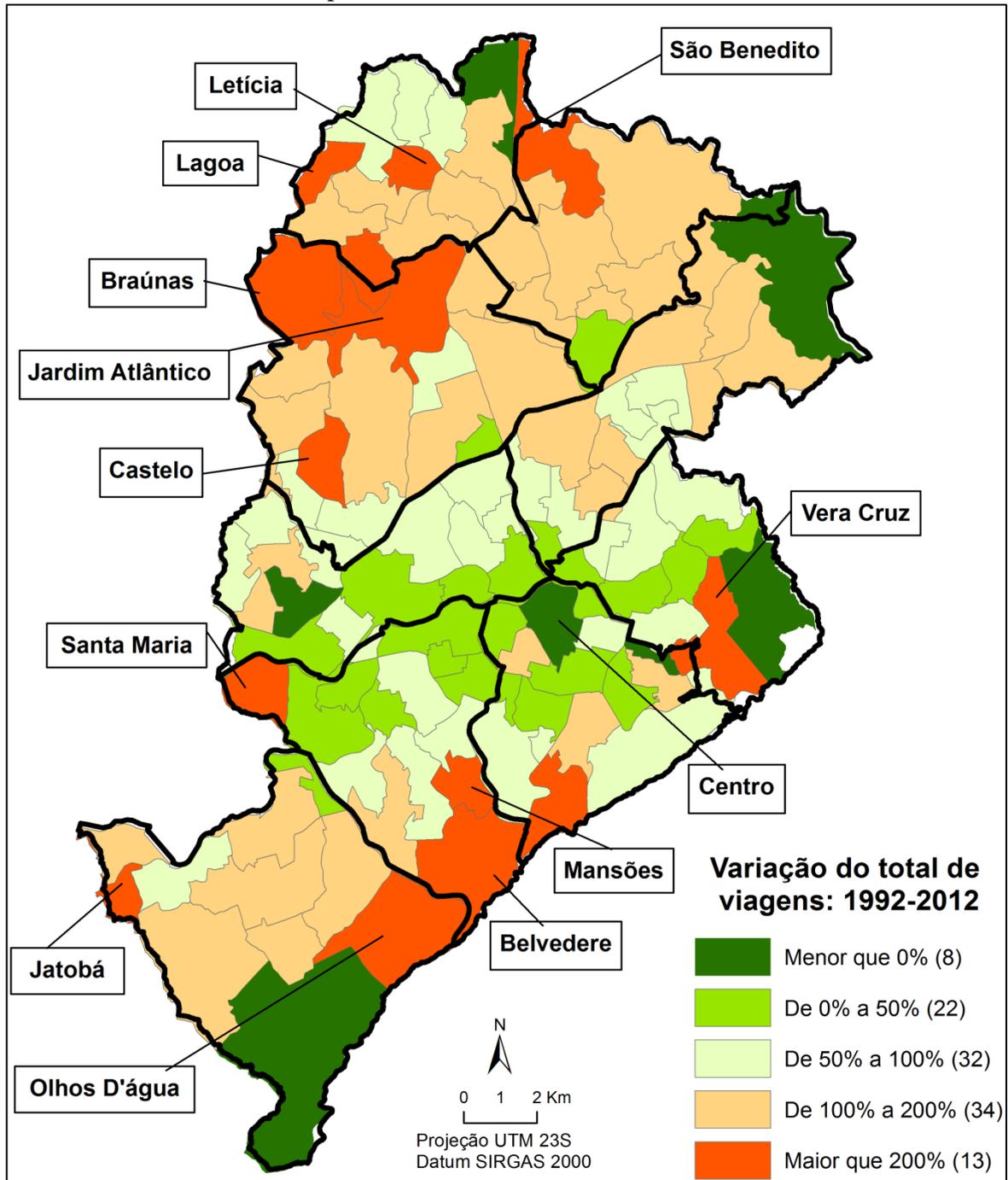
Autoria: Elaboração própria

O surgimento de um corredor comercial que acompanha bairros de alta renda entre a Avenida do Contorno e o limite de Belo Horizonte e Nova Lima, tendo como eixo a Avenida Senhora do Carmo, na Regional Centro-Sul, resultou em um significativo crescimento do número de deslocamentos por todos os modos de transporte nessa região. A implantação do primeiro *shopping center* de Minas Gerais, no Bairro Belvedere, em 1979, já indicava a tendência de deslocamento das atividades comerciais do centro em direção ao limite sul do município, que irá se consolidar a partir da década de 1990 e início do século XXI com a instalação de grandes empreendimentos comerciais entre a região da Savassi e o Bairro Belvedere. A variação percentual do total de viagens nos campos dessa região entre 1992 e 2012 merece atenção: 417,83% no Belvedere, 108,78% no Sion e 32,48% na Savassi. Cabe destacar que, nesse período, houve a concentração de atividades voltadas ao setor empresarial no Belvedere, como hotéis e escritórios de grandes empresas. O Campo Belvedere inclui também, devido à compatibilização realizada na pesquisa, o Bairro Buritis. Esse último bairro apresentou a partir da década de 1990 um rápido adensamento, com edificações voltadas para classe média alta, faculdades e empresas de diversos ramos. Outro Campo que merece menção é o das Mansões, que inclui áreas de adensamento recente na capital, como a parte alta do Bairro Buritis e o Bairro Estoril, ocupados por população de maior renda, e apresentou variação no número total de viagens superior a 1100% entre 1992 e 2012.

Na Regional Pampulha, que engloba outras áreas de rápido e recente adensamento em Belo Horizonte, chama atenção o Campo Castelo, que inclui o bairro de mesmo nome e que apresentou a maior variação no total de deslocamentos realizados no período estudado. Observou-se em 1992 um total de 571 viagens, enquanto que, em 2012, foi registrado pela OD um total de 49.300 deslocamentos, número 86 vezes superior ao registrado na OD de 1992. Campos no entorno da Lagoa da Pampulha, como o Jardim Atlântico (que inclui os bairros Jardim Atlântico, Santa Amélia e Santa Branca), Braúnas (que inclui os bairros Braúnas, Trevo e Enseada das Garças) e Leblon apresentaram índices de variação superiores a 200%. No Vetor Norte, no limite de Belo Horizonte com Santa Luzia, o Campo São Benedito, vizinho à Cidade Administrativa, e que engloba os bairros Canaã e Jaqueline, apresentou aumento superior a 640% entre 1992 e 2012. Entende-se que os elevados índices de aumento no número total de viagens se inserem na dinâmica de adensamento do espaço urbano em Belo Horizonte, seja via empreendimentos imobiliários, como no Campo Santa Maria (bairros Santa Maria e Camargos) ou por autoconstrução, como nos Campos Jatobá e Olhos D'água,

na Regional Barreiro, e no Campo Vera Cruz, na Regional Leste. Por sua vez, cabe destacar a redução de 16% no número de viagens no Campo Centro, fato inserido no processo de descentralização das atividades comerciais na capital. A **figura 7** apresenta os campos com maior variação percentual no número de viagens no período 1992 – 2012.

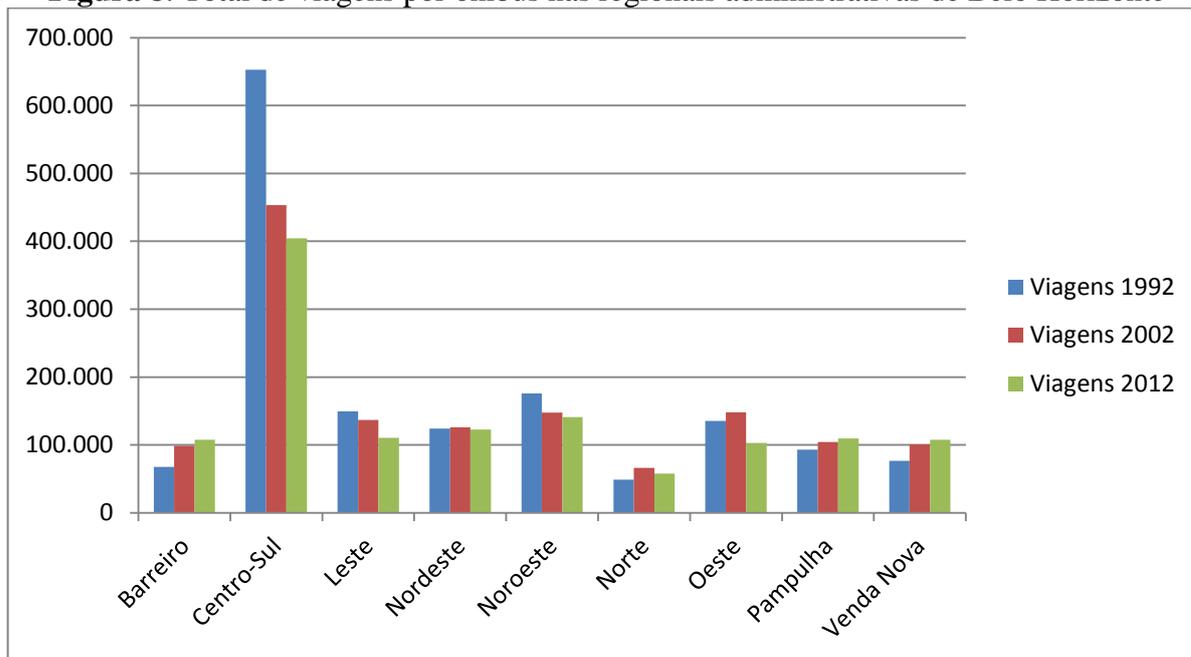
Figura 7: Variação do total de viagens (todos os modos de transporte) com origem nos campos de Belo Horizonte – 1992 / 2012



Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992 e 2012.
Autoria: Elaboração própria

O total de deslocamentos efetuados por ônibus coletivo em Belo Horizonte entre os anos de 1992 e 2012 segue uma tendência de crescimento inversa se comparado ao total por todos os modos. Foram observadas 1.523.634 viagens por ônibus em 1992, 1.381.514 em 2002, e 1.264.348 viagens no ano na OD de 2012, uma redução de 17,02% no total de deslocamentos por ônibus na capital no período estudado.

Figura 8: Total de viagens por ônibus nas regionais administrativas de Belo Horizonte



Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino de 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

A variação do total de viagens por ônibus ocorreu de maneira desigual nas regionais de Belo Horizonte. Os aumentos percentuais no total de deslocamentos por esse modo de transporte foram verificados nas regionais Barreiro, Venda Nova, Pampulha e Norte. Por sua vez, foram observadas reduções das viagens nas regionais Centro-Sul, Leste, Oeste, Noroeste e Nordeste. Cabe salientar que, nesse período, o sistema de ônibus tronco-alimentador foi implantado nas regionais Barreiro e Venda Nova, de maneira a proporcionar maiores opções de destinos com a utilização de uma mesma tarifa.

A comparação entre a variação do total de deslocamentos por todos os modos de transporte e o total pelo modo ônibus no período 1992-2012 permite identificar que o transporte individual motorizado foi a opção privilegiada pela população com a ampliação do número de deslocamentos. O total de viagens por automóveis apresentou aumento percentual de 163,37% no período estudado, sendo que, entre 2002 e 2012, essa variação foi de 94,19%.

Por sua vez, os deslocamentos realizados por motocicleta apresentaram uma ampliação de 1.331,13% entre 1992 e 2012 e, entre 2002 e 2012, essa variação foi de 682,18%. Ao se considerar o total de viagens por automóveis e motocicletas, modos individuais motorizados mais utilizados nos deslocamentos em Belo Horizonte, verifica-se que, de fato, houve a migração dos usuários do transporte público por ônibus para modos individuais. Cabe, ainda, considerar os impactos do transporte clandestino (realizados por vans e peruas na capital de maneira intensa até o ano de 2001) sobre a queda no número de viagens por ônibus, principalmente no período 1992 e 2002.

O crescimento do transporte individual motorizado (considerando-se as viagens de automóveis e motocicletas) entre 1992 e 2012 foi observado de maneira diferenciada em cada regional administrativa de Belo Horizonte. Os maiores percentuais de variação no uso de automóveis e motocicletas foram observados nas regionais Barreiro, Venda Nova e Norte, áreas que, por sua vez, concentram população de menor renda no município, de acordo com o Censo Demográfico de 2010. A tabela 2 apresenta a comparação dos percentuais de variação das viagens realizadas por todos os modos de transporte, por automóveis e motocicletas e por ônibus em Belo Horizonte entre 1992 e 2012.

Tabela 2: Variação percentual das viagens por todos os modos de transporte, por automóvel + motocicleta e por ônibus em Belo Horizonte entre 1992 e 2012

| Regionais | Variação Viagens Totais 1992-2012 | Variação Automóvel + Motocicleta 1992- 2012 | Variação Ônibus 1992-2012 |
|------------------|--|--|--------------------------------------|
| Barreiro | 131,35% | 754,50% | 59,02% |
| Centro-Sul | 34,35% | 95,96% | -38,03% |
| Leste | 55,78% | 174,02% | -26,21% |
| Nordeste | 102,93% | 306,27% | -1,18% |
| Noroeste | 56,10% | 200,12% | -19,81% |
| Norte | 136,84% | 726,79% | 18,10% |
| Oeste | 68,81% | 218,42% | -23,82% |
| Pampulha | 169,77% | 333,05% | 17,91% |
| Venda Nova | 130,50% | 704,22% | 40,86% |
| Total | 75,32% | 205,15% | -17,02% |

Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

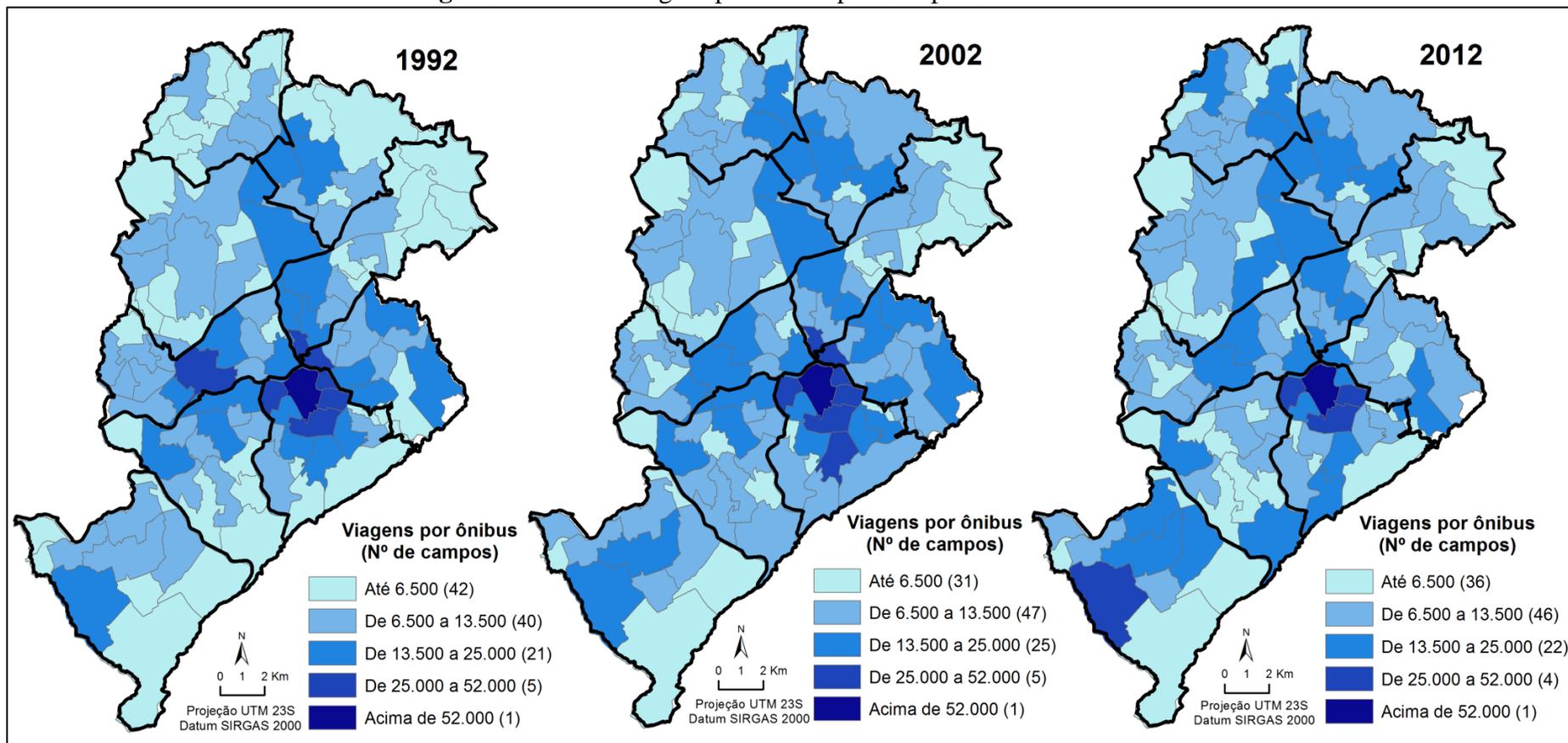
A análise dos deslocamentos efetuados por ônibus coletivo em cada Campo da OD revela padrões de concentração semelhantes aos observados nas viagens por todos os modos. Em geral, nota-se:

- O predomínio da origem das viagens por ônibus no setor interno à Avenida do Contorno, e, de maneira mais intensa, no chamado Hipercentro de Belo Horizonte. Nas três ODs, o campo Centro é o que apresenta maior percentual de deslocamentos, de maneira que, em 1992, um quarto das viagens por ônibus desenvolvidas dentro do limite municipal da capital apresentaram como ponto de origem o Hipercentro. Tal situação revela a concentração das atividades econômicas nesse campo da OD, em especial, o setor de comércio e serviços. Além disso, cabe salientar que o sistema de transporte coletivo predominante até o final da década de 1990 apresentava a maior parte de suas linhas baseadas no modelo de trajeto bairro-centro e bairro a bairro passando pelo centro, de forma a exigir um alto número de transbordos no Campo Centro.
- A tendência de desconcentração dos deslocamentos por ônibus da área do Hipercentro, já apontada por Cardoso (2007) e Lobo, Cardoso e Matos (2010). Em 1992, do total de viagens realizadas por ônibus em Belo Horizonte, 25,83% tiveram como origem o campo Centro. Em 2002, esse percentual foi reduzido para 14,39% e, em 2012, para 14%. Dentre os fatores apontados para tal fenômeno, destaca-se a implantação do projeto BHBUS, com a inauguração da Estação Diamante, na Regional Barreiro, em 1997, e da Estação Venda Nova, na Regional de mesmo nome, em 2000, de maneira a inaugurar o sistema tronco-alimentador no transporte coletivo da capital. Dessa maneira, as estações possibilitam maior variedade de destinos com a utilização de uma única tarifa, de forma a reduzir o número de transbordos no centro da capital. A política de descentralização das atividades econômicas do centro de Belo Horizonte, defendidas no Plano Diretor de 1996, resultaram no fortalecimento de centralidades periféricas como o Barreiro e Venda Nova, bem como o espraiamento das atividades comerciais para a área pericentral. Como citado anteriormente, a inauguração de *shoppings centers* e de grandes empreendimentos comerciais voltados às classes de

maior poder aquisitivo na Regional Centro-Sul, favoreceu o surgimento de um eixo comercial na Avenida Senhora do Carmo entre Belo Horizonte e Nova Lima, que absorveu parte das viagens anteriormente direcionadas ao centro.

- A queda no número absoluto de deslocamentos por ônibus em Belo Horizonte. De acordo com Cardoso (2007) e Lobo, Cardoso e Matos (2010), a queda na atratividade do transporte público por ônibus em Belo Horizonte pode ser explicada por diversos fatores, como a implementação de políticas públicas que tendem a privilegiar a circulação de automóveis, como a abertura e alargamento de vias públicas; a facilidade na aquisição de veículos de transporte individual, somadas às alternativas de trabalho para proprietários de motocicletas; as precariedades na prestação dos serviços dos modos de transporte público coletivo, tais como superlotações, atrasos, desconforto e insegurança. Os autores abordam ainda o aumento no uso de meios de transporte não motorizados (como o deslocamento a pé e o uso da bicicleta), fenômeno que pode associar-se ao processo de desconcentração espacial e de atividades econômicas em curso na capital. A espacialização do número total de viagens por ônibus em Belo Horizonte é apresentado na **figura 9**.

Figura 9: Total de viagens por ônibus por Campos de Belo Horizonte

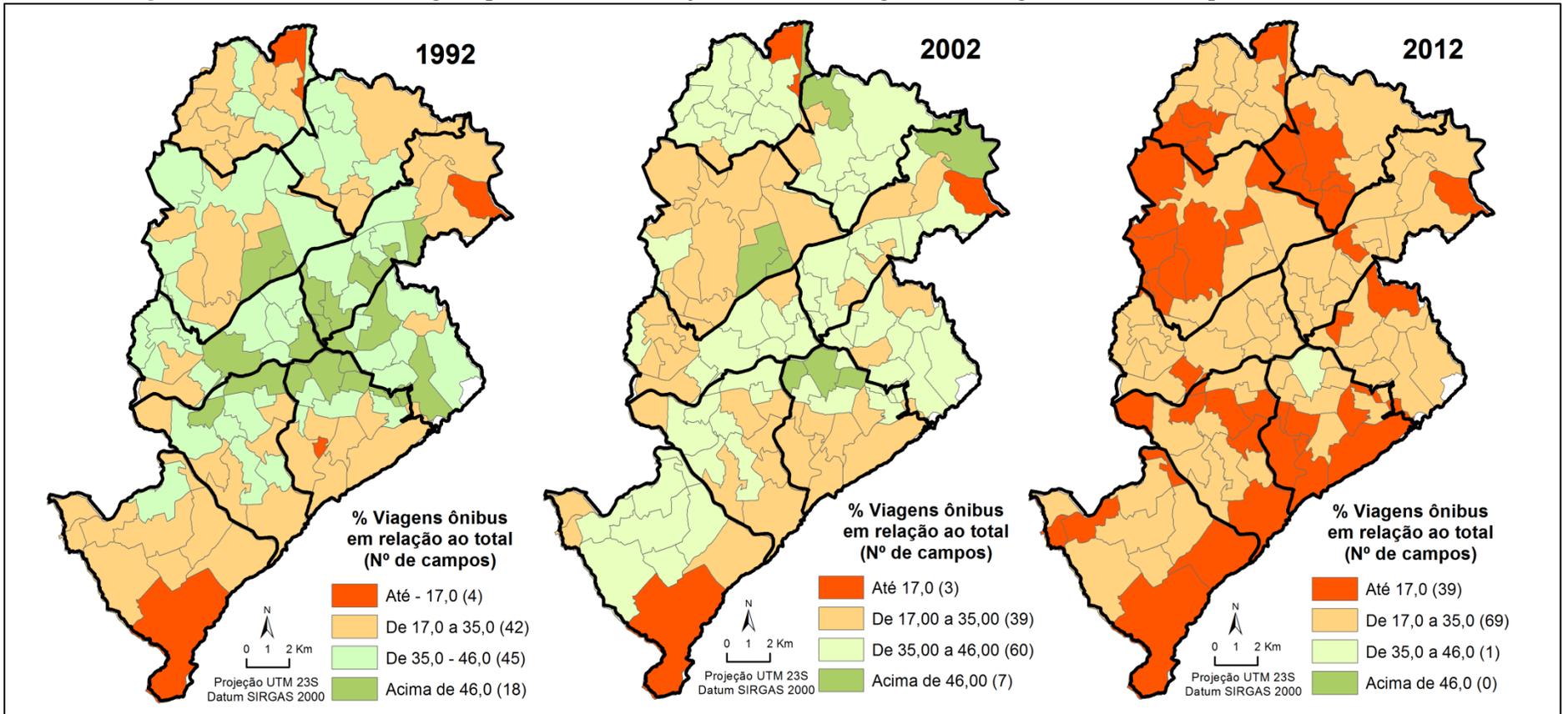


Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

- A redução da participação dos deslocamentos por ônibus no total de viagens realizadas em Belo Horizonte. Essa queda ocorre em todas as regionais administrativas da capital e significa a menor utilização do transporte coletivo por ônibus na capital. Em 1992, sete campos apresentaram percentual de viagens por ônibus superior a 50% do total de deslocamentos realizados e apenas cinco apresentaram percentual inferior a 20% do total. Por sua vez, em 2012, 70 campos (64% dos campos) demonstraram percentual de locomoções por ônibus inferior a 20% do total de viagens, sendo que apenas o Centro apresentou participação desse modo superior a 40% do total. A **figura 10** apresenta a espacialização da participação dos deslocamentos por ônibus sobre o total de viagens realizadas em Belo Horizonte.

Figura 10: Percentual de viagens por ônibus em relação ao total de viagens com origem em cada campo de Belo Horizonte



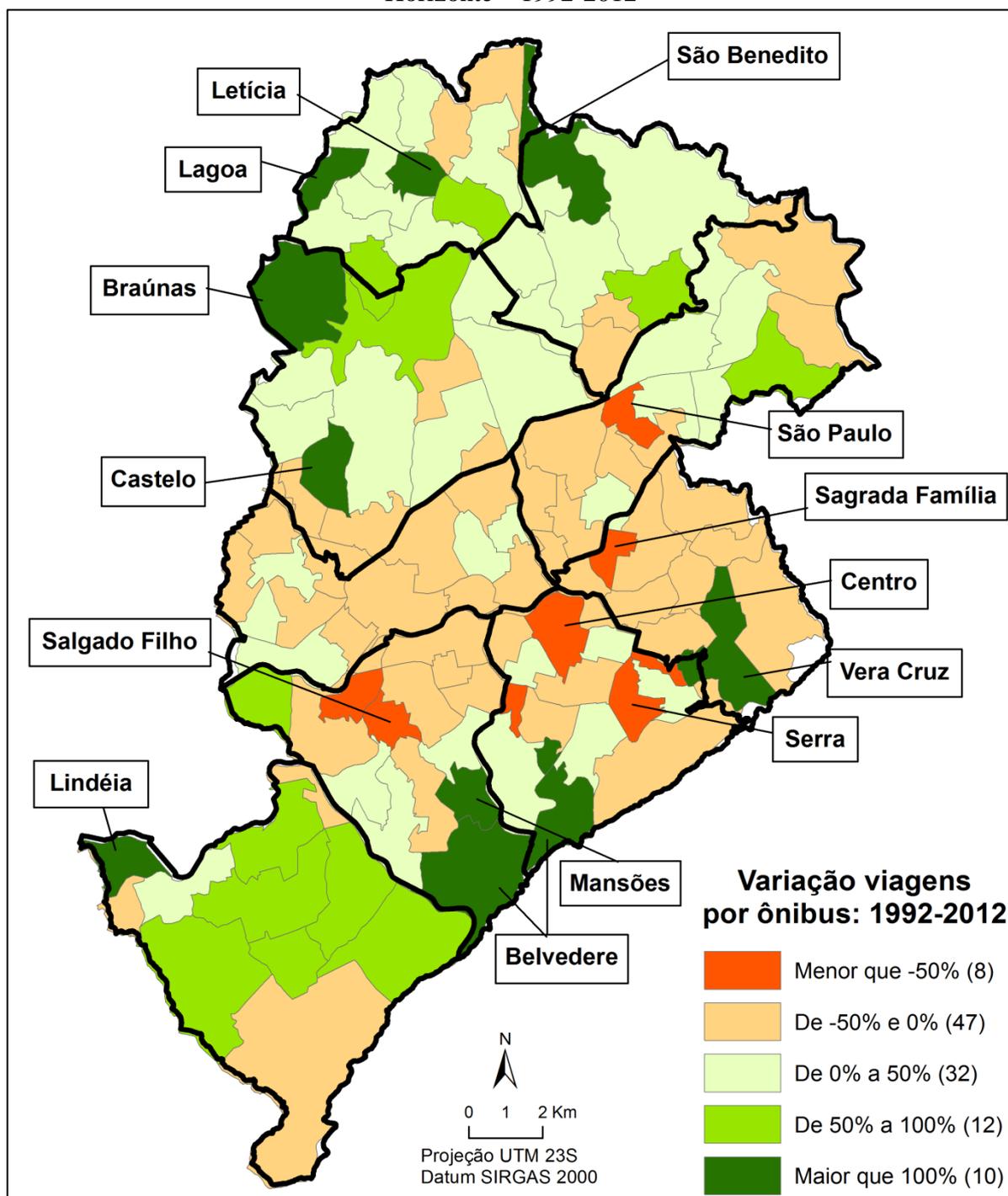
Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

A análise da variação do total de viagens por ônibus, com origem em cada campo de Belo Horizonte, demonstra o aumento do uso do transporte coletivo por esse modo em campos com elevado adensamento entre 1992 e 2012, como Belvedere (que inclui também o Bairro Buritis) e Mansões, na Regional Oeste, Lindéia (quarto bairro mais populoso de Belo Horizonte, de acordo com o Censo 2010), na Regional Barreiro, Braúnas e Castelo, na Regional Pampulha, Lagoa e Letícia, na Regional Venda Nova, São Benedito, na Regional Norte e Vera Cruz na Regional Leste. Todos esses campos apresentaram variação no número de viagens por ônibus superior a 200% entre 1992 e 2012. Destaca-se o campo Castelo, que apresentou em 2012 um número de deslocamentos por ônibus superior a 40 vezes o observado em 1992, fato explicado pelo recente adensamento do bairro que leva o mesmo nome.

A redução no percentual de viagens por ônibus foi observada em Campos como Salgado Filho (Regional Oeste), São Paulo (Regional Nordeste), Sagrada Família (Regional Leste), Serra, Novo São Lucas e Centro (Regional Centro Sul). No Centro, a redução do número de deslocamentos foi de 54,65% entre 1992 e 2012. É importante salientar que a ação do transporte informal (mais comumente referido como transporte clandestino) durante o período de realização da OD de 2002 foi um importante fator na variação dos deslocamentos por ônibus entre 1992 e 2002 (LOBO, CARDOSO E MATOS, 2010). A variação do percentual de viagens por ônibus em Belo Horizonte é apresentada na **figura 11**.

Figura 11: Variação do total de viagens por ônibus com origem em cada campo de Belo Horizonte – Horizonte – 1992-2012



Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

Conforme discutido anteriormente, além da redução do número de deslocamentos por ônibus em Belo Horizonte, os dados da OD/RMBH de 1992, 2002 e 2012 demonstram o aumento das viagens por transporte individual motorizado, principalmente por automóvel e

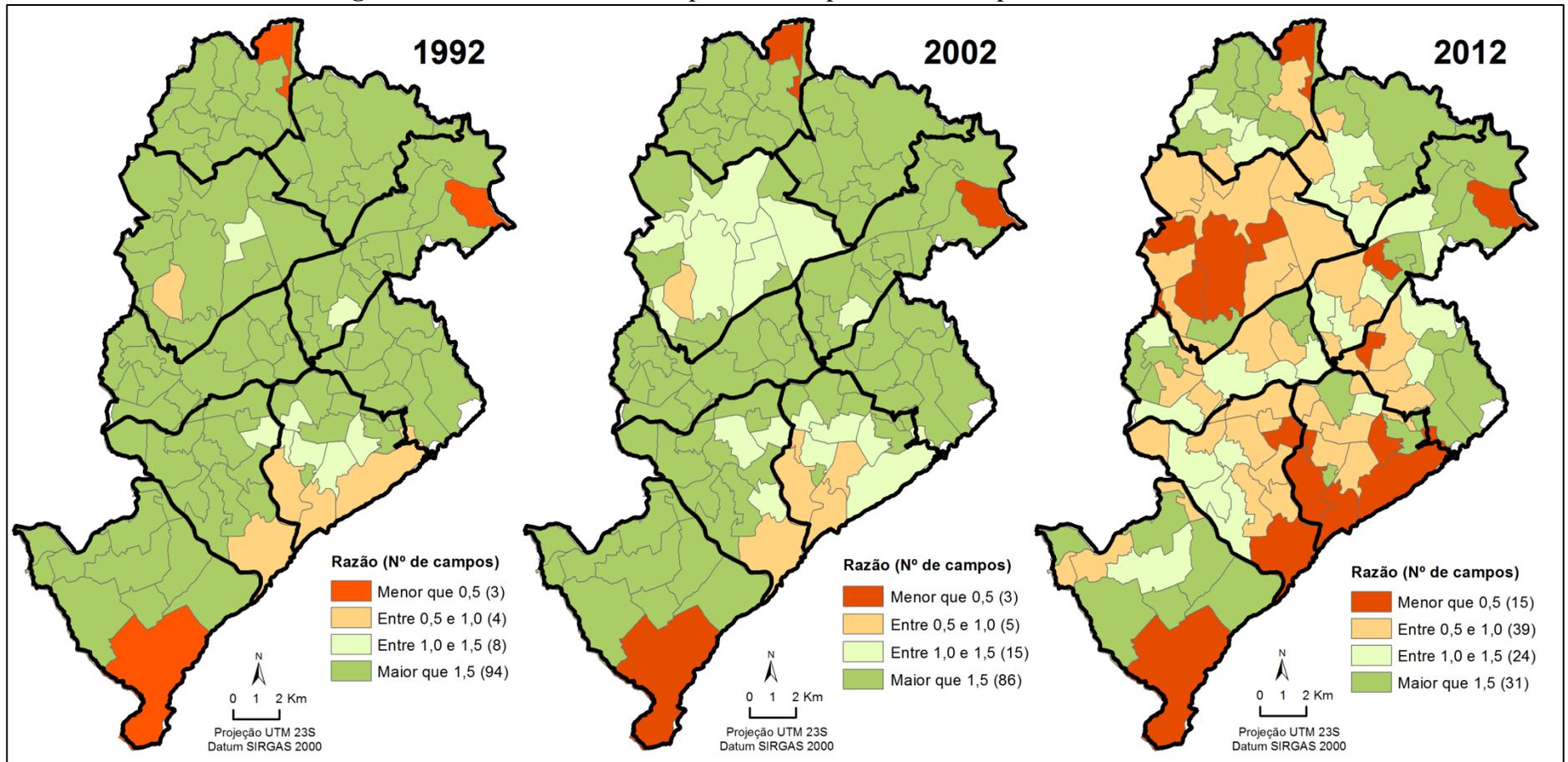
motocicletas. No caso do automóvel, a variação total do número de viagens entre 1992 e 2012 é superior a 163%, sendo positiva em todos os campos da capital. O menor índice de variação ocorreu no Campo Dom Cabral (Regional Noroeste), com 2,13%, e a maior variação no Campo Castelo (Regional Pampulha), com o número de deslocamentos superior a 100 vezes o observado em 1992. O uso do modo de transporte motocicleta também apresentou relevante variação no período estudado. Em 2012, ocorreram em Belo Horizonte 14 vezes mais viagens por motocicletas, se comparado ao ano de 1992. Os campos com maior aumento no número de locomoções por motocicleta no período foram Mansões (que engloba parte do bairro Buritis e Estoril), Vera Cruz, Floramar, Belvedere, Jardim Alvorada e Favela da Barroca, todos com número de viagens superior a 80 vezes o observado em 1992.

Para identificar os campos com maior participação dos deslocamentos por ônibus em relação ao transporte individual por automóvel, utilizou-se um indicador denominado *Razão de Mobilidade por Ônibus*, que é dado pela razão simples entre o número observado de viagens por ônibus e o número de viagens por automóvel em cada campo. O resultado revela o número de deslocamentos por ônibus para cada viagem realizada por automóvel no campo em questão. Valores superiores a zero demonstram o maior uso do transporte por ônibus, enquanto que valores inferiores a zero demonstram predomínio do automóvel nas viagens desenvolvidas. Como exemplo, um campo que apresenta valor 2,0 para o indicador demonstra que, para cada viagem por automóvel com origem nesse campo, foram efetuadas outras duas locomoções por ônibus. Por sua vez, um valor 0,8 do indicador demonstra que, para cada viagem por automóvel, menos de uma viagem por ônibus foi desenvolvida no campo em questão.

A análise do indicador demonstrou que, em 1992, apenas nos bairros Castelo (Regional Pampulha), Mangabeiras, Sion, Belvedere, Santa Lúcia e São Bento (Regional Centro-Sul), o número de deslocamentos por automóveis supera os realizados por ônibus. Cabe salientar que os bairros citados da Regional Centro-Sul se caracterizam por população de renda elevada. Áreas até então pouco povoadas da capital, representadas pelos campos Sul do Barreiro, Leste Aglomerado e Hipódromo, devido ao baixo número de viagens, apresentaram pouco uso do transporte por ônibus. O restante do município apresentou, em 1992, predomínio do transporte por ônibus frente ao transporte por automóvel. Em 2012, a relação ônibus/automóvel se inverte, de maneira que apenas nos bairros periféricos ou em

áreas de vilas e favelas há maior uso do transporte por ônibus. Os maiores índices do indicador na OD/RMBH de 2012 foram obtidos nos campos Favela da Serra (14 deslocamentos por ônibus para cada viagem por automóvel) e Ribeiro de Abreu (6,6 viagens por ônibus para cada deslocamento por automóvel). Os menores índices foram observados nos Campos Castelo (0,25), Cidade Jardim (0,26) e Mangabeiras (0,28). A espacialização do indicador *Razão de Mobilidade por Ônibus* é apresentada na **figura 12**.

Figura 12: Razão de Mobilidade por Ônibus aplicada aos campos de Belo Horizonte

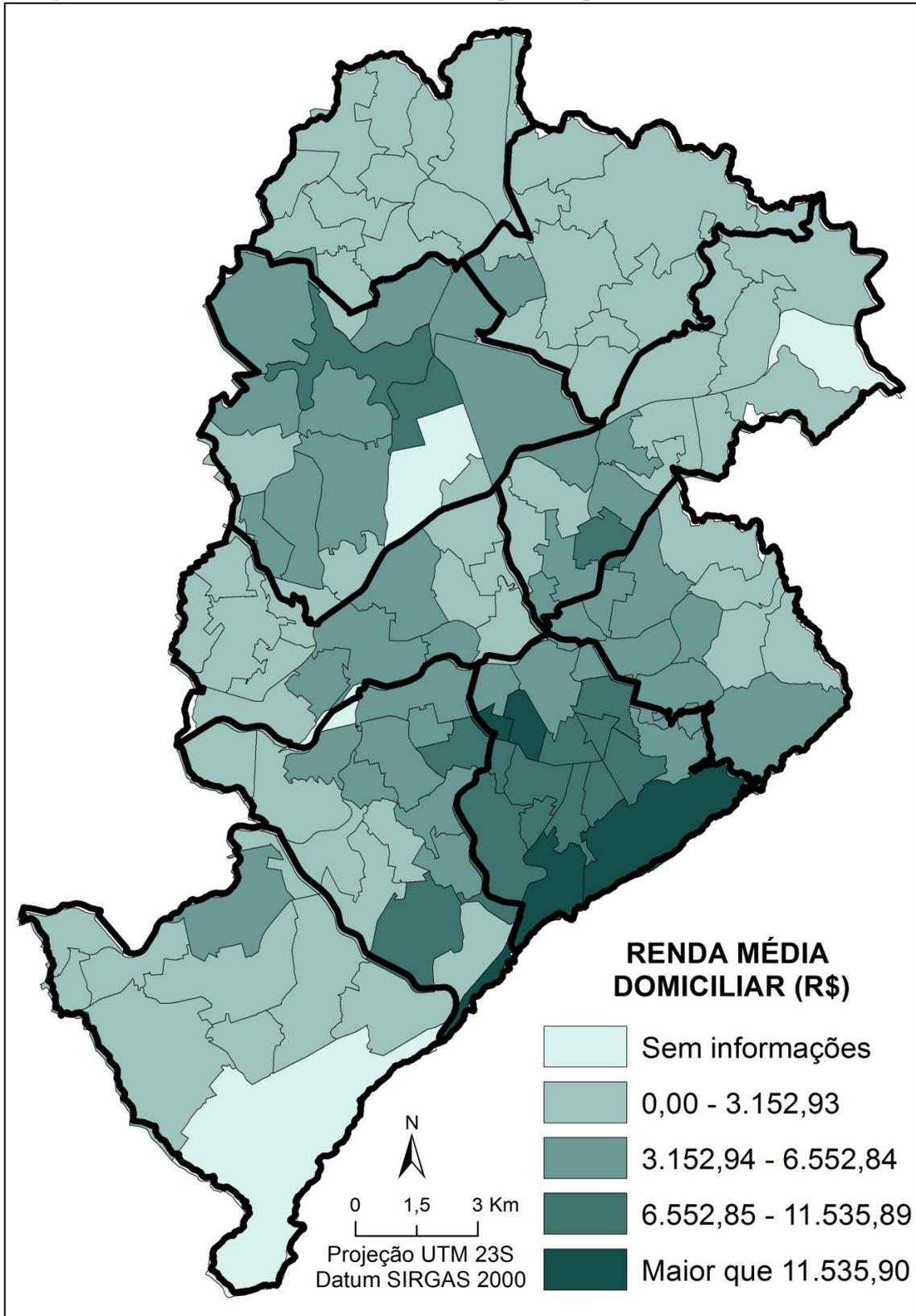


Fonte dos dados: Pesquisas Origem e Destino 1992, 2002 e 2012

Autoria: Elaboração própria

É inegável a relação desses resultados com a distribuição da variável renda nos Campos de Belo Horizonte. Em suma, entende-se que a população de maior poder aquisitivo raramente se utiliza do transporte público por ônibus, preferindo utilizar o automóvel. Por sua vez, áreas como a Favela da Serra, além de serem habitadas por população de menor poder aquisitivo, têm como característica moradias instaladas em terrenos sem espaço para comportar um veículo de passeio, ou arruamento que impossibilita o acesso de veículos às residências, o que influencia a decisão do indivíduo em adquirir um automóvel. A **figura 13** apresenta a espacialização da renda média domiciliar por campos em Belo Horizonte, de acordo com dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010. É possível observar a concentração das áreas de alta renda na Regional Centro-Sul e Pampulha, que coincidem com os campos com menores resultados do indicador proposto na pesquisa.

Figura 13: Renda média domiciliar em reais por campos de Belo Horizonte – 2010



Fonte dos dados: IBGE
Autoria: Elaboração própria.

Há que se destacar, ainda, que a queda do uso do transporte coletivo por ônibus tem relação direta com a conjuntura macroeconômica em nível nacional. Entre 2002 e 2012, o Brasil viveu um período de ampliação do crédito, redução de impostos sobre produtos industrializados (IPI) e aumento da renda real, o que resultou na compra de automóveis e motocicletas por amplos setores da população. O resultado foi o aumento da frota na maior parte das cidades brasileiras. Belo Horizonte não se excluiu desse processo, que foi materializado no aumento dos congestionamentos e tempo médio de viagem nas vias. A opção pelo transporte individual motorizado resultou na redução do número de viagens por ônibus, principal modo de transporte coletivo da capital mineira. Com base nesses resultados, foi desenvolvido um modelo preditivo, com o objetivo de projetar as viagens por ônibus com origem em cada campo de Belo Horizonte.

4.2 – Análise dos resultados do modelo preditivo de viagens por ônibus em Belo Horizonte

Os resultados apresentados pelo modelo preditivo de viagens por ônibus revelam a continuidade da redução nos deslocamentos por esse modo de transporte nos anos de 2022 e 2032, porém, com menor intensidade se comparado ao período anterior. Para 2022, as projeções indicam um total de 1.193.229 viagens, enquanto que, para 2032, esse total é de 1.159.005 viagens. Houve a redução de 8,33% no número de deslocamentos por ônibus entre 2012 e 2032, de acordo com os resultados do modelo. Se considerado o período 1992 a 2032, observa-se a redução em 23,93% no total de viagens realizadas por ônibus em Belo Horizonte. Cabe lembrar que a metodologia adotada na construção do modelo impede reduções em cada campo superiores aos percentuais observados nos períodos 1992-2002 e 2002-2012.

A análise das projeções evidencia diferenças de variação dos totais de viagens em cada regional administrativa de Belo Horizonte. As regionais que apresentaram maior aumento no total de deslocamentos por ônibus entre 2012 e 2032 foram Barreiro, Venda Nova e Norte, seguindo, dessa forma, a tendência observada no período 1992-2012. As regionais com maiores percentuais de redução entre 2012 e 2032 foram a Centro-Sul, Noroeste e Leste. Mesmo com a adoção de um limite para a redução do número de viagens por ônibus, essa tendência permanece em regionais como a Centro-Sul. Entende-se que essa tendência pode se alterar, com os investimentos direcionados ao transporte público após 2012.

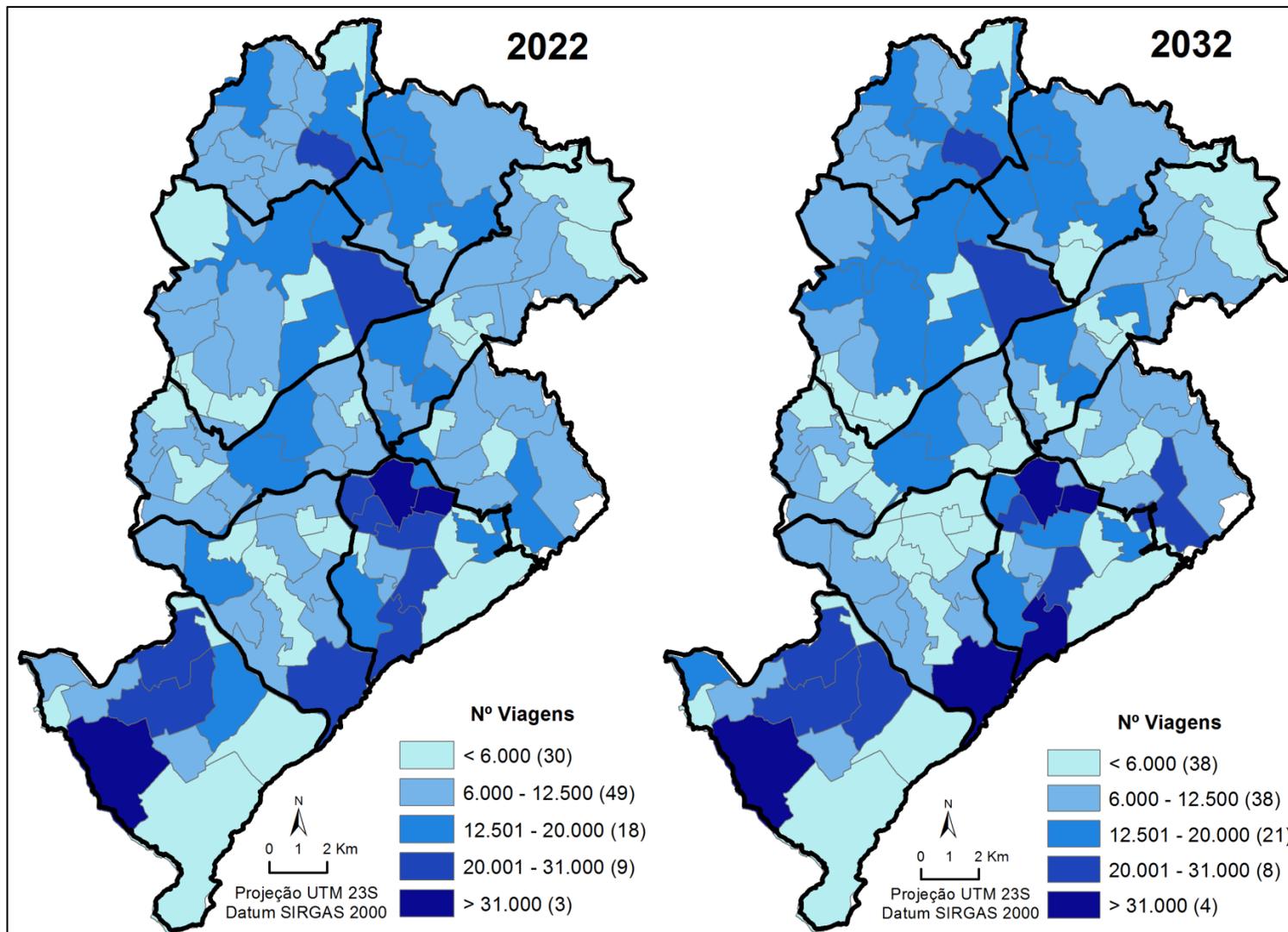
Tabela 3: Variação do número de viagens nas regionais de Belo Horizonte de acordo com o modelo preditivo.

| Regional | Variação 1992-2032 | Variação 2012-2032 |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Barreiro | 123,52% | 40,57% |
| Centro-Sul | -59,74% | -35,04% |
| Leste | -44,14% | -24,30% |
| Nordeste | 0,54% | 1,74% |
| Noroeste | -39,67% | -24,77% |
| Norte | 45,37% | 23,09% |
| Oeste | -34,01% | -13,38% |
| Pampulha | 37,99% | 17,03% |
| Venda Nova | 85,47% | 31,67% |
| Total | -23,93% | -8,33% |

Fonte: Elaboração própria

A análise das projeções em cada Campo da OD/RMBH demonstra a manutenção do processo de desconcentração do número de viagens por ônibus do centro de Belo Horizonte. Embora o campo Centro apresente elevado número de deslocamentos nos dois anos projetados, ocorre aumento em centralidades como o Barreiro e Venda Nova. Um fator importante do fortalecimento do Barreiro e de Venda Nova é a instalação de terminais de transporte coletivo de grande porte, como a Estação Barreiro a Estação Intermodal Vilarinho (em Venda Nova), favorecendo o acesso a comércio e serviços nessas localidades sem a necessidade de ida ao centro de Belo Horizonte. O crescente adensamento de áreas com grande disponibilidade de terrenos pode explicar a continuidade do crescimento no número de viagens em campos como o Vale do Jatobá, no Barreiro, que se insere dentre aqueles que apresentaram número de deslocamentos superior a 31 mil. Além disso, de acordo com as projeções, os campos Sion e Belvedere continuam o processo de crescimento das viagens por ônibus, já observado entre 1992 e 2012. Uma análise preliminar sugere que o crescimento do número de viagens nesses campos, que se inserem no eixo da Avenida Senhora do Carmo, poderia ser resultado da migração de atividades econômicas do centro e área pericentral da capital. A espacialização do número total de viagens por ônibus, de acordo com o Modelo Preditivo de Viagens por Ônibus, pode ser observada na **figura 14**.

Figura 14: Projeção das viagens por ônibus em Belo Horizonte por campos - 2022 e 2032, de acordo com o Modelo Preditivo de Viagens por Ônibus

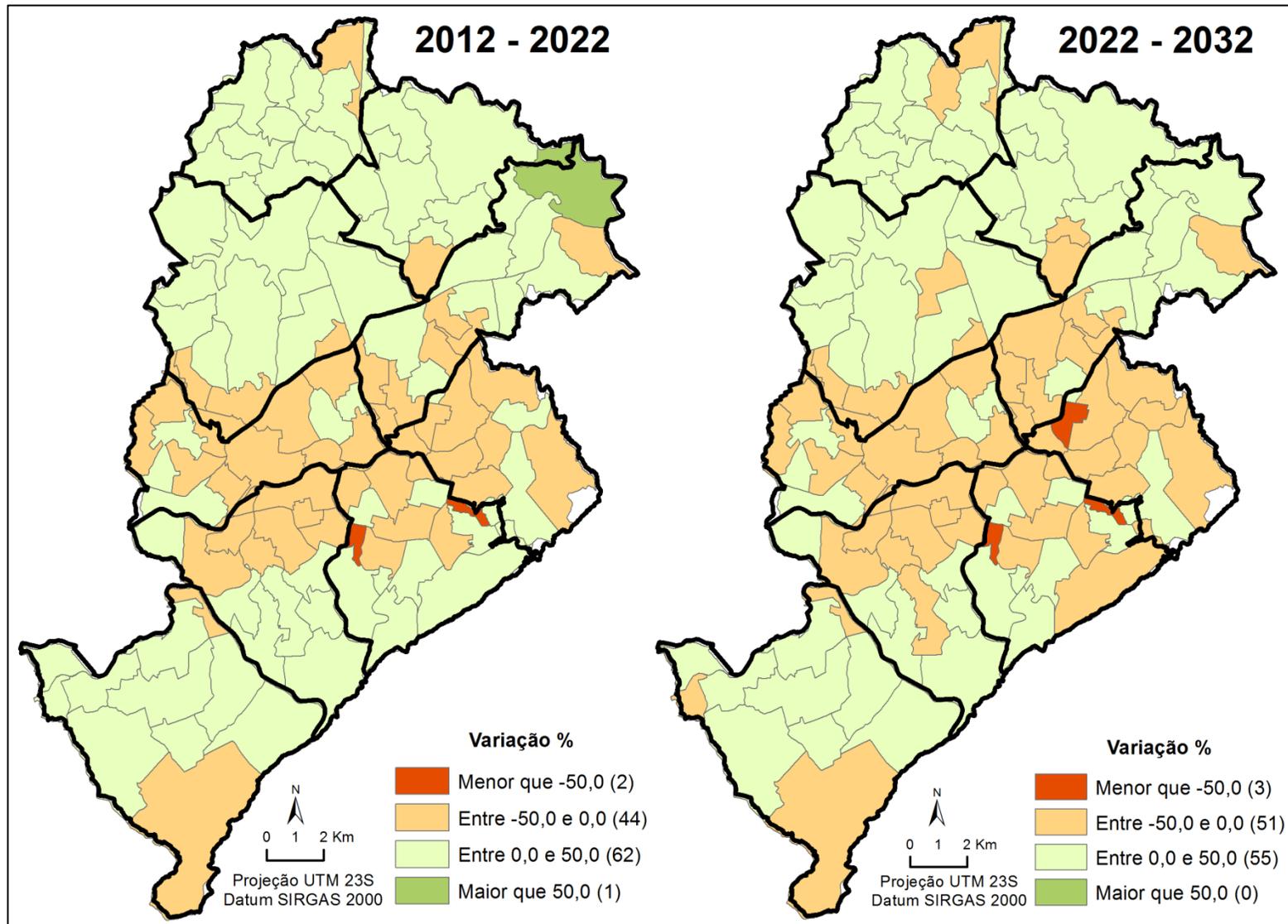


Fonte: Elaboração própria

A variação do número de deslocamentos por ônibus com origem nos campos de Belo Horizonte e destino em quaisquer campos da cidade segue um padrão aproximado no período 2012-2022 e 2022-2032. O eixo leste-oeste da capital, juntamente com o campo Serra Verde (na região da Cidade Administrativa) apresentaram maior variação negativa do número de viagens por ônibus no período 2012-2022, com índices de queda entre 0% e 50%. Apenas nos campos Santo Antônio/São Bento e Novo São Lucas foram observadas reduções superiores a 50% entre 2012 e 2022. Quanto à variação positiva do número de viagens entre 2012 e 2022, o campo Nordeste Aglomerado, em processo de adensamento da ocupação nos últimos anos, registrou aumento do número de viagens por ônibus superior a 50%. Chama a atenção o crescimento do número de viagens na maior parte dos campos das regionais Barreiro, Oeste, Pampulha, Venda Nova, Norte e Nordeste nesse período. Nesses campos, houve aumento entre 0% e 50% no número de deslocamentos por ônibus. É importante salientar que as projeções desenvolvidas pelo Modelo Preditivo de Viagens por Ônibus não levam em conta intervenções desenvolvidas pelo poder público com foco na mobilidade urbana após o ano de 2012. Dentre os investimentos dos últimos anos ligados ao transporte coletivo, destaca-se a implantação de pistas exclusivas para ônibus e a criação do sistema BRT (chamado de MOVE) nas avenidas Presidente Antônio Carlos e Cristiano Machado, que atendem as regionais Pampulha, Venda Nova, Norte e Nordeste de Belo Horizonte. Espera-se que os resultados dessas intervenções sejam identificados na próxima Pesquisa OD, programada para o ano de 2022.

Com relação ao período 2022-2032, verifica-se uma tendência próxima à projetada para o decênio anterior. A concentração dos campos com queda no número de viagens permanece no eixo leste-oeste, assim como os campos com redução superior a 50%, que inclui ainda o Campo Sagrada Família. Por sua vez, um número reduzido de campos demonstrou nas projeções variações positivas entre 0% e 50%, sendo 53 campos no período em 2012-2022, e 55 campos no período 2022-2032, como pode ser observado na **figura 15**.

Figura 15: Variação percentual das viagens por ônibus com origem nos campos de Belo Horizonte para os períodos 2012-2022 e 2022-2032



Fonte: Elaboração própria

O modelo proposto, embora incorpore apenas uma variável na explicação do crescimento e redução das viagens por ônibus em Belo Horizonte, torna possível identificar áreas prioritárias para os investimentos em mobilidade. Destaca-se aqui a necessidade de fortalecimento do transporte público em áreas de grande demanda no município, como as periferias das regionais Barreiro, Venda Nova, Norte e Nordeste. A implantação das linhas 2 e 3 do Trem Metropolitano, bem como a expansão do sistema de BRT para as regionais Oeste e Barreiro podem inverter a tendência de perda de competitividade do transporte público e o consequente crescimento do número de viagens por transporte individual. O entendimento é o de que o crescimento do uso do transporte individual, observado de maneira mais intensa entre 2002-2012, será reduzido nos próximos anos. Porém, suas consequências continuarão visíveis nos principais corredores viários de Belo Horizonte, considerando-se a velocidade das intervenções voltadas ao transporte público que, em suma, seguem a mesma dos veículos que compõem os congestionamentos verificados nas vias da capital nos horários de pico. A discussão a respeito de políticas de restrição ao uso do automóvel (como a adoção do pedágio urbano), paralelamente ao desenvolvimento de ações de melhoria do transporte público, se faz fundamental para a alteração do quadro verificado atualmente na mobilidade urbana da capital.

4.3 – Os fluxos/trajetos por ônibus para as viagens com origem na Regional Venda Nova

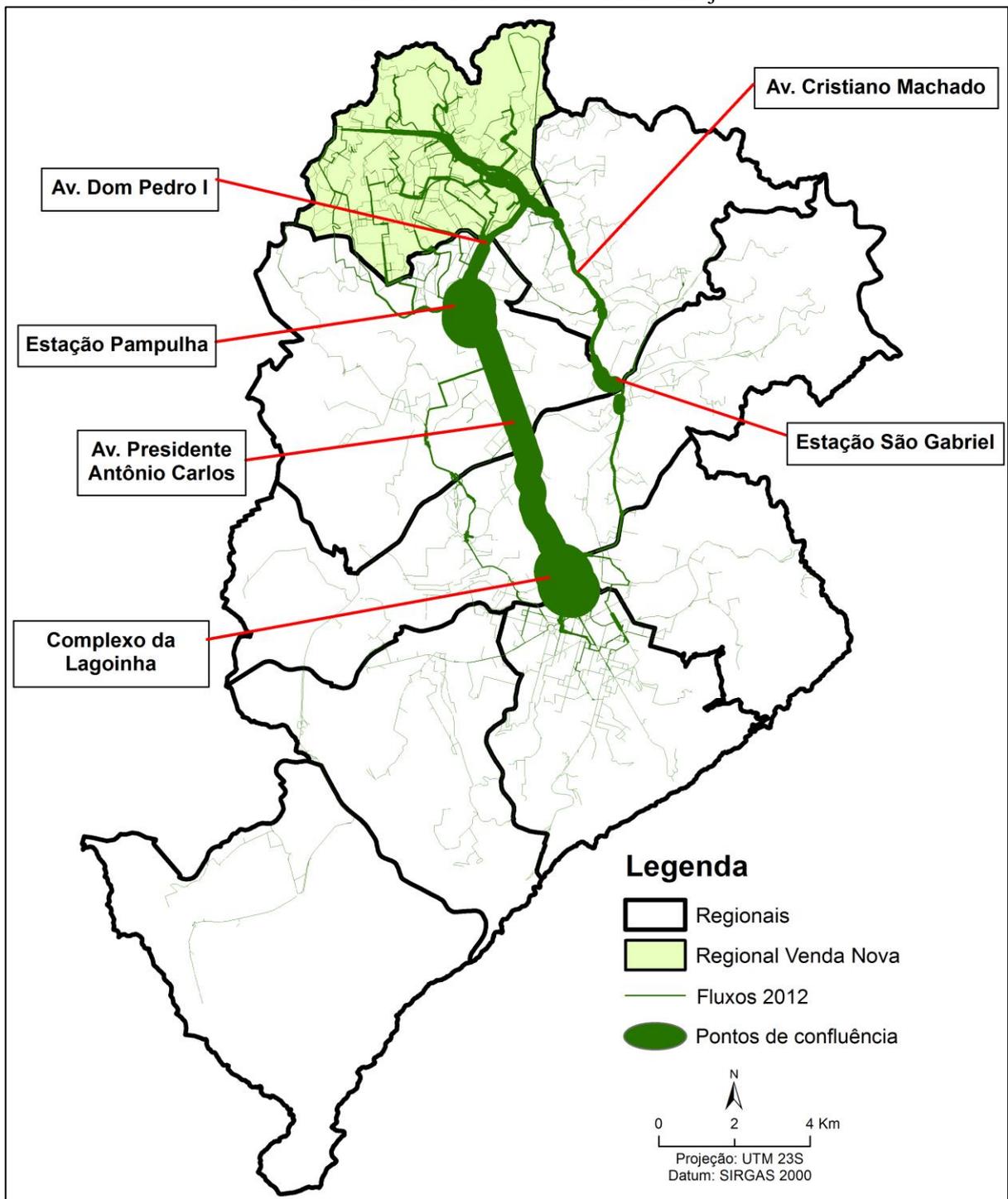
Os resultados do modelo preditivo de fluxos/trajetos por ônibus com origem na Regional Venda Nova permitem identificar as vias com maior concentração de viagens e convergência de fluxos. O critério utilizado para seleção dos trajetos foi fundamental para os resultados, uma vez que, ao se utilizar o menor número de baldeações e o tempo de deslocamento como critérios mais relevantes, alguns trajetos preferenciais foram identificados. Tal situação foi verificada, por exemplo, no caso dos deslocamentos com destino à região central de Belo Horizonte. A análise dos fluxos potenciais gerados pelas viagens por ônibus com origem na Regional Venda Nova em 2012, observando-se todo o território do município de Belo Horizonte, demonstra:

- Confluência de todos os fluxos com destino à área central de Belo Horizonte no Complexo Viário da Lagoinha. Esse quadro é resultado do elevado número de

deslocamentos com destino à área central, principalmente ao Hipercentro e área hospitalar de Belo Horizonte, o que demonstra a permanência do papel da área central como maior polo de atração de viagens na capital. A configuração radiocêntrica do sistema viário da capital é outro importante fator que explica tais resultados.

- Maior concentração de deslocamentos que se utilizam da Avenida Presidente Antônio Carlos. Dado que o número de baldeações e tempo de deslocamento foram os dois principais critérios utilizados na escolha dos trajetos, esse corredor de tráfego apresentou menores tempos de viagem e maior número de linhas que possibilitam o acesso a outras regiões do município. A Avenida Cristiano Machado, outra importante via de ligação entre a Regional Venda Nova e a área central, teve fluxo bem menor, se comparado à Avenida Presidente Antônio Carlos.
- Concentração dos fluxos no entorno da Estação Pampulha, como pode ser observado. Os critérios adotados no modelo para geração dos trajetos identificam que a Estação Pampulha permite deslocamentos mais rápidos e maiores possibilidades de baldeações para as viagens originadas em bairros de maior população, como Céu Azul e Piratininga, além dos bairros próximos à Avenida Dom Pedro I. Outra explicação para tal resultado se refere à localização da estação, na confluência das avenidas Dom Pedro I, Portugal e Presidente Antônio Carlos, o que resulta na maior confluência de fluxos nas proximidades desse terminal. A representação dos fluxos potenciais gerados pelas viagens por ônibus com origem na Regional Venda Nova e destino em qualquer AH de Belo Horizonte pode ser observada na **figura 16**.

Figura 16: Fluxos/trajetos das viagens por ônibus com origem na Regional Venda Nova em 2012 de acordo com o Modelo Preditivo de Fluxos/Trajetos



Fonte: Elaboração própria

Uma análise detalhada dos fluxos/trajetos potenciais gerados pelos deslocamentos com origem na Regional Venda Nova em 2012, com o objetivo de identificar as principais vias utilizadas nas viagens por ônibus nos limites da regional em questão, demonstram uma maior

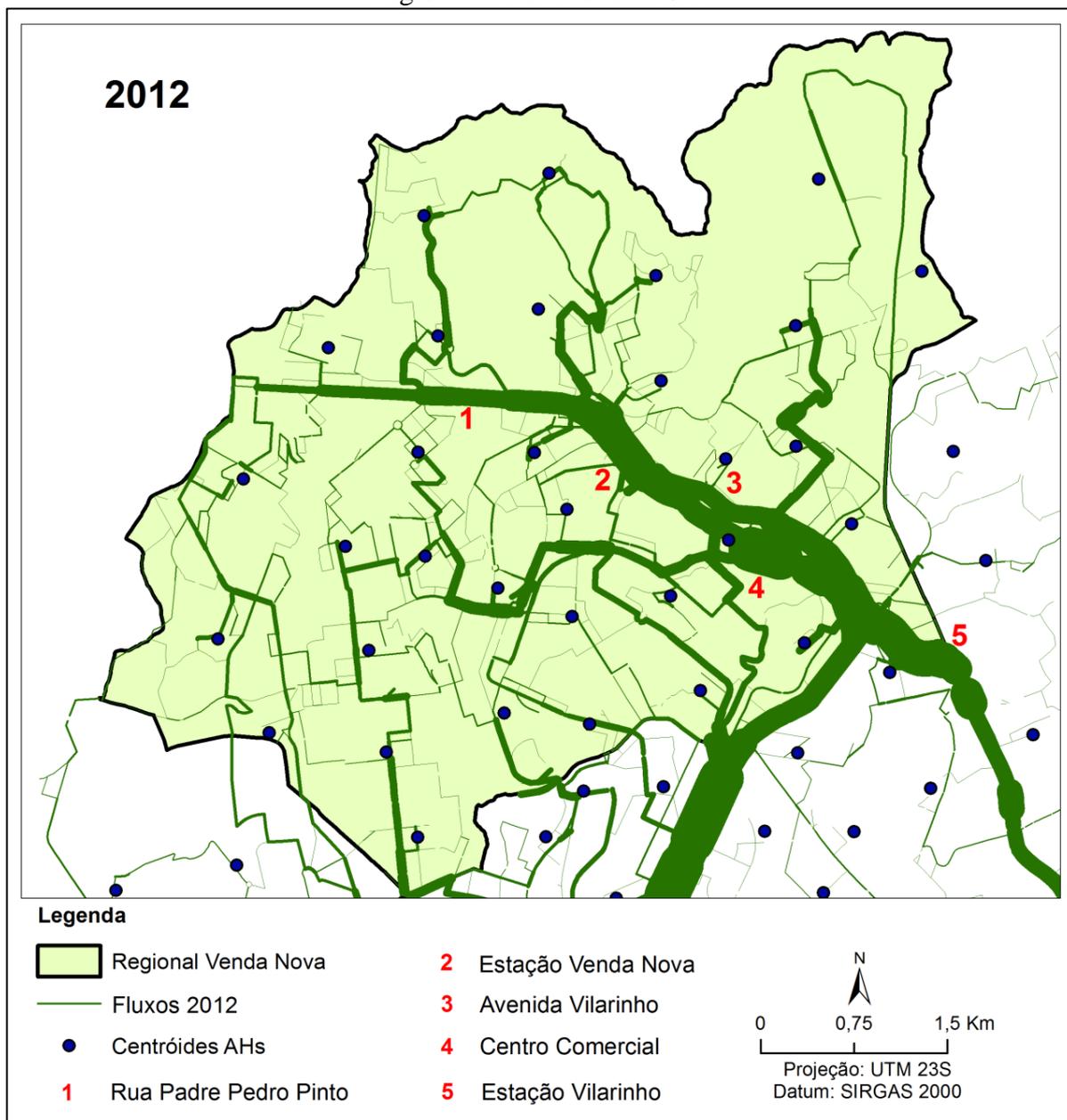
concentração dos fluxos sobre as vias coletoras (vias com a função de permitir a circulação de veículos entre as vias arteriais e as vias locais), arteriais (vias com significativo volume de tráfego, utilizadas nos deslocamentos urbanos de maior distância) e de ligação regional (vias com função de ligação com municípios vizinhos). Essa análise permite observar:

- A concentração de fluxos (em menor grau se comparado à Estação Pampulha) nas estações Venda Nova, Vilarinho e São Gabriel, dada as possibilidades de integração com linhas de ônibus para acesso a outras regiões do município.
- A Avenida Dom Pedro I, Rua Padre Pedro Pinto e Avenida Vilarinho como principais corredores viários no interior da Regional Venda Nova. Tal situação ocorre pela localização do principal centro comercial da regional na Rua Padre Pedro Pinto, de maneira a atrair viagens com origem e destino no interior da Regional Venda Nova. Além disso, o acesso rápido ao centro de Belo Horizonte proporcionado pela Avenida Dom Pedro I pode favorecer a preferência na utilização de linhas de ônibus que utilizam esse corredor de tráfego.
- A concentração de fluxos no centro comercial do Bairro Venda Nova, o que revela a importância dessa área enquanto polo de comércio e serviços não apenas para a regional, mas para todo o Vetor Norte da RMBH. O elevado número de viagens com origem em toda a regional e destino na área homogênea que engloba a maior parte do centro comercial comprova o fortalecimento dessa região enquanto importante centralidade. Entende-se que tal fato é importante para o processo de desconcentração das atividades do centro de Belo Horizonte, favorecendo menores deslocamentos da população, o que resulta na amenização de custos econômicos, sociais e ambientais.
- O direcionamento de vários fluxos em direção à Regional Pampulha, mais especificamente, para a Estação Pampulha. O acesso mais rápido dos bairros localizados ao sul e sudoeste da Regional Venda Nova aos corredores de tráfego, como a Avenida Portugal e Avenida Dom Pedro I, resultou, de acordo com o modelo, em um maior número de fluxos para a Estação Pampulha, em detrimento das estações Venda Nova e Vilarinho. Nesse sentido, embora exista a necessidade de estudos mais detalhados sobre os fluxos/trajetos, sugere-se a possibilidade do direcionamento à Estação Pampulha de um maior número de linhas de ônibus que atendam bairros da

Regional Venda Nova. Para tal, entende-se como fundamental a ampliação e adequação do terminal, que, até a conclusão da pesquisa, funcionava de maneira precária, com problemas como o planejamento errôneo dos acessos à estação, a inexistência de uma passarela de ligação com a Avenida Portugal, o não funcionamento da portaria (o que prejudica os usuários no período noturno), as filas extensas para o embarque e os poucos ônibus à disposição.

- Significativo fluxo sobre vias coletoras como a Rua Érico Veríssimo, na região do Bairro Santa Mônica, Rua Central, no Bairro Leblon, Rua Madre Gertrudes dos Santos, no Bairro Céu Azul, Rua João Samaha, no Bairro São João Batista, Rua João Félix Martins, no Bairro Mantiqueira e Rua Edgard Torres, no Bairro Minascaixa. Esses fluxos foram, em sua maioria, gerados por viagens que se utilizam de linhas de ônibus alimentadoras, que se direcionam para as estações de integração Venda Nova, Vilarinho e Pampulha. A espacialização detalhada dos fluxos potenciais na Regional Venda Nova em 2012 é apresentada na **figura 17**.

Figura 17: Fluxos/trajetos potenciais gerados por viagens por ônibus com origem nas AHs da Regional Venda Nova – 2012.



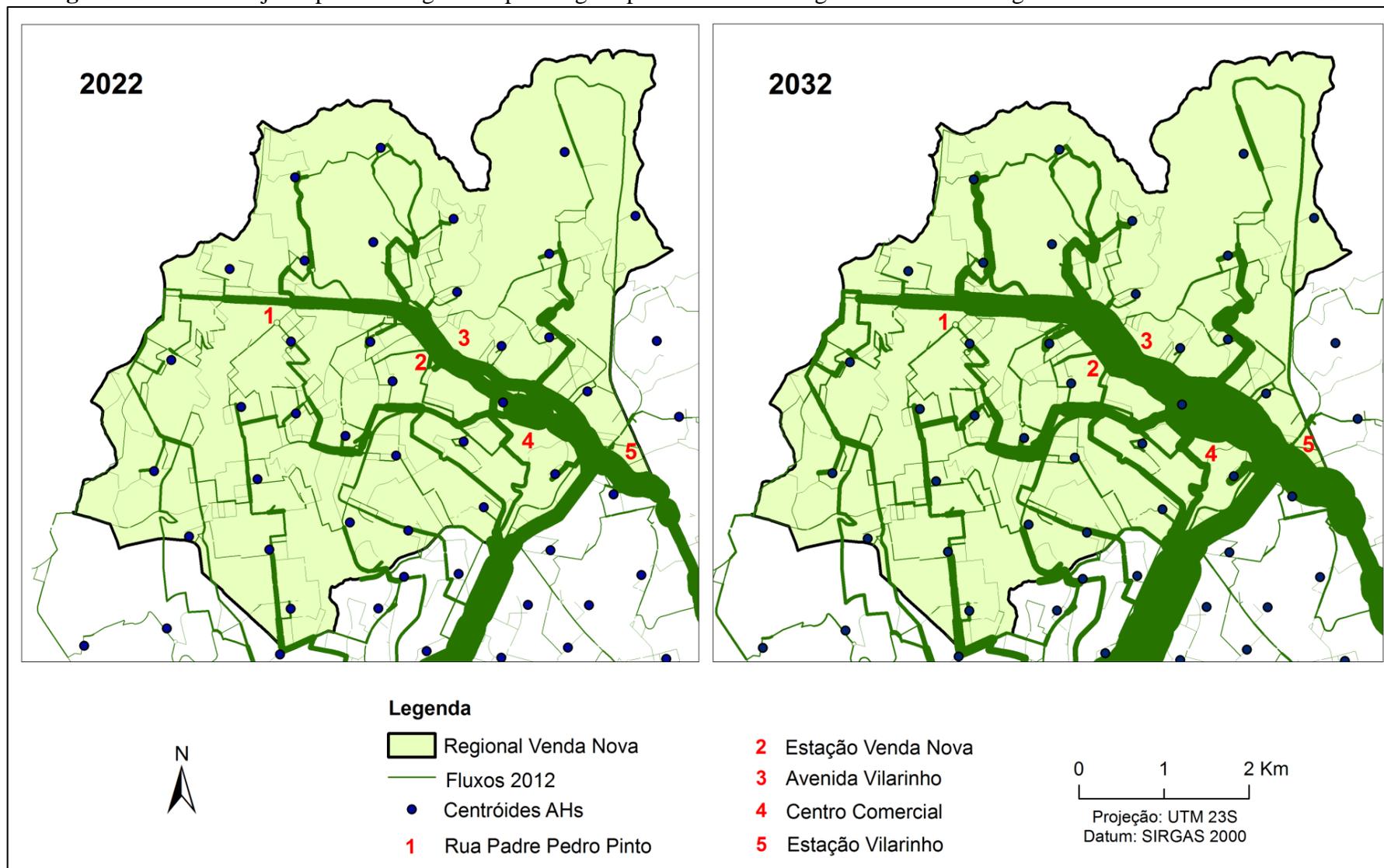
Fonte: Elaboração própria

A **figura 18** apresenta os fluxos/trajetos potenciais projetados para 2022 e 2032, que, em resumo, demonstram o crescimento da maior parte dos fluxos existentes em 2012. A análise do território da Regional Venda Nova demonstra a ampliação desses fluxos no centro comercial, nas avenidas Dom Pedro I e Vilarinho e na Rua Padre Pedro Pinto, além das vias coletoras citadas anteriormente. Entende-se que essa dinâmica se insere em um cenário de

maior adensamento da ocupação na regional, aliada ao crescimento das atividades econômicas no Vetor Norte, tendo Venda Nova como uma das principais centralidades.

Em resumo, entende-se que a aplicação do modelo preditivo de fluxos/trajetos potenciais gerados pelas viagens por ônibus com origem na Regional Venda Nova demonstrou a importância dessa regional, e, principalmente, de seu centro comercial, enquanto polo de comércio e serviços para todo o Vetor Norte. A ampliação dos fluxos observados em 2012 para os anos de 2022 e 2032 é um indício da necessidade de constantes melhorias nos serviços de transporte por ônibus. Essas melhorias tendem a dar continuidade ao processo de autonomia dessa regional, favorecendo viagens mais curtas para a população que reside nos bairros da região. Cabe destacar que a valorização imobiliária na Regional Venda Nova, fruto dos massivos investimentos públicos e privados, tendem a atrair populações de maior poder aquisitivo nos próximos anos. Dessa maneira, é latente a possibilidade de redução da atratividade do transporte por ônibus em relação ao transporte individual por automóvel, dado ser esse o modo mais utilizado pela população de maior renda.

Figura 18: Fluxos/trajetos potenciais gerados por viagens por ônibus com origem nas AHs da Regional Venda Nova – 2022 e 2032.



Fonte: Elaboração própria

CONCLUSÕES

A elaboração de um modelo preditivo de viagens e um modelo de fluxos/trajetos por ônibus, diante de uma realidade socioespacial em constante mudança, não se constitui uma tarefa simples. As alterações na dinâmica socioeconômica da RMBH entre 1992 e 2012, inseridas em um contexto histórico caracterizado pela atuação do Estado enquanto agente de transformação espacial e, portanto, criador de fixos e indutor de fluxos no território, aliada à atuação do setor privado (em especial o mercado imobiliário), resultaram em rápidas mudanças no padrão de deslocamentos por ônibus em Belo Horizonte. A título de exemplo, mudanças profundas na dinâmica da mobilidade urbana se processaram entre 2012, data da última Pesquisa Origem e Destino da Região Metropolitana de Belo Horizonte, e o período de elaboração do presente trabalho. É esperado que a implantação do sistema BRT/MOVE nas avenidas Vilarinho, Dom Pedro I, Cristiano Machado e Presidente Antônio Carlos, inaugurado em março de 2014, tenha como resultado o possível aumento do uso do transporte público na capital, tendo em vista a maior agilidade e conforto nas viagens. O modelo de fluxos potenciais, elaborado com dados da OD de 2012, mas utilizando os trajetos implantados com o sistema BRT/MOVE, aponta mudanças relacionadas a uma preferência por certos corredores de tráfego, fato que, espera-se, possa ser comprovado pela próxima OD.

A OD de 2012 demonstrou sensíveis mudanças do padrão de deslocamentos da população de Belo Horizonte. O aumento do uso do transporte individual, em especial o automóvel, resultou na ampliação dos congestionamentos, dos tempos de viagem e a precarização da qualidade de vida em diversos aspectos. Essa precarização, por sua vez, é distribuída de maneira desigual entre a população e as regiões do município, afetando em maior grau os usuários do transporte coletivo. A saída encontrada pela população para solucionar a crise de mobilidade tem sido recorrentemente individual: a compra de veículos particulares, especialmente automóveis e motocicletas. O aumento da motorização se apoiou no cenário macroeconômico do final da primeira década e início da segunda década do século XXI, caracterizado pelo aumento da renda, ampliação do crédito, redução de impostos sobre produtos industrializados e incentivo ao consumo. Essas mudanças, conforme abordado no trabalho, influenciaram de maneira significativa o resultado das projeções.

O cenário de recessão econômica, de aumento do desemprego e de precarização das condições socioeconômicas após 2014 daria indícios que, dificilmente, se verificaria em 2022 uma queda tão acentuada no número de viagens por ônibus. Um quadro semelhante ao verificado entre 2002 e 2012, em que ocorreu a substituição do transporte público por ônibus pelo transporte individual por automóveis ou motocicletas seria de difícil materialização em 2022. A hipótese apresentada se contrapõe, porém, à crescente e recente popularização do uso de aplicativos de transporte por automóvel, observada nas principais cidades do Brasil desde 2014. Em Belo Horizonte, o denominado serviço de transporte individual privado remunerado de passageiros (no momento da presente dissertação, em vias de regulamentação pelo poder público) é, praticamente, um monopólio de empresas multinacionais que, dada a escala de atuação, permite a prática de valores inferiores aos oferecidos pelo serviço de táxis. Por se tratar de um tipo peculiar de serviço, caracterizado pela atuação de motoristas sem vínculo formal com as empresas, de maneira que todos os custos de operação e manutenção dos automóveis são de responsabilidade do trabalhador “autônomo”, ocorre uma sobre oferta de viagens. Entende-se que os preços reduzidos, se comparados ao serviço de táxis, tendem a fomentar a preferência de setores de classe média pelo serviço de transporte por aplicativos, enquanto que o serviço por ônibus seria direcionado às classes de menor poder aquisitivo. É possível, portanto, que a atuação das empresas de transporte por aplicativos seja a razão para uma nova redução do número de deslocamentos por ônibus em Belo Horizonte, algo a ser demonstrado na próxima OD/RMBH, prevista para o ano de 2022.

O modelo de fluxos/trajetos potenciais por ônibus, desenvolvido com base nas viagens observadas em 2012 com origem nas áreas homogêneas da Regional Venda Nova, possibilitou adiantar possíveis mudanças relacionadas à implantação do *Bus Rapid Transport* – BRT/MOVE - nos corredores de acesso à regional, já que os trajetos traçados se utilizaram dos itinerários atuais, enquanto que os deslocamentos observados se referem à OD/RMBH de 2012. A mudança de itinerários e criação de novas linhas de ônibus, de fato, proporciona importantes alterações relacionadas à acessibilidade, entendida como uma medida de facilidade ligada às possibilidades de acesso a partir de uma dada localidade. Tais mudanças afetaram diretamente o modelo preditivo de fluxos/trajetos, já que vários fluxos entre áreas homogêneas observados na OD de 2012 não apresentaram viagens em 1992, em 2002 ou, ainda, nas duas pesquisas. Mesmo com as mudanças relacionadas ao maior adensamento do espaço urbano em Belo Horizonte e com as mudanças de itinerários e linhas de transporte por

ônibus, merecendo destaque a implantação do sistema tronco-alimentador (BHBUS) na Regional Venda Nova, o modelo preditivo de fluxos potenciais apresentou um resultado satisfatório e condizente com a proposta.

A metodologia desenvolvida no presente trabalho, embora exigente de significativo esforço para a compatibilização dos dados das ODs e no trabalho de elaboração dos trajetos dos deslocamentos por ônibus, se apresenta acessível para futuros trabalhos que se interessem em explicar a mobilidade urbana em outros municípios da RMBH e/ou outras regionais de Belo Horizonte. O objetivo de realizar projeções do número de viagens por ônibus em cada campo de Belo Horizonte e identificar os principais fluxos potenciais para os deslocamentos com origem na Regional Venda Nova, dada sua importância enquanto centralidade no Vetor Norte, permitiu a descrição de diferenças regionais notáveis. Entende-se a possibilidade de adequações metodológicas, como, por exemplo, a inclusão de mais variáveis no modelo preditivo de viagens e fluxos, de forma a ampliar sua capacidade de desenvolver projeções, algo a ser apresentado em trabalhos futuros que se prestem a ampliar os estudos a respeito da dinâmica da mobilidade urbana em Belo Horizonte, que, como exposto acima, tende a se tornar ainda mais complexa nas próximas décadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP; Transporte Humano – cidades com qualidade de vida. Coordenadores: Ailton Brasiliense Pires, Eduardo Alcântara Vasconcellos, Ayrton Camargo e Silva. São Paulo, Associação Nacional de Transportes Públicos, 312 p., 1997.

ADAMS, J.S. Classifying settled areas of the United States: conceptual issues and proposals for new approaches. In: DAHMAN, D.C.; FITZSIMMONS, J.D. (Ed.). *Metropolitan and nonmetropolitan areas: new approaches to geographical definition*. Washington: Population Division/US Bureau of the Census (Working paper, n. 12), p. 9-83, September 1995.

ALMEIDA, C. M. 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) / C. M. Almeida. – São José dos Campos: INPE, 2003.

ALONSO, W. A general theory of the urban land market. *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, v. 6, p. 149-158, 1960.

ALVES, P.; RAIA JUNIOR, Archimedes Azevedo. Mobilidade e acessibilidade urbanas sustentáveis: a gestão da mobilidade no Brasil. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA AUGM, VI, São Carlos. Anais de Eventos da UFSCar. São Carlos-SP: UFSCAR, v. 5. p. 1-15, 2009.

AZEVEDO, S.; CASTRO, M. M. M.; State Management of Public Transportation as an Alternative to Both Privatization and Nationalization of Bus Service: a case study of the metropolitan area of Belo Horizonte, Brazil. *Public Administration and Development*. RIPA, A Journal of the Royal Institute of Public Administration, London, Volume 10, Number 1, January-March, 1990.

AZEVEDO, S.; MARES GUIA, V.R. A gestão do transporte na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Cadernos Metrópole / Observatório das Metrópoles - n°3* – São Paulo: EDUC, 2000.

BALBIM, R.; Mobilidade: uma abordagem sistêmica. In: Balbim, R.; Krause, C.; Linke, C. (Org.). *Cidade e movimento: mobilidades e interações no desenvolvimento urbano*. 1ed. BRASÍLIA: IPEA, v. 1, p. 23-42, 2016

BARBOSA, J. L.. A mobilidade urbana como expressão do Direito à Metrópole. In: Ester Limonad e Edna Castro. (Org.). *Um novo planejamento para um novo Brasil?*. 1ªed. Rio de Janeiro: Letra Capital, v. 01, p. 187-201, 2014.

BARRETO, Abílio. *Belo Horizonte: memória histórica e descritiva*. Volume 1. Belo Horizonte: Imprensa Oficial de Minas Gerais, 1928.

BATTY, M. Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics, *Environment and Planning A*, Vol. 37, N. 8, p. 1373-1394, 2005.

BEAUJEU-GARNIER, J. Geografia da população. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1980.

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Belo Horizonte. Lei 7156, 1996.

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal. Portal de Informações da PBH. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/>, acesso em Outubro de 2017.

BHAT, C.; Handy, S.; Kockelman, K.; Mahmassani, H.; Chen, Q.; Weston, L. Development of an Urban Accessibility Index: Literature Review. Research project conducted for the Texas Department of Transportation. Center for Transportation Research, University of Texas, Austin (TX), USA, 2000.

CARDOSO, L. Transporte público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Tese de doutorado em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

CARDOSO, L.; MATOS, R. Acessibilidade urbana e exclusão social: novas relações, velhos desafios. In: Simpósio Nacional de Geografia Urbana, 10. 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2007.

COSTA, G.M.; Produção do espaço metropolitano em Belo Horizonte, Brasil: revisitando a economia política da urbanização. In: 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina, v.1. p. 1-14. Montevideo: Easy Planners, 2009

COSTA, H. S. M. Habitação e produção do espaço em Belo Horizonte. In: MONTE-MOR, Roberto Luís de Melo (coord.). Belo Horizonte: espaços e tempos em construção. Belo Horizonte: CEDEPLAR/PBH, 1994.

COSTA, H.S.M. Natureza, mercado e cultura: caminhos da expansão metropolitana de Belo Horizonte. In: Mendonça, J. G. de; Godinho, M. H. de L. (org.). População, espaço e gestão na metrópole: novas configurações, velhas desigualdades. Belo Horizonte: Editora PUCMINAS, pp. 159-179, 2003.

CLARK, C. Urban population densities. *Journal of the Royal Statistical Society A*, v. 114, p. 490-496, 1951.

COUCLELIS, H. From Sustainable Transportation to Sustainable Accessibility: Can We Avoid a New Tragedy of the Commons? In: *Information, Place and Cyberspace: Issues in Accessibility*. Org. JANELLE, D. J.; HODGE, D. C. Berlin: Springer, 2000.

DE LA BARRA, T.; *Integrated transport and land use modeling: Decision chains and hierarchies*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1989.

DINIZ, C.C.; Estado e capital estrangeiro na industrialização mineira. Belo Horizonte: UFMG/PROED, 1981.

ECHENIQUE, Marcial H., A. D. FLOWERDEW, J. D. HUNT, T. R. Mayo, I. J. Skidmore, and D. C. Simmonds. The Meplan models of Bilbao, Leeds and Dortmund. *Transport Reviews* 10(4), p. 309-322, 1990.

FRIGG, R. Scientific Models. In: *The Philosophy of Science: An Encyclopedia* (SARKAR, S. *et al.*, Eds.) New York: Routledge Press. Vol. 2, p. 740-749, 2005.

FURTADO B.A.; VAN DELDEN H. Modelagem urbana e regional com autômatos celulares e agentes: panorama teórico, aplicações e política pública. Rio de Janeiro: IPEA; (Texto para discussão, n. 1576), 2011.

GOOGLE. Rotas de transporte público no Google Maps – SP e BH. Disponível em: <https://google.com/maps/@-23.55052,-46.6333,15z>, acesso em 20/12/2017.

GOUGH, Philip Fox-Drummond. *O contrapeso da ordem: o desenvolvimento espacial de Belo Horizonte (1897- 1964)*. Dissertação (mestrado em economia) - Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1994.

INGRAM, D. R., The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form, *Regional Studies*, 5, pp. 101 – 107, 1971.

KOWARICK, L. A espoliação urbana. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

LESSA, D. A.; ABREU, B. R. A.; LOBO, Carlos; CARDOSO, L.. A mobilidade por automóvel em Belo Horizonte/MG: cenários e projeções. In: *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife/PE*, 2017.

LOBO, C.; CARDOSO, L. ; MATOS, R. E. S. Mobilidade pendular e a centralidade espacial na Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: *XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, 2008, Caxambú/MG. *Anais XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, p. 1-22, 2008.

LOBO, C.; CARDOSO, L.; MATOS, R. E. S. Transporte coletivo em Belo Horizonte: a eficiência de acessibilidade com base na Pesquisa Domiciliar de Origem e Destino. In: *4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*, 2010. Faro. *Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*, 2010.

LOBO C.; MATOS, R.; CARDOSO, L.; COMINI, L.; PINTO, G.; Expanded Commuting in the Metropolitan Region of Belo Horizonte: Evidence for Reverse Commuting. *Revista. Bras. Estudos Populacionais*, Rio de Janeiro, v. 32, n.2, p. 219-233, maio/ago. 2015

LOBO, C.; ALEXANDRINO, R.; PINTO, G. Mobilidade e Dispersão Espacial da População: Evidências com Base na Mobilidade Pendular Metropolitana. *Blucher Social Sciences Proceedings*, Volume 2, nº2, Jan.2016.

LOWRY, Ira S. A model of metropolis. Santa Monica, CA: Rand Corporation, 1964.

JAKEMAN, A.J.; LETCHER, R.A.; NORTON, J.P.. Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models. *Environmental Modelling and Software* 21, 602–614, 2006.

JAKEMAN, A.J.; VOINOV, A.A.; RIZZOLI, A.E.; & CHEN, S.H. (Eds.), *Environmental modelling, software and decision support: state of the art and new perspectives* (pp. 49-68). Amsterdam: Elsevier. (2008).

JONES, S.R. Accessibility measures: a literature review. *Transporte and Road Research Laboratory, Laboratory Report 967*, 1981.

MCNALLY, M. G. , RINDT, C. R. The Activity-Based Approach, In: David A. Hensher , Kenneth J. Button (ed.) *Handbook of Transport Modelling (Handbooks in Transport, Volume 1)* , pp.55 – 73, 2007.

MINAS GERAIS. Relatório consolidado Pesquisa Origem e Destino 2001-2002. Fundação João Pinheiro, 2003.

MIRANDA, G.C.; LOBO, C.; LESSA, D.A.; A mobilidade urbana e o transporte coletivo por ônibus em Belo Horizonte: cenários e projeções para 2022 e 2032. In: *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife/PE*, 2017.

MOURA, R.; BRANCO, M. L. G. C.; FIRKOWSKI, O. L. C. de F.; Movimento pendular e perspectivas de pesquisas em aglomerados urbanos. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 4, *Movimentos Migratórios nas Metrôpoles*. Fundação Seade, 2005.

NOVAES, A. G. Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 290 p., 1981.

PAULA, João A. de & MONTE-MÓR, Roberto L.; As três invenções de Belo Horizonte. In: *Anuário Estatístico de Belo Horizonte 2000*, s/p. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2001.

PEREIRA, R. H. M. e HERRERO, V. Mobilidade pendular: Uma proposta teórico-metodológica. Belo Horizonte: FACE/UFMG/IPEA, 2009.

RAIA JR., Archimedes Azevedo. *Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informação Geográficas*. São Carlos, 217p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

ROLNIK, R.; Klintowitz, D. (I) Mobilidade na cidade de São Paulo. *Estudos Avançados (USP. Impresso)*, v. 25, p. 89-108, 2011.

SILVA FILHO, N. G.; Mobilidade sobre trilhos: um estudo comparativo entre o sistema metroviário de Recife e o sistema metroviário de Belo Horizonte. Recife, 96p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

SOARES-FILHO, B. S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, Holanda, v. 154, n.3, p. 217-235, 2002.

SOARES-FILHO, B. S. Análise das Mudanças de Cobertura do Solo no Norte do Mato Grosso, Brasil. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, v. XII. p. 3357-3364, 2005.

SOUZA, J.M.; TEIXEIRA, J.G.; Desigualdade socioespacial e migração intra-urbana na Região metropolitana de Belo Horizonte 1980-1991. *Cadernos MetrÓpole*, São Paulo, v.1, p. 83-115, 1999.

UFMG; PUCMINAS; UEMG; SEDRU-MG. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte – PDDI-RMBH – Relatório Final. Belo Horizonte, 2011.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, (ST/ESA/SER.A/366), 2015.

VASCONCELLOS, E. A. Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas. 3ªed. – São Paulo: Annablume, 2000.

VASCONCELLOS, E. A.; CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. Transporte e mobilidade urbana. Brasília. CEPAL/IPEA, 2011.

VASCONCELLOS, E.A. Mobilidade cotidiana, segregação urbana e exclusão. In: Balbim, R.; Krause, C.; Linke, C. (Org.). *Cidade e movimento: mobilidades e interações no desenvolvimento urbano*. 1ed. BRASÍLIA: IPEA, v. 1, p. 57-79, 2016

VILLAÇA, Flávio. Espaço Intra-urbano no Brasil - São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 1998.

WACHS, M., Kumagai, T. G., Physical Accessibility as a Social Indicator. *Socio-Economic Planning Science*, 7, pp. 437-456, 1973.

WADDELL, P. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning, *Journal Of The American Planning Association* Vol. 68 , Iss. 3, p. 297-314, 2002.

WEGENER, M. Overview of land-use transport models. In: Henschler, D. A. & Button, K. (eds.) *Handbook in Transport*, Vol. 5: Transport Geography and Spatial Systems, pp 127-146. Kidlington, UK: Pergamon/Elsevier Science, 2005.

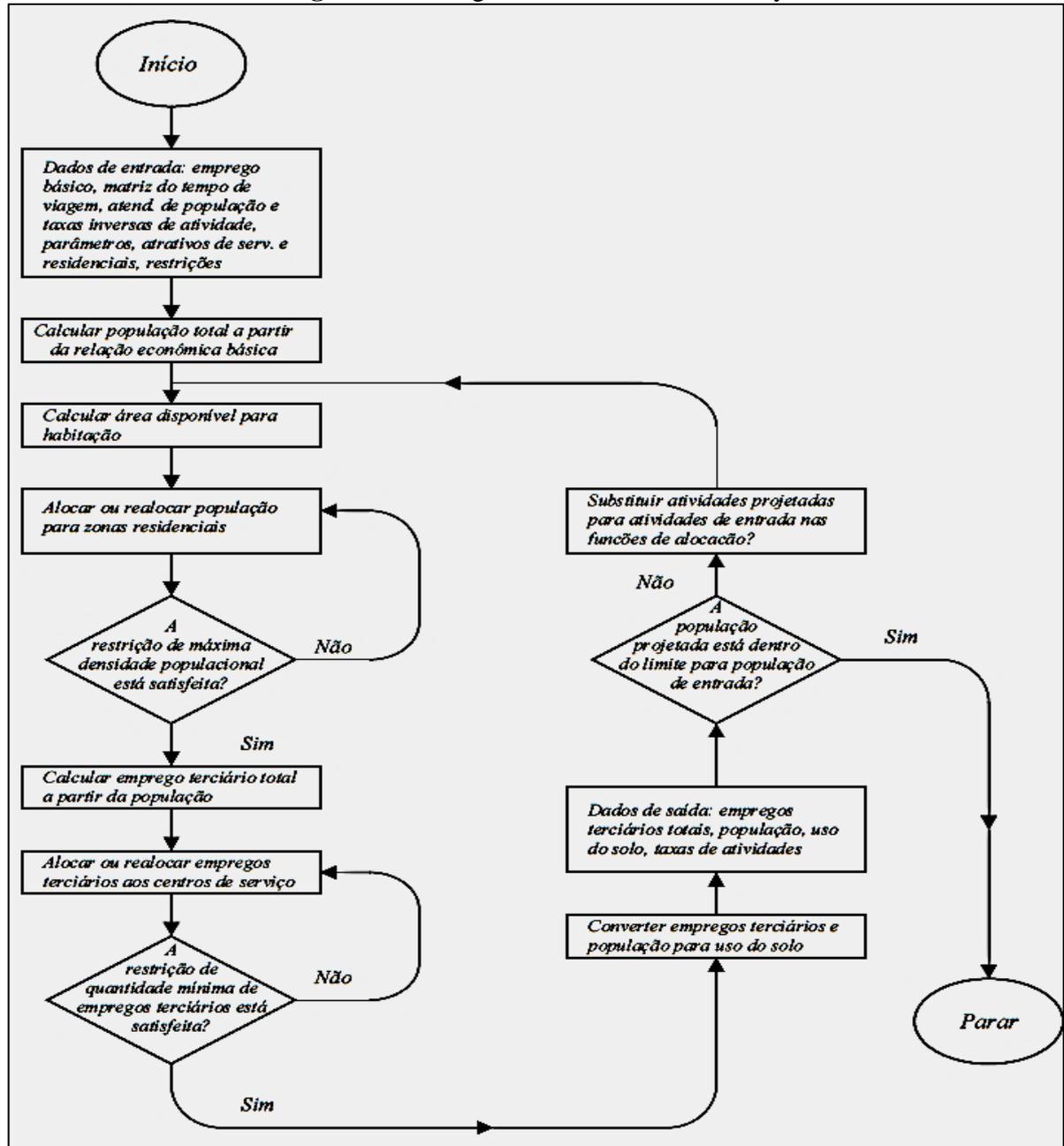
WERNECK, Leonardo Furquim. Contribuição de um modelo LUTI para o planejamento integrado em transportes e uso do solo na Região Metropolitana de Belo Horizonte. 102 p., 2015.

WINGO, L. Transportation and urban land. Washington, D. C.: Resources for the Future Inc., 1961.

ZANDONADE, P. ; MORETTI, R. S. . O padrão de mobilidade de São Paulo e o pressuposto de desigualdade. EURE (Santiago. Impresa), v. 38, p. 77-97, 2012.

Anexos

Figura 1: Fluxograma do modelo de Lowry



Fonte: Almeida (2003, p. 65).

Quadro 4: Compatibilização espacial dos campos das ODs de 2002 e 2012

| Campo 2012 | Nome 2012 | Campo correspondente em 2002 | Nome 2002 |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 265 | Funcionarios | 3 | Savassi |
| 3 | Savassi | 3 | Savassi |
| 264 | Santo Agostinho | 4 | Lourdes |
| 4 | Lourdes | 4 | Lourdes |
| 266 | Cruzeiro / Anchieta | 13 | Sion |
| 13 | Carmo - Sion | 13 | Sion |
| 267 | Baleia | 25 | Vera Cruz |
| 25 | Vera Cruz | 25 | Vera Cruz |
| 27 | Belvedere | 27 | Belvedere |
| 268 | Buritis | 27 | Belvedere |
| 262 | Palmares | 36 | Ipiranga / Santa Cruz |
| 36 | Ipiranga / Santa Cruz | 36 | Ipiranga / Santa Cruz |
| 263 | Gameleira | 43 | Dom Cabral |
| 43 | Dom Cabral | 43 | Dom Cabral |
| 61 | Bandeirantes | 61 | Ouro Preto/Bandeirantes |
| 259 | Ouro Preto - Eng Nogueira | 61 | Ouro Preto/Bandeirantes |
| 260 | Jardim Zoológico | 61 | Ouro Preto/Bandeirantes |
| 80 | Jardim Atlântico | 80 | Jardim Atlântico |
| 258 | Lagoa da Pampulha | 80 | Jardim Atlântico |
| 261 | Vilarinho | 81 | Planalto |
| 81 | Planalto | 81 | Planalto |
| 285 | Cercadinho | 88 | Olhos D'água |
| 88 | Olhos D'água | 88 | Olhos D'água |
| 116 | Ribeiro de Abreu | 116 | Ribeiro de Abreu |
| 257 | Isidoro | 116 | Ribeiro de Abreu |
| 114 | Serra Verde | 130 | Hipódromo |
| 114 | Serra Verde | 114 | Serra Verde |

Fonte: Elaboração própria.