

LEONARDO FURQUIM WERNECK

**CONTRIBUIÇÃO DE UM MODELO *LUTI* PARA O
PLANEJAMENTO INTEGRADO EM TRANSPORTES E USO
DO SOLO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: planejamento urbano

Orientador: Jupira Gomes Mendonça

Coorientador: Leandro Cardoso

Belo Horizonte

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

W492c

Werneck, Leonardo Furquim.

Contribuição de um modelo LUTI para o planejamento integrado em transportes e uso do solo na Região Metropolitana de Belo Horizonte [manuscrito] / Leonardo Furquim Werneck. - 2015.

102 f. : il.

Orientadora: Jupira Gomes de Mendonça

Coorientador: Leandro Cardoso.

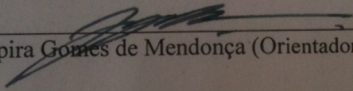
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

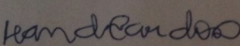
LEONARDO FURQUIM WERNECK

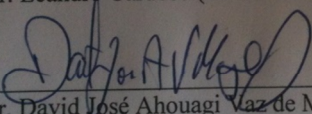
**CONTRIBUIÇÃO DE UM MODELO *LUTI* PARA O
PLANEJAMENTO INTEGRADO EM TRANSPORTES E USO
DO SOLO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE**

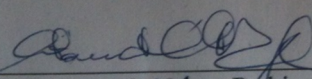
Comissão Examinadora

Dissertação defendida junto ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - NPGAU – da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, e aprovada em 23 de abril de 2015 pela Comissão Examinadora:


Professora Dra. Jupira Gomes de Mendonça (Orientadora - EA-UFMG)


Professor Dr. Leandro Cardoso (Coorientador - EE-UFMG)


Professor Dr. David José Ahouagi Vaz de Magalhães (EE-UFMG)


Professor Dr. Antônio Nelson Rodrigues da Silva (USP-São Carlos)

AGRADECIMENTOS

De maneira geral, a todas as instituições e órgãos que me auxiliaram direta ou indiretamente durante a elaboração desta dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Arquitetura da UFMG, pela acolhida depois de tantos anos distante da academia, e a cada um dos professores que ajudaram, em cada uma de suas disciplinas, a delinear esta pesquisa. Agradecimento especial a Silke Kapp, Natacha Rena e Roberto Luis de Melo Monte-Mor, pelos conteúdos apresentados, decisivos para o formato final deste trabalho.

À professora Jupira Gomes Mendonça, minha orientadora, que aceitou o desafio de caminhar de mãos dadas comigo pelo pantanoso terreno do planejamento de transportes. Obrigado pela dedicação e pela coragem.

Ao meu coorientador Leandro Cardoso, fundamental para que meu aprofundamento no planejamento de transportes fosse bem sucedido, fazendo a ponte perfeita entre o planejamento urbano, a geografia e os transportes. Obrigado pelo exemplo de serenidade, honestidade e pela inquestionável disponibilidade.

Aos colegas Lilian Bracarense, Nicolas Pupier, Adeandro de Castro, Thiago Pinho, Luiza Maciel, Clarisse Lessa, Gustavo Resgala e toda equipe da Religio, por aceitarem mergulhar comigo no estudo do planejamento integrado, através do TRANUS, sem o qual esta dissertação não se concretizaria.

Agradecimento especial aos “professores” Silvestre de Andrade e Eduardo Coelho, da TECTRAN, cujas orientações e exemplos foram muito além do cunho profissional. Obrigado pelo convívio e pelos exemplos de caráter e honestidade. O exemplo de alguém que se dedica a algo de forma genuína, fica para sempre.

Aos amigos Ronaldo Gouvea e Renato Ribeiro, responsáveis pelos meus primeiros passos no planejamento de transportes.

Ao meu filho Matias, a quem espero poder retribuir de forma lúcida, ao longo de minha vida, por tudo que vem me ensinando desde que se juntou a nós nesta aventura.

RESUMO

As disciplinas de planejamento de transporte e planejamento urbano são comumente abordadas de forma independente, a partir de metodologias e marcos teóricos distintos. A presente pesquisa parte do pressuposto de que, na verdade, esta distinção é não somente indesejável, como inadequada, na medida em que pode estar na raiz da configuração territorial segregadora e individualista que caracteriza as grandes cidades contemporâneas, sobretudo na América Latina. O planejamento integrado do uso do solo e dos sistemas de circulação e transporte deu seus primeiros passos nos primeiros anos da década de 1960, com as primeiras crises urbanas, e ganhou força a partir dos anos 1990, com o auxílio de ferramentas computacionais, como os sistemas de georreferenciamento, e com a consolidação de um marco teórico mais consistente. Muitos foram os *softwares* de planejamento integrado - os chamados *LUTI* - desenvolvidos nos últimos anos em todo o mundo, e alguns deles têm sido aplicados no contexto da América Latina. As últimas famílias dos modelos LUTI vêm se desenvolvendo no sentido da desagregação e das análises microscópicas, o que tem contribuído para a manutenção de um ambiente de desconfiança sobre sua aplicação prática, fora do ambiente acadêmico, em função da reconhecida deficiência que a modelagem de forma geral apresenta, principalmente no que se refere à sua capacidade prospectiva.

A presente pesquisa teve por objetivo principal analisar criticamente a utilização da modelagem LUTI (*software* TRANUS) em um ambiente de planejamento, isto é, avaliando sua aplicabilidade dentro do contexto de estudos e planos de desenvolvimento urbano. Assim, mais do que a análise dos resultados quantitativos da modelagem, desenvolvida para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, a pesquisa procurou indícios de aplicabilidade no contexto do desenvolvimento de políticas públicas setoriais, a partir de critérios como coerência e comunicabilidade dos resultados, diversidade de indicadores de análise e tempo necessário à montagem e calibração do modelo. Os resultados apresentados revelaram que as ferramentas LUTI podem ser bastante úteis no planejamento territorial, representando oportunidade efetiva de integração de políticas multidisciplinares, inerentes ao planejamento urbano contemporâneo.

Palavras-chave: planejamento, transportes, uso do solo, acessibilidade, LUTI, TRANUS

ABSTRACT

Transportation planning and the urban planning are commonly addressed as independent disciplines, from different methodologies and theoretical frameworks. This research assumes that, in fact, this distinction is not only undesirable, as inadequate, in that it may be the baseline of segregating and individualistic territorial configuration featuring large contemporary cities, particularly in Latin America. Integrated planning of land use and circulation and transportation systems took his first steps in the early years of the 1960s, with the first urban crises, and gained strength from the 1990s, with the aid of computational tools, such as GIS systems, and with the consolidation of a more consistent theoretical framework. Many were the integrated planning software - the so-called LUTI - developed in recent years around the world, and some of them have been applied in the context of Latin America. The latest LUTI families have been developing towards breakdown and microscopic analysis, which has contributed to the maintenance of an environment of mistrust about its practical application outside the research world, according to the recognized deficiency that modeling features in general, especially with regard to its prospective capacity.

This research was aimed to critically analyze the use of a LUTI model (TRANUS software) in a planning environment, that is, evaluating its applicability in the context of studies and urban development plans. Thus, more than the analysis of the quantitative results of the modeling, developed for the Metropolitan Area of Belo Horizonte, in Brazil, the study sought applicability evidences in the development of sectoral public policies based on criteria such as consistency and responsiveness of results, diversity of the indicators and time required for assembly and calibration of the model. The results presented showed that LUTI tools can be very useful in territorial planning, representing effective opportunity for integration of multidisciplinary policies, an inherent issue in contemporary urban planning.

Keywords: planning, transportation, landuse, acessibility, LUTI, TRANUS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O ciclo de retroalimentação transporte-uso do solo	16
Figura 2 – Focos da Mobilidade e da Acessibilidade no Planejamento de Transportes	17
Figura 3 – Inter-relações entre Acessibilidade, Mobilidade, Proximidade e Conectividade	21
Figura 4 – Modelos de Interação Espacial	22
Figura 5 – Modelos Econométricos	24
Figura 6 – Modelos de Microssimulação	25
Figura 7 – Matriz evolutiva dos Modelos LUTI	27
Figura 8 – Distância média percorrida anualmente por carros	30
Figura 9 – Referencial Teórico TRANUS	33
Figura 10 – Estrutura Básica TRANUS	34
Figura 11 – Interface modelos de Atividades e de Transportes	36
Figura 12 – Estrutura Geral do Sistema TRANUS	37
Figura 13 – Zoneamento Modelo LUTI RMBH	41
Figura 14 – Detalhe Quadro CENTROIDES Modelo LUTI RMBH	42
Figura 15 – Detalhe Quadro SETORES Modelo LUTI RMBH	42
Figura 16 – Índice de preços imóveis RMBH	45
Figura 17 – Funções de Demanda	47
Figura 18 – Comportamento Demanda de Tráfego Dia Típico	48
Figura 19 – Principais Características dos Operadores no TRANUS	52
Figura 20 – Principais Corredores Transporte Coletivo	55
Figura 21 – Entrada dados Cenário Tendencial	62
Figura 22 – Cenários Tendenciais e Fatores de Crescimento	63
Figura 23 – Ciclo de Programas e Sequência de Análise	64
Figura 24 – Trechos das linhas 2 e 3 do metrô de Belo Horizonte – Transporte Total	66
Figura 25 – Custos Transferência Inter e Intramodal – Transporte Total	67
Figura 26 – Rede de Centralidades	68
Figura 27 – Fatores de Atração Setor Indústria – Centralidades	69
Figura 28 – Intervenções Estruturantes – Integrado	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes Intersetoriais	46
Tabela 2 – Calibração funções de demanda pelo Setor Solo	47
Tabela 3 – Categorias (Motivos) de Viagem	50
Tabela 4 – Operadores de Transporte	52
Tabela 5 – Tipos de <i>links</i>	53
Tabela 6 – Viagens por Ônibus RMBH	54
Tabela 7 – Viagens por Operador Modelo LUTI RMBH	57
Tabela 8 – Calibração: Motivos Viagem	59
Tabela 9 – Calibração: Divisão Modal	59
Tabela 10 – Viagens Geradas e Divisão Modal OD 2002/2012	60
Tabela 11 – Viagens e Divisão Modal Cenário Intermediário	61
Tabela 12 – Impacto Econômico 22A/22B	78
Tabela 13 – Impacto Econômico 22A/22C	79
Tabela 14 – Impacto Econômico 22A/22D	80
Tabela 15 – Concentração de Atividades – Baixa Renda	81
Tabela 16 – Concentração de Atividades – Serviços	82
Tabela 17 – Número Total de Viagens por Cenário e por Categoria	83
Tabela 18 – Número Total de Viagens Suprimidas por Cenário e por Categoria	84
Tabela 19 – Tempo Médio de Viagem por Cenário e por Categoria	85
Tabela 20 – Tempo de Espera Médio por Cenário e por Categoria	85
Tabela 21 – Distância Total Percorrida por Cenário e por Categoria	86
Tabela 22 – Distância Média Percorrida por Cenário e por Categoria	87
Tabela 23 – Desutilidade Sistema de Transportes, por Cenário e por Categoria	88
Tabela 24 – Viagens com Destino à Área Central da RMBH, por cenário	89
Tabela 25 – Viagens de Atravessamento da Área Central da RMBH, por cenário	91
Tabela 26 – Viagens Internas, por cenário	92
Tabela 27 – Índices Congestionamento Sistema Viário, por cenário	93
Tabela 28 – Índices Congestionamento Sistema Viário Área Central, por cenário	94
Tabela 29 – Preço Médio Setor Solo, por cenário e região	95

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1 – A MODELAGEM INTEGRADA TRANSPORTE E USO DO SOLO.....	22
1.1. Histórico.....	22
1.1. Perspectivas da Modelagem.....	28
CAPÍTULO 2 – A MODELAGEM TRANUS	31
2.1. A opção pelo TRANUS	31
2.2. A Estrutura do TRANUS	32
2.3. A Proposta de Modelagem.....	38
2.4. Cenário Base: Modelo de Atividades.....	39
2.5. Cenário Base: Modelagem Sistema de Transportes.....	48
2.6. Testes de Calibração	56
2.7. Cenário Intermediário	60
CAPÍTULO 3 – CENÁRIOS PROSPECTIVOS.....	62
3.1. Cenário Tendencial	62
3.2. Cenários Prospectivos	64
3.3. A Proposta de Cenários Prospectivos	65
3.3.1. Justificativas.....	65
3.3.2. Premissas.....	65
3.4. Indicadores de Avaliação	71
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CENÁRIOS.....	77
4.1. Impacto Econômico (análise custo/benefício)	77
4.2. Concentração de Atividades.....	81
4.3. Viagens Totais	83
4.4. Viagens Suprimidas	83
4.5. Tempo Médio de Viagem	84
4.6. Tempo de Espera Médio	85
4.7. Distância Total Percorrida	86
4.8. Distâncias Médias Percorridas	87
4.9. Desutilidades Médias	88

4.10.	Viagens com Destino à Área Central.....	89
4.11.	Atravessamento da Área Central.....	90
4.12.	Viagens Internas (às regiões periféricas e ao Centro).....	91
4.13.	Índice de Congestionamento.....	93
4.14.	Índice de Congestionamento das Vias Centrais de Belo Horizonte.....	94
4.15.	Preço Setor Solo.....	94
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		102

APRESENTAÇÃO

Henri Lefebvre, em *O Direito à Cidade* (1968), destaca que a sociedade urbana contemporânea se caracteriza pelo anseio a um conjunto de necessidades individuais, sociais e específicas. As primeiras, manipuladas pelo foco na produção e reprodução da sociedade de consumo e de acumulação, são objetos de razoável investigação dentro do campo das ciências sociais e políticas. O autor destaca, entretanto, que as duas últimas categorias carecem de melhor compreensão e apreensão, por se tratarem da essência desta sociedade e do papel da cidade enquanto *locus* de sua estruturação. São as necessidades básicas que permitem à sociedade urbana apreender o mundo onde está inserida, compreender a si mesma e estabelecer estratégias alternativas para sua transformação e evolução. São necessidades opostas e ao mesmo tempo complementares, como a segurança e a abertura, a certeza e o risco, a previsibilidade e o imprevisto, enfim, “o ver, ouvir, tocar, degustar, e a necessidade de reunir estas percepções num ‘mundo’”. Para o autor, estas necessidades constituem um direito da sociedade urbana contemporânea, o direito de acesso à cidade enquanto espaço da práxis renovadora, transformadora.

O exercício pleno deste direito depende, entretanto, dentre diversos outros fatores, das condições gerais de acesso à cidade em sua dimensão física, locais onde os contatos, os confrontos, as trocas e os usos se dão na vida cotidiana. Neste sentido, a acessibilidade passa a ser medida de inserção e condicionante ao processo de transformação e evolução da sociedade urbana.

Atualmente, nos contextos econômico e político brasileiros, o Estado tem papel fundamental na estruturação do território. Através de sua estrutura de gestão e sob a orientação de suas equipes técnicas são desenvolvidos os planos, os projetos e os investimentos que dotam a cidade de equipamentos e que assim, direta ou indiretamente, consciente ou inconscientemente, condicionam seus níveis gerais de acessibilidade. Sem entrarmos, aqui, no debate sobre a concepção do Estado e de sua estrutura ideológica admite-se, no contexto desta pesquisa, ser sua a atribuição de dotar a cidade de equipamentos e sistemas estruturais de acesso universal, através de políticas públicas de gestão do uso do solo e dos sistemas de transportes.

Há, entretanto, entraves que vêm, historicamente, dificultando, ou desvirtuando, a atuação do Estado enquanto este gestor primeiro do espaço urbano. Os que remetem ao escopo desta pesquisa são de ordem organizacional, por um lado, e conceitual, por outro, e os dois têm relação causal direta. Do ponto de vista organizacional / operacional, nas últimas décadas, tanto em nível metropolitano como municipal, as gestões do território e do sistema de transportes no Estado de Minas Gerais são atribuições de instituições distintas e nem sempre alinhadas, gerando um descompasso em suas ações com efeitos quase sempre negativos sobre o território e, conseqüentemente, sobre a dinâmica social.

Adicionalmente, e muito mais importante, há a questão conceitual que permeia o atual modelo de planejamento destas duas disciplinas, ou o modelo de cidade oculto por este planejamento. As políticas públicas de impacto sobre a estruturação do território e que

caracterizam historicamente o planejamento urbano brasileiro, têm dado provas sistemáticas de que, quando existem, trabalham pela validação de um modelo de cidade que privilegia basicamente a reprodução das condições básicas de produção e acumulação do sistema econômico preponderante. Neste cenário, o Estado toma para si, quando muito, apenas a responsabilidade sobre a gestão dos bens de consumo (individual, coletivo e produtivo), deixando para a livre regulação das forças de mercado da iniciativa privada a produção própria do espaço na cidade, o que termina inexoravelmente por contribuir para a criação de um ambiente urbano voltado basicamente para o consumo, tendendo invariavelmente à lógica individualista, à homogeneização e à segregação socioespacial. Obedecendo à mesma lógica, as políticas de transporte aparecem como um suporte a este modelo de cidade-mercadoria-consumo, mantendo seu foco no gerenciamento da oferta de uma rede de transportes e na manutenção das condições básicas de mobilidade e acessibilidade que garantam o fluxo de consumidores de bens individuais ou coletivos, bem como o fluxo de mercadorias e matérias-primas. Assim, não seria, aqui, característica natural das políticas de transporte o questionamento da estrutura territorial posta, mas apenas a sua validação através de um sistema que permita às demandas já instituídas se deslocar espacialmente, no menor tempo possível. Nesta linha, do ponto de vista do deslocamento de pessoas, o sistema de circulação e transportes não se questiona sobre a estrutura da demanda existente e não se permite como estruturador de uma eventual demanda reprimida ou potencial.

Aqui chegamos, talvez, ao primeiro pressuposto desta pesquisa: práticas de planejamento urbano em geral, e de uso do solo e dos transportes em particular, só se justificam se estiverem trabalhando no sentido de contribuir, de forma complementar, para a construção de um ambiente urbano propício à transformação social. Um ambiente universalmente acessível, dentro do qual a população encontre condições básicas para sua satisfação enquanto indivíduo e enquanto sociedade, seja na forma de um conjunto de atividades, de equipamentos urbanos coletivos, seja nas condições gerais de mobilidade, seja na possibilidade de ampla apropriação e fruição deste espaço urbano. A cidade como palco para a leitura pelo ‘*homem lento*’, em uma acepção ampla do conceito inaugurado por Milton Santos (1996).

Neste sentido, o objetivo principal da pesquisa, em uma tentativa de contribuição para a aplicação prática destes conceitos, preconiza o chamado “planejamento integrado”, aquele em que políticas de gestão dos padrões de uso e ocupação do solo caminham de mãos dadas com aquelas de estruturação dos sistemas de circulação e transportes. Tal abordagem se viabilizou pela aplicação e avaliação crítica de uma ferramenta computacional de modelagem deste sistema integrado: *softwares* da “família” LUTI (*Land Use Transport Interaction*), que buscam basicamente a integração da condicionante “uso do solo”, ou “atividades”, aos tradicionais modelos de simulação de sistemas de transporte, amplamente utilizados na engenharia de tráfego desde os anos 1940¹.

A hipótese levantada por esta pesquisa é a de que ferramentas como os *softwares* LUTI apresentam uma importante oportunidade para a efetiva implantação da prática de planejamento integrado dentro das políticas de transportes e uso do solo (planos diretores

¹ Um histórico mais detalhado do desenvolvimento dos modelos LUTI é apresentado no Capítulo 1

urbanos, planos de mobilidade, projetos urbanísticos etc.), na medida em que permitem o trabalho conjunto entre as duas disciplinas desde as etapas de montagem e calibração dos modelos. Assim, o que se pretende como objetivo específico ao longo deste trabalho é avaliar a ‘viabilidade’ da utilização deste tipo de ferramenta no momento de construção destas políticas, de forma integrada, a partir dos seguintes critérios:

- *Coerência* – muito embora a precisão dos resultados não seja o foco principal da pesquisa, como se verá, é importante que seus resultados apresentem certo grau de coerência com as intervenções que se pretendem simular, como forma de avaliar a confiabilidade na ferramenta;
- *Universo de Indicadores* – adaptação da ferramenta às análises que se pretendem, através da tradução dos resultados da modelagem em um universo de indicadores suficientemente variados e compatíveis com as práticas de planejamento corrente;
- *Comunicabilidade* – avaliação se seus resultados são de fácil compreensão por analistas e, sobretudo, pelo universo de atores usualmente envolvidos na construção destas políticas e planos (administradores públicos, técnicos das mais diversas disciplinas, representantes da sociedade etc.);
- *Tempo* – verificar se a construção e a análise dos resultados destes modelos demanda um cronograma compatível com aquele usualmente dedicado à elaboração dos planos exemplificados, e se as informações necessárias como dados de entrada são de fácil reunião.

A presente pesquisa se estrutura da seguinte forma: um capítulo de **Introdução**, onde é apresentado e detalhado o conceito mais importante por trás da modelagem integrada: o da acessibilidade. Fez-se necessária esta introdução na medida em que os conceitos de acessibilidade e mobilidade são comumente confundidos ou fundidos, na prática de planejamento atual, muito embora tenham significados bastante distintos. Soma-se a isto o fato de ser a acessibilidade o conceito que une, do ponto de vista da arquitetura de um *software* LUTI, os dois sistemas de um modelo integrado (transportes e atividades econômicas), sendo portanto, imprescindível sua compreensão para uma correta apreensão dos mecanismos de construção da modelagem e de seus resultados.

O **Capítulo 1** discorre sobre o histórico do desenvolvimento dos modelos LUTI, bem como sobre suas perspectivas de desenvolvimento, elencando os principais *softwares* utilizados e validados ao longo das últimas décadas em todo o mundo.

O **Capítulo 2** se dedica à montagem do que se convencionou chamar, nesta pesquisa, Modelo LUTI RMBH, ou o modelo integrado para a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Neste capítulo são explicadas as razões para escolha do *software* aplicado, o TRANUS, sua

arquitetura e estrutura, bem como cada uma das etapas para a construção, calibração e validação do Cenário Base do Modelo.

O **Capítulo 3** aborda os cenários ‘prospectivos’, isto é, os cenários construídos dentro do Modelo para análise crítica dos impactos gerados, em uma simulação para os anos de 2018 e 2022, das intervenções de transporte sobre a dinâmica de uso do solo, e vice versa. O capítulo detalha as premissas para a construção de cada um dos cenários propostos, bem como a lista de indicadores escolhidos para a elaboração das análises dos resultados.

O **Capítulo 4** é dedicado inteiramente às análises comparativas entre os resultados de cada um dos cenários desenvolvidos. As análises são feitas para cada um dos indicadores, tendo-se sempre em foco seu embasamento a partir do cruzamento dos resultados de dois ou mais indicadores, já em um exercício de análise de coerência dos resultados.

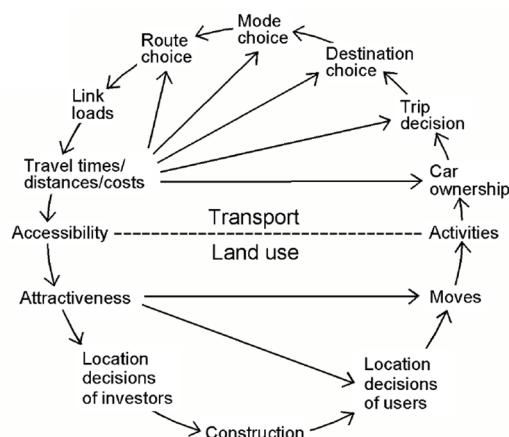
O **Capítulo 5** é um capítulo de conclusões e recomendações, tanto no que se refere às respostas aos questionamentos destacados acima, como também às contribuições da pesquisa para a prática da modelagem, de sua calibração ao formato de apresentação dos resultados.

INTRODUÇÃO

“Accessibility is a slippery notion (...) one of those common terms which everyone uses until faced with the problem of defining and measuring it” (Gould, 1969, p. 64)²

As viagens que se multiplicam e se concatenam todos os dias em diversos pontos do nosso cada vez mais urbanizado planeta, são demandas derivadas (Barra, 1989). Isto quer dizer que é a necessidade de cumprimento ou o desejo de participação em atividades dispersas espacialmente sobre o território urbano que está na origem dos deslocamentos físicos de nossas populações (Arruda, 2005). A localização e a oferta destas atividades em relação a um indivíduo, confrontadas por um conjunto de restrições de natureza socioeconômica (como tempo, renda, posição na estrutura familiar) e, sobretudo, pela oferta de infraestrutura de transportes, determinam o padrão de deslocamentos deste indivíduo no espaço e no tempo. Mais do que dependentes, tratam-se, transportes e uso do solo de disciplinas com relação cíclica, pois alterações nos padrões de ocupação territorial têm impacto direto sobre a composição das atividades supostamente ao alcance deste indivíduo, e consequentemente tendem a alterar seu padrão de viagens (deslocamentos), o que exige adequação da infraestrutura de transportes a esta nova demanda. De forma análoga, alterações na oferta de infraestrutura de transportes podem limitar ou multiplicar o acesso deste indivíduo às atividades dispersas sobre o território (Kelly 1994 – apud Iacono et al., 2008). O amálgama que une estas duas disciplinas é a acessibilidade, que define as condições de acesso à determinada atividade com relação às atividades semelhantes (concorrentes) distribuídas espacialmente sobre o território. Von Thunen, Weber, Christaller, Losch e todo o subsequente desenvolvimento da aplicação da teoria econômica sobre a localização de atividades embasam o argumento de que, usualmente, famílias procuram fixar residência maximizando acesso a oportunidades, como escola, emprego e compras. Por outro lado, empresas procuram se instalar em áreas de fácil acesso tanto à mão de obra quanto ao mercado consumidor, minimizando custos e maximizando benefícios (Iacono et al., 2008). Em suma, características ligadas aos padrões de uso do solo no entorno da região de residência ou trabalho têm forte influência sobre a escolha dos destinos de viagens (Pitombo, 2007). Não se pode avançar sobre as análises e aplicações de modelos computacionais integradores de políticas de uso do solo e de transportes, os modelos LUTI objetos da presente pesquisa, sem a adequada compreensão do conceito de acessibilidade aqui aplicado, cuja figura a seguir começa a identificar, quando ilustra o ciclo de retroalimentação existente entre a disponibilidade de infraestrutura de circulação e transportes e as decisões sobre a localização de atividades econômicas e residências.

² “Acessibilidade é um termo escorregadio (...) um daqueles banais, que todos usam, até se verem confrontados com o desafio de defini-lo e mensurá-lo” (tradução livre)



Fonte: (Wegener, 2004, p. 3)

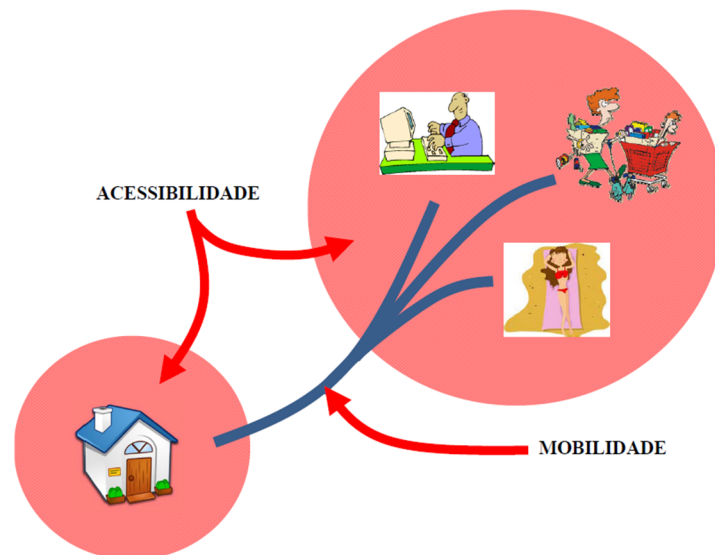
Figura 1 – O ciclo de retroalimentação transporte-uso do solo

A acessibilidade, seus conceitos, aplicações, inter-relações e impactos, tem sido objeto de intenso debate entre pesquisadores e profissionais das mais diversas disciplinas desde o início da segunda metade do século XX. Geógrafos, arquitetos, engenheiros, cientistas sociais e filósofos apresentam diferentes conceitos e perspectivas de análise sobre a acessibilidade, mas se alinham na compreensão de que se trata de conceito cada vez mais relevante dentro das dinâmicas espacial, urbana e social contemporâneas. Nas ciências ligadas à organização do espaço urbano, como o planejamento urbano e de transportes, as análises relativas às condições gerais de acessibilidade vêm se multiplicando nas últimas três décadas, seja na academia ou dentro das instituições públicas, como resposta ao contínuo e amplo processo de degradação das condições urbanas, em especial no que se refere aos seus impactos socioeconômicos (segregação física e econômica, desequilíbrio social), e ao papel central que ocupam os transportes e a dinâmica de uso e ocupação do solo urbano na estruturação socioespacial da metrópole contemporânea (Cardoso, 2007).

Entretanto, a perspectiva predominante de abordagem da acessibilidade dentro do planejamento urbano e de transportes apresenta distorções importantes, que merecem ser destacadas e, eventualmente, realinhadas, sob o risco de estar, ao contrário do que se pretende, apenas contribuindo para a validação e fomento de um modelo de ocupação do território que perenizará – ou aprofundará – as condições de desequilíbrio social e econômico destacadas acima (Jacobs, 1961, Harvey, 1981, Friedmann, 2003). Nesse sentido, é essencial, em primeiro lugar, separar os conceitos de acessibilidade e mobilidade, frequentemente tratados como sinônimos, ou complementares, sobretudo dentro do planejamento de transportes. A mobilidade, de acordo com definições clássicas de dicionários³, é ‘qualidade ou propriedade do que é móvel, ou que obedece às leis do movimento’. Aplicado ao planejamento de transportes é natural que o conceito gere uma análise predominante sobre o movimento, ou sobre os *links* da rede, aquilo que ocorre entre o ponto de origem e o ponto de destino de uma

³ DICIONÁRIO AURÉLIO, 1999; OXFORD, 2005.

viagem, isto é, no trajeto (Figura 2). A acessibilidade, por sua vez – ainda de acordo com os dicionários – é ‘qualidade de ser acessível; facilidade na aproximação, no trato ou na obtenção; qualidade daquilo a que se pode chegar facilmente, que fica ao alcance’. Aplicando-se raciocínio semelhante, a acessibilidade corresponderá a esta definição se gerar uma análise mais pontual, predominantemente sobre as origens e destinos dos deslocamentos, sobre os pontos de início e fim das viagens, isto é, sobre os *nós* da rede.



Fonte: elaboração própria

Figura 2 – Focos da Mobilidade e da Acessibilidade no Planejamento de Transportes

A distinção entre estes dois conceitos é essencial para as análises que se pretendem, pois a perspectiva a partir da qual se analisa um problema tem efeito direto sobre as potenciais conclusões. Especificamente no que se refere ao planejamento de transportes e de uso do solo, a ausência desta distinção está na base daquilo que se pode caracterizar como uma falha das políticas públicas e dos planos de intervenção sobre o ambiente urbano. Mais precisamente no Brasil, os dois conceitos têm se confundido, contribuindo para uma compreensão incorreta do que se pretende como resultado das políticas públicas nacionais e, conseqüentemente, de suas métricas de avaliação e aprimoramento. Por um lado, a Lei Federal 12.587/12, que dispõe sobre a Política Nacional de Mobilidade Urbana, em seu artigo 4º, apresenta, dentre outras, as seguintes definições:

“II – mobilidade urbana: condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano;

III – acessibilidade: facilidade disponibilizada às pessoas que possibilite a todos autonomia nos deslocamentos desejados, respeitando-se a legislação em vigor;”

As definições, embora bastante genéricas, parecem corroborar com a diferenciação entre movimento (‘deslocamentos’) e acesso (‘facilidade disponibilizada às pessoas’). Entretanto, ao analisar os demais artigos da Lei e, sobretudo, o Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana (Brasil, Ministério das Cidades, 2007), que integra a Política Nacional de Mobilidade Urbana, percebe-se que a expressão mobilidade se enquadra, como se verá, na abordagem que se pretende no âmbito deste trabalho, à acessibilidade. Em sua página 41, o Caderno define mobilidade como:

“um atributo associado às pessoas e aos bens; corresponde às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de deslocamento, consideradas as dimensões do espaço urbano e a complexidade das atividades nele desenvolvidas”, ou, mais especificamente: “a mobilidade urbana é um atributo das cidades e se refere à facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano. Tais deslocamentos são feitos através de veículos, vias e toda a infraestrutura (vias, calçadas, etc.)... É o resultado da interação entre os deslocamentos de pessoas e bens com a cidade.” (Brasil, Ministério das Cidades, 2007, p. 41)

Em sua página 42 o Caderno define acessibilidade como:

“a condição do indivíduo se movimentar, locomover e atingir um destino desejado, ‘dentro de suas capacidades individuais’, isto é, realizar qualquer movimentação ou deslocamento por seus próprios meios, com total autonomia e em condições seguras, mesmo que para isso precise se utilizar de objetos e aparelhos específicos.” (Brasil, Ministério das Cidades, 2007, p. 42)

Dentro da Política Nacional de Mobilidade Urbana, portanto, subentende-se a acessibilidade a partir de uma abordagem mais restritiva do que aquela que aqui se propõe, focada especificamente na preocupação em garantir acesso físico universal, guiando políticas no sentido de eliminar barreiras que dificultem, ou impeçam a realização de atividades cotidianas por pessoas com dificuldades de locomoção, em função de restrições de ordem fisiológica. Neste trabalho, entretanto, optou-se pelo alinhamento de conceitos com grande parte da produção científica internacional (Hansen, 1959, Mondschein et al., 2008, Litman, 2013, Ross, 2000, Levinson et al., 2009, Krizek et al., 2012) que, também por uma questão de semântica e baseada em preceitos etimológicos, associa mobilidade a movimento, e acessibilidade às origens e destinos dos deslocamentos.

Políticas e análises embasadas no conceito de mobilidade – movimento – tendem naturalmente a focar sua atenção no desempenho (*performance*) dos sistemas de transporte, medido em função de variáveis quantitativas como a velocidade média do tráfego, o número de passageiros transportados, o tempo de atraso em função de filas, o nível de serviço do sistema viário, entre outros. Tratam-se de variáveis de fácil mensuração e compreensão, tanto pelos agentes públicos como pelo público em geral, o que também explica sua ampla difusão, e aceitação quase universal (Herce, 2009). São corriqueiros, atualmente, noticiários avaliando as condições gerais de mobilidade nas cidades baseados na mensuração da extensão total dos congestionamentos, ou no tempo necessário para se deslocar entre o trabalho e a volta para

casa, seja nos horários de pico cotidianos ou em vésperas e finais de feriados. Baseadas nestes princípios, parece natural que as soluções propostas visem principalmente ao aumento da velocidade média dos deslocamentos como forma de reduzir os tempos totais de viagem e, assim, dar cabo dos problemas de mobilidade: aumento da capacidade de escoamento de tráfego do sistema viário, através de sua expansão (incremento de faixas de circulação, construção de túneis, viadutos e pontes), de alterações nos planos de circulação ou da reprogramação semaforica; criação de corredores exclusivos para o tráfego do transporte coletivo; implantação de sistemas de transporte de maior capacidade (BRT⁴, metrô, VLT⁵). Esta tem sido a abordagem predominante no planejamento de transportes desde o início do último século, e é natural que, se se pretende reduzir os tempos de deslocamento, o automóvel se destaque como o mais eficiente meio de transporte, pois, além de rápido, ele é prático, confiável, confortável e goza de grande prestígio social (Herce, 2009).

A princípio – e este tende a ser talvez um dos principais motivos da corriqueira indistinção entre os dois conceitos – um incremento nas condições gerais de mobilidade gera incremento direto na acessibilidade, pois, quanto mais velozes os deslocamentos mais facilmente se atingem os destinos e, conseqüentemente, mais atividades podem ser realizadas dentro do mesmo intervalo de tempo. Entretanto, esta afirmação só é válida se todas as demais variáveis permanecerem constantes: nível de serviço dos sistemas de circulação e transporte (coletivo e individual), divisão modal, frota de veículos, uso do solo, entre outras (Levine et al., 2009). De fato o que ocorre é que o incremento da mobilidade – ou de velocidade – dos modos de transporte motorizados tende a impactar negativamente a mobilidade de outros modos, como as bicicletas ou os deslocamentos a pé, como tornam evidentes intervenções como pontes (‘Estaiada’ em São Paulo, ou Rio-Niterói), elevados (Complexo da Lagoinha, em Belo Horizonte), viadutos ou mesmo os grandes corredores viários ou de transporte coletivo, onde o fluxo de viagens não motorizadas sofre consideráveis restrições, ou mesmo interdições explícitas. Adicionalmente, exemplos recentes evidenciam que um incremento de velocidade nos deslocamentos cria condições para que origens e destinos passem a se localizar em pontos cada vez mais distantes, o que, em uma perspectiva de longo prazo, leva a um paradoxo: um incremento na mobilidade tende a resultar em maior tempo de deslocamento e, conseqüentemente, maiores custos diretos e indiretos, e não o contrário (Ewing & Cervero, 2010, Mokhtarian & Salomon, 2000). Fica claro, portanto, que um incremento contínuo das condições gerais de mobilidade se torna inviável, e mesmo indesejável, se se parte de uma perspectiva mais ampla (Levine et al., 2009). Há, por fim, uma série de externalidades que não costumam ser levadas em consideração quando das análises baseadas na mobilidade, como as deseconomias de aglomeração geradas pelos congestionamentos, poluição, risco de acidentes, consumo de combustível, além dos impactos negativos de natureza socioeconômica que recaem sobre as populações que não participam diretamente desta dinâmica de deslocamentos. A não inclusão destas externalidades nas análises de desempenho das políticas baseadas em mobilidade urbana tende a mascarar seus resultados, pois terminam por supervalorizar impactos positivos diretos, como aumento da velocidade média do tráfego, na medida em que

⁴ Do inglês: *Bus Rapid Transit*

⁵ Veículo Leve sobre Trilhos

ignoram externalidades negativas, como as acima citadas (Victoria Transport Policy Institute, 2010, Litman, 2012).

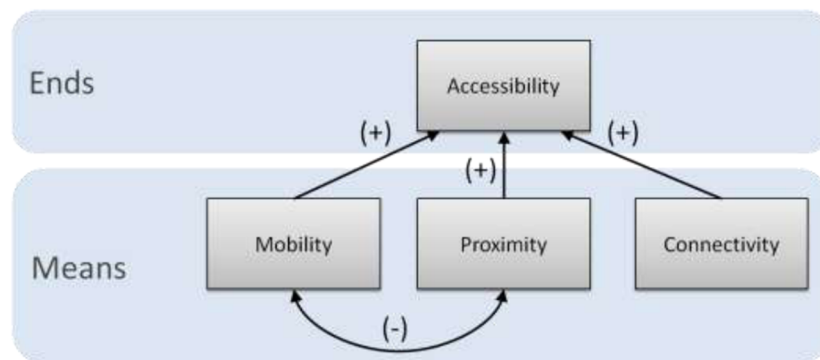
Em contraponto, o planejamento urbano e de transportes baseado na acessibilidade possibilita aos atores envolvidos e, sobretudo, aos gestores públicos, apreender o cenário como um todo. De início, cabe ressaltar que o acesso é o objetivo primeiro do deslocamento, uma vez que praticamente todas as viagens têm como fonte geradora uma atividade específica a ser realizada pelo viajante, um motivo para que ela ocorra (Hansen, 1959). O deslocamento em si, assim, não é o mais relevante, mas a conclusão da atividade à qual se propôs (ou à qual se vê impelido a realizar) o viajante (Ross, 2000). O foco das análises baseadas na acessibilidade, portanto, passa a ser a facilidade com a qual determinado indivíduo (ou grupo de indivíduos) efetiva ou potencialmente realiza determinada atividade.

Acessibilidade refere-se, assim, à facilidade no alcance de mercadorias, serviços, atividades e destinos, ou o que se pode chamar de ‘oportunidades’ (Litman, 2013); é a medida do potencial de interação e trocas sociais (Hansen, 1959); acessos a bens e serviços, bem como à família, aos amigos e à comunidade em geral, como uma dimensão fundamental do que poderia significar a expressão ‘qualidade de vida’ (Geurs, 2006). Do ponto de vista econômico, acessibilidade é o elo que permite aos consumidores acessarem produtos, empregados ocuparem vagas no mercado de trabalho, profissionais se conectarem aos seus clientes. A acessibilidade é, portanto, conceito-chave dentro do planejamento urbano e de transportes, e deve estar na base de políticas públicas de gestão integrada do território e dos sistemas de circulação e transportes. De fato, como já ressaltado, a acessibilidade é o que conecta os subsistemas de transporte e uso do solo nos modelos de análise integrada, como será visto em mais detalhes nos próximos capítulos desta pesquisa.

A mudança de paradigma, de uma abordagem baseada na mobilidade para aquela baseada na acessibilidade, permite que distintas intervenções sobre os sistemas de circulação e transportes sejam consideradas, uma vez que o incremento de velocidade e a redução dos congestionamentos ou dos tempos de viagem deixam de ser seus objetivos isolados (Litman, 2013). O foco passa a ser o de disponibilizar ao usuário o máximo de tempo e de recursos em seus destinos (Geurs, 2006), ou maximizar as oportunidades de interações sociais e econômicas (Hansen, 1959). Neste sentido, deslocamentos não motorizados (bicicletas e a pé) – menos velozes mas de maior valor relativo – passam a ser valorizados, bem como alteração dos padrões de uso e ocupação do solo, o que permitiria, por exemplo, a execução de um diversificado conjunto de atividades dentro de uma mesma área pela qual se possa caminhar, reduzindo a necessidade de deslocamentos motorizados.

Estas afirmações podem levar a uma compreensão quase antagônica das duas abordagens, e há efetivamente autores que as contrapõem frontalmente, enfatizando os efeitos negativos que a abordagem baseada na mobilidade gera sobre os níveis de acessibilidade geral nas metrópoles (Herce, 2009), e apontando as correlações negativas verificadas entre mobilidade e vários dos fatores geralmente associados à acessibilidade, como densidade construtiva e populacional, participação dos transportes públicos na divisão modal, possibilidades de utilização de modos não motorizados, entre outros (Handy et al., 2005, Ewing

& Cervero, 2010, Levine et al., 2009). Há, entretanto, uma relação positiva entre os dois conceitos, pois é inegável que uma redução nos tempos de deslocamento – maior mobilidade – cria condições para um incremento na acessibilidade. Nesse sentido, a mobilidade poderia se caracterizar como um dos ‘meios’ para se atingir o objetivo maior, o acesso. Outros poderiam ser citados, como a proximidade e a conectividade (Levine et al., 2009). As inter-relações entre estes quatro conceitos – mobilidade, acessibilidade, proximidade e conectividade – auxiliam na compreensão de suas contribuições, evidenciando, inclusive, que a discussão sobre a forma ideal das cidades acessíveis não deve ser simplificada: áreas de baixa densidade e fácil deslocamento ou áreas mais adensadas e de deslocamentos mais lentos? Proximidade física ou conectividade tecnológica? Qual o padrão mais acessível?



Fonte: (Levine et al., 2009 – p.2)

Figura 3 – Inter-relações entre Acessibilidade, Mobilidade, Proximidade e Conectividade

A acessibilidade é, portanto, o amálgama que conecta os sistemas de circulação e transportes e os padrões de uso do solo, e por isso sua análise tem um papel central no desenvolvimento de políticas de gestão territorial. Por um lado, o uso do solo, as atividades humanas, as funções, edifícios e atividades, geram – ou estimulam – necessidades ou oportunidades de deslocamento e a movimentação de mercadorias através dos sistemas de transporte, que rompem as barreiras da distância física. Por outro lado, é a disponibilidade, quantidade e localização da infraestrutura de transportes que viabiliza e maximiza as interações espaciais. Esta relação é o produto das análises de acessibilidade territorial, que servirá como subsídio para a otimização e racionalização da localização de empresas, comércios e serviços, bem como contribuirá para a tomada de decisão sobre a localização de residências e equipamentos públicos coletivos (Handy et al., 2005, Levinson et al., 2009). E é esta a proposta central dos modelos integrados (LUTI) de planejamento de transporte e uso do solo, na medida em que possibilitam uma análise mais abrangente das políticas de gestão territorial, colocando sua problemática sob uma mesma perspectiva e possibilitando, assim, o alinhamento, ao redor de uma mesma mesa, de duas entre as mais importantes disciplinas envolvidas nas complexas atividades de construção e implementação de tais políticas.

CAPÍTULO 1 – A MODELAGEM INTEGRADA TRANSPORTE E USO DO SOLO

1.1. Histórico

O primeiro modelo de simulação efetivamente operacional para análise integrada de políticas de transporte e uso do solo foi desenvolvido por Lowry, em 1964, e denominado “Modelo de Metrópoles”. Foi estruturado para análise de cenários de desenvolvimento para a região de Pittsburgh, EUA, sendo o primeiro dentre os modelos baseados nos conceitos de interação espacial e modelagem gravitacional. Partindo de preceitos da economia regional, o modelo dividia a região analisada em setores econômicos básicos e complementares: empregos básicos (indústria) tinham localização fixa (exógena ao modelo), o que gerava locação de moradias em seu entorno e, conseqüentemente, alocação de serviços e empregos complementares, buscando atender demandas desta população residente. A conexão deste modelo de uso do solo com a dinâmica de deslocamentos da população foi estabelecida através de uma função de atraso (neste caso, tempo de viagem) entre as zonas de origens (moradia) e aquelas de destinos (empregos e serviços complementares). Variações nesta função de atraso geravam alterações de comportamento no momento de decisão do local de moradia e serviços complementares, viabilizando a criação de cenários exploratórios. Trata-se de um modelo altamente agregado, trabalhando em escala regional, normalmente microrregiões econômicas, conjuntos de municípios ou conjuntos de bairros. A figura abaixo ilustra as principais características e o desenvolvimento dos modelos baseados neste conceito de interação espacial, desenvolvidos a partir do modelo de Lowry.

TABLE 1. Summary of Spatial Interaction / Gravity Models

Model	Reference	Distinguishing Features
Model of Metropolis	Lowry (1964); Garin (1966)	First recognized operational land use model; Garin provided matrix representation
TOMM	Crecine (1964)	Disaggregation of population; incorporation of inertia effects in activity allocation
PLUM	Goldner (1971)	Replaced standard gravity model with intervening opportunity model; use of county-specific dispersion parameters
ITLUP	Putman (1983)	First complete software package for integrated modeling; improved calibration techniques; improved network model with multiple modes; incorporation of congestion effects in activity allocation
LILT	Mackett (1983)	Use of accessibility function; car ownership submodel; land use model capable of handling demolition, changing occupancy and vacancy rates
IRPUD	Wegener (1982)	Contains seven separate submodels; microsimulation of land use; use of differing spatial scales for submodels; separates discretionary and non-discretionary travel

Fonte: Iacono et al. (2008 – p.5)

Figura 4 – Modelos de Interação Espacial

Os modelos de interação espacial constituíram a base para o desenvolvimento dos modelos atuais, que buscam aprimorar algumas das principais deficiências de seus predecessores: a principal delas, talvez, o fato de que podiam apenas descrever a estrutura urbana em um instante no tempo, simulando um equilíbrio artificial para os cenários de análise

(Batty, 1976), o que os caracterizaria como modelos “estáticos”, relativamente insensíveis à complexidade inerente aos sistemas urbanos contemporâneos. A questão dos altos níveis de agregação das zonas de análise (regiões inteiras, bairros inteiros) foi também objeto de crítica, uma vez que impedia adequação a características socioeconômicas mais detalhadas. Uma terceira linha de críticas focava o fato de que os modelos de interação espacial apresentavam certo caráter arbitrário, apoiando-se apenas esparsamente em teorias melhor fundamentadas, sobretudo devido ao fato de vincularem de forma direta, por exemplo, processos lentos (alterações de uso do solo) a processos rápidos (alterações no padrão de viagem) (Wegener, 1986). Somadas, estas características contribuíam para baixos índices de confiabilidade no que se referia à capacidade de previsão e de construção de cenários futuros nestes modelos. Modelos posteriores focaram esforços no aprimoramento da modelagem, reduzindo os efeitos de estaticidade, sendo assim denominados por alguns analistas como modelos *quase-dinâmicos* (Batty, 1976). O modelo TOMM, por exemplo, descrito por Crecine em 1964, restringia os efeitos de mudança de localização à apenas parte das atividades previamente alocadas em cada uma das iterações do modelo, na tentativa de reproduzir certa inércia observada na dinâmica real.

A segunda geração de modelos buscou aprimoramentos em dois aspectos específicos. Em primeiro lugar, um melhor embasamento teórico, tornado possível com avanços como o da *teoria das utilidades aleatórias*⁶ (Domencich & McFadden, 1975), que descreve processos de escolha dentre alternativas conhecidas, quando não se conhecem todas as variáveis levadas em conta pelo tomador de decisão. Quando se percebeu que estes conceitos poderiam ser aplicados para melhor compreensão de processos de escolha inerentes ao planejamento urbano e de transportes, como a escolha pelo modo de deslocamento ou pelo próprio local de residência, várias linhas de pesquisa foram abertas no sentido de tornar os modelos integrados menos agregados e mais dinâmicos, conseqüentemente capazes de refletir de maneira mais confiável a realidade (Iacono et al., 2008). Uma segunda linha de aprimoramentos se deu no que se refere à absorção da dinâmica imobiliária, com a inclusão, por exemplo, de modelos endógenos de determinação do valor do solo no interior do modelo, ou a incorporação de mecanismos de equilíbrio de preços. O TRANUS, modelo escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa, se encontra dentro desta segunda linha de modelos, que alguns pesquisadores classificam como modelos ‘econométricos’, cuja lista de exemplos se encontra ilustrada na imagem a seguir.

⁶ Modelos de **escolha discreta** descrevem escolhas de indivíduos, os chamados tomadores de decisão, entre alternativas ou opções. Esses tomadores de decisão podem ser pessoas, famílias, empresas ou qualquer outro indivíduo capaz de tomar uma decisão. As alternativas podem ser representadas por diferentes produtos, tipos de ações ou qualquer outra opção ou item sobre o qual uma escolha deve ser feita. Para que um modelo de escolha discreta seja adequado, a lista de alternativas deve exibir três características. Primeiramente, as alternativas devem ser *mutuamente exclusivas* entre si, ou seja, escolher uma alternativa necessariamente implica em abrir mão das outras. Isso quer dizer que o tomador de decisão só pode escolher uma alternativa entre as opções possíveis. Outra característica é que a lista de alternativas deve ser *exaustiva*, no sentido em que todas as alternativas possíveis estão incluídas. Isto é, frente a uma lista com todas as opções, o indivíduo em questão necessariamente vai escolher uma delas. A última característica desse tipo de modelo é que o número de alternativas deve ser *finito*, as alternativas podem ser contadas. (Ciarlini, 2008). A teoria da maximização das utilidades aleatórias (*random utility maximization - RUM*) agrega dois importantes conceitos na simulação de modelos de escolha discreta: o da utilidade e o da aleatoriedade. O primeiro se refere ao fato de que, ao optar por uma das alternativas, o consumidor, ou usuário, elege aquela que melhor atende às suas necessidades, isto é, maximiza sua utilidade (orçamento, tempo, etc.). O segundo conceito é o da aleatoriedade, que determina que não importa o quão exaustiva for a lista de características que influenciem na decisão final (do usuário, do produto, do contexto de escolha, etc.), haverá sempre um componente aleatório, desconhecido pelo analista, que deverá estar incorporado à análise.

TABLE 2. Summary of Econometric Models

Model	Reference	Distinguishing Features
CATLAS	Anas (1982)	Improved representation of economic agents and decision making; explicit treatment of housing markets; economic analysis capabilities
MEPLAN	Echenique et al. (1969); Echenique et al. (1990)	Incorporation of spatial input-output model with economic evaluation component; able to forecast commercial trip generation; travel treated as a derived demand
TRANUS	de la Barra (1989)	Development supply model simulates choices of developers; sophisticated travel model with combined mode-route choice
MUSSA	Martinez (1992)	Incorporation of bid-rent framework for land, floor space markets; detailed representation of transit network in travel model; high level of household type disaggregation
METROSIM	Anas and Arnott (1994)	Model extended to commercial real estate markets; addition of dynamic CHPM housing market model
NYMTC-LUM	Anas (1998)	Endogenous determination of housing prices, floor space rents, and wages; high level of spatial disaggregation suitable for transit and land use policy evaluation
DELTA	Simmonds (1999)	Microsimulation of demographic changes; treatment of quality in the market for space
PECAS	Hunt and Abraham (2005)	Regional econometric model with microsimulation of land development at the parcel level; ability to couple with an activity-based travel model and to apply at supra-regional level

Fonte: Iacono et al. (2008 – p.7)

Figura 5 – Modelos Econométricos

Alguns dos modelos desta fase estão entre os mais utilizados e validados atualmente em projetos ao redor do mundo, dentre os quais TRANUS, MEPLAN e PECAS se destacam, como comprovam as análises desenvolvidas por Wegener (2004), Arruda (2005) e Lopes (2010). Efetivamente, os avanços proporcionados pelo aprimoramento teórico dos modelos fez face a alguns dos mais importantes questionamentos colocados até então sobre este tipo de análise, sobretudo no que se refere à sua capacidade de previsão e ao seu caráter estático, o que permitiu sua validação em uma série de projetos e planos efetivamente levados a cabo por equipes técnicas dos Estados Unidos, Europa, Ásia e América Latina. Entretanto, o criticismo persistiu, dado que algumas das características consideradas negativas não foram totalmente tratadas: os modelos permaneceram com altos graus de agregação, trabalhando, em suas versões mais detalhadas, na escala da zona de tráfego, do setor censitário, das áreas homogêneas, dos bairros, etc., o que impediria uma análise mais individualizada e, supostamente real, dos padrões e desejos de deslocamento. Da mesma forma, os modelos continuaram basicamente estáticos, uma vez que o equilíbrio oferta-demanda é forçado em cada uma das subetapas de suas análises, ou seja, ao final de cada cenário de avaliação temporal, consumo e produção estão compensados. Por fim, os modelos econométricos não promoveram nenhum avanço no que se refere ao modelo de transportes, seguindo a mesma estrutura de análise desenvolvida a partir dos anos 1960: a maioria deles segue utilizando conceitos baseados na viagem isolada (*trip-based models*⁷), ignorando a influência que o

⁷ A abordagem baseada em viagens (*trip-based approach*) utiliza a viagem individual como unidade de análise, o que acarreta em um problema fundamental: modelos específicos são desenvolvidos para o tratamento de viagens residenciais e não-residenciais, desconsiderando qualquer relação de dependência eventualmente existente entre elas. Consequentemente, não se leva em consideração a eventual distinção existente, por exemplo, entre uma viagem casa-trabalho-casa de uma viagem casa-trabalho-compras-casa, isto é, o concatenamento de atividades dentro de uma mesma viagem (*multistop tour*). A abordagem baseada em atividades (*activity-based approach*), por sua vez, busca enxergar as viagens como derivadas da necessidade de realizar atividades distribuídas espacialmente, isto é, a realização destas atividades é mais importante do que o deslocamento em si. As análises desta abordagem usualmente são feitas a partir da leitura de um padrão diário (ou mesmo semanal, mensal) de deslocamentos em função da realização de atividades, sejam elas realizadas fora ou dentro de casa.

concatenamento de atividades pode exercer sobre o padrão de viagens, além de ignorar os chamados ‘efeitos espaciais’⁸, de extrema relevância, sobretudo nas etapas de previsão de demanda (Lopes, 2010).

Mais recentemente, principalmente a partir da segunda metade dos anos 1980, começou a se estruturar o que tem sido chamado de terceira geração de modelos integrados, que buscam responder às lacunas e deficiências verificadas nas gerações anteriores. São modelos que focam sua análise na desagregação de dados, na escala individual, micro, e por isso têm sido chamados de modelos Desagregados ou de Microsimulação. Modelo de viagem baseado em listas de atividades, sistemas multi-agentes de modelagem de uso do solo, autômatos celulares... são algumas das expressões características destes novos modelos, que possuem em comum uma abordagem “*bottom-up*” na análise de integração entre os agentes constituintes da dinâmica de sistemas urbanos. O comportamento individual, com a máxima desagregação, determina as interações entre os grupos de agentes e, conseqüentemente, o padrão de deslocamentos e a localização de atividades e residências.

TABLE 3. Summary of Microsimulation Models of Transportation and Land Use

Model	Reference	Distinguishing Features
ILUTE	Salvani and Miller (2005)	Comprehensive urban system microsimulation model; structured to accurately capture temporal elements urban change; activity-travel model includes household member interactions; disequilibrium modeling framework
ILUMASS	Moeckel et al. (2003); Strauch et al. (2003)	Descendent of IRPUD model; incorporates microscopic dynamic simulation model of traffic flows and goods movement model; designed with environmental evaluation submodel;
Ramblas UrbanSim	Veldhuisen et al. (2000) Waddell et al. (2003)	Entirely rule-based model framework; designed to simulate very large populations Land use model incorporating microsimulations of demographic processes land use development; parcel-level land use representation; high level of household type disaggregation; open-source software developed for general use

Fonte: Iacono et al. (2008 – p.11)

Figura 6 – Modelos de Microsimulação

Os modelos de previsão de demanda por deslocamentos baseados em atividades (*activity-based*) vêm preencher a lacuna característica dos modelos baseados em viagens (*trip-based*). Como mencionado anteriormente, os modelos baseados em viagens se restringem à análise das viagens isoladamente, isto é, assumem que cada uma das viagens verificadas em

⁸ “Nas análises dos sistemas de transporte, a maioria dos métodos está relacionada a variáveis que se caracterizam como dados espaciais. Ou seja, são dados cuja informação sobre sua localização no espaço é relevante para a análise, podendo estar agregados em áreas ou até desagregados em dados pontuais, como os acidentes de trânsito, por exemplo, utilizados nas análises de segurança viária. Na análise de demanda por transportes, em particular, os dados relevantes, que dizem respeito a características demográficas, socioeconômicas e de uso do solo, são geralmente agregados em áreas que podem ser em diferentes níveis, como municípios, bairros, setores censitários, zonas de tráfego ou outras formas de zoneamento definidas pelos planos diretores municipais. Dentre os modelos estatísticos para análise de transportes, os modelos de regressão são muito utilizados na fase de geração de viagens (...). No processo de previsão de demanda, no entanto, é comum a existência de um fenômeno denominado “dependência espacial”, que quebra o pressuposto de independência entre as variáveis e que pode resultar em problemas de análise. O que se observa é que os resíduos dos modelos não apresentam uma distribuição espacial aleatória, como seria o esperado. Esse fenômeno, também conhecido como “autocorrelação espacial”, está relacionado com a similaridade de características de um determinado local com a dos seus vizinhos, ou seja, há correlação entre valores de uma mesma variável no entorno próximo e é por este motivo que a validade dos métodos estatísticos tradicionais é afetada” (Lopes, 2010 – p. 10-11)

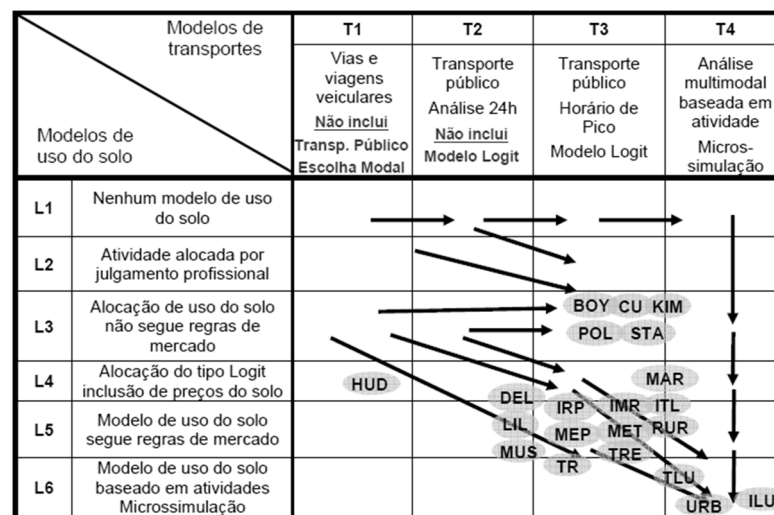
pesquisas ou em contagens existe por si só, e sua eventual relação com outras viagens potencialmente concatenadas costuma ser negligenciada. A título de exemplo, uma viagem a trabalho é uma viagem que ocorrerá em qualquer cenário de simulação futuro, a menos que se extinga o respectivo posto de trabalho que a gerou. Viagens de lazer (compras, atividades extracurriculares...) que podem eventualmente estar conectadas, em sua geração, à esta viagem originalmente de trabalho, não sofrem nenhuma alteração, e são tomadas como viagens a lazer de forma isolada. Nos modelos baseados em atividades, a busca é pela compreensão do comportamento individual do viajante, na tentativa de compreender qual a lógica dos motivos e concatenamentos de seus deslocamentos, que podem ser dependentes de variações temporais, ou afetadas por restrições socioeconômicas ou espaciais. Assim, qualquer alteração no padrão de uso do solo de determinada região teria potencial para gerar um efeito em cadeia, alterando toda a rotina de viagens de determinado usuário, e não apenas a viagem diretamente afetada por aquela alteração de uso do solo. Segundo McNally (2000), foram as primeiras crises energéticas do século XX as responsáveis pelos avanços desta abordagem, pois era necessário desenvolver modelos que avaliassem respostas em níveis mais desagregados às políticas de gestão da mobilidade, que objetivavam a utilização mais racional dos recursos energéticos naturais (flexibilização dos horários de trabalho, sistemas de informação ao usuário, incentivo a modos alternativos de deslocamento, redução das necessidades de grandes deslocamentos).

O modelo de previsão de demanda de viagens baseado em atividades é a base dos modelos de análise integrada baseados em agentes (*agent-based microsimulation models*), que estão no topo da pirâmide de avanços deste tipo de modelagem. Nestes modelos, um ou mais dos elementos – ou agentes – componentes do sistema urbano são tratados em nível de máxima desagregação (população, potencial construtivo, tipologias arquitetônicas). A busca pela tentativa de compreensão e simulação de comportamento de cada agente desagregado permite a construção e análise de todo o universo analisado: a construção, por exemplo, de uma lista de atividades de cada um dos componentes de uma família permitiria a compreensão da lógica de deslocamento desta unidade familiar, e a partir da construção de um determinado e limitado número de unidades familiares padrão, com distintos comportamentos, seria possível estruturar um universo mais amplo de análise, de acordo com os objetivos da pesquisa, como unidades de vizinhança, bairros, regiões, cidades. De acordo com Miller (2003 apud Arruda 2005), a abordagem desagregada, baseada em agentes, possuiria vantagens na medida em que se adéqua aos principais desafios da modelagem integrada transportes e uso do solo:

- sistemas urbanos são dinâmicos, com uma série de diferentes elementos se alterando em diferentes velocidades;
- o comportamento destes sistemas é complexo, com diversas interações e intrincados processos decisórios;
- representações matemáticas rígidas normalmente levam a grandes erros nos modelos de previsão de demanda por deslocamentos.

A inclusão de certo ‘descompasso’ entre intervenções físicas (na infraestrutura de transportes ou nos padrões de uso do solo) e adequações no comportamento do usuário (escolha residencial, local de emprego, mercado imobiliário) parece fazer mais sentido do que a simples noção de ‘feedback’ incorporada desde os primeiros modelos.

No que se refere à representação do uso do solo nos modelos integrados que, de acordo com Chang (2006 apud Wegener 2011), trata-se de um dos elementos menos satisfatórios em grande parte dos modelos desenvolvidos, a análise baseada em células representa o estágio mais avançado. Tradicionalmente, o uso do solo é inserido nos modelos integrados na forma de zonas, usualmente coincidentes com unidades de coleta de dados socioeconômicos (como setores censitários) ou com unidades de planejamento, como as áreas homogêneas ou as zonas de tráfego (pesquisas O/D). São usualmente tratados como unidades independentes, de comportamento homogêneo, e não dinâmicos. Os modelos baseados em células, e mais especificamente aqueles baseados no conceito de autômatos celulares (CA)⁹, partem do princípio de que o comportamento e os fenômenos verificados em determinada escala são, de certa forma, resultados de interações e evoluções de seus subsistemas. Assim, a representação do uso do solo enquanto células permite que interações entre células vizinhas (fisicamente conectadas ou não) sejam as responsáveis pelo processo de transformação de cada uma das unidades celulares, assim como de todo o conjunto. Na prática do planejamento urbano, mudanças nos padrões de uso e ocupação de determinada área (célula) terão impacto indireto sobre tendências de alteração em células vizinhas (ou regiões). Regras de transição são definidas para gerenciar os processos de mudança em cada célula. Dentre os vários exemplos de utilização dos conceitos de autômatos celulares no planejamento urbano destacam-se os que abordam a questão das mudanças de uso do solo, a expansão do crescimento urbano e a segregação espacial (Ribeiro, 2011).



Fonte: Miller et al. (1998) modificada por Wegener e Furst (1999), Pfaffenbichler (2003) e Arruda (2005)

Figura 7 – Matriz evolutiva dos Modelos LUTI

A matriz anterior mostra a evolução cronológica de cerca de 20 modelos de análise integrada em transportes e uso do solo, avaliados inicialmente por Miller (1998). A matriz

⁹ Os modelos de Autômatos Celulares (CA) foram desenvolvidos com o objetivo de aperfeiçoar a simulação espacial de fenômenos dinâmicos, sobretudo acerca das relações de vizinhança entre as células [unidades espaciais de análise ou planejamento]. Assim, por meio de simulações, os modelos CA interpretam as interações entre as células ao longo do tempo, servindo-se de conceitos ligados à modelagem de sistemas dinâmicos, como a ideia do estado inicial do sistema, a noção de regras de transição de acordo com determinadas condições de interação e a consideração de uma escala temporal. (Ribeiro, 2011, p. 44) [destaque do autor].

evidencia a transição em ambos os subsistemas do modelo (transportes e uso do solo) em direção à desagregação e à microssimulação, na busca pela representação fiel dos complexos fenômenos vivenciados nos sistemas urbanos contemporâneos. Lopes (2010), citando Pfaffenbichler (2008) argumenta entretanto que, para questões estratégicas (a autora cita a questão da sustentabilidade), o comportamento em escala macroscópica seria mais relevante que o microscópico. Segundo o autor citado, haveria dois caminhos evolutivos para a modelagem integrada: aumentar o nível de desagregação ou aumentar o número de subsistemas envolvidos: problemas de transporte, como congestionamentos, acidentes, poluição ou consumo de recursos não renováveis não se caracterizariam por problemas de comportamento individuais, mas coletivos.

1.1. Perspectivas da Modelagem

A crescente utilização de modelos integrados na estruturação e análise de políticas de gestão territorial em diversas partes do mundo vem contribuindo para sua consolidação e aprimoramento contínuos. Avanços tecnológicos das últimas duas décadas, sobretudo no que se refere à capacidade de processamento de dados pelos computadores e à proliferação das ferramentas GIS¹⁰, permitiram substancial incremento na complexidade dos modelos, tanto no que se refere às análises de transporte (padrão de viagens, previsão de demanda, acessibilidade) quanto à sua interação com os padrões de uso e ocupação do solo (localização e concatenamento de atividades, dinâmica imobiliária).

Alguns desafios, entretanto, se apresentam e devem condicionar as próximas etapas deste desenvolvimento. Iaconos et al. (2008) destacam que, se por um lado os avanços tecnológicos permitiram um grande incremento na complexidade dos modelos (microssimulação), por outro tornou-os ainda mais consumidores de dados, o que acaba por exigir esforços importantes nas etapas iniciais da modelagem, sobretudo nas fases de calibração. A aquisição de dados nos níveis de desagregação exigidos pelos modelos mais avançados nem sempre se realiza, e simplificações ainda são uma constante. A estruturação da modelagem sobre marcos teóricos muito rígidos também tem sido questionada por alguns autores, como Timmermans (2003). Segundo ele, teorias como escolha discreta e utilidade aleatória são limitantes, uma vez que o próprio conceito de utilidade pode variar e se complexificar com o tempo, a partir da experiência do usuário, e portanto não poderiam ser utilizadas de forma tão direta para simulação de decisões como, por exemplo, a escolha do local de moradia. A questão da assertividade nas projeções ainda se mantém na berlinda. A inexistência de um grande número de validações das previsões, em função do histórico ainda recente dos modelos mais completos, contribui para esta desconfiança.

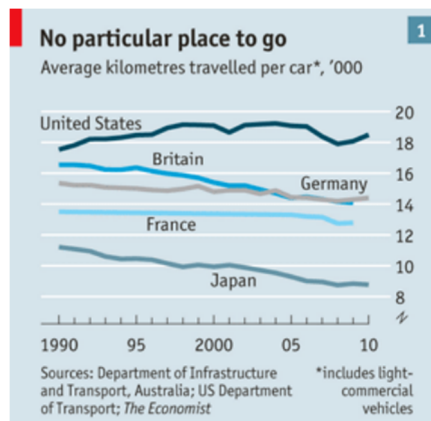
Outro fator que condicionará o desenvolvimento e a aplicação dos modelos integrados de análise em transporte e uso do solo são as interferências que as chamadas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) começam a exercer sobre a dinâmica urbana. Por um lado,

¹⁰ Do inglês: *Geographic Information System*

é inegável que a grande quantidade de informações (*big data*) produzidas a cada minuto por dispositivos de geolocalização como telefones celulares, computadores e *tablets* cria oportunidades para uma melhor compreensão dos padrões de deslocamento, interação social e concatenamento de atividades da população (Tugores & Colet 2013). Pesquisas de origens e destino (O/D) baseadas em entrevistas domiciliares, grandes consumidoras de recursos financeiros e de tempo, perdem o sentido quando confrontadas com as informações fornecidas a todo instante pelos aparelhos de celular e seus aplicativos de “*check in*”, presentes nas mãos de parcela cada vez maior da população. Pesquisas amostrais que se valiam de 3% ou 5% do universo total agora podem aceder informações que representam 40%, 50% do total. Trabalhar com este volume de informação apresenta-se como um desafio por si só.

Adicionalmente, vários são os estudos recentes que relacionam a influência das TIC sobre o padrão de viagens (Wee et al., 2013) e outros aspectos da dinâmica urbana, como a interação social. Fenômenos tornados possíveis pelos avanços da internet nas duas últimas décadas, como o teletrabalho, ensino a distância, as compras *online*, as redes sociais, bem como os sistemas de informação ao usuário dos sistemas de circulação e transporte têm impacto direto sobre vários dos componentes dos modelos de planejamento integrado, como índices de mobilidade, escolha modal, definição do local de moradia, e sobre o próprio conceito de acessibilidade. Conhecer de antemão os níveis de congestionamento ao longo de sua rota tradicional para o trabalho, ou ter conhecimento prévio sobre eventuais atrasos das linhas de ônibus parece ter um efeito importante sobre nossas opções de viagem. Existe ainda muita controvérsia sobre o efeito efetivo de substituição ou de geração de novas viagens que as TIC podem exercer sobre o padrão de viagens (De Graaff and Rietveld, 2007 apud Wee et al., 2013), mas isto seguramente deverá ser levado em consideração nas evoluções futuras dos modelos integrados.

Por fim, toda uma série de incertezas no que se refere à projeção de tendências também deverá condicionar as próximas etapas de desenvolvimento dos modelos integrados: declínio na utilização do transporte individual motorizado (figura a seguir) e o crescimento dos modos não motorizados; a retomada dos centros urbanos como local de moradia; o adensamento construtivo e populacional nas grandes metrópoles e nas cidades médias. Todos estes são fatores que podem representar inversão de tendências, colocando em xeque parte do marco teórico que estrutura os modelos atuais.



Fonte: (Wee, 2014 – palestra apresentada durante Segundo *World Symposium on Transport and Land Use Research*, Delft, 2014)

Figura 8 – Distância média percorrida anualmente por carros

Wegener (2011) acredita que, em face destes fatores (além de outros, como a dificuldade de construção de cenários alternativos em função do tempo necessário para rodá-los, ou a dificuldade de interpretação de resultados gerados por modelos estocásticos), a tendência de desagregação e detalhamento que vêm marcando o desenvolvimento histórico dos modelos integrados deve ser reavaliada, em prol da viabilização de sua utilização prática na estruturação de políticas públicas de ordenamento territorial. Para o autor, cuja visão se aproxima de Wee et al.(2013), os esforços de modelagem integrada deveriam se concentrar na criação de cenários que atendam às necessidades básicas de prospecção de cenários (*what if scenarios*), dotando os gestores e profissionais envolvidos com o planejamento territorial de ferramental adequado à tomada de decisões estratégicas, de médio e longo prazo. Para ele,

“The imperative of reducing greenhouse gas emissions and the ultimate depletion of fossil fuels will make transport significantly more expensive in the future, mobility and location will depend less on individual life styles and preferences and more on basic needs and constraints. This will change the priorities in transport and land use modelling and weaken the reasons for using activity-based or agent-based models¹¹”
(Wegener, 2011, p. 161).

¹¹ “O mais importante no tocante à redução dos gases de efeito estufa e o esgotamento definitivo dos combustíveis fósseis é o fato de que o transporte ficará significativamente mais caro no futuro, a mobilidade e a localização dependerão menos de opções e estilos de vida individual, e mais de necessidades básicas e restrições. Isto fará mudar as prioridades na modelagem de transporte e uso do solo, e enfraquecer as justificativas para a utilização de modelos baseados em agentes ou em atividades.” (tradução livre)

CAPÍTULO 2 – A MODELAGEM TRANUS

2.1. A opção pelo TRANUS

A escolha pela adoção do *software* TRANUS nesta pesquisa se deu em função de três características: disponibilidade, validação prévia e adequabilidade aos propósitos da pesquisa. Em primeiro lugar, trata-se de um *software* 100% gratuito, disponível para *download* no sítio eletrônico da empresa que o desenvolveu, a Modelística¹², e com plataforma aberta. A gratuidade e a possibilidade de interferência direta no desenvolvimento do *software* contribuíram para sua rápida difusão em várias partes do mundo, e o consequente estabelecimento de uma importante comunidade de usuários e desenvolvedores, através da qual se torna possível evoluir rapidamente na apreensão e domínio da ferramenta. No sítio eletrônico da empresa tem-se acesso a todo o material referente ao *software*, como descrições gerais do seu funcionamento, referenciais teóricos e artigos publicados por usuários de diversas nacionalidades.

Outro importante fator que contribuiu para a escolha do TRANUS foi o fato de ter sido desenvolvido por um pesquisador latino-americano. Tomás de la Barra é venezuelano, e desenvolveu seus estudos de graduação e pós-graduação nas universidades do Chile e Cambridge (Inglaterra), respectivamente. Assim, grande parte dos esforços iniciais de organização, calibração e validação da estrutura do TRANUS se deu através de aplicações práticas no contexto latino-americano, principalmente na Venezuela, o que representa, no caso da presente pesquisa, uma sensível vantagem sobre os demais modelos disponíveis, apoiados em aplicações mais concentradas nos Estados Unidos, Canadá e países da Europa ocidental, que apresentam dinâmicas urbanas bastante distintas das encontradas no Brasil (analise-se a participação dos transportes públicos nos dois contextos, a título de exemplo). Nos últimos vinte anos, TRANUS foi calibrado e validado em dezenas de países, como Argentina, México, Chile, Estados Unidos, Inglaterra e Brasil, onde foi utilizado para a modelagem do Plano Diretor de Transportes Urbanos de São Paulo (PITU), em 2005.

Por fim, contribuiu para a decisão final de optar-se pelo TRANUS o fato de se tratar de um modelo adequado às análises aqui propostas, sobretudo no que se refere às suas escalas de avaliação. O TRANUS, de acordo com a classificação cronológica feita no item anterior, se caracteriza como um modelo de base econométrica e, portanto, anterior aos modelos que avançaram sobre a microsimulação. Suas escalas de análise estão adaptadas às metodologias tradicionais de modelagem de transportes, produzindo seus resultados no nível de zonas ou setores, que podem ser facilmente adaptados às tradicionais fontes de informações produzidas no Brasil: censos demográficos, pesquisas origens e destino (O/D), zonas de tráfego, entre outros. Isto facilita sua integração com outras ferramentas usualmente utilizadas no planejamento urbano e de transportes, como os *softwares* de GIS ou aqueles mais específicos para a modelagem de transportes, como o TransCAD ou o EMME, onde normalmente se

¹² www.modelistica.com

armazenam as informações (matrizes e redes) referentes às pesquisas O/D. Não bastasse o fato de ser um facilitador no trabalho de estruturação e calibração das redes integradas, esta característica confere ao TRANUS uma ainda maior aderência à pesquisa aqui proposta, uma vez que um dos principais objetivos estabelecidos é o de criar um máximo de cenários prospectivos, que possam se transformar em efetivas ferramentas de auxílio na construção de políticas públicas de gestão territorial. O enorme consumo de tempo e a grande necessidade de informações necessárias à montagem e calibração de redes integradas baseadas na microsimulação, como ressaltado no item anterior, constituem sem dúvida um impeditivo à sua aplicação prática, mas mais ainda, como ressaltado por Timmermans (2003), pesa o fato de que, em função de sua complexidade, torna-se bastante dificultosa sua aplicação em um contexto prospectivo, de criação de cenários “*what if*”, como o aqui proposto.

2.2. A Estrutura do TRANUS

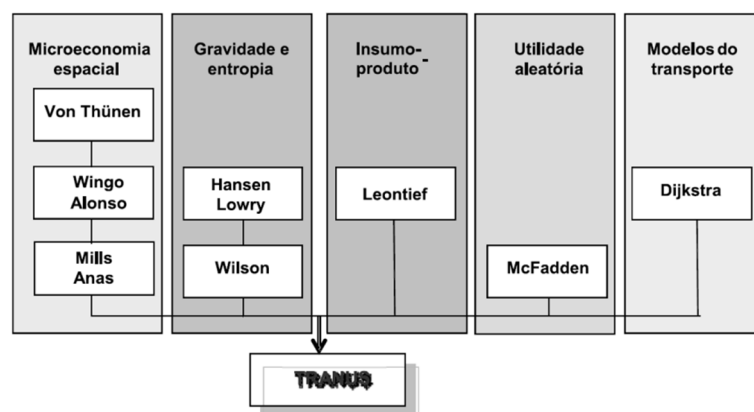
O TRANUS é um *software* estruturado sobre dois submodelos interdependentes: o modelo de transportes e o modelo de atividades. Sua proposta é a viabilização de análises integradas de políticas públicas territoriais, notadamente as intervenções sobre os sistemas de circulação e transporte, a regulamentação de uso e ocupação do solo e seus impactos sobre a estrutura econômica, e sobre políticas setoriais, como meio ambiente ou habitação.

“De esta manera el fenómeno del movimiento de personas y mercancías se explica por las relaciones económicas y espaciales entre las actividades que los generan. A su vez, la accesibilidad que resulta del sistema de transporte afecta la forma en que interactúan las actividades entre sí, se localizan en el espacio e interactúan con el sistema inmobiliario. La evaluación económica forma también parte integral de la formulación teórica y del sistema de modelación, proveyéndose todas las herramientas necesarias para el análisis de políticas y proyectos¹³” (Modelística, 2011, p. 7).

O referencial teórico é bastante detalhado em de la Barra (1989), mas alguns conceitos-chave merecem destaque para uma primeira apreensão: microeconomia espacial (Von Thünen), em especial os estudos sobre economia espacial e formação da renda imobiliária; modelos gravitacionais e maximização de entropia (Hansen, Lowry e Wilson); matrizes de insumo-produto (Leontief), incorporado pelo TRANUS para uma completa representação da economia, incluindo a formação de preços e representação de importação e exportação; modelos de decisão discreta e utilidades aleatórias (McFadden), que a rigor estruturam todo o *software*,

¹³ “Desta maneira, o fenômeno da movimentação de pessoas e mercadorias se explica pelas relações econômicas e espaciais entre as atividades que originam os deslocamentos. De sua parte, a acessibilidade gerada pelo sistema de transporte afeta a forma de interação entre as atividades, a maneira como se localizam no espaço e interagem com o mercado imobiliário. A avaliação econômica forma também parte importante do marco teórico e do sistema de modelagem, disponibilizando todas as ferramentas necessárias para a análise de políticas e projetos.” (tradução livre)

que se descreve como “uma cadeia extensa de modelos de decisão discreta em múltiplos níveis” (Modelística, 2011, p. 11); teoria dos grafos, teoria das filas, caminho mais curto (Algoritmo de Dijkstra), conceitos que formam a base do planejamento de transportes nos últimos quarenta anos. A figura a seguir ilustra a matriz teórica do TRANUS.



Fonte: (Modelística, 2011)

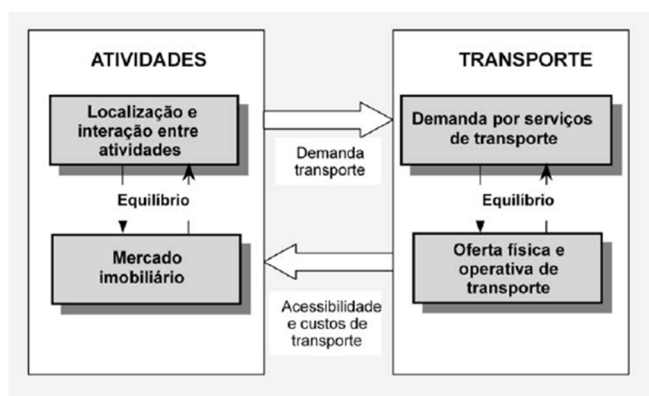
Figura 9 – Referencial Teórico TRANUS

Os dois subsistemas principais do modelo (transportes e atividades) possuem componentes de demanda e oferta, que interagem em busca do equilíbrio. A localização e a interação de setores econômicos representam a demanda no subsistema de atividades. Atividades requerem solo e edificações para se viabilizarem, representando o lado da oferta, viabilizada pelos incorporadores imobiliários e pelo Poder Público. O equilíbrio é uma função do preço dos terrenos e dos imóveis.

No modelo, é a interação entre atividades (produção e consumo) que gera a necessidade de deslocamentos. Nas palavras de de la Barra: “viagem é uma demanda derivada”. No subsistema de transportes, a demanda é representada por esta necessidade de deslocamentos, que pode ser exercida por pessoas ou por mercadorias. A oferta é subdividida entre oferta *física* – representada pela infraestrutura viária na forma de vias, trilhos, rotas marítimas ou aéreas – e oferta operacional, representada pelo conjunto de operadores que proveem serviços de transporte (ônibus, barcas, trens, metrô, veículos particulares, bicicletas, rotas pedonais, entre outros). O equilíbrio no subsistema de transportes é uma função de preços e tempo. Demandas superiores à capacidade de oferta podem gerar aumento de preços (passagens aéreas são um bom exemplo) ou de tempo, na forma de congestionamentos ou superlotação (que, no caso dos transportes coletivos, implicam em maior tempo de espera). O resultado deste equilíbrio se sintetiza no conceito de acessibilidade, que configura a ponte entre os dois subsistemas, viabilizando a integração. Acessibilidade, aqui, representa as ‘desutilidades’¹⁴ dos sistemas de transportes, que dificultam ou inviabilizam a integração entre atividades econômicas. São os índices de acessibilidade que retroalimentam o subsistema de atividades, alterando a

¹⁴ Tradução livre do termo “*disutility*” em inglês, ou “*desutilidad*” em espanhol, que, em português, têm significado semelhante à *impedância*, mais regularmente utilizado em textos de planejamento de transportes.

localização de atividades e resultando em reequilíbrio de preços no mercado imobiliário. A figura a seguir ilustra a estrutura principal do modelo TRANUS.



Fonte: (Modelística, 2011)

Figura 10 – Estrutura Básica TRANUS

Assim, como se vê, os dois subsistemas se retroalimentam, em função cíclica, e ao longo do tempo. O equilíbrio do sistema de atividades gera demanda por deslocamentos, que geram demanda por serviços de transporte, que se viabilizam através dos operadores. A oferta de transporte indica os níveis de acessibilidade que, em uma nova iteração, alteram o equilíbrio de preços do subsistema de atividades, gerando novo ajuste, até a convergência do modelo. O modelo diferencia, ainda, eventos internos (endógenos) e externos (exógenos). Assim, efeitos de alterações na regulamentação urbanística, ou da construção de um novo conjunto habitacional, por exemplo, podem ser verificados através da inclusão destes novos parâmetros como elementos exógenos. Da mesma forma, a construção de corredores exclusivos de transporte público, a adoção de restrições à circulação (pedágios urbanos, áreas pedonais) ou a simples construção de uma nova via devem ser inseridos no modelo como elementos exógenos ao subsistema de transportes.

- **Localização de Atividades**

O primeiro dos modelos a serem estruturados é o modelo de atividades, que é basicamente um modelo espacial insumo-produto¹⁵, com suas relações de produção e consumo. O sistema permite que se estruture um modelo completo, contendo intrincadas relações econômicas e sociais, ou modelos simplificados, compostos pelos setores econômicos mais relevantes para a modelagem em questão, em função dos objetivos propostos e das informações disponíveis. Neste sentido, o termo *setor* é tomado pelo TRANUS de forma a melhor representar os fatores de produção e consumo. Podem ser traduzidos pelos setores tradicionais

¹⁵ Uma economia funciona, em grande parte, para equacionar a demanda e a oferta dentro de uma vasta rede de atividades. O que Leontief conseguiu realizar foi a construção de uma “fotografia econômica” da própria economia; nessa fotografia, ele mostrou como os setores estão relacionados entre si - ou seja, quais setores suprem os outros de serviços e produtos e quais setores comprem de quem. O resultado foi uma visão única e compreensiva de como a economia funciona - como cada setor se torna mais ou menos dependente dos outros. [...] Enquanto setores comprem e vendem uns para os outros, um setor individual interage, tipicamente e diretamente, com um número relativamente pequeno de setores. Entretanto, devido à natureza dessa dependência, pode-se mostrar que todos os setores estão interligados, direta ou indiretamente. (Guilhoto, 2014, p. 11-12)

da economia (agricultura, indústria, governo etc.), por fatores de produção (capital, terra, trabalho) ou pelas esferas de consumo (população, emprego, edificações, solo).

Um conceito estruturador no TRANUS é a classificação dos setores em *transportáveis* ou *não-transportáveis*, quer dizer, se se tratam de setores que podem ou não ser consumidos em locais diferentes dos locais de sua produção. Um exemplo de setor transportável é o emprego, que pode consumir mão de obra de diferentes locais. Em contrapartida, solo não pode ser consumido em local distinto de onde foi produzido (muito embora o conceito de ‘solo criado’, cada vez mais comum às regulamentações urbanísticas recentes, venha colocar em cheque esta assunção). De qualquer forma, é possível simular instrumentos como a outorga onerosa em aplicações do TRANUS, bastando para isso considerar parte do solo consumido como setor transportável.

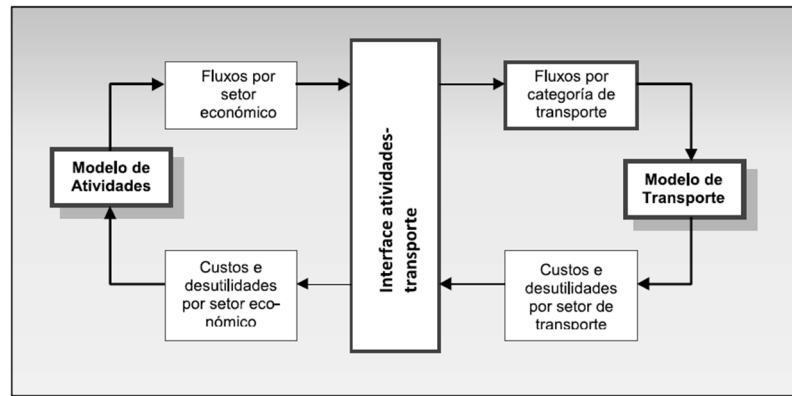
Ao final, são os setores transportáveis os responsáveis pela geração de fluxos de pessoas e mercadorias; fluxos estes que se traduzem em viagens que se viabilizam através dos sistemas de circulação e transportes.

• Demanda e Distribuição da Produção

Em princípio todo setor demanda insumos de outros setores. Sendo assim, a produção se destina em parte ao consumo intermediário (insumos) e parte ao consumidor final. Dada a demanda final dos setores de cada uma das zonas que compõem a área de estudo, estabelece-se a produção total induzida, distribuída espacialmente através de funções de distribuição. Os setores induzidos por esta demanda final geram demanda por insumos, que culminam na estruturação da cadeia produtiva e de localização de atividades. O sistema busca o equilíbrio entre as funções de demanda e produção, gerando fluxos econômicos entre os diversos setores e zonas e analisadas pelo sistema como viagens em potencial, no caso de setores transportáveis.

A distribuição espacial da demanda de uma zona de consumo a uma zona de produção é realizada através de um modelo *logit*¹⁶, no qual a função de utilidade é composta pelo preço do setor demandado e a acessibilidade (desutilidade de transporte) dos sistemas de circulação e transporte entre as zonas. O processo iterativo se inicia, composto por duas fases: estimativa de demanda por setor e zona de consumo e distribuição desta demanda entre as zonas de produção. São em seguida analisadas as restrições à produção em cada uma das zonas, e os preços são ajustados. A convergência do modelo é analisada comparando-se os resultados das duas últimas iterações, e o processo se repete até que a condição de equilíbrio seja alcançada.

¹⁶ A regressão logística (logit) é uma ferramenta estatística que permite o ajuste de um conjunto de variáveis independentes a uma variável de resposta categórica. Ao contrário das variáveis contínuas, as variáveis categóricas podem assumir apenas alguns valores particulares de resposta, podendo estes ser binários (dicotômicos) cuja resposta possui apenas dois níveis (falha ou sucesso) ou politômicos (três ou mais classes), uma extensão da anterior, no qual a resposta pode assumir múltiplos níveis de saída. (Mendes & Vega, 2011, p. 9)



Fonte: (Modelística, 2011)

Figura 11 – Interface modelos de Atividades e de Transportes

- **Sistema de Transportes**

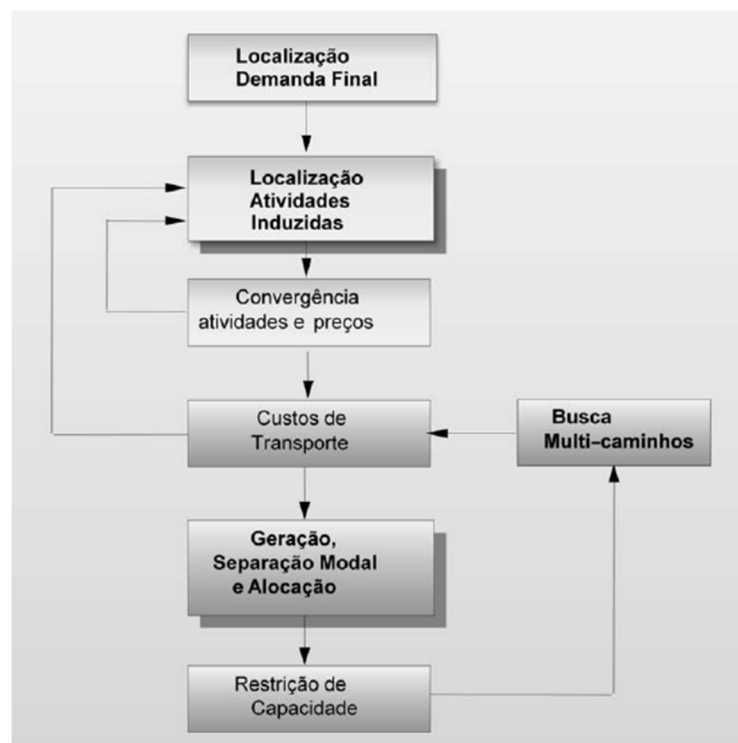
A interface atividades-transportes resulta em um conjunto de matrizes de demanda potencial de viagens, sobre a qual o modelo de transportes estrutura as viagens efetivas, as distribui em função da oferta modal e as aloca sobre os sistemas de circulação e transporte ofertados na área de estudo. O sistema é dividido entre oferta e demanda, sendo a demanda caracterizada por pessoas e bens, e a oferta dividida entre oferta física, ou gestores, (vias, estacionamentos, estações) e oferta operacional, ou operadores, (número de ônibus, frequência, tarifas etc.).

A primeira etapa do modelo de transportes é a definição de caminhos possíveis conectando cada par origem-destino por cada categoria, ou modo, de transporte. O modelo permite trabalhar com diversos operadores, incluindo pedestres, automóveis, trens e aviões. Para os transportes públicos podem ser pré-definidas rotas, frequências, tarifas e sistemas de integração. Os caminhos são definidos sobre uma rede de transportes, construída de forma semelhante às redes utilizadas em *softwares* de planejamento de transportes e engenharia de tráfego, baseadas na teoria dos grafos¹⁷. Os caminhos não são simplesmente rotas físicas, mas sequências possíveis de operadores e rotas que conectam pares O/D. Assim, é possível dois caminhos que possuem as mesmas sequências de operadores (*e.g.* a pé, ônibus, metrô, a pé), mas rotas físicas distintas. O modelo leva em conta coincidências na sequência de vários caminhos, descartando aqueles que não representam efetivas alternativas (*overlapping control*). Terminada a pesquisa por caminhos possíveis entre pares O/D, o modelo começa um processo iterativo que se inicia com cálculo dos custos e das desutilidades (acessibilidade), ou

¹⁷ Muitas situações podem ser convenientemente descritas através de diagramas que consistem em um conjunto de pontos, juntamente com as linhas que ligam alguns pares destes pontos. Por exemplo, os pontos podem representar pessoas, as linhas ligam os pares de amigos; os pontos podem representar centros de comunicação, as linhas as ligações entre os centros. A abstração matemática de situações deste tipo dá lugar ao conceito de grafo. Um grafo consiste de um conjunto finito de elementos chamados *vértices*, um conjunto finito de elementos chamados *arestas*, e uma função de incidência que associa a cada aresta um par não ordenado de vértices (não necessariamente distintos), chamado de *extremos*. Grafos podem ser representados por diagramas, onde cada vértice é representado por um ponto e cada aresta por uma linha ligando os pontos que representam seus extremos. (Lucchesi, 1979 – p. 1). Nas redes de transporte, usualmente, as interseções viárias representam os vértices (ou *nós*), e as vias são as arestas (ou *links*).

dos custos percebidos (ou assumidos) pelos usuários. A iteração é feita inicialmente na escala dos caminhos possíveis, em seguida para cada um dos modos (operadores) e, finalmente, na escala das zonas de análise. É possível estruturar uma detalhada composição de custos, levando-se em consideração custos de manutenção e operação das vias e dos operadores, as tarifas e uma série de custos não-monetários, como valor do tempo de deslocamento e de espera. Os custos monetários e não-monetários se somam para integrar o custo geral, ou a desutilidade, ou a acessibilidade dos transportes, que é o fator preponderante para a compreensão do comportamento do usuário.

Estes custos, ponderados por fatores de elasticidade definidos para cada modo e cada setor, orientam a construção de uma matriz de viagens (no intervalo de tempo definido pelo analista) entre pares O/D, por modo de transporte, e as aloca na rede. O processo iterativo segue, analisando-se a capacidade das redes de transporte e os efeitos da congestão sobre os tempos de viagem e, conseqüentemente, seus impactos na matriz de viagens e na divisão modal. As análises de capacidade são desenvolvidas sobre os sistemas de circulação e de transportes, levando-se em consideração as rotas existentes, as frequências, a capacidade dos ônibus, etc. A convergência do modelo se mede pelas diferenças de velocidade e volume alocados em cada um dos caminhos simulados na iteração anterior. Ajustes em função dos efeitos de congestão podem surtir efeito em toda a cadeia de decisões em TRANUS, remontando à localização de atividades e reiniciando todo o processo. É esta a principal característica dos modelos de análise integrada, em detrimento das análises normalmente desenvolvidas com modelos de planejamento de transportes.



Fonte: (Modelística, 2011)

Figura 12 – Estrutura Geral do Sistema TRANUS

2.3. A Proposta de Modelagem

Como visto, várias têm sido as críticas à modelagem integrada – na verdade, tratam-se de críticas que também acometem outras categorias de modelagem – seja por sua tentativa “utópica” de reproduzir a complexidade e o dinamismo de um sistema urbano, seja pelos caminhos que vêm sendo trilhados com vistas a esta representação – importância crescente de dados cada vez mais microscópicos. Entretanto, como ressaltado no capítulo anterior, vários são os autores e pesquisadores que pregam por um papel mais abrangente da modelagem na elaboração de políticas urbanas e de transporte, não necessariamente na reprodução minuciosa da realidade, mas com foco no seu poder de iluminar tendências, característica bastante apreciável se considerado o caráter prospectivo dos planos e estudos urbanos. Nesta linha, a modelagem pode ser muito mais útil se abrir mão do detalhe, das análises microscópicas, e se ativer a fornecer informações sobre eventuais tendências no caso de implantação de determinadas ações e projetos. O que poderia ser chamado de análises “e se?”. Assim, os modelos integrados poderiam nos fornecer informações, por exemplo, sobre tendências de comportamento da demanda por deslocamentos no caso de implantação de uma nova linha de metrô, ou da extensão de outra existente; poderiam revelar impactos da implantação de infraestrutura de transportes sobre o mercado imobiliário, confirmando ou rechaçando análises usualmente feitas a partir de dados empíricos. Poderiam revelar propensão à relocação de atividades, em função de alterações nos parâmetros urbanísticos, ou do incremento dos níveis de acessibilidade de determinada área.

Adicionalmente, outro fator que contribui para a adoção da modelagem integrada no desenho e estruturação de políticas territoriais é o fato de, independentemente dos índices de “correção” verificados em seus resultados, que sempre podem ser questionados, em qualquer modelo, ela forçosamente vincula as análises de transporte e uso do solo, e auxilia no processo de reversão de práticas usuais de planejamento setorializado, baseadas em análises segregadas de profissionais especialistas. O próprio momento de montagem e calibração do modelo apresenta uma série de oportunidades para a integração deste conhecimento, como a definição dos setores econômicos que comporão o modelo de atividades, as relações de consumo intersetores, as unidades de planejamento (zoneamento) a serem utilizadas, o ajuste dos fatores de penalização modal (restrições socioeconômicas e culturais aos diversos modos de transporte disponíveis, por exemplo), dentre vários outros.

É com este espírito que a modelagem se apresenta nesta dissertação:

- aplicação de uma ferramenta de análise prospectiva de cenários alternativos de intervenção (cenários ‘e se?’);
- análise crítica de uma metodologia que forçosamente vincule as análises de transporte e uso do solo.

Neste sentido, o objetivo principal aqui colocado é o da validação destes princípios na modelagem integrada da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), território escolhido pelos motivos explanados nos itens a seguir. Pretende-se, ao final das análises,

apontar o efetivo potencial que tal modelagem apresenta na integração das políticas de transporte e uso do solo, colocando-a a serviço das equipes técnicas das prefeituras dos 34 municípios integrantes da RMBH para futuros estudos, planos e projetos de gestão territorial.

Assim, o modelo desenvolvido estruturou-se a partir de um Cenário Base, e de cenários futuros alternativos, que procuraram explorar práticas corriqueiras no planejamento metropolitano, como a implantação de sistemas de transporte sem as devidas análises dos impactos potenciais sobre o padrão de uso do solo, bem como propostas de alteração nos padrões de adensamento e de localização de atividades sem se ater para os níveis de acessibilidade da região, ou aos impactos que estas alterações provocariam sobre as demandas por deslocamento. Propõe-se, então, a criação de três cenários futuros alternativos, além do cenário Tendencial (sem intervenções):

- ✓ cenário *Transporte*, que preconiza a implantação de alterações nos sistemas de transporte, sem nenhuma alteração induzida sobre os padrões de uso e ocupação do solo;
- ✓ cenário *Uso do Solo*, que preconiza a alteração da oferta de solo em determinadas regiões da RMBH, sem nenhuma alteração na oferta de sistemas de circulação e transportes;
- ✓ cenário *Integrado*, onde intervenções no sistema de transporte são colocadas a serviço da estruturação territorial proposta.

Os resultados da modelagem de cada um dos cenários serão analisados à luz de parâmetros de saída no TRANUS, como número total de viagens, índices de mobilidade, divisão modal, preço da terra, níveis de acessibilidade, tempo total de viagens, distância percorrida, entre outros, detalhados no Capítulo 4.

2.4. Cenário Base: Modelo de Atividades

• Zoneamento ou Divisão Territorial

A definição da RMBH como área de estudo se deu em função dos padrões de deslocamentos diários na região, caracterizados pelos movimentos pendulares entre a capital, Belo Horizonte, e seus municípios vizinhos, característica que, muito embora com tendência de queda, têm sido historicamente demonstrada pelas sucessivas pesquisas Origem e Destino O/D realizadas desde os anos 1970 – em 2012, cerca de 52% de todas as viagens realizadas diariamente tiveram origem ou destino na cidade de Belo Horizonte (Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2013). Outro fator que condicionou o zoneamento foi a boa disponibilidade de informações relativas aos municípios integrantes da RMBH, tanto do ponto de vista de transportes como no que se refere ao padrão socioeconômico.

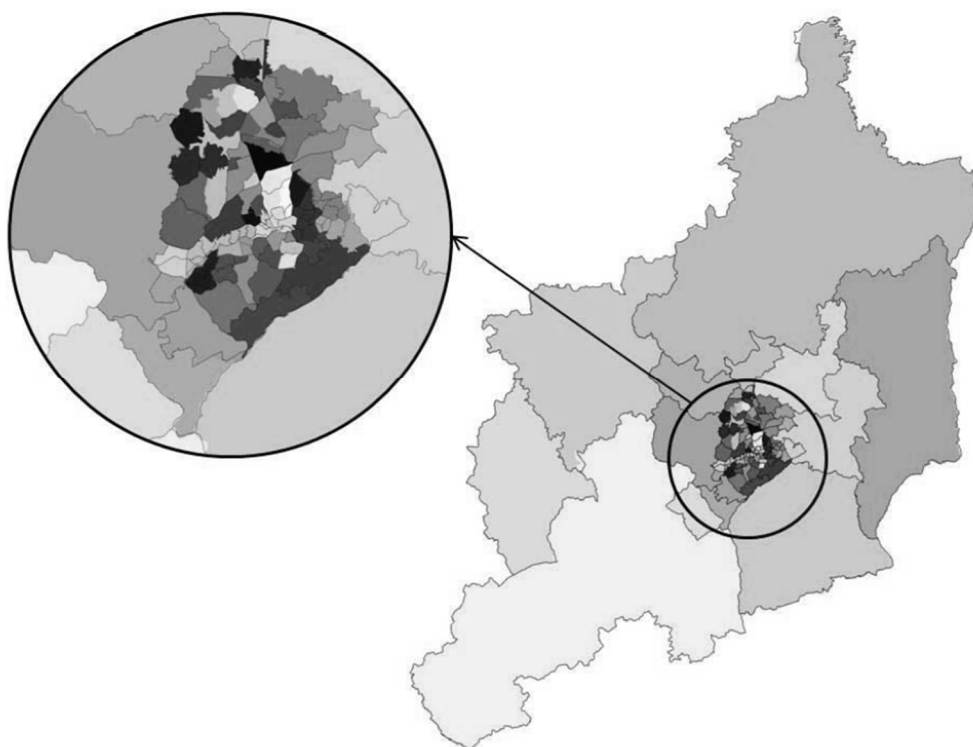
Desta maneira, a RMBH foi dividida em 84 zonas, sendo 72 delas dentro do município de Belo Horizonte, e as demais nos municípios vizinhos. Cada uma das zonas é uma agregação

de Áreas Homogêneas (AH), desenvolvidas pela Fundação João Pinheiro, órgão do Governo do Estado de Minas Gerais como unidades básicas de planejamento, e que vêm sendo utilizadas como base para coleta de dados de pesquisas O/D. A malha de AH's foi recentemente atualizada pela Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (ARMBH), e é composta pela agregação de setores censitários do IBGE.

Nguyen-Luong (2008, apud Pupier 2013) destaca as principais características que devem guiar a estruturação do zoneamento para uma modelagem eficaz:

- ✓ disponibilidade de informações em nível de desagregação compatível com as análises pretendidas;
- ✓ padrão de deslocamentos: TRANUS não considera viagens intrazonais em suas análises, de forma que o zoneamento não deve ser demasiadamente desagregado, a ponto de não considerar viagens motorizadas;
- ✓ concentração de população e atividades: zonas menores em regiões mais densas e diversificadas;
- ✓ características da população e das atividades: zonas podem se restringir a grandes equipamentos, ou delimitar áreas predominantemente residenciais, de acordo com as análises que se pretendem;
- ✓ infraestruturas de transporte: grandes eixos viários ou grandes equipamentos de transporte devem delimitar zonas, pois é por eles que circulam e se distribuem passageiros e veículos.

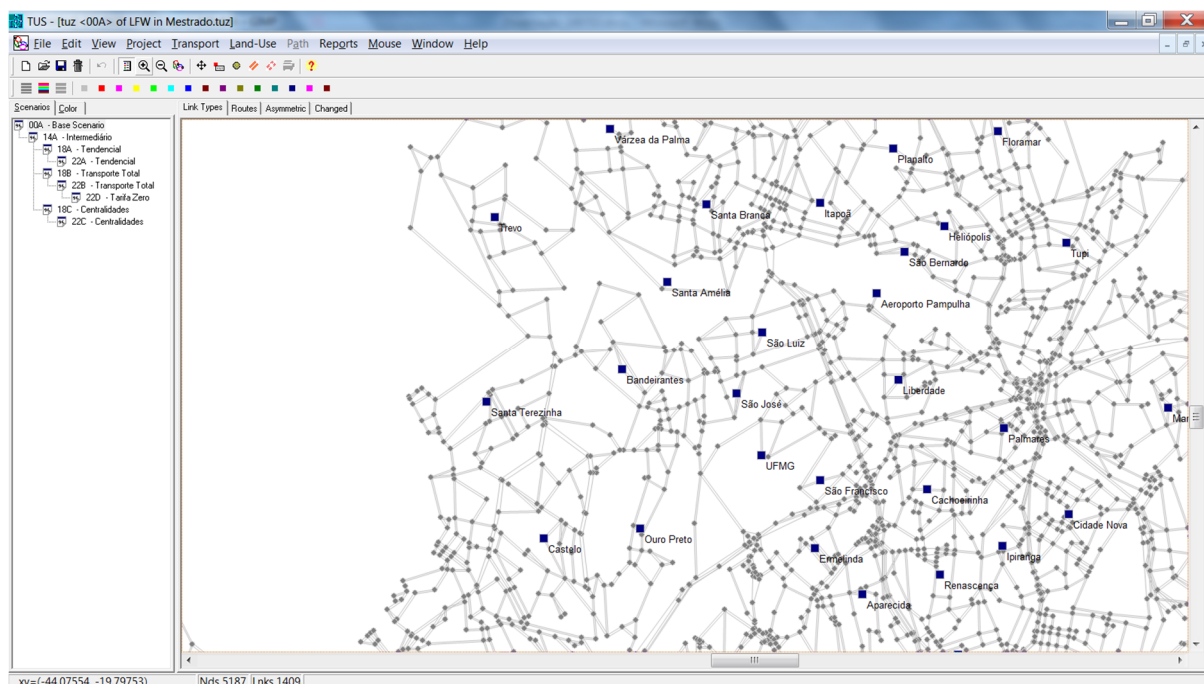
A figura a seguir identifica a divisão territorial proposta para o Modelo LUTI RMBH, e verifica-se que as subdivisões são maiores nas regiões mais centrais do polo metropolitano – Belo Horizonte – em função dos maiores níveis de adensamento construtivo e populacional desta região. De forma análoga, a divisão é mais agregada nas regiões mais periféricas.



Fonte: (elaboração própria)

Figura 13 – Zoneamento Modelo LUTI RMBH

Importante ressaltar que, no TRANUS, cada uma das zonas é representada por um centroide, que contém não apenas coordenadas geográficas de sua localização mas, sobretudo, o conjunto de informações socioeconômicas referentes àquela zona. As viagens consideradas pelo TRANUS são exatamente as viagens que conectam os diversos pares de centroides dentro da área coberta pelo modelo. Na figura a seguir, os centroides estão representados pelos pequenos quadrados azuis, e são identificados pelo nome de um dos bairros mais representativos da região, mas não devem ser confundidos com os limites administrativos de tal bairro, uma vez que cada centroide pode abarcar – e efetivamente quase sempre abarca – mais de um bairro.

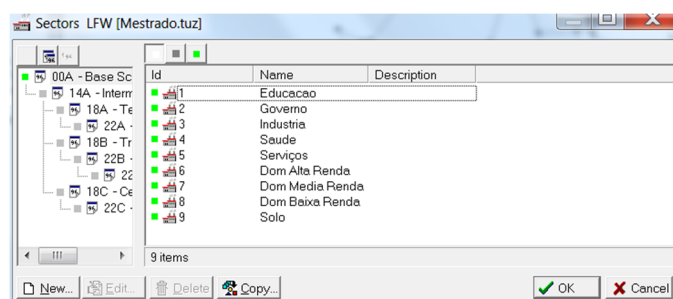


Fonte: (elaboração própria)

Figura 14 – Detalhe Quadro CENTROIDES Modelo LUTI RMBH

• Setores Econômicos e Localização de Atividades

Definido o zoneamento é necessário delimitar os setores econômicos que serão representados no modelo. Em TRANUS, um *setor* pode ser qualquer atividade que gere intercâmbio econômico ou espacial: “pode representar os setores tradicionais da economia (agricultura, indústria, governos), fatores de produção (terra, capital, trabalho), bem como grupos de populações, trabalhadores, edificações, solos, etc... (Modelística, 2011, p. 18)”. No modelo da RMBH a figura a seguir ilustra os setores selecionados. São nove setores definidos em função da disponibilidade e acessibilidade de informações, bem como pelo fato de representarem parte significativa das atividades econômicas motivadoras de deslocamentos na região.



Fonte: (elaboração própria)

Figura 15 – Detalhe Quadro SETORES Modelo LUTI RMBH

No modelo, cada centroide deve possuir determinada ‘quantidade’ de cada um dos setores definidos. Por exemplo: centroide A deve possuir X número de empregos no setor Indústria, bem como Y moradores de alta renda, Z empregos em serviços, e assim por diante. Os setores Educação e Saúde são representados pelo número de matrículas e de leitos, respectivamente.

A estratificação dos domicílios por renda seguiu classificação do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), que define como *baixa renda* famílias cujo montante total percebido não ultrapasse 0,5 (50%) do salário mínimo per capita; como *média renda* são classificadas as famílias que acumulem entre 0,5 e 2,0 salários mínimos per capita; e, por fim, *alta renda* abarcariam aquelas famílias cuja renda ultrapasse os 2,0 salários mínimos per capita. A partir desta conceituação e dos dados disponibilizados pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2011), foi possível identificar o número de domicílios pertencentes a cada estrato, por zona do modelo. Dados relativos aos empregos foram retirados dos bancos de dados e relatórios do IBGE (Cadastro Central de Empresas), Ministério do Trabalho (CNAE, RAIS) e Prefeitura de Belo Horizonte (Cadastro Municipal de Contribuintes de Tributos Mobiliários CMC).

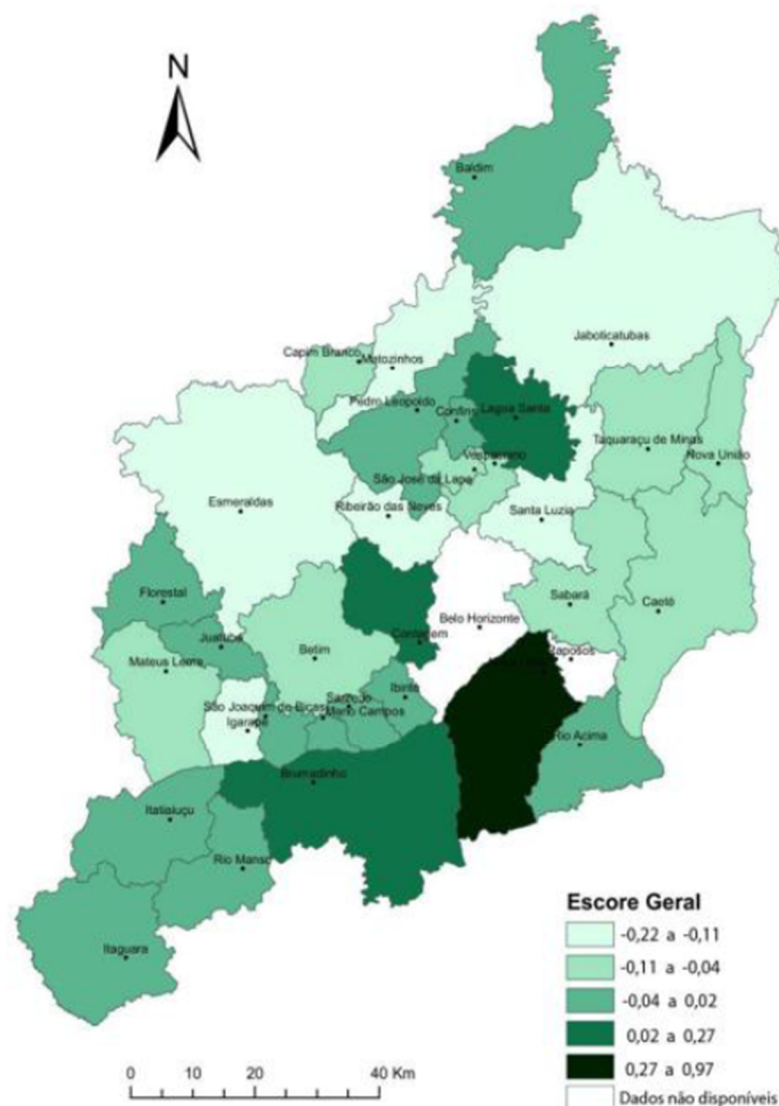
O setor Solo merece uma atenção especial na modelagem de atividades. Usualmente, trabalham-se com dois conceitos distintos em TRANUS: solo natural (terreno) e solo construído (edificação). A inclusão de setores distintos para as duas categorias de solo tem-se revelado essencial, na medida em que estão na origem dos custos que determinam a localização ótima de uma atividade. O próprio de la Barra cita que criar apenas o setor Solo Construído no TRANUS não tem gerado bons resultados, uma vez que, na prática, as maiores variações de preço se dão no terreno natural. Efetivamente, como ressalta Pupier (2013), impactos de aumento de preço dos terrenos são relativamente atenuados em regiões mais adensadas, pois são compartilhados entre os vários pavimentos e unidades ali alocadas. Assim, idealmente, seriam criados setores distintos para solos naturais (áreas residenciais, áreas comerciais, áreas industriais,...) e solos construídos (edifícios, galpões, residências unifamiliares, condomínios verticais, condomínios horizontais, ...) e estabelecer-se-iam as respectivas relações de consumo entre eles. Dois fatores, entretanto, condicionaram a modelagem da RMBH, e determinaram a inclusão de um único setor Solo Construído:

1. a dificuldade para reunir informações suficientemente desagregadas, em função do zoneamento proposto, e para estabelecer parâmetros isonômicos de uso dos diversos tipos de solo natural. Afinal, a maior parte dos planos diretores em vigor, e mesmo uma análise empírica do uso do solo real evidencia a tendência à disseminação de usos mistos por todo o território urbano, tornando sem sentido uma segmentação estática em função de seus usos (com as exceções óbvias dos distritos industriais ou dos renovados conjuntos habitacionais, que não representaram justificativa significativa no caso do modelo da RMBH);
2. a inexistência de dados confiáveis que permitissem a modelagem de setores de Solo Construído compatíveis com os demais setores elencados (indústria, serviço, governo, educação e saúde).

Ao final, optou-se por definir um único setor Solo Construído para o modelo, trazendo mais uma vez à tona a prerrogativa de que a representação pormenorizada da realidade não é o principal objetivo do trabalho, mas sim a validação do modelo como construtor de cenários prospectivos. Objetivo este que, entende-se, não ficaria prejudicado com esta simplificação. A quantificação, em termos espaciais, do solo construído disponível em cada uma das zonas foi elaborada a partir de ferramentas de geoprocessamento. Cabe ressaltar que, uma vez adotado o solo construído como único representante do setor 'solo', apenas cenários de *adensamento* da mancha urbana são possíveis no Modelo LUTI RMBH, abandonando-se a possibilidade de analisar possíveis efeitos de espraiamento, que demandariam solo natural, não parcelado.

Os valores de referência do setor Solo foram levantados ou determinados de acordo com a existência de fontes adequadas. Para a cidade de Belo Horizonte, foram levantados preços médios para cada uma das zonas a partir do índice FIPE-ZAP, que disponibiliza preços atualizados, baseados em ofertas anunciadas de imóveis, de 84 distritos em Belo Horizonte e cidades vizinhas. Para o cálculo do preço médio das cidades metropolitanas não presentes na pesquisa FIPE, valeu-se do estudo desenvolvido por ocasião do PDDI-RMBH¹⁸ (2011), quando foi desenvolvido acompanhamento comparativo dos preços do mercado imobiliário na RMBH. O mapa a seguir identifica os resultados verificados para o preço médio de cada município, referenciado no preço médio da RMBH, em percentual, desconsiderando-se o mercado de Belo Horizonte.

¹⁸ O Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte – PDDI-RMBH, foi contratado pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana – SEDRU, do Governo do Estado de Minas Gerais, junto à Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis de Minas Gerais – Fundação Ipead, e elaborado por uma equipe coordenada pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional – Cedeplar, da Faculdade de Ciências Econômicas – FACE, da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, com a participação direta de professores e alunos de pós-graduação e graduação, de várias unidades e departamentos da UFMG. Os estudos envolveram também professores e pesquisadores do Observatório de Políticas Urbanas – OPUR, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PucMinas, e da Escola de Design da Universidade Estadual de Minas Gerais – UEMG. A equipe técnica do Plano Metropolitano incluiu também professores e pesquisadores de outras unidades de ensino superior e centros de pesquisa no Estado, além de consultores nas áreas de planejamento urbano e ambiental, transportes, políticas públicas e outros estudos setoriais. (...) O objetivo do PDDI é (...) construir um processo de planejamento metropolitano na RMBH envolvendo seus municípios, o estado de Minas Gerais, os órgãos federais ali atuantes, a sociedade civil organizada em seus movimentos sociais, associações empresariais e populares e também, complementarmente, os municípios que compõem o Colar e o Entorno Metropolitano. Trata-se de construir um processo perene de discussão, colaboração e integração de conhecimentos, no curto, médio e longo prazos, e de redes de informação que permitam a análise, a crítica e o monitoramento permanentes das múltiplas ações dos vários agentes que atuam no espaço e território metropolitanos. (UFMG / PUCMINAS / UEMG, 2011)



Fonte: (UFMG / PUCMINAS / UEMG, 2011)

Figura 16 – Índice de preços imóveis RMBH

De forma geral, os preços médios na RMBH estão 30% abaixo dos preços médios praticados em Belo Horizonte. Para se chegar a valores médios por município, de forma a compatibilizar a informação às demandas da modelagem no TRANUS, aplicou-se a este percentual médio os índices de preços levantados pelo PDDI, ajustados por um desvio-padrão calculado a partir de um coeficiente de ajuste que nivelou os preços mais altos de Belo Horizonte aos preços mais altos do município que apresentava os valores mais altos da RMBH (no caso, Nova Lima, onde em bairros como o Vila da Serra ou o Vale do Sereno efetivamente se praticam preços equivalentes à região do bairro Belvedere, em Belo Horizonte, um dos mais caros da cidade). Ao final foram definidos valores mínimos e máximos do Solo para cada uma das zonas do Modelo, dado essencial para sua convergência, uma vez que a elasticidade do setor Solo é o que permite seu equilíbrio perante a demanda por localização de atividades. A variação nestes valores, bem como a alteração dos índices de elasticidade do setor, ou as alterações na oferta de solo são as variáveis à disposição do analista no momento de construção de cenários futuros para análise das possíveis alterações na estruturação territorial.

- **Relações Intersetoriais**

Toda a cadeia de insumos/produtos que está na base do TRANUS se estrutura a partir da relação de consumo entre os setores de atividades elencados. Alguns dos setores podem ser definidos como “exógenos” ao Modelo, quer dizer, tratam-se de setores que não são induzidos, ou consumidos, por nenhum outro, mas fruto de intervenções diretas no Modelo, como por exemplo o setor Indústria. Neste setor, os empregos são usualmente gerados a partir de intervenções diretas do Poder Público, que cria condições políticas adequadas à implantação, por exemplo, de um parque industrial, independentemente da estrutura de moradias e serviços do entorno. O mesmo ocorreria com o setor Governo, por exemplo. Assim, no Modelo da RMBH estes dois setores foram definidos como ‘exógenos’.

Para todos os demais setores precisam ser definidos coeficientes de consumo intersetorial, reproduzindo a cadeia produtiva local, o que quer dizer que é preciso definir, por exemplo, qual o consumo, em área (setor Solo), de cada moradia de setor Domicílio Baixa Renda; ou quantos empregos são gerados no setor Serviços, para cada moradia do setor Domicílio Alta Renda. O setor Solo (que no Modelo LUTI RMBH se refere ao solo construído) não consome nenhum outro, sendo apenas consumido, e tendo sua produção induzida pelos demais.

Setor		Consumidos								
		Educação	Governo	Industria	Saúde	Serviços	Dom. ALTA	Dom. MEDIA	Dom. BAIXA	Solo
Consumidores	Educação						0,25	0,45	0,19	27,4
	Governo						0,23	0,6	0,1	3,4
	Industria						0,12	0,52	0,21	7,1
	Saúde						0,09	0,54	0,21	13,4
	Serviços						0,06	0,39	0,33	17,6
	Dom. ALTA	0,05			0,06	1,87				150,8
	Dom. MEDIA	0,04			0,05	0,48				90,5
	Dom. BAIXA	0,02			0,05	0,11				55,3

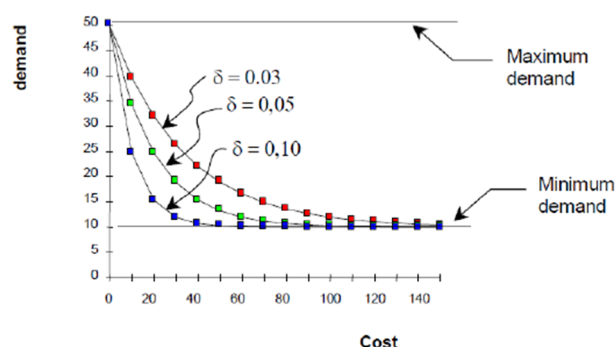
Fonte: (elaboração própria)

Tabela 1 – Coeficientes Intersetoriais

Dados para estruturação destes coeficientes foram retirados do IBGE (Cadastro Nacional de Empresas, PNAD) e do Ministério do Trabalho (RAIS, CNAE). Coeficientes de consumo de solo por cada um dos setores foram construídos com o auxílio do banco de dados tributários da Prefeitura de Belo Horizonte (CMC, IPTU) que, cruzados com a classificação de atividades do CNAE, permitiu o cálculo da superfície média consumida por cada atividade.

Estes índices devem, em seguida, ser adequados para que correspondam aos padrões de deslocamento verificados nos dados de referência (Pesquisa O/D). No caso do Modelo LUTI RMBH foram utilizadas como referência informações sobre os motivos de viagem, assim as relações intersetores foram calibradas para que o Modelo pudesse convergir para as mesmas condições de equilíbrio entre oferta e demanda. No caso do setor solo, os ajustes levaram em consideração o fato de se tratar de um setor ‘não-transportável’, isto é, não é possível consumi-lo em uma zona diferente de onde ele é produzido (muito embora instrumentos recentes de

gestão urbana como a Outorga Onerosa ou a Transferência do Direito de Construir venham flexibilizar esta afirmação. Tais instrumentos não foram considerados no Modelo LUTI RMBH). Assim, o equilíbrio oferta-demanda tem que ser feito zona a zona e, em TRANUS, é o preço da terra que baliza este equilíbrio. O *software* exige que sejam determinados preços máximos e mínimos para o solo, bem como um índice de elasticidade que permita ao Modelo a convergência em direção ao equilíbrio. Para definição do intervalo de demanda foram analisados os níveis de consumo de solo em cada uma das zonas, em relação ao volume de solo disponibilizado. Foram verificados índices que variaram entre 38% e 648% do volume total de solo disponibilizado. Estes valores foram utilizados como referências máximas e mínimas de demanda no Modelo LUTI RMBH. A curva de elasticidade foi encontrada através da tentativa de aproximação destes valores, de acordo com a curva de função da demanda definida pelo TRANUS, ilustrada na figura a seguir. O índice que melhor se adequou aos valores máximos e mínimos e que permitiu ao Modelo melhor convergência foi de 0,04.



Fonte: (Modelística, 2012)

Figura 17 – Funções de Demanda

	Educação	Governo	Indústria	Saúde	Serviços	Dom. ALTA	Dom. MEDIA	Dom. BAIXA
Consumo Médio	27,39	3,35	7,08	13,37	17,58	150,80	90,50	55,30
Consumo Mínimo	10,48	1,28	2,71	5,12	6,73	57,71	34,63	21,16
Consumo Máximo	67,95	8,31	17,56	33,17	43,61	374,11	224,52	137,19
Elasticidade	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 2 – Calibração funções de demanda pelo Setor Solo

No TRANUS, as relações intersetoriais não são fixas, podendo variar de acordo com os cenários prospectivos propostos. De la Barra (Modelística, 2012) utiliza e estimula variações destes coeficientes em alguns dos projetos que desenvolve, baseando-se sobretudo na maior tendência à variabilidade da oferta de empregos com relação ao número de moradores das áreas de estudo. No Modelo da RMBH, entretanto, optou-se por manter os coeficientes fixos ao longo do tempo.

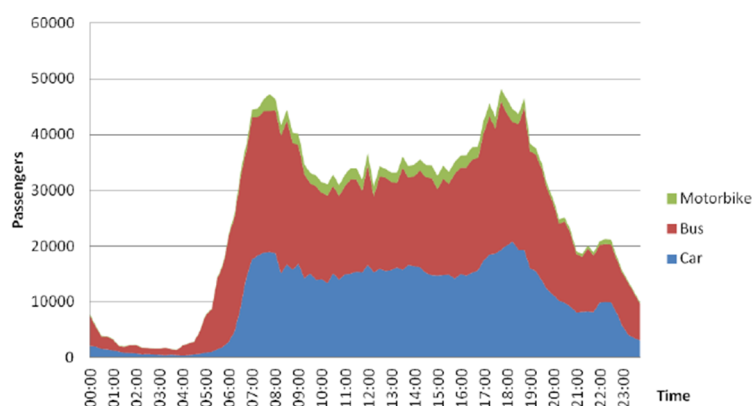
2.5. Cenário Base: Modelagem Sistema de Transportes

O sistema de Transportes no TRANUS tem estrutura semelhante a outros *softwares* mais usualmente utilizados no planejamento de transportes: o modelo de quatro etapas. Os fluxos econômicos transportáveis gerados pelo modelo de Atividades são transformados em viagens, que se distribuem espacialmente em função do equilíbrio espacial entre a oferta e demanda por atividades. As viagens se realizam através dos diversos modos de transporte disponíveis, valendo-se de rotas definidas pela rede viária disponibilizada.

- **Intervalo de Simulação**

O intervalo de simulação é relevante dentro da modelagem, uma vez que vários dos parâmetros de convergência são baseados no tempo, como a frequência das linhas de ônibus, o custo financeiro dos deslocamentos, os níveis de congestionamento, entre outros. É importante que o intervalo escolhido seja representativo e que leve em consideração os padrões de deslocamento cotidianos da região em análise, isto é, não deve ser nem excessivamente curto, a ponto de representar apenas fenômenos isolados, nem longo em demasia, trazendo ao modelo uma sobrecarga de dados que serão pouco ou nada utilizados na análise dos resultados.

Tradicionalmente utiliza-se os ‘horários de pico’ de carregamento dos sistemas de circulação e transporte para modelagens computacionais, por tratar-se de momento com maior sobrecarga das infraestruturas. Mais especificamente em um modelo integrado como o TRANUS, a utilização do horário de pico como intervalo de simulação se justifica por se tratar do período de maior concentração de viagens “obrigatórias” (estudo, trabalho, casa), essenciais para a leitura e compreensão da estruturação territorial das principais atividades econômicas (local de moradia, de trabalho, de estudo). Um gráfico tradicional de análise de carregamento ao longo do dia apresenta aparência semelhante ao representado na figura a seguir, com três momentos de pico mais marcantes: dois picos principais, nos períodos da manhã e da tarde, e um pico ‘intermediário’, que ocorre normalmente próximo ao horário de almoço.



Fonte: (elaboração própria)

Figura 18 – Comportamento Demanda de Tráfego Dia Típico Belo Horizonte

Os dados para elaboração do gráfico anterior foram retirados de pesquisa realizada pela Prefeitura de Belo Horizonte por ocasião da elaboração do programa VIURBS¹⁹, de 2006 (Prefeitura de Belo Horizonte, 2008). Foram realizadas contagens classificadas de veículos em 21 pontos de acessos à região central de Belo Horizonte (pesquisa *screen line*²⁰), cujos dados foram utilizados para atualização do número de viagens verificado por ocasião da pesquisa Origem e Destino de 2002 (Fundação João Pinheiro). Percebe-se pela imagem acima que o horário de pico da manhã revela-se mais concentrado, ocorrendo sobretudo entre as 07:00 e as 08:30 da manhã. O pico da tarde alonga-se um pouco mais, estendendo-se aproximadamente das 17:30 às 19:30h. Ambos os picos concentram aproximadamente 14% do tráfego total ao longo do dia. Em função da maior concentração de viagens, e da tipologia destas viagens (maior participação de viagens “obrigatórias”, como exposto acima), o pico da manhã foi escolhido para o Modelo LUTI RMBH. Entretanto, para garantir que todo o pico seria simulado, estendeu-se seu intervalo entre as 07:00 e as 09:00 da manhã.

- **Motivos de Viagens**

No TRANUS, os motivos de viagem (ou Categorias, de acordo com a nomenclatura adotada pelo *software*) são definidos pelo analista, de acordo com o propósito da simulação. Tais categorias devem representar todas as possíveis viagens geradas a partir dos setores econômicos previamente elencados, e para cada uma delas devem ser definidos parâmetros econômicos, tais como valor do tempo de viagem (*travel time value*), valor do tempo de espera (*waiting time value*) e índice de geração de viagens (*trip generation rate*). No Modelo LUTI RMBH foram definidos os seguintes motivos de viagem:

- TrabalhoBaixa: viagens a trabalho a partir de domicílios de baixa renda
- TrabalhoMedia: viagens a trabalho a partir de domicílios de média renda
- TrabalhoAlta: viagens a trabalho a partir de domicílios de alta renda
- Estudos: viagens a partir de todos os domicílios
- Saúde e Serviços: viagens a partir de todos os domicílios

A tabela a seguir identifica categorias e parâmetros definidos para o Modelo LUTI RMBH.

¹⁹ O Programa de Estruturação Viária de Belo Horizonte (VIURBS ou, mais tarde, ‘Corta-Caminho’) foi um estudo desenvolvido e publicado pela Prefeitura de Belo Horizonte em 2008, e teve como propósito ‘analisar a malha viária existente e priorizar a implantação das novas conexões viárias, considerando as propostas do Plano Diretor’ (Prefeitura de Belo Horizonte, 2008, p. 6). Seu objetivo prioritário foi o de classificar um conjunto de intervenções viárias (cerca de 140 no total) em função de indicadores como reestruturação do sistema viário radio-concêntrico da Capital; redução das viagens de atravessamento da área central; minimização dos impactos ambientais; priorização do transporte coletivo e não motorizado; entre outros.

²⁰ As pesquisas de Linha de Controle (ou *screen line*) são geralmente realizadas como forma de coletar informações empíricas que servirão como base para calibração de modelos computacionais dos sistemas de circulação e de transportes. Usualmente são verificados em campo informações como quantidade e categoria dos veículos que passam pelos pontos de controle, bem como índices de ocupação do transporte individual e coletivo.

Categoria	Gerada pelo consumo de (setor)	Consumido por (setor)	Valor (\$) Tempo de Viagem	Valor (\$) do Tempo de Espera	Índice MIN de geração de viagens	Índice MAX de geração de viagens
TrabalhoBaixa	DOM baixa renda	Todos setores de atividades	0,54	1,08	0,19	0,28
TrabalhoMedia	DOM média renda		2,70	5,40	0,39	0,49
TrabalhoAlta	DOM alta renda		14,68	29,36	0,71	0,81
Estudos	Educação	Todos DOM	1,98	3,96	3,11	3,36
Saúde e Serviços	Saúde e Serviços		11,96	23,92	0,04	0,05

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 3 – Categorias (Motivos) de Viagem

Os valores do tempo de viagem e do tempo de espera são definidos em função da renda de cada um dos setores residenciais. De la Barra (1989) recomenda, a partir da experiência acumulada na modelagem de diversos sistemas na América Latina, a utilização de valores equivalentes a 1/3 do salário-hora para o valor do tempo de viagem, e 2/3 do salário-hora para o valor do tempo de espera. Estes foram os valores utilizados no Modelo LUTI RMBH, considerando-se o salário mínimo oficial de Janeiro de 2010, data de referência do Cenário Base, como se verá mais adiante. Índices mínimos e máximos de geração de viagens foram ajustados de forma a refletir os dados de referência.

Para efeito de calibração do Modelo LUTI RMBH, é necessário estabelecer parâmetros de referência, neste caso os dados da Pesquisa Origem e Destino (O/D) da RMBH, realizada em 2002 pela FJP e atualizada pela Prefeitura de Belo Horizonte em 2006, por ocasião do projeto VIURBS. Os dados foram atualizados para 2010, ano do Cenário Base, valendo-se dos índices de crescimento do tráfego verificados no período entre 2002 e 2006, ou seja, a uma taxa de incremento de 2,59%²¹ ao ano. Apesar de ter sido disponibilizada pela ARMBH em Dezembro de 2013, a matriz gerada pela Pesquisa Origem e Destino realizada em 2012 não foi utilizada por que não houve tempo suficiente para a montagem e calibração da rede de transportes em plataforma compatível com o TRANUS. Optou-se, assim, pela utilização de redes de transporte já validadas pelo Poder Público em outros projetos o que, acredita-se, não prejudica os resultados da análise aqui apresentada, que privilegia a análise crítica da ferramenta, como destacado no item Proposta de Modelagem.

Importante ressaltar que as viagens geradas e consideradas no Modelo LUTI RMBH excluem aquelas que têm origem e destino na mesma zona (intrazonais), bem como aquelas com origem ou destino fora da RMBH. Em função disso, foi necessário filtrar os dados da Pesquisa O/D de 2002, de forma a selecionar somente as viagens que poderiam servir de parâmetros para a calibração do Modelo. De acordo com os dados desta Pesquisa, cerca de 787.211 (cerca de 55% do total de viagens geradas no período) viagens eram realizadas entre as 07:00 e 09:00h entre diferentes zonas do Modelo LUTI RMBH (para esta filtragem foi necessária a sobreposição dos zoneamentos utilizados na Pesquisa O/D de 2002 e no Modelo LUTI RMBH, de forma a viabilizar a identificação de correspondência entre as duas bases).

²¹ taxa de crescimento verificadas através de pesquisa “screenline” desenvolvida pela empresa Tectran, por ocasião da elaboração do projeto VIURBS (“Corta Caminho”), em 2006.

Atualizando-se este número para o ano de 2010 (Cenário Base), tem-se como referência para o número total de viagens geradas durante o intervalo de simulação do Modelo o valor de 965.898.

- **Rede Viária e de Transportes**

A rede viária considerada no Modelo LUTI RMBH é a rede desenvolvida pela Prefeitura de Belo Horizonte para o projeto VIURBS e, após ser submetida a um processo de simplificação (ferramenta disponibilizada pelo próprio TRANUS, que elimina *links* e nós considerados “desnecessários” em função das alternativas de conexão entre nós), terminou por se compor de 5.187 nós e 14.098 *links*. Esta rede foi importada a partir do *software* TransCAD, através de processo desenvolvido pela Modelística, com o auxílio de planilhas em formato .csv. Apenas a título de informação (o procedimento encontra-se detalhado em arquivos disponibilizados no *website* da empresa), a importação se dá através da criação de quatro arquivos de rede distintos, todos em formato .csv, sendo: *nodes* (nós), *links*, *opers* (operadores de transporte, definição que será tratada a seguir) e *routes* (rotas de transporte público).

As redes utilizadas devem ser importadas, idealmente, já prontas, com todas as informações sobre sentidos direcionais, regulamentação de velocidade e capacidade viária. De forma semelhante, a rede de transportes públicos deve vir com rotas, frequências e horários já definidos. É possível importar uma rede incompleta, ou mesmo iniciar a montagem de uma rede desde a sua etapa inicial diretamente no TRANUS, no entanto a importação de redes existentes proporciona evidente redução no tempo dedicado à montagem do Modelo da RMBH. Fica claro que grande parte da confiabilidade dos resultados da simulação é dependente da qualidade das redes de sistema viário e de transportes utilizadas para construção do Cenário Base. Por esta razão optou-se pela utilização de arquivos já utilizados e validados em outros projetos do Poder Público. Assim, a rede de sistema é a mesma utilizada no projeto VIURBS (2006), da Prefeitura de Belo Horizonte, e a rede de transportes é a rede utilizada pela BHTRANS desde a elaboração do Plano de Mobilidade de Belo Horizonte, em 2008. Ainda assim, uma conferência geral das redes foi necessária, para correção de alguns erros ou falhas verificadas, como regulamentação de velocidades, capacidade viária, entre outros.

- **Modos de Transporte**

Modos de transporte, ou Operadores, como definido no TRANUS, determinam as alternativas de deslocamento ofertadas no Modelo. Para cada Operador devem ser definidos parâmetros específicos, como custos com tarifas, custos operacionais, taxas de ocupação, entre outros. A imagem a seguir identifica as características básicas dos Operadores, de acordo com a estrutura do *software*.

Characteristics	Examples
Operator	Pedestrian, Bike, Car, Bus, Train, Taxi, Plane, etc.
Type	Non-motorised, Normal, Transit, Transit with routes
Occupancy	Pedestrian: 1 Car: generally slightly higher than 1 Train: up to thousands
Costs for the user	Car: energy cost (considers only costs of use) Bus, metro: boarding cost Taxi: Boarding, time and distance cost
Fixed waiting time	Pedestrian, bike, car: No Bus: Generally not (waiting time is function of frequency) Metro, plane: Yes (buying ticket, checking and boarding)
Modal Constant	Default: 1. Higher for less attractive operators.

Fonte: (Pupier, 2013)

Figura 19 – Principais Características dos Operadores no TRANUS

No Modelo LUTI RMBH foram definidos quatro Operadores: carro, ônibus, metrô e pedestre, abrangendo cerca de 95% das viagens na RMBH, de acordo com a pesquisa O/D de 2002²². Os parâmetros utilizados para cada um dos operadores utilizados estão destacados na tabela a seguir. Importante ressaltar que eventuais custos de integração entre diferentes modos de transporte (políticas de integração tarifária) devem ser definidos no Modelo. Assim, viagens com transbordo intermodal foram taxadas em R\$ 2,85 adicionais no caso de integração entre ônibus e R\$ 1,85 no caso de integração ônibus/metrô.

Operador	Tipo	Ocupação no Pico	Constante Modal	Tarifa de Acesso (R\$)	Custo Energético (R\$/km)
Carro	<i>Normal</i>	1,45	1,00	-	0,63 a 1,90
Ônibus	<i>Transit with routes</i>	80	1,20	2,85	-
Metrô	<i>Transit with routes</i>	1000	1,20	1,85	-
Pedestre	<i>non-motorised</i>	1	2,00	-	-

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 4 – Operadores de Transporte

²² Viagens nas categorias Caminhão, Motocicletas, Taxis, Ônibus Escolares, Bicicletas e Transporte Especial, que somam cerca de 5% do total de viagens de acordo com a Pesquisa OD de 2002, não foram consideradas no Modelo LUTI RMBH

- **Sistemas Viário e de Transportes**

As definições sobre os tipos de *links* (vias) que seriam utilizados no Modelo LUTI RMBH basearam-se nas classificações originais das redes utilizadas (BHTRANS e Tectran), e foram adaptadas aos objetivos da modelagem que aqui se propõe. Assim, foram definidos onze tipos distintos de vias, de acordo com a classificação ilustrada na tabela a seguir.

Tipo de Via	Características	Capacidade (veic/h)	Velocidade Máx. Regulamentada (km/h)	
			Auto	Ônibus
Acesso centroides	não se trata de uma <i>link</i> real, mas apenas de uma conexão entre os centroides e a rede viária	999999	30	15
Terminal	conexões de pedestres entre as estações do metrô e estações de ônibus	999999	sem restrições	
Acesso Metro	conexões de pedestres entre as estações do metrô e a rede viária	999999	sem restrições	
Via Local	vias de acesso local	1000	30	15
Via Coletora	conexão entre vias locais e o sistema viário principal	1000	40	15
Arterial Central	vias dentro do perímetro da Av. Contorno	1000-7200	40	20
Arterial Primária	principais eixos viários municipais	5000	60	40
Arterial Secundária	eixos municipais importantes	2000	50	30
Rodovia Urbana	rodovias dentro da malha urbana	5400	90	60
Rodovia	rodovias intermunicipais	1800-3600	90	60
Metro	exclusiva para operação metrô	3 min (headway)	não se aplica	

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 5 – Tipos de *links*

Foi necessário um trabalho de revisão das redes utilizadas, em função de algumas incorreções verificadas, como injustificada descontinuidade das capacidades em um mesmo corredor viário, regulamentações de velocidade incompatíveis com a função real da via (por aparente equívoco na parametrização das redes), ou outras correções mais simples. No caso dos *links* de uso exclusivo para pedestres, TRANUS não reconhece limites de capacidade. De qualquer forma, para que não houvesse possibilidade de incorreções, adotou-se para estes *links* a capacidade padrão de 999.999 veículos (ou pedestres) por hora. No momento de construção dos cenários futuros, como será mostrado mais adiante, novos *links* foram criados, de forma a simular intervenções sobre os sistemas de transporte e de circulação.

No tocante à rede de transportes, importantes simplificações foram necessárias, e talvez este seja um dos principais pontos a serem aprimorados em modelagens futuras. A rede com a qual se trabalhou não possuía, originalmente, rotas pré-definidas no formato exigido pelo TRANUS, de forma que, se assim fosse mantida, ela funcionaria de maneira artificial, seguindo rotas de acordo com a demanda existente, livres de itinerários pré-definidos (o que não deixa de ser uma importante ferramenta de planejamento de transportes, uma vez que se poderiam analisar as atuais correspondências entre demandas por deslocamento e redes de transporte

ofertadas). Por outro lado, considerando-se a existência de mais de mil linhas de ônibus em operação na RMBH, a inserção de cada uma delas na rede do TRANUS demandaria tempo incompatível com o período da pesquisa, de forma que optou-se pela simplificação das rotas, na tentativa de manter os níveis reais de conexão entre os vários pontos da cidade, sem a necessidade de se respeitar em detalhes a oferta de ônibus existente. Trata-se de manobra bastante comum na modelagem de transportes, inclusive por usuários do TRANUS em outras localidades. Desta forma, foram criadas 66 rotas de ônibus equivalentes, adaptando-se frequência e capacidade, para que fossem mantidas as condições reais entre oferta e demanda, neste cenário base. As principais características da oferta atual, sobretudo no que se refere aos índices de cobertura da rede e a estruturação das linhas (troncais, diametrais e alimentadoras) foram respeitadas em sua máxima integridade. Uma primeira adequação foi a delimitação de linhas internas à cidade de Belo Horizonte e linhas externas à Capital, em função das diferenças de tarifas existentes entre as linhas municipais e as intermunicipais. Como não foi criado um Operador específico para o transporte metropolitano (apenas o operador ‘ônibus’ foi disponibilizado) não foi possível fazer a diferenciação tarifária. Assim, criou-se o artifício de interromper as linhas intermunicipais no limite de Belo Horizonte, com transferência automática para uma linha municipal, com pagamento de tarifa de transferência, mas sem penalização de tempo, em função do ajuste das frequências das linhas. Com esta adaptação os usuários das linhas metropolitanas acessam favoravelmente seu destino – área central de Belo Horizonte – pagando por duas tarifas simples (R\$2,85), o que equivaleria a pagar a tarifa de uma única linha direta metropolitana, quase sempre mais cara, caso ela fosse disponibilizada no Modelo.

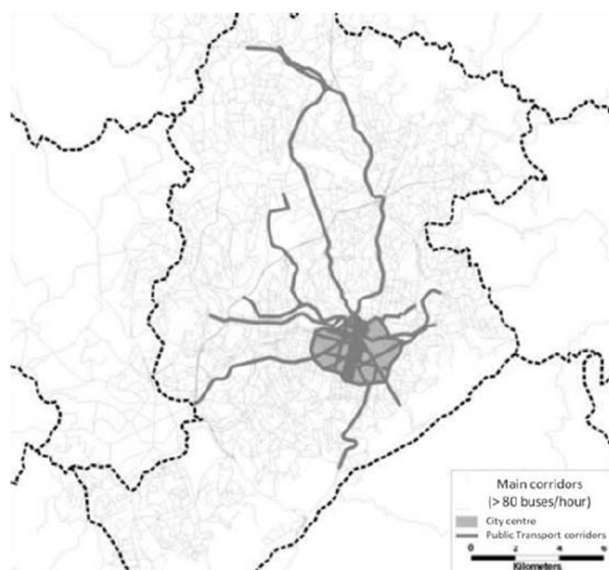
A quantidade de viagens realizadas tanto ao longo do dia como no horário de pico aqui analisado (entre as 07:00 e as 09:00 horas da manhã), pelo modo ônibus, é conhecida, a partir dos dados atualizados pelo Plano de Mobilidade de Belo Horizonte (BHTRANS, 2010). A tabela a seguir mostra que são 7116 veículos no horário de pico, o que representa cerca de 13% do total de viagens realizadas ao longo do dia (índice semelhante ao percentual de viagens totais, isto é, valendo-se de todos os modos. Assim, 7116 veículos foram alocados no Modelo LUTI RMBH, após definição das rotas equivalentes, e adaptação das frequências.

Intervalo	Horário	Número de Viagens por Ônibus (veículos)	% Viagens Diárias Totais
Dia Inteiro	00:00 às 23:59	55.267	100%
Dia útil	05:00 às 23:00	52.547	95,1%
Pico da Manhã	07:00 às 09:00	7.116	12,9%

Fonte: (BHTRANS, 2010)

Tabela 6 – Viagens por Ônibus RMBH

Para a determinação dos *links* pelos quais passariam estas linhas simplificadas (rotas equivalentes), foi utilizado Mapa dos Principais Corredores de Transporte Coletivo de Belo Horizonte (BHTRANS, 2010), destacando as vias pelas quais circulam usualmente mais de 80 ônibus por hora, no horário de pico. A imagem a seguir ilustra estes corredores.



Fonte: (adaptado de BHTRANS, 2010)

Figura 20 – Principais Corredores Transporte Coletivo

O carregamento atual destes corredores foi utilizado como variável para determinação da alocação de cada uma das linhas criadas. Assim, cada uma das 7116 viagens verificadas no horário de pico da manhã foi distribuída, respeitando-se o ‘peso’ relativo de cada corredor, bem como as origens e os destinos de cada uma das 66 rotas criadas. O próximo passo foi o de definir a frequência de cada uma destas rotas, de forma a garantir o atendimento à demanda atual por deslocamentos, bem como máxima fidelização à representação das condições de tráfego verificadas na rede real. Para que as frequências finais das rotas fossem determinadas, foi necessário rodar o Modelo algumas vezes, para que os índices de ocupação de cada uma das linhas fossem analisados e comparados a condições mais verossímeis de circulação. Índices superiores a 80% da capacidade foram considerados ‘sobrecarregados’, e ajustes na frequência foram realizados até que este limite não fosse mais ultrapassado por nenhuma das rotas consideradas no Modelo.

Este tipo de simplificação está longe de ser o ideal, pois acarreta impactos evidentes sobre os níveis de acessibilidade das regiões analisadas, e compromete, consequentemente, todo o desempenho do Modelo, uma vez que a acessibilidade é base para alocação de moradias e atividades, que retroalimentam o modelo de transportes. Adicionalmente, torna bastante presumíveis índices irrealistas de carregamento do sistema viário, gerando congestionamentos em função de uma frequência superestimada de viagens por ônibus. De qualquer forma, a etapa de calibração do Modelo primou pela manutenção dos índices gerais de mobilidade e pela correta correlação dos motivos e modos de viagem, como será demonstrado nos próximos itens, o que minimiza os impactos destas simplificações sobre os resultados aos quais se propõe este estudo.

2.6. Testes de Calibração

O Cenário Base na estrutura do TRANUS é usado para calibrar o modelo de simulação, isto é, através de ajustes de parâmetros gerais e da correção ou adaptação de dados de entrada avança-se na aproximação do modelo com os dados reais da situação que se pretende simular. A calibração é feita comparando-se os resultados de saída do modelo com dados de referência. No caso do Modelo da RMBH, como ressaltado anteriormente, os dados de referência foram retirados da pesquisa Origem e Destino (O/D) de 2002 – aplicada pela Fundação João Pinheiro, órgão estadual – atualizada para o ano de 2010 e validada através de sua utilização em outros projetos coordenados pela Prefeitura de Belo Horizonte e pelo Estado de Minas Gerais ao longo dos últimos anos.

O Modelo LUTI RMBH foi estruturado, no que se refere ao seu zoneamento, a partir da agregação de Áreas Homogêneas, as unidades básicas de planejamento utilizadas nas pesquisas Origem e Destino desde 1972, e que vêm sendo atualizadas desde então, a cada nova pesquisa O/D, de forma a garantir sua compatibilidade com os setores censitários do IBGE e sua pertinência enquanto unidade de análise. Isto permitiu que os dados de entrada disponíveis fossem compatíveis com o modelo que se desejava estruturar. Entretanto, dentro do universo de dados disponibilizados pela Pesquisa O/D, algum filtro ou adaptação foi necessário. Por exemplo:

- foram selecionados, a partir da matriz da pesquisa O/D, dados das viagens relativas ao intervalo simulado no Modelo: entre as 07:00 e as 09:00 da manhã de um dia típico;
- a pesquisa O/D distribuiu as viagens levantadas entre mais de 10 operadores de transporte distintos. O Modelo da RMBH trabalha com apenas quatro (pedestre, carro, ônibus e metrô), de maneira que uma correspondência entre estes operadores foi necessária;
- viagens com origem e destino na mesma zona (intrazonais) foram retiradas do Modelo, pois são desconsideradas pelo TRANUS; da mesma forma, viagens com origem ou destino fora da RMBH também foram retiradas do universo de dados a serem considerados;
- como ressaltado anteriormente, a matriz O/D de 2002 foi atualizada para 2010 a uma taxa de crescimento de tráfego da ordem de 2,59% ao ano. Entretanto, a divisão modal, deliberadamente, não foi alterada, mesmo que fenômenos, como a tendência à maior participação dos modos individuais, já tenham sido confirmados pelos dados da Pesquisa O/D 2012. Assim, esta taxa de crescimento foi aplicada a todo o Modelo, em todas as regiões da cidade;
- a matriz de viagens gerada pelo TRANUS é baseada em viagens (*trip based*), como ressaltado na primeira parte da pesquisa. Assim, o Modelo contabiliza uma viagem para cada deslocamento produzido, por operador, isto é: se existe uma demanda por deslocamento a pé até a rota de ônibus mais próxima, e este usuário acessa uma das linhas que passam por aquele *link*, o Modelo

contabiliza duas viagens (uma a pé e outra de ônibus). O sistema não considera a possibilidade de estas viagens estarem vinculadas a um mesmo motivo (trabalho). É exatamente neste ponto que alguns dos modelos mais modernos, baseados em agentes individuais (*agent based*), propõem melhoramentos. Assim, o número total de viagens geradas pelo TRANUS é maior quando contabilizada a partir dos operadores, e menor se analisada pelo ponto de vista dos motivos. Neste sentido, ajustes nos dados gerados pelo TRANUS foram necessários.

Operadores	Auto	Onibus	Metro	A pé	TOTAL
Embarques	245.290	172.565	-	479.819	897.674
Transferências					
Auto	-	-	-	-	-
Onibus	-	403.952	-	673.693	1.077.644
Metro	-	-	-	23.411	23.411
A pé	-	570.799	23.411	-	594.209
Total Viagens Gerada Modelo	245.290	1.147.315	23.411	1.176.922	2.592.938
Viagens Consideradas Modelo RMBH	245.290	514.871	23.411	114.102	897.674

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 7 – Viagens por Operador Modelo LUTI RMBH

Estes ajustes foram feitos valendo-se de resultados gerados pelo TRANUS: a matriz de transferências intermodais. O aplicativo gera uma matriz com todas as viagens consideradas pelo Modelo, divididas entre viagens geradas diretamente (‘embarques’ na tabela anterior) e transferências intermodais. Para a definição das viagens a serem consideradas na análise dos resultados e calibração, definiu-se:

- todos os embarques no modo Auto serão considerados;
- as transferências entre os modos A pé e Metrô serão consideradas integralmente como embarques no modo Metrô;
- para o modo Ônibus serão consideradas como embarques efetivos aqueles diretos, mais 75% dos embarques a pé, subtraídos daqueles que geraram as viagens de Metrô. Este percentual foi ajustado para que o resultado total das viagens pelos modos Ônibus e A pé se aproximasse das proporções definidas pela pesquisa O/D de referência.

A rotina de calibração do Modelo foi estruturada a partir da concatenação dos dados gerados pelo *software* e as informações fornecidas pela Pesquisa O/D. Ao final de cada rodada da simulação, caso o Modelo convirja para o equilíbrio (isto é, caso ele “rode” até a finalização das iterações previstas), o *software* libera uma série de planilhas com a compilação dos resultados gerados para aquele cenário:

- *location_indicators* contém demandas e produções de fluxos econômicos de cada zona, para cada um dos setores econômicos modelados;
- *transport_indicators* contém dados relativos às viagens propriamente geradas pelo Modelo de Transportes, separados por categoria e por operador;

- *route_profile* contém informações referentes ao sistema de transporte coletivo, tais como distancias percorridas, passageiros transportados, velocidade média, ocupação, entre outros.

As informações contidas nestes relatórios gerados são então confrontadas com dados da Pesquisa O/D, bem como com o conhecimento empírico no analista e, caso necessário, ajustes são feitos em determinados parâmetros do Modelo (penalidades, elasticidades, constantes modais etc), até que os dados de saída representem em um nível adequado a realidade verificada no sistema que se pretende simular. A rotina de calibração seguiu alguns passos básicos:

1. na planilha *location_indicators* foi feita verificação e validação da produção e da demanda por cada um dos setores de atividades listados no Modelo. Em alguns casos, verificou-se que a produção chegou a três ou quatro vezes os valores verificados *in loco* o que, em casos com desvios grandes como estes, gerou análise individual, demandando ajustes nos dados de entrada (na grande maioria dos casos, erros no momento de inserção dos dados);
2. a partir da planilha *transport_indicators* houve verificação dos tempos de viagem e de espera, bem como o número de viagens suprimidas. Tempos de viagem ou de espera muito altos, bem como excessivo número de viagens suprimidas (viagens que foram geradas mas não chegaram a ser distribuídas) ocorrem em função de congestionamentos (tanto no sistema viário quanto na rede de transportes) que inviabilizam a conclusão ou mesmo a efetivação da viagem. Ajustes ou correções foram executadas sempre que situações de congestionamento não representassem de forma adequada a realidade. Foram feitas também análises dos custos, das distâncias e dos tempos de viagem, na busca por um equilíbrio;
3. a partir da mesma planilha, houve verificação da distribuição de viagens por motivo, comparando-a a dados da Pesquisa O/D;
4. mesma análise foi feita para a distribuição modal, após as adequações relativas às transferências, tal como explicitado nos parágrafos acima;
5. a partir da planilha *route_profile* houve verificação das velocidades médias das linhas de ônibus (definido intervalo entre 10 e 50 km/h como aceitável); verificação ainda dos níveis máximo e médio de ocupação das linhas, que não deveriam ultrapassar 100% e 50%, respectivamente;
6. foi gerado relatório de carregamento dos *links* da rede viária, para checagem do índice máximo de carregamento aceitável no Modelo, da ordem de 150% da capacidade (limite para que o Modelo rode). Pontos específicos da cidade foram analisados em termos de carregamento, para validação;
7. após a geração da matriz O/D correspondente ao Modelo LUTI RMBH, houve cruzamento de seus dados com a Matriz O/D de referência, para validação através de correlação entre:
 - a. dados gerais de viagem (viagens geradas)
 - b. viagens por origem (viagens produzidas)

c. viagens por destinos (viagens atraídas)

A Tabela 8 indica alguns dos resultados da calibração do Cenário Base, que foi considerada satisfatória e, portanto, viabilizou a modelagem dos cenários futuros.

	Trabalho	Estudos	Serviços e Saúde	Outros	TOTAL
Modelo RMBH	672.239	186.459	38.976	0	897.674
	74,9%	20,8%	4,3%		100%
O/D 2010	706.314	187.763	42.750	29.071	965.898
	73%	19%	4%	3%	100%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 8 – Calibração: Motivos Viagem

A calibração da divisão modal mostrou-se mais complexa, e de fato são inúmeras as variáveis que afetam a escolha modal, bem como os níveis de interferência que cada uma delas exerce sobre a escolha final. Nesse sentido, o TRANUS criou um parâmetro que simula, de certa forma, fatores não mensuráveis que influenciem a decisão pelo modo de transporte, a constante modal. A variação desta constante permite ajustes finos na calibração, o que permitiu o alcance de valores bastante próximos aos valores de referência.

	Carro	Ônibus	Metrô	A pé	Outros	TOTAL
OD 2010	237.533	553.013	15.786	104.244	40.976	910.576
	24,9%	58,0%	1,7%	10,9%	4,5%	100,0%
Modelo RMBH	245.290	514.871	23.411	114.102	-	897.674
	27,3%	57,4%	2,6%	12,7%	0,0%	100,0%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 9 – Calibração: Divisão Modal

No que se refere à calibração do número total de viagens geradas, como demonstrado nos itens anteriores, atingiu-se um nível de aproximação satisfatório e adequado ao prosseguimento da modelagem (correlação de cerca de 74% entre os resultados das duas matrizes). Já no tocante à distribuição das viagens (equilíbrio produção e atração na análise par a par da matriz) não se conseguiu avançar a níveis satisfatórios de calibração (a correlação máxima atingida foi de 34%), o que, como se verá mais à frente, prejudica a análise dos resultados na escala das zonas consideradas para inserção dos dados no Modelo. Trata-se de característica bastante comum em outros modelos estruturados a partir da utilização do TRANUS, e em vários deles verificou-se que, de fato, a baixa qualidade das informações de entrada (incluídos aqui dados de pesquisa O/D) impossibilitou uma análise em escala micro, e em vários destes modelos optou-se por abortar a utilização de seus resultados para análises de carregamento das redes viária e de transportes. Ainda assim, como os resultados gerais da calibração foram satisfatórios, a opção nesta pesquisa foi pela continuidade da modelagem, adaptando-se, como se verá, seus resultados a uma escala de análise mais adequada ao que aqui se pretende: por regiões administrativas ou conjuntos de bairros.

2.7. Cenário Intermediário

Um cenário intermediário, situado em intervalo de tempo localizado entre o Cenário Base e os cenários futuros, objeto de análise, foi criado para validação do Modelo. O processo de validação de modelos de simulação costuma ser desenvolvido de forma a permitir a visualização das primeiras projeções feitas a partir do Cenário Base. Recomenda-se que esta validação seja feita a partir de novos dados de referência, reais, de maneira a atestar que as projeções a serem feitas para o futuro estejam mais acuradas. O processo ideal de calibração e validação de um modelo integrado exigiria assim, uma matriz O/D de referência para o Cenário Base (idealmente uma matriz mais antiga) – para calibração – e uma segunda matriz (mais atual) que serviria de referência para o Cenário Intermediário – validação. Assim, o modelo apresentaria dados mais confiáveis em um dos pontos mais sensíveis e criticados da modelagem integrada, como ressaltado anteriormente nesta pesquisa: sua acuidade prospectiva.

No Modelo LUTI RMBH, como a O/D de referência já se tratava de uma atualização baseada em contagens volumétricas reais da O/D original de 2002, optou-se por construir um cenário intermediário que aproximasse os valores do Modelo dos resultados da pesquisa O/D realizada em 2012. Duas características importantes marcaram os resultados recentemente publicados da pesquisa O/D 2012: o sensível incremento do número total de viagens (que praticamente dobrou em relação à O/D 2002) e o contínuo crescimento da participação do modo automóvel na distribuição de viagens ao longo da última década.

Viagens Totais Geradas							
OD 2002				OD 2012			
Não Motorizado	Coletivo	Individual	TOTAL	Não Motorizado	Coletivo	Individual	TOTAL
2.174.414	2.786.895	1.303.369	6.264.678	4.939.276	4.100.807	4.019.635	13.059.719
34,7%	44,5%	20,8%	100,0%	37,8%	31,4%	30,8%	100,0%

Fonte: (Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2013)

Tabela 10 – Viagens Geradas e Divisão Modal OD 2002/2012

Assim, para o Cenário Intermediário, foram feitas alterações nos parâmetros de calibração dos operadores, de forma a refletir o crescimento da utilização dos automóveis na última década, bem como o declínio relativo dos modos coletivos (no caso do Modelo LUTI RMBH, especificamente ônibus e metrô). A tabela a seguir ilustra a divisão modal utilizada neste Cenário, ressalva sendo feita ao fato de que, no Modelo LUTI RMBH, vários modos de transporte foram unificados, e viagens intrazonais, ou não geradas na RMBH foram desconsideradas, portanto os números finais não devem ser diretamente confrontados com os da Tabela 10. A eliminação das viagens intrazonais do Modelo tem impacto mais significativo, por exemplo, nas viagens pelo modo ‘a pé’, usualmente mais curtas.

Cenário Intermediário	Carro	Ônibus	Metrô	A pé	TOTAL
	350.479	438.103	37.281	106.533	932.396
	37,6%	47,0%	4,0%	11,4%	100,0%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 11 – Viagens e Divisão Modal Cenário Intermediário

CAPÍTULO 3 – CENÁRIOS PROSPECTIVOS

3.1. Cenário Tendencial

Os Cenários Prospectivos englobam o conjunto de cenários futuros que servirão de espelho para análise dos cenários futuros “induzidos”. Nesse sentido, o Cenário Tendencial representa a evolução natural da dinâmica urbana da área de estudo, tanto do ponto de vista socioeconômico como de intervenções sobre o território. Cabe ao analista a definição sobre quais informações deverão ou não ser incluídas no cenário Tendencial, baseando-se nos objetivos principais da modelagem. Existem duas formas de se estruturar cenários futuros no TRANUS, as duas através da função *Economic Data*, de acordo com a figura a seguir.

	Exog. Pi	Induced	Min. Pro	Max. Prod.	Exog. Demand	Value Added	Atrator
Global	17577	0	0	0	0	0	0
30 Barro Preto	0	0	0	0	0	0	0.01
119 Praça Sete	0	0	0	0	0	0	0.129
183 Santa Elgíria	0	0	0	0	0	0	0.189
194 Lourdes	0	0	0	0	0	0	0.016
421 Funcionários	0	0	0	0	0	0	0.06
2114 Sagrada Família	0	0	0	0	0	0	0.016
4472 Barro	0	0	0	0	0	0	0.001
4703 Jatobá	0	0	0	0	0	0	0
5951 Camargos	0	0	0	0	0	0	0
5957 Carlos Prates	0	0	0	0	0	0	0.006
5959 Padre Eustáquio	0	0	0	0	0	0	0
5984 Nova Suca	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: (elaboração própria)

Figura 21 – Entrada dados Cenário Tendencial

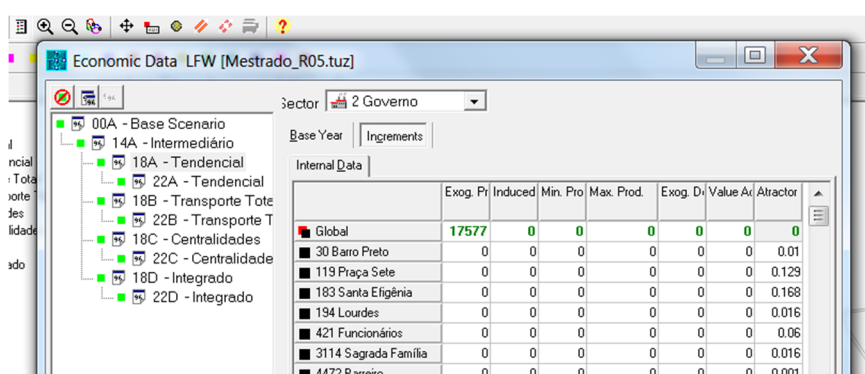
A primeira delas, utilizada no Modelo LUTI RMBH, é valendo-se da cadeia insumo-produto característica do TRANUS. Faz-se a previsão do número de empregos gerados pelos setores exógenos – no caso do Modelo LUTI RMBH os setores Governo e Indústria – dentro do horizonte previsto, e o modelo calcula o crescimento dos demais setores a partir dos níveis de consumo intersetoriais definidos no Cenário Base, bem como a partir dos índices de atratividade (*attractor*) definidos para cada uma das zonas do modelo. Os índices de atratividade, também construídos no Cenário Base a partir da relação oferta e consumo existentes na atualidade, podem ser mantidos nos cenários futuros ou manipulados diretamente pelo analista, caso alguma intervenção significativa deva ser incluída no modelo (grandes plantas industriais ou alterações na oferta de serviços públicos, como a implantação de um centro administrativo, por exemplo). No caso do Modelo LUTI RMBH, foram mantidos os índices de atratividade do Cenário Base para os cenários futuros.

Outra possibilidade é o lançamento direto de projeções de crescimento de cada um dos setores utilizados no modelo, caso sejam disponibilizados dados suficientemente abrangentes e confiáveis. Assim, pode-se basear em projeções demográficas ou econômicas paralelas, mais completas e complexas, se se pretende alinhar os resultados da modelagem integrada com

outros estudos existentes (planos de desenvolvimento regional, planos diretores, planos de mobilidade, entre outros) que disponham de tais informações.

Outra característica usual dos cenários tendenciais é a inclusão de intervenções ditas ‘irreversíveis’ sobre os sistemas de circulação e transportes, ou mesmo sobre a dinâmica de uso do solo, isto é, intervenções que, apesar de ainda não concluídas, estão em fase avançada de implantação, ou mesmo constando de planos de investimento suficientemente consolidados, a ponto de permitir sua inclusão na modelagem de mais curto prazo. No caso do Modelo LUTI RMBH, a implantação da Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais (inaugurada em 2009) já estava prevista no Cenário Base, mas foi incluída no Cenário Tendencial a conclusão dos corredores de BRT nas avenidas Cristiano Machado, Antônio Carlos e Dom Pedro I. No que se refere à dinâmica de uso e ocupação do solo, nenhuma alteração foi feita em relação às condições de preço e oferta estabelecidas no Cenário Base.

Para o Modelo LUTI RMBH, foram criados dois intervalos de simulação, iniciando-se em 2014, ano do Cenário Intermediário. Foram simulados os cenários 2018 e 2022 (na figura a seguir, identificados como 18A e 22A). Para cada um deles, foram definidos fatores de crescimento dos setores exógenos (Governo e Indústria). Os índices de atratividade foram mantidos com a mesma distribuição que o Cenário Base. As intervenções viárias e citadas no parágrafo anterior foram mantidas nos dois cenários.

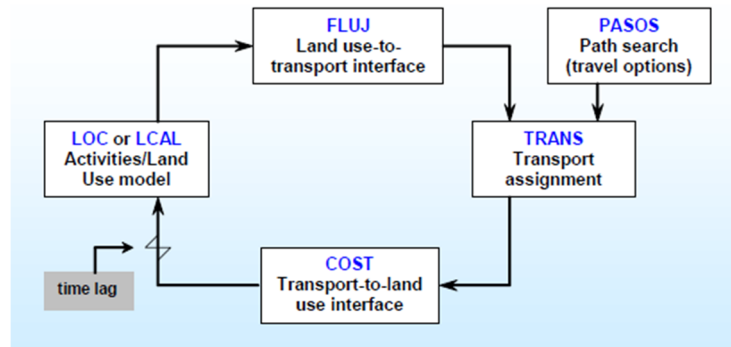


	Exog. Pr	Induced	Min. Pro	Max. Prod.	Exog. Di	Value At	Attractor
Global	17577	0	0	0	0	0	0
30 Barro Preto	0	0	0	0	0	0	0.01
119 Praça Sete	0	0	0	0	0	0	0.129
183 Santa Efigênia	0	0	0	0	0	0	0.168
194 Lourdes	0	0	0	0	0	0	0.016
421 Funcionários	0	0	0	0	0	0	0.06
3114 Sagrada Família	0	0	0	0	0	0	0.016
4472 Barreiro	0	0	0	0	0	0	0.001

Fonte: (elaboração própria)

Figura 22 – Cenários Tendenciais e Fatores de Crescimento

A projeção dos cenários em dois intervalos de tempo futuros se justifica pela estrutura do TRANUS que, como ressaltado anteriormente, se baseia em uma sequência de programas que roda em uma forma de espiral ao longo do tempo. Assim, o programa que simula a localização de atividades se baseia em dados obtidos como saída do programa que modela o sistema de transportes, em um período anterior, como ilustra a figura a seguir. Desta forma, para que os efeitos de políticas gestão do uso do solo ou de transportes apresentem resultados consolidados dentro do programa, é necessário que pelo menos dois ciclos temporais de análise sejam completados.



Fonte: (Modelística, 2008)

Figura 23 – Ciclo de Programas e Sequência de Análise

Após cada sequência de simulação, de forma semelhante ao que foi feito para calibração do Cenário Base, ajustes eram feitos nas rotas de ônibus e nos *links* que apresentassem tendências ao congestionamento, permitindo que o Modelo convergisse para o equilíbrio (cabe lembrar que a base para a interface entre os dois módulos do TRANUS é a acessibilidade e que, neste sentido, congestionamentos têm impacto direto na localização de atividades) . No caso das rotas de ônibus, a frequência de viagens era aumentada caso a linha apresentasse alta demanda, de maneira a permitir que o modelo mantivesse índices realistas de ocupação (em alguns casos, linhas chegaram a apresentar demanda duas ou três vezes superior à oferta). As linhas que sofreram tais modificações foram registradas, para permitir uma análise crítica dos movimentos mais demandados, nas fases posteriores do estudo.

3.2. Cenários Prospectivos

Calibrado o Cenário Base, tendo sido ele validado através do Cenário Intermediário e construídos os cenários Tendenciais, o Modelo encontra-se pronto para que possam ser construídos os cenários prospectivos, de avaliação dos impactos e projeções futuras de alterações nas políticas de gestão do uso do solo e dos sistemas de circulação e transportes. O programa permite que sejam criados quantos cenários prospectivos forem necessários para o estudo, respeitando-se sempre os mesmos intervalos temporais definidos nos Cenários Tendenciais. No Modelo LUTI RMBH optou-se pela criação de três cenários prospectivos: Transporte Total, Centralidades e Integrado. As definições, justificativas e premissas de cada um deles estão descritas nos próximos subitens.

3.3. A Proposta de Cenários Prospectivos

3.3.1. Justificativas

Os três cenários prospectivos construídos foram estruturados em função dos dois grandes eixos de questionamento da pesquisa, aqui reforçados:

- a) evidenciar impactos negativos da segregação de políticas de planejamento de transportes e gestão do uso e da ocupação do solo. Assim, o cenário Transporte Total apresenta alterações somente no módulo de transportes, simulando práticas de planejamento correntes dentro da engenharia de tráfego, como a criação de corredores de transporte, alterações na política tarifária ou intervenções sobre o sistema viário desconsiderando-se – ou negligenciando-se – os impactos diretos destas intervenções sobre a dinâmica de ocupação do território. O módulo de atividades foi mantido com os mesmos indicadores do Cenário Tendencial. Por sua vez, o Cenário Centralidades preconiza alterações no módulo de localização de atividades, e mantém os sistemas de transporte utilizados no Cenário Tendencial. Aqui foram utilizadas as premissas de descentralização presentes no Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH (PDDI), incentivando a consolidação de centralidades complementares ao núcleo metropolitano. Por fim, o Cenário Integrado simula a prática de planejamento defendida neste estudo, isto é, o planejamento conjunto de políticas de intervenção sobre os sistemas de uso do solo, de circulação e de transportes. Neste cenário, ambos os módulos foram alterados: tanto a localização de atividades quanto os sistemas de transporte sofreram intervenções, em busca dos mesmos objetivos.
- b) avaliar a aplicabilidade da modelagem integrada nas práticas de planejamento urbano. Optou-se pela construção de um número mínimo de cenários, simulando-se a aplicação prática desta modelagem como uma política pública, seja durante a elaboração de um Plano Diretor, um Plano de Mobilidade, ou estudos afins. O objetivo, como ressaltado, é que os resultados sejam disponibilizados de forma ágil, e que sejam de fácil compreensão e cruzamento com dados oriundos de outras disciplinas, como o meio ambiente ou sistemas de abastecimento, por exemplo.

3.3.2. Premissas

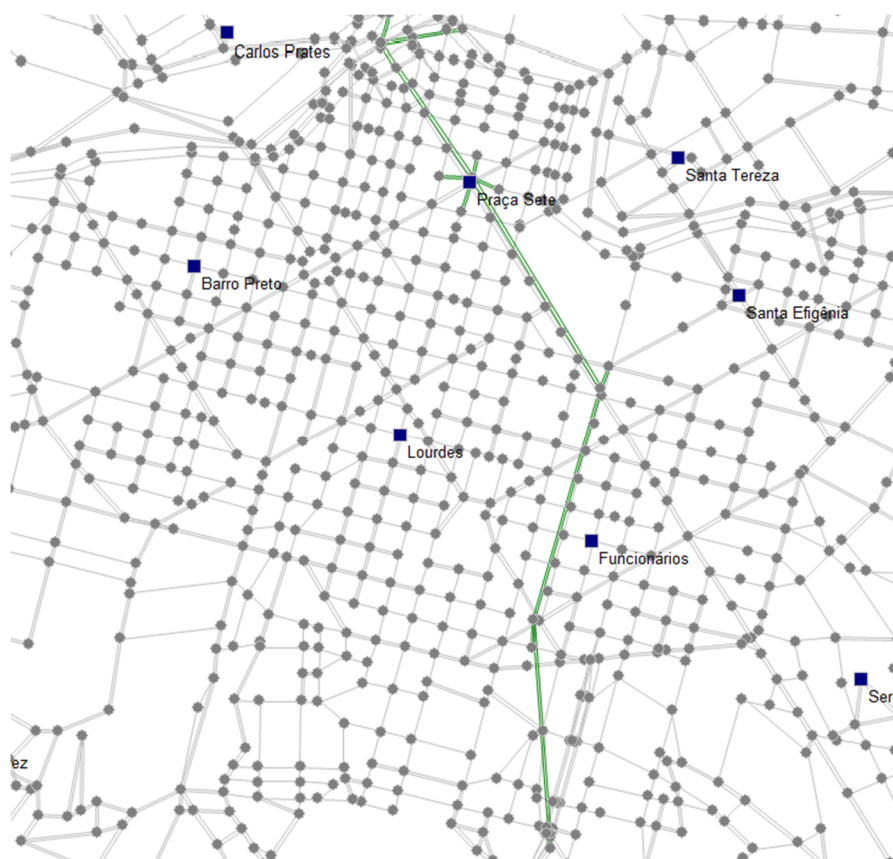
Cada um dos cenários terá suas premissas básicas detalhadas a seguir, destacando as intervenções consideradas em cada um deles, e as alterações de parâmetros realizadas dentro do TRANUS.

A. Cenário Transporte Total

Como ressaltado, trata-se de cenário onde apenas intervenções sobre o módulo Transportes foram consideradas, sendo mantidos todos os parâmetros do Cenário Base (e Tendencial) para o módulo Atividades. Isto quer dizer, na prática, que a tendência natural de ocupação do território está presente, mas que algumas intervenções nos sistemas de circulação e transporte foram implementadas, não necessariamente alinhadas a estas tendências.

Foram realizadas as seguintes intervenções no módulo Transportes:

- implantação da Linha 3 do metrô de Belo Horizonte, conectando a estação Lagoinha, no Centro, à Praça da Savassi. Trata-se do trecho prioritário para o qual projetos executivos encontram-se em fase final de aprovação pelos governos Estadual e Federal;
- implantação da Linha 2 do metrô de Belo Horizonte, trecho também de acordo com os estudos de concessão propostos pelo Governo do Estado, conectando a região central do Barreiro ao bairro Nova Suíça, região Oeste de Belo Horizonte. Partes da Linha 3 encontram-se destacadas em verde na figura a seguir;



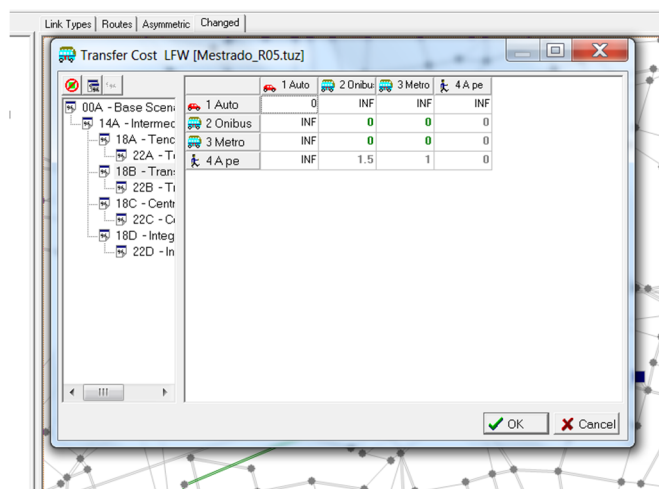
Fonte: (elaboração própria)

Figura 24 – Trecho da linha 3 do metrô de Belo Horizonte – Transporte Total

- ajustes de frequência e melhorias nos acessos da Linha 1 do metrô de Belo Horizonte foram também implantados, como forma de otimizar a infraestrutura disponível (também em acordo com as prerrogativas dos estudos para a

concessão do sistema de metrô de Belo Horizonte). Cabe ressaltar que os ajustes de frequência implantados foram pequenos, respeitando-se as reais restrições de infraestrutura já amplamente divulgadas pelos gestores do metrô (METROMINAS, 2012, p. 3);

- ajustes na política tarifária dos sistemas de ônibus e metrô, de forma a simular a implantação de uma política integrada e de avaliar os impactos de uma redução expressiva dos valores da tarifa não apenas junto à população, mas sobre a dinâmica de preços da terra (acessibilidade). Assim, as tarifas de ônibus e metrô foram reduzidas a cerca de metade do valor original (utilizado nos cenários Base e Tendencial), e foram eliminadas as tarifas de transferência inter e intramodal, como ilustra a figura a seguir.



	1 Auto	2 Ônibus	3 Metrô	4 A. pe
00A - Base Scen	0	INF	INF	INF
14A - Interme	0	INF	0	0
18A - Tenc	0	INF	0	0
22A - Ti	0	INF	0	0
18B - Tran	0	1.5	1	0
22B - Ti	0	1.5	1	0
18C - Cent	0	1.5	1	0
22C - C	0	1.5	1	0
18D - Integ	0	1.5	1	0
22D - In	0	1.5	1	0

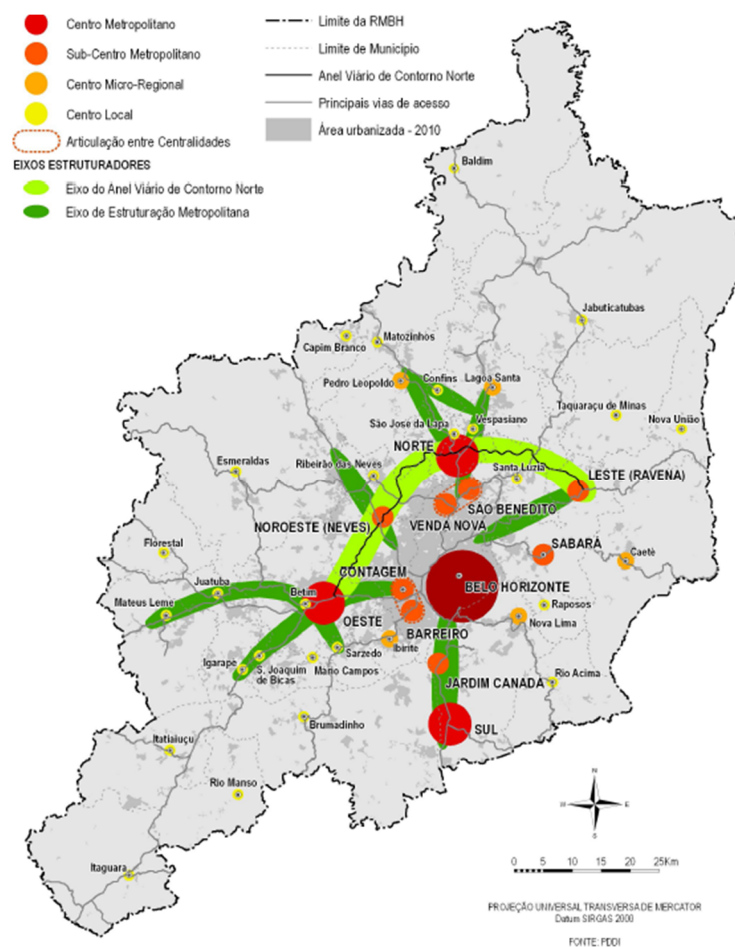
Fonte: (elaboração própria)

Figura 25 – Custos Transferência Inter e Intramodal – Transporte Total

- todas as linhas de ônibus do Modelo que circulavam pelos corredores das avenidas Cristiano Machado e Presidente Antônio Carlos foram transferidas para os corredores exclusivos do BRT, sendo proibida a circulação de ônibus nas pistas laterais.

B. Cenário Centralidades

Em oposição ao cenário anterior, o Cenário Centralidades preconizou alterações somente no Módulo Atividades, mantendo a infraestrutura de circulação e transportes idêntica àquela utilizada no Cenário Tendencial. Para tanto, foram adotados os preceitos de “descentralização concentrada e seletiva” e de “estrutura policêntrica” adotados pelo Plano Diretor de Planejamento Integrado (PDDI) da RMBH, concluído em 2011. Assim, foram alterados parâmetros urbanísticos de forma a estimular o surgimento, ou a consolidação, de novas centralidades na RMBH (Centros Metropolitanos), respeitando-se o papel de núcleo metropolitano exercido por Belo Horizonte (Metrópole), assim como preconizado pelo PDDI.



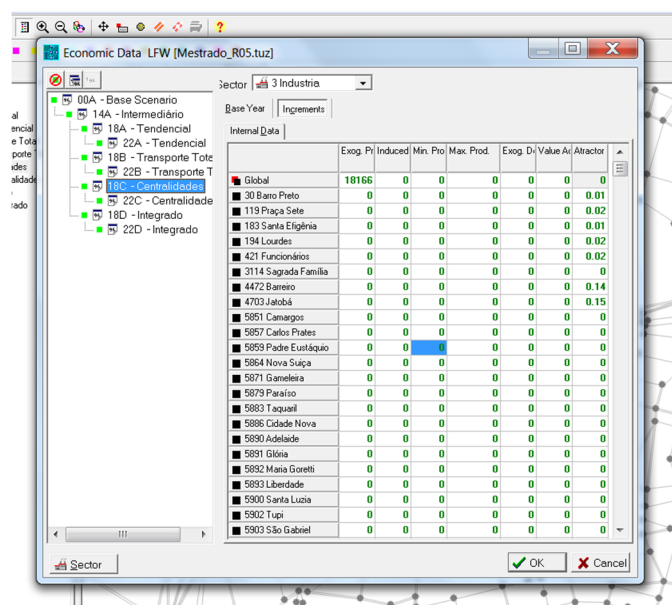
Fonte: (UFMG / PUCMINAS / UEMG, 2011, p. 15)

Figura 26 – Rede de Centralidades

Neste sentido, foram feitas as seguintes alterações no Módulo Atividades do Cenário Centralidades:

- incremento na oferta (produção) do setor Solo nas zonas que, agregadas, constituiriam as quatro principais Centralidades Metropolitanas: Belo Horizonte (Metrópole), Norte, Sul e Oeste. O incremento da oferta do setor solo tende a reduzir seu custo, aumentando a acessibilidade e consequentemente atraindo novas atividades econômicas. Adicionalmente, os fatores de atração dos setores exógenos ao Modelo (governo e indústria) de cada uma das zonas constituintes das novas centralidades foram recalculados, aumentando a probabilidade de implantação, ali, de atividades indutoras de desenvolvimento econômico. Cabe ressaltar que os resultados apresentados nos cenários prospectivos tendem a ser influenciados pelo estágio atual de desenvolvimento de cada uma destas centralidades no Cenário Base, isto é: uma centralidade já existente ou em fase

de consolidação mais avançada tende a ser mais sensível às políticas de estímulo à redistribuição de atividades.



Fonte: (elaboração própria)

Figura 27 – Fatores de Atração Setor Indústria – Centralidades

Como ressaltado, foram mantidos os níveis de produção dos setores exógenos presentes no Cenário Tendencial, bem como toda a rede de circulação e transportes prevista neste cenário.

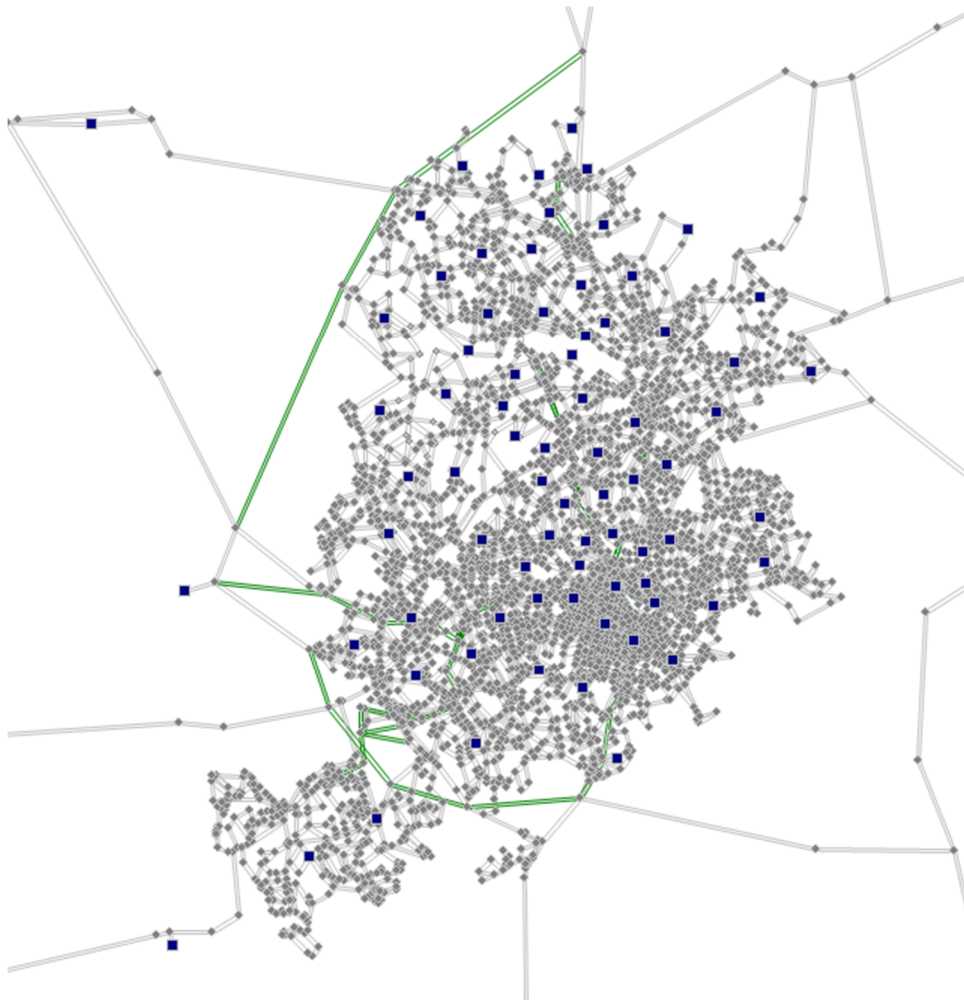
C. Cenário Integrado

O Cenário Integrado busca refletir as práticas de planejamento preconizadas nesta pesquisa, isto é, a análise integrada e cíclica dos impactos das políticas de transporte sob a dinâmica territorial (e, conseqüentemente, sobre a própria demanda por deslocamentos) e, ao mesmo tempo, as alterações de comportamento das demandas por viagens decorrentes de políticas de gestão do uso e ocupação do solo. Assim, ele se configura como uma mescla dos dois cenários anteriores, partindo-se do princípio de que os sistemas de circulação e transportes constituem peças-chave na estruturação de novas centralidades. Nesse sentido, foram adotadas as seguintes premissas:

- níveis de produção do setor Solo são idênticos aos do Cenário Centralidades, bem como os índices de atração de atividades econômicas para cada uma das zonas constituintes das centralidades propostas;
- todas as intervenções sobre os sistemas de transportes preconizadas no Cenário Transporte Total foram mantidas, pois entende-se que elas contribuem positivamente para o desenvolvimento de parte do cenário desejado pelo PDDI,

isto é, incremento de acessibilidade às regiões Centro e Sul de Belo Horizonte, o que tende a garantir o contínuo desenvolvimento do Núcleo Metropolitano;

- alterações na política tarifária incluídas no Cenário Transporte Total também foram mantidas;
- para viabilizar o estímulo às centralidades Oeste, Norte e Sul, entretanto, foram incluídas novas intervenções sobre os sistemas de transportes, a saber:
 - a Linha 3 do metrô de Belo Horizonte foi estendida até as regiões do Belvedere e de Nova Lima;
 - a Linha 1 do metrô de Belo Horizonte foi estendida até a região da Cidade Administrativa (no Modelo, zonas Serra Verde e Vespasiano);
 - uma extensão metroviária foi inserida, conectando Betim às linhas 1 e 2 do metrô de Belo Horizonte;
 - implantação da Alça Sul, conexão rodoviária entre Betim e a região do Bairro Olhos d'Água, em Belo Horizonte;
 - implantação do trecho Norte do Arco Metropolitano, conexão rodoviária ligando Betim à Centralidade Norte (no Modelo, a região de Vespasiano).



Fonte: (elaboração própria)

Figura 28 – Intervenções Estruturantes – Integrado

A figura anterior identifica algumas das intervenções estruturantes, destacadas em verde, propostas para composição do Cenário Integrado.

3.4. Indicadores de Avaliação

Após a estruturação de cada um dos cenários, com a inclusão ou retirada de intervenções sobre os módulos de Transportes e de Atividades, e feitos os ajustes nos parâmetros do TRANUS que se deseja controlar, é possível ter acesso a uma série de indicadores e relatórios, disponibilizados pelo *software* para que análises comparativas sejam colocadas em prática²³. São vários os indicadores disponibilizados, em formatos de matrizes ou planilhas simples, adaptáveis a diversos tipos de análises. Para o objetivo proposto nesta pesquisa, optou-se pela seleção de indicadores que contribuíssem com debates recentes sobre reestruturação territorial da RMBH e grandes intervenções viárias e de transportes. Assim, acredita-se, os resultados da presente pesquisa representariam efetiva contribuição não apenas para a análise crítica da utilização da modelagem integrada na prática usual do planejamento urbano na RMBH – seu objetivo principal –, mas jogaria alguma luz, também, sobre potenciais impactos sociais de intervenções e propostas recentes, como as relações entre o sistema de BRT e os deslocamentos pendulares, ou o crescente movimento pela tarifa subsidiada de transporte como ferramenta de inclusão social.

Para que os resultados fossem de mais fácil compreensão, alguns dos indicadores tiveram seus resultados agrupados por regiões. Nesses casos, sempre que forem citados indicadores relativos aos vetores ‘Sul’ e ‘Norte’, subentende-se a agregação de todas as zonas situadas geograficamente ao sul e ao norte, respectivamente, do anel representado pela Avenida do Contorno, no centro de Belo Horizonte. Desta maneira, mesmo regiões historicamente associadas a outros vetores metropolitanos (como Betim ao Oeste e Sabará ao Leste) foram agrupados de forma a pertencerem a um dos dois vetores delimitados para as análises: norte ou sul.

Assim, foram definidos os seguintes indicadores para análise comparativa dos resultados simulados em cada um dos cenários:

- **Impacto Econômico**: análise de custo/benefício para usuários das intervenções viárias e de transportes sobre as categorias de transporte (motivos de viagem), na forma de matriz O/D. As análises de custo/benefício do TRANUS são feitas com base no conceito de “excedentes de consumo²⁴”, que se refere ao valor relativo que consumidores destinam na aquisição de um bem, isto é, o valor que

²³ O ‘pacote’ TRANUS inclui cinco programas desenvolvidos especificamente para a geração de relatórios com os resultados das simulações. Todos eles têm em comum o fato de rodarem em ambiente DOS, além de gerar resultados em arquivos tipo .CSV.

²⁴ do inglês: *consumers surplus*

o usuário está disposto e é capaz de despende na aquisição deste bem. Os cálculos do excedente de consumo em TRANUS são feitos baseados na “*rule-of-a-half*”²⁵, e resultados negativos indicam pares O/D que estão em pior situação com o projeto.

Objetivo: analisar sobre quais grupos econômicos tendem a cair os impactos das grandes intervenções viárias. A análise par a par, deste indicador, pode auxiliar no aprimoramento destas intervenções.

- Concentração de Atividades: análise das tendências de concentração de atividades econômicas em cada um dos cenários, em função das condições gerais de acessibilidade do território. TRANUS produz uma planilha onde agrupa a produção total de cada setor econômico, por zona.

Objetivo: mensurar tendências à concentração de trabalhadores de baixa renda (periferização ou favelização) e de serviços (centralidades).

- Viagens Totais: viagens totais geradas em cada cenário, por categoria (motivo) e por operador (modo).

Objetivo: verificar comportamento dos índices gerais de mobilidade da população, em cada um dos cenários. Importante ressaltar, no momento da análise deste indicador, que TRANUS desconsidera as viagens intrazonais, o que quer dizer que uma redução no número total de viagens não tem relação direta com uma queda no índice de mobilidade geral, pois pode ter havido um incremento das viagens intrazonais.

- Viagens Suprimidas: em TRANUS, altos índices de congestionamento podem impedir que viagens se realizem, apesar de geradas. São as viagens suprimidas, por categoria de transporte, que o *software* disponibiliza em uma de suas planilhas de análise de resultados.

Objetivo: uma redução no número de viagens suprimidas indica um sistema com baixos índices de congestionamento e, portanto, mais próximos do índice adequado de acessibilidade territorial. Como os resultados são apresentados por

²⁵ A teoria econômica sugere que quando usuários mudam seus padrões de viagem em resposta a um incentivo financeiro, o excedente de consumo líquido tende a se aproximar da metade do valor da redução dos custos, a chamada ‘regra da metade’ (*rule-of-a-half*). Esta conta leva em consideração todas as alterações na composição dos custos percebidos pelos usuários como tempo de viagem, conveniência e mobilidade. Digamos que os custos operacionais de um automóvel aumentou em R\$0,10 por quilômetro devido a um incremento no preço do combustível, pedágios ou estacionamento privados, e como resultado o usuário reduz a utilização do veículo em 1.000 quilômetros por ano. Este usuário não abriria mão de seus deslocamentos mais importantes, mas há certamente algum tipo de deslocamento para o qual ele tenderia a mudar seu padrão de deslocamento, escolhendo destinos mais próximos, por exemplo. Esta ‘quilometragem’ da qual ele abriu mão tem um valor incremental percebido entre R\$0,00 e R\$0,10. Se sua viagem tiver um valor de R\$0,00 (isto é, não tem valor) este usuário nem mesmo a executaria, independente do modo. Se tal valor estiver entre R\$0,01 e R\$0,09, um incentivo de redução de R\$0,10 irá convencê-lo a não realizar esta viagem em automóvel. Se o quilômetro de viagem tem um valor igual ou superior a R\$0,10, o aumento de R\$0,10 não será suficiente para impedir o usuário de realizá-la em seu automóvel. Assim, pode-se assumir que, dos 1.000 quilômetros reduzidos no deslocamento em automóvel, o benefício líquido médio do consumidor (excedente de consumo) é o ponto médio deste intervalo, isto é, R\$ 0,05 por quilômetro. Ou, a cada R\$100 de aumento nos custos operacionais do automóvel, que promovam redução de cerca de 1000 quilômetros de deslocamento anual neste modo de transporte resulta em um benefício líquido aos usuários de R\$50. (Victoria Transport Policy Institute, 2012, p. 3)

categoria de transporte, é possível analisar quais são os grupos sociais mais atingidos pelos congestionamentos.

- Tempo Médio de Viagem: tempo médio de viagem por categoria de transporte, em cada cenário.
Objetivo: análises dos impactos das intervenções sobre o tempo de viagem de cada grupo social.
- Tempo Médio de Espera: tempo médio de espera por categoria de transporte, em cada cenário. Tempo de espera é o tempo em que o passageiro do transporte coletivo aguarda antes de embarcar (ponto de embarque e desembarque) e, no caso, de transferências, o tempo entre o desembarque da primeira viagem e o embarque da segunda, e assim sucessivamente. As transferências podem ser intra ou intermodais.
Objetivo: o tempo de espera é fator relevante no momento da escolha modal, por vezes mais relevante que o tempo de viagem embarcada. Tempos de espera menores tendem a indicar viagens mais prováveis por modos coletivos, e maior percepção de qualidade por parte do usuário.
- Distâncias totais percorridas: distâncias totais das viagens, por categoria de transporte.
Objetivo: a redução das distâncias tem relação direta com o incentivo à consolidação de novas centralidades, aproximando origens e destinos e reduzindo as necessidades de deslocamento.
- Distâncias médias percorridas: distância média das viagens, por categoria de transporte.
Objetivo: a distância média das viagens tem relação direta com a distribuição das atividades sobre o território, ou sobre os níveis de acessibilidade territorial
- Acessibilidade (desutilidade) por Setor Econômico: análise dos níveis de acessibilidade em cada cenário, e seus impactos sobre grupos sociais. Alterações nos níveis de acessibilidade, em TRANUS, podem estar associadas a diversos fatores, como nível de atendimento pelo transporte coletivo, tempo de viagem, disponibilidade financeira das diversas categorias de transporte, preço da terra, entre outros. Os resultados do *software* são apresentados na forma de índices de acessibilidade.
Objetivo: impactos das intervenções dos diversos cenários sobre a mobilidade e o acesso ao território metropolitano.
- Viagens com destino à Região Central de Belo Horizonte: total de viagens, todos os modos considerados, com destino no Centro de Belo Horizonte (no caso do Modelo LUTI RMBH considerou-se ‘centro’ todas as zonas da região

interna e de entorno imediato ao perímetro da Avenida do Contorno), segregadas em função de sua origem (Norte e Sul).

Objetivo: avaliar impacto das intervenções de cada cenário sobre a função de Núcleo Metropolitano exercido pela região Central de Belo Horizonte.

- Viagens de Atravessamento da Região Central: total de viagens, todos os modos considerados, com origens e destinos geograficamente opostos (Norte-Sul e Sul-Norte).

Objetivo: avaliar impactos das intervenções de cada cenário sobre as viagens com tendência a utilizar a região central de Belo Horizonte somente como passagem, sobrecarregando o sistema viário daquela região.

- Viagens Internas às regiões Periféricas: total de viagens, todos os modos considerados, com origem e destino dentro das próprias regiões (Centro, Norte e Sul).

Objetivo: maiores índices de viagens dentro da própria região podem indicar maior dispersão de atividades econômicas sobre o território e, portanto, movimentos de consolidação de centralidades.

- Índice de Congestionamento: percentual da rede viária que se encontra com nível de serviço ICU entre os estágios F, G e H, isto é, com os mais altos índices de congestionamento e atraso.

Objetivo: maior percentual de vias congestionadas resulta em menores índices gerais de acessibilidade e, portanto, maior dificuldade na consolidação de cenários de reestruturação territorial.

A avaliação de ICU (*Intersection Capacity Utilization*) consiste em um método bastante similar à tradicional relação entre “volume hora-pico (VHP)” e “fluxo de saturação (V/C)”, considerada na metodologia do *High Capacity Manual* (HCM 1994). Todavia, leva em consideração a soma do tempo necessário para atender a todos os movimentos em uma interseção, caso esta seja semaforizada, com um tempo de ciclo padrão, dividido pelo tempo total disponível. Enquanto a metodologia proposta pelo HCM infere sobre a qualidade de operação em tempo real da interseção, no que diz respeito ao tempo perdido pelos veículos, a metodologia ICU diz respeito principalmente à capacidade da interseção absorver um incremento de tráfego e quais os efeitos disto na operação da mesma. Em resumo, o ICU considera a reserva de capacidade ou deficiência da interseção. A cada patamar de utilização da capacidade da interseção é assumido um cenário para a mesma, um Nível de Serviço. Salienta-se que não deve ser confundido o Nível de Serviço padrão HCM (TRB, 2000) com o Nível de Serviço (ICU). O primeiro leva em consideração o atraso médio por veículo, enquanto o outro considera a reserva de capacidade ou deficiência da interseção. A: ICU até 55% - não há congestionamento na interseção. Ciclos menores que 80 segundos são capazes de operar o tráfego eficientemente. Todo tráfego é

atendido no primeiro ciclo. Flutuações de tráfego, acidentes e obstrução de faixas causaram mínimos congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 30% a mais de tráfego em todos os movimentos; - **B**: ICU entre 55% e 64% - não há congestionamento na interseção. Quase todo o tráfego será atendido no primeiro ciclo. Ciclos de 90 segundos ou menos são capazes de operar o tráfego eficientemente. Flutuações de tráfego, acidentes, e obstruções da pista causarão mínimos congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 30% a mais de tráfego em todos os movimentos; **C**: ICU entre 64% e 73% - A interseção ainda não tem congestionamentos significativos. A maior parte do tráfego deve ser atendida no primeiro ciclo. Ciclos de 100 segundos ou menos operarão o tráfego eficientemente. Flutuações de tráfego, acidentes, e fechamentos de faixas/pistas podem causar congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 20% a mais de tráfego em todos os movimentos. **D**: ICU entre 73% e 82% - A interseção ainda não tem congestionamentos significativos. A maior parte do tráfego deve ser atendida no primeiro ciclo. Ciclos de 110 segundos ou menos operarão o tráfego eficientemente. Flutuações de tráfego, acidentes, e fechamentos de faixas/pistas podem causar congestionamentos significativos. Uma operação semafórica não otimizada causa congestionamentos. Esta interseção pode acomodar até 10% a mais de tráfego em todos os movimentos. **E**: ICU entre 82% e 91% - A interseção está no limiar das condições de congestionamento. Muitos veículos não são atendidos no primeiro ciclo. Um ciclo de 120 segundos é requerido para operar eficientemente todo o tráfego. Flutuações de tráfego, acidentes, e pequenas obstruções de faixas/pistas podem causar congestionamentos significativos. Uma operação semafórica não otimizada causa congestionamentos significativos. Esta interseção tem menos de 10% de capacidade de reserva disponível. **F**: ICU entre 91% e 100% - A interseção está operando o limiar da capacidade e provavelmente há congestionamentos com duração de 15 a 60 minutos. As filas residuais no fim do tempo de verde são comuns. Um ciclo de 120 segundos é requerido para operar todo o tráfego. Pequenas flutuações do tráfego, acidentes, e fechamentos menores da pista podem causar significativos congestionamentos. Uma operação semafórica não otimizada causa congestionamentos significativos. **G**: ICU entre 100% e 109% - A interseção opera com sua capacidade excedida de 10% a 20% e terá, provavelmente, congestionamentos com duração de 60 a 120 minutos. Filas longas são comuns. Um ciclo de 120 segundos ou mais é requerido para operar todo o tráfego. Os motoristas podem optar por rotas alternativas, se existirem. Uma programação semafórica adaptada ao tráfego real pode contribuir com a priorização de certos movimentos. **H**: ICU maior que 109% - A interseção está com capacidade excedente de 20% e pode ter períodos de congestionamentos com duração maior que 120 minutos. Filas longas são comuns. Um ciclo de 120 segundos ou mais é requerido para operar todo o tráfego. Os motoristas podem escolher rotas alternativas, se existirem. Uma programação semafórica adaptada ao tráfego real pode contribuir com a priorização de certos movimentos.

- Índice de Congestionamento das Vias Centrais de Belo Horizonte: mesma análise promovida pelo indicador anterior, com foco nas vias Arteriais Centrais, isto é, inseridas dentro do perímetro da Avenida do Contorno, em acordo com a regulamentação do Plano Diretor de Belo Horizonte.
Objetivo: nível de carregamento das vias arteriais centrais podem indicar maior ou menor utilização destas vias nos deslocamentos de passagem, ou atravessamento da região central, que pode ter relação direta com a consolidação de centralidades nos demais vetores da cidade.
- Preço do Setor Solo: variação dos valores médios de solo em cada um dos cenários, por setor econômico.
Objetivo: avaliar impactos socioeconômicos das intervenções de cada cenário, com ênfase na acessibilidade territorial.

Cada um destes indicadores foi avaliado para cada um dos cenários prospectivos, e as análises críticas comparativas constituem o conteúdo do próximo Capítulo desta pesquisa.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CENÁRIOS

Para melhor identificação das análises comparativas que serão desenvolvidas neste capítulo, fica definida a seguinte nomenclatura:

- Cenário Base, identificado pela sigla 00A;
- Cenário Tendencial, identificado pela letra A (18A e 22A);
- Cenário Transporte Total, identificado pela letra B (18B e 22B);
- Cenário Centralidades, identificado pela letra C (18C e 22C);
- Cenário Integrado, identificado pela letra D (18D e 22D).

Cabe relembrar que o ano base do Modelo é o ano de 2010, o Cenário Intermediário simula o ano de 2014, e os cenários prospectivos os anos de 2018 e 2022. Abaixo, cada um dos indicadores será analisado à luz dos objetivos principais da pesquisa: a análise crítica da modelagem integrada enquanto ferramenta de planejamento territorial.

4.1. Impacto Econômico (análise custo/benefício)

As análises de custo/benefício são feitas analisando-se dois cenários, figurando sempre o Cenário Tendencial como cenário de referência. Como ressaltado anteriormente, as análises de impacto econômico em TRANUS levam em consideração os custos efetivos de transporte (diretos e indiretos), em relação à disposição e capacidade de pagamento dos usuários ('excedente de consumo'). De forma simplificada, resultados positivos indicam viagens com custo total inferior à capacidade/disposição de investimento – viagens que, de certa forma, poderiam estar sendo estimuladas pelo cenário de intervenções. De forma análoga, viagens com resultados negativos indicariam viagens com custo total superior à capacidade/disposição de investimento, isto é, viagens que estariam sendo desestimuladas pelo cenário de intervenções.

Os dados de saída do *software* são em forma de matriz O/D, o que leva à necessidade de destacar as imprecisões do TRANUS nesta escala de análise (não apenas do Modelo LUTI RMBH, mas em todo modelo de simulação, como destacado anteriormente). Assim, as análises empreendidas buscam a compreensão dos fenômenos em escala regional. Optou-se, aqui, pelo foco na análise dos deslocamentos com motivo trabalho, por se tratar dos deslocamentos com maior impacto sobre o setor econômico. Foram separados os dados em função das categorias de emprego: baixa, média e alta renda. As tabelas a seguir ilustram os resultados para as zonas mais significativas, isto é, aquelas que concentraram os mais representativos montantes de impactos positivos ou negativos dentro de cada cotejamento.

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22B			
Setor:	Trabalho Baixa Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	Lagoa Santa	Centro-Sul BH	10.000
	Jaboticatubas	Centro-Sul BH	7.500
	Betim	Barreiro	6.200
Prejuízo	Ibirité	Nova Lima / Belvedere	(94.000)
	MG040	Nova Lima / Belvedere	(68.000)
	MG040	Betim	(40.000)

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22B			
Setor:	Trabalho Média Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	Lagoa Santa	MG040	16.000
Prejuízo	Ibirité	Betim / Centro-Sul	(1.600.000)

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22B			
Setor:	Trabalho Alta Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	Lagoa Santa	Betim	3.700
	MG010	Centro-Sul	2.300
Prejuízo	Ibirité	Centro-Sul	(180.000)
	MG040	Centro-Sul	(90.000)

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 12 – Impacto Econômico 22A/22B

Dois aspectos chamam a atenção na avaliação do Cenário 22B: os movimentos mais beneficiados tendem a constituir grandes atravessamentos, sobretudo no sentido norte-sul, como Lagoa Santa e Betim, ou em direção à região central. Viagens com origem no vetor sul tendem a ser as mais prejudicadas, sobretudo em direção à região central. Outro aspecto relevante é o fato das viagens de classe média (principais usuários, em termos absolutos, do transporte coletivo) figurarem com altos índices de ‘prejuízo’. Considerando-se que a principal alteração deste cenário foi a redução das tarifas e a eliminação dos custos diretos de transbordo ao usuário, faz sentido imaginar que os deslocamentos com origem no vetor norte (melhor servida pelo sistema de transportes, com linhas de BRT e metrô) sejam mais beneficiados. Faz sentido, também, imaginar que a classe média seja tão negativamente impactada, uma vez que a redução das tarifas aumentou significativamente os índices de ocupação e congestionamento dos sistemas de transporte coletivo, agravadas pela significativa simplificação que o Modelo LUTI RMBH adotou para este operador.

Em comparação com os demais cenários, outro aspecto interessante faz referência aos baixos valores absolutos de benefícios, o que significaria que, mesmo os benefícios são bastante reduzidos neste Cenário, em comparação com o Cenário Tendencial.

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22C			
Setor:	Trabalho Baixa Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	MG040	Betim	28.000
Prejuízo	MG010	Centro-Sul	(900.000)

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22C			
Setor:	Trabalho Média Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	Ibirité	Betim	185.000
Prejuízo	MG010	Centro-Sul	(1.300.000)

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22C			
Setor:	Trabalho Alta Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	Ibirité	Centro-Sul	48.000
	MG040	Centro-Sul / Betim	30.000
Prejuízo	MG010	Centro-Sul	(480.000)

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 13 – Impacto Econômico 22A/22C

No Cenário Centralidades (22C), onde não houve intervenções nos sistemas de transporte, os maiores beneficiários tendem a se localizar no vetor sul, com viagens com origem e destino na própria região (Betim, Ibirité, MG040). Os ‘prejuízos’ se transferem para o vetor norte, constando o deslocamento MG010-Centro de Belo Horizonte como o mais prejudicado, figurando inclusive valores absolutos mais significativos que a comparação anterior (cenário 22B). Uma explicação pode estar no fato da ocupação deste vetor apresentar, atualmente, grande concentração de moradores de baixa renda, o que retardaria o processo de consolidação de uma nova centralidade, apesar dos incentivos inerentes ao cenário. Fenômeno semelhante não ocorreria no vetor sul, mais diversificada do ponto de vista das características socioeconômicas, inclusive com uma centralidade já parcialmente constituída.

Considerando-se que não houve alteração de tarifas neste cenário, parece natural que deslocamentos mais curtos sejam os mais beneficiados, sobretudo em função do incentivo à consolidação de centralidades, como a Oeste (Betim). Como a região central se encontra já no Cenário Tendencial com níveis de congestionamento importantes²⁶, os deslocamentos sul-sul tendem a figurar como mais ‘valorizados’ que os sul-centro ou centro-centro.

Por fim, importante destacar também que os valores absolutos dos ‘benefícios’ estão em nível superior ao Cenário 22B, o que significa com os pontos positivos deste cenário são mais relevantes que os daquele.

²⁶ ver item Índices de Congestionamento

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22D			
Setor:	Trabalho Baixa Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	MG040	Betim	75.000
	MG010	Betim / Jaboticatubas	67.000
Prejuízo	Jaboticatubas	Centro-Sul / MG040	(11.000)

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22D			
Setor:	Trabalho Média Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	MG040	Betim	123.000
	Ibirité	Betim	81.000
	MG010	Lagoa Santa	77.000
Prejuízo	Betim	MG040	(377.000)

Impacto Econômico			
Cenário 22A / 22D			
Setor:	Trabalho Alta Renda		
Indicador	Origem	Destino	Valor
Benefício	MG010	Centro-Sul	51.000
	MG040	Centro-Sul	32.000
	Ibirité	Centro-Sul / Betim	28.000
	Centro-Sul	Ibirité	(124.000)
Prejuízo	Betim	Ibirité / MG040	(90.000)

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 14 – Impacto Econômico 22A/22D

No Cenário Integrado (22D), onde foram consideradas intervenções nos módulos Transporte e Atividades, alguns aspectos merecem destaque: os valores negativos tendem a ficar sensivelmente abaixo dos cenários anteriores, o que significa que os ‘prejuízos’ seriam de menor monta. De maneira análoga, os valores positivos estão, em média, superior aos cenários anteriores, sobretudo em relação ao Cenário 22B. Vale lembrar que as mesmas alterações no sistema de transportes previstas no Cenário 22B estão presentes no 22D, além de outras exclusivas deste último.

Neste cenário os deslocamentos com origem no vetor sul se destacam como beneficiários, o que faz sentido se considerada a existência de uma centralidade já consolidada nesta região, bem como as melhores condições de acessibilidade proporcionadas pelas intervenções viárias. Os deslocamentos sul-centro também se destacam, pelos mesmos motivos, aparentemente. Valores positivos para deslocamentos com origem e destino no vetor norte (MG010, Jaboticatubas, Lagoa Santa) revelam um movimento de consolidação da centralidade proposta, o que não ocorreu na análise do cenário 22C.

Os valores negativos, apesar de menos significativos em todos os cenários de comparação, se concentram no vetor sul, o que só parece fazer sentido se considerados os resultados enquanto referentes à análise da hora de pico da manhã, quando normalmente os viajantes se dirigem ao trabalho, mais próximos do núcleo da centralidade. Quando analisadas as planilhas de média e alta renda, nota-se que os movimentos mais ‘prejudicados’ são no

sentido núcleo-periferia (na escala da centralidade), o que poderia indicar um movimento contrário à tendência de se movimentar em direção ao núcleo. O fato dos principais movimentos ‘positivos’ estarem no sentido periferia-núcleo corrobora esta análise.

4.2. Concentração de Atividades

O indicador de concentração de atividades tem por objetivo principal a tentativa de evidenciar os impactos das políticas de transporte sobre a dinâmica territorial. Optou-se, nesta pesquisa, por privilegiar as análises sobre dois setores econômicos específicos: os trabalhadores de baixa renda e a concentração de serviços. O primeiro indicaria possíveis movimentos de gentrificação ou de concentração de pobreza, enquanto o segundo revelaria a criação de condições favoráveis para a consolidação de novas centralidades. Importante ressaltar que o setor Serviços, no Modelo LUTI RMBH, não faz distinção entre categorias de atividades, englobando tanto serviços básicos como aqueles especializados.

As análises foram feitas em termos do total produzido por cada um dos dois setores em cada porção territorial, agregando-se os resultados por zona a três grandes porções do território metropolitano: norte, sul e centro.

Baixa Renda			
Cenário	Norte	Centro	Sul
00A	55%	12%	32%
22A	54%	6%	40%
22B	54%	12%	34%
22C	53%	13%	34%
22D	41%	18%	41%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 15 – Concentração de Atividades – Baixa Renda

O Cenário Tendencial (22A) revela uma tendência à movimentação da população de baixa em renda em direção ao sul, saindo principalmente da região central. O crescimento dos índices de congestionamento, a disponibilidade de solo e a existência de uma centralidade em estágio mais avançado de consolidação pode justificar esta tendência. Os cenários 22B e 22C apresentam resultados semelhantes, mantendo aproximadamente intacto o estado atual de distribuição territorial (00A). As razões desta estabilidade (ou inversão de tendência, quando comparada ao Cenário 22A), entretanto, podem ser distintas: no cenário 22B os índices de congestionamento aumentaram de forma significativa, o que pode contribuir para a permanência desta população na região central, em função da dificuldade de deslocamento. Este resultado pode ter sido influenciado pela simplificação da rede de transportes (e o consequente congestionamento por ela gerado), pois a redução dos custos de deslocamento produzida pela redução (ou eliminação) das tarifas tenderia a viabilizar a moradia desta população em regiões da cidade onde o preço da terra fosse mais acessível, usualmente fora

das regiões mais centrais. Já no cenário 22C, a permanência da população de mais baixa renda na região central pode ter sido estimulada pelo reforço dado a esta região no seu papel de núcleo metropolitano. Considerando-se que não houve redução das tarifas de transporte, esta população buscará por todos os meios permanecer próxima à sua fonte de renda.

O Cenário Integrado, a julgar pelos resultados apresentados, foi aquele que apresentou um maior equilíbrio territorial da população de baixa renda. Tanto a região central, como a sul, aumentaram sua participação em relação aos cenários anteriores, e foi somente neste cenário que o vetor norte viu reduzir sua participação como principal local de moradia da população mais pobre da RMBH. Este resultado faz sentido, considerando-se que as intervenções no sistema de transportes, bem como o incentivo à criação de centralidades, objetivava exatamente este efeito.

Serviços			
Cenário	Norte	Centro	Sul
00A	47%	34%	19%
22A	53%	13%	34%
22B	60%	26%	14%
22C	47%	20%	33%
22D	67%	20%	13%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 16 – Concentração de Atividades – Serviços

No que se refere ao setor Serviços (considerado aqui em toda sua totalidade, isto é, serviços de atendimento às demandas de todas as classes sociais), o Cenário Tendencial mostra um crescimento do vetor sul, em detrimento da região central, o que se alinha ao que se observa atualmente no território real da RMBH, e mesmo a outros indicadores do Modelo, como a concentração de trabalhadores de baixa renda. O cenário 22B (Transporte Total) tende a direcionar o setor Serviços para o vetor norte, o que faz sentido quando considerada a degradação das condições operacionais dos sistemas de circulação e transportes, gerada pela redução dos custos com tarifas. Considerando-se que o sistema de transportes está melhor estruturado no vetor norte (BRT e metrô), parece natural que os impactos dos altos níveis de congestionamento sejam menos sentidos ali.

Por sua vez, o cenário 22C redireciona o movimento dos Serviços, reforçando-os no vetor sul, centralidade mais consolidada e estimulada neste cenário. É o cenário que apresenta o maior equilíbrio na distribuição espacial do setor Serviços. Os resultados do Cenário 22D ilustraram uma retomada da tendência à concentração de serviços no vetor norte, em detrimento do vetor sul. Soa arbitrário, uma vez que vários dos outros indicadores contribuem para a impressão de que a centralidade sul se consolidava neste cenário. Uma explicação pode estar no fato das novas conexões viárias inseridas neste Cenário facilitarem o acesso de todas as outras regiões ao vetor norte, em especial o Arco Metropolitano. Ainda assim, pouco sentido faria, uma vez que outros indicadores apontam no sentido de um maior equilíbrio territorial das atividades econômicas neste cenário.

4.3. Viagens Totais

Em TRANUS, o número de viagens é uma variável elástica, que responde às condições gerais de acessibilidade da rede avaliada. Nesse sentido, a avaliação deste indicador contribui para a análise da dinâmica territorial na medida em que um maior número de viagens pode corresponder a melhorias nas condições de acesso ao território. É necessário, entretanto, estar atento aos resultados associados de outros indicadores – como o número de viagens suprimidas ou dos próprios índices de acessibilidade da rede – já que, não necessariamente uma redução do número total de viagens significa redução de acessibilidade, pois, como já ressaltado, em TRANUS as viagens intrazonais são desconsideradas (mais viagens intrazonais podem estar associadas ao surgimento de novas centralidades que, ao final, poderiam resultar em maior número de viagens, mas que seriam desconsideradas pelo TRANUS).

Viagens Totais						
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saúde e Serviços	TOTAL
00A	111.646	389.610	170.984	186.459	38.976	897.675
22A	124.629	441.050	189.344	207.659	43.646	1.006.328
22B	122.709	430.213	186.773	206.416	41.614	987.725
22C	122.334	441.987	189.413	206.758	43.541	1.004.033
22D	132.572	450.338	193.195	214.762	43.439	1.034.306

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 17 – Número Total de Viagens por Cenário e por Categoria

A planilha anterior identifica pouca variação nos resultados dos cenários prospectivos 22A, 22B e 22C, com exceção para a queda no número total de viagens do Cenário 22B – muito provavelmente provocada pela elevação dos índices de congestionamento e sobrecarga do sistema de transportes. O aumento do número de viagens suprimidas²⁷ corrobora este diagnóstico. O cenário 22D, por sua vez, apresenta crescimento no número de viagens em todos os setores, com exceção de leve variação negativa para as viagens com motivo Saúde e Serviços. Trata-se de sinal bastante provável de um incremento efetivo nos índices de acessibilidade territorial, uma vez que os níveis de viagens suprimidas regrediram em relação aos demais cenários prospectivos.

4.4. Viagens Suprimidas

Em TRANUS, altos índices de congestionamento podem eliminar da simulação parte das viagens que foram geradas na primeira iteração do Cenário Base, que é feita com a rede viária vazia. A diferença entre o número de viagens geradas com a rede vazia e aquelas

²⁷ ver item Viagens Suprimidas

concretizadas nos cenários prospectivos define o total de viagens ‘suprimidas’. Assim, quanto menos viagens suprimidas apresentar um cenário, melhores as condições de acessibilidade do território.

Viagens Suprimidas (%)					
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saude e Serviços
00A	0,06	0,05	0,01	0,02	0,07
22A	0,06	0,04	0,03	0,02	0,07
22B	0,09	0,06	0,04	0,03	0,10
22C	0,08	0,04	0,03	0,02	0,07
22D	0,04	0,05	0,04	0,02	0,07

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 18 – Número Total de Viagens Suprimidas por Cenário e por Categoria

A análise dos resultados identifica uma tendência (cenário 22A) a um incremento do número de viagens suprimidas para os trabalhadores de alta renda, e manutenção para as demais categorias. Esta tendência é facilmente comprovada pela crescente participação dos modos individuais na divisão de viagens por operador, de acordo com os resultados da mais recente pesquisa O/D, de 2012. O cenário 22B é o que apresenta o maior número de viagens suprimidas, mais uma vez resultado dos altos índices de congestionamento, gerados pela grande simplificação da rede de transportes e pelo aumento da demanda provocado pela redução das tarifas. O cenário 22C não é capaz de inverter as tendências do cenário 22A, sendo na verdade responsável por um pequeno incremento no número de viagens suprimidas na categoria Trabalho Baixa Renda, o que parece estar apoiado no fato desta população estar concentrada no vetor norte da RMBH, enquanto as centralidades que se consolidam mais rapidamente – e, portanto, demandam mais mão de obra – são aquelas do centro e do vetor sul. Assim, a população de baixa renda teria que continuar se deslocando até estes locais para aceder ao emprego.

O cenário 22D reduz sensivelmente o número de viagens suprimidas na categoria Baixa Renda, o que pode ser explicado pelo reforço que as intervenções nos sistemas de circulação e transporte significaram para a efetivação de viagens potenciais com origem neste vetor. Nas demais categorias, o cenário 22D apresenta índices semelhantes às tendências naturais (22A), muito embora tenha conseguido reduzi-los frente ao cenário 22B, apesar de contar com as mesmas intervenções deste. A reversão do processo de crescimento das viagens suprimidas na categoria Trabalho Alta parece pouco provável, em todos os cenários.

4.5. Tempo Médio de Viagem

O tempo médio de viagem é um indicador relevante não apenas do ponto de vista da acessibilidade territorial, mas também se considerado que o intervalo temporal verificado entre a origem e o destino de realização de uma viagem é fator determinante não apenas na escolha do modo de transporte, mas da própria realização da viagem em si.

Tempo Médio de Viagem (h)					
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saúde e Serviços
00A	5,6	3,73	1,5	3,96	2,91
22A	12,24	5,32	2	6,13	3,67
22B	12,6	5,57	2,19	6,33	3,65
22C	50,42	14,23	2,66	21,33	9,63
22D	4,18	3,26	1,77	3,06	1,99

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 19 – Tempo Médio de Viagem por Cenário e por Categoria

O cenário 22A revela uma tendência ao incremento dos tempos de viagem em todas as categorias, com impacto especial sobre as viagens com motivo Trabalho Baixa Renda, que aumentam mais de duas vezes, aparentemente em função do incremento dos índices de congestionamento. O cenário 22B mantém os mesmos níveis do 22A, com pequeno incremento derivado dos ainda maiores níveis de congestionamento. Uma explosão dos tempos de viagem ocorre no cenário 22C, sobretudo nas viagens por motivo Trabalho (baixa e média renda) e Estudos, o que causa certa surpresa uma vez que, quando confrontado com outros indicadores correspondentes (índices de congestionamento, distâncias totais percorridas, índices de acessibilidade, entre outros) faria mais sentido observar uma redução nestes tempos.

Por sua vez, o cenário 22D revela uma sensível redução dos tempos em todas as categorias, ficando abaixo inclusive dos índices atuais (00A), o que pode ser resultado das melhorias nas condições de acessibilidade nas três centralidades propostas.

4.6. Tempo de Espera Médio

O tempo de espera, em TRANUS, é o tempo que o usuário gasta aguardando para embarcar no sistema de transportes, somado ao tempo entre o desembarque e o transbordo em outro modo, antes de chegar ao seu destino final. É um indicador importante, na medida em que o tempo de espera tem impactos na percepção de qualidade do sistema de transportes e é considerado pelo usuário quando de sua ponderação no momento da escolha pelo modo de viagem. Faz parte, portanto, do índice geral de acessibilidade territorial, e quanto menor for seu valor, melhor tende a ser percebido o sistema.

Tempo de Espera Médio durante Viagem (h)					
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saúde e Serviços
00A	1,19	0,8	0,02	0,59	0,51
22A	1,87	0,46	0,01	0,78	0,36
22B	3,03	0,81	0,01	0,87	0,69
22C	0,6	0,41	0,01	0,31	0,24
22D	0,65	0,42	0,01	0,43	0,23

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 20 – Tempo de Espera Médio por Cenário e por Categoria

Os dados da planilha acima mostram que as intervenções previstas no cenário 22B contribuem negativamente para a redução do tempo de espera, na medida em que cria possibilidade de novas integrações intermodais (melhorias no metrô e no sistema de ônibus) – o que ‘penaliza’ o usuário pela necessidade de transbordo – associado a uma deterioração das condições de circulação, em função do congestionamento que provoca, já amplamente citado. Os cenários 22C e 22D reduzem sensivelmente este tempo, em todas as categorias, quando confrontados com o Cenário Tendencial. Se se leva em consideração que as intervenções sobre o sistema de transportes consideradas no cenário 22B também figuram no 22D, e que naquele elas contribuíram negativamente para a redução do tempo de espera, a melhora foi significativa no cenário Integrado (por óbvio seus índices não foram tão bons quanto os do cenário 22C, no qual os transbordos não são estimulados pela política tarifária).

4.7. Distância Total Percorrida

As distâncias totais percorridas costumam estar inversamente associadas aos níveis de acessibilidade do território: um aumento na distância total indicaria maior necessidade de deslocamento para uma mesma viagem. Entretanto, em um cenário de incremento da acessibilidade, o número de viagens tende a aumentar e, conseqüentemente, a distância total percorrida segue o mesmo caminho. Em caminho inverso, um decréscimo das distâncias totais pode estar associado tanto a um movimento de aproximação entre origens e destinos das viagens (surgimento e consolidação de centralidades) como a um aumento dos índices de congestionamento. Sua análise, portanto, não deve ser realizada de forma dissociada de outros indicadores, tais como as distâncias médias percorridas, os índices de acessibilidade e congestionamento ou os tempos totais de viagem.

Distância Total Percorrida (km)					
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saúde e Serviços
00A	4.621.460,99	13.047.208,96	3.901.160,19	5.867.547,14	1.034.308,99
22A	4.941.816,83	13.265.132,54	3.797.678,08	5.894.143,49	934.685,76
22B	4.861.344,26	12.879.252,48	3.759.679,49	5.872.863,23	871.114,05
22C	4.791.380,99	13.215.341,57	3.795.398,14	5.820.364,80	920.795,97
22D	5.136.189,95	12.794.083,33	3.799.826,18	5.817.643,01	869.810,82

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 21 – Distância Total Percorrida por Cenário e por Categoria

A planilha evidencia uma queda das distâncias totais no cenário 22B, provavelmente vinculada ao incremento dos níveis de congestionamento. O cenário 22C apresentou os maiores

valores para a distância percorrida, com exceção para uma pequena queda relativa ao setor Trabalho Baixa, alinhado com a diminuição do número total de viagens deste setor, como ressaltado anteriormente²⁸. O cenário 22D apresentou crescimento apenas do setor Trabalho Baixa, indicador que se alinha com o número total de viagens deste setor, que também cresceu, o que indica um aumento de mobilidade dos trabalhadores de baixa renda, mais do que a necessidade de deslocamentos mais longos (na verdade, como será mostrado abaixo, o deslocamento médio deste setor diminuiu).

Os demais setores no cenário 22D, com exceção do Trabalho Alta, apresentaram redução das distâncias totais, bem como aumento do número total de viagens, o que parece indicar que a distância entre origens e destinos reduziu, confirmando o surgimento ou consolidação das centralidades pretendidas. Com relação à categoria Trabalho Alta, houve leve alta das distâncias totais, e considerando-se que o número total de viagens aumentou e o índice de acessibilidade, como se verá a frente, diminuiu (assim como a distância média percorrida), pode-se depreender que houve um incremento da mobilidade, viabilizando-se o exercício de mais atividades ao longo do dia.

4.8. Distâncias Médias Percorridas

Ao contrário das distâncias totais, as distâncias médias têm relação direta com um incremento de acessibilidade, pois diz respeito à distância média necessária para a conclusão daquela categoria de viagem. Um aumento da distância média percorrida, pois, pode ser interpretada como decréscimo dos níveis de acessibilidade. O contrário, entretanto, nem sempre é verdadeiro, pois os níveis de acessibilidade podem terminar por decrescer, ainda que as distâncias médias para a realização de atividades reduzam. É o caso, por exemplo, do aumento do preço dos combustíveis, ou dos níveis gerais de congestionamento.

Distância Média (km)					
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saúde e Serviços
00A	41,39	33,49	22,82	31,47	26,54
22A	39,65	30,08	20,06	28,38	21,42
22B	39,62	29,94	20,13	28,45	20,93
22C	39,17	29,90	20,04	28,15	21,15
22D	38,74	28,41	19,67	27,09	20,02

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 22 – Distância Média Percorrida por Cenário e por Categoria

De maneira geral, percebe-se um movimento de queda contínua nas distâncias médias percorridas quando analisados os cenários de A a D. As variações entre os cenários A, B e C, entretanto, são mínimas, o que demonstra que ações isoladas sobre os sistemas de transporte ou uso do solo tendem a surtir pouco efeito na redução das distâncias a percorrer, pelo menos

²⁸ ver item Viagens Totais

no intervalo simulado (12 anos). A queda mais sensível ocorre entre o cenário 22C e 22D, o que corrobora a tese de que ações conjuntas podem surtir efeito em menor prazo.

A análise concatenada à distância total percorrida demonstra que as categorias Trabalho Baixa e Trabalho Alta ganharam em mobilidade (pois as distâncias totais aumentaram, enquanto a viagem média ficou mais curta). Já os demais setores ganharam em acessibilidade, pois as distâncias totais diminuíram, assim como as médias.

4.9. Desutilidades Médias

As ‘desutilidades’ do sistema de transportes, ou o índice de acessibilidade, revela-se um dos indicadores mais importantes, em TRANUS, como ressaltado ao longo desta pesquisa. É o equilíbrio entre oferta e demanda o principal objetivo do módulo de transporte, traduzido em níveis de acessibilidade, que retroalimenta o módulo de localização de atividades, interferindo no preço da terra, fazendo com que o ciclo de análise integrada do *software* avance.

Adicionalmente, o conceito de acessibilidade adotado por TRANUS e por esta pesquisa, tende a ser um espelho das condições de acesso da população ao território, na medida em que alta acessibilidade significa oportunidades de realização de atividades²⁹. Assim, ao analisar os resultados gerados por TRANUS para este indicador, deve-se ter em mente que menores índices de desutilidade significam maior acesso ao território. Os resultados são apresentados por cenário e por categoria de viagem, permitindo a visualização dos níveis de acessibilidade para cada estrato socioeconômico.

Desutilidade Média por Setor Econômico					
Cenário	Trabalho Baixa	Trabalho Média	Trabalho Alta	Estudos	Saúde e Serviços
00A	4,24	8,34	5,59	5,99	20,99
22A	3,82	5,12	6,58	5,77	14,58
22B	5,13	10,06	9,24	8,17	26,26
22C	10,73	7,02	7,88	13,33	20,62
22D	2,11	5,94	9,8	4,69	13,53

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 23 – Desutilidade Sistema de Transportes, por Cenário e por Categoria

A planilha revela uma tendência à redução dos níveis de desutilidade no cenário 22A em todas as categorias, com exceção do Trabalho Alta Renda, o que pode ser explicado pela implantação dos corredores de BRT (incluídos no Cenário Tendencial) e pelo aumento da participação do automóvel na divisão modal atual (tendência incorporada no Cenário Intermediário, como já ressaltado). O cenário 22B interrompe esta tendência e vê elevados os índices de desutilidade dos sistemas de transporte em todas as categorias. Mais uma vez, é necessário levar em consideração a simplificação dos sistemas de ônibus realizada no Modelo

²⁹ ver item Introdução

LUTI RMBH e o consequente congestionamento, mas, ainda assim, parece claro que a redução dos custos com tarifa tem impacto no preço da terra e, consequentemente, nos níveis de acessibilidade territorial, o que parece ser confirmado quando percebe-se que o aumento das desutilidades foi mais expressivo na categoria Trabalho Média, principal usuária do sistema de transporte coletivo.

O cenário 22C vê incrementados os níveis de desutilidade nas categorias Trabalho Baixa e Estudos, provavelmente em função da tendência de deslocamento dos empregos em direção às centralidades que apresentaram indícios de consolidação neste cenário: centro e sul. Percebe-se, ainda, que todas as categorias apresentaram acessibilidade inferior ao Cenário Tendencial. O cenário 22D, por sua vez, indica queda expressiva dos índices de desutilidade para todas as categorias, com destaque para Trabalho Baixa Renda, Estudos e Serviços, que apresentaram índices inferiores ao do Cenário Tendencial. A única categoria que apresentou aumento da desutilidade de transportes é a Trabalho Alta, o que tem provável relação com o aumento dos índices de congestionamento do sistema viário, cujo impacto negativo foi amenizado pela redução das tarifas para as categorias Trabalho Baixa e Média, maiores usuárias do sistema de transportes coletivos.

4.10. Viagens com Destino à Área Central

Para as análises das viagens com destino à região central da RMBH, foi utilizada a mesma agregação espacial utilizada em outros indicadores, dividindo a região metropolitana em três grandes setores: Norte, Sul e Centro. Para tanto, foram agregados os resultados da matriz O/D de viagens totais, produzida pelo TRANUS.

A participação das viagens com destino à região central tem relação direta com o papel de núcleo metropolitano exercido por esta região, e o objeto da inclusão deste indicador é verificar até onde intervenções nos sistemas de transporte e na dinâmica de uso e ocupação do solo podem alterar este papel, seja fortalecendo a polarização ou promovendo a dispersão das atividades sobre o território, estimulando a criação de uma rede de centralidades complementares.

Viagens Destino Área Central						
Cenário	Origem					
	Norte	% Total	Sul	% Total	Total	% Total Viagens
00A	116.161	12,9%	110.984	12,4%	227.145	25,3%
22A	124.289	12,4%	126.069	12,5%	250.358	24,9%
22B	121.552	12,3%	117.312	11,9%	238.864	24,2%
22C	122.940	12,2%	126.818	12,6%	249.758	24,9%
22D	124.801	12,1%	114.398	11,1%	239.199	23,1%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 24 – Viagens com Destino à Área Central da RMBH, por cenário

Os dados da planilha indicam uma tendência a estabilização (com leve viés de queda) da participação relativa das viagens com direção ao Centro no número total de viagens. O cenário 22B mostra uma queda um pouco mais acentuada, sobretudo das viagens com origem na região Sul. Vale lembrar que foi este Cenário o que apresentou o menor número de viagens totais, atribuído possivelmente ao maior nível de congestionamento. Assim uma queda das viagens com direção ao Centro, em termos absolutos, já era esperada. Dessa maneira, a queda um pouco mais acentuada das viagens com origem na região sul pode ser atribuída ao maior impacto que os congestionamentos têm sobre os modos individuais de deslocamento, preponderantes nesta região da cidade.

O cenário 22C teve pouco efeito sobre a distribuição espacial das viagens nesta análise, mantendo praticamente estáveis os valores verificados no Cenário Tendencial. O cenário 22D, por sua vez, apresentou uma queda mais expressiva das viagens em direção ao Centro, sobretudo naquelas com origem no vetor sul. Aqui, entretanto, ao contrário do que ocorreu no cenário 22B, é preciso lembrar que houve um aumento no número total de viagens geradas no Cenário, o que leva a crer que a queda do número de viagens em direção ao Centro tem relação direta com a realização de atividades em outras regiões da metrópole, isto é, a consolidação de novas centralidades.

4.11. Atravessamento da Área Central

Em função das características radiais de seu sistema viário, e da histórica movimentação do núcleo metropolitano em direção ao sul de Belo Horizonte, o as viagens de atravessamento da região central sempre figuraram entre os principais problemas a serem resolvidos pelo planejamento territorial municipal e metropolitano (UFMG / PUCMINAS / UEMG, 2011). De forma análoga ao indicador anterior, a análise das viagens de atravessamento foi desenvolvida a partir da agregação das diversas zonas do Modelo LUTI RMBH em três grandes regiões: centro, norte e sul. Uma queda no número de atravessamentos da região central, sobretudo se considerada em função do número total de viagens, pode indicar o fortalecimento de centralidades nos vetores norte e sul da RMBH.

Importante ressaltar que, da maneira como foi construída a análise (dividindo-se o território em três grandes regiões), e a configuração atual do sistema viário metropolitano (radial), é de se esperar que as viagens norte-sul e sul-norte utilizem o centro da RMBH como rota prioritária. Intervenções no sistema viário, que alterem estas condições iniciais, devem ser levadas em consideração na análise dos resultados.

Atravessamento Área Central						
Cenário	Sentido				Total	% Total Viagens
	Norte-Sul	%	Sul-Norte	%		
00A	183.464	20,4%	129.410	14,4%	312.874	34,9%
22A	182.591	18,1%	153.206	15,2%	335.797	33,4%
22B	180.285	18,3%	150.092	15,2%	330.377	33,4%
22C	181.473	18,1%	152.945	15,2%	334.418	33,3%
22D	193.204	18,7%	157.957	15,3%	351.161	34,0%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 25 – Viagens de Atravessamento da Área Central da RMBH, por cenário

Os dados da planilha revelam certa tendência de estabilização da participação de viagens norte-sul e sul-norte em relação ao número total de viagens nos cenários prospectivos. Intervenções nos sistemas de circulação e transportes ou nos padrões de uso do solo, de forma isolada, resultaram em pouco efeito, de acordo com os resultados encontrados. O Cenário 22D, apresentou leve tendência de alta nas viagens de atravessamento, especialmente nas viagens com origem no Vetor Norte, o que pode ser explicado pela inclusão de intervenções como o Arco Metropolitano Norte e a Alça Sul, que aumentaram os índices de acessibilidade ao Vetor Sul, cuja centralidade se encontra mais consolidada que no norte. Os índices de congestionamento das vias Arteriais Centrais³⁰, entretanto, revelam que houve uma pequena sobrecarga de viagens na área central, o que indica que, aparentemente, parte destes deslocamentos continua ocorrendo através do Hipercentro de Belo Horizonte.

4.12. Viagens Internas (às regiões periféricas e ao Centro)

Finalizando as análises matriciais de viagens, buscou-se identificar sinais de consolidação de novas centralidades nos vetores sul e norte a partir do incremento da participação das viagens internas a estas regiões no universo total de deslocamentos. As análises foram feitas da mesma maneira que nos dois últimos indicadores, agregando zonas do Modelo LUTI RMBH em três grandes regiões: centro, sul e norte.

Um incremento das viagens internas a cada uma destas regiões pode ser interpretado como um movimento de consolidação de uma centralidade, dado que grande parte das atividades cotidianas passa a ser feita sem a necessidade de deslocamento até o núcleo metropolitano.

³⁰ ver item Congestionamento Vias Centrais de Belo Horizonte

Viagens Internas								
Cenário	Centro	%	Norte	%	Sul	%	Total	% Total Viagens
00A	14.592	1,6%	137.532	15,3%	165.410	18,4%	317.534	35,4%
22A	18.998	1,9%	169.810	16,9%	179.738	17,9%	368.546	36,6%
22B	19.273	2,0%	171.088	17,3%	176.216	17,8%	366.577	37,1%
22C	19.130	1,9%	166.871	16,6%	182.243	18,2%	368.244	36,7%
22D	20.942	2,0%	188.851	18,3%	175.448	17,0%	385.241	37,2%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 26 – Viagens Internas, por cenário

A análise dos dados aqui levantados deve levar em consideração o fato de que viagens intrazonais são desconsideradas pelo TRANUS. Assim, o número de viagens internas à região central pode estar subdimensionado em relação a dados eventualmente levantados em campo. O mesmo pode estar ocorrendo com dados relativos às viagens do vetor sul, onde uma centralidade já se encontra em fase de consolidação.

A planilha revela uma tendência de aumento da participação das viagens internas no Cenário Tendencial, com destaque para o aumento relativo de cerca de 20% das viagens internas à região Central. O cenário 22B acelera este processo, apesar da redução do número total de viagens. A região Norte ganha destaque também neste Cenário, possivelmente em função da redução dos custos com transporte em uma região melhor servida pelos sistemas de metrô e BRT. Outra interpretação possível para o aumento das viagens internas ao vetor norte é a possibilidade de se tratar de impacto relativo à restrição imposta pelo incremento dos níveis de congestionamento (redução da acessibilidade).

O Cenário 22C apresenta pouca variação em relação ao Cenário Tendencial, com exceção das viagens internas à região Sul, cuja participação aumenta de forma mais significativa, comprovando o que outros indicadores já mostravam: a consolidação desta centralidade sul se deu de forma mais eficiente que a norte, neste cenário. No Cenário 22D as viagens internas tendem a aumentar sua participação nas regiões norte e centro, o que corresponde aos incentivos criados neste cenário. As viagens internas à região sul, entretanto, caem de forma significativa o que, em uma primeira análise, parece contraditório, pois as viagens com origem neste vetor e destino nas regiões centro e norte também caíram ou se mantiveram praticamente estáveis, como revelaram as análises anteriores. Uma explicação possível, apoiada na redução das distâncias médias de deslocamento verificadas para as populações de mais alta renda (preponderantes neste vetor) pode ser o fato de que as viagens no vetor sul passaram a ocorrer dentro das próprias zonas do Modelo LUTI RMBH e passaram a ser, portanto, eliminadas dos resultados finais pelo TRANUS para o Cenário 22D.

4.13. Índice de Congestionamento

A análise dos índices gerais de congestionamento do sistema viário auxilia na compreensão de outros indicadores, como o número total de viagens, o atravessamento da área central, entre outros.

Na análise aqui engendrada foram selecionadas as vias com Nível de Serviço superior a 1,0, isto é, os níveis F, G e H. O índice revela o percentual de vias (*links*) que se encontram dentro deste intervalo, em relação ao total de *links* existentes na rede.

Índices de Congestionamento	
Cenário	%
00A	1,58
22A	5,83
22B	6,91
22C	5,64
22D	6,18

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 27 – Índices de Congestionamento Sistema Viário, por cenário

Os dados revelam uma tendência a forte incremento dos índices de congestionamento no Cenário Tendencial (22A). Esta tendência é reforçada no cenário 22B, provavelmente em função da implantação de reduções no preço das tarifas e da gratuidade nos transbordos dos sistemas de transporte. A simplificação da rede de transportes realizada no momento da modelagem tende a mascarar os resultados finais, aumentando os índices, em função das altas frequências impostas a algumas das linhas de ônibus, necessárias para atendimento da demanda gerada.

O cenário 22C, sem intervenções no sistema de transportes, fez o índice regredir um pouco, ficando mesmo abaixo dos índices tendenciais. Se considerarmos que o número de viagens totais foi superior ao do 22B presume-se que as políticas de estímulo à consolidação de centralidades geraram resultados. O cenário 22D fez novamente o índice subir, mas em um nível ainda inferior ao cenário 22B, mesmo considerando-se que o número total de viagens cresceu neste cenário.

Parece claro, portanto, que mantido o ritmo atual de crescimento da participação do transporte individual no número total de viagens, políticas isoladas de incentivo à utilização de sistemas de transporte coletivo tendem a apresentar pouco resultado em termos de redução dos congestionamentos.

4.14. Índice de Congestionamento das Vias Centrais de Belo Horizonte

De forma semelhante ao indicador anterior, a análise dos índices de congestionamento das vias centrais de Belo Horizonte auxilia na compreensão dos efeitos de políticas sobre o comportamento dos usuários.

Para a construção deste indicador, foram mantidas as premissas utilizadas para a construção do Índice de Congestionamento geral, mas desta vez foram selecionadas apenas as vias internas ao perímetro da Avenida do Contorno, em Belo Horizonte, de forma a permitir o efetivo carregamento da região central da Metrópole.

Índice Congestionamento Área Central	
Cenário	Índice
00A	1,97%
22A	7,90%
22B	9,10%
22C	7,98%
22D	9,64%

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 28 – Índices de Congestionamento do Sistema Viário na Área Central, por cenário

Os dados reforçam a indicação de tendência de crescimento dos índices de congestionamentos no Cenário Tendencial, bem como os efeitos negativos dos cenários 22B e 22D sobre estes índices (efeito das políticas de redução das tarifas e da simplificação da rede de transportes, aparentemente). O cenário 22C apresentou pouca variação em relação à tendência natural de congestão, e se se leva em consideração que, assim como o cenário 22D, pretendia reduzir a sobrecarga da região central através do estímulo à consolidação de novas centralidades, fica claro que os níveis de atratividade do automóvel manterão o sistema viário central bastante demandado. Nem mesmo a criação de conexões alternativas, como o Arco Metropolitano Norte ou a Alça Sul foi capaz de reduzir esta sobrecarga.

4.15. Preço Setor Solo

A análise deste indicador permite visualizar parte dos efeitos das políticas de transporte e gestão do uso do solo sobre o mercado imobiliário. Muito embora vários outros fatores venham a influenciar este mercado (tais como demanda, dinâmica econômica, disponibilidade de mão de obra, entre outros), a disponibilização deste tipo de indicador pelo TRANUS pode ser muito importante para uma compreensão mais adequada dos efeitos desta política sobre os níveis de acessibilidade do território, inclusive no quesito ‘preço’.

Preço Médio Setor Solo				
Cenário	Geral	Norte	Sul	Centro
00A	14,01	12,64	15,18	18,67
22A	16,85	15,27	17,94	22,54
22B	17,02	15,75	17,63	22,00
22C	18,08	16,95	17,86	23,55
22D	17,56	16,66	17,23	22,17

Fonte: (elaboração própria)

Tabela 29 – Preço Médio Setor Solo, por cenário e região

A formação do preço do solo no Modelo LUTI RMBH está descrita no item Setores Econômicos e Localização de Atividades, acima, mas é importante ressaltar também aqui que esta categoria se restringe a solo construído, não a terrenos disponíveis. Nos cenários prospectivos em que políticas de estímulo a centralidades foram simuladas (22C e 22D), foi ofertada maior quantidade de solo construído, isto é, ações similares à oferta de outorga não-onerosa, ou do simples incremento dos Coeficientes de Aproveitamento dos terrenos. Os resultados são apresentados para cada uma das três grandes regiões do Modelo LUTI RMBH, como utilizado em alguns dos indicadores já descritos.

Os resultados apresentam algumas possibilidades interessantes: no cenário 22B, o aumento do preço está concentrado na região norte, melhor atendida pelo sistema de transportes públicos, mais barato neste cenário. Atenção merece ser dada a este aspecto, pois o aumento no preço dos terrenos pode jogar por terra o caráter inclusivo que uma política de redução tarifária poderia ostentar em uma primeira análise. O aumento dos preços do solo no cenário 22C merece uma análise especial, uma vez que a maior oferta engendrada neste cenário tenderia a reduzir o preço médio. Uma explicação plausível pode ser o fato da restrição do setor Solo nas demais regiões ter atingido um nível muito alto, configurando algo semelhante a uma situação de reserva de mercado. O cenário 22D reduziu bastante o valor do terreno na região Sul, quando comparado ao Cenário Tendencial, e evitou aumentos substanciais na área Central o que, se levado em conta que outros indicadores mostraram a consolidação ou fortalecimento de uma centralidade nestas regiões, pode ser considerado como um efeito positivo da política de gestão integrada.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Mais do que a análise dos resultados da modelagem, em termos de precisão ou coerência com informações de base empírica, as conclusões retiradas desta pesquisa atêm-se às respostas ao principal questionamento aqui levantado, responsável pela orientação de todo o trabalho de modelagem e calibração do Modelo LUTI RMBH: seria a modelagem integrada uma ferramenta útil nos processos de construção e discussão de políticas públicas no âmbito do planejamento dos transportes e na gestão do uso do solo? A julgar pelos resultados apresentados ao longo da pesquisa, a resposta parece ser afirmativa, muito embora seja importante ressaltar alguns aspectos relativos às expectativas sobre sua aplicação, sobretudo no que se refere ao papel, ou à função dos resultados, matéria sobre a qual discorre este Capítulo.

De forma semelhante, há óbvias características do *software* que podem e precisam ser aperfeiçoadas, de forma a permitir uma análise mais completa e que contribua, portanto, para a mitigação das resistências que a modelagem ainda enfrenta, tanto no meio acadêmico como entre técnicos e agentes públicos – sem, necessariamente, avançar em direção à microsimulação. As principais delas estão também listadas neste Capítulo. Por fim, faz-se uma breve sugestão de pesquisas sobre as quais se poderia avançar na utilização deste tipo de ferramenta no planejamento urbano e regional.

Coerência – muito embora não seja o objetivo central desta pesquisa a análise dos resultados da modelagem em termos de alterações na dinâmica territorial ou na demanda por deslocamentos, é inegável que qualquer tentativa de suporte a este tipo de ferramenta de planejamento passa pela confiabilidade, e a concatenação de seus resultados com fenômenos observados sobre o território real, ainda que de forma superficial, torna-se incontornável. De forma geral, os resultados apresentados pelo TRANUS apresentaram grau de coerência bastante aceitável, muito embora alguns dos indicadores demandem um maior aprofundamento para melhor compreensão sobre a natureza de seus resultados, sob certos aspectos, inesperados. O exemplo mais emblemático talvez seja o sensível incremento dos tempos totais de viagem no Cenário 22C (Centralidades), muito embora outros indicadores como as desutilidades ou mesmo as distâncias médias das viagens neste cenário indiquem uma tendência à redução destes tempos totais.

Ainda assim, alguns pontos podem ser levantados, com boa assertividade, como exemplos de que o exercício da modelagem enquanto suporte à tomada de decisões no planejamento urbano e de transportes pode gerar bons resultados. O fato de a centralidade Sul apresentar resultados cronologicamente mais dinâmicos que sua correspondente ao Norte permeou um grande número de indicadores, em especial as análises de concentração de populações de baixa renda e de serviços, o que indica que políticas de incentivo às centralidades tendem a ser mais efetivas neste vetor. Intervenções isoladas no sistema de transportes, refletidas no cenário Transporte Total (22B) tendem a surtir pouco efeito além do incremento de demanda por deslocamentos nos sistemas de transporte, nem sempre diretamente relacionados a melhorias nos níveis de acessibilidade territorial. Pelo contrário, ficou claro que

o incremento nos preços médios do solo e dos níveis de congestionamento pode surgir como efeito colateral, o que geraria degradação das condições gerais de acesso às atividades cotidianas. Por outro lado, incentivos à formação ou consolidação de novas centralidades única e exclusivamente através de oferta de solo, sem a contrapartida da melhoria nas condições de acesso a estas regiões (22C) também se revelou pouco eficaz, pois foram poucas as evidências de efetiva afirmação do vetor norte como centralidade, neste cenário. A manutenção do processo de deterioração da acessibilidade por automóvel, em todos os cenários, bem como a tendência de alta dos níveis gerais de congestionamento do sistema viário principal na RMBH revelam também coerência com fenômenos verificados empiricamente.

De forma geral, o cenário Integrado (22D), apresentou resultados bem distintos dos demais cenários prospectivos, o que indica que a integração de políticas de planejamento de transportes e de uso do solo pode efetivamente gerar impactos significativos nas condições gerais de acessibilidade do/ao território, permitindo uma distribuição mais homogênea tanto da população quanto das oportunidades de trabalho e atividades de apoio.

Universo de Indicadores – a variedade e complementariedade dos indicadores disponibilizados por TRANUS permite uma grande quantidade de análises, que podem ser muito bem adaptadas aos objetivos da pesquisa proposta pelo usuário/modelador. Uma mais assertiva compreensão de fenômenos e impactos gerados em cada um dos cenários se tornou possível em função das análises integradas de dois ou mais indicadores, como destacado ao longo do capítulo anterior, nas análises dos resultados de cada indicador. Alterações nos índices de mobilidade ou consolidação de novas centralidades não são indicadores específicos, mas resultado da análise conjunta de resultados como número total de viagens, tempo médio de deslocamento, concentração de atividades, desutilidades ou dinâmica de circulação (origens e destinos).

Desde que garantida certa “simplificação” da rede de transportes (em termos de número de *links*, de nós e centroides) o modelo gera resultados de forma bastante ágil, o que permite ajustes a todo tempo, como sobrecargas nos sistemas de transporte coletivo e viário, bem como a criação de quantos cenários forem necessários para a correta compreensão dos fenômenos e impactos oriundos das intervenções.

Vários outros indicadores poderiam ter sido usados para análises complementares como impacto ambiental das intervenções (emissão de poluentes, ruído...), ou estudos de viabilidade econômica mais aprofundados, o que cria possibilidades de integração com outras políticas setoriais, inclusive com o uso de ferramentas GIS.

Comunicabilidade – usualmente, um dos maiores desafios para planejadores urbanos e engenheiros de tráfego é traduzir os resultados de suas análises em um formato de fácil compreensão e apreensão por parte dos principais interessados: agentes públicos e comunidade de forma geral. Os indicadores disponibilizados pelo *software* auxiliam nesta tarefa, pois tratam de parâmetros bem claros e diretos, como número total de viagens, índices de congestionamento, embarques em cada um dos operadores (modo), viagens em direção à região central, entre outros. Seus resultados são, invariavelmente, apresentados no formato de

planilhas, o que possibilita a criação de gráficos, mapas e imagens que ilustrem de forma mais precisa aquilo que se pretende avaliar.

A utilização de plataforma DOS para a execução dos programas que geram os relatórios analíticos pode representar um pequeno desafio para o modelador, mas as operações e a interface são relativamente simples e a facilidade e velocidade com que tais relatórios são gerados permanecem como aspectos preponderantemente positivos.

Tempo – o tempo de modelagem é sem dúvida um fator crítico na análise de viabilidade da utilização deste tipo de ferramenta em estudos e planos de gestão territorial. Efetivamente, podem ser necessárias várias semanas – mesmo meses – no trabalho de calibração do modelo, a depender da estrutura que se propõe na modelagem e na qualidade das informações de entrada disponíveis. Definições como a divisão da área de estudos em zonas (centroídes) ou o número de setores econômicos a serem criados são cruciais para o bom desempenho do modelo no que se refere ao tempo para sua construção. Nesse sentido, recomenda-se uma análise detalhada dos reais propósitos de cada estudo, para que somente dados essenciais sejam necessários à construção do modelo, sobretudo se o que se pretende, assim como nesta pesquisa, são análises prospectivas, desvinculadas de resultados microscópicos como a alocação de viagens em interseções específicas ou análises par a par de matrizes O/D.

Por outro lado, simplificações excessivas são perigosas, como se revelou a estratégia de redução do sistema de transportes públicos da RMBH a um número mais limitado de linhas. Foram sensíveis os impactos desta decisão nos resultados da simulação, evidenciadas ao longo das análises realizadas no capítulo anterior. A adequação da frequência de um número menor de linhas à grande demanda gerada nos cenários 22B e 22D (transporte com menor custo tarifário) gerou índices importantes de congestionamento, que podem ter contribuído para mascarar alguns dos resultados, pois interferem na própria convergência do Modelo.

É preciso, portanto, um metódico trabalho de planejamento da modelagem, anterior à sua inicialização, levando-se em conta os propósitos da pesquisa e a base de dados de entrada, tanto em termos de confiabilidade como de compatibilidade com a escala das análises que se pretendem desenvolver. Assim, acredita-se que a modelagem integrada não representará obstáculo frente ao atendimento dos quase sempre desafiadores cronogramas de planos e estudos de planejamento urbano.

Analisando-se todos os pontos acima, pode-se afirmar que a conclusão mais relevante da pesquisa reside no fato de que a estratégia de utilização do TRANUS como ferramenta de auxílio à tomada de decisões em escala ‘macro’ apresentou resultados satisfatórios, justificando, assim, o avanço na pesquisa sobre os modelos integrados, e o aprimoramento de sua aplicação sob esta perspectiva. São inegáveis as limitações da modelagem em escala micro, o que explica e justifica a resistência enfrentada por estes aplicativos junto aos profissionais do planejamento – resistência esta referente não somente aos modelos de base econométrica, como o TRANUS, mas também, e talvez em intensidade até maior, sobre aqueles que avançaram sobre a microssimulação. Seu potencial prospectivo, porém, não pode ser negligenciado, pois

apresenta reais possibilidades de contribuição para um planejamento mais eficiente, como deixaram claros os resultados do Modelo LUTI RMBH.

A aplicação de ferramentas de planejamento integrado como o TRANUS nas fases de ‘prognóstico’ de planos diretores urbanos, planos de mobilidade ou estudos de comportamento de demanda para análise de viabilidade de investimentos em infraestrutura de transporte representa algumas das possibilidades de contribuição efetiva, guardadas as ressalvas levantadas nos parágrafos acima, e mantida a perspectiva de prospecção. É inegável, entretanto, que o *software* possui limitações que poderiam ser melhoradas, não necessariamente avançando sobre a desagregação das informações, ou análise micro. A questão das viagens intrazonais talvez represente o principal melhoramento potencial. Sua simples desconsideração, como preconizada atualmente no TRANUS, causa prejuízos importantes às análises, sobretudo se se pretende aferir resultados de políticas que incentivem a consolidação de centralidades, como os cenários 22C e 22D do Modelo LUTI RMBH, da mesma natureza, por exemplo, que grande parte das propostas contidas no PDDI. Ocorre que, ao se tornarem eficazes tais políticas, as distâncias médias das viagens tendem a diminuir, pois as atividades cotidianas passam a ser realizadas em locais mais próximos das residências, origem principal das viagens no horário de pico da manhã, por exemplo, como simulado no Modelo LUTI RMBH. Ao desconsiderar as viagens intrazonais, TRANUS pode estar ocultando estes resultados, permitindo apenas suposições, em função de aumento do número total de viagens ou da redução das distâncias médias de deslocamento, como ensaiado nas análises dos indicadores relativos aos cenários 22C e 22D, principalmente. Ao mesmo tempo, o *software* induz à criação de zonas cada vez menores, como forma de ‘minimizar’ a possibilidade de viagens internas, o que, por sua vez, exigiria uma base de dados socioeconômicos cada vez mais desagregados para viabilizar a modelagem. A disponibilidade de dados em altos níveis de desagregação têm se revelado bastante restrita, além de direcionar a modelagem à microsimulação, e suas inerentes complexidades.

Por tudo isto, a Modelística, desenvolvida pelo TRANUS, se posicionou de forma favorável à integração das viagens intrazonais em seu modelo, o que deve ocorrer nas próximas atualizações do *software*, de acordo com diretrizes de atualização publicadas por Tomás de la Barra no fórum global de discussão entre usuários do aplicativo.

Outra possibilidade de melhoria seria a criação de uma interface mais amigável para a análise dos resultados das simulações. Muito embora planilhas sejam facilmente geradas a cada rodada da simulação, sua análise deve ser precedida de um repetitivo trabalho de formatação, já que elas não são geradas no formato de planilhas (tipo “.xls”), mas “*comma-separated-values*”, ou ‘.csv’. Um *script* simples dentro dos programas de geração de relatórios poderia produzir resultados já formatados, o que em muito aceleraria o processo de análise. Medida semelhante poderia permitir que simulações com pequenas variações de parâmetros fossem realizadas de forma simultânea, exibindo resultados destas variações de forma mais ágil. São medidas que visam especificamente a redução do tempo de análise dos resultados, ponto crítico, especialmente no momento de calibração do Cenário Base. Pesquisas neste sentido vêm sendo feitas por grupos, sobretudo na França, e devem ser incorporados ao TRANUS em breve, de acordo com de la Barra.

Por fim, algumas opções adotadas no momento de estruturação e calibração do Modelo LUTI RMBH podem ser aperfeiçoadas, e devem ser consideradas em pesquisas futuras que se utilizem desta modelagem.

A simplificação excessiva do Módulo de Transportes deve ser evitada, devido ao grande potencial de impacto sobre os resultados da modelagem, como ressaltado algumas vezes ao longo desta pesquisa. A redução do sistema de transportes engendrada no Modelo LUTI RMBH prejudicou os resultados finais, especialmente porque, dentre os cenários propostos para a análise figurava a simulação da redução das tarifas do sistema de transportes públicos, o que seguramente geraria, como gerou, aumento substancial da demanda por este modo de deslocamento. É necessário encontrar um equilíbrio adequado entre a rede de transportes simulada – que efetivamente não precisa ser representada em sua totalidade – e os resultados que se espera obter.

Um segundo melhoramento diz respeito à *calibração e validação do modelo*. No Modelo LUTI RMBH foram utilizados dados atualizados da pesquisa O/D 2002, em função de sua validação anterior através da aplicação em estudos desenvolvidos pela Prefeitura de Belo Horizonte (VIURBS, Planos Diretores Regionais, Plano de Mobilidade de BH, entre outros de menor porte). Assim, na ausência de dados mais atualizados, a validação da calibração foi feita de forma apenas superficial, buscando-se aproximar os resultados do Cenário Intermediário àqueles recentemente levantados pela pesquisa O/D 2012. Idealmente, entretanto, pelo menos duas pesquisas O/D, com intervalos importantes entre suas realizações e com dados de saída em formatos compatíveis, deveriam ser utilizadas para calibração e validação do Modelo. Com a disponibilização e o início da utilização efetiva dos dados oriundos da pesquisa O/D 2012, elaborada com base em critérios muito semelhantes àqueles utilizados na pesquisa de 2002 (sobretudo no que se refere às unidades de coleta de dados, ou Áreas Homogêneas), é possível a construção de um modelo calibrado com os dados de 2002 e validado com os dados de 2012. Tal medida tende a tornar os resultados dos cenários prospectivos mais acurados, ou pelo menos um pouco menos suscetíveis a grandes questionamentos, uma vez que o potencial de prospecção do modelo teria sido previamente validado.

No caso de grandes aglomerações urbanas, como as regiões metropolitanas ou grandes capitais, pode-se contar, com certo grau de garantia, com a existência de pesquisas O/D. Nem sempre, entretanto, elas estarão disponíveis, como nos casos de municípios menores, agora induzidos pelo Governo Federal, através da Política Nacional de Mobilidade, a construir seus planos de mobilidade, por exemplo. Seria interessante avaliar, nestes casos, a possibilidade de utilização da modelagem integrada como geradora direta da matriz O/D básica, que poderia ser calibrada em função de dados de mais fácil coleta em campo, como os embarques nas principais linhas do sistema de transporte coletivo (que tende a ser mais simplificado nestes centros urbanos), ou carregamentos dos principais corredores viários.

Outra possibilidade de incremento qualitativo seria a inclusão dos modos *motocicleta* e *bicicleta* entre os operadores disponíveis no modelo. Com participações cada vez mais significativas na distribuição modal das viagens urbanas, como destacaram os resultados da

mais recente pesquisa O/D metropolitana, sua inclusão geraria pouca demanda por alterações no modelo, com grande potencial de impacto positivo sobre os resultados gerados.

De posse dos resultados da presente pesquisa e dos questionamentos levantados em sua fase inicial, é possível afirmar que os modelos LUTI têm muito a contribuir para o processo de planejamento urbano, não exclusivamente como fonte de dados quantitativos a partir dos quais decisões estratégicas serão tomadas, mas principalmente por possibilitar um ambiente, ao longo do processo de produção e discussão de eventuais intervenções sobre o território, onde a comunicação entre as diversas disciplinas envolvidas torna-se possível. Como ressaltado, o processo de modelagem cria inúmeros momentos onde a contribuição multidisciplinar se faz necessária, sobretudo nas fases iniciais de calibração do Cenário Base, quando tarefas como as definições sobre a divisão territorial a ser analisada, os setores econômicos representativos, as características socioeconômicas que embasarão as relações de consumo intersetorial e o acesso aos diferentes modos de deslocamento, constituem um desafio que deve ser enfrentado concomitantemente por diferentes especialidades.

Adicionalmente, analisando-se exclusivamente seus resultados numéricos, pode-se afirmar que eles possuem graus de precisão semelhantes àqueles gerados pelos *softwares* de modelagem de sistemas de transportes, largamente difundidos dentro do planejamento de transportes já há algumas décadas. Em contrapartida, a modelagem integrada apresenta a vantagem de possibilitar a análise cruzada de seus resultados, valendo-se de indicadores construídos para responder a questionamentos tão diversos quanto aqueles referentes aos impactos ambientais, econômicos, sociais e, claro, às análises dos níveis de acessibilidade territorial, característica essencial se se pretende ampliar as oportunidades de transformação e de desenvolvimento da sociedade.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2013. *Pesquisa Origem e Destino 2012 - Relatório Final*, s.l.: Secretaria Extraordinária de Gestão Metropolitana.
- Almeida, C. M. d., Monteiro, A. M. V. & Câmara, G., 2005. *Modelos de Simulação e Prognóstico de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Públicas Urbanas*. Salvador, XI Encontro ANPUR.
- Alves, P. & Raia Junior, A. A., 2009. *Mobilidade e Acessibilidade Urbanas Sustentáveis: a Gestão da Mobilidade no Brasil*. São Carlos, s.n.
- Arruda, F. S. d., 2005. *Aplicação de um Modelo Baseado em Atividades para Análise da Relação Uso do Solo e Transportes no Contexto Brasileiro*. São Carlos: Tese de Doutorado.
- Barra, T. d. I., 1989. *Integrated Land Use and Transport Modelling*. 1a reimpressão ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Batty, M., 1976. *Urban Modelling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Belda, R., 2010. Teletrabalho em São Paulo, desconhecido, porém presente. *Revista dos Transportes Públicos*, Volume 33, pp. 69-71.
- BHTRANS, 2010. *Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte*, Belo Horizonte: PBH.
- Brasil, Ministério das Cidades, 2007. *Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana*, Brasília: Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana.
- Buehler, R., 2009. Determinants of Automobile Use: a Comparison of Germany and the US. *Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2139, pp. 161-171.
- Cardoso, L., 2007. *Transporte Público, Acessibilidade Urbana e Desigualdades Sócio-espaciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Tese de Doutorado ed. Belo Horizonte: UFMG.
- Castells, M., 1969. Theorie et Ideologie en Sociologie Urbaine. *Sociologie et Societés*, 1(2), pp. 171-192.
- Castells, M., 2000. *A Questão Urbana*. 1a reimpressão ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Cervero, R. & Arrington, G. B., 2008. Vehicle Trip Reduction Impacts of Transit-Oriented Housing. *Journal of Public Transportation*, Volume 11, pp. 1-17.
- Chatman, D. G., 2013. Does TOD need the T?. *Journal of the American Planning Association*, 09 Maio, pp. 17-31.
- Ciarlini, M., 2008. Modelos de Escolha Discreta e sua Aplicação ao Transporte Aéreo. *Journal of Transport Literature*, Julho, pp. 42-65.
- Costa, G. M., 1999. Teorias sócio-espaciais: diante de um impasse?. *VIII Encontro Nacional da ANPUR*, 24-28 maio.

- Costa, G. M., 2003. A Contribuição da Teoria do Espaço de Lefebvre para a Análise Urbana. *X Encontro Anual da ANPUR*, pp. 9-14.
- Domencich, T. & McFadden, D. L., 1975. *Urban Travel Demand: a Behavioral Analysis*. Reimpressão 1996 ed. North Holland: American Elsevier.
- Dong, X., Ben-Akiva, M., Bowman, J. L. & Walker, J. L., 2005. *Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility*. [Online]
Available at: sciencedirect.com
[Acesso 30 7 2014].
- Ewing, R. & Cervero, R., 2010. Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association*, Julho, 76(3), pp. 1-13.
- Fernandes, E., 1999. Lefebvre, love and struggle - Spatial Dialectics. *Topos*, Volume 1, pp. 164-176.
- Friedmann, J., 2003. Toward a Non-Euclidian Mode of Planning. In: *Readings in Planning Theory*. Carlton: Blackwell Publishing Ltd, pp. 75-80.
- Geurs, K., 2006. *Accessibility, Land Use and Transport*. 1a ed. Delft: Eburon.
- Gould, P. R., 1969. *Spatial Diffusion - Resource Paper nr 4*, Washington, DC: National Science Foundation.
- Governo do Estado de São Paulo, 2009. *Plano Integrado de Transporte Urbano (PITU)*, São Paulo: Secretaria dos Transportes Metropolitanos.
- Guattari, F. & Rolnik, S., 1986. *Micropolítica: Cartografias do Desejo*. 2a ed. Petrópolis: Vozes.
- Guilhoto, J. J. M., 2014. *Munich Personal RePEc Archive*. [Online]
Available at: <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/54649/>
[Acesso em 19 Fevereiro 2015].
- Handy, S., Cao, X. & Mokhtarian, P., 2005. Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation Research, Part D*(1), pp. 427-444.
- Hansen, W. G., 1959. How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, XXV(2), pp. 73-76.
- Harvey, D., 1981. The Urban Process Under Capitalism. In: *Urbanization and Urban Planning in Capital Societies*. New York: Methen and Co., pp. 91-122.
- Herce, M., 2009. *Sobre la movilidad en la ciudad*. 1a ed. Barcelona: Reverté.
- Iacono, M., Levinson, D. & El-Geneidy, A., 2008. Models of Transportation and Land Use Change: a Guide to the Territory. *Journal of Planning Literature*, 13 02, pp. 1-18.
- Jacobs, J., 1961. *Morte e Vida de Grandes Cidades*. 3a edição ed. São Paulo: WMF Martins Fontes Ltda..
- Johnston, R. A. & McCoy, M. C., 2006. *Assessment of Integrated Transportation Land Use Models*, Davis: s.n.

- Kingham, S., Dickinson, J. & Copsey, S., 2001. Travelling to work: will people move out of their cars?. *Transport Policy*, Volume 8, pp. 151-160.
- Krizek, K., Horning, J. & El-Geneidy, A. M., 2012. Perceptions of Accessibility to Neighborhood Retail and Other Public Services. *Accessibility and Transport Planning: Challenges for Europe and North America*, 1(Edward Elgan), pp. 96-117.
- Krizek, K. J. et al., 2009. *Access to Destinations: Application of Accessibility Measures for Non-Auto Travel Modes*, St. Paul: Minnesota Department of Transportation.
- Larrauri, M., 2000. *O Desejo Segundo Gilles Deleuze*. 1a ed. São Paulo: Ciranda Cultural.
- Lefebvre, H., 1968. *O Direito à Cidade*. 4a edição ed. São Paulo: Centauro.
- Lefebvre, H., 1993. *The Production of Space*. 3a edição ed. Oxford: Blackwell.
- Levine, J., Grengs, J. & Shen, Q., 2009. *Metropolitan Accessibility and Transportation Sustainability*. Marseille, Fifth Urban Research Symposium, pp. 1-27.
- Levinson, D., Krizek, K. J. & Gillen, D., 2009. *The Machine for Access*, Minneapolis: Nexus.
- Litman, T., 2012. *Evaluating Accessibility for Transportation Planning*, Victoria: VTPI.
- Litman, T., 2013. *Land Use Impacts on Transport*, Victoria: VTPI.
- Lopes, D. L., 2003. *Viabilidade do Uso de Modelos Sintéticos Integrados de Transporte e Uso do Solo: estudo de aplicação à cidade de São Paulo*. Dissertação de Mestrado ed. São Paulo: USP.
- Lopes, S. B., 2010. *Uma Ferramenta para Planejamento da Mobilidade Sustentável com Base em Modelo de Uso do Solo e Transportes*. São Carlos: Tese de Doutorado.
- Lopes, S. B., Silva, A. N. R. & Pfaffenbichler, P., 2010. *Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*. Lisboa, s.n.
- Lucchesi, C. L., 1979. *Introdução à Teoria dos Grafos*. Campinas: UNICAMP.
- Massey, D., 2000. Um sentido global do lugar. In.: A. A. Arantes, ed. *O Espaço da Diferença*. Campinas: Papirus, pp. 176-185.
- McNally, M. G., 2000. *The Activity-Based Approach*, Irvine: University of California.
- Mendes, C. A. B. & Vega, F. A. C., 2011. Técnicas de Regressão Logística Aplicada à Análise Ambiental. *Revista Geografia*, 20(1), pp. 5-30.
- METROMINAS, 2012. *Plano de Exploração do Metrô de Belo Horizonte - Anexo III*, Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais.
- Modelistica, 2008. *User Manual: Models and Report-generating programs of TRANUS*. [Online] Available at: <http://www.tranus.com/tranus-english/download-install> [Acesso em 21 2015].
- Modelistica, 2011. *A Guide to the application of the TRANUS modeling system to the city of Swindon, UK*. [Online]

Available at: <http://www.tranus.com/tranus-english/download-install>
[Acesso 16 2014].

Modelistica, 2011. *TRANUS General Description*. [Online]
Available at: <http://www.tranus.com/tranus-english/general-description>
[Acesso 18 8 2014].

Modelistica, 2012. *TRANUS Formulación Matemática*. [Online]
Available at: <http://www.tranus.com/tranus-english/download-install>
[Acesso em 21 8 2014].

Mokhtarian, P. L. & Salomon, I., 2000. *How derived is the demand for travel? Some conceptual and measurement considerations*, Berkeley: Pergamon.

Mondschein, A., Blumenberg, E. & Taylor, B. D., 2008. *Accessibility and Cognition: the Effect of Transportation Mode on Spatial Knowledge*. [Online]
Available at: <http://escholarship.org/uc/item/8kz7722k>
[Accessed 03 02 2014].

Morris, J., Dumble, P. L. & Wigan, M. R., 1979. Accessibility Indicators for Transport Planning. *Transportation Research*, Volume 13A, pp. 91-109.

Pitombo, C. S., 2007. *Estudos de Relações entre Variáveis Socioeconômicas, de Uso do Solo, Participação em Atividades e Padrões de Viagens Encadeadas Urbanas*. Tese de Doutorado ed. São Carlos: USP.

Prefeitura de Belo Horizonte, 2008. *VIURBS Programa de Estruturação Viária de Belo Horizonte - Relatório Síntese*, Belo Horizonte: PBH.

Pupier, N., 2013. *Construction and Calibration of a Land Use and Transport Interaction Model of a Brazilian City*. Conclusão de Curso ed. Stockholm: KTH Architecture and the Built Environment.

Ribeiro, R. A., 2011. *Modelo baseado em Agentes para estimar a geração e a distribuição de viagens urbanas*. Tese de Doutorado ed. São Carlos: USP.

Rocha, G. R., 2010. *Análise de ferramentas computacionais para planejamento estratégico do uso do solo e transportes*. Dissertação de Mestrado ed. São Carlos: USP.

Ross, W., 2000. Mobility and Accessibility: the yin & yang of planning. *World Transport Policy & Practice*, Volume 6, pp. 13-19.

Santos, M., 1996. *A Natureza do Espaço*. 4a ed. São Paulo: Edusp.

Timmermans, H., 2003. *The Saga of Integrated Land Use-Transport Modeling: How Many more Dreams Before We Wake Up?*. Lucerne, Eindhoven University of Technology.

Tugores, A. & Colet, P., 2013. *Big Data and Urban Mobility*. Madrid, 7th Iberian Grid Infrastructure Conference.

UFMG / PUCMINAS / UEMG, 2011. *Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Sumário Executivo*, Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais.

University of Minnesota, 2009. *Asking the Right Questions About Transportation and Land Use*. [Online]
Available at: www.cts.umn.edu/access-study
[Acesso 17 Fevereiro 2014].

University of Toronto, s.d. *The ILUTE Model*. [Online]
Available at: http://www.civ.utoronto.ca/sect/traeng/ilute/ilute_the_model.htm
[Acesso em 28 03 2014].

Victoria Transport Policy Institute, 2010. *TDM Encyclopedia*. [Online]
Available at: <http://www.vtpi.org/tdm/tdm51.htm>
[Acesso em 22 Janeiro 2014].

Victoria Transport Policy Institute, 2012. *Transportation Cost and benefit Analysis II*, Victoria: VTPI.

Wee, B. v., Geurs, K. & Chorus, C., 2013. Information, Communication, Travel Behavior and Accessibility. *Journal of Transport and Land Use*, 6(3), pp. 1-16.

Wegener, M., 1986. Integrated Forecasting Models of Urban and Regional Systems. In: P. Batey & Madden, M., eds. *London Papers in Regional Science*. Londres: Pion, pp. 9-24.

Wegener, M., 2004. Overview of Land Use Transport Models. In: *Handbook in Transport*. Kidlington: Pergamon / Elsevier, pp. 127-146.

Wegener, M., 2011. From Macro to Micro - How much micro is too much?. *Transport Reviews*, Volume 2, pp. 161-177.