



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE FLUXOS
DE CARGA A PARTIR DE DADOS SECUNDÁRIOS:
UMA APLICAÇÃO EM BELO HORIZONTE**

LÍLIAN DOS SANTOS FONTES PEREIRA

Belo Horizonte, 09 de Janeiro de 2013

Lílian dos Santos Fontes Pereira

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE FLUXOS
DE CARGA A PARTIR DE DADOS SECUNDÁRIOS:
UMA APLICAÇÃO EM BELO HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Prof^aDr^a Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

| | |
|-------|---|
| P436p | <p>Pereira, Lilian dos Santos Fontes Proposta metodológica para estimativa de fluxos de carga a partir de dados secundários [manuscrito] : uma aplicação em Belo Horizonte / Lilian dos Santos Fontes Pereira. — 2013. xii, 108 f. , enc. : il.</p> <p>Orientadora: Leise Kelli de Oliveira.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndices: f. 78-108.</p> <p>Bibliografia: f. 73-77.</p> <p>1. Engenharia de transportes – Teses. 2. Transporte de mercadorias – Teses. I. Oliveira, Leise Kelli de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> |
| | CDU: 656.073(043) |



FOLHA DE APROVAÇÃO

"Proposta metodológica para estimativa de fluxos de carga a partir de dados secundários: uma aplicação em Belo Horizonte"

Lilian dos Santos Fontes Pereira

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Senhores:

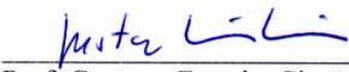

Profa. Dra. Leise Kelli de Oliveira


Prof. Dr. Antônio Artur de Souza

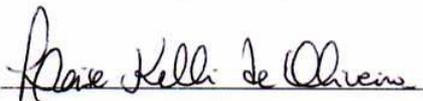

Prof. Dr. Leandro Cardoso


Dr. Sideney Antunes Schreiner Júnior

Aprovada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes


Prof. Gustavo Ferreira Simões
Coordenador

Versão Final aprovada por



Profa. Leise Kelli de Oliveira
Orientador

Belo Horizonte, 09 de janeiro de 2013.

Aos meus pais Éder e
Lídia, exemplos de determinação.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem a colaboração de instituições e pessoas a quem gostaria de agradecer:

- À UFMG, que desde a graduação ofereceu oportunidades de crescimento pessoal, profissional e acadêmico;
- Ao Grupo Tectran, pelo apoio e por ter viabilizado o desenvolvimento desse trabalho;
- À Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano (SMAPU), pelo fornecimento de dados para a pesquisa;
- À BHTRANS, pelo fornecimento de dados e da base da rede viária de Belo Horizonte;
- À Câmara dos Dirigentes Lojistas (CDL-BH), pela colaboração para realização das entrevistas;
- Ao Sindicato das Empresas de Transportes de Carga do Estado de Minas Gerais (SETCEMG), pela colaboração e disponibilidade para o fornecimento de informação, em especial ao senhor Luciano Medrado;
- À Professora Doutora Leise Kelli de Oliveira, pela orientação, incentivo e disponibilidade para ajudar;
- Ao Professor Dr. Tomás de la Barra, PhD pela atenção e disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas sobre o software TRANUS;
- Ao colega Bruno Lana pela ajuda no desenvolvimento do modelo;
- Em especial, à minha família e ao Dalton, pela compreensão, apoio e incentivo.

"Os nossos conhecimentos são a reunião do raciocínio e experiência de numerosas mentes."

(Ralph Waldo Emerson)

"No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade."

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| LISTA DE GRÁFICOS | viii |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS | ix |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | x |
| RESUMO | xi |
| ABSTRACT | xii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objetivos | 3 |
| 1.2 Justificativa e relevância do trabalho | 3 |
| 1.3 Estrutura do trabalho | 4 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 2.1 Logística urbana | 5 |
| 2.2 Matriz Origem-Destino para cargas | 7 |
| 2.3 Modelos de Geração de Viagens de Carga | 13 |
| 2.4 Modelos de Distribuição de Viagens | 19 |
| 2.5 Modelos de Atividades e de Integração Uso do Solo e Transporte | 22 |
| 3. METODOLOGIA | 28 |
| 3.1 Descrição da metodologia proposta | 29 |
| 3.2 Definição da área de estudo e área de planejamento | 31 |
| 3.3 Zoneamento | 31 |
| 3.4 Definição dos segmentos de estudo e canal de distribuição | 32 |
| 3.5 Coleta e tratamento de dados | 32 |
| 3.6 Geração de viagens | 33 |
| 3.7 Modelagem para distribuição de viagens | 33 |
| 3.8 Parâmetros e Calibração | 41 |

| | |
|---|----|
| 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA | 42 |
| 4.1 Definição da área de estudo e área de planejamento | 42 |
| 4.2 Zoneamento | 46 |
| 4.3 Definição dos segmentos de estudo e canal de distribuição | 47 |
| 4.4 Coleta e tratamento de dados | 49 |
| 4.5 Geração de viagens | 52 |
| 4.6 Modelagem para distribuição de viagens | 53 |
| 4.7 Parâmetros e calibração | 56 |
| 5. RESULTADOS E VALIDAÇÃO | 57 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 70 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |
| APÊNDICE A | 78 |
| A1 - Geração de demanda induzida | 78 |
| A2 - Cálculo do Custo de Produção | 79 |
| A3 - Distribuição da produção induzida | 80 |
| A4 - Interface atividades e transportes | 81 |
| A4.1 - Formação de categorias de transportes | 81 |
| A4.2 - Fator tempo | 81 |
| A4.3 Fator volume/valor | 82 |
| A4.4 Transformação dos fluxos | 82 |
| A5 - Conversão de fluxos em viagens | 83 |
| A6 - Divisão modal e alocação | 83 |
| APÊNDICE B | 88 |
| B1 - Modelo de atividades | 88 |
| B2 - Modelo de transportes | 93 |
| B2.1 Oferta Operativa | 93 |
| B2.2 - Oferta Física | 95 |
| B3 - Interface atividades/transportes | 99 |

| | |
|---|-----|
| B3.1 Dados de Produção | 99 |
| APÊNDICE C | 102 |
| APÊNDICE D | 107 |
| D.1 - Questionário da pesquisa de geração de viagens. | 107 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1: Modelo de quatro etapas adaptado para carga – abordagem com base em volume de carga. | 11 |
| FIGURA 2.2: Modelo de quatro etapas adaptado para carga - abordagem com base em viagens. | 12 |
| FIGURA 3.1: Esquema representativo da metodologia proposta. | 29 |
| FIGURA 3.2: Ciclo do modelo de integração uso do solo e transportes | 34 |
| FIGURA 3.3: Fluxograma do modelo TRANUS. | 35 |
| FIGURA 4.1: Áreas com restrições ao tráfego de veículos de carga em Belo Horizonte. | 45 |
| FIGURA 4.2: Zoneamento proposto e sistema viário principal de Belo Horizonte com destaque para a área central. | 47 |
| FIGURA 4.3: Distribuição dos estabelecimentos comerciais considerados, em Belo Horizonte: bares, restaurantes, supermercados e venda de bebidas (destinos), estabelecimentos de vendas por atacado ligados a alimentos e bebidas (origens). | 51 |
| FIGURA 4.4: Rede viária usada na modelagem. | 55 |
| FIGURA 5.1: Viagens atraídas e produzidas por zona, no município de Belo Horizonte. | 61 |
| FIGURA 5.2: Viagens atraídas e produzidas por unidade de área, no município de Belo Horizonte. | 62 |
| FIGURA 5.3: Linhas de desejo. | 66 |
| FIGURA 5.4: Carregamento da distribuição de cargas dos setores alimentos e bebidas em Belo Horizonte. | 68 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 4.1: Percentual de mercadorias por tipo na área central de Belo Horizonte. | 48 |
| GRÁFICO 5.1: Principais origens, em BH, das viagens de carga com destino à área central. | 63 |
| GRÁFICO 5.2: Dispersão dos resultados. | 65 |
| GRÁFICO 5.3: Principais vias de tráfego de veículos transportadores de carga, identificadas pelo número de veículos entrevistados que alegaram passar pela via. | 67 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|---|----|
| QUADRO 2.1: Equações de geração de viagem | 15 |
| QUADRO 2.2: Equações para geração de viagens | 17 |
| QUADRO 2.3: Geração de viagens por Tadi e Balbach (1994) | 18 |
| QUADRO 3.1 - Detalhamento dos parâmetros relacionados a setor. | 37 |
| QUADRO 3.2 - Detalhamento dos parâmetro das relações setoriais | 38 |
| QUADRO 3.3 - Detalhamento das relações de produção e demanda dos setores | 39 |
| QUADRO 4.1 - Regras para circulação dos veículos de carga em Belo Horizonte | 44 |
| QUADRO 4.2: Equações utilizadas para geração de viagens | 53 |
| QUADRO A.1: Emprego do fator tempo. | 82 |
| QUADRO B.1: Setores por tipo | 88 |
| QUADRO B.2: Categorias de transporte | 91 |
| TABELA 5.1: Número de estabelecimentos comerciais por zona. | 57 |
| TABELA 5.2: Área total de estabelecimentos comerciais por zona, em m ² | 58 |
| TABELA 5.3: Geração de viagens. | 59 |
| TABELA 5.4: Produção e atração de viagens. | 60 |
| TABELA 5.5: Principais origens, em BH, das viagens de carga com destino à área central..... | 64 |
| TABELA 5.6: Origem e destino das viagens realizadas por caminhão..... | 67 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|---|
| BHTRANS | Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte |
| CMC | Cadastro Municipal de Contribuintes de Tributos Mobiliários |
| CNAE | Classificação Nacional de Atividades Econômicas |
| CONCLA | Comissão Nacional de Classificação |
| DENATRAN | Departamento Nacional de Trânsito |
| DOU | Diário Oficial da União |
| GC | Geração de carga |
| GVC | Geração de viagens de carga |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ISSQN | Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza |
| OD | Matriz Origem-Destino |
| PBH | Prefeitura de Belo Horizonte |
| PlanMob-BH | Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| TFEP | Taxa de Fiscalização de Engenhos de Publicidade |
| TFLF | Taxa de Fiscalização, Localização e Funcionamento |
| TFS | Taxa de Fiscalização Sanitária |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| VLC | Veículo leve de carga |

RESUMO

O fluxo de cargas no meio urbano é de grande importância para a economia das cidades. No entanto, traz associado a ele diversas externalidades negativas e é objeto de conflito de interesses de diferentes atores. A compreensão do sistema complexo no qual se insere a movimentação urbana de cargas é fundamental para orientar políticas públicas capazes de estabelecer um ponto de equilíbrio entre os seus aspectos positivos e negativos, e constitui um importante desafio da Logística Urbana. Dentre os elementos de planejamento que buscam nortear essa compreensão, a matriz Origem Destino (OD) é de grande relevância. No entanto, os métodos tradicionais baseados em pesquisa de campo têm um custo elevado de elaboração e dificuldades metodológicas de coleta de dados, o que muitas vezes inviabiliza a atualização das informações. Esse estudo tem como objetivo geral validar e avaliar a aplicabilidade de uma metodologia proposta para estimar uma matriz OD de cargas a partir de dados secundários do cadastro municipal, empregando princípios de modelos baseados em atividades. Esses modelos buscam investigar as relações que causam a necessidade de viagens, podendo ser entendidas no contexto do transporte de cargas, como as relações de produção e consumo que geram a demanda por deslocamentos de mercadorias. Neste sentido, este trabalho apresenta uma metodologia composta de sete etapas, compreendendo a definição da área de estudo, zoneamento, escolha dos segmentos econômicos e canal de distribuição a serem detalhados, coleta e tratamento de dados secundários, geração de viagens, modelagem para distribuição e calibração. Para fins de validação, a metodologia foi aplicada ao município de Belo Horizonte, tendo como base de dados o Cadastro Municipal de Contribuintes (CMC) e utilização do modelo de Integração de Uso do Solo e Transportes, baseado em atividades, aplicando o software TRANUS. Os resultados do modelo foram comparados com dados oficiais do município e dados coletados em campo por estudos anteriores. A metodologia se mostrou aplicável, com resultados coerentes e válidos.

Palavras Chaves: *logística urbana, matriz OD, dados secundários, modelo de atividades, TRANUS*

ABSTRACT

The freight flow in urban areas is of great importance for economy. However, it brings several negative externalities and is the subject of conflict of interests of different actors. Understanding this complex system is crucial to guide public policies able to establish a balance between the positive and negative aspects of the flow of charge in an urban environment, and is a major challenge of City Logistics. Among the planning tools aiming to enable this understanding, the matrix Origin Destination (OD), is of great relevance. However, traditional methods based on field surveys have a high cost and methodological difficulties of data collection, which often makes it impossible to update the information. This study aims to validate and evaluate the applicability of a methodology proposed to estimate a freight OD matrix from secondary data, employing principles of activity-based models. These models seek to investigate the relationships that cause the need to travel and can be understood in the context of freight transportation, as the relations of production and consumption that generate demand for goods shifts. In this sense, this study presents a methodology composed of seven stages, including the definition of the study area, zoning, choice of the economic segments to be detailed, collection and processing of secondary data, trip generation, trip distribution and modeling for calibration. To validate, the methodology was applied to the city of Belo Horizonte, based on data from the Municipal Register of Taxpayers (CMC) and use the Integrated Land Use and Transportation, activity-based Model, using the software TRANUS. The model results were compared with official data from the municipality and field data collected in previous studies. The methodology proved applicable, consistent and valid results.

Key words: *city logistics, OD matrix, secondary data, activity model, TRANUS*

1. INTRODUÇÃO

O transporte de carga eficiente tem papel significativo na competitividade econômica de uma área urbana e pode ser, em si mesmo, um elemento importante tanto em termos da renda criada, quanto no nível de emprego que mantém. Mostra-se, assim, fundamental para a sustentação do nosso estilo de vida, servindo à indústria e às atividades de comércio, que são essenciais à geração de riqueza (DUTRA, 2004).

Importante no nível regional, o transporte de cargas é também fundamental na escala urbana, visto que as cidades concentram o consumidor final das mercadorias, em diversos setores da economia. No entanto, em escala local, o transporte de cargas se insere em um complexo sistema, que inclui diferentes agentes: transportadores, embarcadores, receptores, população, organismos governamentais e não governamentais, além de dividir a estrutura física disponível com sistemas de transporte individual e coletivo. Em decorrência do rápido crescimento da população e sua dispersão geográfica, a alta competitividade nos serviços de distribuição e a complexidade no sistema de trânsito, os custos associados à operação dos veículos, em áreas urbanas, têm aumentado significativamente. Mesmo sendo necessário, o transporte de urbano de mercadorias causa muitos transtornos, diretos e indiretos, à população, como congestionamentos, poluição, ruído, vibração, acidentes, dentre outros.

Apesar de ser uma área chave, o transporte de cargas é muitas vezes esquecido nas políticas de transporte. Além disso, os requisitos, padrões e complexidades do mercado não são bem compreendidos e a gestão desses é muitas vezes deixada para a indústria resolver (BOLLAND, 2005). Na maioria dos casos, frente aos problemas urbanos decorrentes do transporte de cargas, várias cidades adotam medidas restritivas, no intuito de minimizar os impactos negativos, que vão desde restrições físicas até mudanças de *layout* (em infraestrutura e veículos). Essas medidas restritivas reduzem a acessibilidade, diminuindo a eficiência logística do sistema de transporte urbano de mercadorias, o que resulta no aumento dos tempos de viagem, baixa qualidade do serviço.

A falta de informação tornou difícil estimar impactos das mudanças políticas para entender e planejar os movimentos de mercadorias entre as regiões. Ambite *et al.* (2003) reforça que com o aumento do fluxo de carga e crescimento do seu impacto, planejadores de transporte, gestores e operadores têm grande interesse em desenvolver melhores métodos de roteirização e monitoramento dos fluxos de carga e analisar o impacto causado por esses fluxos. No entanto, os métodos existentes de estimativa e análise dos fluxos de carga apresentam diversos problemas, seja relacionado à disponibilidade de dados, seja relacionado ao método propriamente.

O principal instrumento utilizado para o planejamento de transportes é a Matriz Origem-Destino (OD), para a qual se tem duas opções: desenvolver um método estimativo a partir dos dados disponíveis ou coletar os dados diretamente dos transportadores. As abordagens baseadas em entrevistas são dispendiosas, trabalhosas e demandam um tempo considerável de levantamento e tabulação de dados. Nesse contexto, pretende-se avaliar a aplicação de uma metodologia para estimar uma matriz OD de cargas, a partir de dados socioeconômicos.

Existem métodos tradicionalmente utilizados no planejamento de transportes, empregados principalmente para estimar cenários futuros, sendo o principal deles o Modelo de Quatro Etapas. Este modelo clássico é representado como uma sequência de quatro submodelos: geração e distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego. A matriz OD é produto das duas primeiras etapas. O modelo tem foco diretamente na viagem, e menos nas relações de consumo por trás da necessidade de deslocamentos.

Outros modelos menos comuns no Brasil são os Modelos de Atividades, Modelos de Integração Uso do Solo e Transportes e Modelos de Preferência Declarada. Os modelos baseados em atividades foram desenvolvidos na década de 1980, e permanecem sendo atualizados. Eles estimam o padrão de deslocamentos de indivíduos a partir das atividades que são desempenhadas. Logo, para definir essas atividades é necessário considerar fatores relacionados à localização do destino da viagem, ao tempo de deslocamento entre outros.

Os Modelos Integrados de Uso do Solo e Transportes, além da relação com as atividades, buscam identificar os impactos das alterações de uso do solo no sistema de transportes e vice-versa, em uma relação cíclica, de modo a prever padrões de desenvolvimento do solo urbano e dos sistemas de transporte.

Partindo-se desses modelos, é possível estabelecer uma relação para a movimentação de cargas, visto que existe uma relação de produção e consumo que estabelece uma demanda de fluxo de mercadorias, antecedente ao transporte propriamente dito. O transporte de cargas ocorre então para satisfazer essa demanda, e se relaciona diretamente com a localização das unidades de produção e de consumo, além das condições de transporte.

Para o desenvolvimento do estudo, parte-se da hipótese básica de que a matriz OD de cargas pode ser gerada a partir da aplicação de um Modelo Integrado de Uso do Solo e Transportes, baseado em atividades, que converte fluxos econômicos em fluxos de transporte, associado à etapa tradicional de geração de viagens.

Nesse trabalho, foi empregado o modelo TRANUS, que permite simular os prováveis efeitos das políticas e projetos em várias cidades ou regiões, sendo avaliados sob uma perspectiva social, econômica, financeira, energética e ambiental, além de integrar localização e interação das

atividades, mercado da habitação e o sistema de transporte. Em síntese, trata-se de um modelo de simulação sobre a localização das atividades, uso da terra e dos transportes, que pode ser aplicado em escala regional e urbana.

Um fator condicionante para o sucesso do modelo é a base de dados utilizada, que deve ser consistente e abrangente. Além disso, o nível de agregação dos dados influencia nos resultados, sendo que quanto mais desagregados, maior a facilidade de se trabalhar. O grau de organização das grandes cidades colabora para a existência de dados completos e confiáveis, contribuindo para o avanço das pesquisas.

1.1 Objetivos

Esse estudo tem como objetivo geral validar e avaliar a aplicabilidade de uma metodologia proposta, baseada em modelos de atividades, para estimar uma matriz OD de cargas, a partir de dados secundários do cadastro municipal.

São objetivos específicos:

- Analisar e tratar dados secundários de forma a representar a distribuição urbana de cargas;
- Avaliar a possibilidade de uso de modelos baseados em atividade para estimativa de fluxo de cargas;
- Avaliar a viabilidade do uso do software TRANUS para estimar a distribuição de viagens de carga.

1.2 Justificativa e relevância do trabalho

A escassez de dados que auxiliem o planejamento do transporte de cargas em meio urbano impõe uma limitação ao desenvolvimento de políticas públicas mais eficientes em relação à Logística Urbana. Essa escassez se deve, em grande parte, ao custo elevado e às dificuldades operacionais de se coletar os dados em pesquisas de campo, como tradicionalmente é feito. Existe, portanto, uma necessidade de investigação de métodos alternativos para obtenção de dados capazes de orientar o planejamento e a tomada de decisão.

Nesse sentido, o estudo desenvolvido agrega uma contribuição social ao buscar alternativas para a aquisição de dados e estimativa de uma matriz OD de cargas com um grau de confiabilidade considerável, ampliando as ferramentas do planejamento de transportes.

Além disso, o estudo avalia e explora a utilização de modelos baseados em atividades, mais comumente utilizados para análises do transporte de pessoas, para o fluxo de carga, contribuindo academicamente para o avanço desses modelos.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é apresentado em seis capítulos, a começar por essa introdução, que contextualiza o tema abordado, apresenta os objetivos e as justificativas.

O segundo capítulo corresponde à revisão bibliográfica, que trata do estado da arte sobre modelagem de matriz OD de carga. Inicialmente é abordado o problema urbano dos deslocamentos de carga, para a qual o planejamento se mostra mais complexo e mais carente de ferramentas eficientes. Em seguida, trata-se especificamente das matrizes OD, instrumento fundamental para o planejamento de transportes. As seções seguintes detalham as etapas tradicionais de modelagem da matriz, geração e distribuição de viagens. A última seção apresenta Modelos de Atividades e de Integração de Uso do Solo e Transportes, estabelecendo um paralelo à sua aplicação para a questão dos fluxos de carga urbana.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia proposta para a modelagem de uma matriz OD a partir de dados secundários, partindo de modelos clássicos de geração, e baseada no princípio dos modelos de atividades. Inicialmente é descrito como a proposta foi desenvolvida e em seguida são detalhadas as etapas da metodologia proposta.

O quarto capítulo traz a aplicação da metodologia ao município de Belo Horizonte. Esse capítulo apresenta a mesma estrutura do anterior, relacionando os dados utilizados e tratamento adotado para cada etapa metodológica.

O capítulo cinco apresenta os resultados obtidos pelo modelo e faz uma análise comparativa com dados coletados em campo, de estudos anteriores.

O último capítulo traz as considerações finais sobre o trabalho, retomando os objetivos iniciais, descrevendo as dificuldades, limitações e potencialidades do estudo, e apontando recomendações para trabalhos futuros.

Em seguida são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho e os apêndices produzidos:

- Apêndice A: Resumo da formulação matemática do modelo utilizado no software TRANUS.
- Apêndice B: Módulos que compõem a estrutura do software TRANUS.
- Apêndice C: Detalhamento das informações do processo de modelagem da rede de transporte.
- Apêndice D: Questionário proposto para a pesquisa sobre geração de viagens.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas a importância de políticas de logística urbana, na qual se insere o estudo em questão, a importância de dados de fluxos de carga para o planejamento urbano, os modelos de geração e distribuição de viagens e os modelos de atividades e de integração do uso do solo.

2.1 Logística urbana

O conceito de logística pode ser entendido como o processo de coordenar o fluxo, material e de informações, do ponto fornecedor ao ponto de consumo, de forma eficiente e efetiva, em correspondência às necessidades dos clientes (TABOADA, 2006). No ambiente urbano, a logística pressupõe uma série de fluxos: de seres humanos e mercadorias, entre diferentes pontos. Esses fluxos devem atender às necessidades de todos os envolvidos, de forma eficiente e efetiva. Os fluxos de carga, de dinheiro e de informação do sistema de distribuição inter e intraurbano, oportunizam a interação de vários atores (companhias, autoridades, habitantes), todos influenciando e sendo influenciados pelo ambiente, padrões de uso e ocupação do solo, eficiência econômica geral e níveis de serviços logísticos.

O conceito mais amplo relacionado ao tema deste trabalho refere-se ao conceito de logística urbana. Taniguchi *et al.* (1999) definem logística urbana como um processo de otimização das atividades de logística, realizadas por entidades (públicas e privadas) em áreas urbanas, considerando fatores como tráfego, congestionamento e consumo de energia na estrutura do mercado econômico. Para Taniguchi *et al.* (1999), há várias iniciativas para o desenvolvimento da logística urbana, que incluem: sistema de informação avançado, sistema de cooperação entre transporte e carga, terminais logísticos urbanos, uso compartilhado de veículo para cargas, sistema subterrâneo de transporte de carga, áreas de controle de acesso, integração e parceria de vários atores de tomada de decisão (autoridades, empresários, etc.), coordenação de planejamento e processos de decisão, e consolidação de diferentes mercadorias, num mesmo veículo, na entrega.

O objetivo maior do transporte urbano de mercadoria, do ponto de vista da orientação política do planejamento, é o de minimizar os custos sociais totais. Ogden (1992) dividiu esse objetivo geral em seis outros: objetivos econômicos, de eficiência, de segurança viária, ambiental, de infraestrutura e de estrutura urbana.

Assim, segundo o mesmo autor, a solução viável para o transporte urbano de carga está no balanceamento desses objetivos por parte dos planejadores. Dentro desse objetivo geral, Ogden (1992) sugere um conjunto de seis objetivos políticos específicos:

- Desempenho macroeconômico do setor público que contribui com o desempenho econômico dos variados níveis (local, regional, nacional);
- Custos e qualidade dos serviços de carga, implicando no aumento da eficiência e da produtividade da carga para redução dos custos operacionais dos transportes, especialmente, àqueles associados ao congestionamento de tráfego;
- Ambiental, minimizando os efeitos adversos das atividades de carga (terminais e transporte), especialmente, ruído, emissões, vibração, e intrusão dentro das áreas residenciais;
- Infraestrutura e gerência, provendo e gerenciando uma adequada infraestrutura, especialmente àquela voltada à provisão e manutenção do sistema viário e terminais, e apropriada regulação das operações de carga por caminhões;
- Segurança viária, minimizando o número e a gravidade dos acidentes provocados pelos veículos de carga;
- Estrutura urbana, que contribui com a estrutura urbana “desejada”, especialmente na localização das atividades geradoras de carga e terminais.

O atendimento a esses objetivos requer um planejamento integrado na cidade, o que enfrenta uma série de entraves para sua concretização. Dutra (2004) aponta que, mesmo sendo necessário, o transporte de cargas dentro das cidades causa muitos transtornos à população, como congestionamentos, poluição, ruído, vibração, acidentes, entre outros. Por outro lado, a estrutura urbana e as medidas que têm sido tomadas para minimizar os problemas reduzem a acessibilidade e diminuem a eficiência logística do sistema de transporte urbano de pessoas e mercadorias. Isto resulta no aumento dos tempos de viagem, baixa qualidade do serviço e, em alguns casos, maior número de veículos do que o necessário. Para a autora, apesar do problema da movimentação de mercadorias na área urbana não ser novo, de uma maneira geral, não foi considerado no planejamento urbano das cidades.

Em grandes centros urbanos, para a questão do transporte de carga, o interesse está voltado para a previsão da demanda e estimativa de fluxos de viagens por caminhão. Para tal, o papel que os modelos assumem a nível local é importante, devendo apresentar uma estrutura de modelagem simples, capaz de permitir um entendimento e aplicação, de maneira que possam auxiliar nas análises políticas e nas tomadas de decisões, necessárias às mudanças significativas que ocorrem no ambiente de transporte (MELO, 2002).

2.2 Matriz Origem-Destino para cargas

O entendimento da demanda por um produto ou serviço é de importância fundamental para o planejamento de transportes, destacando-se o dimensionamento da capacidade de empreendimentos, a análise da viabilidade de projetos de investimentos, o estabelecimento de estratégias de competição entre empresas, a política da escolha modal, as decisões das ações governamentais para alocação de recursos que venham possibilitar melhorias para o usuário do serviço, entre outros.

O principal elemento de planejamento utilizado em transportes é a Matriz OD, cujas pesquisas necessárias à sua elaboração são dispendiosas, trabalhosas e demandam um tempo considerável de levantamento e tabulação de dados. De acordo com Souza (2010), a complexidade de se modelar a demanda de transporte de carga surge da necessidade de se considerar a existência de diversas dimensões (diferentes tipos de carga, volumes, pesos e volume de viagens) sob o controle de diferentes tomadores de decisão (embarcadores, transportadores, motoristas e despachantes) que interagem em um ambiente dinâmico.

O estudo da demanda pode seguir diferentes abordagens conforme seus objetivos, natureza dos dados obtidos e disponibilidade de recursos humanos, financeiros ou até mesmo computacionais. Uma etapa fundamental é caracterizar um modelo para prever respostas às mudanças, inclusive para os atributos dos sistemas de transporte.

Ao se modelar a demanda, o primeiro passo é definir o objetivo que se quer alcançar, e de acordo com esse objetivo a abordagem pode ser: preditiva, que apenas procura a melhor estimativa da demanda futura; explicativa, que melhor enfoca os fenômenos observados no mercado, captando a influência das variáveis mais significantes, como preço ou renda; ou mesmo uma abordagem na esfera de interesse do planejamento, entendida como o estudo das políticas econômicas ou tecnológicas, onde se definem quais variáveis podem ser alteradas, sendo estas denominadas de “instrumento”, medindo-se os efeitos de seus movimentos sobre as variáveis que se quer atuar, denominadas de “alvo” (MELO, 2002).

Para prever a demanda há a necessidade de se selecionar o método de análise, julgar a adequabilidade do modelo, ajustar observações discrepantes, e até mesmo fazer uma análise de sensibilidade dos resultados.

Ortúzar e Willumsen (1990) apontam que as principais dificuldades associadas com a modelagem da movimentação de carga iniciam-se pela consideração dos fatores que se espera causar influência nessa modelagem. Dentre os principais aspectos, os autores ressaltam:

- Fatores de localização, pois a demanda por transporte de carga é normalmente parte do processo industrial; a localização da origem da matéria-prima e de outros insumos para o

processo de produção de bens, assim como a localização de mercados intermediários e finais para os produtos, irão determinar os níveis de movimentação de carga;

- A variedade na produção de bens e a necessidade de consumo da sociedade são aspectos mais diversificados do que a demanda por transporte em relação aos diferentes tipos de propósitos nas viagens pessoais. Como consequência, é gerado um maior número de matrizes de mercadorias em qualquer estudo de demanda por transporte de carga;
- Fatores físicos, visto que as características e a natureza das matérias-primas e produtos finais influenciam nos modos pelos quais eles podem ser transportados: a granel, embalados, em veículos muito seguros (para transporte de valores), em veículos refrigerados (para produtos perecíveis), entre outros casos. Há então, uma maior variedade nos tipos de veículos para atender a distribuição dessas classes de mercadorias do que no caso de transporte de passageiros;
- Fatores operacionais, como o tamanho da empresa, sua política de distribuição, sua posição geográfica, assim como outros aspectos de sua operação, influenciam a possibilidade de uso de diferentes modais e estratégias de transporte;
- Fatores geográficos, como a localização e densidade populacional podem influenciar a distribuição dos produtos finais;
- Fatores dinâmicos, como as variações sazonais na demanda e mudanças nas preferências dos consumidores, representam um importante papel nos padrões de movimentação de bens variáveis.
- Fatores de custo, visto que no caso do transporte de carga, preço não é, em geral, um dado conhecido, pois ele é muito mais flexível e sujeito a negociações, e depende muito das condições acordadas entre as partes, justamente o oposto do que ocorre com o transporte de passageiros.

Este último fator traz dificuldades na obtenção de dados confiáveis sobre o custo de distribuição. A maioria das empresas transportadoras, assim como os expedidores, tenta manter este tópico como confidencial, para fortalecer suas posições quando eles precisarem negociar o preço do frete.

Para a grande maioria dos modelos de demanda por carga, segundo Ortúzar e Willumsen (1990), as previsões aplicadas na prática são do tipo agregadas. Eles seguem o clássico modelo de quatro etapas, com algumas adaptações específicas para carga. Para cada uma das etapas, os autores tecem os seguintes comentários (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1990):

- Geração de Carga – tanto na produção como na atração, a geração de carga depende basicamente do nível de agregação e dos tipos de produtos considerados originalmente; nas

áreas urbanas particularmente, a regressão linear múltipla por zona é frequentemente usada para se obter medidas mais agregadas, e a demanda pode ser associada com a capacidade de armazenagem ou com o total de área construída para esta finalidade em cada zona;

- Distribuição de carga – muitos estudos urbanos simplesmente aplicam o método de fator de crescimento para obter as matrizes de movimentação de bens. Além deste método, as técnicas agregadas são mais usadas nesta área, como o modelo gravitacional e a programação linear.
- Escolha Modal – esta é essencialmente a decisão do expedidor sobre qual o meio de transporte que será escolhido para fazer a entrega dos bens em seus destinos. Quando modelada a um nível agregado, a escolha modal é frequentemente considerada adotando-se uma formulação Logit Multinomial, também baseada em custos generalizados, onde essas decisões dependem das taxas praticadas pelos transportadores, que em troca dependem dos volumes a serem movimentados entre cada par de OD. No caso de movimentação urbana de carga, o problema da escolha modal é definido pelo escasso atendimento (disponibilidade) oferecido pelos modos não rodoviários.
- Alocação da carga – esta é a decisão do transportador sobre qual é a escolha da melhor rota para levar os bens da origem ao destino. Até certo ponto, esta é a parte mais simples do problema. Provavelmente a consideração de restrições de capacidade é relevante na maioria das situações urbanas. Para estas situações, podem ser discutidos quais os diferentes tipos de veículos que devem ser modelados nos diferentes caminhos (rotas). Exemplos de alocações adequadas podem ser vistos no caso de se necessitar vencer trechos de aclive, onde o VLC (veículo leve de carga) pode ter menos dificuldades do que os caminhões pesados; ou no caso dos veículos que transportam bens perecíveis, que poderiam prioritariamente adotar rotas com tempos minimizados, o que já não se faz necessário para aqueles veículos que carregam suprimentos volumosos não perecíveis. O uso de métodos multiclassés de designação pode então ser adequado para competir com os diversos conceitos de custo.

Em geral, modelos de transporte estimam o fluxo de veículos na rede como função da distribuição espacial da atividade econômica, demanda por interação espacial, custos de transporte e capacidade da rede. Uma grande variedade de modelos foi desenvolvida, a maioria com foco exclusivo na movimentação urbana de passageiros. A movimentação de cargas é tipicamente modelada como um problema inter-regional (AMBITE *et al.*, 2003).

Os modelos utilizados para simular a demanda de cargas em escala nacional derivam da integração entre dois níveis (CASSETTA, 2001; RUSSO, 2001):

- Modelos macroeconômicos: simulam a quantidade e a distribuição espacial dos bens comercializados entre as várias zonas, produzindo a Matriz OD.
- Modelos que simulam a divisão modal e escolha de rotas em redes viárias representativas do serviço de transportes.

Regan e Garrido (2000) apresentam um resumo de pesquisas no campo da modelagem de demanda de cargas e o comportamento do transportador. Os autores dividiram o modelo, conforme a natureza do dado requerido e a extensão geográfica, em agregado, desagregado, internacional, intermunicipal e urbano.

- Um dos primeiros estudos sobre a movimentação urbana de cargas foi feito por Ogden (1992), que propôs modelos para gerenciar e controlar o transporte urbano de cargas. Ele também apresentou os primeiros resultados de estudos de casos em várias cidades do mundo, e identifica duas principais abordagens derivadas do modelo de quatro etapas (geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego), ao se modelar a demanda por viagens de carga: Modelos baseados em mercadorias: consideram que o sistema de carga está basicamente relacionado com o movimento de mercadorias, podendo ser modelado diretamente. Seu estado da arte se baseia numa abordagem de modelagem sequencial (geração, distribuição, divisão modal e alocação). No entanto, uma alternativa é o uso de uma abordagem de estimativa direta, que agrupa os estágios de geração, distribuição e divisão em um único passo. As viagens de caminhão são derivadas da movimentação de mercadorias, através de um modelo de carregamento de veículos, e o resultado do modelo é a alocação de viagens de caminhão na malha viária;
- Modelos baseados em viagens de caminhão: estimam diretamente a atividade “viagem de caminhão”. São identificadas três subcategorias: uma abordagem de modelagem sequencial, uma abordagem de estimativa direta (similares àquelas dos modelos anteriores) e uma abordagem de geração de tráfego de caminhão, que estima o número de viagens de caminhão geradas em um local ou área.

O modelo baseado na carga pode ser dividido em modelos multi-etapas, similares aos utilizados para o transporte de passageiros, modelos insumo-produto (HARRIS; LIU, 1998) e modelos de equilíbrio espacial de preços (OPPENHEIM, 1994).

Uma evolução do modelo multi-etapa foi proposta por Russo e Comi (2002). O modelo parte da demanda do consumidor final e permite que o fluxo estimado por trecho seja dividido entre fluxo de passageiros para compras, e fluxo de veículos para a movimentação de bens.

Segundo D’Agosto *et al.* (2010), os modelos baseados na carga tratam da quantidade de carga transportada, possibilitando identificar com mais detalhes os mecanismos que direcionam a

movimentação de cargas. A etapa de diagnóstico fornece as informações do ano-base necessárias para alimentar o modelo. Para obter os dados de atração e produção de viagens resultantes da etapa geração de carga, é necessário definir as taxas de geração de carga ou o modelo de regressão específico para cada zona, desagregado por tipo de carga. Conforme acontece com o modelo baseado em viagens, o resultado desta etapa alimenta a distribuição de carga, que tem por objetivo distribuir as produções e atrações entre as zonas de tráfego de modo a obter o fluxo de carga e a matriz OD para cada carga. A próxima etapa trata da divisão modal, que, por meio do modelo logit, distribui o volume de carga obtido na matriz OD entre os modos de transporte contemplados no modelo em estudo, obtendo o fluxo de carga entre zonas, por tipo de carga e por modo de transporte. Após a divisão modal, é necessário converter os volumes de carga em viagens de veículos, de acordo com a densidade da carga e a capacidade do veículo. A última etapa trata da alocação de tráfego, que aloca os veículos obtidos na etapa anterior à rede de transporte. Para a verificação das viagens vazias são utilizados modelos complementares. A FIG. 2.1 mostra as etapas do modelo com abordagem baseada em volume de carga.

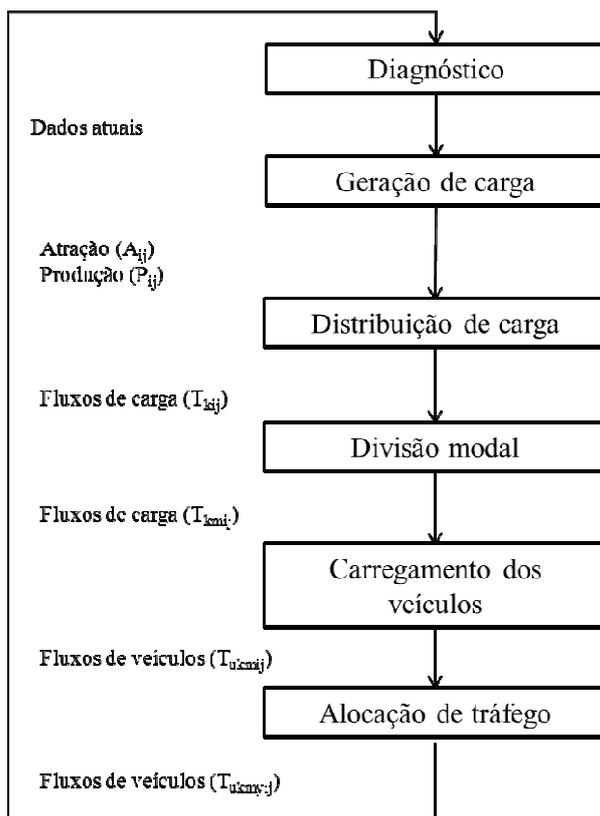


FIGURA 2.1: Modelo de quatro etapas adaptado para carga – abordagem com base em volume de carga.

Fonte: Adaptado de D’Agosto *et al.* (2010, p.9).

Os modelos baseados no veículo são principalmente modelos multi-etapa. O fluxo é obtido por modelos desenvolvidos para passageiros.

Os modelos baseados em volume de viagens têm foco no fluxo de veículos, sendo que já consideram previamente a partição modal. A etapa de diagnóstico fornece as informações do ano-base, desagregadas por modo de transporte, necessárias para alimentar o modelo. Para obter os dados de atração e produção de viagens resultantes da etapa geração de viagens, é necessário definir as taxas de geração de viagens ou o modelo de regressão específico para cada zona por modo de transporte. O resultado desta etapa alimenta a distribuição de viagens, que tem por objetivo distribuir as produções e atrações entre as zonas de tráfego de modo a obter o fluxo de viagens e a matriz OD para cada modo de transporte. Usualmente utiliza-se o modelo gravitacional para a distribuição das viagens. A última etapa trata da alocação de tráfego, que aloca a cada segmento da rede de transporte os fluxos verificados na matriz OD (D'AGOSTO *et al.*, 2010). A FIG 2.2 apresenta o fluxograma das etapas deste modelo.

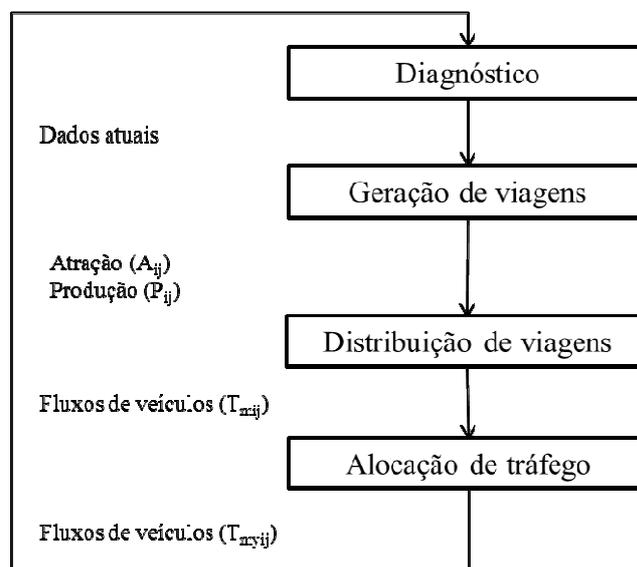


FIGURA 2.2: Modelo de quatro etapas adaptado para carga - abordagem com base em viagens.

Fonte: D'Agosto *et al.* (2010, p.8).

Ambite *et al.* (2003) usou um modelo regional combinado com dados de fluxo de carga interno/externo para estimar matrizes de transporte de carga intra-metropolitano. A abordagem dos autores utiliza fontes confiáveis de dados, integração de dados heterogêneos e métodos para validação e calibração do modelo.

Russo e Comi (2005) desenvolveram um trabalho a fim de identificar os diversos tomadores de decisão envolvidos no movimento urbano de cargas, destacar o papel dos modelos de passageiros e criar uma conexão entre os modelos de passageiros e de cargas e desenvolver um modelo integrado para um caso específico. Os autores apontam que os modelos em escala urbana devem ser divididos em dois níveis:

- Modelos que calculam a demanda por tipo de carga, por pares de OD consumidor final-varejista e varejista-distribuidor, partindo de dados socioeconômicos;

- Modelos que determinam o modo, serviço, tempo e veículo usado bem como as rotas escolhidas.

O primeiro nível utiliza modelos de atração (consumidor final-varejista) e modelos de aquisição (varejista-distribuidor), o segundo nível utiliza modelos logísticos que têm como dado de entrada os resultados do primeiro nível. O modelo de atração permite calcular a quantidade de carga consumida na zona de origem, comprada na zona de destino (varejo). O modelo de aquisição permite identificar de onde a mercadoria vem. Os dois modelos utilizam cálculos de probabilidade, baseado nas utilidades de consumo em cada zona.

Outro trabalho que buscou integrar o comportamento dos tomadores de decisão no processo de modelagem foi de Boerkamps *et al.* (2000). O modelo previa o fluxo de cargas baseado na demanda de consumo dos usuários finais. A demanda era ligada à oferta de acordo com a distribuição espacial e de mercado, resultando em rotas de veículos e modos. Então, as rotas eram alocadas à infraestrutura viária.

Wisetjindawat *et al.* (2007) propõe um modelo de micro simulação, para o movimento de carga urbana, que inclui o comportamento dos atores e sua relação nas cadeias de suprimento. O modelo modifica a abordagem de quatro etapas, uma vez que considera o comportamento de cada agente individualmente. Os dados necessários para a modelagem foram gerados a partir de dados agregados de estabelecimentos e empresas da área de estudos. A geração de mercadorias foi calculada usando técnicas de regressão, sendo atribuída a pontos de consumo e pontos de produção, de acordo com a atratividade de cada área, resultando em fluxos de carga. Modelos de escolha discreta foram selecionados para explicar o comportamento dos clientes. A escolha dos clientes é derivada da multiplicação de três probabilidades: probabilidade da cadeia de distribuição (compra de outros varejistas, de atacadistas ou outro nível de distribuição), probabilidade de localização do embarcador e probabilidade de escolha de cada embarcador. O fluxo de mercadorias foi convertido em fluxos de frete em três estágios: frequência e quantidade de entrega, escolha do veículo e roteirização. Foram então obtidas matrizes de viagens por tipo de caminhão. O modelo foi aplicado na região metropolitana de Tóquio e apresentou bons resultados para os volumes finais, no entanto gerou distorções quando analisado cada par OD isoladamente.

2.3 Modelos de Geração de Viagens de Carga

A geração de viagens corresponde à etapa do processo de planejamento dos transportes que está relacionada com a previsão do número de viagens de pessoas ou veículos. Pesquisadores têm estudado a geração de viagens ao longo dos anos, e existe uma grande variedade de modelos, cada um com suas limitações e vantagens características. O trabalho desenvolvido por Holguín-

Veras *et al.* (2011) analisou fatores que questionam as práticas atuais. A visão dos autores é apresentada nessa seção.

Os autores concluem que a precisão dos modelos de geração de carga (GC) e de geração de viagens de carga (GVC) depende da consistência entre a estrutura do modelo e os reais padrões de geração de carga e a geração de viagens de carga, o grau de heterogeneidade interna da agregação uso econômico / terra usada para estimar o modelo e a adequação do procedimento de agregação espacial utilizada para obter as estimativas de geração de carga e a geração de viagens de carga.

Isto significa que não é geralmente correto assumir a proporcionalidade entre geração de viagens de carga e tamanho do negócio, e que o uso de taxas constantes poderia ser problemático. Por exemplo, apenas 18% dos setores da indústria em Nova York exibem taxas constantes de geração de viagens de carga por empregado.

A falta de modelos de demanda de carga apropriados pode ser explicada, em parte, pela ausência de um equilíbrio adequado entre o conhecimento, os modelos e os dados. Para entender os motivos, é importante apresentar três axiomas. O primeiro é de que “o conhecimento do funcionamento do sistema é necessário para a criação de modelos explicativos do seu comportamento”, uma vez que não é possível desenvolver bons modelos de um sistema que não é bem entendido. O segundo axioma é que “os dados nem sempre equivalem ao conhecimento, como o último requer teorias que explicam o funcionamento do sistema”. O terceiro axioma é que “a coleta de dados é mais eficaz quando é informada pelo conhecimento sobre o sistema, e os requisitos dos modelos que eles apoiariam”. Estes axiomas sugerem que antes do desenvolvimento do modelo e de empenhar esforços na coleta de dados, deve-se tentar obter conhecimento sobre o sistema em estudo.

Ao estudar o modelo de geração de viagens de carga, é importante fazer uma distinção clara entre a geração de demanda, por exemplo, toneladas, e a geração de tráfego, por exemplo, viagens de caminhão.

Uma série de estudos tem identificado variáveis que explicam a geração de viagens de carga. As variáveis identificadas são: o uso do solo; atividade econômica, o emprego, tipo de mercadoria, linha de negócio, e uma área de criação; segmento da indústria tipo de mercadoria, transportada e emprego, o emprego total, área bruta de construção, e escritório não emprego. Outros estudos produziram taxas de viagem para: diferentes tipos de uso do solo e / ou tipos de veículos, instalações especiais, e armazéns. No entanto, o modelo mais utilizado é uma taxa de geração de viagens de carga constante como função de uma única variável independente (por exemplo,

emprego, área). Lamentavelmente, a maioria destas taxas foi calculada sem testar a significância da variável independente utilizada, ou a validade da sua forma funcional.

O modelo baseado em mercadorias desenvolvido por Ogden (1992) estrutura a etapa de geração de viagens em termos de carregamentos, desenvolvido com base em subcomponentes de emprego e área construída por pavimento, definido a equação (1) a seguir:

$$Y = 13,97 + 0,044 X \quad (1)$$

Onde:

Y = carregamentos semanais totais por planta;

X = área total por pavimento, em pés quadrados.

Para esta equação, o valor de R^2 para a equação definida por Ogden (1992) foi de 0,88.

O segundo modelo desenvolvido por Ogden (1992) envolve uma série de equações classificadas por grupo de mercadorias atraídas ou produzidas por uma zona, baseadas em variáveis zonais de uso do solo, apresentados no Quadro 2.1.

QUADRO 2.1: Equações de geração de viagem

| Sector comercial | Equação | R ² |
|----------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Alimentícios e agricultura | $Y = -391 + 0,0894 X_2 + 0,0158 X_5$ | 0,65 |
| Materiais de construção | $Y = 333 + 0,0957 X_3 + 0,138 X_4$ | 0,44 |
| Produtos industrializados | $Y = -731 + 0,0798 X_2 + 0,146 X_3$ | 0,67 |
| Derivados de petróleo | $Y = 30,5 + 0,0163 X_2 + 0,0020 X_4$ | 0,46 |
| Perdas | $Y = -191 + 0,0450 X_2 + 0,0214 X_5$ | 0,58 |
| Outras mercadorias | $Y = -173 + 0,00704X_2$ | 0,84 |
| Todas as mercadorias (1) | $Y = -749 - 0,224 X_1 + 0,726 X_2$ | 0,84 |
| Todas as mercadorias (2) | $Y = -1417 + 0,467 X_2 + 0,0317 X_4$ | 0,68 |

Fonte: Ogden (1992).

Onde:

Y = mercadorias atraídas para a zona, em toneladas (no caso de perdas é a massa produzida por zona);

X1 = número de empregados no nível de escolaridade médio e superior na zona;

X2 = número de empregados no nível de apoio (operários) na zona;

X3 = número de empregados em indústrias na zona;

X4 = população residente na zona;

X5 = número de domicílios na zona.

Segundo Ogden (1992), esses modelos são mais bem expressos em toneladas. Para o comércio varejista a área construída por pavimento e o número de empregados são variáveis independentes adequadas; para as atividades industriais, o número de empregados é preferencial, considerando suposições relativas ao volume de carga produzido por cada empregado.

Em relação aos modelos de geração de viagens de veículos de carga, são aqueles que usam variáveis independentes agregadas a um nível zonal e que fornecem como resultado o número de viagens dos veículos de carga atraídas ou produzidas pela zona. Os modelos assim formulados só são úteis dentro dos propósitos para os quais foram desenvolvidos, visando às estimativas zonais a que se referem, e não para estimar as características da geração de tráfego de veículos de carga em outros locais, mesmo que específicos. Alguns resultados mais relevantes dos modelos sob essa abordagem são apresentados a seguir (OGDEN, 1992):

- Chicago (EUA) – resumido em uma tabela que mostra viagens zonais de caminhão, por tipo de caminhão e uso do solo, como uma função de viagens zonais pessoais. Esta é uma aproximação empírica, mas facilmente incorporada ao processo de modelagem;
- Vancouver (Canadá) – desenvolvimento de várias modelagens de viagens urbanas de caminhões, expressas em viagens zonais de caminhão, por tipo de caminhão, como uma função de empregos zonais. A classificação é feita pela capacidade do caminhão;
- Boston (EUA) – considera o número de viagens atraídas para a zona igual ao número de viagens produzidas, e o modelo foi então desenvolvido para determinar o número de viagens finais (adotando atração mais produção) como a variável dependente, e estima a densidade de viagens finais de caminhão por zona como uma função de emprego e população zonais, juntamente com uma medida de acessibilidade.

Existem ainda os modelos de demanda direta, que unem as fases de geração e distribuição na modelagem de viagens, considerando que as duas decisões são tomadas simultaneamente, de tal forma que geração de viagem de caminhão esteja relacionada não somente com aspectos como a viagem fim, mas também com algumas medidas de “custo” do transporte para o destino. Um modelo desse tipo foi desenvolvido para viagens urbanas de caminhões, realizadas por veículos leves, conforme descrito na equação (2) (OGDEN, 1992):

$$\ln\left(\frac{T_{ij}}{A_i A_j}\right) = -10,7 + 0,41 \ln\left[\left(\frac{R_i}{A_i}\right)\left(\frac{R_j}{A_j}\right)\right] + 0,31 \ln\left[\left(\frac{P_i}{A_i}\right)\left(\frac{P_j}{A_j}\right)\right] - 1,2 \ln(t_{ij}) \quad (2)$$

Onde:

T_{ij} = número de viagens entre zonas i e j;

A_i = área da zona i;

A_j = área da zona j;

R_i = número de empregos em comércio alimentício varejista (shopping e restaurantes) na zona i;

P_i = população residente na zona i; e

t_{ij} = tempo de viagem entre as zonas i e j (em minutos).

Ogden (1992) ainda remete a uma última categoria de modelos que relacionam a geração de viagens ao uso do solo. Esse tipo de modelo será abordado no item 2.5.

Souza (2010) realizou uma revisão bibliográfica nacional e internacional, abrangendo 25 estudos. Destes estudos, destaca-se o trabalho de Melo (2002), desenvolvido na cidade do Rio de Janeiro, nos bairros de Copacabana, Centro, Catete, Leblon, Méier, Tijuca, Urca e Vila Isabel, com o intuito de modelar a demanda por transporte de carga urbana atraída por lojas comerciais e produzida por empresas de transporte.

Melo (2002) utiliza uma modelagem baseada em viagens de veículos e aplica regressão linear. Para os modelos relacionados ao setor de lojas comerciais, a autora utiliza regressão linear simples. Já para os modelos relacionados ao setor de transporte, é utilizada regressão linear múltipla. O quadro a seguir apresenta as equações encontradas.

QUADRO 2.2: Equações para geração de viagens

| Volume de viagens de veículos por atividade no setor comercial | Variáveis Independentes | Equação | R² |
|---|--|--------------------|----------------------|
| Supermercado | X = Área construída de cada empreendimento | Y=1,1522+0,0012X | 0,557 |
| Vestuário | X = Área construída de cada empreendimento | Y=1,7499-0,0003X | 0,009 |
| Comércio Varejista | X = Área construída de cada empreendimento | 0,9260+0,0010X | 0,881 |
| Bar/Restaurante | X = Área construída de cada empreendimento | Y=1,3334+0,0019X | 0,797 |
| Material de Construção | X = Área construída de cada empreendimento | Y=0,0035+0,0046X | 0,584 |
| Combustível | X = Área construída de cada empreendimento | Y=0,4858+0,000038X | 0,331 |

Fonte: Melo (2002)

Iding *et al.* (2002) analisaram nove modelos. Dentre esses modelos encontram-se quatro trabalhos realizados nos Estados Unidos, que tinham como foco o transporte de carga entre estados e cinco trabalhos realizados na Alemanha, que tinham como objetivo principal a geração de viagens de carga em setores industriais e centros urbanos. De acordo com os autores, esses trabalhos apresentam modelos que tem por objetivos quantificar a relação existente entre atividades econômicas e a geração de viagens de carga, sendo todos eles baseados em regressão linear simples na forma da Equação (3):

$$Y_{l,t} = c + b \times X_{l,t} \quad (3)$$

Onde:

Y é a variável dependente (geração de viagens de carga por tipo de uso do solo e por tipo de veículo);

X é variável independente;

l corresponde ao tipo de uso do solo;

t corresponde ao tipo de veículo;

c é uma constante;

b é um coeficiente.

Dentre os modelos analisados, destaca-se o modelo de Tadi e Balbach (1994), aplicado ao setor atacadista, apresentado no Quadro 2.3.

QUADRO 2.3: Geração de viagens por Tadi e Balbach (1994)

| Variáveis dependentes | Variáveis independentes | Equação |
|--|---|---|
| Geração de viagens de carga para o setor de produção | $X = 1000 \text{ m}^2$ de área construída | $Y = tX, (t \in \mathbb{R} \mid 3,9 \leq t \leq 6,5)$ |
| Geração de viagens de carga para o setor atacadista | $X = 1000 \text{ m}^2$ de área construída | $Y = 4,0X$ |
| Geração de viagens de carga para o setor de indústria leve | $X = 1000 \text{ m}^2$ de área construída | $Y = 6,5X$ |

Fonte: Souza (2010)

Munuzuri (2003) desenvolveu um modelo para estimar o transporte de mercadorias em uma cidade de acordo com a oferta e demanda de mercadorias. O modelo parte do princípio de que é possível estimar para cada setor k e para cada zona de destino i , o número de entregas diárias x_j^k , como apresentado na Equação (4):

$$x_j^k = \sum_{l \in k} d_j^l \times e^l \quad (4)$$

Sendo:

d_j^l o número de comércio receptor de mercadoria do tipo l , pertencente ao setor k , localizados na zona j ;

e^l o número de entregas diárias recebidas por um comércio genérico do tipo l .

Uma vez estimado o número de entregas, estima-se o número de veículos necessários para as entregas pela Equação (5):

$$D_j^k = \frac{N \times x_j^k}{\sum_j \sum_k x_j^k} \quad (5)$$

Onde:

D_j^k é o número de veículos de transporte de mercadorias do setor k destinadas à zona j ;

N é o número total de veículos de transporte de mercadorias na cidade;

X_j^k é o número de entregas diárias correspondentes ao setor k na zona j .

A fim de determinar quantos desses veículos têm origem em cada zona, partindo-se do pressuposto de que o total de viagens originadas O^k deve ser igual ao total de viagens destinadas D^k , através da Equação (6).

$$O_i^k = \frac{O^k \times o_i^k}{\sum_i \sum_k o_i^k} \quad (6)$$

Sendo:

O_i^k o número de veículos do setor k que têm origem na zona i;

O^k o número total de veículos correspondentes ao setor k;

o_i^k o número de comércios emissores de mercadorias do setor k localizados na zona i.

Holguín-Veras *et al.* (2011) concluem que ao se fazer a análise por zona, em termos de agregação econômica e uso da terra, quanto maior o nível de detalhe, melhor. Em essência, para um modelo de geração de carga para funcionar bem, são necessárias adequações econômicas, de uso da terra e espaciais.

O processo de agregação espacial correta depende da subjacente desagregação do modelo. A forma correta de obter a geração de viagens de carga total de uma zona é multiplicar o número total de estabelecimentos pela constante e somar ao produto da variável independente pela taxa de geração. Como resultado, usando um procedimento que não está de acordo com o modelo desagregado, a sua raiz vai levar a erros significativos. Isto explica em parte os problemas encontrados pelos profissionais quando estimam geração de viagens de carga total das zonas.

2.4 Modelos de Distribuição de Viagens

A etapa de distribuição de viagens tem o objetivo de distribuir as viagens calculadas na etapa de geração entre as áreas de estudo. Inicialmente, procura-se entender os fatores que influenciam no volume de viagens que ocorrem para cada destino. Posteriormente, se deseja saber como as variáveis influem na distribuição.

Kawamoto (2008) apresenta três propriedades para que um modelo de distribuição de viagens seja internamente consistente, e em seguida descreve os principais tipos de modelo de distribuição:

- Conservação: o total de viagens distribuídas a partir de uma origem i deve ser igual ao número de viagens geradas nela, o total de viagens que se destina a um destino j deve ser igual ao número de viagens atraídas por ele e o somatório das viagens produzidas nas n origens deve ser igual ao total de viagens atraídas nos n destinos;
- Não negatividade: o número de viagens estabelecido entre quaisquer zonas não deve ser negativo;
- Divisibilidade e compressibilidade: se uma zona for dividida em duas, o somatório das viagens atraídas e produzidas pelo novo par de zonas deve ser igual ao da zona original e se

duas zonas forem agrupadas em uma única, o total de viagens atraídas e produzidas pela zona final deve ser igual ao somatório das duas anteriores.

Existem três tipos de modelos mais utilizados para a distribuição de viagens, sobretudo para a estimativa de uma matriz futura, a partir de dados já conhecidos para a situação atual. São eles: baseados em fatores de crescimento, gravitacionais e entrópicos.

Os modelos baseado em fatores de crescimento são utilizados para previsão de uma matriz futura e não se preocupam em explicar completamente a distribuição, no entanto são bastante utilizados na prática, devido, principalmente, à sua simplicidade. O mais comum dos modelos desse tipo é o modelo de Fratar. A previsão do volume de viagens futuras entre um par de zonas é feita através da multiplicação do volume atual pelo produto dos fatores de crescimento previstos para as duas zonas, com ajuste para a atratividade relativa das outras zonas. A formulação matemática é apresentada na Equação (7):

$$Q_{ij}^t = Q_{ij}^0 \times F_i \times F_j \times L_i \quad (7)$$

Onde:

Q_{ijt} número de viagens no ano t de i para j

Q_{ij0} número de viagens atuais de i para j

F_i fator de crescimento na zona de origem i

F_j fator de crescimento na zona de destino j

L_i fator de ajuste das origens

Outro tipo de modelo de distribuição são os modelos de gravidade. Em 1885, estudando o fluxo de migrantes entre Europa e EUA, Ravenstein observou que o número de pessoas que se movimentam entre quaisquer pares de cidades parecia ser proporcional ao tamanho delas e inversamente proporcional à distância entre elas. Em 1891, Lille sugeriu algo parecido ao estudar a rede de transporte ferroviário alemã. Foi apenas na década de 1950, no entanto, que o modelo tomou a forma conhecida atualmente.

Por analogia a lei de Newton, a equação do modelo gravitacional toma a seguinte forma:

$$t_{ij} = k \times \frac{P_i \times A_j}{R_{ij}^c} \quad (8)$$

Onde:

t_{ij} representa o número de viagens com origem em i e destino em j;

k e c são parâmetros a serem calibrados utilizando os dados do ano base;

P_i é o total de viagens produzidas pela zona i;

A_j representa o total de viagens atraídas pela zona j;

R_{ij} é a variável de impedância entre as zonas i e j.

Na maioria dos modelos considera-se uma função de fricção (f_{ij}), definida como:

$$f_{ij} = \frac{1}{R_{ij}^c} \quad (9)$$

e nestes casos a expressão (8) passa a ser :

$$t_{ij} = k \cdot P_i \cdot A_j \cdot f_{ij} \quad (10)$$

Uma impedância significa qualquer tipo de oposição ao movimento e pode ser definida por uma variável ou por um conjunto de variáveis tais como distância, tempo de viagem, custo de transporte e topografia.

A constante c é definida por calibração do modelo e, não precisa ser necessariamente um valor inteiro, em diferentes estudos o valor de c ficou ente 0,6 e 3,5. Quando a impedância é definida por um conjunto destas variáveis dá-se o nome de custo generalizado.

O terceiro tipo de modelos de distribuição são os modelos entrópicos, obtidos através de analogia com a física dos gases, em que uma determinada distribuição de viagens é definida como sendo um estado do sistema. São adotadas as seguintes hipóteses:

- A probabilidade de ocorrer uma determinada distribuição é proporcional ao número de maneiras possíveis de se obter essa distribuição;
- Se um determinado estado persiste, é porque a probabilidade de sua ocorrência é máxima.

O número de maneiras possíveis de se conseguir uma distribuição pode ser calculado da seguinte forma:

$$W = \frac{V!}{\prod_{ij} V_{ij}!} \quad (11)$$

Onde:

W é o número de possibilidades de se obter o estado;

V é o total de viagens observadas no sistema;

V_{ij} é o número de viagens de i para j ;

Π é o símbolo indicativo de produtório.

Uma vez conhecidas as condições que devem ser satisfeitas, tais como número de viagens a partir de cada origem e número de viagens de chegada a cada destino, o problema é maximizar $\ln W$, sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_j V_{ij} = O_i \quad (12)$$

$$\sum_i V_{ij} = D_j \quad (13)$$

$$\sum_{ij} V_{ij} \times C_{ij} = CT \quad (14)$$

sendo CT o custo de viagem entre todos os pares ij .

Resolvendo a equação pelo método de Lagrange, chega-se ao resultado final:

$$V_{ij} = A_i \times B_j \times O_i \times D_j \times e^{-\gamma C_{ij}} \quad (15)$$

2.5 Modelos de Atividades e de Integração Uso do Solo e Transporte

Os modelos de atividades reconhecem a existência de complexas interações entre a participação em atividades e o padrão da viagem. As atividades geradoras de demanda por transportes tornam-se o foco da modelagem, e não mais as viagens. Conforme apontado no trabalho desenvolvido por Paiva (2010) são modelados os mecanismos que os indivíduos usam para decidir quais atividades irão realizar, principalmente as relações de causa e efeito que determinam as decisões de viagens e as viagens necessárias para a composição de sua agenda diária de atividades. Nesse ponto, constituem um avanço em relação ao modelo tradicional de quatro etapas.

Este tipo de modelo, com ênfase na participação em atividades e nos seus padrões de realização, pode fornecer informações sobre o modo como os indivíduos e os domicílios alteram esta participação (atividades realizadas, modos de viagem, etc.) em resposta a determinada política de transporte e/ou de ocupação do solo, o que permite prever com mais precisão a dinâmica urbana da cidade.

Arruda (2005) expõe algumas considerações relativas à participação em atividades e a realização de viagens são destacadas a seguir, sendo que os pontos discutidos aplicam-se perfeitamente à problemática do transporte de cargas, não somente passageiros:

- A viagem é uma demanda derivada, feita de modo a satisfazer a necessidade ou o desejo do indivíduo de realização de atividades em diferentes locais; logo, as características dessas atividades afetam diretamente o padrão da viagem;
- Diversas características afetam a viagem, tais como: programação domiciliar das atividades; ordem de prioridades das atividades; situação do indivíduo no domicílio; as restrições orçamentárias; distribuição de recursos internamente ao domicílio; e por fim, as opções de modos de transporte;
- A realização das atividades é função da disponibilidade de locais para sua execução, o que forma um conjunto limitante de possibilidades. Algumas atividades só podem ser realizadas em locais e horários específicos, como, por exemplo, a atividade de trabalho, enquanto que, a de compras é essencialmente dependente do local escolhido.

A análise da interação entre transportes e uso do solo é um aspecto delicado, e se mostra como um aspecto chave na definição de políticas públicas. Existe um potencial de complementaridade entre as políticas de uso do solo e transportes como forma de atenuar problemas

de saturação das infraestruturas urbanas e de transportes. Como suporte para essas análises, os modelos integrados de uso do solo e transportes têm sido aplicados em diversas cidades no mundo.

Os modelos integrados buscam incorporar a antiga percepção de que o uso do solo também é afetado pela oferta de transportes. Esta realimentação indica que ambos estão mutuamente interligados (os modelos convencionais têm apenas o efeito direto).

Os modelos integrados exploram a interação entre transportes, localização de atividades e uso do solo. Em modelos tradicionais, o uso do solo é definido exogenamente, e a partir dessa localização das atividades definem-se os fluxos, deslocamentos e a demanda por transportes. No modelo integrado, o uso do solo também é modelado endogenamente, sendo afetado pela política de transportes, e também a afetando, numa interação em ciclos até atingir-se um equilíbrio.

Em uma análise sobre modelos de integração uso do solo e transportes, Rosenbaum e Koenig (1997) apontam que é escassa a pesquisa sobre as relações entre as práticas de gestão e a permissividade da movimentação de cargas, ou a escolha do local de implantação de uma empresa e a localização das distribuidoras. Os esforços concentram-se em iniciativas isoladas e estudos independentes. Em geral, o transporte de cargas tem sido considerado como dado exógeno nas análises urbanas, não permitindo captar os impactos das medidas de gestão no ambiente urbano. Os modelos de integração permitem aprofundar as análises, a partir da identificação dessas relações.

Ogden (1992) apresenta uma categoria de modelos de geração de viagens voltada para a estimativa do número de viagens de caminhão, associada a um local específico. É ressaltado que o nível de sofisticação desses modelos é baixo, sendo baseados em duas hipóteses: uma simples medida de geração de tráfego de caminhão; ou um modelo relacionando geração de tráfego de caminhão com alguma medida ou medidas de atividade local, como emprego. Para esta segunda hipótese, os modelos podem ser bastante parecidos com aqueles desenvolvidos para geração de viagens de caminhão a nível local. Dentro desta abordagem, são apresentados alguns estudos realizados em grandes centros urbanos, conforme mostrado a seguir:

- Chicago (EUA) – foi definido o número médio de viagens finais comerciais por uso do solo, para diversos grupos de mercadorias, em função da área do local. O parâmetro usado como medida (área do local), não é considerada plenamente satisfatória, pois não leva em conta a intensidade de ocupação (como edifícios de múltiplos andares ou áreas desocupadas);
- Washington, DC (EUA) – um estudo realizado nos edifícios comerciais teve como resultado a recomendação dos seguintes valores:
 - i. Geração de 0,013 viagens de caminhão, por dia, por empregado;
 - ii. 25% dessas viagens ocorrendo no horário de pico (meio da manhã); e
 - iii. 30 minutos em média de duração das viagens.

- Austrália – a experiência australiana definiu taxas de geração de tráfego diário de caminhão por uso do solo, definidas para diferentes classes de veículos (carro, van, caminhão leve, caminhão pesado, caminhão articulado).

Lawson *et al.* (2012) investigaram a relação entre uso do solo e geração de fluxos de carga, propondo um modelo de geração de viagens baseado no tipo de uso do solo. Os autores coletaram dados desagregados no nível do estabelecimento através de questionários aplicados aos receptores das entregas. Foram pesquisados 362 estabelecimentos, agrupados segundo duas classificações de uso municipal. Para estimar o modelo, os autores utilizaram três abordagens distintas: taxas padrão de geração de viagens, método dos mínimos quadrados e análise de múltipla classificação. Para as análises de regressão, foi considerado o total de empregados por estabelecimento como variável independente. Os autores verificaram que o resultado dos modelos de regressão linear para cada tipo de uso do solo se enquadra em uma das seguintes situações:

- Tipo S: geração de viagens constante por tipo de estabelecimento. Somente o intercepto é estatisticamente significativo e válido. A geração de viagens não depende do tamanho do estabelecimento.
- Tipo E: taxa de geração de viagens por empregado: somente o coeficiente de emprego foi estatisticamente válido.
- Tipo C: modelo linear com intercepto e taxa de geração por empregado: os dois componentes da equação são considerados válidos.

Como resultado, verificou-se que para os dois tipos de classificação do uso do solo, a grande maioria dos casos se ajustam melhor com uma constante geração de viagens.

Além da vantagem de medir a influência dos transportes no uso do solo, a incorporação do uso do solo permite a simulação dos impactos de mudanças na regulação urbana, tais como flexibilização dos limites de área construída. Os modelos existentes podem ser separados em quatro grupos, segundo suas características na modelagem do solo e de transportes (PAIVA, 2010):

- a modelagem da ocupação do solo não segue regras mercadológicas e, utiliza o modelo Logit para a modelagem de transporte;
- utiliza o modelo Logit para a modelagem de ocupação do solo (preço do terreno) e de transporte;
- a modelagem de ocupação do solo segue regras mercadológicas e utiliza o modelo Logit para a modelagem de transporte - o TRANUS e o MEPLAN, por exemplo, que simulam a hora pico;
- a modelagem do uso do solo e do transporte é baseada em atividades e, incorpora em sua estrutura a dinâmica da inter-relação entre uso do solo e transporte (o ILUMASS e o

ABSOLUTE, por exemplo, se enquadram na categoria mais evoluída deste tipo de modelagem).

Dentre os modelos que podem ser utilizados para estas análises, Arruda (2005) destaca:

- ILUMASS (*Integrated Land-Use Modelling And Transportation System Simulation*) é modelo de simulação de fluxo de tráfego urbano em escala microscópica, que incorpora alterações no uso do solo e da demanda por transporte. Utiliza técnicas de micro-simulação para alterações de uso do solo e fluxos de tráfego. Faz uso de modelo de atividades para gerar padrões de mobilidade individual. Os módulos de micro-simulação incluem modelos de desenvolvimento demográfico, de ciclo de vida domiciliar e empresarial, de alteração do padrão comercial e residencial e, de mobilidade do mercado de trabalho. Esses módulos interagem com modelos de demanda por transporte que fornecem os padrões diários de atividades, viagens de pessoas e movimentação de mercadorias. Já o modelo de uso do solo trabalha com dados agregados obtidos dos domicílios;
- ABSOLUTE (*Activity-Based System of Land Use and Transport Events*) faz a integração de um modelo de demanda por transporte baseado em atividades a um modelo de uso do solo. O modelo simula o elo entre alterações nos padrões de uso do solo e padrões de viagens e atividades. Tem como objetivo final a modelagem de decisões de localização de empresas, domicílios e medidas governamentais, referentes ao uso do solo. A demanda de atividades é determinada pela programação de atividades individuais que, determina onde, com quem, por quanto tempo e qual modo de transporte será utilizado. Por outro lado, a oferta de locais para estas atividades são feitas por empresas e autoridades governamentais que se preocupam em atender à demanda existente. A oferta e a demanda interagem de maneira que o padrão de atividades existente determine o conjunto de oportunidades para os indivíduos realizarem suas atividades e, o padrão do uso do solo determina a viabilidade econômica de implantações de novos postos de atividades e os níveis de congestionamento no sistema;
- MEPLAN (*Marcial Echenique*) é um modelo que permite análises e avaliações de projetos estratégicos de infraestrutura. Tem por base uma estrutura geral e altamente flexível, na qual o espaço é dividido em zonas, quantidades de moradias e atividades econômicas. Parte de uma matriz de insumo-produto espacialmente desagregada. O modelo estima a demanda por transporte e o crescimento das atividades produtivas, buscando obter o equilíbrio entre a demanda por viagens de passageiros e de cargas, a oferta de transporte e a localização espacial das atividades econômicas. Uma característica do modelo é a integração entre as atividades e o sistema de transporte. Emprega um modelo matemático probabilístico tipo Logit Hierárquico.

- TRANUS (*Integrated Land Use and Transport Modeling System*) visa, em primeiro lugar, simular os prováveis efeitos de políticas de projetos de uso do solo e de transporte e, em segundo lugar, avaliar esses efeitos do ponto de vista social, econômico e ambiental, adotando uma única estrutura teórica para representar todo o fenômeno de uso do solo e transporte (modelos logísticos multinomiais hierárquicos ou aninhados). Ele parte da suposição da existência de um vínculo entre localização de atividades no espaço, uso do solo e o sistema de transporte. A aplicação do modelo TRANUS para estimativa de uma matriz OD de cargas requer o conhecimento de diversas variáveis do sistema e a estimativa de uma série de parâmetros para calibração.

O modelo TRANUS foi utilizado para diversos estudos de redes de transporte e mensuração de impactos de investimentos. As principais aplicações são os modelos de Swindon (Inglaterra), Aveiro (Portugal), Sapporo (Japão) e Oregon (EUA). O modelo aplicado à cidade de Swindon, no Reino Unido, é a principal referência da empresa desenvolvedora do software, Modelística, servindo de manual para o programa. O objetivo da aplicação em Swindon foi modelar o desenvolvimento do solo, crescimento urbano e impactos nos fluxos de transporte da cidade em cenários futuros, com diferentes políticas de ocupação das áreas centrais. A simulação permitiu estimar as regiões da cidade com maior crescimento da população, do número de empregos e da área construída, além de apontar as vias com maior crescimento no volume de tráfego. (MODELÍSTICA, 2009)

O modelo da cidade de Aveiro, em Portugal, procurou simular os fluxos internos da cidade e estimar a emissão de poluentes por zona. Bastante focado nesse aspecto ambiental, a modelagem apresenta uma formulação mais simplificada, com apenas dois setores econômicos (básico e serviços), um setor de população e uma única categoria de transporte. A calibração do modelo foi feita comparando os volumes alocados na rede e dados de contagem volumétrica e revelou um $R^2=0,2113$ no gráfico de dispersão entre os volumes calculados pelo modelo e os verificados em campo. (BANDEIRA, 2009)

No modelo da cidade de Sapporo, o interesse foi estimar os impactos da construção de uma nova linha de metrô no aglomerado urbano. Os pesquisadores verificaram uma tendência de maior crescimento populacional e de empregos no entorno das estações, ao melhorar o acesso e a mobilidade das áreas adjacentes à linha de metrô inserida no modelo. Nessa aplicação, o uso do solo também foi modelado, permitindo estimar a valorização imobiliária. Com um grau de detalhamento maior, a calibração desse modelo foi feita comparando-se a matriz OD real e a gerada pelo software, alcançando um $R^2=0,6116$. (VICHENSAN *et al.*, 2003)

A aplicação de Oregon modelou também o transporte de carga, e detalhou mais a divisão dos setores de atividade econômica. O modelo faz uma divisão mais detalhada dos setores de atividade econômica, com o estabelecimento de doze setores de emprego industrial. Foi estabelecida uma matriz de relações de consumo entre empregos industriais, proporcionais aos volumes de insumos demandados por cada setor da indústria. (PARSONS E URBAN ANALYTICS, 1999)

A aplicação de um modelo baseado em atividades para o estudo das demandas de transporte de carga se mostra bastante interessante, visto que é possível estabelecer relações de consumo bastante explícitas, em que há um setor produtor e um setor consumidor, bem definido e espacialmente localizado para cada tipo de carga.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica, sendo feito levantamento, leitura e análise de estudos anteriores relacionados ao tema. A pesquisa bibliográfica revelou a possibilidade de aplicação de um modelo baseado em atividades, geralmente utilizado para o transporte urbano de pessoas, ao transporte de cargas com algumas adaptações.

Foi feito um levantamento de softwares que se baseiam em modelos de atividades e foi selecionado o TRANUS, devido ao fato de ser desenvolvido o suficiente para o objetivo pretendido, ser de livre acesso e pela facilidade de comunicação com os autores do modelo e esclarecimento das formulações matemáticas requeridas.

Em seguida, foi feita uma pesquisa documental, sendo levantadas as bases geográficas e fontes de dados disponíveis como dados secundários. Essas bases foram analisadas em relação ao seu tipo de conteúdo, consistência das informações, disponibilidade e autorização para uso no trabalho.

Foram identificados os parâmetros necessários à aplicação do software, que extrapolavam os dados disponíveis na base geográfica e foi uma proposta, inicialmente, a realização de uma pesquisa quantitativa por meio de entrevistas, para aquisição dos dados. Devido à dificuldade de se conseguir um número significativo de respostas, foi adotada a alternativa de incorporação de modelos de geração de viagens tradicionais, sendo essa etapa feita externamente ao software. Foi então selecionado um modelo de geração de viagens, conforme critérios de semelhança das condições de contorno e dados de entrada requeridos. Dessa forma, o fluxo funcional que se estabelece corresponde diretamente à demanda por viagens, sendo todos os fatores ajustados em função disso.

Uma vez selecionados a base de dados secundários, o modelo de geração de viagens e o software, foi analisada a forma de tratamento dos dados de entrada, sendo então elaborada a metodologia proposta.

A metodologia proposta foi aplicada a Belo Horizonte, em função da existência de uma pesquisa de campo de referência, para a área central do município, desenvolvida em 2011, em parceria da UFMG com a BHTRANS. Essa pesquisa seria importante para a etapa de validação dos resultados.

A validação dos resultados consistiu na comparação dos resultados calculados e os dados da pesquisa de referência. Foram verificados o volume de veículos após a alocação, e a correlação entre os principais pares OD.

3.1 Descrição da metodologia proposta

A metodologia proposta neste trabalho, parte do pressuposto de que se conhecendo três variáveis (localização, atividade, e variável explicativa do modelo de geração de viagens), obtidas a partir de bases secundárias, pode-se estruturar um modelo para estimativa de fluxos de um determinado canal de distribuição. A proposta baseia-se no princípio dos modelos de atividades, que focam as análises nas atividades motivadoras das viagens. Assim, parte-se da identificação de atividades que representam as relações de produção e consumo, que se pretende analisar, a partir das quais são geradas viagens. Uma vez identificadas as relações de consumo, é necessário localizar geograficamente os pontos nos quais essas atividades são realizadas, sendo também os pontos de atração e geração de viagens. A FIG. 3.1 mostra as relações nas quais a metodologia proposta se baseia.



FIGURA 3.1: Esquema representativo da metodologia proposta.

O tratamento da base de dados permite classificar os estabelecimentos, distinguindo os pontos de produção (geradores de viagens) e os pontos de consumo (atratores de viagens), a partir da descrição de sua atividade. Essa distinção deve ser feita a partir do entendimento da cadeia logística do tipo de carga estudado, considerando quais estabelecimentos atuam como atratores de viagens, produtores e ainda aqueles que atraem e produzem viagens.

Uma vez classificados e localizados espacialmente esses estabelecimentos, são calculadas as viagens atraídas e produzidas em cada área definida pelo zoneamento, chamadas zonas. Esse cálculo considera a área do estabelecimento como variável explicativa da geração de viagens, em função da base de dados utilizada dispor dessa informação. Este estudo sugere a utilização de equações previamente conhecidas, de acordo com o tipo de carga. No caso de não existirem tais equações para o tipo de carga analisado, ou não se ajustarem bem às características observadas na área de estudo, deve ser realizada uma pesquisa com varejistas e atacadistas do segmento estudado, a fim de relacionar a área do empreendimento, ao número de viagens atraídas ou produzidas pelo tipo de estabelecimento. Para realização dessa pesquisa, sugere-se o questionário do Apêndice D. Ressalta-se que a etapa de geração de viagens pode ser calculada com o emprego de Modelos Integrados de Uso do Solo e Transportes, nos quais são identificadas relações econômicas entre os setores de produção e consumo, devido a demandas estabelecidas entre os setores, e a partir dessas relações são calculadas as viagens. Nesse estudo, optou-se por calcular as viagens em uma etapa separada, a fim de se ter maior controle dos parâmetros.

Tradicionalmente, finalizada a etapa de geração de viagens, é aplicado um dos diversos modelos de distribuição das viagens, dos quais se destacam o Gravitacional, Fratar e Máxima Entropia. No entanto, com o intuito de agregar ao estudo os conceitos dos modelos baseados em atividades, partindo-se do princípio das relações de demanda e minimização dos custos, a etapa de distribuição foi feita utilizando-se o software TRANUS, que relaciona a localização de atividades no espaço, uso do solo e o sistema de transporte. O Apêndice A aborda a formulação matemática do modelo. Para realização dessa etapa, é necessário modelar a rede viária, com atributos de capacidade, velocidade, sentido de circulação, custos envolvidos e demais atributos que caracterizem geometricamente a malha viária.

O fato de se proceder o cálculo de geração de viagens separadamente, simplifica os parâmetros a serem introduzidos no software. Uma vez que os dados de entrada representam as viagens produzidas e atraídas em cada zona, a relação entre os setores de produção e consumo é unitária, bem como o fator de volume que relaciona os modelos de Uso do Solo e de Transportes.

A fase final do método proposto consiste em calibrar a matriz calculada de acordo com volumes reais identificados em contagens volumétricas. O procedimento consiste em alocar a

matriz encontrada em algum software que permita fazer essa calibração de volumes por link, como, por exemplo, o Transcad.

A metodologia foi dividida em sete etapas que serão detalhadas em seguida.

3.2 Definição da área de estudo e área de planejamento

A primeira etapa do estudo consiste na definição das áreas de planejamento e de estudo, que compreende a área onde serão coletados os dados secundários necessários para o modelo. A área de estudo deve ter uma abrangência tal que inclua as localidades com relações diretas com a área de planejamento.

A área de planejamento corresponde à área na qual se pretende avaliar impactos e propor medidas de intervenção. No caso desse estudo, a seleção da área de planejamento considerou a disponibilidade de dados de OD atualizados, avaliados por pesquisa de campo, para que se pudesse comparar com os resultados da metodologia proposta, e analisar sua validade.

Diversos fatores podem interferir na escolha da área de estudo, sendo essa de maior abrangência que a área de planejamento em si. Em geral, considera-se uma área no entorno, que sofre ou exerce influência sobre a área de planejamento, devendo ser estudada para sustentar as observações feitas para a área de planejamento.

3.3 Zoneamento

Após definidas as áreas de estudo e planejamento, esta deve ser dividida em zonas, com características semelhantes, servindo de unidade base para a coleta de dados.

Nguyen-Luong (2008) aplicou um modelo integrado de uso do solo e transportes para a região de Paris, França, e após quatro anos de desenvolvimento dos estudos, reuniu algumas lições aprendidas, que servem como recomendação para quem se propõe a trabalhar com esses modelos. Um ponto que Nguyen-Luong (2008) chama atenção é a importância de que o zoneamento adotado seja compatível com os dados existentes e com o nível de desagregação pretendido.

Parsons e Urban Analytics (1999) destacam a importância dos limites definidos para as zonas serem compatíveis com divisões oficiais, preferencialmente com as unidades básicas de coleta do censo, uma vez que podem ser agregadas sem perda de informação. Além disso, o zoneamento deve ser compatível com a escala da análise pretendida, local, metropolitana ou regional.

Para aplicação em planejamento de transportes, recomenda-se ainda, que as zonas compreendam áreas com acesso bem definido, respeitando o sistema viário principal.

3.4 Definição dos segmentos de estudo e canal de distribuição

O setor de cargas apresenta uma diversidade muito grande de produtos, e a rotina e característica das atividades logísticas variam em função da mercadoria transportada. Uma vez que se pretende estimar uma matriz OD, torna-se necessário definir o tipo de carga, ou segmento, a ser estudado. Para este estudo adotou-se como critério de escolha, a representatividade do segmento, em termos de volume, no total de cargas circulantes na cidade.

Uma vez definido o tipo de carga a ser estudado, é necessário conhecer seu canal de distribuição, pois os dados devem ser classificados de forma compatível com esse canal, como será descrito a seguir.

3.5 Coleta e tratamento de dados

A disponibilidade de dados consistentes é fundamental para o desempenho do modelo proposto. Para aplicação da metodologia proposta, é requerida uma base de dados com no mínimo as seguintes informações:

- localização espacial dos estabelecimentos comerciais relacionados à cadeia logística do tipo de carga estudado;
- descrição sucinta das atividades desenvolvidas pelos estabelecimentos;
- variável explicativa utilizada no modelo de geração de viagens adotado.

Geralmente, os municípios trabalham com o Cadastro Municipal de Contribuintes de Tributos Mobiliários – CMC, que é o cadastro de pessoas jurídicas que exercem atividades no município. A descrição das atividades é compatível com o código CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas). Conforme o grau de organização da administração municipal, essa base de dados é bastante consistente, completa e atualizada, e além da descrição da atividade, contém informação sobre a área útil do estabelecimento, que é uma variável explicativa comumente usada em modelos de geração de viagens.

A base de dados precisa ser tratada de modo a agrupar os estabelecimentos de acordo com o segmento de carga envolvido na sua atividade, para posteriormente serem trabalhados os segmentos definidos para o estudo.

Uma vez realizado o agrupamento por segmento, deve ser feita a distinção entre os estabelecimentos que exercem atividades predominantemente de produção de viagens, e os estabelecimentos com atividades que atraem viagens. Devem-se considerar ainda aqueles que produzem e atraem viagens, do segmento de carga estudado. Após essa distinção, os dados devem ser agrupados em zonas, a fim de identificar os estabelecimentos de cada zona.

A análise desses dados permite identificar as principais zonas geradoras e receptoras de cargas do segmento em estudo, e estimar, a partir do conhecimento da área útil de cada estabelecimento, o número de viagens produzidas e atraídas.

Caso não exista base de dados disponível para toda a área de estudo, somente para a área de planejamento, podem ser necessárias pesquisas auxiliares, de menor porte que uma pesquisa OD convencional, para conhecer a dinâmica de distribuição de cargas em toda a área de estudo. Esse levantamento pode ser feito a partir de uma caracterização do uso do solo da região, buscando-se identificar principais áreas geradoras de viagens de transporte de carga, do segmento analisado.

3.6 Geração de viagens

Inicialmente foi proposta a realização de uma pesquisa para identificação de um volume médio de viagens produzidas e atraídas em cada zona. A pesquisa seria realizada por telefone, com estabelecimentos comerciais que trabalham com o segmento estudado. As perguntas, que constam no Apêndice D, buscam relacionar o número de viagens produzidas e atraídas de acordo com o porte do empreendimento, representado pela área útil.

A realização dessa pesquisa requer apoio e envolvimento dos comerciantes e entidades representativas do setor para que se consiga uma amostra estatisticamente válida. Durante a realização desse trabalho não foi possível alcançar um número de entrevistas significativo, sendo adotada uma segunda alternativa.

A alternativa encontrada foi adotar modelos de geração de viagens de carga previamente estudados e reconhecidos na comunidade científica, cujas condições de contorno fossem mais semelhantes às condições do estudo a ser feito. Esses modelos são variáveis em função do segmento e localidade do estudo.

3.7 Modelagem para distribuição de viagens

Após a estimativa da geração de viagens procede-se a montagem da rede para etapa de distribuição. Nesse caso, foi adotado o modelo TRANUS.

Conforme apresentado por De La Barra (2012), o TRANUS é um modelo de simulação sobre a localização das atividades, uso da terra e dos transportes, que pode ser aplicado em escala regional e urbana, desenvolvido por Tomas de La Barra em 1982 e aprimorado continuamente até a atualidade. Permite simular os prováveis efeitos das políticas e projetos em várias cidades ou regiões, sendo avaliados sob uma perspectiva social, econômica, financeira, energética e ambiental,

além de integrar localização e interação das atividades, mercado imobiliário e o sistema de transporte.

O TRANUS utiliza conceitos de microeconomia espacial, modelos gravitacionais, matriz insumo-produto, modelos de escolha discreta e utilidade aleatória. Pode ser entendido pela composição das seguintes fases:

- Modelo de Atividades;
- Interface Atividades – Transporte;
- Modelo de Transporte;
- Interface de Transportes-Atividades;
- Processo de Avaliação.

A interação das fases componentes é cíclica, como representado na FIG. 3.2.

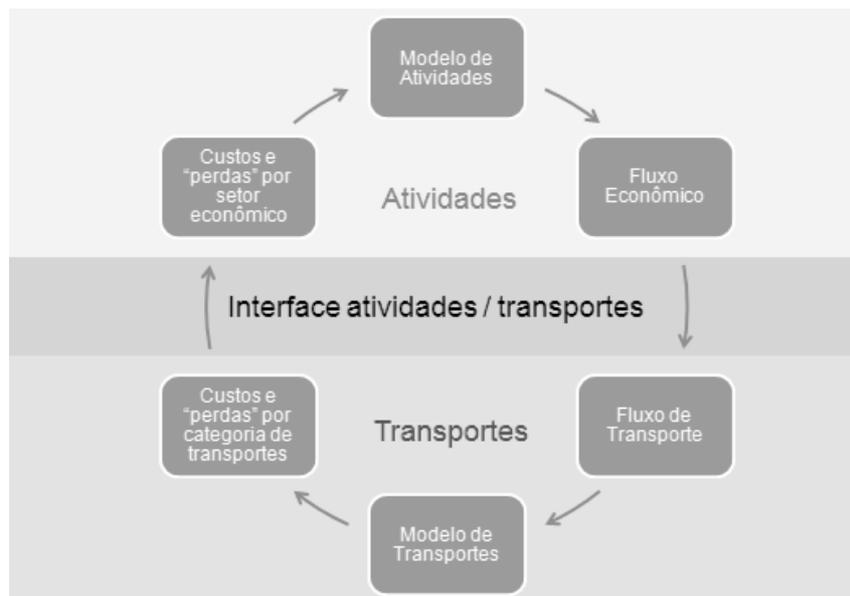


FIGURA 3.2: Ciclo do modelo de integração uso do solo e transportes

Fonte: adaptado de De La Barra (2012).

A interação entre as atividades gera uma demanda por transporte, cujo equilíbrio determina a localização das atividades e, assim, o uso do solo e preços imobiliários. Isso ocorre devido ao fato das atividades requererem o solo para seu funcionamento, e o equilíbrio entre oferta e demanda de espaço imobiliário em cada zona é obtido através da flutuação dos preços.

As alterações exógenas na política de regulação urbana (por exemplo, maior permissividade no uso do solo) ou na política de transporte (por exemplo, nova oferta, nova tarifa) alteram o equilíbrio e geram uma cadeia de eventos que realoca as atividades, como mostra a FIG. 3.3.

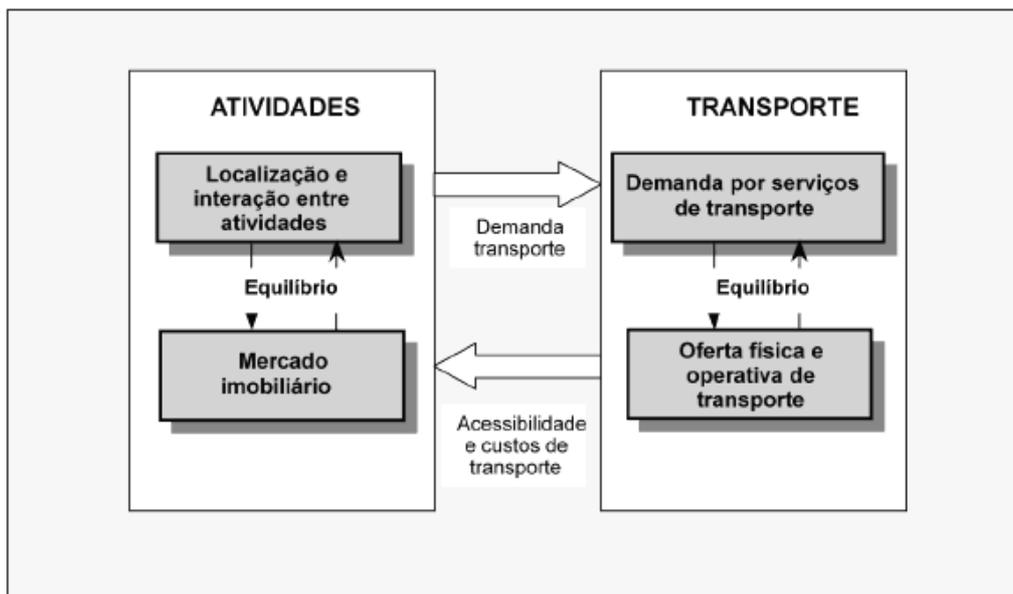


FIGURA 3.3: Fluxograma do modelo TRANUS.

Fonte: adaptado de De La Barra (2012)

O núcleo do modelo de atividades constitui um modelo espacial insumo-produto definido por setores econômicos e suas relações de produção e consumo.

A interação entre as atividades econômicas definidas no modelo gera uma matriz de fluxos. Os fatores de transformação, definidos ao especificar o modelo, determinam o número de viagens geradas pelos fluxos. Por exemplo, a cada “X” reais em produtos demandados por uma indústria de seu fornecedor é gerada uma viagem de caminhão de carga. Ainda, cada interação entre um emprego e um domicílio gera uma viagem pendular casa-trabalho por dia útil. Dessa transformação de fluxos econômicos em viagens determina-se a demanda por transportes, que é alocada levando em consideração as distâncias, custos, tempo de viagem, carregamento das vias, enfim, as características operacionais e físicas do transporte. Dessa distribuição parte-se para os impactos no uso do solo, com o desenvolvimento imobiliário sendo influenciado pelo transporte. O mercado imobiliário reage aos custos de transporte e às mudanças no preço do solo com realocação das atividades, reiniciando o ciclo até o sistema convergir para o equilíbrio.

No TRANUS, os conceitos básicos de um modelo insumo-produto são generalizados e espacializados. O termo setor é mais amplo do que a versão tradicional, podendo representar setores tradicionais em que a economia se divide (agricultura, indústria, mineração, governo, etc.), fatores de produção (capital, terra e trabalho), bem como grupos de população, emprego, edificações, solo, etc., que fazem parte do sistema espacial. O número e os tipos de setores são definidos de acordo com as necessidades de cada modelo de aplicação específica e as unidades mais adequadas para medi-los, tornando-os adequados para situações urbanas ou regionais. A primeira distinção entre os

setores é a característica de serem transportáveis ou não-transportáveis. A principal diferença é que o setor transportável pode ser consumido em lugares diferentes de onde são produzidos.

Em princípio, qualquer setor exige insumos de outros setores. Dada a demanda final localizada de um ou mais setores, o modelo determina a produção induzida por funções de demanda, e a localiza espacialmente por funções de distribuição. Ao mesmo tempo, setores induzidos demandam insumos, gerando uma cadeia de produção e localização das atividades.

A partir das relações descritas acima, resultam transações econômicas, que dão origem a fluxos funcionais, quando a produção e o consumo ocorrem em diferentes áreas. Trata-se de fluxos de pessoas e bens ou serviços transportáveis, dos quais é derivada a demanda de transportes. É possível então simular diversos cenários, a partir da modificação da configuração do uso do solo, para avaliar o impacto sobre a demanda de transporte, ou avaliar o impacto que uma alteração no sistema de transporte pode provocar no uso do solo.

Após a etapa de distribuição, o software realiza as etapas de divisão modal e alocação de forma iterativa. Inicialmente o modelo define os caminhos disponíveis, considerando os modos de transporte a partir de uma zona de origem para um destino através dos links da rede viária. Isto significa que cada caminho não é simplesmente um caminho físico da rede de transporte, mas uma combinação de links e operadores por meio dos quais é possível realizar uma viagem entre uma origem e um destino. Assim, podem existir dois caminhos para seguir a mesma sequência de links, mas um operador ou uma combinação de diferentes operadores.

No processo de seleção de caminhos, o algoritmo calcula o custo generalizado dos caminhos, considerando os seguintes elementos para cada link / operador que faz parte da sequência do caminho:

- custo por unidade de tempo na ligação combinada link / operador para a categoria;
- custo por unidade de distância na ligação combinada link / operador para categoria;
- custo de embarque no operador ou o link; pode ocorrer no início da viagem ou ao fazer uma transferência.

No processo de alocação, as viagens por categoria e modo são atribuídas aos caminhos disponíveis através de um modelo logit multinomial, usando a probabilidade de cada caminho. As equações são apresentadas no Apêndice A.

Na aplicação feita para esse estudo, foi simulado apenas o fluxo de cargas, não sendo considerados dados de transporte de passageiros. Essa simplificação incorre no risco de não se considerar ocorrência de congestionamentos durante a alocação, o que reduz a impedância e

distorce o resultado. Para reduzir esse impacto negativo, devem ser atribuídos fatores de penalidade aos links, proporcionalmente ao nível de serviço dos mesmos. Esses fatores são explicados no Apêndice C. A identificação do grau de saturação dos links deve ser feita por meio de diagnósticos realizados em outros estudos. Caso não esteja disponível essa informação, recomenda-se não desconsiderar o transporte de passageiros na simulação. Além disso, não era objetivo desse estudo avaliar impactos ou políticas de uso do solo, portanto, esse setor não foi considerado.

O modelo TRANUS gera viagens a partir de um parâmetro que estabelece uma relação de demanda entre os setores modelados, no entanto, optou-se por calcular as viagens produzidas e atraídas pelos métodos descritos anteriormente, em função da indisponibilidade dos dados necessários para estruturação do modelo completo no software.

No processo de modelagem inicialmente é necessário definir os setores que irão compor o modelo. Para estimar uma matriz OD de cargas, é necessário definir, para cada tipo de carga um setor produtor e um setor consumidor. Para cada setor, é necessário fornecer os parâmetros apresentados no Quadro. 3.1.

QUADRO 3.1 - Detalhamento dos parâmetros relacionados a setor.

| Opção Menu | Estudos necessários | Dado requerido | Definição |
|--------------------|---------------------|------------------|---|
| Land-Use / Sectors | Definir setores | Elasticity | É o parâmetro que multiplica a função de utilidade do logit. Corresponde ao tamanho que a alteração de uma variável exerce sobre a outra. Para os setores não transportáveis, exógenos ou endógenos, a elasticidade deve ser 0. |
| | | Price Factor | Este parâmetro multiplica o componente de preço em função de utilidade. |
| | | Attractor Factor | Expoente aplicado ao resultado da função de atração no modelo de distribuição logit. O seu valor padrão é 1. |
| | | Logit Scale | Indica o grau em que os ganhos são escalados sobre a utilidade da melhor escolha. |
| | | Sector Type | Pode ser normal, estoque ou de transformação. |

Uma vez definidos os setores, é necessário determinar as relações setoriais, a partir das quais serão gerados os fluxos econômicos (Quadro 3.2).

QUADRO 3.2 - Detalhamento dos parâmetro das relações setoriais

| Opção Menu | Estudos necessários | Dado requerido | Definição | Indicador |
|---|---------------------------------|---------------------|--|--|
| Land-Use / Inter-Sectors / Inputs | Definir demandas intersetoriais | Minimum demand | É a quantidade mínima necessária de n por unidade de sector m. | |
| | | Maximum demand | Montante máximo que cada unidade sector m estaria disposta a consumir de n quando os preços do n tendem a zero. | |
| | | Elasticity | Relaciona o quanto cada setor reage ao custo | |
| Land-Use / Inter-Sectors / Substitutes | Diagnóstico da área de estudo | Penalty | É um número positivo que multiplica as despesas, de modo que um valor menor significa maior preferência. | número adimensional |
| Land-Use / Inter-Sectors / Categories | Diagnóstico da área de estudo | Type | Tornam compatíveis as unidades temporais. Normal: tipicamente fluxo de carga. Habitual: tipicamente fluxo de pessoas | normal 0, commuter 1 |
| | | Time Factor | Compatibiliza unidades temporais | tempo ativ /tempo transp |
| | | Volume Factor | Fator que multiplica os fluxos ao ingressar no modelo transportes e divide os custos no modelo atividades. | |
| | | Flow to Production | É padrão que o fluxo gerado seja do consumidor para o produtor (fluxo do dinheiro) | >0 se o fluxo de transporte tem o mesmo sentido do econômico |
| | | Flow to Consumption | É padrão que o fluxo gerado seja do consumidor para o produtor (fluxo do dinheiro) | >0 se o fluxo de transporte tem sentido contrário ao econômico |

Conhecidas as relações intersetoriais é necessário relacionar espacialmente a cada zona as demandas e produções dos setores, através das variáveis e parâmetros relacionados no Quadro 3.3.

QUADRO 3.3 - Detalhamento das relações de produção e demanda dos setores

| Opção Menu | Estudos necessários | Dado requerido | Definição |
|---|---|-----------------|--|
| Land Use / Economic Data / Internal Data | As variáveis se aplicam ou não em função do tipo de cada setor. Na guia Base Year devem ser introduzidos os dados referentes a todos os cenários. Os dados específicos devem ser introduzidos como incrementos. | Exog. Prod | É a produção de um setor que não se consome na área de estudo. Seu incremento futuro deve se dar como dado. |
| | | Base Prod. | É a produção ou atividade gerada e localizada espacialmente pelo modelo. Devem-se fornecer os dados observados em cada zona para o ano base. O modelo calculará valores futuros em função das relações socioeconômicas definidas no comando Inter-Sectors. |
| | | Min. Production | Quantidade mínima que se deve produzir ou o mínimo de atividade que deve se localizar na zona.. É uma restrição. |
| | | Max. Production | Quantidade máxima que se deve produzir ou o mínimo de atividade que deve se localizar na zona.. É uma restrição. |
| | | Exog. Demand | Quantidade de produção ou atividade demandada na zona por setores externos à área de estudo ou não modelados. |
| | | Base Price | Preço unitário de produção. Deve ser consistente com as unidades de tempo do modelo de atividades. Os preços são indicadores iniciais na simulação. Os preços finais serão calculados internamente, não devendo ser fornecidos incrementos para valores futuros. |
| | | Value Added | Valor agregado por unidade de produção. O custo de produção de um setor é formado pelo custo dos insumos mais o valor agregado. Deve ser consistente com as unidades de tempo e moeda do modelo de atividades. |
| | | Attractor | São expressos com valores positivos para representar aspectos subjetivos não modelados que incidem na atratividade de uma zona para determinados setores. O padrão é 1. |

Em seguida, o modelo deve ser complementado com dados da rede de transportes, sendo necessário definir categorias de viagens, e para cada categoria, valores associados ao tempo de viagem, tempo de espera, máxima e mínima taxa de geração de viagens e parâmetros da função utilidade do modelo logit de separação modal. É possível definir ainda classes de administradores, e modos, além dos operadores, com suas características de tarifas, consumo de energia, custos de operação, taxa de ocupação, entre outros. Também é necessário fornecer as rotas dos operadores com rotas definidas, e informações sobre capacidade das vias e velocidade operacional dos operadores. O Apêndice C relaciona todos os dados que podem ser fornecidos no processo de modelagem.

A fim de otimizar a performance do software pode ser feita uma simplificação da rede viária, sendo incluídas apenas vias coletoras, arteriais e de ligação regional. A rede é composta de links, segmentos de reta representando o eixo viário, e nós, ligando dois ou mais links. À rede viária

são conectadas as zonas, representadas pelos centroides das áreas que formam cada zona. A identificação do centroide depende da análise da rede interna de cada zona e de como ela se conecta à malha viária como um todo. O centroide deve se conectar às vias de acesso, de forma que a maior parte do sistema viário dentro da zona seja percorrido, e não sejam gerados atalhos inexistentes. De acordo com as características do sistema viário de cada zona, pode-se definir como centroide um ponto existente da malha viária, que articule diferentes opções de caminho ou pode-se criar um ponto fictício, conectado à rede por um ou mais links fictícios, desde que não se comprometa a circulação na malha existente. A adequação da seleção dos centroides e conexão com a malha viária deve ser testada alocando-se uma matriz já conhecida.

Para cada link, é informada a capacidade, o comprimento e o tipo de link. Para uma aplicação que não leva em conta o volume total de veículos, a capacidade não é muito relevante, sendo a impedância tratada pelos fatores de penalidade. Porém, para uma aplicação considerando também o transporte de pessoas, o dado de capacidade é muito importante, visto que impacta na alocação. Os tipos de link podem ser definidos de acordo com a hierarquia viária, e outras características que pudessem interferir na velocidade dos caminhões. Para cada tipo de link são definidos os operadores (modos de transporte) autorizados a trafegar no link e sua respectiva velocidade.

Além dos atributos da rede viária, são configurados os modos de transporte operantes, identificados como operadores. Dentre seus atributos, devem ser identificados os custos de transporte. É também necessário criar categorias de transporte, que relacionam uma categoria de viagem a cada setor.

Além dos dados de transporte, o modelo é alimentado com os dados de atividades. Os setores criados são quantificados para cada zona. Após inserir todos os elementos de modelagem, procede-se a calibração.

Deve-se ressaltar que os fluxos de origem e destino são definidos no sentido da distribuição. Caso se deseja avaliar o movimento diário, deverá ser adotada uma matriz simétrica que corresponda ao número total de viagens/veículos nos dois sentidos do fluxo, definido por:

$$t_{ij}^* = t_{ij} + t_{ji} \quad (16)$$

Onde:

t_{ij} é o número de viagens diárias entre zonas, considerando a viagem de ida de i para j (t_{ij}) e a viagem de retorno dos veículos de j para i (t_{ji}).

3.8 Parâmetros e Calibração

A calibração do modelo é feita a partir da verificação de convergência do modelo de atividades e do modelo de transportes. A convergência do modelo de atividades, que consiste na aproximação dos valores calculados internamente pelo software e aqueles fornecidos a partir da base de dados, é feita variando-se as elasticidades dos setores.

A elasticidade representa a capacidade de resposta do setor em relação às variações no preço. Quanto maior o valor da elasticidade maior a sensibilidade e reação do setor ao preço, e quanto menor a elasticidade, menor a reação ao preço.

Outro elemento que pode ser ajustado é a demanda intersetorial. A partir dela, serão calculadas as viagens, resultado da interação entre os setores. No caso, como as viagens foram previamente calculadas, e o quantitativo de cada setor se referem ao número de viagens produzidas e atraídas em cada zona, essa relação foi definida como igual a um, ou seja, cada unidade do setor produção gera uma unidade do setor consumo. Caso o dado de entrada não seja diretamente o número de viagens, o modelo oferece além da relação intersetorial, a opção de ajustar um fator de volume e de tempo, uma vez que o modelo de transportes trabalha com viagens diárias, ou de hora pico, e o modelo de atividades pode trabalhar com quilos de produto por mês. Esses fatores permitem igualar as unidades dos dois modelos. No caso desse estudo, os dois fatores são iguais a um, sendo que ambos os modelos trabalham com viagens diárias.

Existe ainda a possibilidade de ajustar a demanda da categoria de transporte e sua elasticidade. Quanto menor a elasticidade da categoria de transporte, mais viagens são geradas. Essa elasticidade pode ser modificada a fim de se considerar ocorrência de viagens internas na zona, que não são calculadas no modelo. Esses parâmetros são ajustados de modo a aproximar o número total de viagens ao número real observado.

A matriz final necessita ser calibrada a partir de dados de contagens volumétricas classificadas, realizadas nos pontos principais da rede viária. Esse tipo de procedimento é comumente utilizado na atualização de matrizes OD, e pode ser feito em diferentes softwares, como, por exemplo, o Transcad.

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

4.1 Definição da área de estudo e área de planejamento

Para validar a metodologia proposta neste trabalho, foi realizada uma aplicação para o município de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais com cerca de 2,4 milhões de habitantes, uma área de 331 km² e o quarto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, com cerca de 38,21 bilhões de reais e mais de 100 mil empresas (IBGE, 2010).

A escolha da área de estudo considerou diversos fatores, sendo o principal deles a existência de dados que permitissem avaliar os resultados do modelo proposto e verificar sua validade.

Em 2011, foi realizado um projeto em parceria da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), através do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, com a Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte – BHTRANS, com objetivo de identificar os fluxos de carga na região central de Belo Horizonte. Assim, o estudo buscou identificar a ocupação das vagas de carga e descarga, além de, por meio de um estudo exploratório, investigar a origem e o destino dos fluxos de mercadorias, sendo realizadas pesquisas de campo por meio de entrevistas e realização de contagens volumétricas no perímetro da área central.

Em função da disponibilidade desses dados para comparação dos resultados, e em função dos dados secundários fornecidos pela prefeitura, a área de estudo abrange o município de Belo Horizonte e região metropolitana, sendo que a análise de resultados se concentra na área central do município, considerada área de planejamento nesta aplicação.

O município foi planejado com base em modelos de cidades como Paris e Washington, e dividia a cidade em três zonas: a área central urbana, a área suburbana e a área rural. Na área central urbana foi feito um traçado geométrico com avenidas largas, dispostas em sentido diagonal e um padrão de ruas retas, formando uma malha quadriculada. A região central foi planejada para receber toda a estrutura urbana de transportes, educação, saneamento, assistência médica e os edifícios públicos das instalações estaduais, sendo limitada pela atual Avenida do Contorno, chamada, à época, de 17 de Dezembro. Já a região suburbana não recebeu o mesmo tratamento da área central em virtude da sua desocupação. A área rural foi composta por cinco colônias agrícolas, que seriam responsáveis por abastecer a cidade com produtos hortigranjeiros (PBH, 2010).

Durante os anos de 1920 e 1930, a cidade passou por um período de progresso com o surgimento de atividades culturais e ampliação dos serviços urbanos para atendimento da crescente população que refletiu no aparecimento de novos bairros. Contudo, a expansão da cidade aconteceu

sem um maior controle ou planejamento, trazendo sérios problemas urbanos naquele momento já que muitos dos bairros não possuíam os serviços básicos de água, luz e esgotos (PBH, 2010).

Os anos 1940 e 1950 foram marcados por um grande impulso de desenvolvimento, que levou à criação do Parque Industrial (1941) em Contagem e ao fortalecimento do comércio, tornando a região central uma área muito valorizada. Em 1943, no Governo de Juscelino Kubstichek, a cidade ganhou projeção internacional com a inauguração do Complexo Arquitetônico da Pampulha, delineado pelo arquiteto Oscar Niemeyer. Nesta época, a população da cidade passou de 350 mil para 700 mil habitantes devido ao grande êxodo rural. Os problemas urbanos e a falta de moradia, motivados pelo crescimento desordenado da cidade, pressionaram a criação do Plano Diretor, em 1996, para Belo Horizonte (PBH, 2010).

A cidade atingiu um elevado crescimento econômico com a chegada de novas indústrias e comércio, além de serviços financeiros nos anos de 1960 e 1970, que refletiu em cidades vizinhas, as quais também começaram a se desenvolver rapidamente. Apesar da importância deste período em relação aos aspectos econômicos, vale destacar que houve a descaracterização do projeto inicial da cidade com a sua verticalização devido à construção de vários edifícios, desfiguração das áreas verdes para o alargamento e o surgimento de novas ruas e avenidas além do agravamento das desigualdades e problemas sociais, marcando o aparecimento de inúmeras favelas (PBH, 2010). Esse contexto incentivou a formação da Região Metropolitana de Belo Horizonte e da Plambel (Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte), autarquia de planejamento e apoio técnico para orientar o governo no que se refere aos interesses comuns das cidades que compunham a região criada (ABREU, 2007).

Em 1980 e 1990 novos projetos surgiram com intuito de amenizar os vários problemas da cidade, como a criação de um novo sistema de transportes e de diversos espaços de lazer como o Parque das Mangabeiras, a canalização do Rio Arrudas e o tombamento de várias construções de valor histórico. Em 1996, o Plano Diretor da cidade e a Lei de Uso e Ocupação do Solo passaram a regular e ordenar o crescimento da capital (PBH, 2010).

Dando continuidade ao processo de regulação e ordenação, a Prefeitura de Belo Horizonte, por meio da BHTRANS, empresa responsável pelo gerenciamento do tráfego, desde outubro de 2009, vem alterando as regras para circulação e operação de carga e descarga na cidade como forma de mitigar os problemas relacionados aos congestionamentos e à segurança viária uma vez que, em menos de 10 anos, a frota total de veículos de Belo Horizonte passou de 706.480 (2001) para 1.496.604 (2012), representando um aumento de cerca 111,8% (DENATRAN, 2012). Esta elevação do número de veículos, aliada a uma estrutura viária e a um transporte público que necessitam melhorias, vem trazendo sérios problemas à mobilidade da cidade.

Vale destacar que a restrição ao tráfego de veículos de carga na região central é uma das medidas que vem sendo adotadas pelo município para a melhoria da sua mobilidade e diminuição das externalidades negativas da circulação de veículos. Esta medida visa, fundamentalmente, restringir a entrada de veículos de carga de determinados tamanhos e capacidades em certas regiões, conforme pode se observar no Quadro 4.1 (BHTRANS, 2010).

QUADRO 4.1 - Regras para circulação dos veículos de carga em Belo Horizonte

| Capacidade do Veículo | Região/ Horário Proibidos |
|---|--|
| Até 5 toneladas e comprimento até 6,50 metros | Livre em qualquer horário/região |
| Acima de 5 toneladas e comprimento acima de 6,50 metros | Hipercentro e Av. Senhora do Carmo: Proibido de segunda a sexta das 7 às 20 horas. Sábados das 7 às 15 horas. Domingo: livre. Savassi e Lourdes: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre. Assembleia e Barro Preto: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre. Área Hospitalar: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre. Corredores de Tráfego: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre. |
| Carretas e cavalos mecânicos | Expressamente proibido em qualquer horário |

A FIG 4.1 apresenta as áreas com restrições ao tráfego de veículos de carga implantadas em Belo Horizonte: área Hospitalar, Savassi e Avenida Senhora do Carmo, Bairro de Lourdes, área da Assembleia e Barro Preto e Hipercentro. A imposição das restrições de acesso a estas áreas foi realizada por etapas, iniciando pelo Hipercentro e terminando em 25/10/2010 com a inclusão da Área Hospitalar. A última etapa deste processo foi realizada em 21/02/2011 com implantação das regulamentações aos principais corredores de tráfego que dão acesso às áreas já regulamentadas como partes das avenidas Afonso Pena, Cristiano Machado, Antônio Carlos, Carlos Luz, Raja Gabaglia, Prudente de Moraes, Amazonas, Dom Pedro II, Tereza Cristina e Dos Andradas, destacadas em vermelho na FIG 4.1.

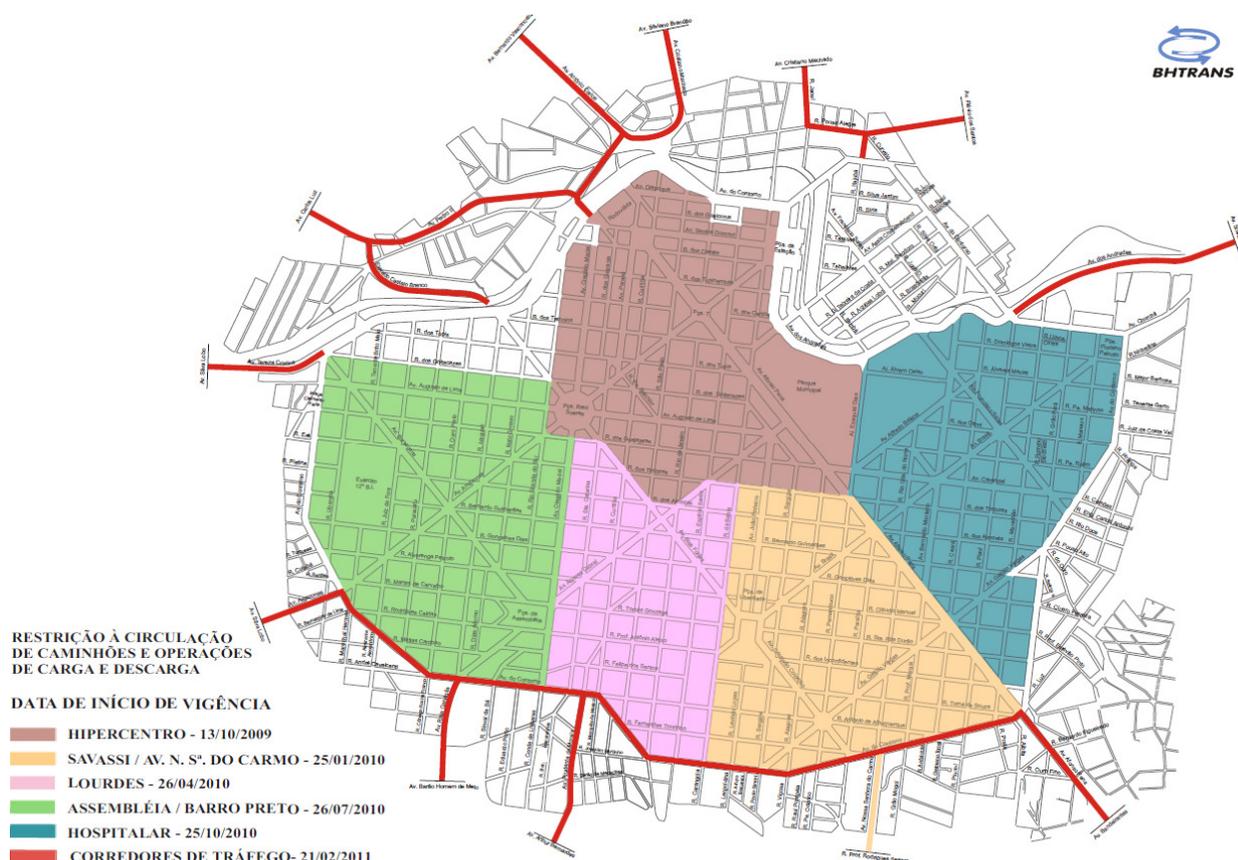


FIGURA 4.1: Áreas com restrições ao tráfego de veículos de carga em Belo Horizonte. Fonte: BHTRANS, 2010.

Destaca-se que as medidas adotadas pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte em relação ao tráfego de veículos de mercadorias em Belo Horizonte, quando realizadas sem uma integração com outras iniciativas de tratamento da carga urbana, ao invés de mitigar os problemas causados pela movimentação de produtos, como o ruído, segurança viária e emissão de poluentes, podem contribuir para o seu agravamento em virtude do potencial aumento do número de pequenos veículos de carga transitando no perímetro urbano. Este fato pode acarretar ainda, inconveniente em relação às vagas de carga e descarga de mercadorias devido à elevação do número de veículos em circulação no centro urbano, além de impactar a eficiência operacional das empresas e, conseqüentemente, seus custos de transportes.

Definida a área central de Belo Horizonte como área de planejamento foco dessa aplicação, a área de estudo deve abranger os principais acessos do município e sua Região Metropolitana de Belo Horizonte, a fim de abarcar as origens dos fluxos de carga com destino à capital.

4.2 Zoneamento

A elaboração da matriz OD requer que o local estudado seja dividido em zonas, cujos limites devem seguir critérios coerentes com a dinâmica da cidade e com os efeitos que se deseja analisar. A etapa de zoneamento é muito importante nos processos de modelagem em transportes. Em geral, as unidades de coleta de dados em uma pesquisa OD são as áreas homogêneas, considerando aspectos socioeconômicos, físicos, urbanísticos entre outros. A utilização desse zoneamento é importante pois permite a construção de uma série histórica ao longo dos anos. A última pesquisa OD de Belo Horizonte, publicada em 2002, adotou a divisão da Região Metropolitana de Belo Horizonte em 1003 áreas homogêneas.

Um maior número de zonas minimiza as dificuldades de conectar os centroides à malha viária. Apesar dessa consideração, para aplicação da metodologia proposta foi necessário seguir alguns outros critérios para o zoneamento. Isso se deve ao fato da indisponibilidade de dados sobre o fluxo de carga dos segmentos escolhidos na escala das áreas homogêneas. Para os municípios vizinhos, a informação disponível era na escala de um município. Para Belo Horizonte, os dados se agrupavam em bairros, ainda assim, com algumas incompatibilidades de limites, sendo que nem todos os dados puderam ser utilizados para comparação. As áreas homogêneas de Belo Horizonte não respeitam criteriosamente os limites administrativos, o que dificulta a comparação dos dados.

Ciente da necessidade de dados de referência, foram estabelecidos alguns pressupostos para o zoneamento da área de estudo:

- Zonas compatíveis com a coleta de dados da pesquisa de campo de referência, na área de planejamento;
- Zonas externas à área de planejamento com maior área, porém respeitando os principais acessos e o sistema viário estruturador;
- Os demais municípios da região metropolitana foram agregados de acordo com os principais eixos de acesso.

A FIG. 4.2 mostra a divisão do município de Belo Horizonte no zoneamento proposto, além do sistema viário principal e as vias arteriais. O zoneamento foi obtido a partir da agregação de bairros, buscando respeitar divisões administrativas pré-existentes, bem como as 9 regionais do município. No total, seguindo esses critérios, foram delimitadas 30 zonas no município de Belo Horizonte e 12 zonas na região metropolitana.

Apesar do número de zonas ser bastante inferior ao número de áreas homogêneas, a conexão dos centroides à rede viária foi feita de forma bastante criteriosa, de modo a possibilitar várias alternativas de acesso, correspondentes aos caminhos reais, para cada zona.

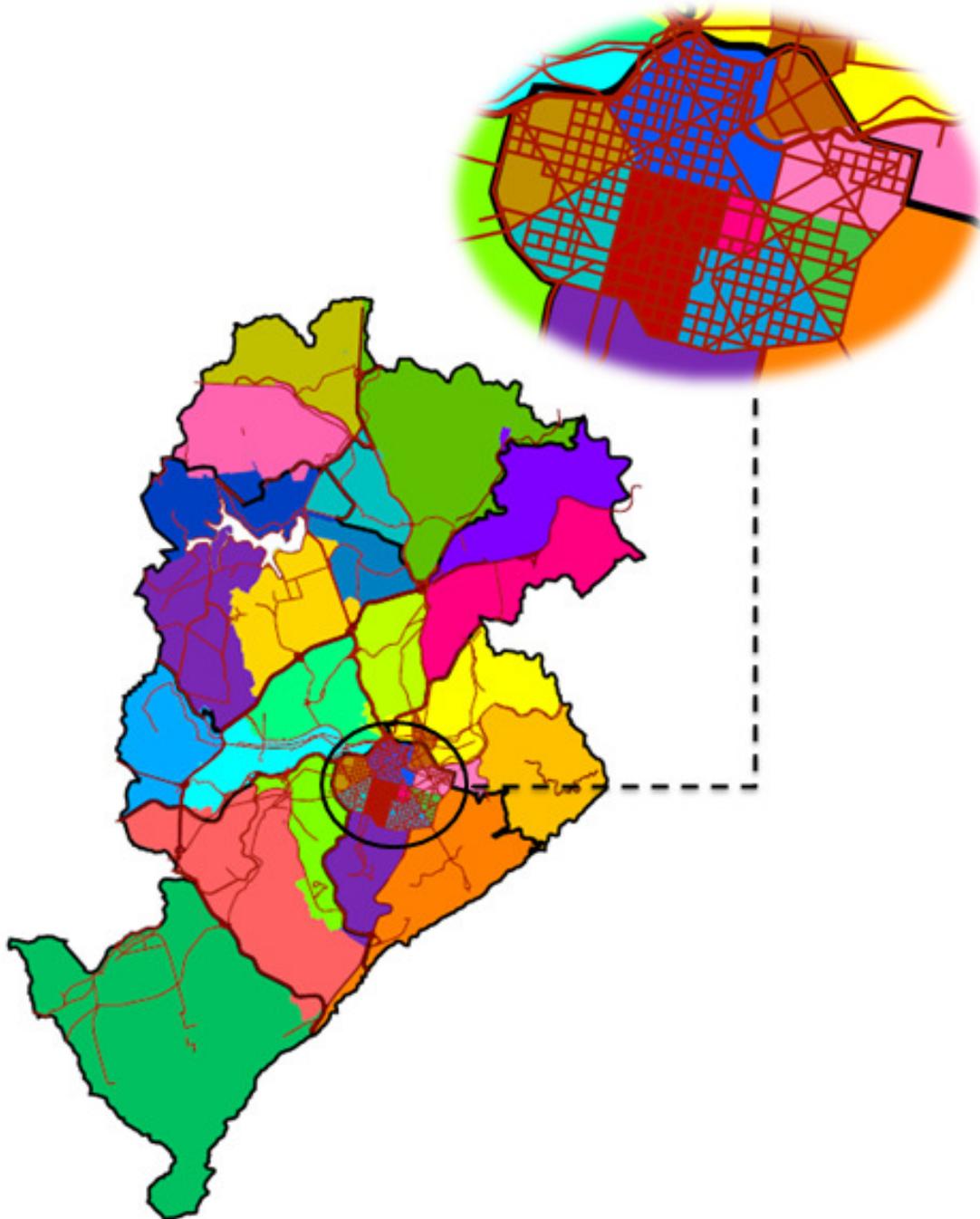


FIGURA 4.2: Zoneamento proposto e sistema viário principal de Belo Horizonte com destaque para a área central.

4.3 Definição dos segmentos de estudo e canal de distribuição

Em função da representatividade no total de cargas circulantes em Belo Horizonte, foram selecionados para o estudo cargas dos segmentos alimentos e bebidas, que juntos correspondem a 42% do total de veículos transportadores na área central de Belo Horizonte (GRA. 4.1), conforme Oliveira *et al.* (2011).

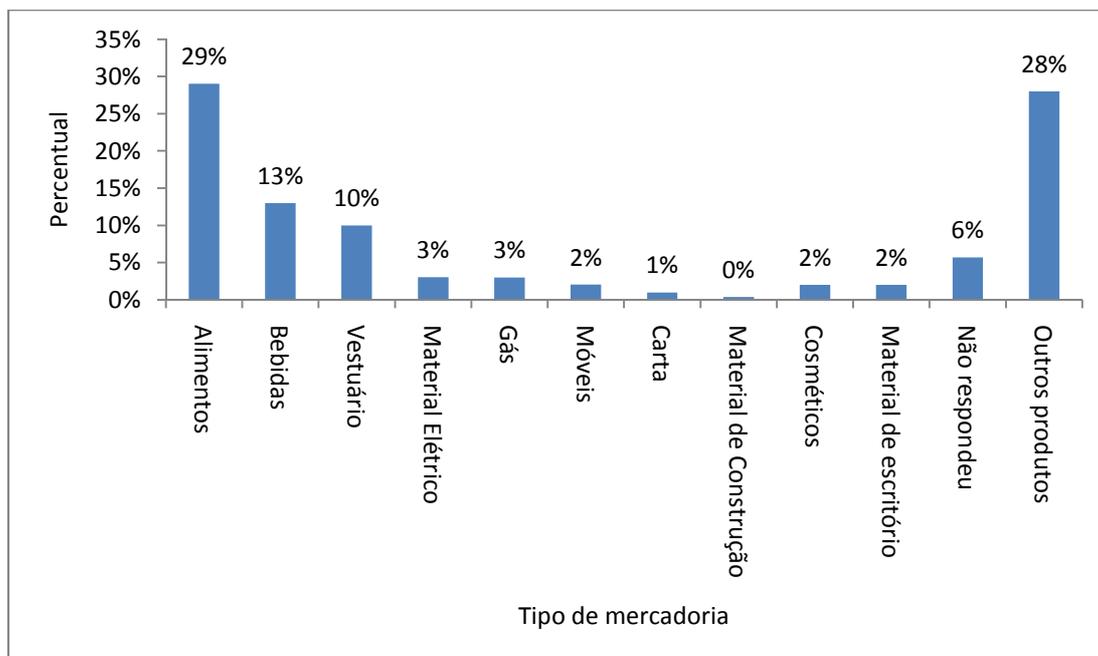


GRÁFICO 4.1: Percentual de mercadorias por tipo na área central de Belo Horizonte.

Fonte: Oliveira *et al.* (2011)

Alimentos e bebidas são produtos perecíveis e frágeis, além de, em alguns casos, sazonais. Vários cuidados são requeridos, tanto nas operações logísticas que os envolvem, como na infraestrutura necessária para o seu transporte e armazenagem. Um artigo divulgado pela Logweb (2010) relata as considerações de várias transportadoras e operadores logísticos que trabalham nesses segmentos, ressaltando os diferenciais dessa cadeia de distribuição. Algumas características importantes são:

- o alto volume de carga transportada;
- o giro dos estoques;
- o fluxo de movimentação bastante intenso, fatores atrelados a uma sazonalidade acentuada em determinados períodos do ano, sendo que, muitas vezes, os produtos recebidos no estoque não chegam a passar pelo processo de armazenagem, que são as chamadas operações de *cross-docking*, para diminuir o tempo das operações;
- elevado número de entregas diárias por veículo, chegando a 30;
- cliente final diversificado, desde pequenos comerciantes até grandes redes atacadistas; produtos visados e, por este motivo, as cargas são na sua maioria das vezes rastreadas;
- veículos específicos para trânsito local, dentro de grandes cidades ;
- necessidade de agilidade no atendimento/entregas, evitando desabastecimento do ponto de venda.

Em relação aos canais de distribuição, os segmentos de alimentos e bebidas adotam em grande parte os canais indiretos, com presença de atacadistas e varejistas como intermediários do sistema. Como aponta Almeida (1999), a utilização de canais indiretos justifica-se pelas especificidades do produto e da demanda. Trata-se de produtos de baixo valor unitário, com alto índice de substituição que tem uma demanda dispersa. A autora destaca que a estrutura de multicanais, incluindo o comércio direto entre indústria e varejista no segmento de alimentos tem aumentado, como uma estratégia de adaptação ao mercado. Porém, como foram abordados conjuntamente os segmentos de alimentos e bebidas, e essa tendência se difere nos dois segmentos, para efeitos da aplicação da metodologia, será considerado o canal de distribuição indireta. Cabe ressaltar que no canal indireto de distribuição os estabelecimentos atacadistas recebem a mercadoria proveniente das indústrias. No entanto, para efeito dessa aplicação, foi dado enfoque à distribuição entre atacado e varejo, principalmente devido aos modelos de geração de viagens adotados. Além disso, os estabelecimentos atacadistas são em menor proporção e descentralizados na cidade, geralmente localizados próximos aos principais eixos viários, enquanto o varejo se distribui por toda a cidade, mas tem maior proporção na área central. Logo, como os dados de referência são relativos à área central, o fato de não modelar a cadeia completa não inviabilizaria a análise dos resultados e, então, priorizou-se avaliar o fluxo de entrega aos estabelecimentos varejistas.

O conhecimento das características do segmento estudado e do seu canal de distribuição é importante para o tratamento dos dados e estruturação das próximas etapas da metodologia.

4.4 Coleta e tratamento de dados

O estudo foi desenvolvido a partir da base de dados secundários do Cadastro Municipal de Contribuintes fornecida pela Prefeitura de Belo Horizonte. O Cadastro Municipal de Contribuintes de Tributos Mobiliários - CMC é o cadastro de pessoas jurídicas que exercem atividades no município de Belo Horizonte, sujeitas ao pagamento do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza - ISSQN ou das Taxas Mobiliárias (Taxa de Fiscalização, Localização e Funcionamento - TFLF, Taxa de Fiscalização Sanitária - TFS e Taxa de Fiscalização de Engenhos de Publicidade - TFEP).

Além de outras informações que não foram utilizadas nesse estudo, essa base de dados contém a identificação do código CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) da atividade exercida pelo estabelecimento cadastrado, a área do estabelecimento e uma classificação própria da Prefeitura municipal, que agrupa os estabelecimentos, de acordo com a atividade, em Grupos-Tema.

De acordo com a Receita Federal, a CNAE é o instrumento de padronização nacional dos códigos de atividade econômica e dos critérios de enquadramento utilizados pelos diversos órgãos da Administração Tributária do país.

A CNAE resulta de um trabalho conjunto das três esferas de governo, elaborada sob a coordenação da Secretaria da Receita Federal e orientação técnica do IBGE, com representantes da União, dos Estados e dos Municípios, na Subcomissão Técnica da CNAE, que atua em caráter permanente no âmbito da Comissão Nacional de Classificação - CONCLA. A tabela de códigos e denominações da CNAE foi oficializada mediante publicação no DOU - Resoluções IBGE/CONCLA nº 01 de 04 de setembro de 2006 e nº 02, de 15 de dezembro de 2006.

Inicialmente foi feito um trabalho de análise da descrição das atividades por código CNAE, a fim de identificar os códigos relacionados com os segmentos alimentos e bebidas. Além disso, buscaram-se identificar os estabelecimentos relacionados ao varejo, ligados ao consumo, portanto destino das viagens, e ao atacado, ligado à produção, portanto origens. A FIG 4.3 apresenta a distribuição dos três principais grupos de estabelecimentos relacionados aos segmentos de alimentos e bebidas. Observa-se uma concentração de bares e restaurantes na região central do município, enquanto supermercados e comércio de bebidas se distribuem uniformemente em todas as regiões.

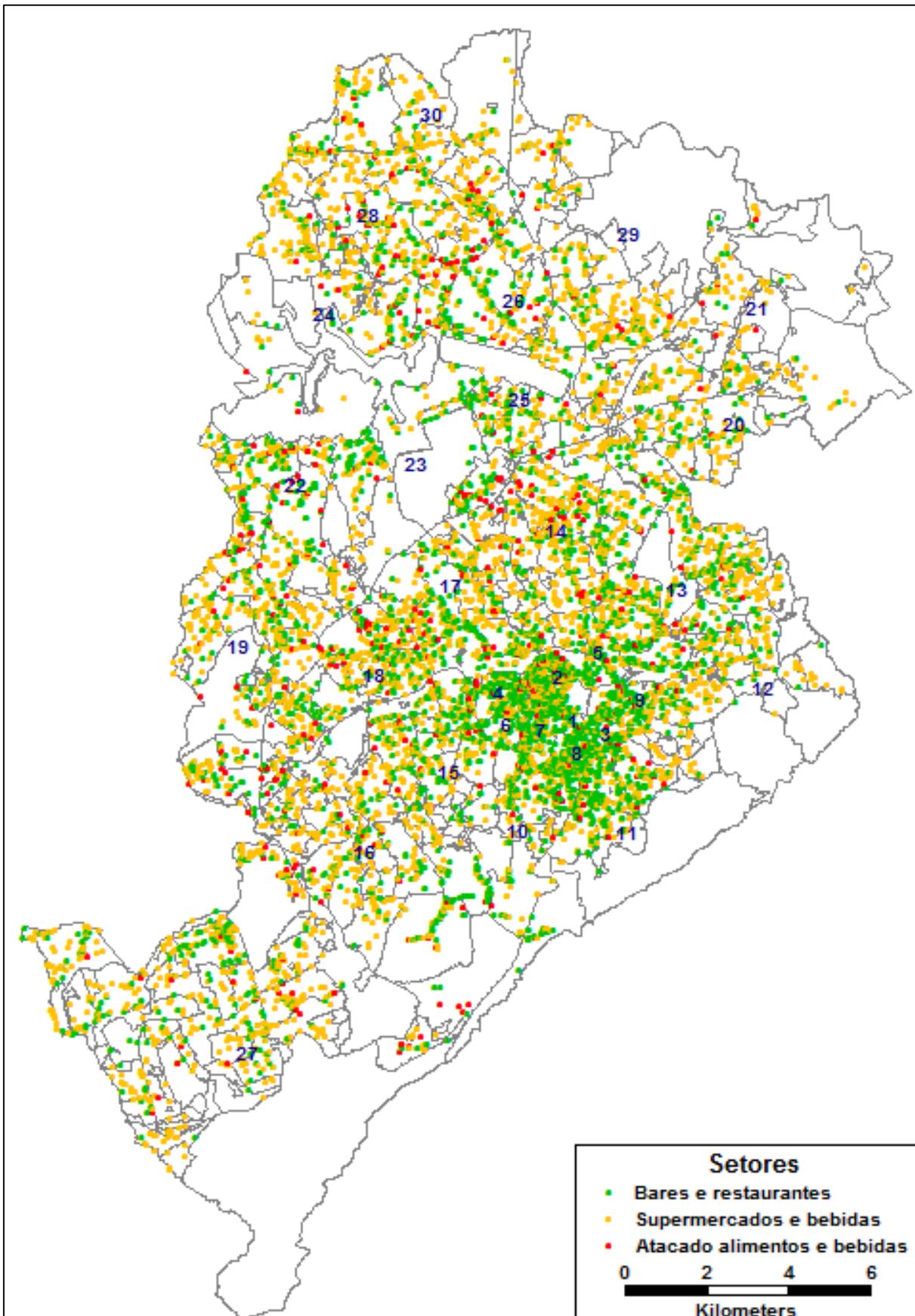


FIGURA 4.3: Distribuição dos estabelecimentos comerciais considerados, em Belo Horizonte: bares, restaurantes, supermercados e venda de bebidas (destinos), estabelecimentos de vendas por atacado ligados a alimentos e bebidas (origens). Fonte: elaborado a partir de dados do CMC, 2011.

Após essa classificação, foi desenvolvida uma pesquisa a ser aplicada nos estabelecimentos comerciais representativos das classes anteriormente descritas. O questionário, apresentado no Apêndice D, tem por objetivo relacionar o tipo e porte de estabelecimento, definido pela área, com o número médio de entregas diárias recebidas. Foram contatados 360 estabelecimentos comerciais via telefone, no entanto, apenas 15 questionários foram considerados completos e válidos, sendo insuficiente para uma análise conclusiva. Como resultado desta experiência, destaca-se a dificuldade de se coletar dados primários relativos à movimentação de cargas e a necessidade de que organizações representantes de classes, ou instâncias governamentais apoiem a pesquisa, uma vez que os lojistas se sentem inseguros ao repassar as informações referentes à distribuição urbana.

4.5 Geração de viagens

Devido à impossibilidade de se usar os dados da pesquisa por questionário, foram levantados estudos anteriores sobre geração de viagens de transporte de cargas que usassem como variável explicativa do modelo a área e o tipo do estabelecimento. Considerando critérios como contexto em que os estudos foram desenvolvidos, proximidade à realidade brasileira e parâmetros utilizados compatíveis com os dados disponíveis, foram selecionadas as equações utilizadas.

Foram adotadas as equações de Melo (2002) e Tadi e Balbach (1994). Tadi e Balbach (1994) estudaram as viagens geradas pelo setor atacadista, importante para a dinâmica de distribuição de cargas. As equações encontradas por Melo (2002) foram adotadas nesse trabalho por diversos fatores, tais como o trabalho ser sido desenvolvido para o contexto brasileiro, portanto, mais próximo à nossa realidade, e adotar como variável a área do estabelecimento, dado disponível para esse estudo.

Melo (2002) utilizou uma modelagem baseada em viagens de veículos e aplicou regressão linear. O veículo padrão do modelo é o caminhão tipo baú 608, com carroceria fechada e capacidade de transporte de 3 toneladas ou 20m^3 , mais utilizado para o transporte urbano.

A partir da divisão das zonas de tráfego, Melo (2002) buscou modelar a demanda por transporte de carga, agora com base no número de viagens/veículos atraídas ou produzidas por essas zonas, de acordo com as seguintes etapas:

- A partir de uma amostra pré-definida, foram pesquisadas em cada zona de tráfego empresas produtoras e transportadoras com o objetivo de obter informações tais como: o número de viagens realizadas (diário, semanal e mensal), os locais de destino, a frota da empresa, a área ocupada e o número de empregados;

- Pesquisa, em estabelecimentos comerciais (envolvendo diferentes ramos de atividades) e em terminais de carga na periferia ou dentro da própria área urbana (depósitos ou centros de distribuição), do número de viagens atraídas para estes estabelecimentos (diário, semanal e mensal), assim como dados sobre a área do estabelecimento, número de empregados e frequência de viagens;
- Em função dos dados apurados foram obtidas as taxas de geração de viagens por categoria de empresa produtora e por estabelecimento comercial receptor.

A partir daí, foram definidas equações pelos modelos de regressão que correlacionem as taxas de geração de viagens/veículos com os dados pesquisados (área, número de empregados, ou frota, entre outros). As equações estão relacionadas no Quadro 4.2.

QUADRO 4.2: Equações utilizadas para geração de viagens

| Variáveis dependentes | Variáveis independentes | Equação |
|--|---|------------------------|
| Geração de viagens de carga para o setor atacadista* | $X1 = 1.000 \text{ m}^2$ de área construída | $Y = 4,0X1$ |
| Supermercado** | $X = \text{Área construída de cada empreendimento}$ | $Y = 1,1522 + 0,0012X$ |
| Bar/Restaurante** | $X = \text{Área construída de cada empreendimento}$ | $Y = 1,3334 + 0,0019X$ |

Fonte: * Tadi e Balbach (1994); ** Melo (2002) *apud* Souza (2010).

No caso do setor atacadista, a equação é genérica para todo tipo de mercadoria, não se ajustando aos setores de alimentos e bebidas. Nesse caso, foi aplicado um fator de ajuste aos valores fornecidos pela equação. O fator de ajuste foi obtido considerando os dados da pesquisa de Oliveira *et al.* (2011), que revelou que 31% das entregas realizadas na área central de Belo Horizonte são provenientes de Belo Horizonte. Portanto, utilizou-se como premissa que o total de viagens produzidas em Belo Horizonte deve corresponder a 31% das viagens atraídas. Os resultados obtidos utilizando as equações foram compatíveis com os questionários considerados válidos.

4.6 Modelagem para distribuição de viagens

A etapa de distribuição de viagens foi realizada utilizando os softwares TRANUS e TRANSCAD. O TRANUS calcula a distribuição de viagens através do modelo da Máxima Entropia. A distribuição espacial da demanda de uma área de consumo para as zonas de produção é feita utilizando o modelo logit em que a função de utilidade inclui o preço do setor que é demandado e a desutilidade de transporte entre as duas zonas. Podem-se adicionar fatores atraentes para a distribuição, que pode incluir qualquer variável definida no modelo e parâmetros exógenos

não modelados para representar elementos que afetam a distribuição (por exemplo, fatores ambientais). Como resultado do processo de localização de atividades se obtém um conjunto de matrizes de fluxos entre os setores transportáveis. Na interface atividades/transporte deriva-se a demanda de transporte, partindo dos fluxos socioeconômicos, obtendo-se a matriz de viagens.

A rede viária foi construída no software TRANSCAD e importada para o TRANUS com os parâmetros de capacidade viária, modos permitidos, velocidade permitida, tipo de via, sentido de circulação, entre outros.

Para cada zona foi definido um centroide, considerando o centro geográfico da malha viária da zona, área urbanizada e articulação com a rede viária do entorno. Nas zonas periféricas de Belo Horizonte, os centroides foram localizados próximo ao limite da malha viária, de modo a evitar que links ficassem isolados do fluxo. Os centroides foram conectados à malha viária formada de vias principais (vias de ligação regional, arteriais e coletoras). O número de conexões variou em cada zona de acordo com o número de vias que conectam a zona ao sistema viário arterial (vias coletoras). A adequação do zoneamento e conectividade dos centroides em relação à rede viária principal foi testada fazendo-se a etapa de alocação na rede a partir de uma matriz de automóveis atualizada para Belo Horizonte. O resultado foi comparado com estudos elaborados pela BHTRANS, como o Plano de Mobilidade de Belo Horizonte, concluído em 2010 e apresentado em 2011. A rede final usada na modelagem é apresentada na figura a seguir.

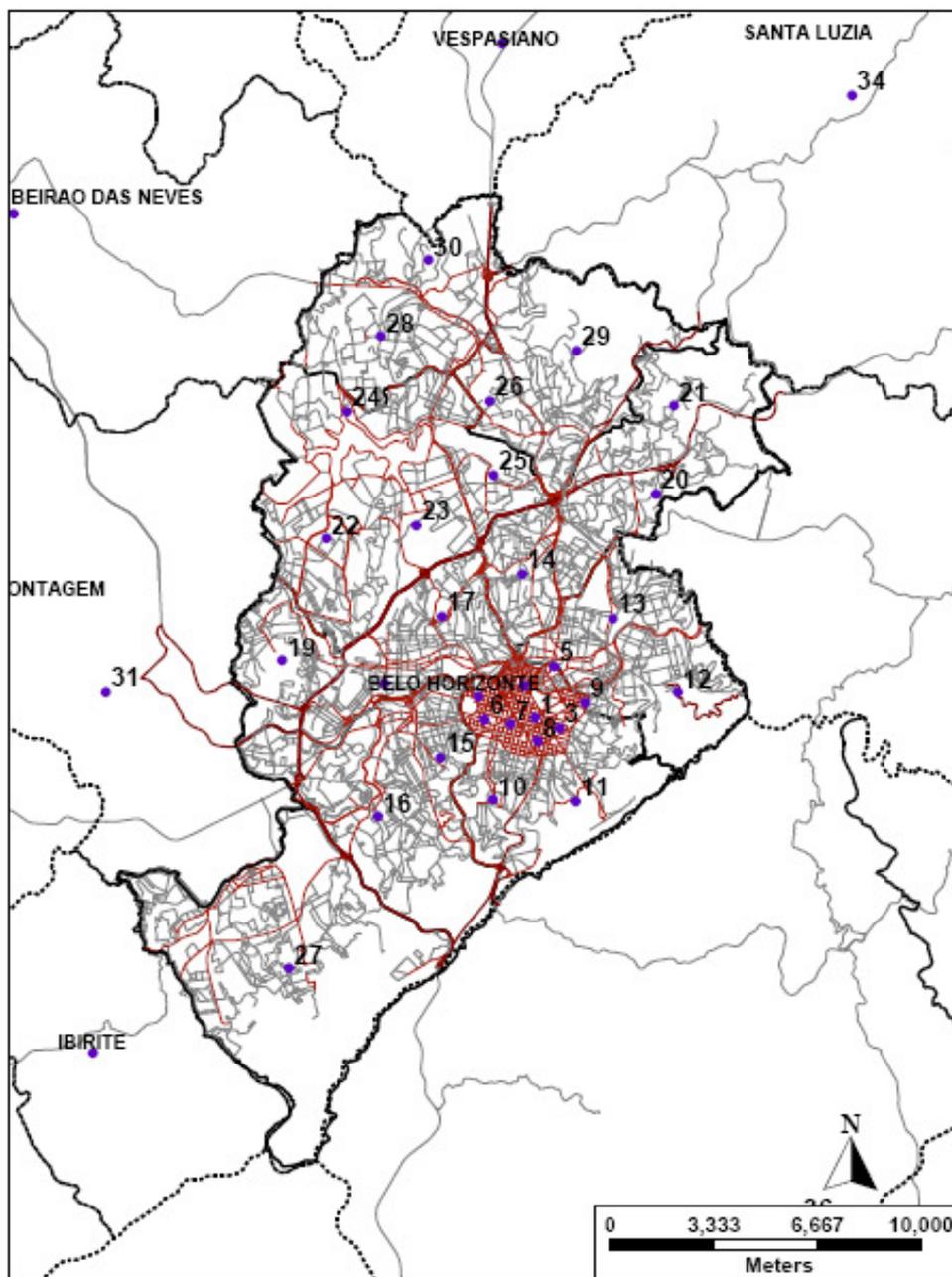


FIGURA 4.4: Rede viária usada na modelagem.

Para cada zona foi fornecido o número de viagens atraídas e produzidas, calculado anteriormente. Como foi disponibilizada para esse trabalho apenas a base do CMC de Belo Horizonte, e como aponta o estudo de referência, apenas 31% das viagens de transporte de carga com destino à área central se originam em Belo Horizonte, os dados para as zonas externas à BH foram atribuídos ao modelo a partir dos resultados obtidos por Oliveira *et al.* (2011), sendo aplicado o princípio da conservação na distribuição de viagens, segundo o qual o somatório das viagens produzidas nas n origens deve ser igual ao total de viagens atraídas nos n destinos.

Após a distribuição, a matriz de demanda de viagens por categoria de usuário foi alocada na rede multimodal de transporte com um modelo logit em que o custo generalizado é a função de utilidade. Como descrito no Apêndice A, o modelo calcula a probabilidade de escolha

entre os caminhos disponíveis entre um par OD, considerando todos os custos envolvidos. Como os caminhos são sequências de ligações e modos, operadores ou rotas, as viagens se alocam a combinações ligação/operador ou ligação/rota em função dos custos generalizados das opções, compensados por seu grau de independência ou dependência. Isso significa que no TRANUS, a divisão modal e alocação são realizadas simultaneamente em um só processo, que provou ter grandes benefícios, flexibilidade e consistência teórica, em comparação com os modelos convencionais baseados em processos separados de divisão modal logit combinados com alocação de equilíbrio. A combinação da repartição modal e alocação são equivalentes ao modelo logit realizado em cadeias de múltiplos níveis, e que são ajustadas automaticamente na rede.

4.7 Parâmetros e calibração

O software TRANUS permite que todas as etapas de geração, distribuição, divisão modal e alocação sejam calculadas por ele. No entanto, no caso dessa aplicação, objetivando maior controle sobre os parâmetros da geração de viagens, o cálculo foi feito externamente ao programa, utilizando-se o Excel. As demais etapas foram feitas usando o software TRANUS. Embora a matriz OD seja resultado das duas primeiras etapas, as quatro foram aplicadas para análise dos resultados.

Foram definidos apenas dois setores, cujo dado de entrada foi o número de viagens. Os setores criados foram viagens atraídas e viagens produzidas. A relação de demanda entre eles foi estabelecida como 1, ou seja, cada viagem atraída demanda uma viagem produzida. E a elasticidade da categoria de viagens foi definida como 0, ou seja, independente do custo, seria gerado o número total de viagens fornecido entre os setores.

O processo de calibração consiste em ajustar os parâmetros listados no item 3.7 até que seja atingida a convergência do modelo de atividades e do modelo de transportes. Em seguida, o volume total de viagens deve ser ajustado pelos parâmetros da categoria de viagens, e o volume alocado deve ser ajustado utilizando o software TRANSCAD e dados de contagem volumétrica realizada nos principais acessos à área de estudos. Esse ajuste é importante principalmente devido ao fato de não existirem estudos de geração de viagens de carga específicos para a região estudada. Devido à indisponibilidade dos dados de contagem volumétrica, esta última etapa de calibração não foi realizada, não sendo possível comparar o volume final de viagens obtido na matriz. A não realização dessa etapa dificulta a comparação com dados reais, no entanto, ainda é possível avaliar o quanto o resultado parcial precisa ser calibrado. Além disso, os resultados parciais obtidos permitem que sejam feitas outras comparações, pois embora o volume não se ajuste completamente, as áreas de maior atração e produção de viagens se mantêm, bem como as principais trocas.

5. RESULTADOS E VALIDAÇÃO

A metodologia aplicada produziu resultados que serão apresentados por etapa. Após o tratamento e verificação da rede, iniciou-se o processo de tratamento dos dados, pelo qual foi quantificado o número de estabelecimentos por zona, relacionados aos setores de interesse agrupados em três categorias, como mostrado na TAB 5.1.

TABELA 5.1: Número de estabelecimentos comerciais por zona.

| ZONAS | BARES E RESTAURANTES | SUPERMERCADOS / COMÉRCIO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS VAREJO | ATACADO |
|--------------------|----------------------|--|------------|
| 1 | 25 | 9 | 1 |
| 2 | 358 | 440 | 55 |
| 3 | 59 | 19 | 5 |
| 4 | 120 | 37 | 6 |
| 5 | 74 | 46 | 4 |
| 6 | 75 | 42 | 4 |
| 7 | 137 | 67 | 4 |
| 8 | 228 | 77 | 8 |
| 9 | 137 | 96 | 11 |
| 10 | 199 | 161 | 15 |
| 11 | 260 | 270 | 18 |
| 12 | 81 | 176 | 7 |
| 13 | 290 | 423 | 27 |
| 14 | 136 | 285 | 33 |
| 15 | 208 | 196 | 21 |
| 16 | 230 | 478 | 61 |
| 17 | 194 | 329 | 52 |
| 18 | 172 | 272 | 33 |
| 19 | 93 | 253 | 17 |
| 20 | 150 | 319 | 11 |
| 21 | 37 | 148 | 7 |
| 22 | 149 | 255 | 38 |
| 23 | 129 | 93 | 22 |
| 24 | 66 | 91 | 16 |
| 25 | 81 | 99 | 10 |
| 26 | 102 | 163 | 14 |
| 27 | 215 | 567 | 41 |
| 28 | 155 | 412 | 43 |
| 29 | 89 | 337 | 16 |
| 30 | 67 | 231 | 11 |
| Total Geral | 4316 | 6391 | 611 |

Foi quantificada também a área dos estabelecimentos comerciais por zona, visto que as equações selecionadas para a etapa de geração de viagens utilizam esse parâmetro como variável explicativa, apresentada na TAB 5.2.

TABELA 5.2: Área total de estabelecimentos comerciais por zona, em m².

| ZONAS | BARES E RESTAURANTES | SUPERMERCADOS / COMÉRCIO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS VAREJO | ATACADO |
|--------------------|----------------------|--|---------------|
| 1 | 4106 | 2283 | 102 |
| 2 | 47039 | 53274 | 8969 |
| 3 | 12353 | 4386 | 572 |
| 4 | 19767 | 4135 | 328 |
| 5 | 9809 | 13489 | 378 |
| 6 | 15654 | 5782 | 204 |
| 7 | 24797 | 18236 | 444 |
| 8 | 44770 | 23643 | 905 |
| 9 | 49721 | 39356 | 4222 |
| 10 | 33525 | 83190 | 1321 |
| 11 | 42529 | 75645 | 1391 |
| 12 | 5021 | 15744 | 429 |
| 13 | 23617 | 45924 | 12336 |
| 14 | 17079 | 34326 | 42038 |
| 15 | 30589 | 57673 | 3152 |
| 16 | 20734 | 89944 | 27273 |
| 17 | 21508 | 58470 | 11369 |
| 18 | 22789 | 47773 | 5229 |
| 19 | 6819 | 40675 | 6150 |
| 20 | 23322 | 71783 | 838 |
| 21 | 2077 | 15661 | 1012 |
| 22 | 18517 | 43788 | 7984 |
| 23 | 29313 | 84805 | 8192 |
| 24 | 11826 | 21903 | 12363 |
| 25 | 14457 | 12702 | 1093 |
| 26 | 12874 | 40134 | 8533 |
| 27 | 25929 | 85193 | 20827 |
| 28 | 18387 | 53188 | 10910 |
| 29 | 8404 | 43188 | 6722 |
| 30 | 4559 | 29002 | 1986 |
| Total Geral | 621891 | 1215295 | 207272 |

Utilizando as equações propostas por Melo (2002) e Tadi e Balbach (1994) foram calculadas as viagens geradas por zona, sendo o resultado correspondente ao número de entregas recebidas diariamente pelos estabelecimentos localizados na zona, apresentadas na TAB. 5.3.

TABELA 5.3: Geração de viagens.

| ZONAS | BARES E RESTAURANTES | SUPERMERCADOS / COMERCIO DE PRODUTOS ALIMENTICIOS VAREJO | ATACADO |
|--------------------|----------------------|--|---------------|
| 1 | 41,1 | 13,1 | 2,4 |
| 2 | 566,7 | 570,9 | 211,7 |
| 3 | 102,1 | 27,2 | 13,5 |
| 4 | 197,6 | 47,6 | 7,7 |
| 5 | 117,3 | 69,2 | 8,9 |
| 6 | 129,7 | 55,3 | 4,8 |
| 7 | 229,8 | 99,1 | 10,5 |
| 8 | 389,1 | 117,1 | 21,4 |
| 9 | 277,1 | 157,8 | 99,6 |
| 10 | 329,0 | 285,3 | 31,2 |
| 11 | 427,5 | 401,9 | 32,8 |
| 12 | 117,5 | 221,7 | 10,1 |
| 13 | 431,6 | 542,5 | 291,1 |
| 14 | 213,8 | 369,6 | 992,1 |
| 15 | 335,5 | 295,0 | 74,4 |
| 16 | 346,1 | 658,7 | 643,6 |
| 17 | 299,5 | 449,2 | 268,3 |
| 18 | 272,6 | 370,7 | 123,4 |
| 19 | 137,0 | 340,3 | 145,1 |
| 20 | 244,3 | 453,7 | 19,8 |
| 21 | 53,3 | 189,3 | 23,9 |
| 22 | 233,9 | 346,4 | 188,4 |
| 23 | 227,7 | 208,9 | 193,3 |
| 24 | 110,5 | 131,1 | 291,8 |
| 25 | 135,5 | 129,3 | 25,8 |
| 26 | 160,5 | 236,0 | 201,4 |
| 27 | 335,9 | 755,5 | 491,5 |
| 28 | 241,6 | 538,5 | 257,5 |
| 29 | 134,6 | 440,1 | 158,6 |
| 30 | 98,0 | 301,0 | 46,9 |
| Total Geral | 6936,5 | 8822,1 | 4891,6 |

As viagens geradas foram então divididas em produzidas e atraídas, considerando as categorias de varejo como atratoras e as de atacado como produtoras (TAB. 5.4).

TABELA 5.4: Produção e atração de viagens.

| ZONAS | PRODUÇÃO | ATRAÇÃO |
|--------------------|----------|---------|
| 1 | 2,4 | 54,2 |
| 2 | 211,7 | 1137,6 |
| 3 | 13,5 | 129,3 |
| 4 | 7,7 | 245,2 |
| 5 | 8,9 | 186,5 |
| 6 | 4,8 | 185,1 |
| 7 | 10,5 | 328,9 |
| 8 | 21,4 | 506,2 |
| 9 | 99,6 | 435,0 |
| 10 | 31,2 | 614,4 |
| 11 | 32,8 | 829,4 |
| 12 | 10,1 | 339,2 |
| 13 | 291,1 | 974,0 |
| 14 | 992,1 | 583,4 |
| 15 | 74,4 | 630,5 |
| 16 | 643,6 | 1004,8 |
| 17 | 268,3 | 748,8 |
| 18 | 123,4 | 643,4 |
| 19 | 145,1 | 477,3 |
| 20 | 19,8 | 698,0 |
| 21 | 23,9 | 242,6 |
| 22 | 188,4 | 580,2 |
| 23 | 193,3 | 436,6 |
| 24 | 291,8 | 241,6 |
| 25 | 25,8 | 264,8 |
| 26 | 201,4 | 396,4 |
| 27 | 491,5 | 1091,5 |
| 28 | 257,5 | 780,1 |
| 29 | 158,6 | 574,8 |
| 30 | 46,9 | 399,0 |
| Total Geral | 4891,6 | 15758,6 |

Como resultado da etapa de geração de viagens, a concentração de viagens produzidas e atraídas foi analisada (FIG. 5.1). Para efeito de comparação entre zonas, foi feita uma normalização pela área de cada zona. Observa-se, com auxílio da FIG. 5.2, que as zonas que mais atraem viagens, proporcionalmente, estão localizadas na área central do município, o que se explica pela elevada representatividade em termos de comércio existente nessa área. Destacam-se também a região de Venda Nova e, em números absolutos, o Barreiro, que vêm se consolidando como centros regionais ao longo das últimas décadas.

Em relação à produção de viagens, considerando as zonas internas de Belo Horizonte, destaca-se a área do entorno da Avenida Antônio Carlos, e áreas pericentrais, com destaque também para a região Oeste, de maneira geral, e a região ao norte da Lagoa da Pampulha, se estendendo à Venda Nova. As FIG 5.1 e FIG 5.2 ilustram o resultado obtido pela etapa de geração de viagens para o município de Belo Horizonte.

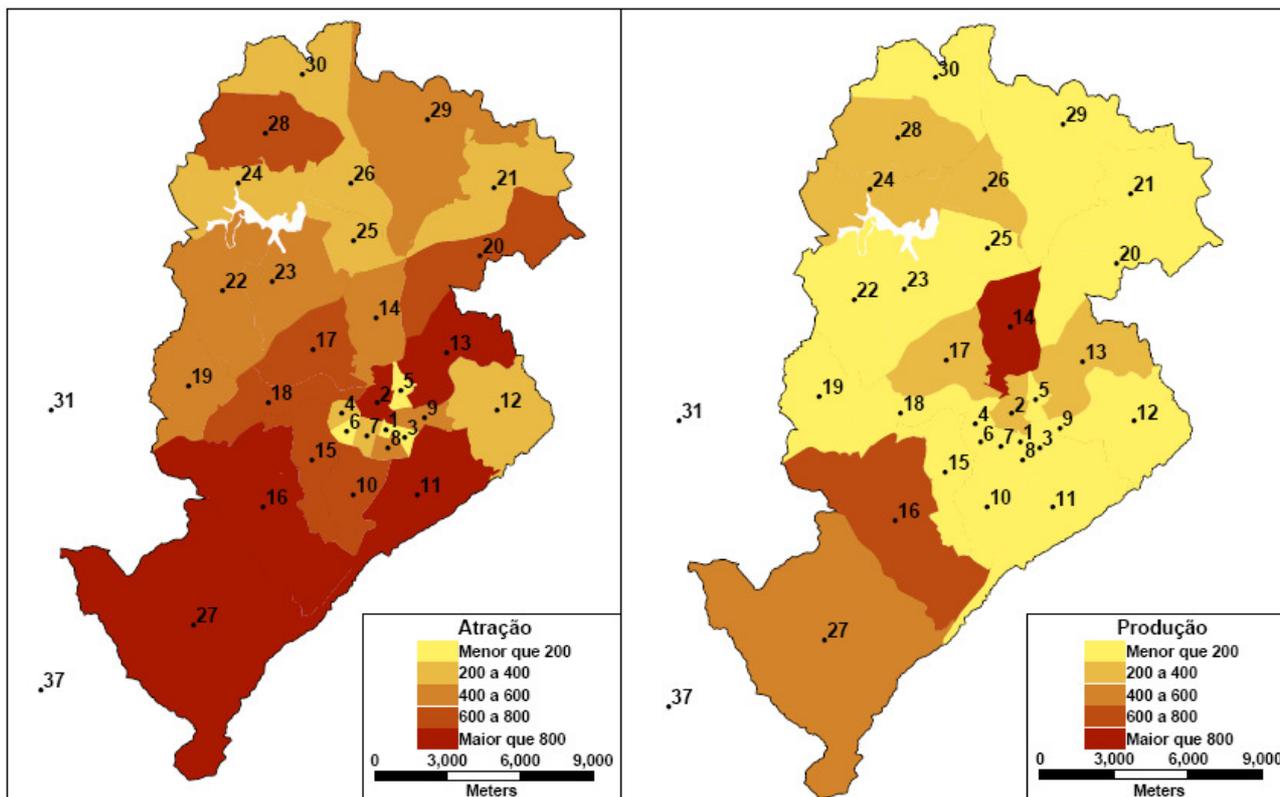


FIGURA 5.1: Viagens atraídas e produzidas por zona, no município de Belo Horizonte.

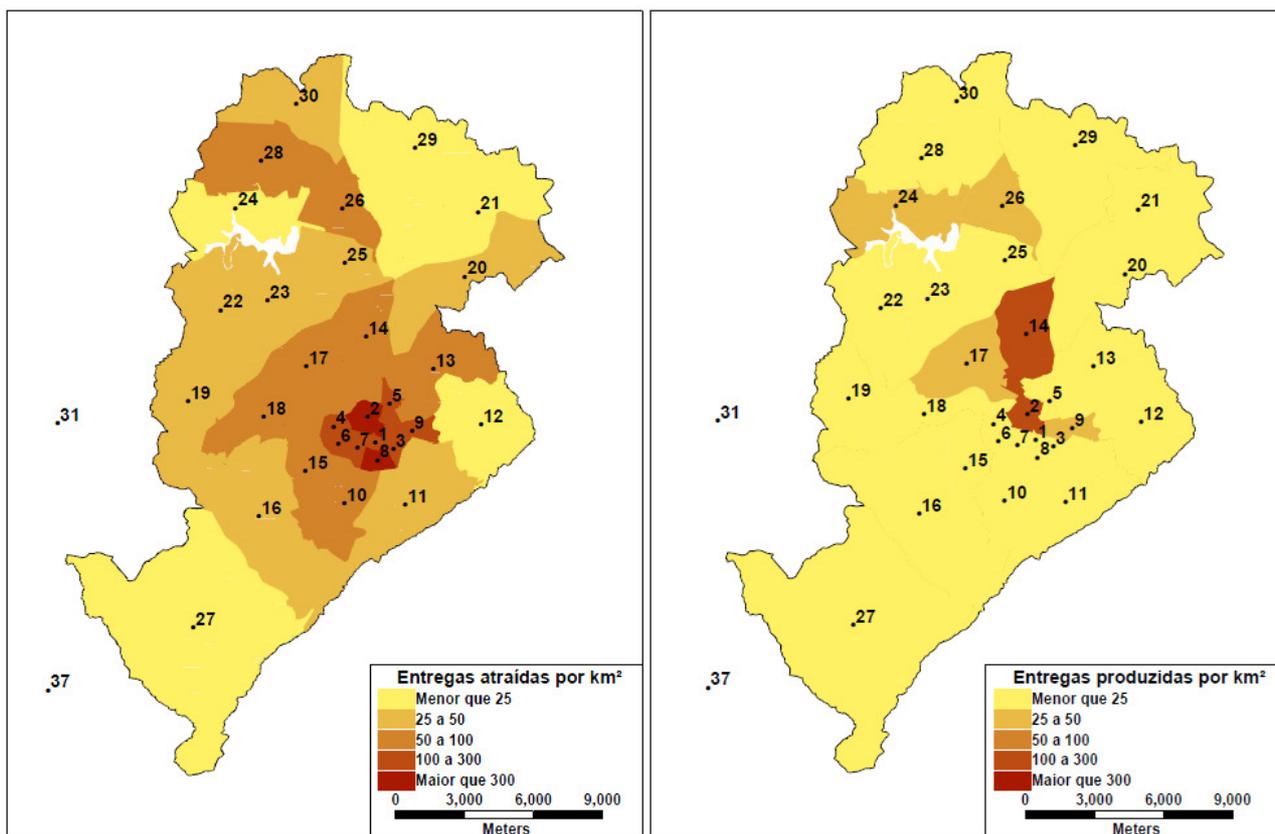


FIGURA 5.2: Viagens atraídas e produzidas por unidade de área, no município de Belo Horizonte.

A etapa de distribuição foi feita com a utilização do software TRANUS. Para efeito da modelagem, como dito anteriormente, os resultados de Oliveira *et al.* (2011) foram utilizados para as estimativas de produção de viagem dos demais municípios da Região Metropolitana. Como o número total de viagens geradas foi estimado e o dado de entrada no software já se refere às próprias viagens, foi considerada a princípio uma elasticidade da categoria de transporte nula, de modo que todas as viagens produzidas ocorressem entre zonas. O ajuste da elasticidade permitiria considerar uma proporção de viagens intrazonais, não simuladas. No entanto, devido às características do município no qual foi feita a aplicação, optou-se por desprezar a ocorrência de viagens internas às zonas. Como foi possível observar pelos resultados da etapa de geração de viagens, a maior parte das viagens com destino ao município, se originam em outros municípios, sendo zonas externas à área de planejamento. Em relação às viagens que se originam em Belo Horizonte, observa-se uma concentração em poucas zonas, sendo que uma maior ocorrência de viagens internas se restringe a essas poucas zonas. Para as zonas da área central, foco da pesquisa de campo de referência, esse efeito é reduzido, pois além de terem baixa produção de viagens, são zonas de menor extensão.

Em relação às viagens produzidas, como comentado anteriormente, o modelo não se ajusta muito bem, visto que não é específico para os segmentos estudados. Para efeito da modelagem, considerou-se que o total de viagens produzidas, oriundas de Belo Horizonte e Região

Metropolitana e outros locais, deve ser igual ao total de viagens atraídas em BH. Comparando os resultados obtidos pelo modelo com os resultados da pesquisa de Oliveira *et al.* (2011) observa-se uma coerência, uma vez que os bairros identificados como origens mais importantes pela pesquisa de campo se situam, em sua maioria, na porção centro-oeste do município, e ao longo da Avenida Antônio Carlos, como o bairro São Francisco, Caiçaras (zona 17), Pampulha (zonas 22, 23, 24), Carlos Prates (zona 18) e Anel Rodoviário (zonas 14,17, 19). Além disso, destaca-se o fato de a pesquisa de Oliveira *et al.* (2011) ter sido feita no perímetro da área central, o que inviabiliza a coleta de dados cujo trajeto entre origem e destino não atravesse a região central. Visto a importância do município de Contagem como origem das viagens, é possível que alguns destinos importantes não tenham sido captados na pesquisa. Outro ponto de ressalva, é que o estudo de Oliveira *et al.* (2011) considerou vários outros setores além de bebidas e alimentos, o que evidentemente impede uma comparação rigorosa dos resultados. O GRA. 5.1 apresenta os resultados encontrados na pesquisa de referência, para o todos os tipos de carga circulantes na área central, considerando o total de viagens originadas em Belo Horizonte.

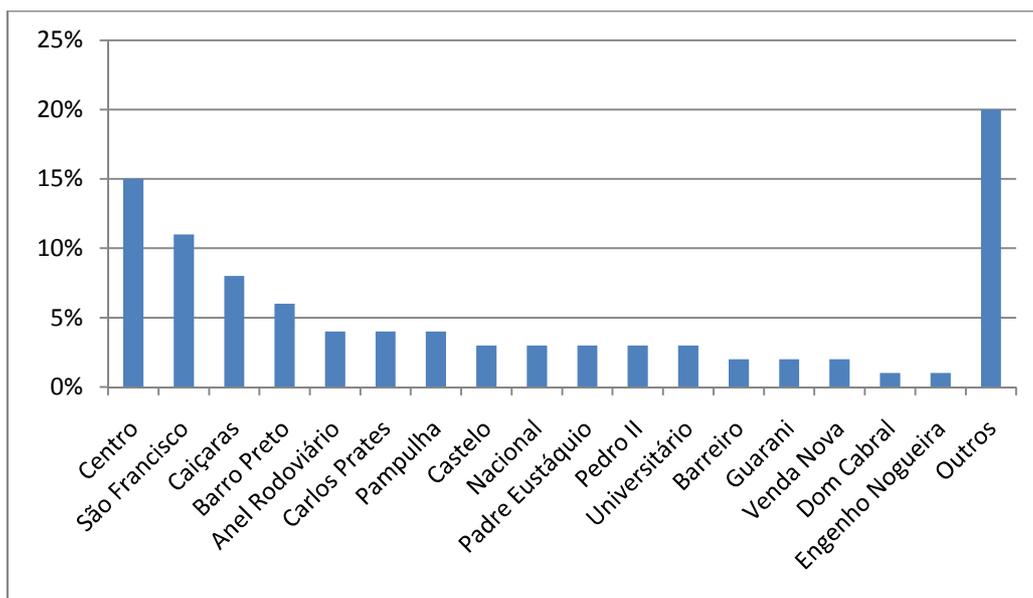


GRÁFICO 5.1: Principais origens, em BH, das viagens de carga com destino à área central.

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2011)

De modo a permitir uma comparação entre os dados da pesquisa de referência e a matriz OD estimada, os dados foram agregados conforme o zoneamento proposto, sendo que as zonas 1 a 9 foram agrupadas constituindo a área central. Além disso, o percentual foi calculado considerando o total de viagens com origem em Belo Horizonte, assim como os dados de referência. Para obter os dados relativos somente os segmentos de alimentos e bebidas, o dado total foi corrigido. Essa correção levou em conta a proporção do número de estabelecimentos atacadistas relacionados a

alimentos e bebidas em relação ao total de atacadistas em cada zona. A TAB 5.5 mostra a comparação dos resultados.

TABELA 5.5: Principais origens, em BH, das viagens de carga com destino à área central.

| ZONA | REFERÊNCIA AJUSTADA | OD CALCULADA |
|---------------------|------------------------|-----------------|
| Área central | 2,9% | 7,6% |
| 17 | 3,4% | 5,6% |
| 18 | 0,8% | 2,6% |
| 22 | 3,0% | 3,6% |
| 23 | 2,6% | 3,7% |
| 25 | 0,5% | 0,5% |
| 27 | 10,2% | 9,7% |
| 28 | 6,7% | 5,0% |
| 29 | 2,0% | 3,1% |
| Correlação | 0,81 | |
| Outros | 68% | 59% |

A análise de correlação entre as duas colunas, excluindo-se a linha “Outros”, revela um índice de 0,81. A linha “Outros” não deve ser incluída na análise comparativa, pois agrega zonas com características distintas, e não permite uma comparação direta de par OD. A análise de correlação é usada para examinar cada par de variáveis de medida e determinar se as duas variáveis tendem a se mover juntas, ou seja, se os valores altos de uma variável tendem a ser associados aos valores altos da outra (correlação positiva), se os valores baixos de uma variável tendem a ser associados aos valores altos da outra (correlação negativa) ou se os valores das duas variáveis tendem a não se relacionar (correlação próxima de zero). O resultado indica uma alta correlação positiva, indicando uma coincidência entre a hierarquia das origens.

O gráfico de dispersão dos resultados (GRA. 5.2) revela $R^2 = 0,6526$, superior ao de outras aplicações do software TRANUS, apresentadas na seção 2.5. Ressaltam-se as dificuldades de comparação dos resultados estimados em função dos problemas relacionados à escassez de dados primários válidos. Observa-se que, ainda que não tenha sido realizada a última etapa de calibração, a matriz OD estimada se correlaciona bem com os dados de referência. A calibração por meio de contagem volumétrica permitiria melhorar essa correlação.

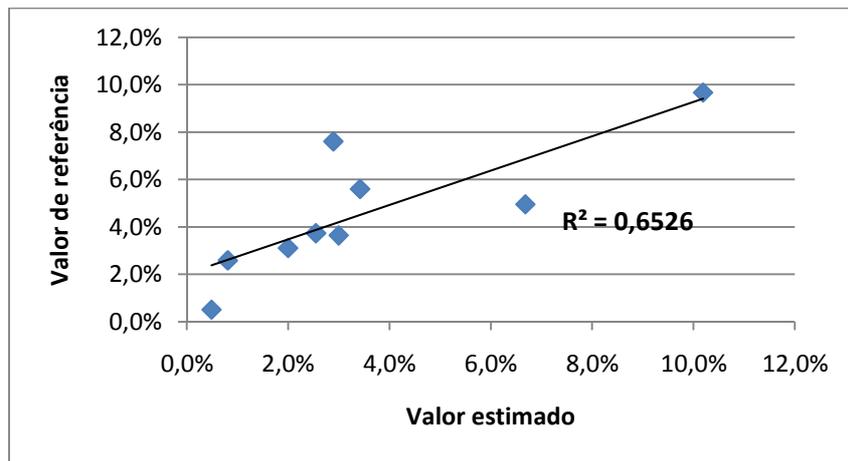


GRÁFICO 5.2: Dispersão dos resultados.

O mapa das linhas de desejo, a seguir, mostra o resultado. As linhas conectam zonas de origem e destino, e a espessura representa o número de viagens entre o par de zonas. Observa-se que as principais trocas se realizam com o município de Contagem, nesse caso representado por uma única zona. De acordo com o estudo de Oliveira *et al.* (2011), cerca de 37% das cargas transportadas em Belo Horizonte têm origem em Contagem. Essa elevada proporção se explica pela concentração de indústrias nesse município, além da localização da Central de Abastecimento CEASA Minas.

Internamente ao município de Belo Horizonte, observa-se a área central (zonas 1 a 9) com importante número de trocas, destacando-se dentre os destinos, e também os centros regionais Venda Nova (zonas 28 e 30) e Barreiro (zona 27).

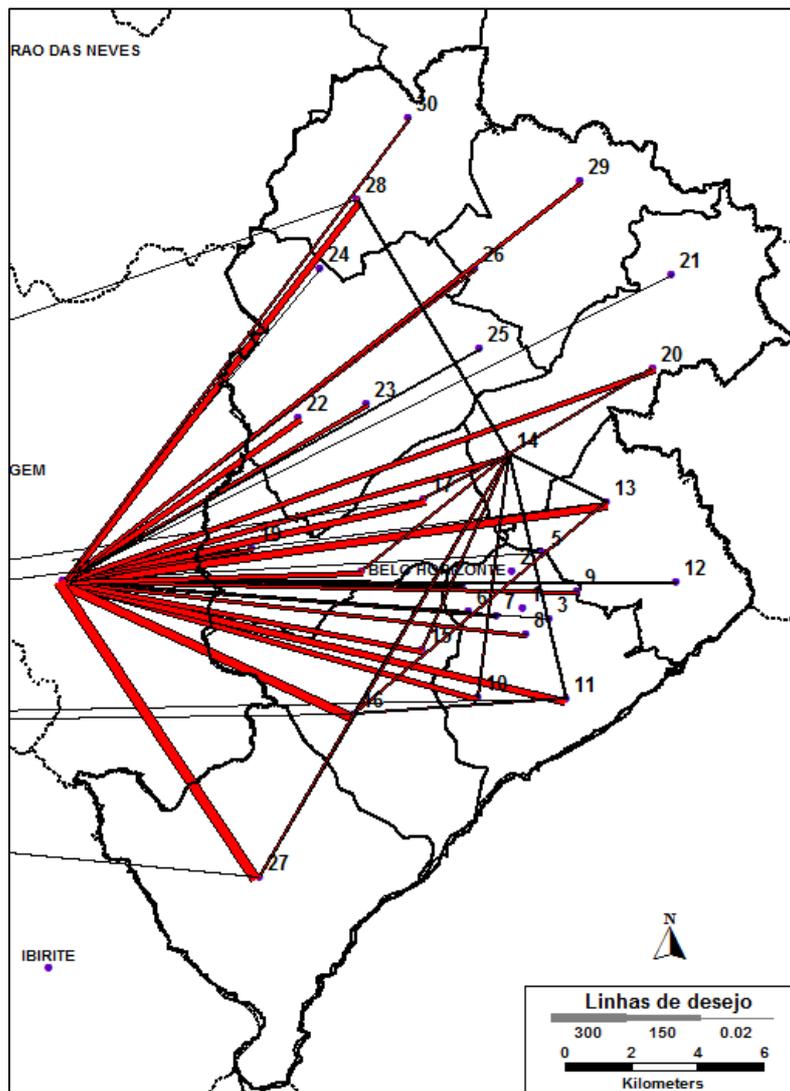


FIGURA 5.3: Linhas de desejo.

O cálculo do número de veículos que realizam as entregas diariamente considerou que um mesmo veículo realiza mais de uma entrega por dia. Para esse cálculo, considerou-se o valor encontrado na pesquisa de Oliveira *et al.* (2011), de que são realizadas em Belo Horizonte, em média, 25 entregas diárias por caminhão. Foi encontrado o valor de 630 veículos para realizar as entregas no município de Belo Horizonte.

Em relação ao total de veículos encontrado, foram pesquisados dados municipais que permitissem uma comparação. Segundo dados do Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte - PlanMob-BH, realizado pela BHTRANS, apresentado em 2011, Belo Horizonte apresenta uma movimentação diária de 19 mil viagens de caminhões, sendo a maioria delas viagens de atravessamento, que não têm como destino o município. Dessas viagens, 2.029 são destinadas a Belo Horizonte. A TAB. 5.6 apresenta os dados do PlanMob (2010).

TABELA 5.6: Origem e destino das viagens realizadas por caminhão.

| Origem \ Destino | Belo Horizonte | RMBH | Outros | Total |
|------------------|----------------|-------|--------|--------|
| BH | 5 | 56 | 1.570 | 1.631 |
| RMBH | 67 | 299 | 4.985 | 5.351 |
| Outros | 1.957 | 4.158 | 5.968 | 12.078 |
| Total | 2.029 | 4.513 | 12.523 | 19.060 |

Fonte: PlanMob (2010).

Cruzando essas informações, com os dados levantados por Oliveira *et al.* (2011), tem-se que 42% das viagens são devidas ao transporte de alimentos e bebidas na área central. Expandindo-se essa proporção para o município, equivale a 852 viagens. O valor encontrado para as viagens atraídas corresponde a 74% desse total, o que mostra um ajuste razoável do modelo utilizado. Cabe ressaltar, que a área central do município concentra 20% do número total de entregas de alimentos e bebidas calculadas para Belo Horizonte, em uma área que representa apenas 3,3% da área do município. Logo, a proporção de 42% pode estar superestimada considerando o município como um todo, havendo uma maior correspondência entre o valor calculado e o dado de referência. Reforça-se a importância da calibração com dados de contagens volumétricas atualizadas.

Em relação ao carregamento da malha viária, realizado pelo software TRANUS, as vias mais carregadas foram Avenida Amazonas, Via Expressa, Anel Rodoviário, Antônio Carlos e Cristiano Machado, como é possível observar na FIG. 5.4, o que coincide com as vias principais identificadas como trajeto dos veículos transportadores pela pesquisa de Oliveira *et al.* (2011), apresentadas no GRA . 5.3.

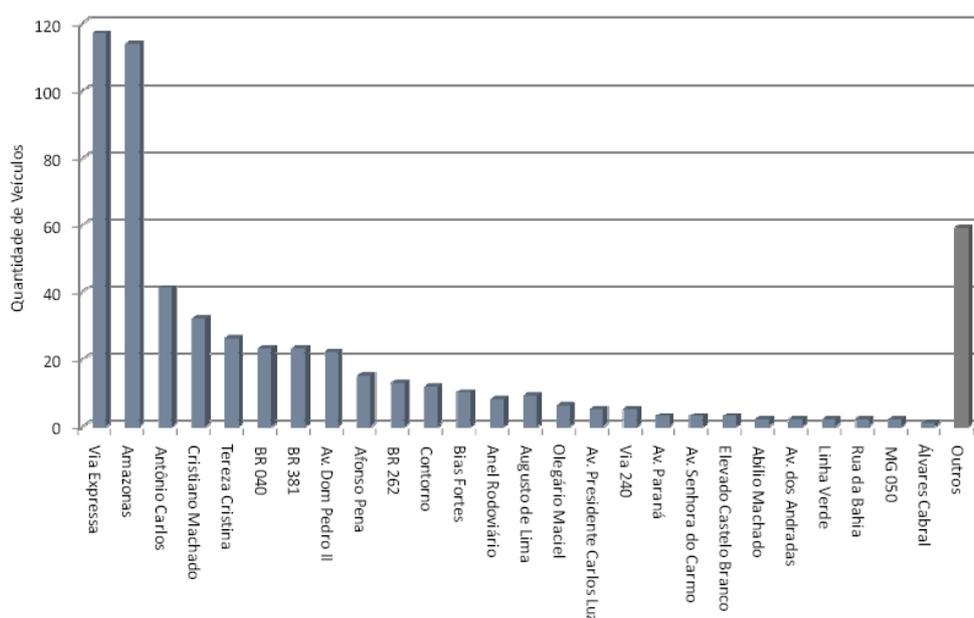


GRÁFICO 5.3: Principais vias de tráfego de veículos transportadores de carga, identificadas pelo número de veículos entrevistados que alegaram passar pela via.

Fonte: Oliveira *et al.* (2011)

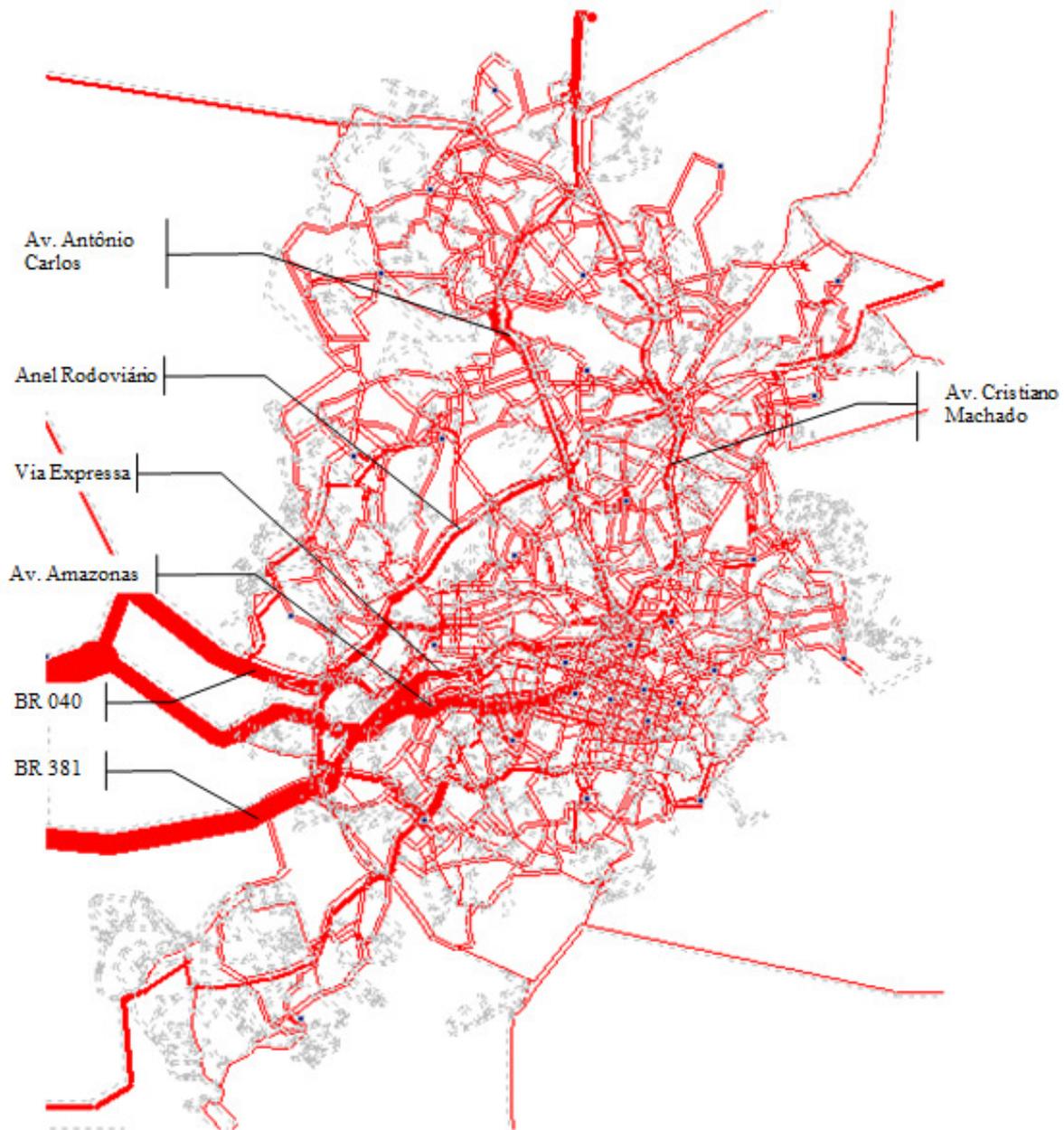


FIGURA 5.4: Carregamento da distribuição de cargas dos setores alimentos e bebidas em Belo Horizonte. Fonte: elaboração própria.

Os resultados encontrados se mostram coerentes, dentro dos limites em que é possível comparar com dados de campo. Apesar de não ter sido realizada a última etapa de calibração dos volumes, foi possível avaliar a matriz OD estimada, que alcançou um bom ajuste para modelos baseados apenas em dados secundários.

O princípio utilizado para a distribuição das viagens se baseia na relação de produção e consumo derivada das atividades desenvolvidas em locais geograficamente identificados. Esse princípio se mostra bastante consistente para a análise dos fluxos de carga, analisados por segmento econômico, uma vez que é possível identificar objetivamente os estabelecimentos comerciais

envolvidos na dinâmica de fluxos, e de se trabalhar com uma amostra muito completa, abarcando praticamente todos os estabelecimentos comerciais do município.

Devido à indisponibilidade de dados de contagem volumétrica atualizados para esse estudo, não foi possível realizar o último passo da metodologia proposta, que se refere justamente ao ajuste dos volumes calculados em relação aos volumes verificados em campo. Em contrapartida, as etapas propostas para realização desse ajuste são consolidadas e amplamente conhecidas na Literatura, através da utilização de softwares específicos. Ressalta-se que o software TRANUS não permite fazer esse ajuste internamente, portanto os dados devem ser trabalhados com auxílio de outro software.

Os dados conhecidos de volumes são relativos ao município como um todo, não sendo específicos para os setores analisados, dificultando análise comparativa dos resultados. Ainda assim, é possível avaliar a adequação do modelo de geração de viagens utilizado, que se mostrou adequado ao município de Belo Horizonte. Nesse estudo, foram utilizados modelos já reconhecidos na Literatura, e foi sugerida uma pesquisa complementar, para os casos em que o modelo não se ajustar corretamente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade do sistema de distribuição urbana de cargas se reflete no conflito de interesses entre os diversos atores envolvidos e na difícil tarefa de administrar a necessidade de entrega de mercadorias e as externalidades negativas decorrentes. Entender a dinâmica de fluxos se torna cada vez mais importante para a implantação de políticas públicas capazes de estabelecer um ponto de equilíbrio nesse complexo sistema.

Os instrumentos de planejamento que podem auxiliar no processo de planejamento, como a matriz OD, são tradicionalmente dispendiosos, e requerem um prazo relativamente grande de execução. Pesquisas para o desenvolvimento de métodos alternativos aos tradicionais apresentam uma grande relevância, pois podem permitir o avanço nas discussões de políticas de planejamento, sem requerer um investimento financeiro tão significativo. A metodologia proposta contribui para esse desenvolvimento ao ampliar as opções de ferramentas para o planejamento, menos dependentes de aquisição de dados primários, os quais são de difícil obtenção.

De maneira geral a metodologia proposta se mostrou aplicável, uma vez que foi possível determinar os fluxos de origem/destino, partir dos dados do Cadastro Municipal de Contribuintes.

O tratamento de dados secundários do Cadastro Municipal de Contribuintes possibilitou a estruturação da dinâmica de distribuição de cargas. Conhecendo-se a localização, a descrição da atividade e uma variável explicativa do modelo de geração de viagens para cada estabelecimento, foi possível desenhar os canais de distribuição do segmento de carga em estudo e aplicar um modelo para estimativa de fluxos.

Além disso, a forma como a metodologia foi proposta, tendo como dado de entrada a utilização de uma base do cadastro municipal, permite sua aplicação para outros municípios e outros segmentos de carga, uma vez que esse tipo de base reúne informações sobre diversos segmentos. No entanto, a aplicação da metodologia requer alguns cuidados, uma vez que a qualidade dos resultados está diretamente ligada à qualidade da base de dados utilizada. Deve ser dada devida atenção às limitações dos dados em relação ao segmento em análise. Nesse estudo, foram considerados os segmentos de bebidas e alimentos, sendo analisados estabelecimentos atacadistas e de produção alimentícia, associados à produção, e estabelecimentos como bares, restaurantes, supermercados e comércio de produtos alimentícios, como consumidores. Trata-se de estabelecimentos em que o consumo acontece no local do estabelecimento, e o dado de área, utilizado na etapa de geração de viagens, encontra-se associado ao local do estabelecimento. Para determinados segmentos, pode haver distorções em relação à base de dados e à dinâmica de

consumo, como por exemplo, no setor da construção civil. Para esse setor, o dado de área está relacionado à sede da construtora, e não ao local onde efetivamente está ocorrendo a obra.

Em relação aos modelos de atividades, o estudo apresenta uma ampliação das possibilidades de aplicação para avaliação de fluxos de cargas. Esses modelos se mostram coerentes e relevantes para fluxos logísticos, uma vez que o foco passa a ser identificar as relações geradoras da demanda de transporte, variáveis de acordo com o segmento. Isso permite que a dinâmica de transporte de carga seja vista como parte do contexto urbano, determinada pelas relações urbanísticas, e não mais como um sistema isolado. Essa visão sistêmica contribui para o planejamento integrado da cidade, incorporando suas diversas dimensões.

A aplicação do software TRANUS para estimar o fluxo de viagens de carga mostrou-se viável com os dados disponíveis, apesar de ter requerido algumas simplificações e adaptações, como o cálculo de geração de viagens externamente ao software. A validação dos resultados obtida com a aplicação do software para fluxos de carga foi compatível com a de outras aplicações realizadas para transporte urbano de passageiros em várias cidades do mundo.

O estudo desenvolvido alcançou, portanto, os objetivos propostos, e algumas considerações podem ser feitas em relação a novas aplicações da metodologia proposta e desenvolvimento de futuros trabalhos:

- Ressalta-se que, em outras aplicações, o resultado final pode ser ainda melhorado a partir da integração de outros segmentos e de dados de contagem volumétrica classificada, viabilizando um ajuste final da matriz OD a partir da alocação.
- Ressalta-se também a importância de se aferir a etapa de geração de viagens à realidade do município. Essa aferição não foi possível de ser feita nessa aplicação, devido à dificuldade, já conhecida, de se coletar dados primários relativos à movimentação de cargas.
- Considera-se como uma importante vantagem da metodologia proposta o ganho de tempo e de custo para construção de um instrumento importante para a prática do planejamento urbano e de transportes. Esse ganho se sobrepõe às limitações do método, relacionadas à qualidade da base de dados, tipo de segmento e aferição da etapa de geração de viagens. Outra vantagem corresponde à utilização de instrumentos já consolidados como rotina nos arquivos de dados municipais, empregando uma nova função para eles, o que traz um incentivo para o aperfeiçoamento dessas bases.

- Recomenda-se para trabalhos futuros que os modelos de geração de viagens sejam avaliados por meio de entrevistas, como sugerido no Apêndice D. Ressalta-se que a pesquisa sugerida requer apoio de órgãos públicos ou representantes de classe para obtenção de uma amostra significativa, o que não foi possível alcançar nesse estudo. Esse apoio é necessário, dada a dificuldade de se conseguir informações sobre volumes de carga transportada, uma vez que informações relacionadas à Logística Urbana são vistas como estratégicas pelos atores envolvidos.
- Ainda em relação à geração de viagens, trabalhos futuros devem investigar a estruturação das quatro etapas utilizando o software TRANUS, desenvolvendo os parâmetros necessários para construção do modelo.
- A aplicação realizada focou o canal de distribuição entre atacadistas e varejistas devido a limitações dos modelos de geração adotados. No entanto, a base de dados permite estruturar a cadeia completa, o que se recomenda para futuros trabalhos.
- Outra questão relevante que não foi abordada no estudo e merece uma investigação mais criteriosa é a inclusão do uso do solo na modelagem. Essa investigação é extremamente pertinente, uma vez que, em função da flexibilização de parâmetros de uso do solo, se tem observado um processo de desconcentração de atividades, impactando na dinâmica de distribuição de mercadorias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. R. C. Planos diretores participativos na RMBH: experiências de planejamento local em municípios metropolitanos. In: SEMINÁRIO DE EXPERIÊNCIAS EM PLANOS DIRETORES PARTICIPATIVOS E DE REGULAÇÃO FUNDIÁRIA, 2007, Blumenau. Santa Catarina. Disponível em:

<http://www.furb.br/neur/cd/conteudo/artigos/PD05_artigo_neur_2007.pdf>. Acesso em: 15 set. 2012.

ALMEIDA, A. M. P. Sistemas de canais de distribuição: um estudo de caso na indústria alimentícia mineira. Caderno de pesquisa em administração. V. 1, nº 8, São Paulo. 1999.

AMBITE, J. L. *et al.* Integrating heterogeneous data sources for better freight flow analysis and planning. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD ANNUAL MEETING, 2003.

AMBROSINI, C. e ROUTHIER, J. Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison. *Proceedings of 9th World Conference on Transport Research*, Seoul. 2001.

ARRUDA, F. S. *Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação uso do solo e transportes no contexto brasileiro*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BANDEIRA, J. F. M. Modelo de uso do solo de Aveiro: impacto na mobilidade e qualidade do ar. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. 2009.

BHTRANS; LOGIT CONSULTORIA. *Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte. 2010.

BOERKAMPS, J. H. K.; BINSBERGEN, A. J. V.; BOVY, P. H. L. Modeling Behavioral Aspects of Urban Freight Movement in Supply Chains. *Transportation Research Record*, p.17-25, 2000.

BOLLAND, J.; WEIR, D.; VINCENT, M. Development of a New Zealand national freight matrix. *Land Transport New Zealand Research Report*. V. 283. 110 p. 2005.

CASCETTA, E. Transportation Systems Engineering: Theory and Methods. *Kluwer Academic Press*. 2001.

D'AGOSTO, M. A.; SOUZA, C. D. R.; CAMPOS, V. B. G. Modelos de Geração de Viagem para Polos Geradores de Viagens de Cargas. *Cadernos Polos Geradores de Viagens Orientados à Qualidade de Vida e Ambiental*. Rede Ibero-Americana de Estudos em Polos Geradores de Viagens. 2010.

DE LA BARRA, T. *Formulación Matemática de TRANUS*. Modelística. 2012.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. Brasil. 2012.

DUTRA, N. G. S. *O enfoque de "city logistics" na distribuição urbana de encomendas*. Tese doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HARRIS, R. L. e LIU, A. Input – output modelling of the urban and regional economy: the importance of external trade. *Regional Studies*, 32(9). 1998.

HOLGUIN-VERAS, J. *et al.* Freight generation, freight trip generation, and the perils of using constant trip rates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, p. 68-81, 2011.

IBGE. Censo Demográfico. Brasil. 2010.

IDING, M. H.E.; MEESTER, W.J.; TAVASSZY, L.A. Freight trip generation by firms. In: EUROPEAN CONGRESS OF THE REGIONAL SCIENCE ASSOCIATION DORTMUND, 42, 2002.

KAWAMOTO, E. *Análise de sistemas de transportes*. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes, 2008.

LAWSON, C. *et al.* Estimation of freight trip generation based on land use. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD ANNUAL MEETING, 2012.

LOGWEB. Operações logísticas requerem cuidados especiais.2010. Disponível em: <http://www.logweb.com.br/novo/conteudo/noticia/23357/operacoes-logisticas-requerem-cuidados-especiais> Acesso em: 17 de jan. de 2012

MELO, I. C. B. *Avaliação da demanda por transporte de carga em áreas urbanas*. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002.

MODELÍSTICA. A guide to the application of the TRANUS modeling system to the city of Swindon, UK. Modelística, 2009.

MUNUZURI, J. *La logística urbana de mercancías: soluciones, modelado y evaluación*. Tese de doutorado, Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla, 2003.

MUNUZURI, J. *et al.* Estimation of an origin-destination matrix for urban freight transport. Application to the city of Seville. In: TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G. (Ed.) *Logistics Systems for Sustainable Cities*, Elsevier. 2004.

NGUYEN-LUONG, D. An integrated land use-transport model for the Paris Region (SIMAURIF): Ten lessons learned after four years of development. IAURIF/DTI/DNL. 2008. Disponível em: http://web.mit.edu/11.521/proj08/readings/D_Mes_documentsDNLpredit3ERSA_2008article_SIMAURIF_10_lessons.pdf . Consultado em Janeiro/2012

OGDEN, K. W. *Urban goods movement: a guide to policy and planning*. 1ª Edição. Inglaterra: Editora Ashgate, 1992. 397 p.

OLIVEIRA, L. K.; DIAS, E. G.; HOFFMAND, D. *Diagnóstico do uso das vagas de carga e descarga e identificação dos principais fluxos logísticos na Região Central de Belo Horizonte*. Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Belo Horizonte, 2011.

OPPENHEIM, N. *Urban Travel Demand Modeling*, John Wiley & Son, New York, 1994.

ORTÚZAR, J. DE D.; WILLUMSEN, L.G. *Modelling Transport*. John Wiley & Sons Ltd. England, 375 p, 1990.

PAIVA, C. *Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego*. ANTP. 2010.

PARSONS BRINCKERHOFF QUADE & DOUGLAS, INC.; URBAN ANALYTICS, INC. Development and Calibration of the Statewide Land Use-Transport Model. *Transportation and Land Use Model Integration Program Phase II, Task 2.3*. New Mexico, USA, 1999.

PBH. *BH 100 anos – Uma lição de história*. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2010. Disponível em:

http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=historia&tax=11794&lang=pt_BR&pg=5780&taxp=0 Acesso em: 10 de ago. de 2012.

REGAN, A. C.; GARRIDO, R. A. Modelling freight demand and shipper behavior. State of Art, Future directions. In: PREPRIATS OF IATBR, Sydney. 2000.

ROSENBAUM, A. S.; KOENING, B. E. *Evaluation of modeling tools for assessing land use policies and strategies*. Systems Applications International, Inc. 1997. Relatório Técnico Disponível em: <http://www.epa.gov/oms/stateresources/policy/transp/landuse/lum-rpt.pdf>

RUSSO, F.; COMI, A. Demand Models for City Logistics: a State of the Art and a Proposed Integrated System. In: TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G. (Ed.) *Recent Advances in City Logistics*. Elsevier, p.91-106. 2005.

RUSSO, F. Italian Models: Application and Planned Development. In: LUSDQVIST, L.; MATTSSON, L.G. S. (Ed.) *National Transport Models*. VERLAG, Berlin. 2001.

SOUZA, C. D. R; SILVA, S. D.; D'AGOSTO, M. A. Modelos de geração de viagens para polos geradores de viagens de cargas. *Transportes*, v. XVIII, n. 1, p. 46-57. 2010.

TABOADA, C. *Introdução aos processos logísticos*. Aula ministrada. Curitiba, 2006.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R.G.; YAMADA, T. Modelling city logistics. In: TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G. (Ed.) *City logistics*. Institute of Systems Science Research, Kyoto, 1999.

VICHIENSAN, V.; SATO, K.; MIYAMOTO, K.; KITAZUME, K. *Introduction of land use model to improve travel demand forecasting in a metropolitan area: A case of Trans application to Sapporo*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, V. 5. 2003.

WISSETJINDAWAT, W. *et al.* Micro-simulation model for modeling freight agents interactions in urban freight movement. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD ANNUAL MEETING. Washington D. C. 2007.

APÊNDICE A

Resumo da formulação matemática das etapas da modelagem, mais relacionadas à aplicação deste trabalho, descritas detalhadamente por De La Barra (2012). Serão utilizados os seguintes termos:

| Componente | Descrição |
|--------------------------------|---|
| Cenário | Momento no tempo com determinada combinação de características socioeconômicas e de transporte. |
| Setor | Grupo homogêneo de atividades sociais ou econômicas. Exemplo: domicílios classificados por renda ou atividades econômicas agregadas por tipo. |
| Zona | Polígonos em que a área de estudo é dividida para representar a localização das atividades socioeconômicas |
| Categoria de Transporte | Grupo de usuários de transporte que compartilha características semelhantes em termos de preferência por diferentes meios de transporte |
| Modo | Uma combinação de operadores que determinada categoria de usuário de transporte pode utilizar para realizar uma viagem |
| Operador | Grupo homogêneo de meios de transporte com características de operação similares. Exemplo: automóvel, ônibus. |

A1 - Geração de demanda induzida

O modelo se constrói a partir de relações de demanda entre os setores. O modelo contempla funções de demanda fixa, demanda variável (elástica) e a possibilidade de incluir bens substitutivos. O solo é um típico bem substitutivo quando se distinguem vários tipos como unifamiliar, multifamiliar, rural, etc. A equação de consumo é dada da seguinte forma:

$$a_i^{mn} = \min^{mn} + (\max^{mn} - \min^{mn}) \cdot e^{(-\delta^{mn} U_i^n)} \quad (17)$$

Onde:

a_i^{mn} é a quantidade do setor n demandada por uma unidade do setor m na zona i

\min^{mn} é a quantidade mínima de n requerida por uma unidade de produção m

\max^{mn} é a quantidade máxima de n que está disposta a consumir o setor m

δ^{mn} é a parâmetro de elasticidade de m ao custo do insumo n

U_i^n é a desutilidade de consumo de n em i

Para considerar a presença de substituição, usa-se a equação:

$$S_i^{mn} = \frac{e^{-\delta \tilde{U}_i^{mn}}}{\sum_k e^{-\delta \tilde{U}_i^{mk}}} \cdot \forall k, n \in K^n \quad (18)$$

Onde:

K^n é o conjunto de todos os setores substitutos de n

\tilde{U}_i^{mn} é a utilidade escalada no modelo de substituição, definida como:

$$\tilde{U}_i^{mn} = \frac{a_i^{mn} \tau_i^n \omega^{mn}}{[\min_k (a_i^{nk} \tau_i^n \omega^{nk})]^{\theta^m}} \quad (19)$$

Onde:

$a_i^{mn} \tau_i^n$ é a quantidade de n que o setor m está disposto a consumir na zona i multiplicado pelo custo de n em i

ω^{mn} é o fator de penalização

$[\min_k (a_i^{nk} \tau_i^n \omega^{nk})]^{\theta^m}$ o denominador escalona as utilidades ao dividi-las pela melhor opção, de menor custo

θ^m estabelece o nível de escalonamento

A quantidade de insumo n demandada pelo setor m na zona i será então definida por:

$$D_i^{mn} = (X_i^{*m} + X_i^m) a_i^{mn} S_i^{mn} \quad (20)$$

A demanda total de insumo n em uma zona i se obtém somando o consumo de todos os setores m que o demandam mais possíveis demandas exógenas:

$$D_i^n = \sum_m D_i^{mn} + D_i^{*n} \quad (21)$$

Onde:

D_i^n é a demanda total de n na zona i ;

D_i^{*n} é a demanda exógena de n em i .

Na primeira iteração só há produção exógena no sistema e a induzida é gerada pelo consumo desta. Nas iterações sucessivas se agrega o consumo dos setores induzido nas iterações prévias.

A2 - Cálculo do Custo de Produção

O custo de produção é o custo do consumo dos insumos necessários para produzir uma unidade de m na zona i somado ao valor da produção.

$$c_i^m = \left(\sum_n D_i^{mn} \tilde{c}_i^n \right) + VA_i^m \quad (22)$$

Onde:

\tilde{c}_i^n é o custo de consumo do insumo n na zona i

VA_i^m é o valor agregado à produção de m.

A3 - Distribuição da produção induzida

Uma vez determinada a demanda total de cada setor, se procede a distribuição espacial das compras, desde os locais de consumo até os de produção. Se um setor não é transportável, toda a produção se aloca à mesma zona em que se demanda. Se o setor é transportável, se realiza o processo de distribuição da produção com uma função logit, utilizando a utilidade marginal das opções de localização. A desutilidade é dada por:

$$U_{ij}^n = \lambda^n (p_j^n + h_j^n) + t_{ij}^n \quad (23)$$

Onde:

p_j^n é o preço de produção do setor n na zona de produção j

h_j^n é o preço sombra de produção do setor n na zona de produção j

t_{ij}^n é a desutilidade de transporte para o setor n desde a zona de produção j à zona de consumo i

λ^n é um parâmetro que regula a importância relativa dos preços e a desutilidade de transportes em função da utilidade

O modelo calcula o preço sombra na calibração. Os valores resultantes contêm mais ajustes por relações não modeladas, portanto, quanto mais detalhado for o modelo de atividades, menor será o preço sombra em valor absoluto.

Os resultados são divididos pela utilidade da melhor opção e então se obtêm utilidades escalonadas. É então calculada a probabilidade de cada zona j localizar a produção do setor n demandado em i:

$$Pr_{ij}^n = \frac{(A_j^n)^{a^n} \cdot e^{-\beta^n \tilde{U}_{ij}^n}}{\sum_j (A_j^n)^{a^n} \cdot e^{-\beta^n \tilde{U}_{ij}^n}} \quad (24)$$

$$X_{ij}^n = D_i^n Pr_{ij}^n \quad (25)$$

Onde:

X_{ij}^n é a produção de n que se localiza na zona j induzida pelas atividades de i

A_j^n é o atrator para a produção de n na zona j

a^n é um parâmetro que regula a importância relativa do atrator à função de utilidade na localização do setor n

\tilde{U}_{ij}^n é a utilidade marginal de localização da produção de n na zona j para suprir a demanda da zona i

β^n é o parâmetro que regula a distribuição na função logit

Se a zona de consumo i é interna, a distribuição se realiza para todas as zonas, internas ou externas, se a zona de consumo é externa, a distribuição se realiza só entre as zonas internas.

Finalmente, a produção induzida total que se localiza em uma zona é obtida somando-se todas as zonas de demanda:

$$X_j^n = \sum_i X_{ij}^n \quad (26)$$

A4 - Interface atividades e transportes

O modelo de localização produz como resultado, entre outros, matrizes de trocas socioeconômicas entre os setores. A troca entre setores transportáveis gera fluxos funcionais, dos quais se deriva a demanda de transportes. Por sua vez, o modelo de transportes estima custos e desutilidades de viagem por categoria, a partir dos quais é preciso calcular as quantidades que correspondem aos setores socioeconômicos e que geram viagens.

A4.1 - Formação de categorias de transportes

A interação entre setores socioeconômicos transportáveis gera movimento de bens ou pessoas de diversos tipos. Em uma aplicação regional, por exemplo, as interações econômicas entre setores como agricultura, minério, indústria, geram fluxo de carga. Em uma aplicação urbana, as distintas categorias de população geram fluxos de passageiros. O módulo de interface gera categorias de transporte a partir dos fluxos econômicos, em função de um conjunto de parâmetros que definem as relações existentes entre eles.

A4.2 - Fator tempo

Geralmente o modelo de atividades está definido em um espaço temporal diferente do de transportes. Em uma aplicação regional é comum que as atividades se refiram a um período anual e o transporte a um período diário. Em uma aplicação urbana, as atividades costumam se representar em períodos mensais, enquanto o transporte, em período diário ou hora pico.

Para compatibilizar as unidades temporais, a interface reconhece dois tipos de fluxo: normais e habituais. Os fluxos normais são tipicamente os de carga. Por exemplo, uma troca anual entre setores produtivos implicará certo fluxo de transporte diário de mercadorias. Haverá, portanto um fator de conversão temporal que indique o fluxo de transporte diário que se deriva da transação anual. Em sentido contrário, os custos e as desutilidades que o modelo de transportes calcula são unitários (por exemplo, por tonelada transportada), sendo que não é preciso realizar transformações

para estimar os custos associados ao setor econômico que gera a movimentação. O fator volume-valor considera as toneladas associadas a cada setor.

Os fluxos habituais são tipicamente os movimentos de pessoas. A interação entre setores de emprego e população gera uma matriz emprego-residência, que não indica o fluxo, uma vez que representa pessoas que trabalham em uma zona i e vivem na zona j. A estimativa das viagens é objeto do modelo de transportes, por tanto não se aplica o fator tempo. Em sentido contrário, o modelo estima o custo por viagem ao trabalho e é preciso conhecer o gasto mensal (ou anual) dos setores que o gerou. O quadro abaixo resume a aplicação dos fatores de tempo.

QUADRO A.1: Emprego do fator tempo.

| Atividades → Transporte (fluxos) | | Transporte → Atividades (custos e desutilidades) |
|----------------------------------|-------------------------|--|
| Fluxo Normal | Divide pelo fator tempo | Ignora fator tempo |
| Fluxo Habitual | Ignora fator tempo | Multiplica pelo fator tempo |

Fonte: De La Barra (2012)

A4.3 Fator volume/valor

Os fluxos socioeconômicos no modelo atividades podem gerar diferentes tipos de fluxos por categoria de transporte. Um exemplo típico envolve o fluxo de mercadorias. Enquanto o modelo de localização representa fluxo monetário, o de transporte requer trabalhar em toneladas. O fator volume/valor multiplica os fluxos socioeconômicos antes de compor o modelo de transportes.

A4.4 Transformação dos fluxos

As transformações descritas se resumem na equação de transformação dos fluxos:

$$F_{ij}^s = \sum_n \left(X_{ij}^n \frac{vol^{ns} pc^{ns}}{temp^{ns}} + X_{ji}^n \frac{vol^{ns} cp^{ns}}{temp^{ns}} \right) \quad (27)$$

Onde:

F_{ij}^s é o fluxo da categoria de transporte s da origem i ao destino j

X_{ij}^n é a produção do setor transportável n localizada em j e demandada em i, expressão do fluxo socioeconômico entre i e j

vol^{ns} é o fator de transformação de valor a volume para o fluxo socioeconômico n que forma parte da categoria de transporte s

$temp^{ns}$ é o fator de transformação temporal entre o fluxo socioeconômico n e o fluxo de transporte s

cp^{ns} é a proporção do fluxo que se move no sentido consumo → produção

pc^{ns} é a proporção do fluxo que se move no sentido produção → consumo

A5 - Conversão de fluxos em viagens

Dentro dos componentes do modelo de transportes, o submodelo de geração tem por objetivo estimar o número de viagens decorrentes dos fluxos funcionais provenientes do modelo de localização de atividades, os quais individualmente ou agregados, formam categorias de transporte. É estimada com um modelo de geração elástico, na forma:

$$T_{ij}^s = F_{ij}^s \left[v_{min}^s + (v_{max}^s - v_{max-min}^s) e^{(-\eta^s c_{ij}^s)} \right] \quad (28)$$

Onde:

F_{ij}^s é o fluxo entre i e j da categoria de transporte s

v_{min}^s é a quantidade mínima de viagens que a categoria s realiza independente da desutilidade

v_{max}^s é a quantidade máxima de viagens que a categoria s realiza quando a desutilidade tende a zero

η^s é a elasticidade da categoria s à desutilidade de viagem

Em cada iteração, a desutilidade aumenta por efeito de congestionamento e o número de viagens entre par OD diminui, em maior ou menor proporção, conforme a elasticidade da categoria. Quando o sistema converge ao equilíbrio, a diferença entre o número de viagens estimado entre a primeira e a última iteração é a demanda reprimida, o número de viagens que não se realiza por efeito de saturação.

A6 - Divisão modal e alocação

O modelo calcula a probabilidade de escolha entre os caminhos disponíveis entre um par OD, considerando todos os custos envolvidos. São considerados três tipos de custos, decorrentes dos três agentes do sistema de transportes: usuários, operadores e administradores.

O custo ao usuário compreende componentes monetários e não monetários, que são denominados custos generalizados. São medidos por unidade transportada e interferem na estimativa de demanda e atribuição da oferta. O custo de operação é estritamente monetário e se contabilizam por veículo. Os custos de manutenção da infraestrutura, também monetários, se contabilizam por unidade de distância.

O custo ao usuário se divide em três, utilizados nas etapas de divisão e alocação: tempo de viagem, distância e transferência.

O custo relativo ao tempo de viagem inclui custos monetários e não monetários de acordo com a seguinte equação:

$$RT_m^s = tv_m \left(tt_o + \frac{ct_o tc_o}{to_o} \right) pc_o^s + tv_m (vv^s pt_m pg_o pp_o^s) , \quad o \in m \quad (29)$$

Onde:

- RT_m^s custo do tempo percebido pelo usuário da categoria de transporte s na combinação link / operador m (o,l);
- tv_m tempo de viagem do usuário no operador o , no link l , o qual é função da distância do link e da velocidade do operador;
- tt_o tarifa que o operador o cobra por unidade de tempo;
- ct_o custo de operação por unidade de tempo do operador o ;
- tc_o proporção do custo de operação que o operador o transfere ao usuário;
- to_o taxa de ocupação do operador o ;
- vv^s valor do tempo de viagem do usuário da categoria de transporte s ;
- pt_m penalização do operador o no link l ;
- pc_o^s proporção dos custos destinados aos usuários da categoria s ;
- pg_o penalização global por operador o ;
- pp_o^s penalização do operador o associada à categoria de demanda s .

A primeira parte da equação contém os elementos monetários, a segunda, os componentes não monetários, que correspondem à parte subjetiva, percebida pelo usuário, do custo generalizado.

O custo relativo à distância é composto pela tarifa por unidade de distância dos operadores e os custos de operação que são transferidos ao usuário.

$$RD_m^s = d_l \left(td_o + \frac{cd_m tc_o}{to_o} \right) pc_o^s , \quad l, o \in m \quad (30)$$

Onde:

- RD_m^s custo ao usuário por unidade de distância na combinação link / operador
- d_l distância do link l
- td_o tarifa que o operador cobra por unidade de distância
- cd_m custo de operação por unidade de distância do operador no link l
- tc_o proporção do custo de operação que o operador transfere ao usuário

to_o taxa de ocupação dos veículos do operador

pc_o^s proporção dos custos destinados aos usuários da categoria s

Os custos de transferência referem-se ao custo que o usuário tem ao embarcar em um veículo do operador, seja no início da viagem, ou ao realizar um transbordo. Além da tarifa de embarque, pode incluir custos repassados pelo operador ao usuário e o valor do tempo de espera percebido.

$$TR_m^s = \left(tf_o + \frac{cf_o tc_o}{to_o} \right) pc_o^s + te_m ve^s ; \quad o \in m \quad (31)$$

Onde:

TR_m^s custo percebido pelo usuário da categoria s ao embarcar no operador o no link l , seja seu primeiro embarque ou uma transferência

tf_o tarifa fixa cobrada do usuário pelo operador

cf_o custo fixo de operação do operador o

tc_o proporção do custo de operação transferido ao usuário pelo operador o

te_m tempo de espera por unidade do operador o no link l , calculado em relação à frequência do operador e sua relação demanda / capacidade

ve^s valor do tempo de espera da categoria de transporte s

pc_o^s proporção dos custos a cargo do usuário da categoria s

Conhecidos os custos, a desutilidade de cada caminho é o custo generalizado, a partir do qual se calcula o custo com sobreposição. O controle de sobreposição tem como função no algoritmo de busca de caminhos a produção de um conjunto de opções diferenciadas. A probabilidade de que viajantes pertencentes à categoria s escolham o caminho p para ir da zona i à zona j , pelo modo k , é dada pelo modelo multinomial escalonado:

$$P_{ijp}^{ks} = \frac{\exp(-\gamma^s \tilde{c}_{ijp}^{ks})}{\sum_p \exp(-\gamma^s \tilde{c}_{ijp}^{ks})} , \quad (32)$$

Onde \tilde{c}_{ijp}^{ks} é o custo generalizado escalonado, compensado por sobreposição e γ^s é o parâmetro de dispersão no modelo logit de escolha de caminhos. Se γ^s é grande (em valor absoluto),

se escolherá majoritariamente o caminho mínimo, se for muito pequeno, os viajantes se distribuirão em proporções semelhantes entre os caminhos disponíveis.

O custo generalizado escalonado do caminho p \hat{c}_{ijp}^{ks} compensado por sobreposição é dado por:

$$\tilde{c}_{ijp}^{ks} = \frac{\hat{c}_{ijp}^{ks}}{\left(\min_p(\hat{c}_{ijp}^{ks}) \right)^{\theta^s}}, \quad (331)$$

θ^s é o nível de escalonamento da função utilidade. A desutilidade do modo k para os usuários da categoria s se define por agregação, da seguinte forma:

$$\tilde{c}_{ij}^{ks} = -\frac{\ln Pg^{ks}}{\gamma^k} \left(\min_p(\hat{c}_{ijp}^{ks}) \right)^{\theta^s}, \quad (34)$$

A equação é multiplicada pelo custo mínimo para retornar o valor escalonado utilizado na probabilidade ao valor original.

Pg^{ks} se define como uma série da seguinte forma:

$$Pg^{ks} = \sum_p G_p \prod_{h=1}^{p-1} (1 - G_h), \quad (35)$$

Onde a função G_p é o numerador do modelo logit da equação (32).

$$G_p = \exp\left(-\gamma^s \tilde{c}_{ijp}^{nk}\right), \quad (36)$$

No processo de alocação, os viajantes por categoria e modo se alocam nos caminhos disponíveis por um modelo multinomial logit utilizando a probabilidade de cada caminho calculada na equação (32) da seguinte forma:

$$T_{ijp}^{ks} = T_{ij}^{ks} * P_{ijp}^{ks}, \quad (37)$$

O nível de utilização das unidades se define como a relação demanda / capacidade dos veículos do operador em cada link:

$$dc_m = \frac{T_m}{q_m} \quad (38)$$

A relação demanda / capacidade total em cada link é calculada dividindo-se os veículos equivalentes que o utilizam pela capacidade física, fornecida como dado de entrada.

$$DC_l = \frac{VE_l}{Q_l} \quad , \quad (39)$$

São também resultados da alocação as velocidades e tempos de espera dos operadores e o nível de serviço de cada link, calculados no processo de restrição de capacidade. A restrição de capacidade tem por objetivo equilibrar a demanda de viagens com a oferta física e operacional. O principal elemento do equilíbrio é a variável tempo, que afeta os custos. Em cada iteração o modelo compara a demanda com a capacidade e ajusta os tempos, até atingir a condição de equilíbrio. A formulação é detalhadamente descrita por De La Barra (2012).

APÊNDICE B

A seguir serão detalhados os módulos componentes do modelo TRANUS, baseado em De La Barra (2012).

B1 - Modelo de atividades

O modelo de atividades é composto pelo Menu *Land-Use*, Sectors.

No Menu *Land-Use*, inicialmente devem ser definidos os setores: atividades e o tipo correspondente. Podem ser do tipo exógeno ou endógeno (Quadro B.1). Por definição, nenhuma outra atividade pode consumir uma atividade exógena, não havendo geração de fluxo.

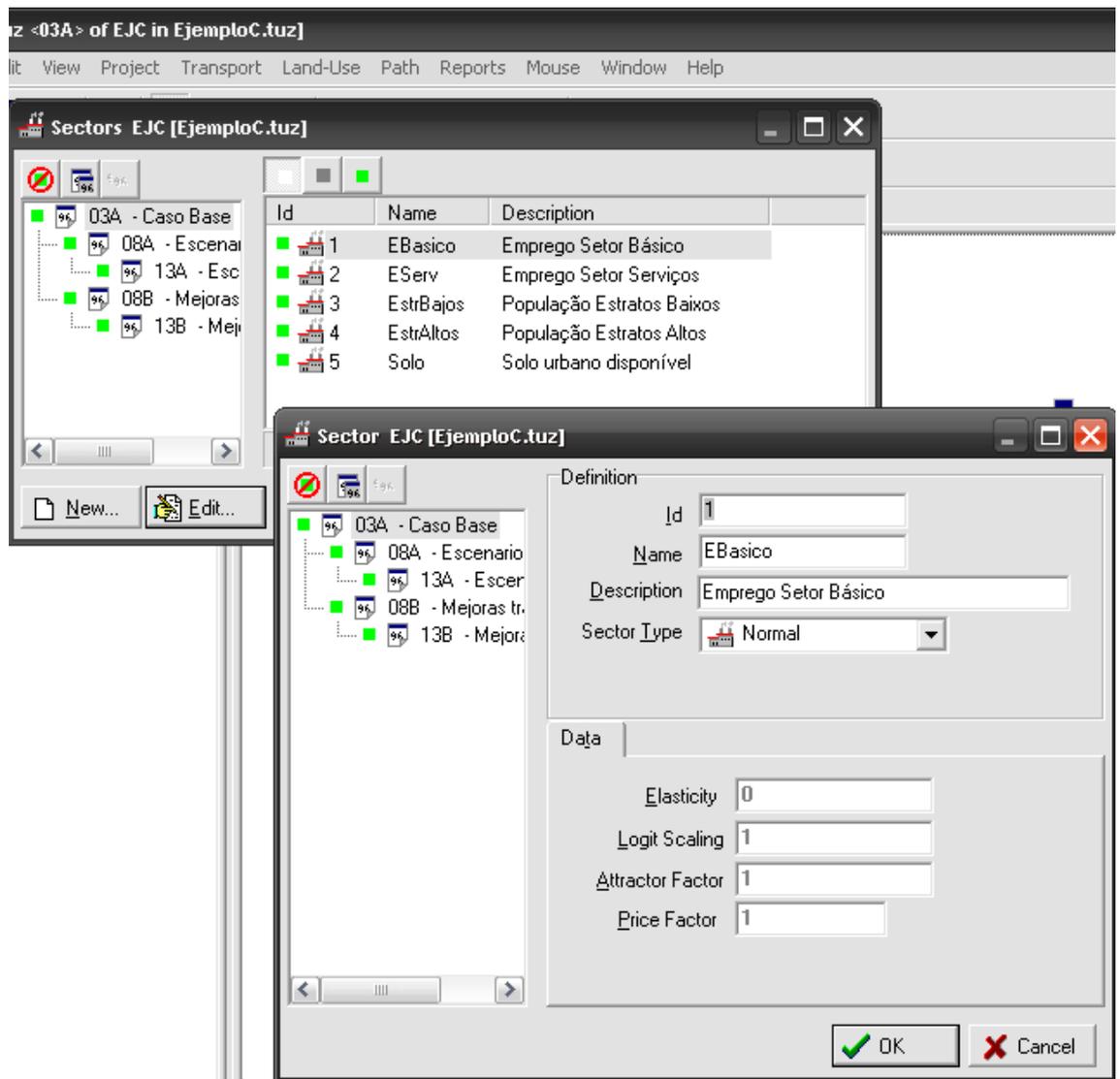
QUADRO B.1: Setores por tipo

| Activity sectors | Type |
|---------------------------|------------------------|
| 1 Indústria e agricultura | exógeno |
| 2 Emprego | exógeno |
| 3 Domicílios | Induzido por emprego |
| 4 Educação | Induzido por domicílio |

Sectors:

Podem representar setores produtivos, população, etc., sendo de dois tipos: transportáveis e não transportáveis. Os setores não transportáveis são aqueles cuja produção deve ser consumida no próprio local. Para cada setor, devem ser definidos quatro parâmetros:

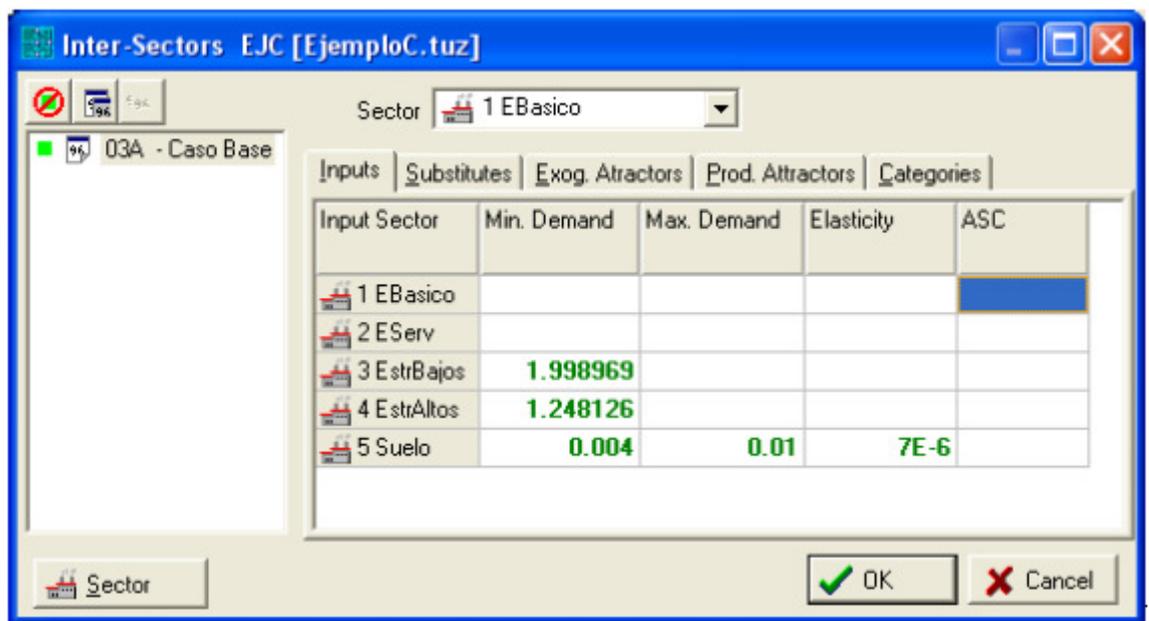
- **Elasticity:** Elasticidade é o parâmetro que multiplica a função de utilidade do logit. Corresponde ao tamanho que a alteração de uma variável (ex: preço) exerce sobre a outra (ex: demanda). Para os setores não transportáveis, exógenos ou endógenos, a elasticidade deve ser igual a zero.
- **Price Factor:** Este parâmetro multiplica o componente de preço em função de utilidade.
- **Attractor Factor:** Expoente aplicado ao resultado da função de atração no modelo de distribuição logit. O seu valor padrão é 1.
- **Logit Scale:** Indica o grau em que os ganhos são escalados sobre a utilidade da melhor escolha (entre 0 e 1).



Menu **Land-Use**:

Inter-Sectors: Define as relações entre os setores.

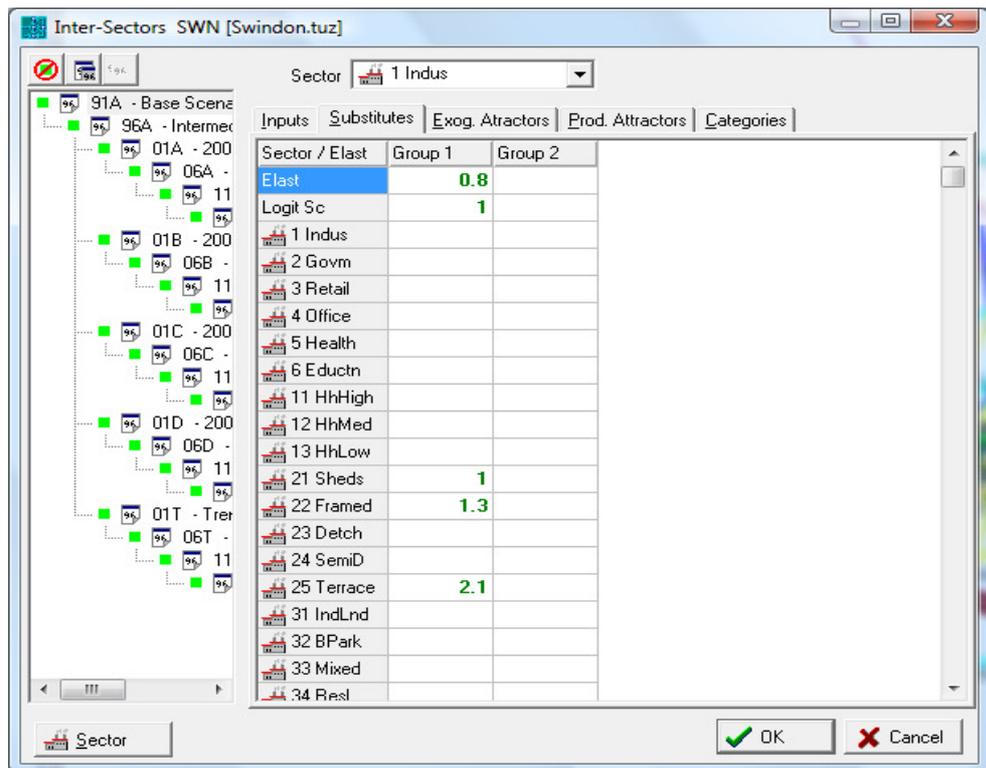
- **Minimum demand:** é a quantidade mínima necessária de n por unidade de sector m .
- **Maximum demand:** montante máximo que cada unidade setor m estaria disposta a consumir de n , quando os preços do n tende a zero.
- **Elasticity:** A elasticidade de parâmetros que regem a inclinação da curva de demanda entre o mínimo e o máximo com base no preço de n .



Os valores referentes às demandas são estudados anteriormente, devendo ser fornecidos por estudos de demanda e diagnóstico da área a ser modelada.

A elasticidade deve então ser ajustada. O ajuste é feito com um processo de calibração, no qual o modelo é gerado para uma situação conhecida, devendo ser adotado o valor de elasticidade que fornecer resultados mais próximos à realidade.

Um modelo de substituições é especificado com quatro ou mais parâmetros: elasticidade, o fator de escala logit, e pelo menos dois fatores de penalidade, cada um tem o seu substituto fator de grande penalidade, e deve haver, pelo menos, dois suplentes. Um fator de penalidade é um número positivo que multiplica as despesas, de modo que um valor menor significa maior preferência. (Com efeito, os fatores de penalidade são semelhantes aos impostos sobre as vendas que variam de acordo com o tipo de mercadoria.) fatores de penalidade de um setor não tem que somar 1. Porque só a magnitude relativa dos fatores penalidade é importante, é conveniente definir o fator de commodities mais preferido de penalidade a 1.



O modelo Transus permite a formação de categorias de transporte dos fluxos socioeconômicos em uma variedade de maneiras. Vários fluxos podem ser combinados em uma única categoria de transporte em diferentes proporções, ou uma categoria de fluxo pode ser dividida em várias categorias de transporte. Pode ser estabelecida uma relação entre os setores geradores de fluxos de atividade e categorias de transporte, como apresentado no QUADRO B.2 B.2.

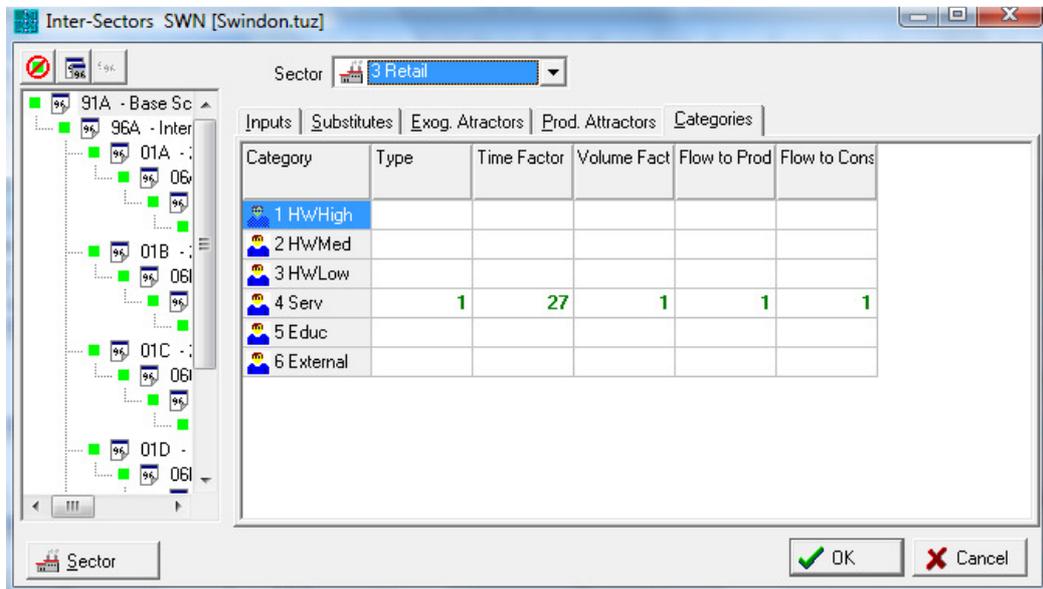
QUADRO B.2: Categorias de transporte

| Flow-generating activity sector | To transport category |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Domicílios baixa renda | Viagens a trabalho baixa renda |
| Domicílios baixa renda | Viagens a trabalho baixa renda |
| Domicílios baixa renda | Viagens a trabalho baixa renda |
| Educação | Viagens para educação |

Para cada relação de transporte e uso do solo, alguns parâmetros adicionais devem ser especificados, como pode ser visto nas figuras. São eles:

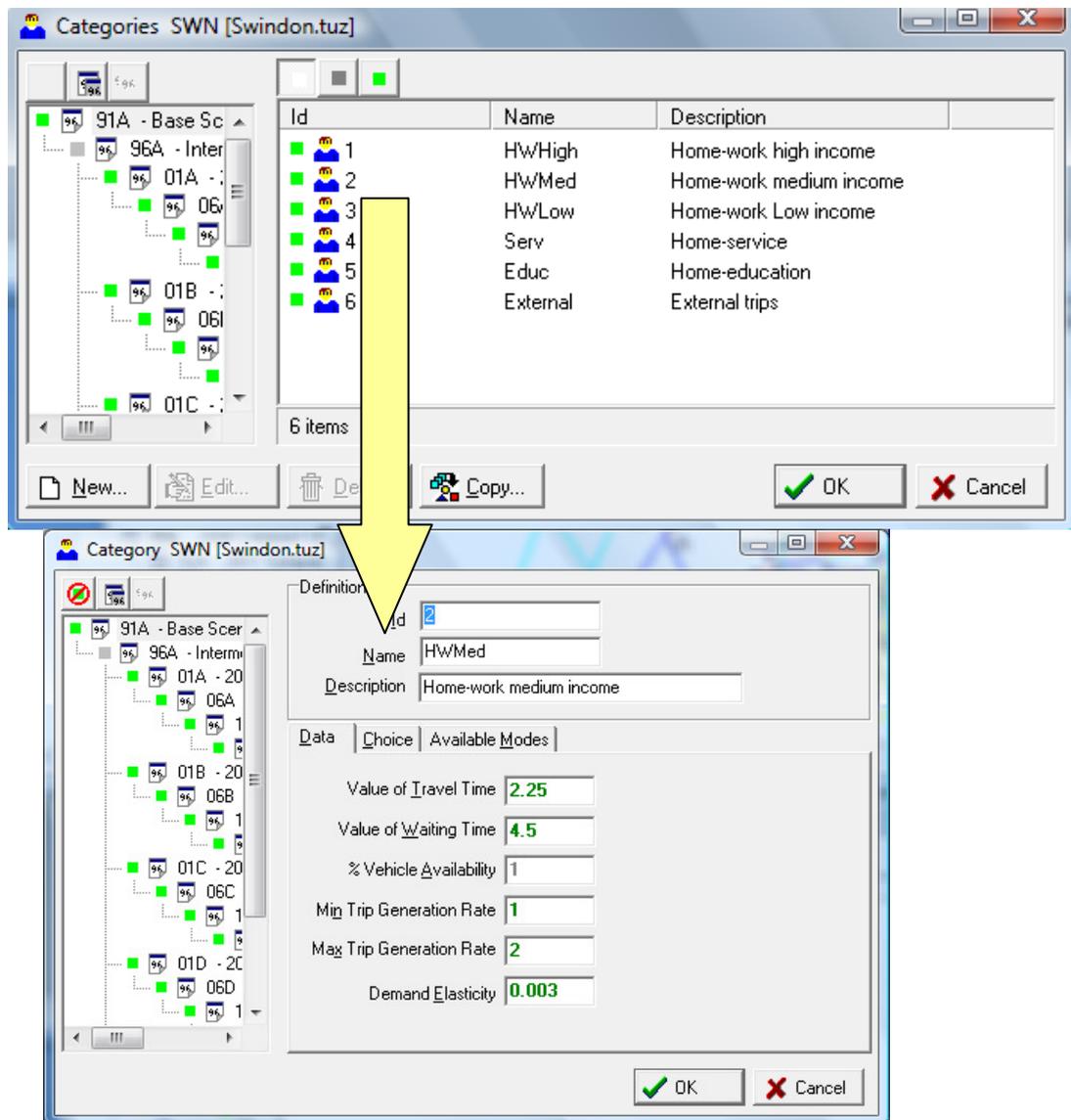
- **Tipo:** no modelo existem dois tipos de fluxos: 0 para o tipo normal e 1 para o tipo viajante. Neste caso, todos os fluxos são do tipo de viajante.
- **Fator tempo:** Define a relação entre a escala de tempo no modelo de uso do solo e do modelo de transporte. Por exemplo, se um mês for definido como unidade de tempo no módulo Uso da Terra, e um dia no transporte:

- **Fator Volume:** Isto é usado principalmente para os fluxos de produção que deram origem ao frete. Quando não há nos fluxos de transporte, um fator de 1 é aplicado.
- **Fluxo de produção / consumo:** No modelo de uso do solo os fluxos resultam de fluxos unidirecionais.



B2 - Modelo de transportes

As categorias de demanda (**Demand categories**) são definidas na janela Transport / Categories, como apresentado na Figura xx.



B2.1 Oferta Operativa

A oferta operativa no modelo tem três níveis hierárquicos: os modos, os operadores e rotas. Várias rotas podem pertencer a um operador, e vários operadores podem formar um modo. Operadores são os modos de transporte. Categorias de demanda de transporte podem usar uma ou mais formas de viajar, como definido pelo usuário do modelo.

No Transus, os operadores podem ser de três tipos: normal, trânsito com rotas e não motorizados. O tipo normal é usado para operadores que podem se mover livremente na rede. A cada operador é dado um nome, descrição e tipo.

As regras permitindo ou restringindo combinações entre operadores podem ser representadas em uma matriz De / Para, na guia Transport/Transfer, assim como o custo associado à troca modal.

| | 1 SOV | 2 HOV | 3 Bus | 4 Minibu | 5 Walk | 6 Bike | 7 RuralE | 8 Rail | 9 P&R |
|------------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|----------|--------|-------|
| 1 SOV | 0 | INF | INF | INF | INF | INF | INF | INF | 0.3 |
| 2 HOV | INF | 0 | INF | INF | INF | INF | INF | INF | 0.3 |
| 3 Bus | INF | INF | 0.16 | 0.16 | 0 | INF | 0.5 | 1.5 | 0.14 |
| 4 Minibus | INF | INF | 0.16 | 0.16 | 0 | INF | 0.5 | 1.5 | 0.14 |
| 5 Walk | INF | INF | 0.16 | 0.16 | 0 | INF | 0.5 | 1.5 | 0.3 |
| 6 Bike | INF | INF | 0.16 | 0.16 | 0 | INF | 0.5 | 1.5 | 0.3 |
| 7 RuralBus | INF | INF | 0.16 | 0.16 | 0 | INF | 0.5 | 1.5 | 0 |
| 8 Rail | INF | INF | 0.16 | 0.16 | 0 | 0 | 0.5 | 1.5 | 0 |
| 9 P&R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 1 | 0.3 |

Para cada combinação, operador/tipo de link, as velocidades de fluxo livre devem ser definidas. Em um mesmo link, ônibus e carros podem ter velocidades diferentes. Também é possível excluir um operador de um tipo de link, definindo a velocidade como 0.

Para cada operador deve ser definida a taxa de ocupação. A cada rota é atribuída uma frequência. Multiplicando ocupação por frequência, obtém-se a capacidade.

O fator tempo especifica o tempo de operação. Se a aplicação for para um dia, o fator tempo será, por exemplo, 16 horas. Caso esteja-se trabalhando com hora pico, o fator tempo será 1. O tempo mínimo de espera também deve ser definido.

Operator SWN [Swindon.tuz]

Definition

- Id:** 4
- Name:** Minibus
- Description:** Minibus
- Mode:** 1 Passengers
- Type:** Transit with Routes

Basics | Tariff | By Category | Energy | Cost | Stops

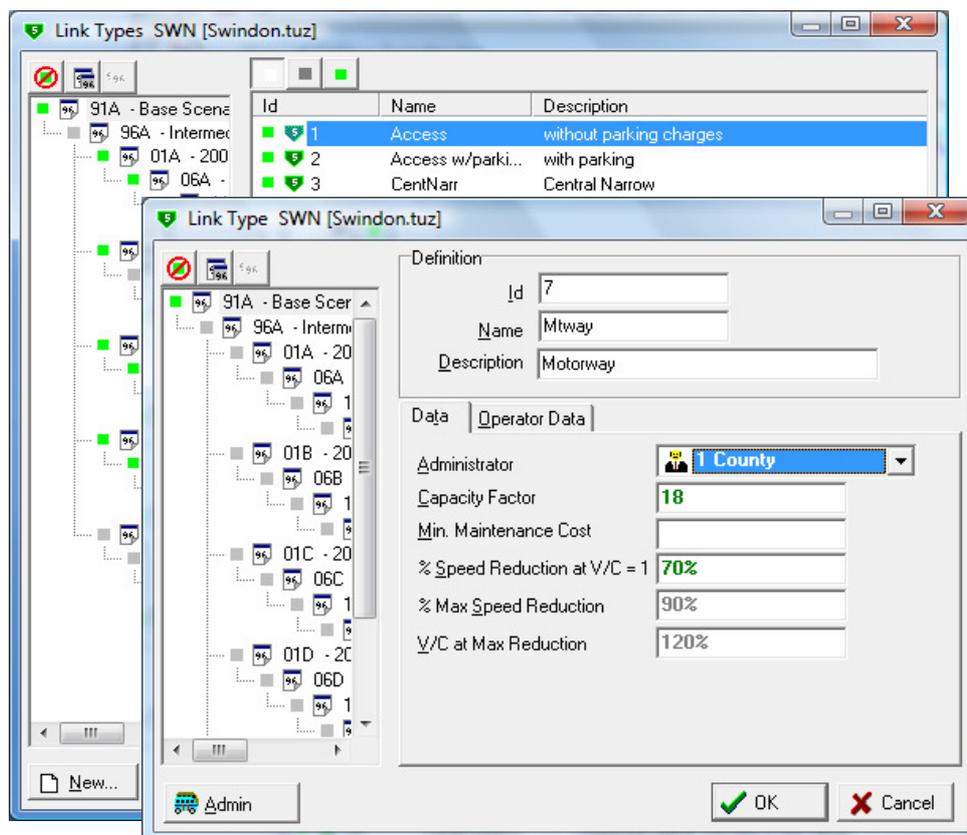
- Modal Constant:** 1.2
- Path ASC:** 0
- Occupancy:** 35
- Time Factor:** 16
- Fixed Waiting Time:** 0.08
- Target Occupancy:** 50%
- Has Return Trips:**
- % Return Trips:** 0%

Mode

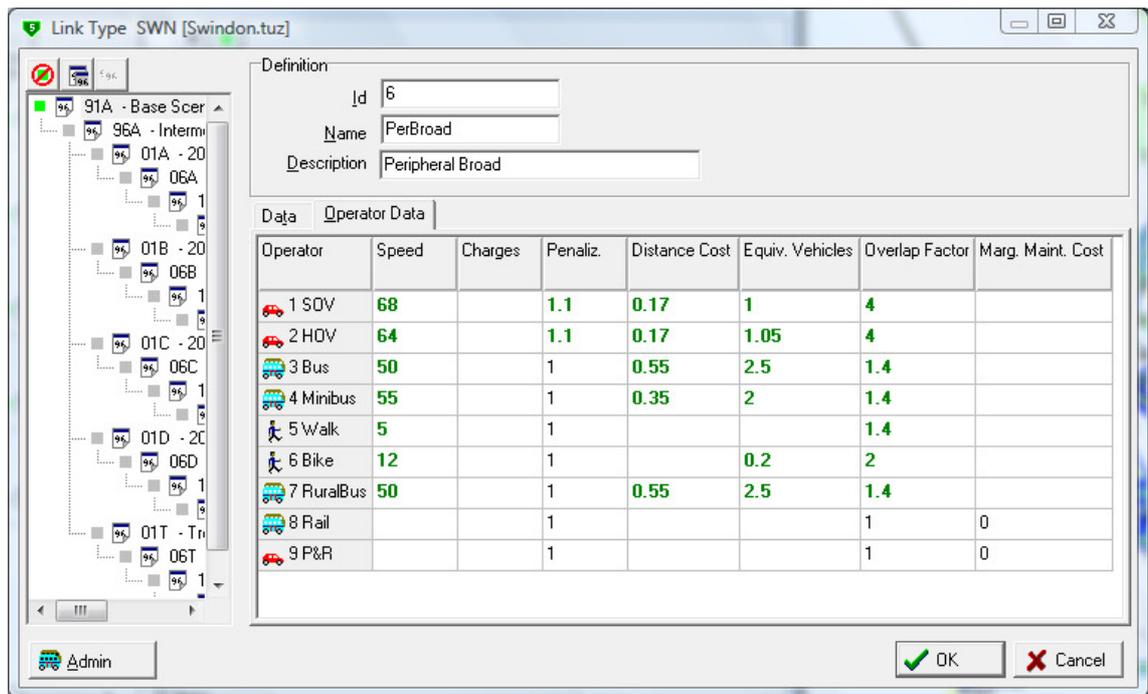
Administradores são entidades que se encarregam de partes da rede, por exemplo pagam os custos de manutenção.

B2.2 - Oferta Física

A oferta física de transportes é representada por uma rede composta de nós e links. Cada link tem um número de características associadas, como distância, capacidade, velocidade de fluxo livre etc. Para facilitar o processo, podem ser criados tipos de link com características semelhantes, através do menu Transport / Link Types.

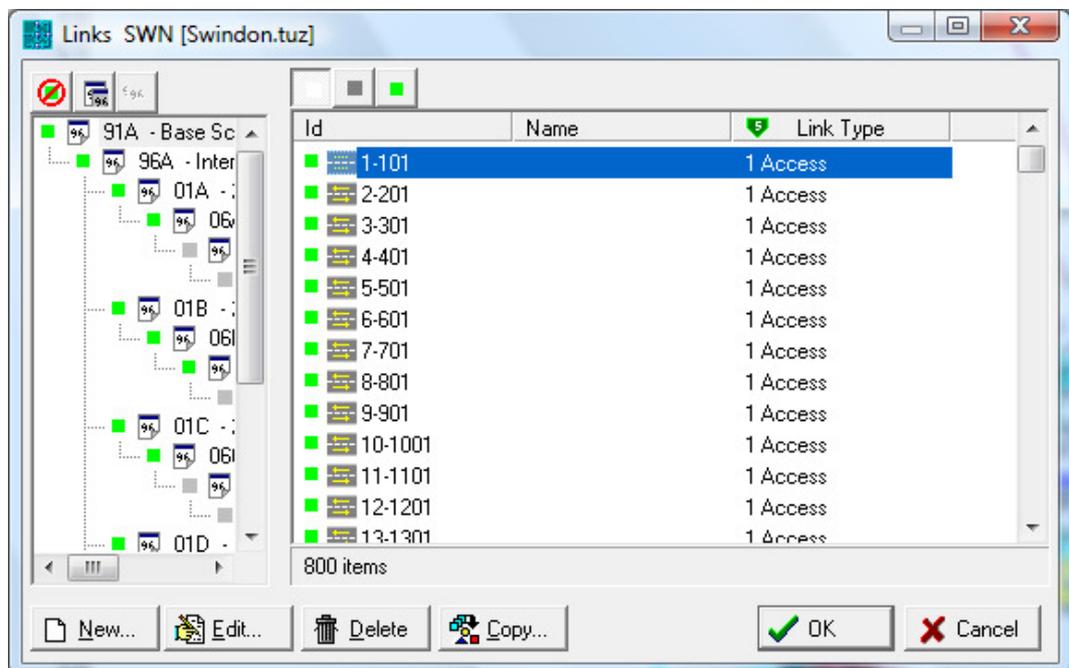


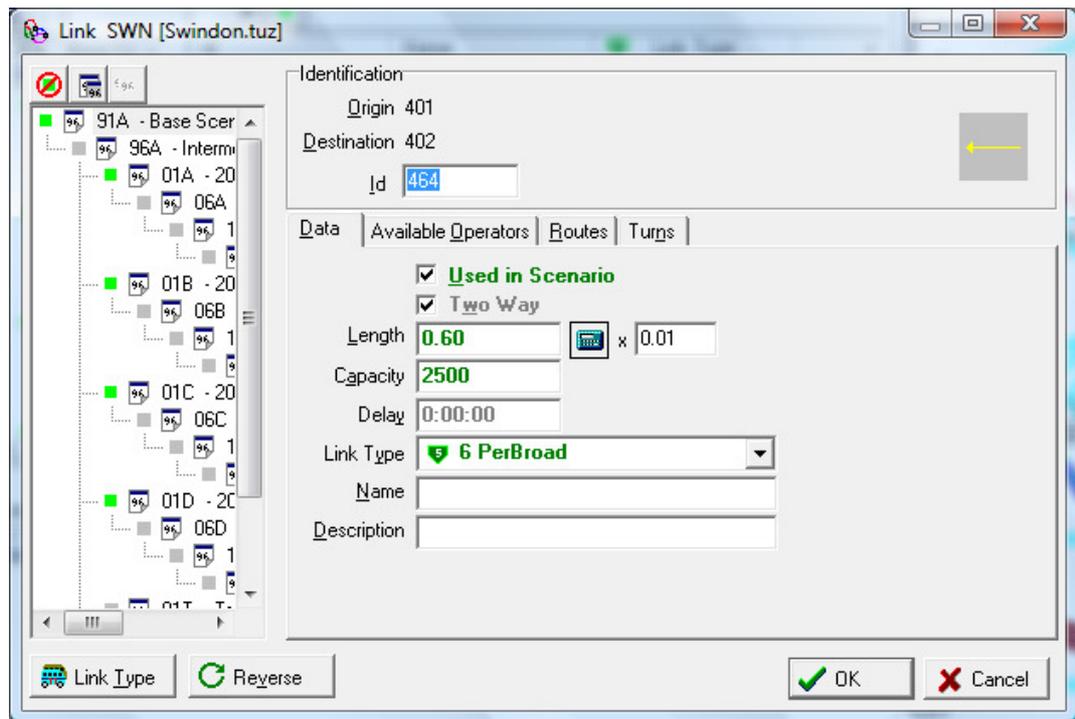
Na guia Operator Data são informadas as características dos operadores naquele tipo de link. Apenas os operadores com velocidades diferente de zero serão considerados disponíveis no tipo de link. A penalização indica preferência entre os operadores. Quanto maior o valor da penalização, menor a preferência. Distance Cost indica o custo operacional do veículo por unidade de distância. Overlapping Factor multiplica o valor do tempo em busca de caminho Um valor alto significa que o programa vai tentar que esta ligação não se repita ao longo dos trajetos.



Zonas e nós não são associados a um cenário específico. Quando um nó é criado ou apagado, ele o é em todos os cenários. O nó será definido como not used se nenhum link utilizá-lo.

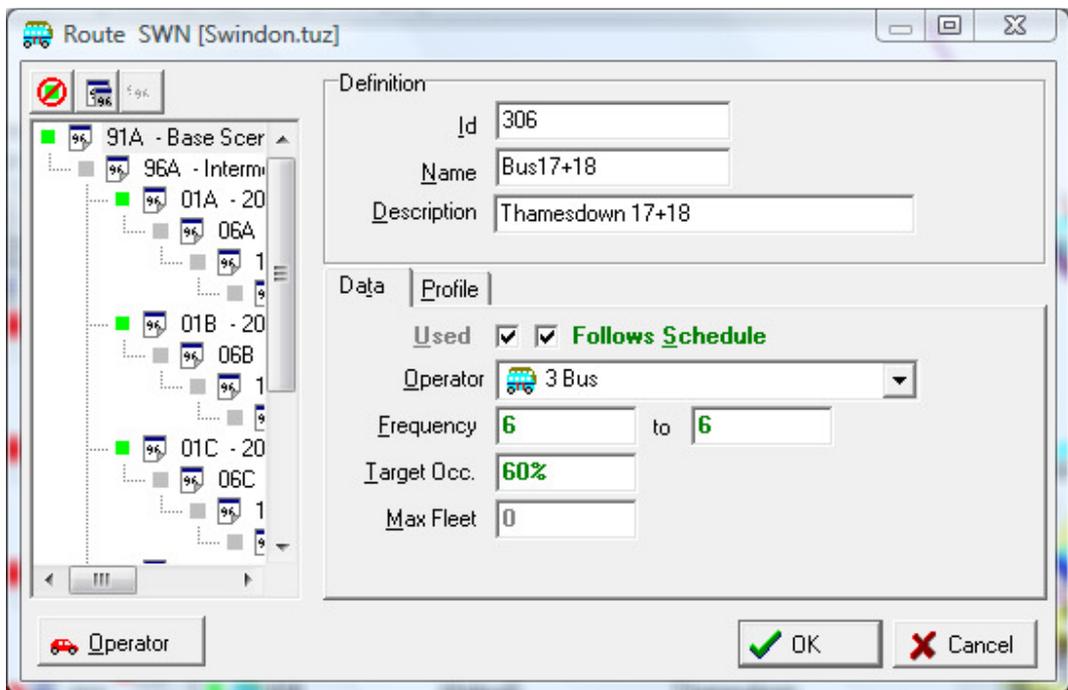
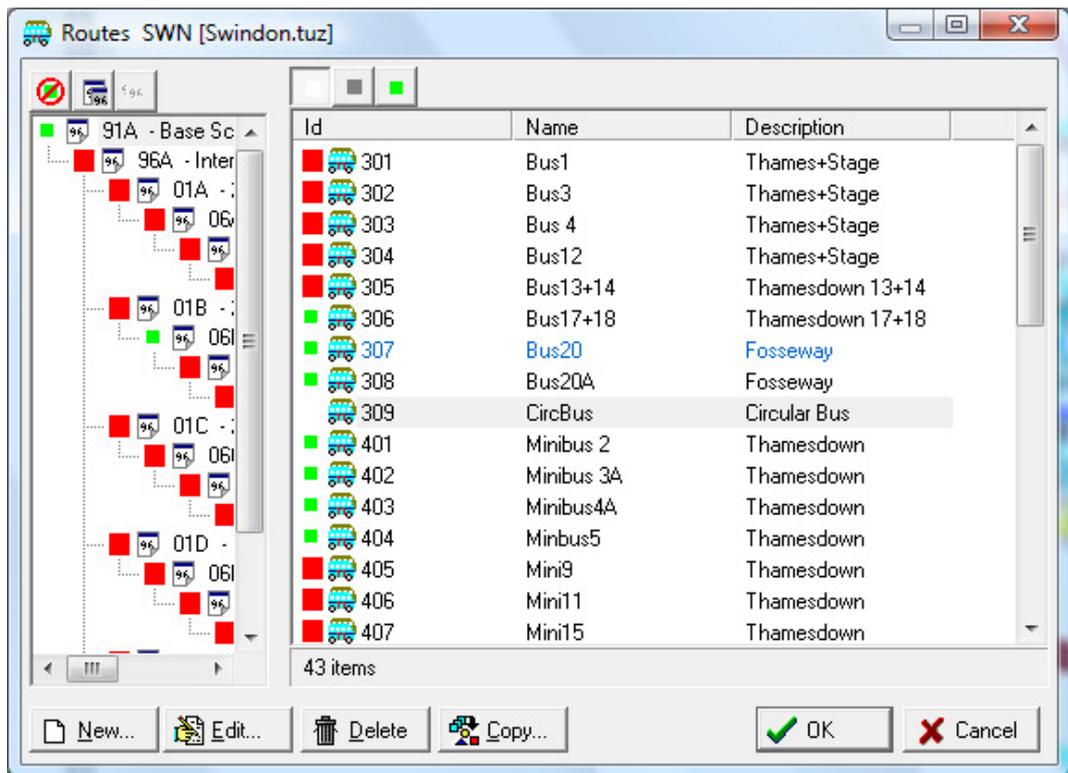
No menu Transport / Links, é possível visualizar todos os links e podem ser acessadas suas respectivas características, como capacidade, comprimento, atraso e tipo.





Na guia Available Operators serão exibidos os operadores cuja velocidade for diferente de zero para o tipo de link selecionado em Link Type.

As rotas de transporte público serão definidas no menu Transport / Routes. Na figura a seguir, Frequency indica 6 ônibus por hora. O campo Follows Schedule indica que os horários são cumpridos, logo os usuários irão esperar um tempo mínimo definido. Na guia Profile são incluídos os links pertencentes à rota. O quadrado vermelho indica que a rota está sendo usada, mas há suspeitas de que haja algum erro.



B3 - Interface atividades/transportes

B3.1 Dados de Produção

Os dados de produção devem ser especificados para cada setor e cada zona. Isso é feito no menu Land Use/ Economic Data. A forma de especificação dos dados varia de acordo com o setor.

Setor de produção exógena: a única coluna a ser preenchida é a de produção exógena. As demais não serão utilizadas no cálculo.

| | Exog. Prod. | Base Prod. | Min. Prod. | Max. Prod. | Exog. Demand | Base Price | Value Added | Attractor |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|-----------|
| 1 Peatmoore | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 Show | 98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 Greendown | 1133 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 Balgrove | 2022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 Westfields | 549 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 ChrylManor | 3036 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 Westmead | 3576 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 FlintHill | 204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 HydnWick | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 Whitworth | 515 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 Rodbourne | 108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 GtWestern | 296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Setor de produção endógena: Dado de entrada na coluna Base production. Não é muito comum, pois o programa deve calcular esses valores. No caso, ele tentará aproximar os valores modelados dos valores fornecidos. A coluna Attractors será igual a 1 se houver produção na zona, ou 0 se não houver.

Economic Data SWN [Swindon.tuz] - Sector: 12 HhMed

| | Exog. Prod. | Base Prod. | Min. Prod. | Max. Prod. | Exog. Demand | Base Price | Value Added | Atractor |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|----------|
| 1 Peatmoore | 0 | 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 Show | 0 | 810 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 Greendown | 0 | 1380 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4 Balgrove | 0 | 290 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 Westfields | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 6 ChryManor | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 7 Westmead | 0 | 270 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 8 FlintHill | 0 | 1010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 9 HydnWick | 0 | 710 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 10 Whitworth | 0 | 830 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 11 Rodbourne | 0 | 550 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 12 GtWestern | 0 | 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Setor de produção induzida: A repetição de valores nas colunas é para ajudar o modelo a alcançar uma boa simulação. O valor 2 em Value Added é um modo aproximativo de atribuir valores às construções. Os valores não são usados no ano base, mas são usados como restrições nos períodos posteriores.

Economic Data SWN [Swindon.tuz] - Sector: 25 Terrace

| | Exog. Prod. | Base Prod. | Min. Prod. | Max. Prod. | Exog. Demand | Base Price | Value Added | Atractor |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|----------|
| 1 Peatmoore | 0 | 24043 | 24043 | 24043 | 0 | 2 | 2 | 24043 |
| 2 Show | 0 | 96735 | 96735 | 96735 | 0 | 2 | 2 | 96735 |
| 3 Greendown | 0 | 193630 | 193630 | 193630 | 0 | 2 | 2 | 193630 |
| 4 Balgrove | 0 | 73893 | 73893 | 73893 | 0 | 2 | 2 | 73893 |
| 5 Westfields | 0 | 102118 | 102118 | 102118 | 0 | 2 | 2 | 102118 |
| 6 ChryManor | 0 | 19166 | 19166 | 19166 | 0 | 2 | 2 | 19166 |
| 7 Westmead | 0 | 107351 | 107351 | 107351 | 0 | 2 | 2 | 107351 |
| 8 FlintHill | 0 | 99444 | 99444 | 99444 | 0 | 2 | 2 | 99444 |
| 9 HydnWick | 0 | 29702 | 29702 | 29702 | 0 | 2 | 2 | 29702 |
| 10 Whitworth | 0 | 84762 | 84762 | 84762 | 0 | 2 | 2 | 84762 |
| 11 Rodbourne | 0 | 77122 | 77122 | 77122 | 0 | 2 | 2 | 77122 |
| 12 GtWestern | 0 | 37775 | 37775 | 37775 | 0 | 2 | 2 | 37775 |

Setor de solo: como o anterior, mas nas colunas de valores é colocado o preço do terreno.

Economic Data SWN [Swindon.tuz]

Sector: 34 ResL

Base Year | Increments

Internal Data | Imports | Exports

| | Exog. Prod. | Base Prod. | Min. Prod. | Max. Prod. | Exog. Demand | Base Price | Value Added | Atractor |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|----------|
| 1 Peatmoore | 0 | 27.75 | 27.75 | 27.75 | 0 | 6500 | 6500 | 27.75 |
| 2 Show | 0 | 111.5 | 111.5 | 111.5 | 0 | 6500 | 6500 | 111.5 |
| 3 Greendown | 0 | 177.25 | 177.25 | 177.25 | 0 | 6500 | 6500 | 177.25 |
| 4 Balgrove | 0 | 33 | 33 | 33 | 0 | 6000 | 6000 | 33 |
| 5 Westfields | 0 | 128.75 | 128.75 | 128.75 | 0 | 5000 | 5000 | 128.75 |
| 6 ChryManor | 0 | 9 | 9 | 9 | 0 | 5000 | 5000 | 9 |
| 7 Westmead | 0 | 41.5 | 41.5 | 41.5 | 0 | 5500 | 5500 | 41.5 |
| 8 FlintHill | 0 | 94.25 | 94.25 | 94.25 | 0 | 7000 | 7000 | 94.25 |
| 9 HydnWick | 0 | 75 | 75 | 75 | 0 | 6000 | 6000 | 75 |
| 10 Whitworth | 0 | 94 | 94 | 94 | 0 | 6000 | 6000 | 94 |
| 11 Rodbourne | 0 | 55.25 | 55.25 | 55.25 | 0 | 6500 | 6500 | 55.25 |
| 12 GtWestern | 0 | 15.25 | 15.25 | 15.25 | 0 | 7000 | 7000 | 15.25 |

Sector

OK Cancel

APÊNDICE C

Detalhamento das informações do processo de modelagem da rede de transporte.

| Opção Menu | Estudos necessários | Dado requerido | Definição | Indicador |
|---|--|---------------------------|---|--|
| Transports / Categories / Data | Definir as categorias de viagem, por exemplo: casa-trabalho classe média | Value of Travel Time | Valor monetário associado ao tempo de viagem. | valor / tempo unitário de viagem |
| | | Value of Waiting Time | Valor monetário associado ao tempo de espera. | valor / tempo unitário de espera |
| | | % Vehicle availability | Proporção de passageiros que dispõe de veículo para realizar a viagem, mesmo que não seja proprietário. Só faz sentido quando se distingue modo de transporte público de privado, o que nem sempre é viável. Quando não há distinção % = 1. | <= 1 |
| | | Min Trip Generation Rate | Primeiro parâmetro da função de geração de viagens. Mínimo de viagens por unidade de fluxo que um usuário faz no período de simulação. | nº de viagens/ tempo unitário de simulação |
| | | Max Trip Generation Rate | Segundo parâmetro da função de geração de viagens. Máximo de viagens por unidade de fluxo que um usuário faz no período de simulação. | nº de viagens/ tempo unitário de simulação |
| | | Demand Elasticity | Terceiro parâmetro da função de geração de viagens. Elasticidade da categoria para fazer mais ou menos viagens no período de simulação. | 0 a 1 |
| | | Modal Split Elasticity | Parâmetro da função de utilidade no modelo logit de separação modal. | 0 a 1 |
| Transports / Categories / Choice | | Mode Choice Logit Scaling | Determina o grau de dimensionamento das utilidades no modelo logit de separação modal. | 0 a 1 |
| | | Path Choice Elasticity | Parâmetro da função de utilidade no modelo logit de seleção de caminhos. | 0 a 1 |
| | | Path Choice Logit Scaling | Determina o grau de dimensionamento das utilidades no modelo logit de seleção de caminhos. | 0 a 1 |
| Transport / Administrators | Definir quais serão | | Estão a cargo da oferta física de transportes. Assumem custo de manutenção das infraestruturas. | nome de cada um |

| | | | |
|---------------------------------------|------------------------------|---|--|
| Transport / Modes / Data | Definir quantos e quais | | |
| | Path Overlapping Factor | Controla o grau de dispersão dos caminhos em relação ao caminho mínimo. Quando for 0 só o caminho mínimo será considerado. Aplicado a um modo, vale para todos os operadores do modo. É possível especificar fatores diferentes por via e operador no menu Transport / Link Types. | |
| | Maximum Number of Paths | Número máximo de caminhos que o algoritmo buscará. | nº de caminhos |
| Transport / Operators / Basics | Alternative Specific Contant | Penalidade adicional à desutilidade do modo. É opcional. É adicional a penalidade por operador, que multiplica os custos de cada operador mediante transferências. | |
| | Modal Constant | Fator que penaliza os custos do operador para representar elementos subjetivos como comodidade, confiabilidade. É multiplicativo, logo se atribui 1 ao melhor operador e valores maiores aos outros, em termos relativos. | ≥ 1 |
| | Path ASC | Tem o mesmo objetivo da Modal Constant, porém é aditiva. É opcional e adicional a anterior. | ≥ 0 |
| | Occupancy | Taxa de ocupação do veículo em unidades de demanda (passageiros ou toneladas). Para transporte público assume-se a capacidade (incluindo pessoas de pé); para automóveis, a média observada. | nº de passageiros / nº de veículos |
| | Time Factor | Fator que expande o tempo de serviço do operador em relação à frequência. Usualmente a frequência é dada em veículos por hora, quando a aplicação se refere a outro período, indica-se com esse fator o número de horas de serviço do operador no período de simulação. | quantidade de tempo de operação |
| | Fixed Waiting Time | O modelo de transportes calcula os tempos de espera devido à frequência, demanda, lugares vazios, etc. Esse fator se aplica aos operadores com tempos de embarque adicional, como aviões, trens. No caso de operadores com rotas definidas com opção Follows Schedule em Transports / Routes / Data não têm tempos calculados, sendo que o modelo usa o tempo definido em Fixed Waiting Time. | quantidade de tempo de espera fixo |
| | Target Occupancy | Taxa de ocupação esperada do veículo em porcentagem. | 100x nº de passageiros / capacidade |
| | % Return Trips | Especifica a porcentagem de demanda que um operador pode transportar na viagem de retorno, quando a opção Has Return Trips for escolhida. | 0 a 1 |
| Transport / Operators / Tariff | Boarding Tariff | Componente fixo da função. Valor cobrado dos usuários ao embarcar no operador. | valor da tarifa de embarque |
| | Distance Tariff | Valor gasto por unidade de distância. | valor total relativo à distância/distância |

| | | | | |
|--|--|---------------------|--|--------------------------------------|
| | | Time Tariff | Valor gasto por unidade de tempo. | valor total relativo ao tempo/tempo |
| Transport / Operators / By Category | | Tariff Factor | Especifica categorias que pagam tarifa especial no operador. Fator que multiplica a tarifa normal definida anteriormente a fim de obter a tarifa especial. Valor padrão é 1. | |
| | | Penalty Factor | Fator multiplicativo para a penalidade do operador. Representa diferenças de percepção que certas categorias podem ter em relação ao operador. Valor padrão é 1. | |
| | | ASC | Fator aditivo para a penalidade do operador. Representa diferenças de percepção que certas categorias podem ter em relação ao operador. | |
| Transport / Operators / Energy | | Energy Min. | Consumo mínimo de energia por unidade de distância. Consumo em condições ótimas de operação. | consumo de combustível / distância |
| | | Energy Max. | Consumo mínimo de energia por unidade de distância. Consumo quando a velocidade tende a zero. | consumo de combustível / distância |
| | | Energy Slope | Parâmetro da função de consumo de energia que controla a inclinação da curva entre o mínimo e o máximo quando a velocidade varia entre 0 e a velocidade ótima. | |
| | | Energy Cost | Custo monetário por unidade de energia consumida pelo operador. | valor do litro de combustível |
| Transport / Operators / Cost | | Time Operation Cost | Custo relacionado ao tempo de operação. Pode incluir salário dos motoristas. | custo / tempo de operação |
| | | % Cost Paid by User | Porcentagem de custos paga pelos usuários na forma de tarifa, quando existe relação na tarifa cobrada. O valor será agregado ao custo da tarifa. | 100x custo transferido / custo total |
| Transport / Operators / Stops | | Min. Stop Time | | |
| | | Unit Boarding Time | | |
| | | Unit Alight Time | | |
| Transport / Transfer | Conhecer integração entre operadores | | Matriz: do operador A para o operador B. As células devem ser preenchidas com o valor da tarifa para sair de A e embarcar em B. Esse valor substitui a tarifa normal de B. O valor INF significa que a transferência não é permitida. O modelo não admite transferências entre modos diferentes. | |
| Transport / Routes / Data | Uma rota pode ser ativada ou inativada em um cenário | Operator | Seleciona-se o operador ao qual a rota pertence. Será repetido em todos os cenários. Para modificar o operador de uma rota em apenas um cenário, deve-se copiar a rota, definir o novo operador e desativar a rota anterior naquele cenário. | |

| | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|--|--|
| | através da guia Used. | Frequency | Definir frequência mínima e máxima de operação por unidade de tempo. | n° de operadores/t empo |
| | | Target Occupancy | Um dos parâmetros do modelo de frequência. Bons resultados para valores entre 0.6 e 0.7. Não tem efeito se a frequência é fixa. | |
| | | Max Fleet | Tem sentido apenas para intervalo de frequência. Limita a frota máxima que pode ser atingida para aumentar a frequência. Se fica em branco, não é feita verificação de frota máxima. | |
| Transport / Routes / Profile | | Links | Definir os links pertencentes à rota. | |
| Transport / Nodes | Desenho da rede | Coordenadas | Permite inserir ou alterar as coordenadas dos nós. | |
| | | Administrator | Designar para o tipo de via um administrador previamente definido. | |
| | | Capacity Factor | Fator que multiplica a capacidade dos links, geralmente dada em veículos por hora. Esse fator ajusta quando a aplicação for de 1 dia. | |
| Transport / Link Type / Data | | Min. Maintenance Cost | Custo de manutenção por unidade de distância do tipo de via. | custo/distância |
| | | % Speed Reduction | Representa a proporção em que se reduz a velocidade quando o volume é igual a capacidade da via. | 100x velocidade (V=C)/velocidade padrão |
| | | V/C at Max Reduction | Representa a relação volume/capacidade para a velocidade mínima (1% da velocidade de fluxo livre). | 100x Volume/Capacidade p/ $V=1\%V_{livre}$ |
| | | Speed | Velocidade de fluxo livre de cada operador no tipo de via. Se for 0, significa que o operador não é permitido nessa via. | velocidade |
| Transport / Link Type / Operator Data | | Charges | Valor cobrado pelos administradores, por exemplo por estacionamento. Especificada por unidade de distância por veículo. | valor monetário por unidade de distância |
| | | Penaliz. | Representa elementos subjetivos do tipo de via que afetam as condições de operação. Multiplica a penalização global do operador no tipo de via. | |
| | | Distance Cost | Componente da função de custo de operação. Custo monetário por distância percorrida na via. | |
| | | Equiv. Vehicule | Multiplica o número de veículos do operador para transformá-lo em unidades padrão. | |
| | | Overlap Factor | Possibilita alterar os valores previamente especificados para o modo em Transports/Mode/Data. | |

| | | | |
|--|-----------------------------------|---|---|
| | Marg. Maint. Cost | Custo marginal de manutenção por unidade de distância da via. Tráfego pesado terá valores maiores. | custo/distância |
| | Length | Comprimento do link | distância |
| Transport / Links / Data | Capacity | Capacidade | unidades de veículos equivalente por hora |
| | Delay | | |
| | Link Type | Definir o tipo a que cada link pertence. | |
| | Name | | |
| | Description | | |
| Transport / Links / Available Operators | Verificar de acordo com Link Type | Mostra a lista de operadores que podem utilizar o link, o que é definido por meio da velocidade. | |
| Transport / Links / Routes | Verificar de acordo com Route | Mostra a lista de rotas que passam pelo link e indica sua condição: passa e para (se é possível parar no link); só passa (se não existe parada) e não passa (se a rota não existe naquele cenário, mas existe em outro). | |
| Transport / Links / Turns | Definir conversões possíveis | Mostra a lista de nós conectados ao link. Através de um ícone que ilustra um semáforo é possível especificar proibições de giro para um nó. A coluna delay permite incluir atrasos para um giro. | |
| Transport / Exogenous Trips / Trips | Matriz OD exógena | Nesse campo é possível introduzir as viagens exógenas entre as zonas, relativas a cada categoria. Na guia Trips, as viagens são comuns a todos os cenários. Variações e crescimento devem ser introduzidos na guia Factors. | |

APÊNDICE D

D.1 - Questionário da pesquisa de geração de viagens.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

Pesquisa realizada pelo Mestrado em Transportes da Escola de Engenharia da UFMG, em parceria com o CDL, na área de logística urbana.

Agradecemos a sua colaboração!

DADOS DO ESTABELECIMENTO

- 1) Nome: _____
- 2) CNAE: _____ 3) Descrição da atividade: _____
- 4) Porte do Estabelecimento: P M G 5) Área do local (m²): _____
- 6) Endereço: Rua: _____ Nº _____ Bairro: _____

RECEBIMENTO DE MERCADORIAS

Caso o estabelecimento receba mercadorias, responder as seguintes perguntas:

- 7) Setor: Alimentos Bebidas Vestuário Outro _____

Em caso de mais de um setor, responder as perguntas seguintes para cada setor:

- 8) Quantas vezes por dia são recebidas mercadorias? _____
- 9) Qual horário de recebimento da mercadoria? _____
- 10) Qual a quantidade recebida por entrega? _____ Unidade: _____
- 11) Quantas vezes na semana a mercadoria é recebida? _____
- 12) Qual transportadora realiza a entrega? (Nome ou transporte próprio) _____
- 13) Qual porte do veículo utilizado no transporte? _____
- Até 3,5t 3,5t a 5t 5t a 10t 10t a 15t 15t a 45t > 45t
- 14) Existe doca?(S/N) _____ 15) Quantas docas? _____
- 16) É usada vaga de carga e descarga na via?(S/N) _____
- 17) Qual o tempo total da entrega?(minutos) _____

ENTREGA DE MERCADORIAS

Caso o estabelecimento realize entrega de mercadorias, responder as seguintes perguntas:

18) Setor: Alimentos Bebidas Vestuário Outro _____

Em caso de mais de um setor, responder as perguntas seguintes para cada setor:

19) Qual transportadora realiza a entrega? (Nome ou transporte próprio) _____

20) Qual o número de entregas realizadas pelo mesmo veículo por dia? _____

21) Qual a quantidade média de mercadoria por entrega realizada? _____

Unidade: _____

22) Especificar principais destinos:

Destino 1: Bairro: _____ Rua: _____ Nº _____

Destino 2: Bairro: _____ Rua: _____ Nº _____

Destino 3: Bairro: _____ Rua: _____ Nº _____

Destino 4: Bairro: _____ Rua: _____ Nº _____

Destino 5: Bairro: _____ Rua: _____ Nº _____