Campus de São Carlos

*UM PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DE MATRIZ
ORIGEM-DESTINO PARA DIFERENTES MODOS:
MÉTODO INDIRETO BASEADO EM MODELO
DE ESCOLHA DISCRETA*

DELFO ENRIQUE LÓPEZ REYES

ORIENTADOR: PROF. DR. EIJI KAWAMOTO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Transportes

**UM PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DE
MATRIZ ORIGEM-DESTINO PARA
DIFERENTES MODOS: MÉTODO INDIRETO
BASEADO EM UM MODELO DE ESCOLHA
DISCRETA**

Delfos Enrique López-Reyes

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia civil: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Eiji Kawamoto

São Carlos / SP
1999

Class.	TESE-EEEC
Cutt.	13134
Tombo	056/00

sys 1073 441

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

L864p

López Reyes, Delfos Enrique

Um procedimento para determinação de matriz origem-destino para diferentes modos : método indireto baseado em um modelo de escolha discreta / Delfos Enrique López Reyes. -- São Carlos, 1999.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Eiji Kawamoto.

1. Matriz origem-destino - estimativa. 2. Modelo de escolha discreta. 3. Modelo logit multinomial. 4. Zonas de controle. 5. Divisão modal. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **DELFO ENRIQUE LOPEZ REYES**

Tese defendida e aprovada em 23-12-1999
pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado **ELJI KAWAMOTO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Associado **ANTÔNIO NELSON RODRIGUES DA SILVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Titular **CARLOS ALBERTO FARIA**
(Universidade Federal de Uberlândia - UFU)

Prof. Doutor **JOSÉ APARECIDO SORRATINI**
(Universidade Federal de Uberlândia - UFU)

Profa. Doutora **SUELY DA PENHA SANCHES**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Prof. Assoc. **ANTÔNIO NELSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

A mi esposa María Margarita Méndez Díaz por
todo su amor y apoyo, y a nuestros hijos
Carlos Enrique y Fernando Rafael.

A mi padre Delfos López, a mi madre María Luisa Reyes y mis
hermanos por el incentivo y cariño durante estos años.

Agradecimentos

Ao concluir este trabalho, estou convicto da importância da ajuda recebida de outros para poder atingir esta meta. Não apenas ajuda durante a execução da pesquisa em si, mas em todo momento da vida, seja de alegria ou tristeza. São amigos e colegas, presentes ou já ausentes por haverem concluído, que compartilhamos durante estes anos de desenvolvimento da pesquisa. Os meus agradecimentos mais sinceros.

Ao professor Eiji Kawamoto, por ter aceitado ser meu orientador nesta pesquisa. E sobretudo, por sua atitude crítica e o questionamento nos momentos oportunos.

Aos professores Antônio Néelson, José Bernardes Felex, Josemar Rodrigues, Juan de Dios Ortúzar, Rosa Virginia Ocaña.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por ter-me concedido a bolsa que permitiu meus estudos no Brasil.

Ao pessoal de EMDURB, da cidade de Bauru, e especialmente aos engenheiros Selma Granja, Mariana Barbieri e Waldomiro Fantini Júnior por ter em gentilmente colaborado, fornecendo os dados utilizados no presente trabalho.

Ao pessoal administrativo do STT.

Aos colegas do curso de pós-graduação, pela ajuda e pelo convívio: J. Kennedy, Renata Algisi, Sérgio Demarchi, Roberto Aramaki, José Antonio Ortiz, Fernanda Antonio Simões, Pastor Willy Gonzales Taco, Ely Emerson, Sandra Margarido, Renato Pereira Tiago, Alexandre Lima, Rone Evaldo Barbosa, Carlos Prado.

Aos meus amigos “Los chocos” Diego Alcalá Buchon, Oscar Alberto Tonelli, Eduardo Achá, Gelafito Eduardo René Gutiérrez Klinsky, Felipe Soto Pau, Marlon Pelaez, Raúl Antúnez de Mayolo K.

À família Méndez Díaz e a Justus Schreier pelo apoio.

Sumário

Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xii
Lista de abreviaturas e siglas	xiv
Lista de símbolos	xv
Resumo	xvii
<i>Abstract</i>	xviii
Resumen	xix

Capítulo 1 Introdução

1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivo	3
1.4	Método	4
1.5	Estrutura do trabalho	4

Capítulo 2 Revisão dos métodos de obtenção da matriz O/D

2.1	Introdução	6
2.2	Conceitos básicos	7
2.3	Modelos tradicionais de distribuição de viagens	9
2.4	Determinação da matriz O/D	11
2.4.1	Modelos baseados em contagens de tráfego	12
2.4.2	Modelos de oferta	14
2.5	Conclusões	22

Capítulo 3 Método proposto para determinação da matriz O/D

3.1	Introdução	23
3.2	Considerações iniciais	24
3.3	Método proposto	30
3.4	Vantagens e desvantagens do procedimento proposto	33
3.5	Considerações finais	34

Capítulo 4 Metodologia para verificação do procedimento proposto

4.1	Introdução	35
4.2	Desenvolvimento do método de verificação	35
4.2.1	Fase I - Diagnóstico e correção dos erros de especificação do modelo desagregado	37
4.2.2	Fase II - Diagnóstico e correção dos erros originados pela aplicação do procedimento proposto	42
4.3	Experimento proposto	46
4.4	Considerações finais	48

Capítulo 5 Coleta e apresentados dos dados Coleta e apresentação dos dados

5.1	Introdução	49
5.2	Dados utilizados	49
5.2.1	Características sócio-econômicas.	51
5.2.2	Características das viagens	52
5.2.3	A distribuição do tempo de viagem	53
5.3	Definição do conjunto de alternativas disponíveis para o viajante	56
5.4	Características da matriz base encontrada usando a pesquisa domiciliar.	57
5.5	Zonas de controle utilizadas na verificação da matriz origem-destino	58
5.6	Considerações finais	60

Capítulo 6 Análise dos resultados

6.1	Introdução	61
6.2	Preparação dos dados e calibração do modelo logit multinomial	61
6.2.1	Definição das variáveis das funções utilidade	61
6.2.2	Caracterização dos atributos de viagem	62
6.2.3	Simplificações adotadas nas variáveis de viagem	63
6.3	Programa utilizado na calibração dos modelo logit multinomial e aninhado.	65
6.4	Resultados da calibração do modelo Logit multonomial.	66
6.4.1	Modelos M1 (Sem segmentação)	67
6.4.2	Com segmentação	69
6.4.3	Teste de correlação entre as alternativas	74
6.5	Análise dos resultados do procedimento proposto	75
6.5.1	Distribuição do comprimento médio das distâncias de viagem para os modos nos diferentes níveis de agregação	76
6.5.2	Análise dos resultados	77
6.5.3	Teste de aderência entre a distribuição de freqüência de viagens observada e a estimada pelo modelo segundo a distância de viagem	86
6.6	Considerações finais	90

Capítulo 7 Conclusões

6.1	Introdução	91
6.2	Conclusões	91
6.2.1	Dados utilizados	91
6.2.3	Segmentação da população de viajantes	92
6.2.4	Aplicação do modelo logit multinomial	92
6.3	Dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa	95
6.4	Sugestões para condução de trabalhos futuros	96
Anexo A	Interpretação da utilidade para grupos heterogêneos	99
Anexo B	Comandos de entrada para o LIMDEP V. 7.0	104
Anexo C	Resultados das estimativas	107

Bibliografia

134

Lista de figuras

FIGURA 2.1	Matriz O/D obtida das pesquisas domiciliares e de linha de contorno	8
FIGURA 2.2	Diferentes tipos de viagem obtidos no método direto	10
FIGURA 3.1	Divisão dos viajantes em segmentos independentes	32
FIGURA 4.1	Estrutura do modelo logit aninhado com dois níveis	41
FIGURA 5.1	Mapa da cidade de Bauru	50
FIGURA 5.2	Mapa das zonas de tráfego da cidade de Bauru	50
FIGURA 5.3	Distribuição da renda por domicílio, segundo a pesquisa domiciliar	51
FIGURA 5.4	Distribuição da população encontrada na pesquisa domiciliar segundo faixa de idade	51
FIGURA 5.5	Distribuição das viagens segundo o motivo	52
FIGURA 5.6	Divisão modal segundo o sexo	53
FIGURA 5.7	Participação dos modos segundo tempo de viagem	54
FIGURA 5.8	Participação de viagens não motorizadas segundo o sexo e duração da viagem	55
FIGURA 5.9	Mapa das zonas de tráfego utilizadas da cidade de Bauru	59
FIGURA 6.1	Comparação entre as distâncias médias de viagem	77
FIGURA 6.2	Erro médio da demanda total de M1 (1 sub-zona)	79
FIGURA 6.3	Erro médio da demanda total de M1 (2 sub-zonas)	79
FIGURA 6.4	Erro médio da demanda total de M1 (3 sub-zonas)	79
FIGURA 6.5	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M1 (1 sub-zona)	79

FIGURA 6.6	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M1 (2 sub-zonas)	79
FIGURA 6.7	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M1 (3 sub-zonas)	79
FIGURA 6.8	Erro médio das viagens a pé para M1(1sub-zona)	80
FIGURA 6.9	Erro médio das viagens a pé para M1(2sub-zonas)	80
FIGURA 6.10	Erro médio das viagens a pé para M1(3sub-zonas)	80
FIGURA 6.11	Erro médio das viagens por automóvel para M1 (1 sub-zonas)	80
FIGURA 6.12	Erro médio das viagens por automóvel para M1 (2 sub-zonas)	80
FIGURA 6.13	Erro médio das viagens por automóvel para M1 (3 sub-zonas)	80
FIGURA 6.14	Erro médio da demanda total de M2 (1 sub-zona)	81
FIGURA 6.15	Erro médio da demanda total de M2 (2 sub-zonas)	81
FIGURA 6.16	Erro médio da demanda total de M2 (3 sub-zonas)	81
FIGURA 6.17	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M2 (1 sub-zona)	81
FIGURA 6.18	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M2 (2 sub-zonas)	81
FIGURA 6.19	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M2 (3 sub-zonas)	81
FIGURA 6.20	Erro médio das viagens a pé para M2(1sub-zona)	82
FIGURA 6.21	Erro médio das viagens a pé para M2(2sub-zonas)	82
FIGURA 6.22	Erro médio das viagens a pé para M2(3sub-zonas)	82
FIGURA 6.23	Erro médio das viagens por automóvel para M2 (1 sub-zonas)	82
FIGURA 6.24	Erro médio das viagens por automóvel para M2 (2 sub-zonas)	82
FIGURA 6.25	Erro médio das viagens por automóvel para M2 (3 sub-zonas)	82

FIGURA 6.26	Erro médio da demanda total de M3 (1 sub-zona)	83
FIGURA 6.27	Erro médio da demanda total de M3 (2 sub-zonas)	83
FIGURA 6.28	Erro médio da demanda total de M3 (3 sub-zonas)	83
FIGURA 6.29	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M3 (1 sub-zona)	83
FIGURA 6.30	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M3 (2 sub-zonas)	83
FIGURA 6.31	Distribuição das viagens segundo a distância de viagem para M3 (3 sub-zonas)	83
FIGURA 6.32	Erro médio das viagens a pé para M3(1sub-zona)	84
FIGURA 6.33	Erro médio das viagens a pé para M3(2sub-zonas)	84
FIGURA 6.34	Erro médio das viagens a pé para M3(3sub-zonas)	84
FIGURA 6.35	Erro médio das viagens por automóvel para M3 (1 sub-zonas)	84
FIGURA 6.36	Erro médio das viagens por automóvel para M3 (2 sub-zonas)	84
FIGURA 6.37	Erro médio das viagens por automóvel para M3 (3 sub-zonas)	84

Lista de tabelas

TABELA 2.1	Requisitos para implantação do método convencional	11
TABELA 2.2	Resumo dos métodos de distribuição	16
TABELA 4.1	Análise dos sinais dos coeficientes das variáveis	
	da função utilidade	38
TABELA 5.1	Distribuição modal segundo o sexo	53
TABELA 5.2	Porcentagem de viagens realizadas por automóvel, segundo a posse de automóvel por domicílio	56
TABELA 5.3	Distribuição das células da matriz O/D obtida da pesquisa domiciliar segundo o número de viagens	58
TABELA 5.4	Resumo das zonas de controle incluídas nos pares O-D	60
TABELA 6.1	Variáveis utilizadas na calibração do modelo logit multinomial	63
TABELA 6.2	Coefficientes obtidos na calibração do modelo logit multinomial	67
TABELA 6.3	Descrição estatística para alternativa pedestre	68
TABELA 6.4	Descrição estatística para alternativa automóvel motorista	68
TABELA 6.5	Descrição estatística para alternativa automóvel passageiro	69
TABELA 6.6	Descrição estatística para alternativa ônibus	69
TABELA 6.7	Resultado da estimação das funções utilidade, para viajantes segmentado segundo posse de automóvel no domicílio	71
TABELA 6.8	Resultado da estimação das funções utilidade, para viajantes segmentado segundo distância decaminhada entre a origem o destino	72
TABELA 6.9	Tabela comparativa dos resultados da calibração	73

TABELA 6.10	Coeficientes obtidos na calibração do modelo logit aninhado	75
TABELA 6.11	Erros médios ponderados	85
TABELA 6.12	Resultado do teste Kolmogorov – Smirnov para M1 (1 sub-zona)	87
TABELA 6.13	Resultado do teste Kolmogorov–Smirnov para M1 (2 sub-zonas)	88
TABELA 6.14	Resultado do teste Kolmogorov–Smirnov para M1 (3 sub-zonas)	90

Lista de abreviaturas e siglas

ANTP	- Associação Nacional de Transporte Público
Eq.	- Equação
O/D	- Origem-Destino

Lista de símbolos

- A_i, B_j : fatores de balanço;
 A_j : variáveis sócio-econômicas de atração;
 C_a : função de custo sobre o arco a ;
 C_{ij} : custo de viagem entre uma zona i e uma zona j ;
 D_j : número de viagens que chegam a uma zona j ;
 D_{ij} : distância de viagem entre a zona i e zona j ;
 E_i : valor de uma variável sócio-econômica que influencia as viagens que partem de i ;
 $f_{ij}(k)$: fluxo parcial de veículos entre i e j durante o intervalo k ;
 H_p : fluxo no caminho p ;
 $L^*(\hat{\theta})$: logaritmo da função de verossimilhança com todos os coeficientes diferentes de zero;
 $L^*(0)$: logaritmo da função de verossimilhança com todos os coeficientes iguais a 0;
 N_{ijg}^m : número de viajantes do grupo g entre as zonas i e j pelo modo m ;
 N_{ijg}^{total} : tamanho do grupo g ;
 O_i : número de viagens geradas em uma zona i ;
 p : período de observação, dividido em T intervalos de longitude Δt ;
 P_i : população da cidade i ;
 P_{ijg}^m : Probabilidade de o usuário do grupo g viajar entre i e j pelo o modo m ;
 $q_i(k)$: número de veículos que penetram no cruzamento pela via i durante o intervalo de tempo k ;
 q_i : número de veículos que penetram no cruzamento pela via i durante o período de observação p ;

$\bar{q}_i$:	número médio de veículos que penetram no cruzamento pela via i no intervalo de tempo Δt ;
R_m :	número de viagens associado a um intervalo de custos m;
S_i :	acessibilidade da origem i;
t_{ij} :	tempo de percurso entre i e j, expresso como múltiplo inteiro de Δt ;
v :	matriz "a priori";
V :	matriz origem-destino (O/D);
V_a :	fluxo em um arco a;
V_{ij} :	elementos da matriz V, i representa as filas, j as colunas;
$y_j(k)$:	número de veículos que deixam o cruzamento pela via j durante o intervalo de tempo k;
y_j :	número de veículos que deixam o cruzamento pela via j durante o período de observação p;
$\bar{y}_j$:	número médio de veículos que deixam o cruzamento pela via j no intervalo de tempo Δt ;

Letras gregas utilizadas:

α :	fator de proporcionalidade ;
δ_{ij} :	erro médio da estimativa do número de viagens entre i e j;
χ^2 :	teste estatístico Qui-quadrado;
Γ_j :	taxa de crescimento sobre os destinos j;
θ :	coeficientes a estimar no método combinado;
ρ^2 :	coeficiente de qualidade do ajuste;
τ_i :	taxa de crescimento sobre as origens.

Resumos

Resumo

LÓPEZ-REYES, D. E. *Um procedimento para determinação de matriz origem-destino para diferentes modos: método indireto baseado em um modelo de escolha discreta*. São Carlos, 1999. 142p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Apresenta-se um procedimento para estimativa da matriz origem-destino (O/D) a partir de um modelo de escolha discreta em combinação com uma matriz O/D de transporte público, a qual pode ser estimada de maneira relativamente fácil e rápida. O modelo de escolha discreta utilizado para realizar a divisão modal é o modelo logit multinomial. A calibração do modelo logit é realizada com base em 505 observações e considerando três situações: a população de viajantes sem segmentação, com segmentação segundo posse de automóvel no domicílio, e com segmentação segundo a distância de viagem. Analisa-se a precisão da estimativa do número de viagens quando as zonas de controle que formam a área de estudo são divididas segundo o critério de distância de acesso às linhas de ônibus. Na verificação realizada são empregados dados obtidos da pesquisa domiciliar realizada na cidade de Bauru, SP. Os erros cometidos na estimativa são medidos e comparados com os resultados obtidos na pesquisa domiciliar sem expansão. O trabalho demonstrou experimentalmente que o procedimento proposto é uma alternativa viável para se obter a distribuição de viagens e, portanto, para determinar a matriz O/D.

Palavras chave: matriz origem-destino - estimativa; modelo de escolha discreta; modelo logit multinomial; zonas de controle; divisão modal.

Abstract

LÓPEZ-REYES, D. E. *Procedure for determining an origin-destination matrix for multiple modes: a discrete choice model based indirect method*. São Carlos, 1999. 142p. Thesis (Doctorate) - São Carlos School of Engineering, University of Sao Paulo.

A procedure is presented for estimating an origin-destination (O/D) matrix using a discrete choice model jointly with a public transport O/D matrix; the latter being relatively easy and fast to obtain. A multinomial logit discrete choice model is used to determine the mode split of travelers among several available modes. The model is estimated using a sample of 505 observations chosen from a household O/D survey in the city of Bauru, state of Sao Paulo. This survey is used throughout to verify the results of the proposed methodology. Three different models are considered: one without segmentation of the population, one with segmentation according to car ownership and one with segmentation according to travel distance. An examination is made of the changes on the level of precision of the number of trips estimated with the division of the control zones that conform the study area; the aforementioned division was carried out on the basis of an access distance to the bus network criterion. The estimation errors are measured and compared to the unexpanded O/D survey results. The research shows empirically that the proposed procedure can be used to obtain the distribution of trips and hence to determine an aggregate O/D matrix.

Keywords: origin-destination matrix - estimate; discrete choice model; multinomial logit model; control zones; modal split.

Resumen

LÓPEZ-REYES, D. E. *Un procedimiento para determinar una matriz origen-destino para diferentes modos: método indirecto basado en un modelo de elección discreta*. São Carlos, 1999. 142p. Tesis (Doctorado) - Escuela de Ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo.

Se presenta un procedimiento para estimar la matriz origen-destino (O/D) a partir de un modelo de elección discreta en combinación con una matriz O/D de transporte público, considerando que esta última puede ser estimada de manera relativamente fácil y rápida. El modelo de elección discreta utilizado es el modelo logit multinomial, con el cual se determina la distribución de los viajeros entre los diferentes modos disponibles. La calibración del modelo logit se realiza con base en 505 observaciones e considerando tres situaciones: la población de viajeros sin segmentación, con segmentación según la posesión de automóvil, e con segmentación según la distancia de viaje. Se analiza la precisión en la estimación del número de viajes cuando las zonas de control que forman el área de estudio son divididas. La división de las zonas de control es efectuada siguiendo el criterio de distancia de acceso a las líneas de autobús. En la verificación realizada se emplean datos de la encuesta domiciliar realizada en la ciudad de Baurú, SP. Los errores cometidos en la estimación son medidos y comparados con los resultados obtenidos en la encuesta domiciliar sin expansión. El trabajo demostró experimentalmente que el procedimiento propuesto es una alternativa viable para obtener la distribución de viajes y, por lo tanto, para determinar la matriz O/D.

Palabras clave: matriz origen-destino - estimación; modelo de elección discreta; modelo logit multinomial; zonas de control; división modal.

Capítulos

1.1 Considerações iniciais

O conhecimento da demanda é requisito fundamental no planejamento de transporte, já que esta é uma das informações sobre as quais os profissionais da área baseiam-se para gerenciar e planejar o transporte coletivo.

A distribuição espacial da demanda por transporte é tradicionalmente representada mediante uma matriz, uma vez que a área sob escrutínio é dividida em zonas de tráfego, onde as células representam o número de viagens entre pares de zonas de origem (filas da matriz) e zonas de destino (colunas da matriz). Essa matriz é conhecida como "matriz origem-destino" ou matriz O/D.

A matriz O/D pode ser estimada de diversas maneiras. O método convencional de estimativa, que consiste na realização de uma pesquisa domiciliar em conjunto com uma pesquisa da linha de contorno, apresenta geralmente uma série de problemas:

- Mesmo coletando pequenas amostras domiciliares (de 1 a 5% da população de viajantes), a pesquisa é custosa, laboriosa e demorada;

- Requer a realização de entrevistas na linha de contorno, as quais se constituem em obstáculos ao fluxo de veículos, que podem até mudar de rota durante o período da pesquisa;
- Os dados coletados tornam-se desatualizados, principalmente nas zonas de tráfego sujeitas às rápidas transformações.

Devido a essas dificuldades, diferentes investigadores têm proposto duas linhas de pesquisa nos últimos anos:

- A primeira linha de pesquisa consiste em associar dados de fácil obtenção com modelos mais sofisticados do que os tradicionais. Nesse sentido, uma série de métodos alternativos para estimação e atualização de matrizes O/D vem sendo desenvolvidos. A maioria deles baseia-se principalmente em contagens volumétricas de fluxos de tráfego.
- A segunda linha de pesquisa consiste em buscar métodos eficientes de coleta dados. A preferência declarada é um dos métodos de coleta de dados intensamente desenvolvidos e utilizados nos 20 últimos anos.

Independentemente das considerações teóricas que poderiam guiar a escolha entre estes diferentes métodos de estimação da matriz O/D, existem outras considerações que devem ser levadas em conta, tais como restrições orçamentárias, de tempo ou dos dados disponíveis; aspectos legais, etc.

1.2 Justificativa

Os métodos de distribuição constituem a etapa posterior à etapa de geração, requerendo, portanto, dados referentes ao número de viagens originadas e atraídas em cada zona. O método convencional utilizado na obtenção da matriz origem- destino envolve geralmente uma série de problemas pois

depende, em grande medida, da boa vontade e/ou habilidade dos viajantes para fornecer as informações necessárias à pesquisa. Além disso, requer um grande volume de recursos, tanto para preparação do material como para treinamento de pesquisadores de campo. Trata-se de um método demorado, cujo processo exige prazos excessivamente longos para obtenção dos resultados.

Do anteriormente exposto, surge a necessidade de se dispor de um procedimento de estimativa da matriz O/D eficaz e rápido.

Um dos possíveis meios de estimativa da matriz é a utilização de informação já coletada com outros fins, como a matriz de transporte público, freqüentemente estimada para a gerência e operação de transporte público, em combinação com um modelo de escolha discreta, considerando as restrições já expostas.

A utilização de modelos de escolha discreta apresenta a vantagem de estar difundido entre técnicos da área de planejamento de transporte. A seleção entre os modelos disponíveis pode, no entanto, apresentar dificuldades, as quais serão abordadas no Capítulo 4.

1.3 Objetivo

O objetivo principal da pesquisa proposta consiste em formular um procedimento para elaborar matriz O/D a partir de um modelo de escolha discreta em combinação com uma matriz O/D de um modo de viagem disponível.

Pretende-se, com isso, simplificar e reduzir o custo de elaboração da matriz origem-destino, pois a mesma poderá ser estimada sem a necessidade de

se coletar grandes volumes de dados. As matrizes O/D para todos os modos disponíveis numa cidade trarão melhores condições para o seu planejamento de transporte urbano.

Para a consecução deste objetivo, propõem-se dois objetivos específicos:

- i. Análise da influência da segmentação dos usuários nos erros de estimação do número de viajantes nos pares O/D considerados;
- ii. Análise da influência dos erros referentes ao tamanho da zona de tráfego.

1.4 Método

Para se atingir os objetivos propostos, serão seguidos os passos abaixo:

- i. Revisão dos métodos de estimativa de matriz origem-destino;
- ii. Proposição do método de estimativa de matriz origem-destino;
- iii. Definição da metodologia para verificação do procedimento;
- iv. Coleta de dados necessários para verificação do procedimento, de acordo com o item(iii);
- v. Aplicação do procedimento; e
- vi. Análise dos resultados.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho constitui-se de seis capítulos, cujos conteúdos são abaixo descritos.

- No Capítulo 2, faz-se uma revisão da literatura sobre os métodos para obtenção de matriz origem-destino.
- No Capítulo 3, apresenta-se uma nova abordagem para o procedimento de obtenção de matriz origem-destino.
- No Capítulo 4, apresenta-se o método adotado na verificação do procedimento proposto para a obtenção de matriz origem-destino. São descritas as fases e atividades incluídas em cada uma delas, enfatizando-se os propósitos de cada fase e os produtos gerados.
- No Capítulo 5, apresentam-se os dados utilizados;
- No Capítulo 6 descrevem-se os resultados obtidos na aplicação do procedimento proposto. Apresentam-se os aspectos considerados na definição da amostra de viagens obtida a partir da pesquisa domiciliar, definem-se as variáveis e o conjunto de escolha do viajante, e determina-se o número de viagens entre pares de zonas de origem-destino.
- No Capítulo 7 apresentam-se as conclusões do trabalho e as dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa, sugerindo idéias para dar continuidade ao trabalho.
- No Anexo I, demonstra-se a interpretação de ε , erro devido a heterogeneidade.
- No Anexo II, mostra-se as instruções utilizadas no programa LIMDEP 7.0 para a calibração do modelo logit multinomial;
- No Anexo III apresenta-se a estimativa dos resultados;
- Finalmente, apresenta-se a bibliografia consultada.

Capítulo 2

Revisão dos métodos de obtenção da matriz O/D

2.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma revisão dos métodos para obtenção de matriz origem/destino (matriz O/D). Além das hipóteses básicas de cada método, descrevem-se suas características, vantagens e desvantagens. Na seção 2.2 realiza-se uma breve explicação dos conceitos básicos. As diferentes classes de modelos “tradicionais” de distribuição são definidas e identificadas na seção 2.3. Abordagens alternativas para determinação da matriz O/D são apresentadas na seção 2.4. Em seguida, na seção 2.4., são revisados os modelos usados para estimar a demanda a partir da oferta, enfatizando-se as características dos modelos e classificando-os segundo o número de modos considerados, em unimodais e multimodais. Na seção 2.6, são apresentadas as conclusões do capítulo.

2.2 Conceitos básicos

Existem dois pontos de vista para o estudo dos problemas de transporte: a análise da oferta (ou sistema de transporte) e a análise da demanda (ou padrão de atividades sócio-econômicas). Ambas as abordagens permitem a estimativa do número de usuários no sistema de transportes, sendo utilizada a análise da oferta de transporte para a determinação da influência exercida sobre a demanda quando se introduzem mudanças na infra-estrutura e/ou desempenho do sistema de transporte. Por outro lado, a análise da demanda de transporte têm por objetivo descrever a razão do comportamento do usuário; isto é, entender a inter-relação da demanda com a localização das atividades humanas e com a oferta de serviços de transporte. Esta tarefa envolve algumas dificuldades devido à demanda ser derivada das atividades humanas. Ambos os pontos de vista convergem em uma solução de equilíbrio de Wardrop para as condições existentes.

Tradicionalmente, tem-se reconhecido a multiplicidade de escolhas disponíveis para o viajante, sendo o processo de escolha representado por uma estrutura que combina uma série de modelos, correspondentes a cada uma das escolhas realizadas pelo viajante.

Existem duas formas de se propor a seqüência da tomada de decisão do viajante. A primeira é realizada seguindo o modelo "quatro etapas" para estimar a demanda de viagens. A segunda propõe uma seqüência de escolhas recursivas, na qual a geração de viagens é estimada baseada nas variáveis de demanda e o valor esperado das variáveis da oferta sobre todas as alternativas, sendo este denominado modelo de "escolhas hierárquicas". No entanto, nenhum dos dois modelos assegura uma solução consistente entre fluxos e níveis de serviço, devido aos modelos iniciais requererem

suposições acerca do seu nível de serviço, que somente podem ser conhecidas nos passos finais da execução do modelo.

O instrumento mais freqüentemente utilizado para visualizar a demanda de viagens é a matriz O/D, que descreve a interação espacial dos deslocamentos populacionais de uma área ou região, em um determinado intervalo de tempo. Uma matriz O/D geralmente é apresentada na forma mostrada na FIGURA 2.1.

matriz O-D =

O/D	1	2	3	4	E
1	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	IE
2	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{24}	IE
3	V_{31}	V_{32}	V_{33}	V_{34}	IE
4	V_{41}	V_{42}	V_{43}	V_{44}	IE
E	EI	EI	EI	EI	V

FIGURA 2.1 Matriz O/D obtida das pesquisas domiciliares e de linha de contorno

Geralmente, em uma zona de estudo podem ser identificadas quatro tipos de viagens: internas (V_{ij}), internas-externas (IE), externas-internas (EI) e externas-externas (EE). São definidas como V_{ij} as viagens que têm ambos, origem e destino, dentro da área de estudo limitada pela pesquisa de linha de contorno. Estas viagens são divididas em interzonais (V_{ij}) com i diferente de j ; e intrazonais, com origem e destino dentro da mesma zona. IE são as viagens que têm origem dentro da área de estudo definida pela pesquisa de linha de contorno e destino fora da área de estudo; EI, as viagens com origem fora da área de estudo definida pela pesquisa de linha de contorno e

destino dentro da área de estudo; EE são as viagens que passam pela área de estudo, ou seja, não têm nem origem nem destino nessa área.

As viagens externas (IE, EI e EE) distinguem-se por serem tratadas com considerações diferentes daquelas viagens efetuadas dentro da área de estudo (GHAREIB, 1996). As viagens externas, segundo ORTÚZAR & WILLUMSEM (1994), devem ser tratadas de modo completamente diferenciado, gerando uma matriz de viagens externa-externa e externa-interna (EE, EI), dado que estas viagens são estimadas a partir da pesquisa de linha de contorno e a estimativa de seus custos de viagem não é fácil.

2.3 Modelos tradicionais de distribuição de viagens

Os modelos de distribuição têm como objetivo expressar o volume de viagens mediante uma matriz não negativa (V_{ij}) que represente o número de viagens em uma área de estudo dividida em zonas, conforme mostrado na FIGURA 2.2, onde cada célula da matriz representa as viagens originadas em i com destino em j para um determinado tempo, em função das características sócio-econômicas da zona estudada, do custo de uso dos modos disponíveis e do nível de serviço.

Os métodos de distribuição constituem a etapa que procede à etapa de geração, requerendo portanto dados referentes ao número de viagens originadas e com destino em cada zona.

FIGURA 2.2 Diferentes tipos de viagem obtidos no método direto

Essa matriz O/D deve estar sujeita às seguintes restrições:

$$\begin{aligned} \sum_j V_{ij} &= O_i \\ \sum_i V_{ij} &= D_j \end{aligned} \quad (1)$$

para todo i e j , onde O_i é o número de viagens geradas na zona i , e D_j é o número de viagens que chegam à zona j .

Existem várias especificações dos modelos de distribuição. A maioria apresenta uma estrutura geral que pode ser representada da seguinte forma:

$$V_{ij} = A_i B_j f(C_{ij}) \quad (2)$$

onde A_i e B_j são funções das características sócio-econômicas da origem e do destino, respectivamente; e $f(c_{ij})$ pode ser uma função que representa a impedância da viagem entre i e j , ou pesos interzonais.

Os principais modelos deste tipo são apresentados na Tabela 2.2 (ao final do capítulo).

2.4 Determinação da matriz O/D

O método convencional para estimativa do número de viagens geradas em cada zona consiste na realização de uma pesquisa domiciliar em conjunto com uma pesquisa de linha de contorno. Os requisitos apontados pela Associação Nacional de Transporte Público (ANTP) para determinar a matriz O/D encontram-se resumidos na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Requisitos para implantação do método convencional

Item	Requisito
Tamanho da cidade	Em cidades com população acima de 50.000 habitantes
Recursos necessários	Bases cartográficas do sistema viário, do transporte coletivo, do uso e ocupação do solo, dos setores censitários e dos limites municipais, e distritais. Cadastro de domicílio. Dados censitários. Guia de ruas. Questionário das pesquisas domiciliares e da linha de contorno. Equipe de planejamento da pesquisa, que defina o zoneamento, os questionários, os manuais de procedimento, o treinamento das equipes de campo, de controle da pesquisa, de tabulação e de avaliação/análise dos resultados.
Custo aproximado	Entre R\$ 15,00 e 30,00 por domicílio variando em função do tamanho da cidade.
Prazos de estudos	Proporcionais à área de pesquisa, podendo variar de meses a 1 ano.
Resultados esperados	Banco de dados, atualizado periodicamente, sobre a demanda de viagens diárias na área urbana, relativos a modo, motivo, duração, horário, origem e destino das mesmas.

Fonte: ANTP(1997)

O método convencional utilizado na obtenção da matriz O/D geralmente envolve uma série de problemas, já comentados no Capítulo 1. Alguns dos métodos alternativos de estimativa apresentam-se, de forma resumida, na

Tabela 2.2 no final deste capítulo. Destes métodos, no próximo item serão revistos os modelos baseados em contagens de tráfego, por representar uma das principais linhas de pesquisa na estimativa de matrizes O/D nos últimos anos e os modelos de oferta serão revisto no 2.4.2.

2.4.1 Modelos baseados em contagens de tráfego

Os modelos baseados em contagens de tráfego consideram os fluxos nos diferentes arcos da rede como o resultado de uma combinação entre o padrão de alocação das viagens na rede e uma matriz O/D. Então, as viagens entre uma zona i e um destino j (V_{ij}) e o fluxo de tráfego através da rede estão relacionados, sendo que esta relação pode ser expressa como:

$$V_a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{ij}^a V_{ij} \quad (3)$$

onde:

V_a = fluxo registrado no arco a ;

V_{ij} = número de viagens com origem em i e destino em j ;

P_{ij}^a = proporção das viagens entre i e j que utilizam o arco a .

A proporção das viagens P_{ij}^a pode ser obtida utilizando-se os métodos de alocação das viagens na rede; esses métodos tradicionalmente são classificados em dois grupos:

- Alocação sem restrição de capacidade; todas as viagens são alocadas às rotas de tempos mínimos. O caminho de tempo mínimo entre duas zonas não é alterado pelo volume de tráfego; os arcos têm capacidade infinita. A proporção das viagens entre as zonas i e j que utilizam o arco pode ser determinada independentemente da matriz O/D.

- Alocação com restrição de capacidade; considera-se que o número de viagens nos arcos não pode ultrapassar a capacidade dos mesmos e o caminho de tempo mínimo entre duas zonas é alterado pelo volume de tráfego em cada arco. A proporção das viagens entre as zonas i e j que utilizam o arco não pode ser determinada independentemente da matriz O/D.

A rede de transporte em estudo é representada através de M nós, dos quais N são centróides (nós que são origem ou destino das viagens), e L arcos direcionados. Cada nó está interconectado a outro nó mediante arco; os arcos representam a rede rodoviária da zona de estudo. Consideramos que existem c pontos de contagem localizados em diferentes arcos (L_c). Dessa forma, a matriz O/D da zona estudada consistirá em N^2 células, sendo que $N(N-1)$ células representam as viagens interzonais, existindo assim c contagens que gerarão um sistema com igual número de equações lineares. Como $N^2 - N(N-1)$ é tipicamente maior do que c , é originado um sistema indeterminado de equações. Portanto, a informação obtida pelas contagens de tráfego é insuficiente para estimativa da matriz O/D, sendo requerida informação adicional.

Como é impossível determinar uma solução única somente com as informações provenientes das contagens, torna-se necessário prover informação adicional. ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994) classificaram os modelos que incluem esta informação adicional em estruturados e não estruturados.

- No modelo estruturado, o modelo de demanda que provê a informação adicional é calibrado utilizando-se as contagens de tráfego. Como consequência, o possível espaço da matriz O/D estimada é restringido através da imposição de uma estrutura do modelo de demanda, por

exemplo modelo gravitacional ou demanda direta. Segundo YANG et al. (1991), o problema de indeterminação usualmente é convertido em um sistema possível e determinado.

- No modelo não estruturado, a informação adicional é obtida mediante princípios gerais: minimização da informação, maximização da entropia (VAN ZUYLEN & WILLUMSEN, 1980); ou princípios estatísticos, tais como: máxima verossimilhança (SPIESS, 1987), mínimos quadrados (BELL, 1991), inferência Bayesiana (MAHER, 1983), estimativa do parâmetro θ em redes estocásticas (LIU & FRICER, 1996), etc.

2.4.2 Modelos de oferta

Nos modelos baseados na oferta, utilizados para estimativa da demanda quando se introduzem mudanças na infra-estrutura e/ou no desempenho, o problema da estimativa da demanda é resolvido por meio do equilíbrio na rede de transporte. Essa análise é realizada com a suposição de que todos os outros custos permaneçam constantes.

Nos modelos baseados na oferta, a demanda modal é expressa simplesmente em termos do seu próprio custo modal e todas as outras alternativas são consideradas implicitamente.

Em geral, os modelos desenvolvidos podem ser classificados da seguinte maneira (WILLIAMS et al., 1992):

1. A matriz O/D de cada modo é conhecida, e o objetivo é obter-se o equilíbrio através do princípio de Wardrop na rede. Neste caso, trata-se de um problema de distribuição, não sendo realmente um problema de alocação - divisão modal.

2. A soma das matrizes O/D de todos os modos encontra-se disponível, e a porção de cada modo é uma função dos tempos de viagem entre pares O-D usando modos alternativos. Neste caso o equilíbrio de Wardrop é estendido também para a escolha de modo. No equilíbrio, os usuários não podem mudar de rota para diminuir seu custo de viagem, mas podem diminuí-lo mudando de modo.
3. A matriz soma de todos os modos encontra-se disponível, mas a porção de cada modo não é conhecida. A escolha de caminho segundo Wardrop é estendida também para a escolha de modo. No equilíbrio, o usuário não pode mudar de rota nem de modo para abaixar seu custo de viagem.

Os modelos de equilíbrio baseados na formulação da otimização equivalente podem ser classificados em duas categorias: aqueles que consideram custos e demandas separáveis, e aqueles que consideram custos e demandas não separáveis.

TABELA 2.2 Resumo dos métodos de distribuição

MODELO	DADOS NECESSÁRIOS	BASE TEÓRICA E EQUAÇÕES	MÉTODO DE SOLUÇÃO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
1. Método de fatores de crescimento	Matriz "a priori", v , e resultados da fase de geração, O_i e D_j .	Cálculo das taxas de crescimento (τ_i e Γ_j) das viagens geradas nas origens e nos destinos: 1.1 $\tau_i = O_i / o_i$; 1.2 $\Gamma_j = D_j / d_j$ 1.3 $V_{ij} = v_{ij} A_i \tau_i B_j \Gamma_j = v_{ij} a_i b_j$ 1.4 $a_i = O_i / \sum_j v_{ij} b_j \quad \forall i$ 1.5 $b_j = D_j / \sum_i v_{ij} a_i \quad \forall j$	Método de Furness, também chamado de "bi-proporcional", consiste na atualização da matriz O/D ajustando alternadamente as restrições nas origens e as restrições nos destinos, até a convergência.	a-Convergência do método às vezes lenta b-Resultados de fácil interpretação devido à utilização de dados observados e taxas de crescimento c-Não recomendável para previsões a longo prazo d-Sensível a erros na matriz "a priori" e-Configuração da rede não é levada em conta	Ortúzar & Willumsen (1994)
2. Gravita-cional	Resultados da fase de geração, O_i e D_j , e custos generalizados interzonais, c_{ij} e custo médio das viagens	A origem é a lei de gravitação universal de Newton: $V_{ij} = \alpha \frac{O_i D_j}{c_{ij}^2}$, quanto mais longe estiver uma zona, menor será o número de viagens realizadas com esse destino. Expressão generalizada: 2.1 $V_{ij} = \alpha O_i D_j f(c_{ij})$, onde 2.2 $f(c_{ij}) = c_{ij}^n e^{-\beta c_{ij}}$ 2.3 $V_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(c_{ij})$ 2.4 $A_i = 1 / \sum_j B_j D_j f(c_{ij})$ 2.5 $B_j = 1 / \sum_i A_i O_i f(c_{ij})$	Método análogo ao método de Furness. Os fatores de balanço A_i e B_j calculam-se alternadamente, começando por estabelecer $B_j = 1$ e calculando a seguir os A_i . Realiza-se um teste para verificar a convergência do método.	a- A analogia com uma lei física faz com que os resultados sejam facilmente interpretados. b- Introduzem a utilização de custos, que devem ser previamente avaliados ou medidos, a menos que se utilize um método de solução simultânea das quatro etapas (geração, distribuição, divisão modal e alocação).	

TABELA 2.2 Resumo dos métodos de distribuição (continuação)

MODELO	DADOS NECESSÁRIOS	BASE TEÓRICA E EQUAÇÕES	MÉTODO DE SOLUÇÃO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
3. Entrópico	Resultados da fase de geração, O_i e D_j e custo médio das viagens	Considera-se como matriz O/D com maior verossimilhança, aquela que corresponde ao maior número de observações individuais. O número de observações individuais associado a uma matriz O/D é dado por: $3.1 \quad W = \frac{(\sum_{ij} V_{ij})!}{\prod_{ij} V_{ij}!}$ A matriz com maior verossimilhança obtém-se maximizando 3.1 em relação aos V_{ij}, sujeito às restrições sobre as origens e os destinos. Aplicando logaritmos e simplificando: $3.2 \quad \max E = -\sum_{ij} (V_{ij} \log V_{ij} - V_{ij})$ sujeito a: $3.3 \quad \sum_j V_{ij} = O_i,$ $3.4 \quad \sum_i V_{ij} = D_j$ $3.5 \quad V_{ij} \geq 0$	O modelo tem solução única por tratar-se da maximização de uma função côncava em um domínio convexo. Pode-se resolver usando métodos de programação linear.	a- Os custos da viagem não intervêm neste método (desvantagem) b- Trata-se de um método rígido por não considerar parâmetros de calibração (desvantagem) Estas desvantagens podem ser superadas acrescentando uma restrição envolvendo custos: $\sum_{ij} V_{ij} c_{ij} = C$	Wilson (1967)

TABELA 2.2 Resumo dos métodos de distribuição (continuação)

MODELO	DADOS NECESSÁRIOS	BASE TEÓRICA E EQUAÇÕES	MÉTODO DE SOLUÇÃO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
4. Métodos baseados em contagens	Contagens de tráfego, volumes observados nos arcos, V_a .	A relação fundamental para a estimativa da matriz O/D é: $4.1 \quad V_a = \sum_i \sum_j p_{ij}^a V_{ij}$ Para corrigir inconsistências nos dados (observações) supõe-se que os fluxos observados, $\hat{V}_a$, obedecem a uma lei de probabilidades de Poisson e usa-se o método de máxima verossimilhança junto com a equação: $4.2 \quad \sum_l V_{lm} = \sum_k V_{mk} \quad \text{em cada nó}$ para estimar os valores de V_a.	As proporções, p_{ij}^a, podem ser determinadas usando métodos determinísticos (caminho mais curto) ou estocásticos (caminho razoável). Para corrigir inconsistências nos dados (observações) supõe-se que os fluxos observados, $\hat{V}_a$, obedecem a uma lei de probabilidades de Poisson e usa-se o método de máxima verossimilhança junto com a equação: $4.2 \quad \sum_l V_{lm} = \sum_k V_{mk} \quad \text{em cada nó}$ para estimar os valores de V_a.	a- Não precisa de fase de geração, isto é, não precisa de dados sociológicos, demográficos, etc., o que resulta em um método menos oneroso. b- Não permite fazer projeções no futuro, as contagens só fornecem informação sobre a situação atual. c- Maior dificuldade na interpretação dos dados d- Método depende muito do modelo de alocação.	Van Zuylen & Willumsen (1980)

TABELA 2.2 Resumo dos métodos de distribuição (continuação)

MODELO	DADOS NECESSÁRIOS	BASE TEÓRICA e EQUAÇÕES	MÉTODO DE SOLUÇÃO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
5. Modelo combinado	Utilidades observadas pelos viajantes, custos percebidos totais	O modelo será apresentado na forma do programa matemático equivalente 5.1 $\min Z(S,T,H)=J(s)+\Psi(T)+\Phi(H)$ sujeito a: 5.2 $\sum_j V_{ij} = O_i \quad \forall i$ 5.3 $\sum_p H_p = V_{ij} \quad \forall ij$ 5.4 $J(s) = \frac{1}{\theta} \sum_{i \in L} \left[\frac{\alpha}{2} S_i^2 + \alpha S_i - (\alpha S_i + E_i) \log(\alpha S_i + E_i) \right]$ $\Psi(T) = \frac{1}{\theta} \sum_{ij} [V_{ij} \log V_{ij} - A_j V_{ij} - V_{ij}]$ $\Phi(H) = \sum_a \int_0^{F_a} C_a(\omega) d\omega$ $F_a = \sum_p \delta_{ap} H_p$	Métodos de solução de programas matemáticos não lineares.	a- Trata as quatro etapas simultaneamente b- Leva em conta efeitos de congestionamento c- Utiliza um programa matemático equivalente	Safwat & Magnanti (1988)

TABELA 2.2 Resumo dos métodos de distribuição (continuação)

MODELO	DADOS NECESSÁRIOS	BASE TEÓRICA e EQUAÇÕES	MÉTODO DE SOLUÇÃO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
6. Método tri-proporcional	Resultados da fase de geração, O_i e D_j , e custos generalizados interzonais, c_{ij} . Pode-se usar uma matriz "a priori" para iniciar a solução.	Semelhante ao método bi-proporcional, mas utiliza adicionalmente dados sobre a distribuição dos custos na rede: $6.1 \sum_{ij} V_{ij} \delta_{ij}^m = R_m \forall m$	Mesma filosofia do método de Furness, ajuste alternado das restrições nas origens, nos destinos e nos custos, até a convergência.	a- Trata-se de um método simples, e não requer necessariamente uma matriz inicial. b- Não é tarefa fácil achar a distribuição de custos, especialmente se tratando de custos generalizados. c- O algoritmo não converge rapidamente e o método não tem parâmetros de calibração.	

Adaptado de Bierlaire (1991)

Resumo da notação utilizada na TABELA 2.2:

θ : coeficientes a estimar no método combinado

τ_i : taxa de crescimento sobre as origens i

Γ_j : taxa de crescimento sobre os destinos j

δ_{ap} : 1 se o arco a pertence ao caminho p , 0 se não

δ_{ij}^m : 1 se o custo de i até j está no intervalo m , 0 se não

p_{ij}^a : proporção do tráfego entre i e j que utiliza o arco a

A_i, B_j : fatores de balançamento

A_j : variáveis sócio-econômicas de atração

C_a : função de custo sobre o arco a

c_{ij} : custo de viagem entre uma zona i e uma zona j

D_j : número de viagens que chegam a uma zona j

E_i : valor de uma variável sócio-econômica que influencia as viagens que partem de i

H_p : fluxo no caminho p

O_i : número de viagens geradas em uma zona i

R_m : número de viagens associado a um intervalo de custos m

S_i : acessibilidade da origem i

v : matriz "a priori"

v_{ij} : elementos da matriz v , i representa as filas, j as colunas

V : matriz origem - destino (O/D)

V_a : fluxo em um arco a

V_{ij} : elementos da matriz V , i representa as filas, j as colunas

2.5 Conclusões

A representação da demanda de viagens entre diversas zonas em estudo, utilizando-se uma matriz O/D, corresponde tradicionalmente à etapa de “distribuição de viagens” no procedimento clássico de quatro etapas. O método convencional de estimativa da matriz O/D apresenta vários problemas, destacando-se por ser demorado, custoso e laborioso. Diversos métodos alternativos têm sido propostos, tentando minimizar algum problema específico e racionalizar o uso dos recursos. Neste capítulo foram revisados os diversos métodos alternativos para estimativa da matriz O/D, enfatizando-se os modelos baseados em contagens de tráfego, objeto de ampla pesquisa nos últimos anos.

No próximo capítulo, apresenta-se o método proposto para obtenção da matriz O/D, caracterizado por utilizar um número reduzido de dados e menor quantidade de recursos que os métodos propostos até a presente data.

Capítulo 3

Método proposto para determinação da matriz O/D

3.1 Introdução

Neste capítulo descreve-se o procedimento proposto para estimação da matriz O/D de viagens por um modo qualquer m , tendo como base uma matriz O/D para um modo específico n e modelos comportamentais desagregados, estimados com os dados coletados junto aos habitantes da cidade. Na seção 3.2 apresenta-se as considerações iniciais que servem como justificativa para a adoção dos elementos (modelo comportamental desagregado e a matriz O/D de transporte público) que farão parte do procedimento, o qual é detalhado na seção 3.3. Suas principais vantagens e desvantagens são descritas na seção 3.4.

O modelo comportamental, adotado no procedimento proposto, parte do pressuposto de que um grupo de indivíduos com características sócio-econômicas similares e condições de viagem similares apresenta uma distribuição de viagens similar entre os diferentes modos. Este tipo de modelo foi adotado por apresentar grande sensibilidade tanto às mudanças nos níveis de serviço dos modos de viagem quanto às variações observadas nos atributos sócio-econômicos dos usuários. Outro motivo, igualmente importante, é que modelo comportamental pode ser estimado com um volume de dados relativamente pequeno, de 500 a 1000 entrevistas.

O outro elemento a ser utilizado no procedimento é a matriz O/D referente a algum modo de viagem. A que geralmente está disponível é a matriz O/D de transporte público, pois sendo este o modo motorizado mais utilizado nas cidades brasileiras, várias empresas operadoras vêm se empenhando para elaborar a matriz O/D dos seus usuários. A oferta de serviço de bom nível, a um baixo custo, só pode ser conseguida com a operação eficiente, que pode ser conseguida a partir do conhecimento da matriz O/D.

Quando a probabilidade de uso de um modo de viagem é representada por um modelo comportamental desagregado, o número de viagens num dado par O/D, usando um determinado modo de viagem, pode ser estimado, entre outros métodos, através da somatória da probabilidade de uso daquele modo, calculado para cada viagem realizada no par O/D. Esse processo é geralmente conhecido como agregação. Alternativamente, o número de viagem por modo, no par O/D, pode ser estimado multiplicando o total de viagens existente no par pela probabilidade estimada por meio de modelo comportamental desagregado aplicado aos atributos médios dos viajantes e das viagens. A idéia principal do processo apresentado na seção 3.2. está baseada nesse segundo método de agregação.

3.2 Considerações Iniciais

A movimentação de pessoas e de carga num espaço geográfico é analisado com base na discretização da área em estudo, ou seja, na divisão da área em zonas de tráfego. Assim, uma das primeiras decisões a ser tomada em qualquer estudo de transporte é a escolha da dimensão adequada para a zona de tráfego. A escolha é orientada pelo propósito do estudo e depende da adequada ponderação entre a precisão desejada e o custo associado ao número de zonas. Geralmente, quanto maior for o tamanho da zona de tráfego, menor é a precisão e também o custo.

O desenvolvimento do procedimento é baseado nas viagens realizadas entre uma zona de origem i e uma zona de destino j , genéricas, sem se preocupar com o tamanho das zonas de tráfego. A questão do tamanho das zonas será enfocada no Capítulo 4, Metodologia para verificação do procedimento proposto, onde será analisada a influência da subdivisão das zonas de tráfego em partes menores.

O procedimento baseia-se na idéia de que a proporção de usuários do grupo g que utiliza o modo m entre a origem i e o destino j pode ser expressa como:

$$f_{ijg}^m = \frac{N_{ijg}^m}{N_{ijg}^{total}} \quad (4)$$

onde: N_{ijg}^m = número de viajantes do segmento g que viajam entre as zonas i e j usando o modo m ,

N_{ijg}^{total} = tamanho do grupo g .

A razão da Eq. 3 pode ser considerada como sendo a probabilidade de um viajante do segmento g viajar da origem i para o destino j usando modo m .

$$f_{ijg}^m = P_{ijg}^m \quad (5)$$

onde:

P_{ijg}^m = probabilidade de um usuário pertencente ao grupo g viajar entre i e j usando modo m .

A parcela de usuários do segmento g que viajam entre as zonas i e j usando modo m é dada por:

$$N_{ijg}^m = N_{ijg}^{\text{total}} P_{ijg}^m \quad (6)$$

Esta expressão estabelece a relação entre a distribuição dos viajantes nos diferentes modos disponíveis e a probabilidade de sua ocorrência. A probabilidade definida na Eq. 4 pode ser estimada utilizando modelos desagregados ou agregados.

Antes de continuar, é importante que sejam aqui discutidas as razões que levaram a escolher modelos desagregados para compor o procedimento proposto. Basicamente, esses modelos foram escolhidos porque são sensíveis às mudanças nos atributos sócio-econômicos dos usuários e de viagem e porque os modelos podem ser estimados a partir de um número relativamente reduzido de entrevistas. O problema é que modelos desagregados foram concebidos para representar o comportamento de grupos homogêneos, o que, via de regra, requer segmentação dos usuários a fim de se obter grupos mais homogêneos.

Ainda, considerando-se que geralmente o método de pesquisa de campo utilizado na obtenção da matriz O/D nas linhas de transporte público é o de cartão, em que o ponto de origem fica registrado no cartão e o ponto de destino no envelope onde o cartão é depositado, os dados coletados não trazem informações suficientes para a segmentação dos usuários de transporte público (uma das exceções é a distância de viagem que não depende de informações fornecidas pelos usuários). E essa constatação levaria à conclusão de que os modelos desagregados não podem ser aplicados ao procedimento a ser proposto, tendo-se em vista que estar-se-ia aplicando modelos desagregados aos grupos heterogêneos.

Felizmente, analisando as bases conceituais dos modelos desagregados, fica claro que o modelo permite uma interpretação diversa das usuais. Um dos conceitos é a utilidade (U) do modo de viagem, geralmente descrita como soma de dois componentes: o sistemático (V) que pode ser expresso

em termos de variáveis incluídas no modelo, e o aleatório (ε) que reflete a idiossincrasia e o gosto de cada indivíduo, juntamente com qualquer erro de medida ou de observação cometido pelo analista (vide ORTÚZAR & WILLUMSEM, 1994).

A interpretação diversa, referida no parágrafo anterior, é a seguinte: a utilidade U , atribuída por um membro do grupo heterogêneo é a soma de dois componentes: o sistemático (V) que pode ser expresso em termos de médias dos valores das variáveis incluídas no modelo, calculados para todos os membros do grupo heterogêneo, e o aleatório (ε) que reflete a idiossincrasia e o gosto de cada indivíduo, juntamente com qualquer erro de medida ou de observação cometido pelo analista e as diferenças entre os atributos individuais e a média do grupo.

Com o intuito de mostrar a validade dessa interpretação, apresenta-se, no Anexo 1, uma verificação da hipótese de que a distribuição das distâncias entre pontos internos às duas zonas circulares pode ser representada por uma distribuição de Gumbel, distribuição essa que é adotada para descrever o termo aleatório (ε) da utilidade percebida, no caso de modelo Logit, por um indivíduo pertencente ao grupo homogêneo.

De certa maneira, as zonas de tráfego já são estabelecidas de forma a se obter uma área mais ou menos homogênea, pelo menos em termos de atributos que descrevem as características sócio-econômicas. Portanto, de um lado é possível esperar que a heterogeneidade numa zona de tráfego não seja tão acentuada, e de outro, é plausível esperar que a maior variação das características individuais aconteça no conjunto de escolha disponível (por exemplo, se o viajante dispõe ou não de meio transporte privado, ou se viajantes deixam de considerar o modo a pé para distâncias acima de um determinado valor), e naqueles atributos que descrevem a viagem, tais como distância de acesso ao ônibus, etc.

Para representar a demanda através de uma matriz O/D, o número de viagens entre as zonas i e j para cada modo é determinado e definido como:

$$N_{ij}^m = \sum_g N_{ijg}^m \quad (7)$$

Portanto o número de viagens realizadas entre cada par de zonas i e j é:

$$N_{ij} = \sum_m N_{ij}^m = \sum_m \sum_g N_{ijg}^m \quad (8)$$

Para conversão da fração de viagens entre as zonas i e j , é necessário conhecer o número de viajantes por um modo. O número de usuários de ônibus pode ser usado com este propósito.

O número de viajantes entre duas zonas por ônibus é obtido da matriz O/D de ônibus. O seu uso justifica-se pelo caráter dominante da participação desse modo nas viagens diárias, e porque várias operadoras já a utilizam para o propósito de planejamento da oferta. Além disso, as cidades que ainda não dispõem desse instrumento podem obtê-lo a um custo relativamente baixo em relação a outros métodos.

A matriz O/D de ônibus é elaborada com base no conceito "número de usuários transportados dentro do veículo entre dois pontos". Conforme comentado anteriormente, uma matriz O/D nas linhas de transporte público é obtida através de um método conhecido como método do cartão ou método do santinho. O método consiste em entregar a passageiros que embarcam, um cartão com o registro do horário e do ponto de embarque, e, receber os cartões dos passageiros que desembarcam e depositá-los no envelope com o registro do horário e do ponto de desembarque. Assim, para cada ônibus pode ser obtida a matriz O/D de seus passageiros. Em termos de matriz, o total de cartões contidos em cada envelope significa total de passageiros

desembarcados no ponto registrado no envelope, ou seja, é a somatória da coluna que representa aquele ponto. E os cartões nele depositados indicam o número de passageiros embarcados em cada um dos pontos precedentes.

A matriz O/D da linha geralmente é obtida para as horas-pico ou para o dia todo, bastando para isso que sejam somadas as matrizes obtidas para todos os ônibus operadas na linha durante o período de interesse. Apesar de simples, o método apresenta algumas dificuldades que estão relacionadas às transferências e à incerteza quanto à verdadeira origem e destino das viagens.

Em qualquer sistema de transporte público algumas transferências sempre acontecem, ou como resultado da inexistência do serviço direto entre dois pontos, ou porque os passageiros tentam reduzir seu tempo de viagem preferindo tomar o primeiro ônibus que permita conexão com o ônibus da linha de seu interesse do que esperar pelo ônibus direto que tem baixa frequência.

A principal dificuldade associada à transferência é que, independentemente de se fará ou não transferência, o cartão é entregue ao pesquisador no momento do desembarque. Caso ele faça a transferência, a pesquisa indicará, erroneamente, que houve um passageiro cujo destino foi o ponto de transferência e que houve outro passageiro cuja origem foi o ponto de transferência. Não se estaria, portanto, descrevendo a real matriz O/D dos usuários de transporte público.

Uma maneira de evitar esses tipo de erro seria perguntar, ao passageiro que desembarca, se aquele é o seu ponto de destino, e caso a resposta seja negativa, solicitar que conserve o cartão até chegar no ponto de destino. O problema é que muitas vezes o passageiro acaba perdendo o cartão ou não se lembra onde o guardou. Uma alternativa, mais prática, é realizar uma pesquisa junto a uma parcela de usuários que esperam nos pontos de

cruzamento de linha de transporte público, ou nos terminais de transferência, para obter a informação sobre a linha que utilizaram e a linha que estão para utilizar. Essas informações são utilizadas na elaboração da verdadeira matriz O/D de transporte público.

Outra fonte de distorção é a incerteza quanto a verdadeira zona de origem ou de destino. O ponto de embarque ou o ponto de desembarque nem sempre pertencem, respectivamente, à zona de tráfego da origem ou à zona de destino da viagem. Tal situação pode ser causada pela inexistência de serviço de transporte público na zona de tráfego de origem da viagem. Para que o serviço de transporte público seja considerado uma alternativa disponível, ele deve ser encontrado dentro de uma distância de acesso tolerável para o viajante.

3.3 Método proposto

O procedimento que se propõe para a estimativa de matrizes O/D de um modo disponível m utiliza a combinação de duas fontes de informação: os resultados de um modelo comportamental desagregado e o conhecimento do número de viagens realizadas por um modo m entre um par de zonas i e j . O modo que pode servir a essa finalidade é o ônibus.

O modelo desagregado, após calibrado, pode ser utilizado para estimar a probabilidade de escolha do modo de viagem. Para um grupo de indivíduos com características sócio-econômicas e de viagens similares, a distribuição de probabilidades, obtidas pelo modelo desagregado e aplicada aos atributos médios do grupo, pode ser interpretada como sendo a divisão modal do grupo.

Assim, a parcela dos viajantes do segmento g que utiliza um determinado modo de viagem entre i e j pode ser obtida através das probabilidades resultantes do modelo de escolha aplicado aos atributos médios do grupo g.

$$\frac{N_{ijg}^m}{N_{ijg}^n} \frac{N_{ijg}^{total}}{N_{ijg}^{total}} = \frac{P_{ijg}^m}{P_{ijg}^n} \quad (9)$$

onde:

P_{ijg}^m = probabilidade de o segmento g escolher o modo m;

N_{ijg}^m, N_{ijg}^n = número de viagens realizadas entre as zonas i e j usando modo m e n, respectivamente;

N_{ijg}^{total} = tamanho do segmento g.

Tendo-se o número de viajantes entre i e j pelo modo n, e portanto, conhecendo-se N_{ijg}^n , o número de viajantes do modo m do segmento g pode então ser determinado através da expressão:

$$N_{ijg}^m = \frac{P_{ijg}^m}{P_{ijg}^n} * N_{ijg}^n \quad (10)$$

No caso em que uma matriz O/D de ônibus seja usada como referência (modo n), o número de viagens realizadas por ônibus no segmento g entre i e j deverá ser calculado, já que a única informação fornecida pela matriz O/D de ônibus é o número de passageiros, sem classificação por segmentos.

O número total de viagens realizada pelo modo n é formado por pessoas pertencentes a diferentes segmentos da população, e cada segmento apresenta diferentes proporções de viajantes, como mostrado na Fig. 3.1.

Figura 3.1: Divisão dos viajantes em segmentos independentes

As pessoas que utilizam o modo n são divididas em N segmentos independentes, e as viagens realizadas por pessoas de diferentes segmentos são consideradas como eventos independentes ('disjoint'), porque um usuário não pode pertencer a dois segmentos ao mesmo tempo.

A proporção de viajantes da população viajando pelo modo n , considerando que o viajante de segmento g pelo modo n como evento independente, é dada por:

$$P_{ij}^n = \sum_g (P_{ijg}^n * P(g)) \quad (11)$$

onde

P_{ij}^n é a probabilidade de viajar usando modo n ;

P_{ijg}^n é a proporção de viajantes usando modo n e pertencentes ao segmento g ;

$P(g)$ é proporção do segmento g na população.

Utilizando a Eq. 11 e conhecida a proporção do segmento considerado na população, pode-se determinar o número de viajantes do segmento g que viajam pelo modo n (no caso do modo n ser ônibus, N_{ijg}^{bus}).

Conhecido o número de viajantes do segmento g, por ônibus, entre as zonas i e j, o número de viajantes entre i e j, usando o modo m é:

$$V_{ij}^m = \sum_{k=1}^g N_k P_{ijk}^m \quad (11)$$

onde:

V_{ij}^m é o número de viagens entre as zonas i e j pelo modo m.

P_{ijk}^m é a proporção de viajantes usando modo m e pertencentes ao segmento k

N_k é o tamanho do grupo K.

3.4 Vantagens e desvantagens do procedimento proposto

Como principais vantagens do método proposto destacam-se:

- a) A matriz de transporte público é geralmente obtida para um período de 24 horas e muitas vezes corresponde à totalidade da demanda diária, principalmente nas cidades de médio ou pequeno porte. Dessa forma, a matriz é baseada em grande número de observações, ao contrário de matrizes obtidas através de pesquisas domiciliares em que a amostra corresponde à pequena parcela da população (1% para cidades de grande porte e 3 a 5% para cidades de médio porte, conforme apresentado por ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1994, pág. 79);
- b) Como consequência do item (a), o número de células da matriz O/D em branco ou com número não significativo de viagens é bem reduzido;

- c) O modelo de escolha discreta pode ser estimado com dados de um número reduzido de indivíduos;
- d) Várias cidades dispõem de matriz origem-destino de transporte público. Sendo que as cidades que não dispõem da matriz de transporte público podem conseguí-la em alguns dias e a baixo custo.

As duas principais desvantagens são:

- a) Existência de algumas zonas de tráfego que não são servidas por transporte público e portanto as linhas e colunas da matriz O/D correspondentes a essas zonas ficarão vazias. Entretanto esta desvantagem não deve constituir-se em dificuldade. Julga-se que este problema pode ser facilmente resolvido a partir da pesquisa entre usuários de outro modo, por exemplo o automóvel, ou usando-se modelos matemáticos para estimar o valor das células vazias.
- b) Necessidade de considerar-se como zona de origem a zona à qual pertence o ponto de subida ao ônibus e como zona de destino a zona na qual está o ponto de descida do ônibus.

3.5 Considerações finais

No presente capítulo foram apresentadas: 1) as justificativas para o uso dos elementos que compõem o procedimento proposto e discussões a respeito desses elementos; 2) procedimento para estimativa de matriz O/D referente a qualquer modo disponível, tendo-se como informações básicas a matriz O/D obtida para um dos modos disponíveis e modelos comportamentais desagregados estimados com dados locais; e 3) hipóteses, vantagens e desvantagens do procedimento.

Capítulo 4

Metodologia para verificação do procedimento proposto

4.1 Introdução

Apresenta-se a seguir o método que será utilizado para verificação do procedimento proposto no Capítulo 3. Os diferentes aspectos envolvidos nesta metodologia serão descritos na forma de atividades.

4.2 Desenvolvimento do método de verificação

Antes de estabelecer critérios para avaliar o procedimento proposto, é importante considerar os possíveis erros subjacentes ao mesmo, de maneira a poder elaborar uma estratégia apropriada de análise e mensuração. Os erros implícitos podem ser divididos em dois tipos:

- (1) Erros referentes ao modelo desagregado de escolha modal.
- (2) Erros referentes às falhas na aplicação do procedimento.

Os erros do tipo (1) são causados pela falha do modelo em representar o comportamento de escolha de viajantes. As causas podem ser várias: a) erro na escolha do modelo desagregado de escolha modal (exemplo, escolher o modelo Logit quando a distribuição da parcela aleatória da utilidade não segue a distribuição de Gumbel); b) erro de estimação do

modelo (exemplo, por alguma razão uma variável importante não foi incluída no modelo); c) violação de um dos fundamentos teóricos do modelo desagregado (exemplo, as alternativas não são independentes como requer o modelo Logit) (HOROWITZ, 1981); e d) erro na especificação da estrutura de escolha (exemplo, aninhado ou não aninhado) (WILLIAMS et al., 1982). Esses erros, dependendo da gravidade, podem invalidar o uso dos modelos.

Os erros do tipo (2) são de caráter metodológico, sendo causados pelas falhas na aplicação do procedimento proposto ao estimar a matriz O/D. Os erros do tipo (2) podem ser: subdivisão insuficiente da área de interesse; adoção de velocidade média única para os ônibus; adoção de um único valor para o consumo de combustível; etc. Na realidade, é difícil medir os erros do tipo (2) isoladamente, uma vez que também o modelo desagregado, sujeito a todos os erros do tipo (1), compõe o procedimento proposto.

Os erros do tipo (1) podem ser medidos e analisados isoladamente, assim como o erro total, que pode ser medido e analisado através da comparação entre a matriz O/D estimada e a matriz O/D observada. Porém, o erro do tipo (2) somente pode ser mensurado indiretamente, através da análise de sensibilidade do erro total em relação a cada um dos erros do tipo (2).

Para a mensuração e análise do erro total existem diferentes medidas e critérios, os quais podem ser agrupados em duas classes. A primeira classe compreende os critérios fundamentados na similitude das características da matriz observada e da matriz estimada, tais como a distribuição da distância de viagens ou da distância média das viagens, e a segunda classe compreende critérios baseados na comparação célula a célula de ambas as matrizes.

A metodologia para verificação é constituída de duas fases, decorrente da classificação dos erros acima discutidos. Os dados utilizados tanto na primeira fase quanto na segunda fase foram coletados na cidade de Bauru.

4.2.1 Fase I - Diagnóstico e correção dos erros referentes ao modelo de escolha modal

Esta fase é destinada à definição e sistematização do procedimento para seleção do modelo de escolha modal, de obtenção da amostra estatisticamente significativa e de definição dos testes para que o modelo de divisão modal não tenha erros de especificação. Outra finalidade desta fase é a obtenção de modelo de escolha modal que seja o mais representativo possível dentro das limitações dos dados disponíveis. Pretende-se, com isso, garantir que os erros do tipo (1) sejam reduzidos ao mínimo, dentro do procedimento de estimação da matriz O/D. As atividades compreendidas nesta fase são apresentadas a seguir.

Atividades

i. Estimativa do erro de estimação do modelo de escolha modal

No processo de estimação do modelo podem ser cometidos uma variedade de erros. Os erros mais comuns para o modelo logit multinomial têm sido estudados com bastante profundidade por BEN-AKIVA (1987), e HOROWITZ (1981, 1980b). Este tipo de erro tem duas fontes: dados utilizados na calibração do modelo e a definição da função utilidade.

ii. Estimativa do erro de especificação da função utilidade

Envolve a estimação da função utilidade especificada como linear. Uma vez estimado o modelo pelo método de maximização de verossimilhança,

efetuam-se os seguintes testes, cujos resultados são utilizados para diagnóstico e correção dos erros subjacentes ao processo de estimação do modelo.

- Teste de significância para cada uma das variáveis. É realizado mediante a estatística t em conjunto com a análise do sinal de cada coeficiente estimado, segundo a TABELA 4.1.

O teste t refere-se ao teste de hipótese de que o valor estimado para o parâmetro é igual a zero. Um valor de $|t| > 1,96$ indica que a hipótese do valor estimado ser zero pode ser rejeitada com um nível de confiança igual a 95%; $|t| > 1,65$ para poder rejeitar a hipótese com nível de confiança de 90%; $|t| > 1,44$ com nível de confiança de 85%.

TABELA 4.1 Análise dos sinais dos coeficientes das variáveis da função utilidade

		Sinal	
		Correto	Incorreto
Variável	Significante(*)	Incluir	Reestimar
	Não significante	Incluir	Rejeitar

Adaptado de ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994)

(*) Variáveis significantes são as variáveis cujos coeficientes apresentam valores significantes e diferentes de zero. Quando a variável é significativa esta deve ser sempre incluída na função utilidade. Neste caso dever-se-ia considerar a forma de entrada da variável na função utilidade, ou se a variável está representada nos dados de forma estatisticamente significativa. Caso contrário é necessário reestimar o tamanho da amostra, ou fixar seu valor a partir do valor obtido em estudos similares.

- Coeficiente de qualidade do ajuste p^2 .

$$\rho^2 = 1 - \frac{L^*(\hat{\theta})}{L^*(0)} \quad (13)$$

onde:

$L^*(\hat{\theta})$ = Logaritmo da função de verossimilhança com todos os coeficientes diferentes de zero;

$L^*(0)$ = Logaritmo da função de verossimilhança com todos os coeficientes iguais a zero.

A modificação é sugerida por McFADDEN (apud TYE et al., 1982, pág.19)

$$\rho_c^2 = 1 - \frac{L^*(\hat{\theta})}{L^*(c)} \quad (14)$$

onde:

$L^*(c)$ = Logaritmo da função de verossimilhança avaliada para todas as constantes específicas das alternativas.

Segundo ORTÚZAR & WILLUMSEM (1994; pág.246), a faixa de valores de ρ^2 pode estar entre 0 e 1, mas os valores próximos a 0,4 podem ser considerados como um excelente ajuste.

iii. **Estimativa do erro na especificação do conjunto de alternativas disponíveis.** Este é um dos aspectos mais difíceis a serem resolvidos, devido à existência de uma estreita relação entre o poder explicativo obtido pelo modelo e o conjunto de escolha disponível ao usuário. No contexto de modelos de escolha modal este conjunto é constituído por todas aquelas alternativas de transporte realmente consideradas pelo usuário.

O poder explicativo do modelo é afetado porque a inclusão de alternativas não consideradas, uma vez que os coeficientes do modelo procuram descrever a relação entre a utilidade predita e as escolhas observadas.

O processo de identificação das alternativas que compõem o conjunto de escolha é complexo devido ao fato de que o observador, externo ao processo de escolha que está sob escrutínio, tem informação limitada em relação à sequência de eventos e atores envolvidos.

O processo de construção do conjunto de alternativas no presente trabalho é determinístico, já que se considera que o conjunto de alternativas disponíveis para um indivíduo é conhecido com certeza, o que resulta no que é denominado “conjunto de escolhas esperado”.

iv. **Estimativa do erro na especificação da estrutura do modelo.** Teste para verificar a existência de correlação entre as características das alternativas no modelo logit multinomial. Quando essas características estão correlacionadas, está-se violando a propriedade de independência das alternativas (IAI), propriedade na qual baseia-se a estrutura do modelo logit multinomial.

A propriedade de independência das alternativas (IAI) pode ser enunciada pelo seguinte axioma, definido por LUCE & SUPPES (1965, apud ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1994):

Quando duas alternativas têm probabilidade diferente de zero de serem escolhidas, a relação entre elas permanece inalterada pela presença ou ausência de uma terceira alternativa.

A verificação da não violação da propriedade IAI é realizada ao comparar os resultados do modelo logit multinomial com um modelo menos restritivo. WILLIAMS & ORTÚZAR (1982) propuseram utilizar o modelo logit aninhado para realizar estes tipos de comparações.

As características principais do modelo logit aninhado, segundo SOBEL (1980), são descritas a seguir.

- A estrutura do modelo logit aninhado é caracterizada por agrupar as alternativas correlacionadas dentro de um ninho, conforme mostra a FIGURA 4.1.

FIGURA 4.1 Estrutura do modelo logit aninhado com dois níveis

- A função utilidade do ninho, neste modelo logit, está formada por dois termos; o primeiro termo que inclui o vetor q , que agrupa as variáveis comuns a todas as alternativas; e o segundo termo, denominado "máxima utilidade esperada", expresso como o logaritmo natural da somatória das funções utilidade de todas as alternativas.

$$V_{\text{ninho}} = \phi \text{EMU} + \alpha q \quad (15)$$

onde:

EMU = utilidade do ninho (máxima utilidade esperada);

q = vetor das características comuns às alternativas presentes no ninho;

ϕ, α = coeficientes das variáveis a serem obtidos na calibração.

O teste de especificação da estrutura (logit multinomial X logit aninhado) baseia-se na magnitude do coeficiente ϕ da máxima utilidade esperada no

ninho, a qual constitui um bom indicador da estrutura mais adequada. Quando este coeficiente se situa entre 0 e 1, a indicação é de que a estrutura do modelo logit aninhado representa o processo de decisão dos usuários. Quando o parâmetro aproxima-se de 0, tem-se clara indicação de que a escolha entre as alternativas é realizada de forma seqüencial, conforme representada pela estrutura do modelo logit aninhado. No caso em que este coeficiente esteja próximo de 1, a indicação é de que a escolha entre as alternativas é tomada simultaneamente, e ela pode ser representada por modelo logit.

O teste para determinar se ϕ é significativamente diferente de 0, baseia-se no valor do t estatístico, tal como foi descrito na atividade ii.

Para determinar se ϕ é diferente de 1, realiza-se o teste das hipóteses (BEN-AKIVA, 1987):

$$H_0: \hat{\theta} = 1$$

$$H_1: \hat{\theta} \neq 1$$

Faz-se uso da estatística t para testar as hipóteses, para intervalo de confiança $1-\alpha$, sendo t :

$$t = \frac{\hat{\phi} - 1}{s}$$

A região na qual H_0 será aceita é definida como:

$$\Pr \left[-t_{\alpha/2} \leq \frac{\hat{\theta} - 1}{S_{\hat{\theta}}} \leq t_{\alpha/2} \right] = 1 - \alpha$$

O propósito final desta fase de diagnóstico e predição dos erros de especificação, é conseguir com que o modelo aplicado para obtenção da divisão modal não contenha erros que possam prejudicar a sua aplicação.

4.2.2 Fase II - Diagnóstico e correção dos erros originados pelas falhas na aplicação do procedimento proposto

Nesta fase, apresenta-se a análise dos erros que são atribuídos à falha na aplicação do procedimento proposto. O principal erro tratado na parte prática deste trabalho refere-se a subdivisão da área em estudo. Outro erro a ser examinado neste trabalho é o originado pela falta de segmentação dos usuários de transporte público. Uma das finalidades da análise deste erro é a verificação da importância da segmentação, aplicando-a a um dos atributos sócio-econômicos dos usuários e a um dos atributos de viagem. A outra finalidade da análise é a verificação da validade da interpretação dada, no capítulo anterior, aos dois termos da utilidade do modo de viagem.

O atributo sócio-econômico usado na segmentação é a existência ou não de veículos particulares seu domicílio, e o atributo de viagem usado na segmentação é distância de viagem. Conforme discutido anteriormente, os dados exclusivamente coletados para elaboração de matriz O/D nas linhas de transporte público não fornecem informações necessárias para a segmentação dos usuários de transporte público, segundo atributos sócio-econômicos. A análise pôde ser realizada neste trabalho porque os dados disponíveis são resultantes de uma pesquisa domiciliar, permitindo, assim, a verificação de quão importante é a segmentação, tanto em termos gerais quanto em termos específicos (segmentação segundo atributos sócio-econômicos), para o procedimento proposto.

Atividades.

i. Seleção de alguns pares O/D a fim de aplicar o procedimento proposto e estimar o número de viagens realizado entre duas zonas, em cada um dos modos alternativos. Aqui serão considerados os seguintes casos: a) sem segmentação; b) com segmentação segundo distância de viagem; e c) com segmentação segundo existência ou não de automóvel no domicílio do usuário de transporte público.

O par O/D acima referido nem sempre se baseia nas "zonas de tráfego" pois, considerando-se que a matriz O/D resultante de pesquisa domiciliar realizada em uma amostra de domicílios muitas vezes apresenta células com pequena quantidade de viagens, e portanto não representativa, para efeito da verificação do procedimento algumas zonas de tráfego foram agrupadas para compor uma "zona de controle", de forma a apresentarem um volume significativo de passageiros de transporte público.

Uma vez aplicado o procedimento, para cada caso calculam-se as diferenças entre os números de viagens estimados e os números de viagens observados através da pesquisa domiciliar realizada na cidade de Bauru. Para análise do erro que pode ser atribuído ao procedimento, os seguintes critérios são utilizados:

- Distribuição da distância média de viagem, segundo distância de viagem por ônibus e segundo os modos de viagem, nas diferentes subdivisões da área urbana de Bauru.
- Distribuição das frequências de escolha dos modos de viagem segundo distância de viagem por ônibus.
- Cálculo do erro médio (δ_{ij}), um índice utilizado por WILDERMUTH et al. (1972) e recomendado por SMITH & HUTCHISON (1981). O valor do erro médio (δ_{ij}) de estimação do número de viagens da zona i para a zona j é expresso como:

$$\delta_{ij} = \frac{(Est_{ij} - Obs_{ij})}{Est_{ij}} \quad (16)$$

onde:

Est_{ij} = número estimado de viajantes entre as zonas i e j;

Obs_{ij} = número observado de viajantes entre as zonas i e j.

A Eq. 16 apresenta a vantagem de expressar o erro como uma proporção do número de viagens estimado, permitindo desta forma a comparação entre as diferentes subdivisões da área de estudo.

- O erro médio de todos os pares é dado pela média ponderada do erro médio (em módulo), utilizando como peso o número de viagens estimadas para cada par origem-destino.
- O Teste Kolmogorov-Smirnov é utilizado para verificar a aderência entre a distribuição observada do número de viagens e a estimada; o teste determina se os valores da distribuição de frequência acumulada estimada (F_{est}) podem ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição observada (F_{obs}).

ii. Sub-divisão das zonas de controle, com a finalidade de analisar o efeito do tamanho das zonas no erro de estimativa da matriz obtida segundo o procedimento proposto neste trabalho.

Para a realização desta divisão, considera-se que as zonas de controle, tais como foram definidas para realização da pesquisa domiciliar, apresentam uma distribuição homogênea das características sócio-econômicas dos habitantes.

4.3 Experimento proposto

O experimento consiste na aplicação do procedimento proposto a dados obtidos mediante uma pesquisa domiciliar realizada em Bauru. Portanto, a comparação dos resultados do procedimento será feita em relação àqueles obtidos na pesquisa domiciliar.

O experimento realiza-se seguindo os seguintes passos:

Passo 1.

Objetivo.

- Definir os segmentos de acordo com a existência ou não de veículos particulares seu domicílio
- Definir os segmentos de acordo com a distância de viagem

Atividades:

- Distinguir, entre os usuários de transporte público, o grupo para o qual automóvel faz parte do conjunto de modos alternativos de viagem do grupo e aquele para o qual automóvel não faz parte do conjunto de modos alternativos de viagem.
- Encontrar a distância crítica de viagem que melhor separe os usuários de transporte público em grupo para a qual a caminhada faz parte do conjunto de modos alternativos de viagem; e o grupo para a qual a caminhada não faz parte do conjunto de modos alternativos de viagem.

Passo 2.

Objetivo: obter a amostra a ser utilizada na estimação dos modelos de escolha modal.

Atividade: Obtenção de uma amostra aleatória de viagens para o caso sem segmentação e para cada um dos segmentos definidos no passo 1.

Os dados utilizados na estimação do modelo de divisão modal são obtidos a partir de uma amostra estatisticamente representativa e significativa.

Passo 3.

Objetivo: Estimar modelos desagregados para o caso sem segmentação e para cada um dos casos descritos no passo 1.

Atividade:

- Seleção das variáveis a ser utilizadas, segundo foi descrito na seção anterior;
- Verificação da estrutura do modelo.

Passo 4.

Objetivo: Obter os pares O/D para aplicação do procedimento.

Atividade: Seleção de amostra de pares O/D entre as possíveis zonas de controle, as quais devem possuir um número significativo de viagens observadas por ônibus.

Passo 5.

Objetivo: Verificar o desempenho do procedimento para os casos descritos no passo 3.

Atividades: Aplicação do procedimento proposto aos pares O/D selecionados no passo 4, e mensuração do erro.

Passo 6.

Objetivo: Analisar os resultados do procedimento

Atividades: Comparação dos desempenhos obtidos com o procedimento proposto para o caso sem segmentação, para os casos com segmentação

segundo distância de viagem, e para os casos com segmentação segundo existência ou não de automóvel seu domicílio.

4.4 Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se a metodologia a ser utilizada na verificação do desempenho do procedimento proposto, enfatizando-se as atividades a serem realizadas no sentido de evitar a ocorrência de erros de especificação ou na execução do procedimento.

No seguinte capítulo, apresentam-se os resultados obtidos da aplicação e verificação do procedimento proposto, bem como a análise e a comparação da influência da segmentação no seu desempenho.

Capítulo 5

Coleta e apresentação dos dados

5.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se os dados obtidos através da pesquisa domiciliar realizada na cidade de Bauru e a comparação, verificação, análise e discussão do procedimento proposto para obtenção da matriz O/D. Na seção 5.2 apresentam-se os dados utilizados, com a finalidade de mostrar as características da população pesquisada e para estabelecer um ponto de referência para justificar algumas hipóteses consideradas neste trabalho. Finalizando, com as considerações finais.

5.2 Dados utilizados

Os dados utilizados foram obtidos a partir de uma pesquisa domiciliar realizada na cidade de Bauru, estado de São Paulo. Um mapa simplificado da cidade é apresentado na FIGURA 5.1. A cidade tem uma população de aproximadamente 300.000 pessoas. A pesquisa foi realizada no mês de outubro do ano 1997.

A pesquisa domiciliar foi realizada junto a 3972 domicílios (5% do total de domicílios), e a cidade foi dividida em 98 zonas (ver FIGURA 5.2), das quais três foram consideradas zonas especiais, uma vez que geram poucas viagens e atraem uma grande quantidade de viagens; estas zonas são o campus universitário, o terminal rodoviário e o distrito industrial.

FIGURA 5.1 Mapa da cidade de Bauru

FIGURA 5.2 Mapa das zonas de tráfego da cidade de Bauru

5.2.1 Características sócio-econômicas.

A distribuição da renda dos domicílios encontrada na pesquisa é apresentada na FIGURA 5.3, é expressa em intervalos múltiplos de salários mínimos, e mostra que 39% dos domicílios pesquisados tem uma renda menor do que 5 salários mínimos.

FIGURA 5.3 Distribuição da renda por domicílio, segundo a pesquisa domiciliar

FIGURA 5.4: Distribuição da população encontrada na pesquisa domiciliar segundo faixa de idade

A população encontrada na pesquisa é constituída por 40% de jovens com menos de 23 anos; somente 7,4% tem mais de 65 anos, conforme mostra a FIGURA 5.4. A população é constituída por 46,9% do sexo masculino e 53,1% do sexo feminino.

5.2.2 Características das viagens

Na pesquisa domiciliar foram observadas 23.314 viagens, sendo 49,46% destas realizadas por mulheres. Quanto a divisão modal, o ônibus foi responsável por 6677 viagens (28,6%); o automóvel por 10061 viagens (43,2%), das quais 6433 como motoristas e 3628 como passageiros; e 6576 viagens (28,2 %) foram realizadas por modos não motorizados (viagens a pé e de bicicleta). Viagens de bicicleta apresentam uma participação pouco significativa, menos de 3% das viagens.

A maioria das viagens são pendulares, baseadas no domicílio, como pode ser observado na FIGURA 5.5; o motivo "retorno ao domicílio" ocorre em quase a metade das viagens (47,2 %).

Retorno ao domicílio, 47,2 %

FIGURA 5.5: Distribuição das viagens segundo o motivo

A divisão modal segundo sexo é apresentada na Tabela 5.1. Pode-se observar que o modo de viagem preferido é o automóvel, tanto para homens como para mulheres. A participação deste modo foi de 37,5% para mulheres e de 48,7% para homens. O ônibus e a caminhada são utilizadas em proporções semelhantes, independentemente do sexo.

TABELA 5.1: Distribuição modal segundo sexo

Sexo	Automóvel dirigindo	Automóvel Passageiro	Caminhada	Ônibus	Total (%)
Homem	36,21	12,45	26,34	25,10	100
Mulher	18,72	18,76	30,24	32,28	100

A divisão modal segundo o sexo encontrada na pesquisa é mostrada na FIGURA 5.6.

FIGURA 5.6: Divisão modal segundo o sexo

5.2.3 A distribuição do tempo de viagem

A FIGURA 5.7 mostra que, para viagens de curta duração, predominam o modo a pé e o modo automóvel, seja como motorista seja como passageiros. À medida que o tempo de viagem aumenta, o modo a pé vai

sendo substituído pelo modo ônibus, sendo que para o tempo de viagem acima de 60 minutos o número de viajantes passa a ser residual. É interessante observar que a participação relativa de viagens por automóvel, tanto para como motorista quanto para passageiros, é praticamente constante qualquer que seja o valor do tempo de viagem.

FIGURA 5.7: Participação dos modos segundo o tempo de viagem (min).

A distribuição do tempo de caminhada segundo sexo e tempo de viagem pode ser observada na FIGURA 5.8. A participação da mulher para as diferentes faixas de tempo é significativa, mesmo para viagens com mais de um hora, como pode ser observado em termos de porcentagem acumulada.

- 41,85% das viagens a pé têm duração de 1 até 10 minutos;
- 65,48% das viagens a pé têm duração de 11 até 20 minutos;
- 72,43% das viagens a pé têm duração de 21 até 30 minutos;
- 74,92% das viagens a pé têm duração de 31 até 60 minutos;
- 82,86% das viagens a pé têm duração de até 90 minutos.

Embora se tenha impressão de que mulheres não viajam longas distâncias a pé, os dados da pesquisa domiciliar realizada em Bauru mostra que mulheres caminham tanto quanto homens. Assim, independentemente do sexo, o modo a pé (não motorizado) será considerado uma alternativa disponível a todos.

FIGURA 5.8: Participação de viagens não motorizadas segundo sexo e tempo da viagem.

Indivíduos pertencentes a domicílios que não dispõem de automóvel

Supõe-se que indivíduos pertencentes a domicílio que não dispõe de automóvel não usa o modo "dirigir automóvel", e os dados da pesquisa domiciliar confirmam tal suposição, conforme pode-se ver na Tabela 5.2. Nesses domicílios, pouco mais de 1% das viagens são realizadas por este modo. Constata-se também que a proporção de viagens realizadas dirigindo automóvel apresenta um grande salto quando o número de automóveis disponíveis no domicílio passa de 0 para 1.

Fenômeno semelhante ocorre para o modo "passageiro de automóvel". Observa-se que o uso do modo automóvel cresce abruptamente quando o número de automóveis no domicílio passa de 0 para 1. Apesar disso, considerando-se que mais de 5% das viagens realizadas por pessoas pertencente a domicílio sem automóvel utilizam esse modo, este será considerado um modo alternativo para qualquer viajante, mesmo para aquele que pertença ao domicílio sem automóvel.

TABELA 5.2: Porcentagem de viagens realizadas por automóvel, segundo posse de automóvel por domicílio

Número de autos no domicílio	Viagens pelo modo "dirigindo auto (%)"	Viagens pelo modo "passageiro auto (%)"
0	1,30	4,74(*)
1	32,84	19,84
2	52,10	21,11
3	61,53	16,17
4 ou mais	73,11	10,84

(*) porcentagem calculada eliminando-se viagens por motocicletas do total de viagens

5.3 Definição do conjunto de alternativas disponíveis para o viajante

Na presente pesquisa, considerou-se como usuários as pessoas com mais de 8 anos, por considerar que pessoas com idade inferior não faziam escolha de viagem.

Na pesquisa domiciliar não foi incluída qualquer pergunta a respeito dos modos disponíveis para as viagens realizadas no dia anterior pelo

entrevistado, de forma que a definição do conjunto de alternativas disponíveis a ele teve de ser estimado adotando alguns critérios auxiliares.

Alternativa "automóvel dirigindo": Disponível apenas aos viajantes de domicílios que possuam automóvel.

Alternativa "automóvel passageiro": Disponível para todos os viajantes.

Alternativa "ônibus": Em geral, usuário de ônibus dispõe de diferentes linhas de ônibus para viajar entre uma origem e um destino. No presente caso, considerou-se que o usuário escolhe aquela rota que minimiza o tempo total. O critério para eliminar o ônibus do conjunto de escolha foi a distância de acesso à linha de ônibus. Foi assumido que essa distância não pode ser maior do que 1000 m.

Alternativa "caminhada": Deve ser considerada disponível para todas as viagens.

Assim, a população de viajantes pode ser dividida em dois segmentos:

Segmento A: formado por viajantes que dispõem, em seu conjunto de escolha, de alternativas "automóvel dirigindo", "automóvel passageiro", ônibus, e a pé;

Segmento B: formado por viajantes que dispõem, em seu conjunto de escolha, de "automóvel passageiro", ônibus, e a pé.

5.4 Características da matriz base encontrada usando a pesquisa domiciliar.

Na matriz O/D obtida pela pesquisa domiciliar observou-se que as zonas correspondentes à área central da cidade atraem mais de 30% das viagens,

criando uma matriz com muitas células apresentando poucas ou nenhuma viagem. Na Tabela 5.3 apresenta-se a distribuição do número de células da matriz segundo o número de viagens observadas.

TABELA 5.3: Distribuição das células da matriz O/D obtida da pesquisa domiciliar segundo o número de viagens

Viagens Obs.	No. células	Porcentagem
1-10	1991	89,84
10-20	134	6,05
20-30	54	2,44
30+	37	1,67

Pode-se observar que a proporção de células com número significativo de viagens é pequena.

É importante frisar que a pesquisa domiciliar realizada na cidade de Bauru não tinha como objetivo servir para a estimação do modelo logit multinomial. Assim, não foram coletadas informações sobre o uso do vale transporte, desconto obtido na compra do passe de ônibus, tempo de viagem nos modos não escolhidos, etc.

5.5 Zonas de controle utilizadas na verificação da matriz origem-destino

Da matriz obtida pela pesquisa domiciliar realizada, e sem expandir o número de viagens observado, inicialmente foram escolhidos 60 pares O/D em que tivessem sido observados números significativos de viagens. Dessa amostra excluíram-se os pares O/D que não apresentaram um número significativo de viagens por ônibus.

Dado que muitos pares de zonas de tráfego (zonas definidas para realização da pesquisa domiciliar) não apresentavam um número significativo de viagens, algumas delas foram agregadas para criar pares de zonas de controle com um número significativo de viagens observadas, pares denominados i, ii, iii, iv, v e vi. O cuidado adicional que se tomou foi no sentido de se evitar que o tamanho das zonas de controle ficasse maior do que o tamanho médio das zonas de tráfego. As zonas de tráfego incluídas nestas zonas de controle apresentam-se na TABELA 5.4 e mostradas na FIGURA 5.9.

Para analisar o efeito do tamanho das zonas no erro médio de estimação do número de viagens nos pares O/D utilizando o procedimento proposto, as zonas de controle foram divididas em sub-zonas. A criação das sub-zonas seguiu o critério de distância de acesso às linhas de ônibus.

A divisão das zonas de controle foi feita como se segue: "1 sub-zona", para zonas de controle sem subdivisão; "2 sub-zonas" para as zonas de controle com uma subdivisão; e "3 sub-zonas", para zonas de controle com duas subdivisões. Os resultados de cada um dos diferentes sistemas de zonas foram comparados com os resultados obtidos pela pesquisa domiciliar.

FIGURA 5.9 Mapa das zonas de trafego utilizadas da cidade de Bauru

TABELA 5.4: Resumo das zonas de controle incluídas nos pares O-D

Par O-D	Zonas na origem	Zonas no destino
14-1	14	1
21-14	21	14
22-14	22	14
24-1	24	1
24-97	24	97
26-9	26	9
34-6	34	6
54-2	54	2
82-1	82	1
91-7	91	7
93-1	93	1
93-11	93	11
94-1	94	1
95-1	95	1
95-1	95	1
i	25, 26, 27	1, 2, 3
ii	28, 32, 33	10, 11, 12
iii	59, 65, 66, 67	4, 5, 8, 9
iv	93, 94	6, 7
v	93	11, 12
vi	42, 48, 49	1, 2, 3

5.6 Considerações finais

Neste capítulo, os dados obtidos da pesquisa domiciliar realizada em Bauru foram apresentados e analisados. Os resultados da análise indicam quais restrições servem para descrever o conjunto de escolha dos viajantes que será utilizado na calibração do modelo desagregado.

Capítulo 6

Análise dos resultados⁷

6.1 Introdução

Tal como foi descrito no Capítulo 4, a metodologia para verificação do procedimento proposto está constituída de duas fases; a primeira fase consiste no diagnóstico e na correção dos erros do modelo desagregado, e a segunda fase consiste no diagnóstico e na análise dos erros do procedimento proposto. Em seguida, são descritas as atividades pertencentes à Fase I, descrevem-se a preparação dos dados e a estimação do modelo logit multinomial, e o resultado da estimação do modelo logit aninhado, apresentando o teste de especificação do modelo. As atividades da Fase II serão descritas na seção 6.5, onde realiza-se análise, comparação e discussão correspondente aos resultados obtidos.

6.2 Preparação dos dados e calibração do modelo logit multinomial

6.2.1 Definição das variáveis das funções utilidade

Os estudos realizados por GEIPOT, SWAIT & BEN-AKIVA (1987b), MASLLER (1998), podem ser usados como referência para encontrar as variáveis a ser utilizadas nas funções utilidade.

As funções utilidade adotadas são aditivas e lineares. As variáveis utilizadas são descritas a seguir.

6.2.2 Caracterização dos atributos de viagem

Distância de viagem: a distância entre a origem e o destino da viagem foi estimada através do endereço do domicílio e do cruzamento mais próximo ao destino, os quais fazem parte do questionário aplicado na pesquisa domiciliar (dist).

Distância de acesso: na origem, é a distância do domicílio do viajante até a linha de ônibus mais próxima que passa pelo destino. No destino, é a distância entre a linha de ônibus e o cruzamento mais próximo do destino. A distância de acesso considerada é a soma das duas distâncias, na origem e no destino (daccess).

Tempo de viagem: É o tempo de viagem nos modos. No caso de ônibus inclui espera e transbordo (Tbus, Tcar, Tpé).

Número de automóveis: É o número de automóveis na família, declarado na pesquisa domiciliar (ncarros).

Renda familiar: É a soma dos salários declarados pelo membro da família entrevistado (rendaf).

Custo relativo: É o custo do automóvel dividido pela renda familiar (custre).

Disponibilidade: Representa a disponibilidade de transporte público, define-se para zonas com mais de três linhas de ônibus para o mesmo destino. (zab).

TABELA 6.1 Variáveis utilizadas na calibração do modelo logit multinomial

Variável	Definição da variável
custre	custo relativo do automóvel
ncarros	número de automóveis por família
Tcar	tempo de viagem dentro do automóvel
Tbus	tempo de viagem dentro do ônibus
Tpe	tempo de caminhada
zab	Zona de boa disponibilidade de ônibus
dacesso	distância a pé relativa até linha de ônibus

6.2.3 Simplificações adotadas nas variáveis de viagem

A pesquisa domiciliar apresenta apenas os atributos referentes ao modo utilizado na viagem. Devido a essa limitação, e também à falta de dados para caracterizar os modos não escolhidos, foram necessárias algumas aproximações, as quais serão descritas a seguir.

Custo das viagens

Sabe-se que o custo operacional de automóvel é composto por custos fixos e custos variáveis, cada qual com uma série de itens, e sabe-se também que nem todos os itens são percebidos por usuários de automóvel. Para usuários de ônibus, o custo monetário depende do desconto que cada tipo de usuário consegue na compra do passe, e também de se o usuário tem vale transporte. Assim, o custo de uso de cada modo de viagem foi estimado adotando-se os seguintes critérios:

Custo do automóvel: O custo para viagens por automóvel foi estimado através da seguinte equação:

$$\text{Cauto} = \left(\frac{\text{dist}}{7} \right) * 0,85 \quad (17)$$

onde: 0,85 é o preço do combustível, em R\$/l, vigente no período da pesquisa domiciliar; 7 é o rendimento do combustível dado em km/l; e dist é a distância de viagem em km. O custo de automóvel dividido pela renda familiar é custre.

Tarifa de ônibus: A tarifa vigente no período da pesquisa domiciliar era de R\$ 0,65. Estudantes menores de 18 anos tinham um desconto de 30% e as pessoas maiores de 65 anos viajaram gratuitamente. Muitos usuários têm vale transporte, mas essa informação não foi coletada na pesquisa domiciliar.

Distância

Foi estimada através do endereço de domicílio até o cruzamento mais próximo do destino. No caso de automóvel, considerou-se que o motorista utiliza o trajeto mais curto, obedecendo o sentido permitido para cada via. No caso de ônibus, considerou-se que o usuário opta pelo uso da linha que passa o mais próximo possível da origem e do destino. No caso de caminhada, considerou-se que as pessoas seguem o trajeto mais curto.

Distância de acesso:

Foi estimada de um mapa na escala 1:10.000, onde foram traçadas as linhas de ônibus. A distância de acesso dividida pela distância de viagem por ônibus é racesso.

Tempo de viagem

Na pesquisa domiciliar constam os horários do início e do fim de cada viagem declarada pelo entrevistado. A variável tempo de viagem corresponde ao intervalo entre estes dois horários.

O tempo de viagem nos modos alternativos foi obtido dividindo a distância de viagem por uma velocidade uniforme. As velocidades consideradas foram as médias observadas “in situ”, as quais foram definidas como: 17 km/h para ônibus, 30 km/h para automóvel e 5 km/h para pedestre.

6.3 Programa utilizado na calibração dos modelo logit multinomial e aninhado.

O programa utilizado na calibração do modelo logit multinomial e do modelo aninhado foi o LIMDEP 7.0. O critério para determinação dos valores dos coeficientes das variáveis (θ), é a maximização da verossimilhança, L , definida por:

$$L(\hat{\theta}) = \prod_{n=1}^N \prod_{cn} P(i / c_n, x_i, \theta)^{Y_{in}} \quad (18)$$

onde:

$$Y_{in} = \begin{cases} 1 & \text{se na observação } n \text{ é escolhida a alternativa } i; \\ 0 & \text{se na observação } n \text{ não é escolhida a alternativa } i \end{cases}$$

$P(i/c_n, x_i, \theta)$ = probabilidade de escolha da alternativa i , dada pelo modelo logit, tendo como parâmetro o vetor θ ;

X_i = vetor das variáveis para a observação n .

Informações utilizadas no processo de calibração do modelo logit:

- Conjunto de modos alternativos de viagem e a alternativa escolhida;
- Valores das variáveis consideradas para cada alternativa;
- Características sócio-econômicas do usuário;
- Especificação da função utilidade para as alternativas;
- Estrutura da árvore de escolha, no caso do modelo logit aninhado.

6.4 Resultados da calibração do modelo Logit multinomial.

A calibração realizada tem como base uma amostra de 505 viagens retiradas do conjunto de dados obtido da referida pesquisa domiciliar. A seleção das viagens foi feita de maneira aleatória, para minimizar os vícios de representação da amostra sorteada. Além disso, a divisão modal da população, que é conhecida, foi utilizada pelo programa Limdep para atribuir pesos às viagens incluídas na amostra, conforme proposto por LERMAN ET AL. (1981), a fim de reduzir tal vício.

O primeiro modelo a ser estimado é o sem segmentação, denominado modelo M1. Em seguida serão apresentados os modelos com segmentação, conforme a metodologia descrita no capítulo 4. Os primeiros dois modelos com segmentação (modelos M2) serão obtidos segmentando os viajantes segundo existência ou não de automóvel nos domicílios a que pertencem, e os outros dois modelos (modelos M3) serão obtidos segmentando os viajantes segundo distância de viagem.

6.4.1 Modelos M1 (Sem segmentação)

O logaritmo da verossimilhança atingiu o valor de -548.80, sendo o seu valor inicial de -709,78 (com todos os coeficientes iguais a zero). O valor da estatística Chi-quadrado (com 6 graus de liberdade) foi 280,52, e o valor do coeficiente de determinação foi 0,2268. Na tabela 5.4 apresenta-se um resumo dos valores dos coeficientes das funções utilidade estimados para os diferentes modos. A função utilidade estimada para cada um dos modos tem a forma mostrada abaixo:

$$U(\text{carro}) = \text{Carro} + B_{\text{tempo}} * \text{tempo} + B_{\text{custo}} * \text{custre} + n_{\text{car}} * n_{\text{carros}} \quad (19)$$

$$U(\text{pass}) = \text{pass} + b_{\text{tempo}} * \text{tempo} + b_{\text{ncarros}} * n_{\text{carros}} + \text{renda} * \text{rendaf} \quad (20)$$

$$U(\text{bus}) = \text{Bus} + B_{\text{tempo}} * \text{tempo} + B_{\text{acesso}} * r_{\text{acesso}} + z_{\text{ab}} * z_{\text{ab}} \quad (21)$$

$$U(\text{pé}) = B_{\text{tempo}} * \text{tempo} \quad (22)$$

Todos os sinais dos coeficientes estão de acordo com o esperado. Por exemplo, o coeficiente do tempo de viagem, B_{tempo} , tem sinal negativo; e o coeficiente do número de carros, B_{ncarros} , tem sinal positivo, conforme o esperado.

TABELA 6.2: Coeficientes obtidos na calibração do modelo logit multinomial

Coeficiente	Valor	Erro padrão	$Z=b/s.e$	$P[Z >Z]$
Carro	-2,1603	0,2883	-7,493	0
Btempo	-0,0513	0,0063	-8,082	0
Bcusto	-903,04	320,94	-2,814	0,005
Bncarros	1,4934	0,1850	8,072	0
Pass	-4,0170	0,3469	-11,580	0
Renda	0,0012	0,0009	1,352	0,1763
Bus	-0,4115	0,2538	-1,621	0,1050
Bacesso	-3,8204	1,0683	-3,576	0,0004
BZab	0,7149	0,3246	-2,202	0,0277

A descrição das funções utilidade para cada alternativa disponível é apresentada nas Tabelas 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

TABELA 6.3: Descrição estatística para alternativa pedestre

Função utilidade			Total de pessoas: 505		Usuários que escolheram a pé: 132	
Coeficiente	Valor	Variável	Média	Desvio padrão.	Média	Desvio Padrão
Btempo	-0,051313	Tempo	39,121	26,471	18,601	15,974

TABELA 6.4: Descrição estatística para alternativa automóvel motorista

Função utilidade			Total de pessoas que dispunham de automóvel: 368		Usuários que escolheram automóvel: 234	
Coeficiente	Valor	Variável	Média	Desvio padrão	Média	Desvio Padrão
Car	-2,1613					
Btempo	0,0513	Tempo	8,377	3,927	8,739	3,457
Custo	-903.0447	Custre	0,0587	0,1544	0,0556	0,1732
Ncarros	1.4934	Ncarros	0,957	0,808	1,346	0,789

TABELA 6.5: Descrição estatística para alternativa automóvel passageiro

Função utilidade			Total de pessoas que dispunham de automóvel: 505		Usuários que escolheram automóvel: 70	
Coeficiente	Valor	Variável	Média	Desvio padrão	Média	Desvio Padrão
Pass	-4.0170					
Btempo	-0.0513	tempo				
Renda	0.0001	rendaf	1568.723	1328.063	1959.057	1463.928
Bcarros	1.4934	Ncarros	0.974	0.805	1.186	0.767

TABELA 6.6: Descrição estatística para alternativa ônibus

Função utilidade			Total de pessoas que dispunham de ônibus: 505		Usuários que escolheram ônibus: 148	
Coeficiente	Valor	Variável	Média	Desvio padrão	Média	Desvio Padrão
Bus	-0.0513					
Btempo	-0.4115	Tempo	11,069	7,825	15,102	7,638
Bacesso	-3.8204	Racesso	0,182	0,227	0,110	0,104
Bzab	-0.7149	Zab	0,557	0,479	0,696	0,462

6.4.2 Com segmentação

Os modelos M2 foram obtidos para os viajantes segmentados segundo existência ou não de automóvel no seu domicílio, e os Modelos M3 para os viajantes segmentados segundo distância de viagem.

Os critérios de corte utilizados na segmentação são apresentados a seguir:

Para o modelo M2:

- Grupo A: Viajantes que possuem automóvel em seu domicílio;
- Grupo B: Viajantes que não possuem automóvel em seu domicílio.

Para o modelo M3:

A população foi dividida em dois grupos que são:

- Grupo A, a distância de viagem a pé entre origem e destino seja menor do que 2800 metros;
- Grupo B; a distância de viagem a pé entre origem e destino seja maior ou igual a 2800 metros.

O valor de corte representa a distância que resultou no maior valor de logaritmico da verossimilhança.

Resultados da estimação

O valor do logaritmo da função verossimilhança (LNFV) do Modelo M2A, isto é, o modelo calibrado com as 368 viagens do segmento 2A foi -432,90, enquanto o valor de LNFV do Modelo 2B, calibrado com 137 viagens contidas no segmento 2B, foi de -94,33. A soma dos dois valores é -527,22 que é o valor da função verossimilhança para a segmentação segundo posse de automóvel no domicílio.

Do anteriormente escrito, mostra-se que a segmentação por viajantes pertencentes a domicílio com ou sem automóvel cria segmentos com maior diferenciação na escolha entre modos; todos os modelos são calibrados com as mesmas variáveis com a finalidade de tornar os seus resultados comparáveis (ver a Tabela 6.7).

Para manutenção de variáveis pouco significativas, considerou-se a observação de HOROWITZ (1981) referente a modelos logit de utilidade linear. Segundo esse autor, desde que o tamanho da amostra seja suficiente, a inclusão de variáveis pouco significativas (irrelevantes) não tende a levar o modelo a estimar erroneamente os outros parâmetros, embora a eficiência fique reduzida.

TABELA 6.7: Resultados da estimação das funções utilidade, para viajantes segmentados segundo posse de automóvel no domicílio

Modelo M2				
Coeficiente	Grupo A		Grupo B	
	Valor	Erro padrão	Valor	Erro padrão
Carro	-1.6533	0.3630	-2.7855	0.4299
Btempo	-0.0549	0.0086	-0.0386	0.0097
Bcusto	-59.607	323.78	-42.000	243.05
Bcarros	0.8796	0.2191		
Pass	-3.3161	0.4656		
Bus	-0.4746	0.3143	0.4017	0.4810
Renda	0.0001	0.00001		
Bacesso	-3.5756	1.4940	-5.9666	1.7652
BZab	-1.1469	0.4272	0.2077	0.6614

Quanto aos Modelos M3, o valor do LNFV para o Modelo M3A, calibrado com dados de 262 viagens, foi de -256,94, e para o Modelo M3B, calibrado com dados de 243 viagens, resultou num valor do LNFV de -285,47. A soma dos valores de LNFV da segmentação segundo distância de viagem é de -542,41.

TABELA 6.8 : Resultados da estimação da função utilidade, para viajantes segmentados segundo distância de caminhada entre a origem e o destino

Modelo M3				
Coeficiente	Grupo 1		Grupo 2	
	Valor	Erro padrão	Valor	Erro padrão
Carro	-3.4686	0.4358	-1.3160	0.4431
Btempo	-0.0476	0.0079	-0.0520	0.0107
Bcusto	-100,97	167.30	-493.77	411.76
Bcarros	-2.8849	0.3984	0.8098	0.2349
Pass	-4.5697	0.5333	-3.0932	0.5337
Bus	-0.16908	0.5333	-0.2753	0.3979
Renda	0.00003	0.0002	0.0001	0.0001
Bacesso	-3.8012	1.3076	-4.6677	2.0566
BZab	-0.7058	0.3889	-0.9681	0.6397

Todos os sinais dos coeficientes estão de acordo com os esperados. Por exemplo, Btempo, o coeficiente do tempo de viagem, tem sinal negativo; Bcarros, referente ao número de carros, tem o sinal positivo, conforme o esperado.

Os resultados de calibrações, obtidos para os três casos (sem segmentação, com segmentação segundo posse de automóvel no domicílio, e segmentação pela distância de caminhada), encontram-se resumidos na Tabela 6.9.

Os valores de LNFV total e os valores de chi-quadrado, mostrados na Tabela 6.9, indicam que os modelos que melhor se ajustaram aos dados são os Modelos M2, calibrados com os dados segmentados segundo posse de automóvel no domicílio do viajante.

TABELA 6.9 Tabela comparativa dos resultados da calibração

Modelo	Tamanho	$\text{Ln}(\text{FV}(\hat{\theta}))$	$\text{Ln}(\text{FV}(0))$	$\text{Ln}(\text{FV}(\hat{\theta}))/N$	ρ^2	Chi-quadr.
1	505	-548,80	-709,78	-1,087	0,2268	280,52
2A	368	-432,90	-511,54	-1,176	0,1466	94,66
2B	137	-94,33	-157,10	-0,689	0,4000	63,78
2	505	-527,23	-668,64	-1,044		158,44
3A	262	-256,94	-372,91	-0,981	0,3110	174,46
3B	243	-285,47	-338,25	-1,175	0,1560	65,11
2	505	-542,41	-711,16	-1,074		239,57

O segundo melhor ajuste, mostrados na Tabela 6.9, foi conseguido pelos Modelos M3, calibrados com os dados segmentados segundo distância de viagem. O Modelo M1, calibrado com os dados sem segmentação, apresentou o pior ajuste.

Porém, analisando os valores de LNFV médio, na tabela 6.9 (na quinta coluna), nota-se que os Modelos M2 obtiveram o melhor índice geral porque o Modelo M2B, calibrado com os dados de viajantes cujos domicílios possuem automóvel, apresentou um bom ajuste. O Modelo M2A, calibrado com os dados de viajantes cujos domicílios possuem automóvel com o valor de LNFV médio de -1,176, apresenta um ajuste mais pobre do que o Modelo M1. Uma possível consequência é que o desempenho dos Modelos M2 pode ser relativamente pobre quando eles são aplicados aos pares O/D formados por zonas de controle com alto poder aquisitivo. O contrário pode ocorrer quando os Modelos M2 são aplicados aos pares de zonas de baixo poder aquisitivo.

Um comportamento semelhante é observado em relação aos Modelos M3. O Modelo M3A, calibrado com os dados de viajantes de curta distância (menor do que 2800 m), apresentou um bom nível de ajuste, ao contrário do Modelo M3B, calibrado com os dados de viajantes cujas distâncias de viagem são maiores do que 2800 m. Este apresentou um índice de ajuste pior do que o

do Modelo M1. Assim, é possível que os Modelos M3 não tenham um bom desempenho quando aplicados aos pares O/D com distância de viagem maior do que 2800 m.

6.4.3 Teste de correlação entre as alternativas

Com a finalidade de verificar possíveis erros de correlação entre as alternativas, testou-se um modelo menos restritivo (WILLIAMS & ORTÚZAR, 1982), o logit aninhado.

O modelo logit aninhado foi calibrado com a mesma amostra utilizada na calibração dos modelos anteriores. Um ramo é formado pelas alternativas dirigindo automóvel e passageiro e outro ramo é formado por alternativa a pé e ônibus. As utilidades consideradas para cada modo foram:

$$U_{(moto)} = b_{tempo} * tempo + n_{car} * b_{ncarros} + \Phi \log(\exp(B_{custo} * custre)) \quad (23)$$

$$U_{(pass)} = b_{tempo} * tempo + n_{car} * b_{ncarros} + \Phi \log(pass) \quad (24)$$

$$U_{(bus)} = b_{public} + \Phi \log(\exp(B_{tempo} * tempo) + \exp(B_{acesso} * racesso) + \exp(b_{custo} * custre) + \exp(b_{zab} * zab)) \quad (25)$$

$$U_{(pé)} = b_{public} + \Phi \log(\exp(B_{tempo} * tempo)) \quad (26)$$

O valor de Φ deveria estar restrito a valores entre 0 e 1, para que a estrutura da escolha possa ser representada por um modelo logit aninhado. Da análise do valor de $\Phi=0.7941$, deduz-se que o modelo pode ser representado pelo modelo logit multinomial:

Como pode ser observado na tabela 6.9, todos os sinais dos coeficientes estão de acordo com o esperado

TABELA 6.10: Coeficientes obtidos na calibração do modelo logit aninhado

Coeficiente	Valor	Erro padrão	$Z=b/s.e$	$P[Z >Z]$
Btempo	-0,0387	0,0072	-5,396	0,0000
Bcusto	0,2277	0,5717	0,398	0,6904
Bncarros	1,6485	0,2637	6,251	0,0000
Pass	-0.8013	0.14386	-5.570	0.00000
Public	2,4203	0,8370	2,892	0,0038
Phi1	0,7941	0,3945	2,013	0,0441
Bacesso	-5.2889	1.3856	-3.817	0.00014
BZab	0,5996	0,4032	-1,487	0,1370

Uma vez concluídas as atividades correspondentes à Fase I, descrita no Capítulo 4, procedeu-se à seleção das zonas da matriz origem-destino obtidas da pesquisa domiciliar (sem expansão) para a aplicação do procedimento proposto.

6.5 Análise dos resultados do procedimento proposto

A seguir serão descritas as atividades correspondentes à Fase II da metodologia para verificação do procedimento proposto, tal como foi descrito no Capítulo 4. Estas atividades permitiram estimar o erro atribuível ao conjunto de operações que compõem o procedimento proposto, o qual inclui desde segmentação dos viajantes, estimação dos modelos de escolha modal, processo de agregação, etc. Também permitiram visualizar a influência da segmentação dos viajantes e da desagregação das zonas de controle na magnitude do erro médio de estimação do número de viagens entre pares de zonas de controle. Cabe ressaltar que os erros de estimação são calculados em relação aos resultados não expandidos obtidos diretamente da pesquisa domiciliar realizada em Bauru.

Dados utilizados no cálculo das probabilidades:

Distância:

A distância de viagem entre as zonas de origem e destino para cada uma das alternativas foi estimada em um mapa na escala 1:10.000, percorrendo o caminho mínimo, sem considerar congestionamento, mas considerando as restrições legais das vias, para o caso de automóveis, e observando as linhas disponíveis, para o caso de ônibus.

6.5.1 Distribuição do comprimento médio das distâncias de viagem para os modos nos diferentes níveis de agregação

Com a desagregação espacial (criação de sub-zonas) poder-se-ia esperar variações nas distâncias médias de viagem para cada modo disponível. No entanto, na Figura 6.8 pode-se observar que as distâncias médias de viagem não experimentam variações significativas, sendo todas elas, com exceção da distância média a pé, menores que 1%. A distância de acesso apresentou um efeito similar.

A distância média das viagens que têm origem numa sub-zona de uma zona de controle e destino numa sub-zona de outra zona de controle foram estimadas fazendo-se a média aritmética das distâncias de todas as viagens realizadas entre essas duas sub-zonas.

FIGURA 6.1: Comparação entre as distâncias médias de viagem

Erro médio (δ_{ij}). O valor do erro médio (δ_{ij}) da estimativa do número de viagens entre as zonas i e j é expresso conforme a equação 16 (pág. 45):

6.5.2 Análise dos resultados

A análise dos resultados do modelo M1

A verificação dos efeitos da subdivisão das zonas de controle na precisão dos resultados foi feita com base na comparação dos valores dos erros médios ponderados (VEMP) obtidos para 0 subdivisão (1 sub-zona), 1 subdivisão (2 sub-zonas) e 2 subdivisões (3 sub-zonas). Doravante, sempre que VEMP forem apresentados para esses três diferentes níveis de subdivisão da zona, os valores serão apresentados nessa mesma ordem: o primeiro para 1 sub-zona e o último para 3 sub-zonas.

Da comparação entre os VEMPs da demanda total, pode-se perceber que o erro diminui significativamente quando as zonas que compõem a área de estudo são divididas em maior número de sub-zonas, sendo os VEMPs iguais a 0,160; 0,516 e 0,182. Da mesma forma, pode-se observar que a média ponderada do erro médio do número de usuários de automóvel

apresenta comportamento semelhante, com VEMPs iguais a 0,396; 0,516 e 0,350. A única exceção ocorreu para o número de pedestres estimado para as zonas divididas em 2 sub-zonas, pois os VEMPs são iguais a 0,516; 0,708 e 0,587.

Uma das possíveis causas deste comportamento na estimativa do número de pedestres pode ter sido a forma como se estimou a distância mínima de viagem, baseada no "bom senso"; é possível que essas viagens sigam caminhos mínimos diferentes daqueles assumidos para efeito deste trabalho. É possível que existam atalhos que reduzam ainda mais a distância de viagem.

A análise dos resultados do modelo M2

Através da comparação dos VEMPs da demanda total, calculados para diferentes níveis de subdivisão das zonas de controle, pode-se notar que curiosamente o erro não diminui quando as zonas que compõem a área de estudo são divididas em maior número de sub-zonas (VEMPs são iguais a 0,259; 0,246 e 0,356). Também no caso de viagens por automóvel não se verifica redução do VEMP com o aumento do número de sub-zonas. Os VEMPs para automóvel são iguais a 0,734; 0,747 e 0,736.

A análise dos resultados do modelo M3

Quando a segmentação é realizada segundo distância de viagem, pode-se constatar que, contrariando a expectativa, o VEMP para estimativa da demanda total aumenta significativamente à medida que as zonas que compõem a área de estudo são divididas em maior número de sub-zonas, sendo os VEMPs iguais a 0,195; 0,250 e 0,356. Da mesma forma, pode-se observar que na estimativa de usuários de automóvel os VEMPs são iguais a 0,250; 0,736 e 0,737.

FIGURA 6.2 Erro médio da demanda total para M1 (1 sub-zona)

FIGURA 6.3 Erro médio da demanda total para M1 (2 sub-zonas)

FIGURA 6.4 Erro médio da demanda total para M1 (3 sub-zonas)

FIGURA 6.5 Distribuição das viagens segundo a distância para M1 (1 sub-zona)

FIGURA 6.6 Distribuição das viagens segundo a distância para M1 (2 sub-zonas)

FIGURA 6.7 Distribuição das viagens segundo a distância para M1 (3 sub-zonas)

FIGURA 6.8 Erro médio das viagens a pé para M1 (1 sub-zona)

FIGURA 6.9. Erro médio das viagens a pé para M1 (2 sub-zonas)

FIGURA 6.10 Erro médio das viagens a pé para M1 (3 sub-zonas)

FIGURA 6.11. Erro médio das viagens por automóvel para M1 (1 sub-zona)

FIGURA 6.12. Erro médio das viagens por automóvel para M1 (2 sub-zonas)

FIGURA 6.13. Erro médio das viagens por automóvel para M1 (3 sub-zonas)

FIGURA 6.14 Erro médio da demanda total para M2 (1 sub-zona)

FIGURA 6.15 Erro médio da demanda total para M2 (2 sub-zona)

FIGURA 6.16 Erro médio da demanda total para M2 (3 sub-zona)

FIGURA 6.17 Distribuição das viagens segundo a distância para M2 (1 sub-zona)

FIGURA 6.18 Distribuição das viagens segundo a distância para M2 (2 sub-zona)

FIGURA 6.19 Distribuição das viagens segundo a distância para M2 (3 sub-zona)

FIGURA 6.20 Erro médio das viagens a pé para M2 (1 sub-zona)

FIGURA 6.21 Erro médio das viagens a pé para M2 (2 sub-zona)

FIGURA 6.22 Erro médio das viagens a pé para M2 (3 sub-zona)

FIGURA 6.23 Erro médio das viagens por automóvel para M2 (1 sub-zona)

FIGURA 6.24 Erro médio das viagens por automóvel para M2 (2 sub-zona)

FIGURA 6.25 Erro médio das viagens por automóvel para M2 (3 sub-zona)

FIGURA 6.26 Erro médio da demanda total para M3 (1 sub-zona)

FIGURA 6.27 Erro médio da demanda total para M3 (2 sub-zona)

FIGURA 6.28 Erro médio da demanda total para M3 (3 sub-zona)

FIGURA 6.29 Distribuição das viagens segundo a distância para M3 (1 sub-zona)

FIGURA 6.30 Distribuição das viagens segundo a distância para M3 (2 sub-zona)

FIGURA 6.31 Distribuição das viagens segundo a distância para M3 (3 sub-zona)

FIGURA 6.32 Erro médio das viagens a pé para M3 (1 sub-zona)

FIGURA 6.33. Erro médio das viagens a pé para M3 (2 sub-zona)

FIGURA 6.34 Erro médio das viagens a pé para M3 (3 sub-zona)

FIGURA 6.35 Erro médio das viagens por automóvel para M3 (1 sub-zona)

FIGURA 6.36 Erro médio das viagens por automóvel para M3 (2 sub-zona)

FIGURA 6.37 Erro médio das viagens por automóvel para M3 (3 sub-zona)

Análise comparativa dos erros médios ponderados

TABELA 6.11: Erros médios ponderados

Número de sub-zonas	Modos de viagem	sem segmentação (M1)	com segmentação segundo posse de auto no domicílio (M2)	com segmentação segundo distância de viagem (M3)
1	Auto	0,396	0,734	0,439
	A pé	0,516	0,542	0,689
	Total	0,160	0,259	0,195
2	Auto	0,516	0,747	0,704
	A pé	0,708	0,607	0,749
	Total	0,344	0,246	0,250
3	Auto	0,350	0,736	0,737
	A pé	0,587	0,735	0,735
	Total	0,182	0,356	0,356

A Tabela 6.11 mostra que o único caso em que houve redução consistente no VEMP com o número de subdivisões foi para o caso sem segmentação. E, curiosamente, é o caso que apresenta os menores VEMPs entre os três casos. Os dois casos com segmentação apresentaram resultados equivalentes, não sendo possível afirmar qual das segmentação foi melhor. Das 9 comparações realizadas entre os VEMPs dos três casos, o modelo calibrado com dados sem segmentação apresentou melhores resultados em 8 comparações. E, mesmo na única comparação em que não foi melhor, o valor do VEMP é comparável ao resultado do modelo calibrado com os dados segmentados segundo posse de automóvel.

É possível e bastante provável que o mal desempenho do procedimento aplicados aos casos "com segmentação", tenha sido influenciado pelo mal desempenho dos modelos de escolha modal, conforme comentado na seção 6.4. Portanto, é necessário que a calibração dos modelos de escolha modal seja feita de maneira a obter níveis de ajuste similares para todos os segmentos.

6.5.3 Teste de aderência entre a distribuição de frequência de viagens observada e a estimada pelo modelo segundo a distância de viagem

O teste de aderência foi realizado apenas para o caso Sem segmentação, visto que dele resultou o melhor desempenho do procedimento proposto. O teste foi baseado no de Kolmogorov–Smirnov.

Hipótese H_0 : Não há diferença entre as duas distribuições, e quaisquer diferenças observadas serão simplesmente variações aleatórias, a serem esperadas em uma amostra aleatória da população.

Hipótese H_1 : As duas distribuições, observada e estimada, são diferentes.

Determinou-se a função acumulada observada, F_{obs} e função acumulada estimada F_{est} .

Distribuição amostral. Determinou-se o valor de D_{max} e comparou-se o valor de D_{max} com o valor crítico $D_{crítico} \leq 0,287$ para $\alpha=0,05$, obtido pela tábua E de SIEGEL (1975, p. 282). Onde:

$$D = F_{obs} - F_{est}. \quad (23)$$

Região de rejeição. No caso do teste K-S, a resposta será de rejeitar H_0 se

$$D_{max} > D_{crítico}.$$

Decisão. Os resultados individuais são apresentados nas Tabelas 6.12, 6.13 e 6.14, pode-se concluir que a distribuição de viagens é similar àquela obtida pela pesquisa domiciliar.

TABELA 6.12 Resultado do teste Kolmogorov – Smirnov (1 sub-zona) para M1

Intervalo de distância	Distribuição Observada F	Freq. acumulada F_{obs}	Distribuição estimada S	Freq. Acumulada F_{est}	$ F_{obs}-F_{est} $ D
0-1000	24	0,03	55,30	0,07	0,04
1001-1700	58	0,07	80,55	0,10	0,03
1701-2050	86	0,11	95,26	0,12	0,01
2051-2500	95	0,12	107,50	0,13	0,01
2501-2675	117	0,15	143,94	0,18	0,03
2676-2700	264	0,34	273,15	0,34	0,00
2701-2900	299	0,39	307,74	0,38	0,00
2901-3200	372	0,48	364,66	0,46	0,02
3201-3400	423	0,55	457,12	0,57	0,02
3401-3500	551	0,71	570,51	0,71	0,00
3501-3900	613	0,79	639,19	0,80	0,01
3901-4100	624	0,81	654,27	0,82	0,01
4101-4700	650	0,84	682,13	0,85	0,01
4701-5300	706	0,91	750,87	0,94	0,03
5301-5900	715	0,92	754,29	0,94	0,02
5901-6250	724	0,93	762,09	0,95	0,02
6251-6450	735	0,95	765,30	0,96	0,01
6451-6500	753	0,97	784,82	0,98	0,01
6501-7200	775	1,00	801,19	1,00	0,00

Decisão: na Tabela 6.12, é apresentado o teste de Kolmogorov – Smirnov para a distribuição de frequência observada ($F_{obs.}$) e estimada ($F_{est.}$) quando a distância é medida do centróide da zona de origem ao centróide da zona de destino.

A última coluna apresenta o valor absoluto do desvio de cada valor amostral (estimado) em relação ao correspondente valor observado. Assim, o primeiro desvio absoluto é 0,04, obtido subtraindo 0,07 de 0,03.

A simples inspeção da última coluna da Tabela 6.13 revela que o valor de $D_{\max}$ para esses dados é de 0,07. Dado que o valor crítico ($D_{\text{crítico}}$) é de 0,287, portanto, a decisão é aceitar H_0 como verdadeira.

TABELA 6.13 Resultado do teste Kolmogorov–Smirnov (2 sub-zonas) para M1

Intervalo de distância	Distribuição observada f	Freq. Acumulada F_{obs}	Distribuição estimada S	Freq. acumulada F_{est}	$ F_{\text{obs}} - F_{\text{est}} $ D
0-1000	24,00	0,03	22,01	0,02	0,01
1001-1700	58,00	0,07	57,59	0,08	0,01
1701-2050	86,00	0,11	26,56	0,10	0,00
2051-2500	148,00	0,18	127,82	0,23	0,05
2501-2675	183,00	0,23	67,62	0,30	0,07
2676-2900	201,00	0,25	19,50	0,32	0,07
2901-3200	274,00	0,34	14,81	0,39	0,05
3201-3400	320,00	0,39	7,54	0,45	0,06
3401-3500	351,00	0,43	22,58	0,47	0,04
3501-3900	360,00	0,44	14,21	0,49	0,04
3901-4100	488,00	0,60	140,00	0,63	0,02
4101-4700	544,00	0,67	70,00	0,70	0,02
4701-5300	555,00	0,68	20,89	0,72	0,03
5301-5900	601,00	0,74	12,35	0,78	0,04
5901-6250	627,00	0,77	39,24	0,82	0,04
6251-6450	642,00	0,79	25,42	0,84	0,05
6451-6500	789,00	0,97	129,53	0,97	0,00
6501-7200	811,00	1,00	32,31	1,00	0,00

Decisão: na Tabela anterior, é apresentado o teste de Kolmogorov – Smirnov para a distribuição de frequência observada ($F_{obs.}$) e estimada ($F_{est.}$) quando as zonas de origem e destino são divididas em duas sub-zonas.

A simples inspeção da última coluna da Tabela 6.14 revela que o valor de D_{max} para esses dados é 0,07 é menor do que $D_{crítico}=0,287$, portanto aceita-se H_0 .

Na Tabela 6.14 são apresentados os dados do caso em que as zonas de origem e de destino são divididas em três sub-zonas e as distâncias de viagem são medidas do centróide de cada sub-zona de origem ao centróide de cada sub-zona de destino.

Decisão: A simples inspeção da última coluna da Tabela 6.14 revela que o valor de D para esses dados é 0,02. O valor crítico indica que $D_{crítico}$ é de 0,287, e a decisão é de aceitar H_0 .

TABELA 6.14 Resultado do teste Kolmogorov–Smirnov (3 sub-zonas) para M1

Intervalo de distância	Distribuição observada f	Freq. Acumulada F_{obs}	Distribuição estimada S	Freq. acumulada F_{est}	$ F_{obs}-F_{est} $ D
0-1000	24	0,03	26,42	0,03	0,00
1001-1700	58	0,07	57,03	0,07	0,00
1701-2050	86	0,10	70,97	0,08	0,02
2051-2500	95	0,11	80,41	0,09	0,02
2501-2675	117	0,14	104,75	0,12	0,02
2676-2700	246	0,29	247,32	0,29	0,00
2701-2900	284	0,34	288,06	0,34	0,00
2901-3200	356	0,42	349,32	0,41	0,01
3201-3400	402	0,48	386,99	0,46	0,02
3401-3500	530	0,63	515,70	0,61	0,02
3501-3900	592	0,70	583,87	0,69	0,02
3901-4100	605	0,72	599,84	0,71	0,01
4101-4700	631	0,75	628,03	0,74	0,01
4701-5300	687	0,82	696,66	0,82	0,00
5301-5900	722	0,86	739,30	0,87	0,01
5901-6250	731	0,87	747,39	0,88	0,01
6251-6450	746	0,89	762,46	0,90	0,01
6451-6500	793	0,94	806,23	0,95	0,01
6501-6500	811	0,96	821,79	0,97	0,01
6501-7200	842	1,00	849,52	1,00	0,00

6.6 Considerações finais

Neste capítulo, o procedimento proposto para a estimativa de matrizes O/D foi aplicado aos dados da cidade de Bauru. Os resultados indicam que o

procedimento reproduz satisfatoriamente a distribuição de freqüências das viagens observadas na pesquisa domiciliar. Porém, o procedimento não apresenta desempenho satisfatório para a estimativa do número de viagens não motorizadas. É também interessante notar que também o modelo desagregado não apresentou um bom desempenho para os modos não motorizados. É possível que o desempenho do procedimento na estimação do número de viajantes não motorizados apenas reflita os erros observados no modelo desagregado. Isso leva a refletir sobre as possíveis falhas metodológicas que causaram ajustes diferenciados nos modelos de escolha modal calibrados com dados segmentados.

Capítulo 7 Conclusões

6.1 Introdução

No presente capítulo apresentam-se as principais conclusões da pesquisa desenvolvida, expondo as principais dificuldades encontradas e sugerindo idéias para trabalho futuro.

6.2 Conclusões

Abordou-se neste trabalho de tese o tema “elaboração de matriz origem-destino (O/D)”, dando ênfase a uma das linhas de pesquisa que vêm sendo bastante explorada nas duas últimas décadas: o desenvolvimento de modelos e processos de estimação de matriz origem-destino que combinam modelos matemáticos com os dados que sejam coletáveis a baixo custo e sem muita demora.

A idéia proposta e depois testada aqui foi a de combinar uma matriz O/D disponível com um modelo de escolha modal a fim de gerar matrizes O/D para outros modos de viagem. A matriz O/D disponível que se tinha em mente ao iniciar o trabalho era a de transporte público, pois várias empresas operadoras de transporte público e várias empresas gestoras de transporte

urbano já dispõem pelo menos de matrizes O/D de transporte público. E quanto ao modelo de escolha modal, pensou-se no modelo logit multinomial, um modelo que foi objeto de muitas pesquisas e aplicações no mundo inteiro e que, por isso mesmo, permite contar com uma vasta referência bibliográfica para consultas e bons *softwares* para aplicações.

Basicamente, pretendia-se saber se a idéia se sustentaria como uma alternativa viável para a estimação de matriz O/D, e se o procedimento proposto, na sua versão mais simples ou ingênua, passaria pelo teste de desempenho. Desejava-se também saber se um procedimento um pouco mais sofisticado (por exemplo, com segmentação da população) permitiria melhorar significativamente o desempenho.

6.2.1 Dados utilizados

O teste de desempenho do procedimento proposto foi feito utilizando-se de dados coletados na cidade de Bauru, estado de São Paulo, por meio de pesquisa domiciliar. Porém, como esses dados não tinham sido coletados para a estimação de modelos de escolha modal, algumas informações tiveram de ser obtidas de outras fontes.

O tamanho de amostra adotado para a estimação de modelos de escolha modal foi de 505 viagens considerando que, para este tamanho de amostra, todas as variáveis, exceto "tarifa", apresentavam um nível de confiança de 95% e erro de estimativa menor do que 10%. Além disso, a divisão modal estava representada na amostra com um nível de confiança de 95% e um erro de estimativa de 5%.

6.2.2 Segmentação da população de viajantes

A população de viajantes foi segmentada segundo dois critérios, posse de automóvel no domicílio do viajante e distância de viagem. O motivo de se ter utilizado o critério de segmentação "posse de automóvel no domicílio do viajante" foi o desejo de saber se se estaria perdendo muito abrindo mão da segmentação por critérios sócio-econômicos. É que o método mais simples, mais rápido e mais comumente empregado na elaboração de matriz O/D de transporte público não requer nenhum dado sócio-econômico, e, portanto, na maioria das vezes não há como segmentar os usuários de transporte público segundo critério sócio-econômico.

Um critério que não depende de informações fornecidas por passageiros de transporte público é a distância de viagem. O objetivo era, então, saber se a distância poderia eventualmente substituir os critérios sócio-econômicos na segmentação, para incrementar o desempenho do procedimento proposto.

6.2.3 Aplicação do modelo logit multinomial

Embora o uso do modelo logit multinomial seja simples e vários *softwares* estejam disponíveis para a sua calibração, alguns cuidados devem ser tomados. Antes de mais nada, é preciso verificar se a aplicação pretendida não extrapola o campo onde o modelo é considerado aplicável. A restrição que alguns autores vêm defendendo é a de que o modelo somente seja aplicado aos grupos de indivíduos homogêneos. Porém, nota-se que é possível atribuir aos dois termos da utilidade uma interpretação diversa daquela normalmente aceita. Com essa interpretação chega-se à conclusão de que o modelo pode ser aplicado aos grupos heterogêneo, desde que o termo aleatório da utilidade siga a distribuição de Gumbel.

Um simples teste mostra que não há evidência de que a distribuição da distância definida por dois pontos localizados no interior de dois círculos distintos não siga a distribuição de Gumbel. Embora o teste tenha sido aplicado apenas a um dos atributos de viagem e não à utilidade como um todo, ele indica que o modelo pode ser aplicado aos grupos heterogêneos. Ainda que todos os indivíduos que viajam entre duas zonas de tráfego tivessem condições sócio-econômicas idênticas, eles são heterogêneos enquanto viajantes, pois estão submetidos às diferentes distâncias de viagem e, portanto aos diferentes tempos e custos de viagem.

Os resultados da calibração do modelo logit multinomial mostraram que:

- As variáveis tempo de viagem e custo relativo têm o poder explicativo esperado;
- A tarifa não apresentou a significância esperada na função utilidade do modo ônibus.
- A variável "número de automóveis no domicílio" mostrou-se significativa na estimação de utilidade do modo automóvel.
- A variável "zab" (zona com mais de três linhas de ônibus entre a origem e o destino), representou o efeito de uma maior disponibilidade de linhas de ônibus.

A verificação da não violação da propriedade IAI foi realizada ao comparar os resultados do modelo logit multinomial com os resultados de um modelo menos restritivo, o modelo logit aninhado. O problema é que o número de estruturas a serem testadas no modelo aninhado aumenta geometricamente com o número de alternativas.

No teste de violação da propriedade IAI no modelo sem segmentação, não se comprovou a existência de correlação entre os modos de viagem. O valor do parâmetro ϕ é igual a 0.7941 com um erro padrão de 0.3945, quando se agrupa os modos privados em um ramo (automóvel, passageiro) e em outro ramo o transporte coletivo (ônibus, a pé).

O valor do coeficiente “goodness of fit” obtido para o modelo sem segmentação foi $\rho^2 = 0,22680$. Segundo MCFADDEN (1976, p. 41), os valores de ρ^2 não devem ser julgados pelos padrões para análise de regressão linear ordinária, sendo que valores de ρ^2 entre 0,2 e 0,4 representam um bom ajuste.

O modelo logit multinomial foi calibrado para três situações: sem segmentação, com segmentação segundo posse de automóvel no domicílio, e com segmentação segundo distância de viagem.

O valor da função verossimilhança para o modelo calibrado com dados sem segmentação é -548,80; o valor total da função verossimilhança para os modelos calibrados com os dados segmentados segundo distância de viagem foi de -542,40; e o valor total da função verossimilhança para os modelos calibrados com os dados segmentados segundo posse de automóvel no domicílio do viajante foi -527,22, indicando que o ajuste melhorou na mesma ordem.

Para ambas as segmentações, os modelos apresentaram um bom ajuste para um dos segmentos e um ajuste fraco para o outro segmento, indicando que os modelos podem apresentar desempenho relativamente pobre ao estimar número de viagens entre uma origem e um destino. É possível que os resultados obtidos neste trabalho estejam afetados pela falta de alguns dados que permitissem melhorar o ajuste dos modelos aos segmentos para os quais o ajuste foi relativamente pobre.

6.3 Procedimento proposto para obtenção da matriz origem-destino

Todas as atividades realizadas para obtenção de resultados mediante o procedimento proposto foram enquadradas dentro da metodologia apresentada no Capítulo 4, a qual está constituída de duas fases; uma primeira fase, de diagnóstico e correção dos erros de especificação do modelo de divisão modal, e uma segunda fase, de diagnóstico e análise dos erros do procedimento proposto.

Como era de se esperar, à medida que as zonas de origem e de destino são divididas em maior número de subzonas, diminui o valor do erro médio de estimação do número de viagens entre essas zonas, tanto para viagens de automóvel como para número total de viagens. Para as viagens não motorizadas, porém, o erro médio não diminuiu com a divisão das zonas de origem e de destino em partes menores.

O número de viagens não motorizadas apresentou maior erro de estimativa. A principal causa pode ser a falta de informação importante a respeito dos modos de viagem não motorizados, sobretudo quando este não foi o modo utilizado embora fizesse parte do conjunto de alternativas disponíveis.

A matriz de usuários de automóvel foi invariavelmente a que apresentou o menor erro médio para todas as distâncias de viagem. É fácil entender este resultado, pois a grande maioria dos viajantes fazem uso do automóvel sempre que esse modo esteja disponível.

Os resultados dos teste Kolmogorov–Smirnov, aplicados aos diferentes níveis de desagregação das zonas de controle mostraram que a distribuição de viagens obtida mediante o procedimento proposto foi similar a distribuição de viagens obtida pela pesquisa domiciliar.

Embora a calibração do modelo logit multinomial tenha sido realizada com dados obtidos de forma indireta para aqueles modos que não foram selecionados pelo viajante (e cujos dados não foram coletados na pesquisa domiciliar), o erro do número de viagens estimados foi próximo aos 19%.

Contrariando a expectativa, a análise do resultado dos três modelos M1, M2, M3 (sem segmentação, com segmentação segundo posse de automóvel no domicílio, e com segmentação segundo distância de viagem), mostra que a segmentação da população melhorou a verossimilhança total dos modelos, mas não reduziu os erros de estimativa do número de viagens. Ou seja, um modelo bem ajustado, segundo critério de verossimilhança, não implicou em um bom resultado no procedimento proposto.

Através dos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que o procedimento para a obtenção de matriz O/D aqui proposto é uma alternativa viável, e que modelos de escolha modal calibrados com dados sem segmentação podem ser utilizados para esse fim.

Finalmente, embora não tenha sido verificado neste trabalho, provavelmente resultados melhores seriam obtidos caso houvesse informações mais ricas para melhorar o ajuste dos modelos nos segmentos em que os ajustes não foram bons.

6.4 Dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa

As dificuldades encontradas no decorrer da pesquisa estão associadas a dois pontos fundamentais: a qualidade dos dados e o *software* disponível.

A primeira dificuldade encontrada deveu-se à não existência de toda a informação necessária para calibração do modelo logit multinomial. Pois na pesquisa domiciliar não foram coletadas informações acerca dos possíveis modos alternativos de viagem. Dessa maneira, não foi possível estimar os volumes para cada um dos modos e apreciar mais especificamente as variáveis consideradas no processo de escolha.

Testes estatísticos incorporados na maioria dos softwares para estimação de modelos desagregados de escolha modal são muitas vezes insuficientes para se fazer as verificações necessárias.

6.5 Sugestões para condução de trabalhos futuros

A experiência adquirida ao longo dos últimos 2 anos trabalhando os dados da cidade de Bauru permite algumas recomendações no sentido de ajudar a desenvolver o procedimento proposto para que efetivamente sirva de suporte à atividade de planejamento dos transportes urbanos.

Deve-se estudar mais detalhadamente o processo de escolha modal dos viajantes que não possuem automóvel.

O procedimento apresentado deve ser aplicado em outras cidades com características sócio-econômicas diferentes das de Bauru.

Os dados obtidos da pesquisa domiciliar são bastante ricos em informações sócio-econômicas, porém pobres em informações sobre modos disponíveis. Recomenda-se, portanto, que a estimação do modelo logit multinomial ou de qualquer outro modelo de escolha modal seja feita com dados coletados especificamente para essa finalidade.

A amostra escolhida para calibração do modelo desagregado deve ser representativa: a divisão modal existente deve apresentar grau de confiabilidade de 95% e erro de estimativa de 5%, e os atributos dos modos de viagem e as características dos viajantes devem apresentar um erro menor do que 10% e igual grau de confiabilidade.

Deve-se analisar a influência da segmentação, bem como do nível de ajuste em cada um dos segmentos, no desempenho do procedimento proposto.

Recomenda-se integrar o procedimento proposto a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o qual permitirá determinar mais facilmente a subdivisão das zonas e as distâncias médias entre elas, contribuindo para a redução no tempo gasto na elaboração de matriz O/D e para melhorar a precisão do resultado.

Testar a utilização de outros modelos desagregados a fim de determinar o modelo mais adequado.

Pesquisar os diferentes métodos de obtenção da matriz O/D de transporte público e os seus níveis de erro, com o intuito de melhorar a confiabilidade do procedimento.

Anexos

Anexo A

Interpretação da utilidade para grupos heterogêneos

A distribuição espacial das viagens dentro das zonas de origem e destino é considerada uniforme. Portanto, a probabilidade de ocorrência de uma determinada viagem é uma função diretamente proporcional à área considerada.

A distribuição de distância de viagem entre as zonas de origem i e destino j pode ser encontrada admitindo que existe um determinado número de viagens V_{ij} entre a zona de origem i (cujo centróide é o centro do círculo) e a zona j localizada a uma distância d_{ij} do centróide da zona i .

Considerando duas zonas, como as apresentadas na FIGURA A-1, o comprimento da viagem entre dois pontos quaisquer, sendo a zona i a geradora das viagens e a zona j o destino, como pode ser inferido, é dado pela função dos raios r_1 , r_2 e dos ângulos θ_1 e θ_2 :

FIGURA A-1 Diferença entre a distância de viagem real e a distância modelada (distância entre centróides)

$$D_{ij} = d_{ij} + r_1(\sin \theta_1 - \cos \theta_1) + r_2(\sin \theta_2 + \cos \theta_2) \quad 0 \leq \theta_1, \theta_2 \leq 180$$

$$D_{ij} = d_{ij} - r_1(\sin \theta_1 + \cos \theta_1) + r_2(\cos \theta_2 - \sin \theta_2) \quad 180 < \theta_1, \theta_2 < 360$$

A forma da função de distribuição de probabilidade das viagens, se as viagens são consideradas uniformemente distribuídas na área de origem e destino, pode ser obtida de maneira indireta a partir da função de distribuição de distância de viagens para dois pontos quaisquer escolhidos ao acaso.

A distribuição resultante encontra-se ilustrada na FIGURA A-2 para o caso onde as variações ao acaso de r_1 varia entre 0 e 3 unidades, θ_1 entre 0° e 360° , r_2 entre 0 e 2 unidades, para o domínio de θ_2 entre 0° e 360° .

Como pode ser observado, a distribuição resultante apresenta uma forma que se assemelha à curva de distribuição normal. Na literatura encontra-se que a função de distribuição de probabilidade Gumbel, subjacente ao

modelo logit multinomial, pode ser usada para representar essa distribuição dada a sua semelhança e conveniência analítica.

A função de Gumbel encontra-se ligeiramente enviezada para a direita, fazendo com que sua média seja maior do que a moda, características semelhantes às apresentadas pela distribuição da distância D_{ij} ; conforme pode-se ver na FIGURA A-3. Esta pequena diferença de forma não tem nenhuma consequência prática segundo BEN-AKIVA & LERMAN (1987).

A distribuição de Gumbel de densidade pode ser expressa da seguinte maneira:

$$f(\varepsilon) = \omega e^{-e^{-\omega(\varepsilon-\eta)}} e^{-\omega(\varepsilon-\eta)}$$

BEN-AKIVA & LERMAN (1987) assim resumem as principais propriedades desta função:

- A moda é η ; A média é $\eta + \frac{\gamma}{\omega}$, onde γ é a constante de Euler ($\sim 0,577$);
- A variância é $\frac{\pi^2}{6\omega^2}$;

FIGURA A-2. Distância de viagem entre i e j

FIGURA A-3. Variação da distancia de viagem (D_{ij})

Para adoção da hipótese de que a distribuição das diferenças entre a distância de viagem D_{ij} e distância $O_i - O_j$, segue uma função (a função Gumbel), comparou-se inicialmente o comportamento da função probabilidade acumulada obtida a partir dos dados, com uma função de probabilidade acumulada Gumbel, constatando-se que ambas funções apresentam comportamentos semelhantes, como ilustrado na FIGURA A-4.

A verificação desta hipótese foi realizada mediante o teste Qui-quadrado (χ^2). Para a realização as 11816 observações obtidas foram classificadas em trinta e seis classes (36) e o teste foi realizado para um nível de significância de $\alpha=0,05$.

Do resultado do teste χ^2 pode concluir-se que a consideração pode ser adotada, visto que o valor de χ^2 para tal amostra é 39,8, para um χ^2 crítico de 48,8.

FIGURA A-4 Comparação entre as funções probabilidades acumuladas

Portanto, neste trabalho será adotada a hipótese de que a distribuição da diferença entre d_{ij} e D_{ij} segue a função de Gumbel e que esse fato justifica o uso do modelo logit multinomial para estimar a probabilidade P_{ijg}^m de um indivíduo g viajar da zona de tráfego i para zona de tráfego j usando o modo m .

Anexo B

Comandos de entrada para o LIMDEP V. 7.0

/* Este arquivo serve para ler a amostra de dados desagregados da pesquisa O/D de ano 1997 de Bauru no formato requerido para logo estimar o modelo logit multinomial.
Define o nome do arquivo de saída.*/

```
open; output=logit.res $
read; nvar= 22
    ; nobs=1542
    ; names= y,id,zorig,ncarros,idade,sitfam,sexo,grestudo,
             carmoto,estuda,salario,npessoas,rendaf,modo,
             motivo,hsaida,hchega,zdest,dacesso,headway,
             dist,altij
    ; Blanks
    ; file= final.inp
    ; Format=(22f8.2)$
```

c Definine-se amostra a ser utilizada

```
Sample; all$
reject;dist<0$
```

c As alternativas são:

- 1 automóvel (motorista,passageiro)
- 2 ônibus
- 3 Caminhada

c Definine-se o numero de alternativas por observação

```
create; ind=ndx(id,0)$
matrix; grupo=gsiz(ind)$
create; ni=grupo(ind)$
```

```
create;if(altij=1|altij=3)acesso=0
    ;(else)bcesso=dacesso
    ;if(altij=2 & dacesso<500)perto=1
    ;if(altij=2 & dacesso>800 )longe=1
```

```
;if(altij=2)racesso=bcesso/dist$
```

c tempo da viagem em minutos

```
create; if(altij=1)tcar=dist/500
; if(tcar<11 & altij=1)tempo=tcar+2
; if(tcar>10 & altij=1)tempo=tcar
; if(altij=2)tempo=dist/333
; if(altij=3)tempo=dist/83$
```

c custo do carro

```
create; if(altij=1)ccar=(dist/7000)*0.85$
```

c tarifa ônibus

```
create; if(estuda=1 & idade<18)aux=0.49
; (else)aux=0.65
; if(idade>60)tarifa=0
; (else)tarifa=aux $
; if(altij=1)custo=ccar
; if(altij=3)custo=0
; if(altij=2)custo=tarifa
; custre=ccar/rendaf$
```

c Estimativa do tempo de espera

```
create; if(headway<18)tesp=0.5*headway
; (else)tesp=5+0.2*headway
; if(altij=1|altij=3)tespera=0
; (else)tespera=tesp$
```

c zab

```
; if(zorig>0 & zorig<12 | zorig=29 | zorig=32)centro=1$
```

```
create; if(altij=1)dcar=dist
; if(altij=2)dbus=dist
; if(altij=3)dpe=dist$
```

c Modelo logit multimodal

c análise estatística das variáveis de entrada

```
dstat; rhs=tempo,dacesso,ccar,tarifa,rendaf,ncarros,zab,
dcar, dbus, dpe, custre, racesso
; output=2 $
```



```
nlogit; lhs=y,ni,altij
      ; Model:U(carro)=car+btempo*tempo+custo*custre+ncar*ncarros/
      U(onibus)=bus+btempo*tempo+bacesso*racesso+bzab*zab/
      U(pe)=btempo*tempo
      ; choices=carro,onibus,pe
      ; describe
      ; crosstab$
stop
```

Resultados das estimativas

Resultados para o modelo M1 para 1 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-1	Probabilidade	Pj	0,124	0,646	0,230	1,000
	Estimadas	Ej		15,63	5,56	24,19
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		-0,408	0,461	-0,158
21-14	Probabilidade	Pj	0,153	0,535	0,312	1,000
	Estimadas	Ej		21,03	12,27	39,30
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-0,141	0,674	0,135
22-14	Probabilidade	Pj	0,148	0,568	0,284	1,000
	Estimadas	Ej		26,85	13,40	47,25
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		0,144	0,776	0,302
24-1	Probabilidade	Pj	0,403	0,458	0,139	1,000
	Estimadas	Ej		5,68	1,73	12,40
	Observadas	Obj	5	34	1	40
	Erro	AEj		-4,990	0,421	-2,225
24-97	Probabilidade	Pj	0,340	0,480	0,180	1,000
	Estimadas	Ej		14,11	5,28	29,40
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-0,771	1,000	-0,191
26-1	Probabilidade	Pj	0,271	0,406	0,323	1,000
	Estimadas	Ej		1,50	1,19	3,69
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		-1,668		-5,502
26-9	Probabilidade	Pj	0,029	0,336	0,635	1,000
	Estimadas	Ej		11,70	22,12	34,82
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,658	0,141	0,311
34-6	Probabilidade	Pj	0,473	0,397	0,129	1,000
	Estimadas	Ej		9,23	3,00	23,24
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,567	1,000	0,354

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
32-1	Probabilidade	Pj	0,440	0,440	0,120	1,000
	Estimadas	Ej		2,00	0,55	4,55
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-1,501	-6,313	-1,419
54-2	Probabilidade	Pj	0,310	0,336	0,354	1,000
	Estimadas	Ej		15,17	15,96	45,12
	Observadas	Obj	14	2	0	16
	Erro	AEj		0,868	1,000	0,645
69-02	Probabilidade	Pj	0,279	0,463	0,258	1,000
	Estimadas	Ej		54,81	30,54	82,35
	Observadas	Obj	33	1	3	37
	Erro	AEj		0,982	0,902	0,687
82-1	Probabilidade	Pj	0,657	0,179	0,164	1,000
	Estimadas	Ej		0,82	0,75	4,57
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		-6,326	1,000	-0,971
91-7	Probabilidade	Pj	0,121	0,547	0,332	1,000
	Estimadas	Ej		13,60	8,26	24,86
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,559	1,000	0,638
93-1	Probabilidade	Pj	0,367	0,344	0,289	1,000
	Estimadas	Ej		40,31	33,90	####
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,603	0,911	0,471
93-11	Probabilidade	Pj	0,520	0,333	0,147	1,000
	Estimadas	Ej		3,85	1,70	11,55
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,220	1,000	0,221
94-1	Probabilidade	Pj	0,455	0,376	0,170	1,000
	Estimadas	Ej		14,88	6,72	39,60
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,530	0,851	0,343
95-1	Probabilidade	Pj	0,420	0,415	0,165	1,000
	Estimadas	Ej		43,49	17,24	####
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,747	0,942	0,465
95-6	Probabilidade	Pj	0,319	0,388	0,293	1,000
	Estimadas	Ej		9,72	7,33	25,05
	Observadas	Obj	8	3	0	11
	Erro	AEj		0,691	1,000	0,561

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
i	Probabilidade	Pj	0,290	0,519	0,191	1,000
	Estimadas	Ej		96,42	35,51	
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		0,284	0,859	0,312
ii	Probabilidade	Pj				
	Estimadas	Ej				
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj				
iii	Probabilidade	Pj	0,141	0,430	0,429	1,000
	Estimadas	Ej		33,56	33,45	78,01
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		0,732	0,940	0,718
iv	Probabilidade	Pj	0,310	0,393	0,297	1,000
	Estimadas	Ej		24,06	18,20	61,26
	Observadas	Obj	19	16	0	35
	Erro	AEj		0,335	1,000	0,429
v	Probabilidade	Pj				
	Estimadas	Ej				
	Observadas	Obj	14	4	0	
	Erro	AEj				
vi	Probabilidade	Pj	0,284	0,440	0,276	1,000
	Estimadas	Ej		79,02	49,52	
	Observadas	Obj	51	85	11	147
	Erro	AEj		-0,076	0,778	0,181

Resultados para o modelo M1 para 2 sub-zona.

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-01	Probabilidade	Pj	0,113	0,697	0,190	1,000
	Estimadas	Ej		18,52	5,04	26,56
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		-0,188	0,405	-0,054
21-14	Probabilidade	Pj	0,104	0,609	0,286	1,000
	Estimadas	Ej		35,10	16,50	57,59
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		0,316	0,758	0,410
22-14	Probabilidade	Pj	0,113	0,678	0,209	1,000
	Estimadas	Ej		42,19	13,01	62,20
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		0,455	0,769	0,469
24-1	Probabilidade	Pj	0,338	0,539	0,123	1,000
	Estimadas	Ej		7,98	1,83	14,81
	Observadas	Obj	5	34	1	40
	Erro	AEj		-3,259	0,453	-1,701
24-97	Probabilidade	Pj	0,184	0,636	0,179	1,000
	Estimadas	Ej		34,58	9,75	54,33
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		0,277	1,000	0,356
26-9	Probabilidade	Pj	0,045	0,372	0,583	1,000
	Estimadas	Ej		8,19	12,83	22,01
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,511	-0,481	-0,090
32-1	Probabilidade	Pj	0,426	0,445	0,129	1,000
	Estimadas	Ej		26,06	7,57	58,63
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,655	-0,718	0,198
34-6	Probabilidade	Pj	0,433	0,555	0,012	1,000
	Estimadas	Ej		14,11	0,31	25,42
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,716	1,000	0,410
54-2	Probabilidade	Pj	0,265	0,411	0,324	1,000
	Estimadas	Ej		3,10	2,44	7,54
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-0,613	-0,636	-0,458
69-02	Probabilidade	Pj	0,274	0,618	0,108	1,000
	Estimadas	Ej		31,60	5,49	51,09
	Observadas	Obj	14	2	0	16
	Erro	AEj		0,937	1,000	0,687

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
82-1	Probabilidade	Pj	0,453	0,423	0,124	1,000
	Estimadas	Ej		30,84	9,01	72,85
	Observadas	Obj	33	1	3	37
	Erro	AEj		0,968	0,667	0,492
91-7	Probabilidade	Pj	0,243	0,624	0,133	1,000
	Estimadas	Ej		7,71	1,64	12,35
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,222	1,000	0,271
93-1	Probabilidade	Pj	0,336	0,406	0,258	1,000
	Estimadas	Ej		51,86	32,95	127,82
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,691	0,909	0,515
93-11	Probabilidade	Pj	0,422	0,447	0,131	1,000
	Estimadas	Ej		6,35	1,86	14,21
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,527	1,000	0,367
94-1	Probabilidade	Pj	0,459	0,512	0,029	1,000
	Estimadas	Ej		20,11	1,14	39,24
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,652	0,120	0,337
95-1	Probabilidade	Pj	0,422	0,555	0,023	1,000
	Estimadas	Ej		57,76	2,39	104,15
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,810	0,582	0,462
95-6	Probabilidade	Pj	0,383	0,525	0,092	1,000
	Estimadas	Ej		10,97	1,92	20,89
	Observadas	Obj	8	3	0	11
	Erro	AEj		0,727	1,000	0,474
i	Probabilidade	Pj	0,296	0,460	0,244	1,000
	Estimadas	Ej		83,91	44,51	182,42
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		0,178	0,888	0,298
ii	Probabilidade	Pj	0,797	0,195	0,008	1,000
	Estimadas	Ej		4,40	0,18	22,58
	Observadas	Obj	18	8	5	31
	Erro	AEj		-0,817	-26,674	-0,373
iii	Probabilidade	Pj	0,340	0,541	0,118	1,000
	Estimadas	Ej		17,49	3,82	32,31
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		0,485	0,477	0,319

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
iv	Probabilidade	Pj	0,281	0,366	0,353	1,000
	Estimadas	Ej		24,75	23,86	67,62
	Observadas	Obj	19	16	0	35
	Erro	AEj		0,354	1,000	0,482
v	Probabilidade	Pj	0,718	0,268	0,014	1,000
	Estimadas	Ej		5,22	0,28	19,50
	Observadas	Obj	14	4	0	18
	Erro	AEj		0,234	1,000	0,077
vi	Probabilidade	Pj	0,394	0,371	0,235	1,000
	Estimadas	Ej		48,06	30,47	129,53
	Observadas	Obj	51	85	11	147
	Erro	AEj		-0,769	0,639	-0,135

Resultados para o modelo M1 para3 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-01	Probabilidade	Pj	0,407	0,222	0,371	1,000
	Estimadas	Ej		1,64	2,73	7,37
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		-12,438	-0,099	-2,801
21-14	Probabilidade	Pj	0,427	0,064	0,509	1,000
	Estimadas	Ej		0,90	7,15	14,05
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-25,749	0,441	-1,420
22-14	Probabilidade	Pj	0,168	0,705	0,127	1,000
	Estimadas	Ej		29,43	5,30	41,73
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		0,218	0,434	0,209
24-1	Probabilidade	Pj	0,163	0,759	0,077	1,000
	Estimadas	Ej		23,27	2,37	30,64
	Observadas	Obj	5	33	1	39
	Erro	AEj		-0,418	0,578	-0,273
24-97	Probabilidade	Pj	0,299	0,622	0,079	1,000
	Estimadas	Ej		20,80	2,64	33,44
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-0,202	1,000	-0,047
26-1	Probabilidade	Pj	0,375	0,480	0,145	1,000
	Estimadas	Ej		26,90	8,15	56,05
	Observadas	Obj	21	8	0	29
	Erro	AEj		0,703	1,000	0,483
26-9	Probabilidade	Pj	0,038	0,368	0,594	1,000
	Estimadas	Ej		9,72	15,70	26,42
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,588	-0,210	0,092
32-1	Probabilidade	Pj	0,419	0,559	0,022	1,000
	Estimadas	Ej		33,36	1,29	59,65
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,730	-9,047	0,212
34-6	Probabilidade	Pj	0,551	0,434	0,016	1,000
	Estimadas	Ej		8,66	0,32	19,98
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,538	1,000	0,249
54-2	Probabilidade	Pj	0,403	0,440	0,157	1,000
	Estimadas	Ej		2,18	0,78	4,96
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-1,292	-4,131	-1,217

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
69-02	Probabilidade	Pj	0,296	0,589	0,115	1,000
	Estimadas	Ej		27,87	5,45	47,31
	Observadas	Obj	14	2	0	16
	Erro	AEj		0,928	1,000	0,662
82-1	Probabilidade	Pj	0,595	0,380	0,025	1,000
	Estimadas	Ej		21,07	1,39	55,46
	Observadas	Obj	33	0	2	35
	Erro	AEj		1,000	-0,437	0,369
91-7	Probabilidade	Pj	0,262	0,594	0,144	1,000
	Estimadas	Ej		6,81	1,65	11,46
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,119	1,000	0,215
93-1	Probabilidade	Pj	0,520	0,395	0,085	1,000
	Estimadas	Ej		32,66	7,05	82,71
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,510	0,575	0,250
93-11	Probabilidade	Pj	0,559	0,417	0,024	1,000
	Estimadas	Ej		4,47	0,26	10,73
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,329	1,000	0,161
94-1	Probabilidade	Pj	0,515	0,452	0,033	1,000
	Estimadas	Ej		15,79	1,15	34,94
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,557	0,131	0,256
95-1	Probabilidade	Pj	29,222	25,310	1,468	56,000
	Estimadas	Ej		38,11	2,21	84,32
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,711	0,548	0,336
95-6	Probabilidade	Pj	0,420	0,476	0,103	1,000
	Estimadas	Ej		9,06	1,97	19,03
	Observadas	Obj	8	5	0	13
	Erro	AEj		0,448	1,000	0,317
i	Probabilidade	Pj	0,420	0,471	0,109	1,000
	Estimadas	Ej		60,65	14,07	128,72
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-0,138	0,645	0,006
ii	Probabilidade	Pj	0,494	0,476	0,030	1,000
	Estimadas	Ej		17,31	1,09	36,40
	Observadas	Obj	18	8	5	31
	Erro	AEj		0,538	-3,583	0,148

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
iii	Probabilidade	Pj	0,452	0,341	0,207	1,000
	Estimadas	Ej		8,30	5,03	24,34
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		-0,084	0,603	0,096
iv	Probabilidade	Pj	0,402	0,423	0,175	1,000
	Estimadas	Ej		19,98	8,28	47,27
	Observadas	Obj	19	19	0	38
	Erro	AEj		0,049	1,000	0,196
v	Probabilidade	Pj	0,811	0,179	0,010	1,000
	Estimadas	Ej		3,09	0,17	17,25
	Observadas	Obj	14	4	0	18
	Erro	AEj		-0,295	1,000	-0,043
vi	Probabilidade	Pj	0,176	0,670	0,154	1,000
	Estimadas	Ej		117,97	27,02	175,99
	Observadas	Obj	31	91	7	129
	Erro	AEj		0,229	0,741	0,267

Resultados para o modelo M2 para 1 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-1	Probabilidade	Pj	0,089	0,656	0,255	1,000
	Estimadas	Ej		22,11	8,60	33,71
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		0,005	0,651	0,169
21-14	Probabilidade	Pj	0,250	0,500	0,250	
	Estimadas	Ej		12,00	6,00	24,00
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-1,000	0,333	-0,417
22-14	Probabilidade	Pj	0,253	0,511	0,236	
	Estimadas	Ej		14,14	6,53	27,67
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		-0,627	0,541	-0,193
24-1	Probabilidade	Pj	0,148	0,699	0,153	
	Estimadas	Ej		23,61	5,17	33,78
	Observadas	Obj	5	34	1	40
	Erro	AEj		-0,440	0,807	-0,184
24-97	Probabilidade	Pj	0,306	0,540	0,154	1,000
	Estimadas	Ej		17,65	5,03	32,68
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-0,417	1,000	-0,071
26-1	Probabilidade	Pj	0,464	0,297	0,240	
	Estimadas	Ej		13,44	10,86	45,30
	Observadas	Obj	21	8	0	29
	Erro	AEj		0,405	1,000	0,360
26-9	Probabilidade	Pj	0,255	0,270	0,474	
	Estimadas	Ej		1,06	1,86	3,92
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		-2,778	-9,222	-5,126
34-6	Probabilidade	Pj	0,544	0,375	0,082	
	Estimadas	Ej		7,58	1,66	20,24
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,472	1,000	0,259
32-1	Probabilidade	Pj	0,596	0,329	0,232	
	Estimadas	Ej		13,80	9,73	48,53
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,348	-0,336	0,032
54-2	Probabilidade	Pj	0,460	0,309	0,232	
	Estimadas	Ej		9,40	7,06	30,47
	Observadas	Obj	14	2	0	16
	Erro	AEj		0,787	1,000	0,475

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
82-1	Probabilidade	Pj	0,678	0,244	0,068	
	Estimadas	Ej		1,08	0,30	4,38
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		-4,557	1,000	-1,055
91-7	Probabilidade	Pj	0,192	0,563	0,245	
	Estimadas	Ej		8,80	3,83	15,63
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,318	1,000	0,424
93-1	Probabilidade	Pj	0,497	0,315	0,187	
	Estimadas	Ej		27,25	16,18	86,43
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,413	0,815	0,283
93-11	Probabilidade	Pj	0,598	0,320	0,083	
	Estimadas	Ej		3,21	0,83	10,04
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,066	1,000	0,104
94-1	Probabilidade	Pj	0,603	0,297	0,088	
	Estimadas	Ej		8,87	2,63	29,49
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,210	0,619	0,118
95-1	Probabilidade	Pj	0,541	0,356	0,090	
	Estimadas	Ej		28,95	7,32	80,27
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,620	0,863	0,302
95-6	Probabilidade	Pj	0,471	0,330	0,200	
	Estimadas	Ej		5,61	3,40	17,00
	Observadas	Obj	8	3	0	11
	Erro	AEj		0,465	1,000	0,353
i	Probabilidade	Pj	0,511	0,324	0,084	
	Estimadas	Ej		34,24	8,88	97,12
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-1,015	0,437	-0,318
ii	Probabilidade	Pj	0,532	0,384	0,084	
	Estimadas	Ej		7,94	1,74	20,68
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		-0,134	-0,152	-0,064
iii	Probabilidade	Pj	0,507	0,240	0,255	
	Estimadas	Ej		5,21	5,53	21,74
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		-0,728	0,639	-0,012

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
iv	Probabilidade	Pj	0,477	0,311	0,212	
	Estimadas	Ej		12,39	8,44	39,83
	Observadas	Obj	19	16	0	35
	Erro	AEj		-0,292	1,000	0,121
v	Probabilidade	Pj	0,515	0,340	0,146	
	Estimadas	Ej		9,24	3,97	27,21
	Observadas	Obj				
	Erro	AEj		0,567	1,000	0,339
vi	Probabilidade	Pj	0,489	0,236	0,149	
	Estimadas	Ej		24,61	15,54	91,15
	Observadas	Obj	51	85	11	147
	Erro	AEj		-2,453	0,292	-0,613

Resultados para o modelo M2 para 2 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-01	Probabilidade	Pj	0,240	0,565	0,195	1,000
	Estimadas	Ej		7,06	2,44	12,50
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		-2,115	-0,231	-1,240
21-14	Probabilidade	Pj	0,215	0,515	0,270	1,000
	Estimadas	Ej		14,37	7,53	27,91
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-0,670	0,469	-0,218
22-14	Probabilidade	Pj	0,233	0,559	0,207	0,999
	Estimadas	Ej		16,79	6,22	30,01
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		-0,370	0,518	-0,100
24-1	Probabilidade	Pj	0,333	0,552	0,012	0,897
	Estimadas	Ej		8,29	0,17	13,46
	Observadas	Obj	5	34	1	40
	Erro	AEj		-3,102	-4,791	-1,972
24-97	Probabilidade	Pj	0,314	0,543	0,143	1,000
	Estimadas	Ej		17,29	4,55	31,85
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-0,446	1,000	-0,099
26-9	Probabilidade	Pj	0,043	0,285	0,672	1,000
	Estimadas	Ej		6,63	15,63	23,26
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,396	-0,216	-0,032
32-1	Probabilidade	Pj	0,561	0,360	0,079	1,000
	Estimadas	Ej		16,04	3,52	44,56
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,439	-2,693	-0,055
34-6	Probabilidade	Pj	0,477	0,414	0,108	0,999
	Estimadas	Ej		9,55	2,49	23,04
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,581	1,000	0,349
54-2	Probabilidade	Pj	0,427	0,338	0,235	1,000
	Estimadas	Ej		1,58	1,10	4,68
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-2,158	-2,634	-1,349
82-1	Probabilidade	Pj	0,587	0,339	0,074	1,000
	Estimadas	Ej		19,06	4,16	56,22
	Observadas	Obj	33	1	3	37
	Erro	AEj		0,948	0,279	0,342

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
91-7	Probabilidade	Pj	0,256	0,531	0,212	0,999
	Estimadas	Ej		6,22	2,48	11,71
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,036	1,000	0,231
93-1	Probabilidade	Pj	0,504	0,313	0,183	1,000
	Estimadas	Ej		26,70	15,61	85,32
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,401	0,808	0,273
93-11	Probabilidade	Pj	0,579	0,335	0,087	1,001
	Estimadas	Ej		3,47	0,90	10,37
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,136	1,000	0,132
94-1	Probabilidade	Pj	0,575	0,319	0,107	1,001
	Estimadas	Ej		9,99	3,35	31,34
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,299	0,701	0,170
95-1	Probabilidade	Pj	0,546	0,348	0,096	0,990
	Estimadas	Ej		28,04	7,74	79,78
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,608	0,871	0,298
95-6	Probabilidade	Pj	0,278	0,377	0,344	0,999
	Estimadas	Ej		10,85	9,90	28,75
	Observadas	Obj	8	3	0	11
	Erro	AEj		0,723	1,000	0,617
i	Probabilidade	Pj	0,483	0,344	0,173	1,000
	Estimadas	Ej		38,46	19,34	111,80
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-0,794	0,741	-0,145
ii	Probabilidade	Pj	0,548	0,369	0,083	1,000
	Estimadas	Ej		12,12	2,73	32,85
	Observadas	Obj	18	8	5	31
	Erro	AEj		0,340	-0,834	0,056
iii	Probabilidade	Pj	0,481	0,247	0,273	1,001
	Estimadas	Ej		5,65	6,24	22,89
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		-0,593	0,680	0,039
iv	Probabilidade	Pj	0,452	0,287	0,262	1,001
	Estimadas	Ej		12,06	11,01	42,08
	Observadas	Obj	19	16	0	35
	Erro	AEj		-0,326	1,000	0,168

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
v	Probabilidade	Pj	0,580	0,334	0,087	1,001
	Estimadas	Ej		8,06	2,10	24,16
	Observadas	Obj	14	4	0	18
	Erro	AEj		0,504	1,000	0,255
vi	Probabilidade	Pj	0,484	0,272	0,244	1,000
	Estimadas	Ej		28,66	25,71	105,37
	Observadas	Obj	51	85	11	147
	Erro	AEj		-1,966	0,572	-0,395

Resultados para o modelo M2 para 3 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-01	Probabilidade	Pj	0,063	0,696	0,241	1,000
	Estimadas	Ej		33,14	11,48	47,62
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		0,336	0,739	0,412
21-14	Probabilidade	Pj	0,200	0,527	0,273	1,000
	Estimadas	Ej		15,81	8,19	30,00
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-0,518	0,512	-0,133
22-14	Probabilidade	Pj	0,234	0,561	0,205	
	Estimadas	Ej		16,78	6,13	29,91
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		-0,371	0,511	-0,103
24-1	Probabilidade	Pj	0,314	0,574	0,112	1,000
	Estimadas	Ej		9,14	1,78	15,92
	Observadas	Obj	5	33	1	39
	Erro	AEj		-2,610	0,439	-1,449
24-97	Probabilidade	Pj	0,316	0,547	0,137	
	Estimadas	Ej		17,31	4,34	31,65
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-0,444	1,000	-0,106
26-1	Probabilidade	Pj	0,445	0,151	0,404	1,000
	Estimadas	Ej		7,13	19,07	47,19
	Observadas	Obj	21	8	0	29
	Erro	AEj		-0,123	1,000	0,385
26-9	Probabilidade	Pj	0,075	0,284	0,640	0,999
	Estimadas	Ej		3,79	8,53	13,32
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		-0,056	-1,227	-0,802
32-1	Probabilidade	Pj	0,554	0,368	0,078	1,000
	Estimadas	Ej		16,61	3,52	45,13
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,458	-2,693	-0,042
34-6	Probabilidade	Pj	0,614	0,390	0,276	1,280
	Estimadas	Ej		6,99	4,94	22,93
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,428	1,000	0,346
54-2	Probabilidade	Pj	0,283	0,370	0,347	1,000
	Estimadas	Ej		2,61	2,45	7,07
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-0,912	-0,631	-0,557

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
82-1	Probabilidade	Pj	0,337	0,430	0,233	1,000
	Estimadas	Ej		42,11	22,82	97,92
	Observadas	Obj	33	0	2	35
	Erro	AEj		1,000	0,912	0,643
91-7	Probabilidade	Pj				
	Estimadas	Ej				
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj				
93-1	Probabilidade	Pj	0,503	0,316	0,181	1,000
	Estimadas	Ej		27,01	15,47	85,49
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,408	0,806	0,275
93-11	Probabilidade	Pj	0,573	0,341	0,087	1,001
	Estimadas	Ej		3,57	0,91	10,48
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,160	1,000	0,141
94-1	Probabilidade	Pj	0,560	0,332	0,097	0,989
	Estimadas	Ej		10,67	3,12	31,79
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,344	0,679	0,182
95-1	Probabilidade	Pj	0,409	0,488	0,103	1,000
	Estimadas	Ej		52,50	11,08	107,58
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,790	0,910	0,479
95-6	Probabilidade	Pj	0,454	0,345	0,202	1,001
	Estimadas	Ej		6,08	3,56	17,64
	Observadas	Obj	8	5	0	13
	Erro	AEj		0,178	1,000	0,263
i	Probabilidade	Pj	0,434	0,369	0,197	1,000
	Estimadas	Ej		45,91	24,51	124,42
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-0,503	0,796	-0,029
ii	Probabilidade	Pj	0,532	0,371	0,096	0,999
	Estimadas	Ej		12,55	3,25	33,80
	Observadas	Obj	18	8	5	31
	Erro	AEj		0,363	-0,539	0,083
iii	Probabilidade	Pj	0,305	0,162	0,219	0,686
	Estimadas	Ej		5,84	7,90	24,74
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		-0,540	0,747	0,111

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
iv	Probabilidade	Pj	0,423	0,305	0,273	1,001
	Estimadas	Ej		13,70	12,26	44,96
	Observadas	Obj	19	19	0	38
	Erro	AEj		-0,387	1,000	0,155
v	Probabilidade	Pj	0,148	0,578	0,273	0,999
	Estimadas	Ej		54,68	25,82	94,50
	Observadas	Obj	14	4	0	18
	Erro	AEj		0,927	1,000	0,810
vi	Probabilidade	Pj	0,506	0,280	0,214	1,000
	Estimadas	Ej		17,15	13,11	61,26
	Observadas	Obj	31	91	7	129
	Erro	AEj		-4,305	0,466	-1,106

Resultados para o modelo M3 para 1 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-1	Probabilidade	Pj	0,072	0,813	0,115	1,000
	Estimadas	Ej		33,88	4,79	41,67
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		0,351	0,374	0,328
21-14	Probabilidade	Pj	0,207	0,616	0,178	
	Estimadas	Ej		17,86	5,16	29,01
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-0,344	0,225	-0,172
22-14	Probabilidade	Pj	0,185	0,668	0,147	
	Estimadas	Ej		25,28	5,56	37,84
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		0,090	0,461	0,128
24-1	Probabilidade	Pj	0,186	0,661	0,153	1,000
	Estimadas	Ej		17,77	4,11	26,88
	Observadas	Obj	5	34	1	40
	Erro	AEj		-0,913	0,757	-0,488
24-97	Probabilidade	Pj	0,311	0,424	0,203	0,938
	Estimadas	Ej		13,63	6,53	30,16
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-0,834	1,000	-0,160
26-1	Probabilidade	Pj	0,373	0,424	0,203	1,000
	Estimadas	Ej		23,87	11,43	56,30
	Observadas	Obj	21	8	0	29
	Erro	AEj		0,665	1,000	0,485
26-9	Probabilidade	Pj	0,036	0,302	0,662	1,000
	Estimadas	Ej		8,39	18,39	27,78
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,523	-0,033	0,136
34-6	Probabilidade	Pj	0,459	0,482	0,059	1,000
	Estimadas	Ej		11,55	1,41	23,97
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,654	1,000	0,374
32-1	Probabilidade	Pj	0,508	0,432	0,060	1,000
	Estimadas	Ej		21,26	2,95	49,21
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,577	-3,403	0,045
54-2	Probabilidade	Pj	0,506	0,230	0,264	1,000
	Estimadas	Ej		6,36	7,30	27,67
	Observadas	Obj	14	2	0	16
	Erro	AEj		0,686	1,000	0,422

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
82-1	Probabilidade	Pj	0,663	0,266	0,070	0,999
	Estimadas	Ej		1,20	0,32	4,52
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		-3,985	1,000	-0,991
91-7	Probabilidade	Pj	0,201	0,555	0,244	
	Estimadas	Ej		8,28	3,64	14,93
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,276	1,000	0,397
93-1	Probabilidade	Pj	0,420	0,425	0,155	1,000
	Estimadas	Ej		43,51	15,87	102,38
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,632	0,811	0,394
93-11	Probabilidade	Pj	0,538	0,395	0,067	1,000
	Estimadas	Ej		4,41	0,75	11,15
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,319	1,000	0,193
94-1	Probabilidade	Pj	0,523	0,393	0,084	1,000
	Estimadas	Ej	3,000	13,53	2,89	34,42
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,482	0,654	0,245
95-1	Probabilidade	Pj	0,465	0,453	0,082	1,000
	Estimadas	Ej		42,86	7,76	94,62
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,743	0,871	0,408
95-6	Probabilidade	Pj	0,390	0,443	0,167	
	Estimadas	Ej		9,09	3,43	20,51
	Observadas	Obj	8	3	0	11
	Erro	AEj		0,670	1,000	0,464
i	Probabilidade	Pj	0,433	0,433	0,125	
	Estimadas	Ej		54,00	15,59	123,59
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-0,278	0,679	-0,036
ii	Probabilidade	Pj	0,454	0,482	0,064	
	Estimadas	Ej		11,68	1,55	24,23
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		0,229	-0,290	0,092
iii	Probabilidade	Pj	0,377	0,419	0,204	
	Estimadas	Ej		12,23	5,95	29,18
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		0,264	0,664	0,246

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
iv	Probabilidade	Pj	0,394	0,429	0,177	
	Estimadas	Ej		20,69	8,54	48,22
	Observadas	Obj	19	16	0	35
	Erro	AEj		0,227	1,000	0,274
v	Probabilidade	Pj	0,521	0,413	0,067	
	Estimadas	Ej		11,10	1,80	26,90
	Observadas	Obj	14	4	0	18,000
	Erro	AEj		0,640	1,000	0,331
vi	Probabilidade	Pj	0,380	0,411	0,208	
	Estimadas	Ej		55,16	27,92	134,08
	Observadas	Obj	51	85	11	147
	Erro	AEj		-0,541	0,606	-0,096

Resultados para o modelo M3 para 2 sub-zona.

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-01	Probabilidade	Pj	0,119	0,796	0,085	1,000
	Estimadas	Ej		20,07	2,14	25,21
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		-0,096	-0,400	-0,111
21-14	Probabilidade	Pj	0,267	0,387	0,346	1,000
	Estimadas	Ej		8,70	7,78	22,47
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-1,760	0,486	-0,513
22-14	Probabilidade	Pj	0,179	0,682	0,140	1,001
	Estimadas	Ej		26,67	5,47	39,15
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		0,138	0,452	0,157
24-1	Probabilidade	Pj	0,446	0,406	0,148	1,000
	Estimadas	Ej		4,55	1,66	11,21
	Observadas	Obj	5	34	1	40
	Erro	AEj		-6,470	0,397	-2,568
24-97	Probabilidade	Pj	0,412	0,406	0,182	1,000
	Estimadas	Ej		9,85	4,42	24,27
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-1,537	1,000	-0,442
26-9	Probabilidade	Pj	0,032	0,365	0,604	1,001
	Estimadas	Ej		11,41	18,88	31,28
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,649	-0,007	0,233
32-1	Probabilidade	Pj	0,534	0,394	0,071	0,999
	Estimadas	Ej		18,45	3,32	46,77
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,512	-2,911	-0,005
34-6	Probabilidade	Pj	0,425	0,499	0,076	1,000
	Estimadas	Ej		12,92	1,97	25,88
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,690	1,000	0,420
54-2	Probabilidade	Pj	0,430	0,330	0,240	1,000
	Estimadas	Ej		1,53	1,12	4,65
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-2,258	-2,583	-1,365
82-1	Probabilidade	Pj	0,618	0,310	0,072	1,000
	Estimadas	Ej		16,55	3,84	53,40
	Observadas	Obj	33	1	3	37
	Erro	AEj		0,940	0,220	0,307

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
91-7	Probabilidade	Pj	0,244	0,565	0,191	1,000
	Estimadas	Ej		6,95	2,35	12,30
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,136	1,000	0,268
93-1	Probabilidade	Pj	0,469	0,364	0,167	1,000
	Estimadas	Ej		33,37	15,31	91,68
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,521	0,804	0,324
93-11	Probabilidade	Pj	0,561	0,362	0,077	1,000
	Estimadas	Ej		3,87	0,82	10,70
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,225	1,000	0,159
94-1	Probabilidade	Pj	0,540	0,364	0,950	1,854
	Estimadas	Ej		12,13	31,67	61,80
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,423	0,968	0,579
95-1	Probabilidade	Pj	0,528	0,385	0,087	1,000
	Estimadas	Ej		32,08	7,25	83,33
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,657	0,862	0,328
95-6	Probabilidade	Pj	0,424	0,386	0,190	1,000
	Estimadas	Ej		7,28	3,58	18,87
	Observadas	Obj	8	3	0	11
	Erro	AEj		0,588	1,000	0,417
i	Probabilidade	Pj	0,473	0,354	0,172	0,999
	Estimadas	Ej		40,41	19,64	114,05
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-0,707	0,745	-0,122
ii	Probabilidade	Pj	0,516	0,404	0,081	1,001
	Estimadas	Ej		14,09	2,83	34,92
	Observadas	Obj	18	8	5	31
	Erro	AEj		0,432	-0,770	0,112
iii	Probabilidade	Pj	0,393	0,360	0,247	1,000
	Estimadas	Ej		10,08	6,91	27,99
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		0,107	0,711	0,214
iv	Probabilidade	Pj	0,412	0,343	0,246	1,001
	Estimadas	Ej		15,82	11,34	46,16
	Observadas	Obj	19	16	0	35
	Erro	AEj		-0,012	1,000	0,242

O - D			ônibus	Automóvel	A pé	Total
v	Probabilidade	Pj	0,577	0,352	0,071	1,000
	Estimadas	Ej		8,54	1,72	24,26
	Observadas	Obj	14	4	0	18
	Erro	AEj		0,532	1,000	0,258
vi	Probabilidade	Pj	0,359	0,227	0,413	0,999
	Estimadas	Ej		32,25	58,67	141,92
	Observadas	Obj	51	85	11	147
	Erro	AEj		-1,636	0,813	-0,036

Resultados para o modelo M3 para 3 sub-zona.

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
14-01	Probabilidade	Pj	0,042	0,865	0,093	1,000
	Estimadas	Ej		61,79	6,64	71,43
	Observadas	Obj	3	22	3	28
	Erro	AEj		0,644	0,548	0,608
21-14	Probabilidade	Pj	0,418	0,436	0,146	1,000
	Estimadas	Ej		6,26	2,10	14,35
	Observadas	Obj	6	24	4	34
	Erro	AEj		-2,835	-0,909	-1,369
22-14	Probabilidade	Pj	0,097	0,750	0,152	
	Estimadas	Ej		54,12	10,97	72,09
	Observadas	Obj	7	23	3	33
	Erro	AEj		0,575	0,727	0,542
24-1	Probabilidade	Pj	0,418	0,436	0,146	1,000
	Estimadas	Ej		5,22	1,75	11,96
	Observadas	Obj	5	33	1	39
	Erro	AEj		-5,328	0,427	-2,260
24-97	Probabilidade	Pj	0,414	0,413	0,173	
	Estimadas	Ej		9,98	4,18	24,15
	Observadas	Obj	10	25	0	35
	Erro	AEj		-1,506	1,000	-0,449
26-1	Probabilidade	Pj	0,197	0,477	0,326	1,000
	Estimadas	Ej		50,85	34,75	106,60
	Observadas	Obj	21	8	0	29
	Erro	AEj		0,843	1,000	0,728
26-9	Probabilidade	Pj	0,054	0,364	0,582	1,000
	Estimadas	Ej		6,74	10,78	18,52
	Observadas	Obj	1	4	19	24
	Erro	AEj		0,407	-0,763	-0,296
32-1	Probabilidade	Pj	0,505	0,420	0,075	1,000
	Estimadas	Ej		20,79	3,71	49,50
	Observadas	Obj	25	9	13	47
	Erro	AEj		0,567	-2,501	0,051
34-6	Probabilidade	Pj	0,196	0,703	0,101	1,000
	Estimadas	Ej		39,45	5,67	56,12
	Observadas	Obj	11	4	0	15
	Erro	AEj		0,899	1,000	0,733
54-2	Probabilidade	Pj	0,223	0,463	0,314	1,000
	Estimadas	Ej		4,15	2,82	8,97
	Observadas	Obj	2	5	4	11
	Erro	AEj		-0,204	-0,420	-0,227

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
82-1	Probabilidade	Pj	0,599	0,328	0,072	0,999
	Estimadas	Ej		18,07	3,97	55,04
	Observadas	Obj	33	0	2	35
	Erro	AEj		1,000	0,496	0,364
91-7	Probabilidade	Pj	0,219	0,604	0,177	1,000
	Estimadas	Ej		8,27	2,42	13,70
	Observadas	Obj	3	6	0	9
	Erro	AEj		0,275	1,000	0,343
93-1	Probabilidade	Pj	0,463	0,373	0,164	1,000
	Estimadas	Ej		34,64	15,23	92,87
	Observadas	Obj	43	16	3	62
	Erro	AEj		0,538	0,803	0,332
93-11	Probabilidade	Pj	0,546	0,378	0,076	1,000
	Estimadas	Ej		4,15	0,84	10,99
	Observadas	Obj	6	3	0	9
	Erro	AEj		0,278	1,000	0,181
94-1	Probabilidade	Pj	0,517	0,389	0,094	1,000
	Estimadas	Ej		13,54	3,27	34,82
	Observadas	Obj	18	7	1	26
	Erro	AEj		0,483	0,694	0,253
95-1	Probabilidade	Pj	0,317	0,564	0,119	1,000
	Estimadas	Ej		78,28	16,52	138,80
	Observadas	Obj	44	11	1	56
	Erro	AEj		0,859	0,939	0,597
95-6	Probabilidade	Pj	0,417	0,394	0,189	1,000
	Estimadas	Ej		7,56	3,63	19,18
	Observadas	Obj	8	5	0	13
	Erro	AEj		0,339	1,000	0,322
i	Probabilidade	Pj	0,410	0,395	0,195	1,000
	Estimadas	Ej		52,02	25,68	131,71
	Observadas	Obj	54	69	5	128
	Erro	AEj		-0,326	0,805	0,028
ii	Probabilidade	Pj	0,508	0,414	0,085	1,007
	Estimadas	Ej		14,67	3,01	35,68
	Observadas	Obj	18	8	5	31
	Erro	AEj		0,455	-0,660	0,131
iii	Probabilidade	Pj	0,009	0,239	0,120	0,368
	Estimadas	Ej		292,11	146,67	449,78
	Observadas	Obj	11	9	2	22
	Erro	AEj		0,969	0,986	0,951

O - D			Ônibus	Automóvel	A pé	Total
iv	Probabilidade	Pj	0,378	0,370	0,252	1,000
	Estimadas	Ej		18,60	12,67	50,26
	Observadas	Obj	19	19	0	38
	Erro	AEj		-0,022	1,000	0,244
v	Probabilidade	Pj	0,333	0,562	0,104	0,999
	Estimadas	Ej		23,63	4,37	42,00
	Observadas	Obj	14	4	0	18
	Erro	AEj		0,831	1,000	0,571
vi	Probabilidade	Pj	0,434	0,368	0,198	1,000
	Estimadas	Ej		26,29	14,14	71,43
	Observadas	Obj	31	91	7	129
	Erro	AEj		-2,462	0,505	-0,806

Bibliografia

- AASHTIANNI, H. Z.; MAGNANTI, T.L. (1981) Equilibria in a congested transportation network. *Journal SIAM Algebra. Discrete method* 2, p. 213-226.
- ABDULAAL, M.; LEBLANC, L. J. (1979) Methods for combining modal split and equilibrium assignment models. *Transportation Science*, v.13, p.292-314.
- ANAS, A. (1983) Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models. *Transportation Research B*, v.17, n.1, p.13-23.
- ANTP-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO (1997) *Transporte humano-cidades com qualidade de vida*. São Paulo, p. 312.
- BANDEIRA DE MELLO, V. P. (1982) *Um modelo de equilibrio em redes urbanas de transporte público*. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal de Rio Janeiro.
- BARBOUR, R.; FRICKER, J. D. (1994) Estimating an origin-destination table using a method based on shortest augmenting paths. *Transportation Research B*, v.28, n.2, p.77-89.
- BARNARD, P. O. (1987) Modelling shopping destination choice behaviour using the basic multinomial logit model and some of its extensions. *Transport Reviews*, v.7, n.1, p. 17-51.
- BECKMAN, M. J.; MCGUIRE, C. B.; WINSTEN, C. B. (1956) *Studies in the economics of transportation*. Yale University Press. New Haven, Connecticut.
- BELL, M. G. H. (1983) The estimation of an origin-destination matrix from traffic counts. *Transportation Science*, v.17, n. 2, p.198-217.

- BELL, M. G. H. (1984) *Log-linear models for the estimation of origin-destination matrices from traffic counts: An approximation*. In NINTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORTATION AND TRAFFIC THEORY. Ed VNU Science Press, p. 451-469
- BELL, M. G. H. (1991) The estimation of origin-destination matrix by constrained generalised least squares. *Transportation Research B*, v.25, n.1, p.13-22.
- BEN-AKIVA, M. (1987) Methods to combine different data sources and estimate origin-destination matrices. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORTATION AND TRAFFIC THEORY. Ed. Elsevier Science Publishing. Co. Inc.
- BEN-AKIVA, M. & ATHERTON, T. J. (1977) Methodology for short-range travel demand predictions: Analysis of carpooling incentives. *Journal of Transportation Economics and Policy*. v.IX, n.3. p. 224-261.
- BEN-AKIVA, M.; LITINAS, N.; TSUNOKAWA, K. (1985) Continuous spatial choice: The continuous logit model and distributions of trip and urban densities. *Transportation Research A*, v.19, n.2, p. 119-154.
- BEN-AKIVA, M.; LERMAN S. R. (1977) *Use of forecasting models in transportation planning*, In: Population forecasting for small areas, Oak Ridge, Tenn., p. 73-82.
- BEN-AKIVA, M.; STEVEN, R. L. (1987) *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*. Ed. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- BIERLAIRE, M. (1991) *Evaluation de la demande en trafic: quelques méthodes de distribution*. Année académique 1991 Rapport 91/12 Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur. Faculté des Sciences, Département de Mathématique, Namur, Belgium
- BIERLAIRE, M. (1995) *Mathematical models for transportation demand analysis*. Dissertation (Ph. D).- Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur. Faculté des Sciences, Département de Mathématique, Namur, Belgium.
- BOUCHARD, R.; PYRES, C. (1965) Use of gravity model for describing urban travel. An Analysis and Critique. *Highway Research Record* n. 88, p. 1-43.

- BOYCE, D. E. (1984) Urban transportation network-equilibrium and design models: Recent achievements and future prospects. *Environment and planning A*, n. 16, p. 1445-1474.
- BOYCE, D. E.; LEBLANC, L. J.; KYUNG, S.C. (1988) Network Equilibrium models of urban location and travel choice: A retrospective survey. *Journal of Regional Science*, v.28, n.2
- BRUYNNOOGHE, M. (1969) *Un modele intégré de distribution de trafic sur un reseau*. Technical Report. Departement de Recherche Operationnelle et Informatique, Arcueil.
- CASCETTA, E. (1984) Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalised least squares estimator. *Transportation Research B*, v.18, n.4/5, p. 289-299.
- CASCETTA, E.; NGUYEN, S. (1988) A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts. *Transportation Research B*, v.22, n.6, p. 437-455.
- CREMER, M. e KELLER, H. (1987) A new class of dynamic methods for the identification of origin-destination flows. *Transportation Research B*, v.21, n.2, p. 117-132.
- DAFERMOS, S. C. (1971) An extended traffic assignment model with applications to two-way traffic. *Transportation Science*, v. 5, p. 366-389.
- DAFERMOS, S. C. (1972) The traffic assignment problem for multiclass-user transportation network. *Transportation Science*, v. 6, n.1, p. 73-87.
- DE CEA, J. E.; FERNÁNDEZ, F. (1993) Transit assignment for congested public transportation systems: An equilibrium model. *Transportation Science*, v. 27, n.2, p 133-147.
- DOMENCICH, T; KRAFT, G; VALETTE, J.P. (1968) Estimation of urban passenger travel behavior: An Economic Demand Model. *Highway Research Record* n. 238, p. 64-78.
- EASA, M. S. (1993) Urban trip distribution in practice. I: Quick response and special topics. *Journal of Transportation Engineering*, v.119, n.6, p. 793-815.
- EASA, M. S. (1993) Urban trip distribution in practice. II: Quick response and special topics. *Journal of Transportation Engineering*, v.119, n.6, p. 816-834.

- EATON, B. C.; EATON, D.F. (1988) *Microeconomics*. Ed. W. H. Freeman and Company. New York, .2 edition.
- ERLANDER, SVEN; JORNSTEN, K.; LUNDGREN, J. T. On the estimation of matrices in the case of missing and uncertain data. *Transportation Research B*, v.19, n.2, p. 123-141.
- EVANS, S. P. (1973) Some applications of optimization theory in transportation planning. *Transportation Research B*, v.11, p. 149-153.
- EVANS, S. P. (1976) Derivation and analysis of some models for combining trip distribution and assignment. *Transportation Research B*, v.10, p. 37-57.
- FERNÁNDEZ, L. J.; FRIESZ, T. (1983) Equilibrium predictions in transportation planning. *Transportation Research B*, v.17, n.2, p. 155-172.
- FISCHER, M.M. (1987) Travel-Demand Modelling: A State-of -art Review. In: *Transportation planning in a changing world*. Ed. Nijkamp, P. e Reichaman, S., Gower Publishing Company Limited, Cap. 12, p.171-188.
- FLEMMING, D. M. (1993) *Um método de alocação de contadores volumétricos de tráfego numa rede rodoviária para estimar matrizes origem-destino*. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FLORIAN, M. (1977) A traffic equilibrium model of travel by car and public transit modes. *Transportation Science*. v. 11, n.2, p. 166-179.
- FLORIAN, M.; NGUYEN, S. (1978) A combined trip distribution modal split and trip assignment model. *Transportation Research B*, v.12, n.1, p. 411-419.
- FLORIAN, M.; NGUYEN. S.; FERLAND, F. (1975) On the combined distribution assignment of traffic. *Transportation Science*. v. 9, n.1, p. 43-53.
- GHAREIB, A. H. (1996) Different travel patterns: Interzonal, intrazonal, and external trips. *Journal of Transportation Engineering*, v.122, n.1, p. 67-75.
- GONÇALVES, M. B. (1994) Desenvolvimento e teste de um modelo gravitacional extra-restrito para distribuição de viagens num área contendo um pólo atrator. In VIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE. Recife. *Anais* p.20-28.

- HENSHER, D.A. (1991) Efficient estimation of hierarchical logit model choice models. Proc. of JSCE (Infrastructure planning and management) No.425 v. IV-14, p.17-28.
- HOROWITZ, J. (1980a) The accuracy of the multinomial logit model as an approximation to the multimodal probit model travel demand. *Transportation Research B*, v.14, N.5, p. 331-341.
- HOROWITZ, J. (1980b) *Source of error and uncertainty in behavioral travel-demand models*. In. New horizons in behavioral travel research. D.C. Heath Company, Lexington. MA. p.543-558
- HOROWITZ, J. (1981) Identification and diagnosis of specification error in the multinomial logit model. *Transportation Research B*, v.15, N.5, p. 345-360.
- HOROWITZ, J. (1982) Specification test for probabilistic choice models. *Transportation Research A*, v.16, N.5, p. 345-360.
- IIDA, Y.; TAKAYAMA, J. (1987) Traffic demand estimation model for actual road network by observed link flows regarding generation trips only as unknowns. Subtheme Man and his transportation behaviour. Proceeding of JSCE, n.383/IV-7-83-91.
- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORTATION AND TRAFFIC THEORY. Ed. Elsevier Science Publishing Co., Inc. p. 459-481.
- JÖRNSTEN, K.; WALLACE, S. W. (1993) Overcoming the (apparent) problem of inconsistency in origin-destination matrix estimations. *Transportation Science*. v. 27, n.4, p 374-380.
- KANAFANI, A. (1983) *Transportation demand analysis*. McGraw-hill Company.
- KAWAMOTO, E. (1994) *Análise de sistemas de transporte*. Apostila. 043/94. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- KELLER, H.; PLOSS, G. (1987) *Real-time identification of O-D network flows from counts for urban traffic control*. In N. H. Gartner and N. H. M. Wilson, Ed., *Transportation and Traffic Theory*, p. 267-284.
- KOPPELMAN, F.; CHU, C. (1993) Effect of sample on disaggregate choice model estimation and prediction. *Transportation Research Record*, n. 944, p.60-69.

- KOPPELMAN, F. (1976a) Methodology for analyzing errors in prediction with disaggregate choice models. *Transportation Research Record* n. 592, p.17-23.
- KOPPELMAN, F. (1976b) Guidelines for aggregate travel prediction using disaggregate choice models. *Transportation Research Record* No. 610, p.19-24.
- LANGDON, M.G. (1984) Methods of determining choice probability in utility maximising multiple alternative models. *Transportation Research B*, v.18, No. 3, p. 209-234.
- LERMAN, R.; MANSKI, F. (1975) Alternative sampling procedures for calibrating disaggregate choice models. *Transportation Research Record* n. 592, p.24-28.
- LERMAN, R.; MANSKI, F. (1979) Sample design for discrete choice analysis of travel behavior: the state of the art. *Transportation Research A*, v.13, n.1, p. 29-44.
- LERMAN, R.; MANSKI, F. (1981) On the use of simulated frequencies to approximate choice Probabilities. In *Manski, C and Mcfadden, D. (eds), Structural analysis of discrete data with Econometric application*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- LERMAN, S.; BEN-AKIVA, M. (1976) Disaggregate behavioral model of automobile ownership. *Transportation Research Record* n. 569, p. 34-55.
- LIMDEP (1995) *Econometric software*, Inc., Bellport, New York.
- LIU S.; FRICER, J. D. (1996) Estimation of trip table and the θ parameter in a stochastic network. *Transportation Research A*, v.30, n.4, p. 287-305.
- LO, H. P.; ZHANG, N.; LAM, W.H.K. (1996) Estimation of an origin-destination matrix with random link choice proportions: A statistical approach. *Transportation Research B*, v.30, n.4, p. 309-324.
- MAHER, M. J. (1983) Inferences on trip matrices from observations on link volumes: A bayesian statistical approach. *Transportation Research B*, v.17, n.6, p. 435-447.
- McFADDEN, D. (1976) The theory and practice of disaggregate demand forecasting for various modes of urban transportation. Working paper n. 7623, Institute of Transportation Studies. University of California, Berkeley.

- McFADDEN, D; TYE, W; TRAIN, K. (1977) An application of diagnostic test for the indepenence from irrelevant alternatives property of multinomial logit model. Apresentado Transportation Research Board's Annual Meeting.
- MASSLER, J. V. (1998) *Estudo de transferibilidade do modelo logit multinomial entre diferentes conjuntos de escolha e o efeito da segmentação de demanda*. Dissertação (Mestrado) – USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. p.127.
- MENDELHALL, W.; SINCICH, T. (1989) Statistics for the engineering and computer sciences. Ed. Maxweel Macmillan International.
- NOVAES, G. A. (1982) Modelos em planejamento urbano, regional e de transporte. E. Edgard Blücher Ltda. SP.
- ORTUZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. (1994) Modelling transport. 2.edição. Wiley and Sons,Inc. New York, reimpressão.
- PINTO, A. B.; SILVA, D. M.; GORON, M. A. L.;MAGALHÃES, C. G.; CYBIS, H.B.B E LINDAU, L. A (1996) Matriz de deslocamento a partir da amostras de leituras de placas e contagem volumétricas em campo. In X CONGRESSO DE PESQUISAE ENSINO EM TRANSPORTE. Brasília. *Anais* p.179-198.
- POSTORIO, M.M. (1993) Modal choice models in an urban area. *European Journal of Operational Research*. n. 71., p. 288-302.
- RICHARSON, A. J.; AMPT, E. S; MEYBURG, A. H. *Survey methos for transport planing*. Eucalyptus Press, Melbourne (Australia), pp 459.
- ROBILLARD, P. (1975) Estimating an OD matrix from observaved link volumes. *Transportation Research B*, v.9, n.2/3, p. 123-128.
- RUITER, E.R. (1967) Improvements in understanding, calibrating and applying the opportunity model. *Highway Research Record* n.165, p. 1-21.
- SAFWAT, K. N. A.; MAGNANTI, T. L. (1988) A combined trip generation, trip distribution, modal split, and assignment model. *Transportation Science*. v.18, n1, p. 14-30.
- SAFWAT, K. N. A.; WALTON, M. C. (1988) Computational experience with an application of a simultaneous transportation equilibrium model to urban travel in Austin Texas. *Transportation Research B*, v.22, p. 457-467.

- SHEFFI, Y., DAGANZO, C. F. (1980) Computation of equilibrium over transportation networks: The case of disaggregate demand models. *Transportation Science*. v. 14, n.2, p. 155-173.
- SIEGEL, S. (1977) *Estatística não paramétrica*. Ed. Mcraw-Hill do Brasil. Ltda.
- SMITH, D. P.; HUTCHISON, B. G. (1981) Goodness of fit statistics for trip distribution models. *Transportation Research A*, v.15, p. 295-303.
- SOBEL, K. L. (1980). Travel demand forecasting by using the nested multinomial logit model. *Transportation Research Record* n.775, p.48-55.
- SOSSLAU, A. B.; HASSAM, A. B.; CARTER, M. M.; WICKTROM, G. V. (1978) *Quick response urban travel estimation techniques and transferable parameters: User's guide*. NCHRP Report 187, Transportation Research Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- SPIESS, H. (1987) A maximum likelihood model for estimating origin-destination matrices. *Transportation Research B*, v.21, n.5, p. 395-412.
- STOUFFER, S. (1960) Intervening opportunities and competing migrants. *Journal of Regional Science*, v.2, n.1, p. 1-20.
- SWAIT, J.; BEN-AKIVA, M. (1987) Empirical test of a constrained choice discrete model: mode choice in São Paulo, Brazil. *Transportation Research B*, v.21, n.2, p. 103-115.
- TAMIN, O. Z. (1995) *The estimation of public transport demand using TDMC model and passenger counts: A case study in Jakarta (Indonesia)*. In PROCEEDING FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT. Ed. Ray Wyatt and Hemayet Hassam. Jul p 163-174.
- TAMIN, O. Z; WILLUMSEN, L.G. (1989) Transport demand model: estimation from traffic counts. *Transportation*, n.16, p.3-26.
- TYE, W.B.; SHERMAN, L.; KINNUCAN, M.; NELSON, D.; TARDIFF, T. (1982) Application of disaggregate travel demand models. *NCHRP. No. 253. Transportation Research Board*, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- VAN ZUYLEN, H. J.; WILLUMSEN, L. G. (1980) The most likely trip matrix estimated from traffic counts. *Transportation Research B*, v.14, n.3, p. 281-293.

- WATLING, D. (1994) Maximum likelihood estimation of an origin-destination matrix from a partial registration plate survey. *Transportation Research B*, v.28, n.4, p. 289-314.
- WILDERMUTH, B. R; SMITH, W; DELANEY, D. J. E. THOMSON (1972) Effect of zone size on traffic assignment and trip distribution. *Highway Research Record*, n.392, p. 58-75.
- WILLIAMS, H. C. W. L.; SENIOR, M. L. (1977) Model based transport policy assessment: (2) Removing fundamental inconsistencies from the models. *Traffic Engineering and Control*. 18(10), p. 464-469.
- WILLIAMS, H. C. W. L.; LAM, H. K.; HUANG, H. J. (1992) A combined trip distribution and assignment model for multiple user classes. *Transportation Research B*, v.26, p. 275-287.
- WILLIAMS, H. C. W. L.; ORTÚZAR, J. D. (1982) Behavioural theories of dispersion and the mis-specification of travel demand models. *Transportation Research B*, v.16, n. 3, p. 167-219.
- WILSON, A. G. (1967) A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research B*, n.1, p. 253-269.
- YAMASHITA, Y. (1993) *Highway investment analysis with equilibrium model*. Dissertation (Ph. D).- University of Wales.
- YANG, H.; IIDA, Y.; SASAKI, T. (1991) An analysis of an origin-destination trip matrix estimated from traffic counts. *Transportation Research B*, v.25, n.5, p. 351-363.
- YANG, H.; SASAKI, T.; IIDA, Y.; ASAKURA, Y. (1992) Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks. *Transportation Research B*, v.26, n.6, p. 417-434.
- YANG, H.; SASAKI, T.; IIDA, Y.; ASAKURA, Y. (1994) The equilibrium-based origin-destination matrix estimation problem. *Transportation Research B*, v.28, n.1, p. 23-33.
- ZHANG H.P.L.; LAM, W.G.K. (1996) Estimation of origin-destination matrix with random link choice proportions: a statistical approach. *Transportation Research*, v.30, n.4(b), p. 309-324.