

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Fabiane da Cruz Moscarelli

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE DE DEMANDA PARA UM**  
**MODO COMBINADO DE TRANSPORTE ASSOCIADO A**  
**ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS**

Porto Alegre

2009

Fabiane da Cruz Moscarelli

Proposta de método para análise de demanda para um modo  
combinado de transporte associado a estacionamentos dissuasórios

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transporte.

Orientadora: Professora Helena B.B.Cybis, *Ph.D.*

Porto Alegre

2009

Fabiane da Cruz Moscarelli

## Proposta de método para análise de demanda para um modo combinado de transporte associado a estacionamentos dissuasórios

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof.<sup>a</sup> Helena Beatriz Betella Cybis, *Ph.D.***

Orientadora PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.***

Coordenador PPGEP/UFRGS

### **Banca Examinadora:**

Professora Lenise Grando Goldner, *Dr.<sup>a</sup>* (PPGEC/UFSC)

Professora Christine Tessele Nodari, *Dr.<sup>a</sup>* (PPGEP/UFRGS)

Professor Luiz Afonso dos Santos Senna, *Ph.D.* (PPGEP/UFRGS)

Professor Fernando Dutra Michel, *Msc.* (PPGEP/UFRGS)

## **AGRADECIMENTOS**

A minha orientadora Prof<sup>a</sup> Helena Beatriz Bettella Cybis pelo apoio e principalmente por ter acreditado na minha capacidade de concluir mais esta etapa da vida acadêmica.

A banca examinadora pelo tempo dedicado e pelas valiosas contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A meus pais que sempre me motivaram a seguir em frente e enfrentar os desafios e me deram o suporte necessário nos momentos difíceis.

Aos amigos que acreditaram e incentivaram e, em especial, a amiga Simone Becker Lopes que contribuiu e me motivou para a conclusão deste trabalho.

A todos os amigos e aos colegas da EPTC que de uma forma ou outra participaram dessa trajetória.

Muito obrigada.

## RESUMO

Estacionamentos dissuasórios são locais destinados a transferência de um modo de transporte de baixa capacidade, automóvel, para um modo de transporte de alta capacidade. A principal vantagem do uso do estacionamento dissuasório, em relação às demais medidas de gerenciamento de demanda, é a manutenção da flexibilidade, associada às viagens de automóvel, no trecho inicial da viagem. Este trabalho tem como objetivo avaliar a demanda para um modo combinado de transporte composto por automóvel, estacionamento dissuasório e transporte público, obtida pela atração de viagens atualmente realizadas em automóvel. É proposto um método de previsão de demanda baseado em quatro etapas dentre as quais estão a modelagem das viagens de automóvel, que fornecerá os dados necessários para as etapas posteriores, e a aplicação de um modelo Logit para previsão da divisão modal. O método foi aplicado a um estudo de caso que consiste na construção de três estacionamentos dissuasórios, ao longo do trajeto de uma linha de transporte público atendida por BRT (*Bus Rapid Transit*), na cidade de Porto Alegre. Os resultados permitiram avaliar a influência dos atributos, descritivos de cada modo de transporte, na escolha do modo de viagem pelo usuário e identificar o percentual de transferência de viagens para o modo combinado, em nível agregado, considerando o total de viagens, e em nível desagregado através da análise por zonas de origem e destino das viagens. O método foi considerado adequado e os resultados foram coerentes com a literatura.

**Palavras chaves:** Estacionamento dissuasório. Demanda. Modelagem. Preferência declarada

## ABSTRACT

Park and rides are places to transfer from one low capacity mode of transport, car for example, to a high capacity transportation mode. The main advantage of using park and rides, when comparing to other policies of demand management, is to maintain flexibility, related to traveling by car, in the first stage of the journey. This study aims to analyze the demand for a combined transport mode composed for car, park and ride and public transport, obtained by the attraction of trips currently made by car. In this work, a method based on four steps is proposed for demand analyze, and among them are the modeling of car trips, which will provide the necessary data for the subsequent stages, and the implementation of a Logit model for predicting the modal split. The method was applied to a case study, which consists in the construction of three park and rides along the route of a public transport line served by a BRT (Bus Rapid Transit), in Porto Alegre. The results allowed to evaluate the influence of the attributes that describe each mode of transport in the user's trips mode choices and to identify the percentage of transfer of trips to the combined mode, in an aggregated level, considering the total travel, and in a disaggregated level by analyzing the origins and destination zones. The method was considered appropriated and the results were similar to the literature.

**Key words:** Park and ride. Demand. Modelling. Stated preference.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de serviço de estacionamento dissuasório periférico .....	25
Figura 2 – Etapas do planejamento de transporte urbano.....	30
Figura 3 - Representação do mundo real.....	32
Figura 4 - Modelo quatro Etapas .....	35
Figura 5 - Modelagem no SATURN .....	37
Figura 6 – Método proposto para estimativa de viagens no modo combinado.....	51
Figura 7 – Processo de escolha do modo de transporte .....	52
Figura 8 –Geração da matriz de utilidade de viagens em automóvel .....	58
Figura 9 – Atributos do modo combinado .....	60
Figura 10 – Geração das matrizes de tempo de viagem do modo combinado para os diversos estacionamentos dissuasórios .....	62
Figura 11 – Geração da matriz de utilidade do modo combinado .....	63
Figura 12 - Construção da nova matriz completa de viagens em automóvel.....	64
Figura 13 - Construção da nova matriz de viagens de automóvel.....	65
Figura 14 - Rede de transporte público: portais, estações e rota do BRT .....	68
Figura 15 - Corte de um dos portais projetados para a linha do BRT .....	68
Figura 16 - Áreas de influência dos portais e estações do BRT.....	70
Figura 17 – Níveis de conforto do BRT para a pesquisa de preferência declarada.....	73
Figura 18 - Exemplo de cenário de escolha da pesquisa de preferência declarada .....	74
Figura 19 - Rede modelada de Porto Alegre .....	81
Figura 20 - Zonas de tráfego originais e adequadas para o estudo .....	82
Figura 21 – Equações de regressão do ajuste entre os fluxos modelados e os reais.....	82
Figura 22 - Fluxos alocados na rede modelada.....	83
Figura 23 – Planilhas de dados de entrada .....	84
Figura 24 – Matrizes de cálculo de custo e utilidade de viagens em automóvel .....	85
Figura 25 – Matrizes de tempo e distância de viajar no modo combinado utilizando o estacionamento dissuasório 1 .....	87
Figura 26 – Cálculo da utilidade de viajar no modo combinado usando o estacionamento dissuasório 1 .....	88
Figura 27 – Cálculo da utilidade de viajar no modo combinado .....	89
Figura 28 – Matrizes de probabilidade de viagens no automóvel e no modo combinado	90
Figura 29 – Matrizes de viagens transferidas para o modo combinado .....	91

<b>Figura 30 – zonas de maior atratividade de viagens para o modo combinado.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 31 – Principais origens das viagens no modo combinado .....</b>	<b>100</b>



## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – Viagens transferidas para o modo combinado no cenário 3 .....</b>	<b>93</b>
<b>Gráfico 2- Total de viagens transferidas para o modo combinado em cada cenário .....</b>	<b>94</b>
<b>Gráfico 3 - Distância total de viagem .....</b>	<b>95</b>
<b>Gráfico 4 - Tempo total de viagem .....</b>	<b>96</b>
<b>Gráfico 5 - Viagens em automóvel nas matrizes inicial e final por zona de destino .....</b>	<b>97</b>
<b>Gráfico 6 – Viagens no modo combinado por zona de tráfego de origem .....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Seleção de atributos para a função utilidade.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 2 - Estrutura da pesquisa de preferência declarada.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 3 - Amostra por categoria.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabela 4 – Resultado do teste Anova.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabela 5 - Análise dos parâmetros do modelo selecionado .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabela 6 – Viagens utilizando os estacionamentos dissuasórios.....</b>	<b>98</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ANP** – Agência Nacional de Petróleo

**ANTP** – Associação Nacional de Transporte Público

**AASHTO** – American Association of State Highway and Transportation Officials

**BRT** – Bus Rapid Transit

**CUTR** – Center for Urban Transportation Research

**CPRE** – Campaign to Protect Rural England

**ED** – Estacionamento Dissuasório

**EDOM** – Entrevista Domiciliar

**EPTC** – Empresa Pública de Transporte e Circulação

**PMPA** - Prefeitura Municipal de Porto Alegre

**UFRGS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**WSA** – Wilbur Smith Associates

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.3 MÉTODO .....	16
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS .....	18
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS.....	20
2.3 APLICAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE DEMANDA .....	22
2.4 MODELAGEM DE DEMANDA DE ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS.....	24
<b>2.4.1 Área de serviço .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2 Mercado primário .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.3 Métodos para estimativa da demanda de estacionamentos dissuasórios .....</b>	<b>26</b>
<b>3 ESTRUTURAS DE MODELAGEM UTILIZADAS NO ESTUDO .....</b>	<b>30</b>
3.1 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE .....	30
<b>3.1.1 Pré-análise .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.2 Modelagem e análise técnica .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3 Pós-análise .....</b>	<b>33</b>
3.2 MODELOS DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE.....	33
3.3 SATURN .....	36
3.4 MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA .....	38
3.5 OBTENÇÃO DE DADOS PARA MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA .....	40
3.6 ESTIMATIVA DE UM MODELO DE ESCOLHA DISCRETA.....	43
3.7 MODELO LOGIT.....	45
3.8 RESULTADO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE MODELOS LOGIT .....	46
<b>3.8.1 Parâmetros estimados .....</b>	<b>46</b>
<b>3.8.2 Medida de performance do modelo (estatística <math>\rho^2</math>).....</b>	<b>47</b>
<b>3.8.3 Elasticidade de escolha.....</b>	<b>48</b>
<b>3.8.4 Taxa marginal de substituição (MRS).....</b>	<b>49</b>
<b>4 MÉTODO DE TRABALHO.....</b>	<b>50</b>

4.1 MÉTODO PROPOSTO .....	50
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO .....	52
4.3 ESTIMATIVA DO MODELO DE DIVISÃO MODAL .....	54
4.4 MODELAGEM DAS VIAGENS EM AUTOMÓVEL .....	56
4.5 ESTIMATIVA DA DEMANDA DE VIAGENS PARA O MODO AUTOMÓVEL E PARA O MODO COMBINADO .....	57
<b>4.5.1 Cálculo da matriz de utilidade de viajar em automóvel .....</b>	<b>57</b>
<b>4.5.2 Cálculo da matriz de utilidade de viajar no modo combinado .....</b>	<b>59</b>
<b>4.5.3 Cálculo das matrizes de viagem em automóvel e no modo combinado .....</b>	<b>64</b>
<b>4.5.4 Critério de convergência .....</b>	<b>65</b>
<b>5 APLICAÇÃO DO MÉTODO E RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
5.1 ESTUDO DE CASO .....	67
5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO AO ESTUDO DE CASO .....	69
<b>5.2.1 Caracterização do estudo .....</b>	<b>69</b>
<b>5.2.2 Estimativa do modelo de divisão modal .....</b>	<b>71</b>
5.2.2.1 Pesquisa de preferência declarada .....	71
5.2.2.2 Análise .....	75
5.2.2.3 Estimativa do modelo .....	77
<b>5.2.3 Modelagem das viagens em automóvel .....</b>	<b>80</b>
<b>5.2.4 Estimativa das viagens para o modo automóvel e para o modo combinado .....</b>	<b>83</b>
5.2.4.1 Matriz de utilidade do automóvel .....	85
5.2.4.2 Matriz de Utilidade do modo combinado .....	86
5.2.4.3 Divisão modal das viagens de automóvel .....	90
5.3 RESULTADOS .....	92
<b>5.3.1 Parâmetros gerais de rede .....</b>	<b>92</b>
<b>5.3.2 Análise por zona de origem e destino das viagens transferidas para o modo combinado .....</b>	<b>96</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A – CAPA DA PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE B – CENÁRIOS DA PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA .....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE C – FORMULÁRIO DE RESPOSTAS DA PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA .....</b>	<b>120</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desejo de mobilidade é inerente ao ser humano. A habilidade de mover pessoas e mercadorias é essencial para a sobrevivência e a interação social (WBCSD, 2002 *apud* RIBEIRO et al., 2007). O automóvel, dentre os modos de transporte, é o que melhor atende as necessidades de mobilidade já que não tem limitações de rotas e horários para os deslocamentos, ao contrário dos principais meios de transporte público.

Estudos comprovam que o uso do automóvel é associado a uma série de benefícios como liberdade, independência, flexibilidade, conveniência, rapidez, conforto e segurança (BEIRÃO; CABRAL, 2007, MACKETT, 2003). Por outro lado, os custos do automóvel são, em geral, subestimados só sendo considerados os custos diretos como gasolina, manutenção do veículo, seguro, entre outros. Os custos indiretos, ou custos externos, incidem sobre a sociedade e incluem congestionamentos, emissões de poluentes, ruído e acidentes (MAIBACH et al., 2007).

Segundo relatório da Associação Nacional de Transporte Público (ANTP), o custo das externalidades do transporte individual, automóvel e moto, no ano de 2007 foi de 11,10 bilhões de reais. O mesmo custo, no mesmo período, para o transporte coletivo foi de 2,90 bilhões. As externalidades consideradas no cálculo foram poluição e acidentes (ANTP, 2008). O custo público do deslocamento em transporte individual, representado pelos recursos investidos pelo poder público na manutenção do sistema viário, foi de 9,5 bilhões de reais em 2007 (ANTP, 2008).

Para reduzir as externalidades do automóvel, diversas estratégias são utilizadas pelos administradores públicos. Como o congestionamento é o efeito mais aparente, o enfoque mais usual é investir na ampliação e construção de estrutura viária. No entanto, existe um limite para o qual o investimento em infraestrutura é viável. Salvo casos específicos de gargalos localizados, o aumento de capacidade, inicialmente obtido, é rapidamente absorvido pela demanda reprimida.

Um conjunto de medidas, voltadas à melhoria do desempenho do sistema de transporte sem adição de capacidade viária extra, através do estímulo à redução ou realocação modal das demandas de viagem, tem sido enfatizado nas últimas décadas. Estas medidas são englobadas sob a denominação de Gerenciamento de Demanda de Tráfego.

Os principais objetivos da aplicação de políticas de Gerenciamento de demanda são a redução de congestionamentos, de poluição e de consumo de energia, e o aumento de segurança dos transportes (SAKANO et al.,2001). Para a obtenção destes objetivos, as medidas de gerenciamento de demanda são focadas no incentivo à alteração dos padrões de viagem atuando em um ou mais dos seguintes itens:

- a) redução do uso do automóvel;
- b) aumento da ocupação média dos veículos;
- c) alteração do horário de viagem (viagens fora da hora pico);
- d) alteração de rotas ou destino das viagens;
- e) redução do número de viagens realizadas (não viagem);
- f) incentivo ao uso de modos de transporte público e não motorizados.

Em geral medidas de gerenciamento de demanda não são aplicadas isoladamente mas sob a forma de pacotes combinando medidas de incentivo a modos alternativos de transporte com medidas de restrição ao uso do automóvel (RIBEIRO et al., 2007).

## 1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA

Esta dissertação aborda o uso de estacionamentos dissuasórios para integrar viagens em automóvel e transporte coletivo. Estacionamentos dissuasórios são locais destinados a transferência de modos de transporte de baixa capacidade, geralmente o automóvel, para modos de maior capacidade.

O principal atrativo do uso de estacionamentos dissuasórios é a manutenção de parte da flexibilidade associada ao automóvel no trecho inicial da viagem. Como benefício para a sociedade, é esperada uma redução nas externalidades geradas pelo uso do automóvel devido à redução das distâncias percorridas com este modo de transporte.

O uso de estacionamentos dissuasórios como medida de gerenciamento de demanda, voltada à redução do uso do automóvel, costuma ser bem aceito pela população e pode servir como contraponto na implantação de medidas mais restritivas. De fato, a implantação de estacionamentos dissuasórios costuma ser associado a medidas mais restritivas, principalmente com relação a custo e oferta de estacionamentos, já que isoladamente seus efeitos costumam ser pouco relevantes.

O modo de transporte composto pelo uso do automóvel, no trecho inicial de viagem, realização de transferência nos estacionamentos dissuasórios, e uso de transporte público, no trecho final da viagem, será denominado de modo combinado. Os benefícios que podem ser alcançados com o uso de modos combinados dependem do potencial de atração de demanda do sistema em relação às viagens em automóvel. Este potencial de atração está vinculado tanto às características do sistema de transporte coletivo utilizado quanto dos estacionamentos dissuasórios.

Em países como Estados Unidos e Inglaterra, o uso de estacionamentos dissuasórios para propiciar a transferência entre automóvel e transporte coletivo é bastante difundido e métodos para previsão e análise de demanda estão em constante desenvolvimento. No Brasil, poucas experiências podem ser encontradas e os resultados, em geral, ficaram aquém do esperado.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de um método para avaliar a transferência de viagens realizadas em automóvel para um modo de transporte combinado, composto por automóvel e transporte público.

Os objetivos específicos são:

- a) caracterizar os estacionamentos dissuasórios, tema pouco discutido na literatura nacional;
- b) identificar as técnicas utilizadas para análise de demanda de modos combinados de transporte;
- c) pesquisar os atributos que influenciam a transferência de viagens em automóvel para o modo combinado em Porto Alegre;
- d) aplicar o método desenvolvido a um estudo de caso a fim de testar sua eficácia.



### 1.3 MÉTODO

O método de pesquisa utilizado no desenvolvimento deste trabalho pode ser classificado como aplicado, quanto à sua natureza, pois visa reduzir os níveis de congestionamento e efeitos adversos do tráfego através do uso de medidas que incentivem a maior utilização de transporte público. Quanto a abordagem, são usadas tanto técnicas qualitativas como quantitativas. O objetivo é exploratório descrevendo e situando o uso de estacionamentos dissuasório como medida para gerenciamento de tráfego e avaliando a sua aceitação na cidade de Porto Alegre. Os procedimentos adotados na sua execução foram pesquisa bibliográfica e levantamento de dados.

O método de trabalho utilizado é dividido em quatro etapas. A primeira etapa consiste em aprofundar o conhecimento dos temas envolvidos: estacionamentos dissuasórios e modelagem de demanda para modos combinados de transporte, através de revisão bibliográfica.

A segunda etapa é a proposição de um método para a análise de demanda para modos combinados. O modo combinado, considerado neste estudo, é composto de um trecho de viagem em automóvel e um trecho de viagem em transporte público. Para a transferência entre os modos é utilizado um estacionamento dissuasório.

A terceira etapa é a aplicação do método a um estudo de caso, para testar a sua adequação ao objetivo proposto. O estudo de caso escolhido é o projeto “Portais da Cidade”, desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) e pela Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC). Esse projeto prevê a implantação de um sistema de transporte público troncal do tipo *Bus Rapid Transit* (BRT) na região central e norte de Porto Alegre. No trajeto do BRT serão construídas três estações de transbordo e transferência, incluindo estacionamentos para automóveis.

A quarta etapa consiste na análise dos resultados e conclusões quanto à aplicabilidade do método e os efeitos da implantação de um modo combinado sobre a redução da demanda em automóvel atualmente existente em Porto Alegre e o conseqüente desempenho da rede viária.

#### 1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O estudo está focado na transferência do usuário de transporte privado, automóvel, para o modo combinado. Não foi considerada a possibilidade de transferência de usuários de outros modos de transporte ou a geração de novas viagens para o modo combinado.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. O capítulo 1 introduz o tema ressaltando a relevância de seu estudo, apresenta os objetivos, o método de trabalho proposto e a estruturação da pesquisa realizada.

Os capítulos 2 e 3 apresentam a revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento do trabalho. O capítulo 2 aborda os estacionamentos dissuasórios e o uso de modos de transporte combinado. É apresentado o conceito de estacionamentos dissuasórios, suas variantes, tipos e utilização no gerenciamento de demanda. São discutidas ainda as vantagens e desvantagens de utilizar modos de transporte combinados associados a estacionamentos dissuasórios. Por fim é apresentada uma compilação das principais técnicas utilizadas na avaliação de demanda para modos combinados.

O capítulo 3 revisa os principais conceitos de modelagem em planejamento de transporte. São abordados, em especial, o modelo quatro etapas e os modelos de escolha discreta. Dentre os modelos de escolha discreta, o modelo Logit é descrito com maior profundidade por ser o modelo utilizado no desenvolvimento do método proposto neste trabalho.

O capítulo 4 apresenta o método proposto para a análise de demanda do modo combinado de transporte. É apresentado o conceito teórico do modelo. São apresentadas e fundamentadas todas as etapas do método desenvolvido.

O capítulo 5 apresenta o estudo de caso, a aplicação do método ao estudo de caso e os resultados obtidos. O capítulo 6 apresenta as conclusões e as sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o conceito de estacionamento dissuasório (ED), descrevendo a sua utilização, as vantagens e possíveis desvantagens de sua implantação e as principais técnicas de modelagem utilizadas na previsão de demanda desses estacionamentos.

### 2.1 ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS

Estacionamentos dissuasórios são locais destinados à transferência entre modos de transporte de baixa capacidade, geralmente o automóvel, para modos de maior capacidade, como ônibus, trem ou metrô. Mais conhecidos pelo termo em inglês *park and ride*, recebem também as denominações de estacionamentos periféricos e estacionamentos remotos, apesar de estes termos estarem associados a tipos específicos de estacionamentos dissuasórios (KECK e LIOU, 1976; ZAKARIA et al., 1984).

Alguns estacionamentos têm vagas destinadas a desembarque, *kiss and ride*, quando o usuário do transporte público é o passageiro e não o condutor do veículo, e à formação de grupos para carona programada, *park and pool* (SPILLAR, 1997).

A principal vantagem do uso de estacionamentos dissuasórios é a manutenção de alguma flexibilidade para o usuário, no trecho em que a viagem é realizada no automóvel, associada aos benefícios para a comunidade, resultantes da redução do volume de veículos nas áreas congestionadas. Estacionamentos dissuasórios beneficiam o usuário, através de redução de seus custos de viagem, e as operadoras de transporte público, através do aumento e da concentração da demanda diminuindo custos de longas rotas de coleta e distribuição de passageiros (MATHER, 1983).

Estacionamentos dissuasórios são muito utilizados nos Estados Unidos em função das características de desenvolvimento urbano das cidades americanas: zonas residenciais, com baixas densidades populacionais e distantes da área urbana, e zonas de concentração de empregos e comércio localizadas na região central da cidade e com vias de acesso congestionadas.

O uso de estacionamentos dissuasórios nos Estados Unidos teve início informal, na década de 30, quando os motoristas estacionavam próximos a sistemas de transporte público para realizar uma transferência de modo de transporte (NOEL, 1988). Durante a crise energética dos anos 70, a construção de estacionamentos dissuasórios recebeu incentivo do governo norte americano através de leis federais como o *Federal Aid Highway Act* de 1968 e o subsequente *Federal Aid Highway Act* de 1970. Estas leis incluíam a destinação de fundos para a execução de projetos que envolviam estacionamentos dissuasórios, no intuito de promover um maior uso de transporte público de massa (NOEL, 1988).

Atualmente, os estacionamentos dissuasórios continuam uma ferramenta importante na política de transportes americana. São utilizados principalmente por trabalhadores em seu deslocamento diário entre a residência e o trabalho.

No Reino Unido, o uso de estacionamentos dissuasórios para acesso às zonas centrais, baseado em transferência para modos de transporte sobre trilho, é igualmente bem estabelecido. Estacionamentos dissuasórios associados ao transporte por ônibus começaram a ser implantados nos anos 60, em cidades de pequeno porte, com o propósito de prover capacidade adicional às zonas comerciais durante a época do Natal (BIXBY, 1988).

Aos poucos estes estacionamentos foram sendo transformados em estruturas permanentes, inicialmente destinados a viagens de curta duração com o propósito de compras. Somente a partir do começo dos anos 70, passaram a ser destinados a viagens a trabalho com a implantação dos estacionamentos de Leicester, Oxford e Leeds (BIXBY, 1988).

Os estacionamentos de Oxford são os únicos que permanecem abertos desde sua implantação em 1973. A grande maioria dos estacionamentos dissuasórios no Reino Unido foi fechada ao final da década de 70. A falta de conhecimento das necessidades do usuário e o descuido com o planejamento e a operação dos serviços foram as prováveis causas do fracasso destes esquemas (ENGLISH HISTORIC TOWNS FÓRUM *apud* CAIRNS, 1997).

Entre o final da década de 80 e início de 90, diversas cidades no Reino Unido implantaram ou retomaram o uso de estacionamentos dissuasórios. Segundo Pakhurst (2000), estes estacionamentos eram localizados, geralmente, na periferia da área urbana, entre dois e seis quilômetros do centro da cidade, e seu uso não estava mais restrito apenas a cidades de pequeno a médio porte e com centros históricos, perfil predominante no início de sua implantação.

Na Escócia, os primeiros estacionamentos dissuasórios surgiram nos anos 70 e possuíam caráter sazonal. Em Kirkcaldy, foram usados no início dos anos 80 para acesso a zona central da cidade, cujas ruas eram fechadas ao tráfego de veículos particulares na época do Natal. Em Oban, já na década de 90, o estacionamento dissuasório era utilizado durante o verão para visitação dos pontos turísticos da cidade. O primeiro serviço regular de estacionamentos dissuasórios na Escócia foi implantado em 1994 na cidade de Paisley (CAIRNS, 1997).

Em Singapura o uso de estacionamentos dissuasórios iniciou em 1975, como complemento a medidas de restrição do uso de automóveis, e foi sendo aperfeiçoado ao longo dos anos. Apesar do aumento de popularidade conseguido durante este período o estacionamento dissuasório em Singapura tem um papel pequeno no gerenciamento de demanda atingindo, em 1996, uma taxa de utilização média em torno de 20% das vagas existentes (SEIK, 1997).

Em Porto Alegre foi implantado um estacionamento dissuasório na periferia do centro da cidade para integração entre ônibus e automóvel. A experiência não foi bem sucedida e estacionamento foi desativado.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS

Os estacionamentos dissuasórios podem ser classificados de acordo com sua função e a distância que se encontram do local de destino das viagens. Em muitos casos estas duas classificações se confundem uma vez que a função do estacionamento está diretamente ligada a sua localização. A AASHTO (2003) classifica os estacionamentos em 6 tipos, conforme a sua função, e em 4 tipos, de acordo com a distância em que estão localizados.

De acordo com a função o estacionamento dissuasório pode ser:

- a) informal: não teve investimento governamental. Consiste em um local, próximo a rotas de transporte público, onde os motoristas estacionam seus veículos para embarcar no transporte coletivo;

- b) de uso conjugado: divide o local com outra atividade, com horários de uso inverso ao do estacionamento, como teatro, shopping center ou igreja. É uma alternativa barata para testar a atratividade do estacionamento dissuasório sem a necessidade de investir em infraestrutura. O estacionamento pode ser a atividade principal ou secundária. Este tipo de lote é geralmente pequeno;
- c) *park and pool*: direcionado à prática de carona programada (*carpool* ou *vanpool*) provendo um local seguro para os usuários deixarem seus automóveis. Ao contrário dos demais, não necessita de provisão de serviço de transporte público;
- d) suburbano: localizado fora da área urbana. Concentra a demanda tornando o transporte público viável. É o tipo mais próximo da concepção do estacionamento dissuasório como forma de gerenciamento de demanda. O automóvel serve como coletor da demanda e o transporte público atua como distribuidor;
- e) terminal intermodal: é um terminal com conexão entre transporte privado-público e público-público;
- f) satélite: provê estacionamento adicional para grandes centros de atividade ou regiões com acesso restrito de automóveis. Caracteriza-se por estar localizado a pequena distância do local ao qual serve.

Com relação a distância do estacionamento dissuasório ao destino, a seguinte nomenclatura é utilizada:

- a) remoto: se localiza fora da área urbana. Atende a demanda de zonas rurais ou de viagens entre cidades com forte relação de dependência econômica. Distâncias médias ao destino são muito variáveis e dependem da conformação da região onde estão inseridos. O Departamento de Transporte da Flórida (CUTR, 2001) define as distâncias mínima e máxima como aproximadamente 32 e 97 km, respectivamente, a AASHTO (2003) sugere distâncias entre 65 a 130 km do centro atrator;
- b) suburbano: está localizado entre 6 e 50 km do destino (AASHTO,2003);
- c) urbano: se localiza entre 2 e 7 km do destino. Em geral são lotes menores do tipo informal ou de uso conjugado;
- d) periférico: localizado na periferia do centro atrator. Ao contrário dos demais estacionamentos dissuasórios se caracteriza por estar, em geral, mais próximo do destino do que da região de origem da viagem. Lotes satélites são um exemplo de estacionamento do tipo periférico.

### 2.3 APLICAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE DEMANDA

Estacionamentos dissuasórios costumam ser empregados dentro de pacotes mais amplos de gerenciamento de tráfego. Isoladamente seus efeitos são modestos. Os principais benefícios associados à utilização de estacionamentos dissuasórios são:

- a) fornece capacidade adicional de tráfego sem necessidade de ampliação de infraestrutura viária. Esta característica torna o estacionamento dissuasório muito popular em cidades com centros históricos antigos onde há uma grande concentração de demanda e pouca possibilidade de ampliação viária. Em regiões já muito congestionadas pode acomodar um aumento de demanda sem comprometer ainda mais as condições de trafegabilidade;
- b) quando acompanhado por políticas de restrição de estacionamento, mantém a capacidade de acesso ao mesmo tempo que libera a utilização de espaços, antes ocupado pelos veículos, para outros usos;
- c) reduz congestionamento e, conseqüentemente, níveis de poluição atmosférica, no trecho entre o estacionamento e o centro atrator, devido à redução no número de veículos gerada pela transferência de parte das viagens por automóvel para o transporte público;
- d) por ser uma medida que não tem caráter impositivo, é vista com simpatia pelos motoristas e pode funcionar como uma forma de iniciação deste tipo de usuário no modo de transporte público. Serve, ainda, para contrabalançar políticas de transporte mais restritivas como implantação de áreas restritas ao tráfego, cobrança de pedágio urbano, entre outras.

Autores como Parkhurst (1995, 2000a, 2000b 2001) e Sherwin (1998) alertam, no entanto, para a possibilidade de estacionamentos dissuasórios não alcançarem totalmente os benefícios esperados ou mesmo acabarem gerando efeitos indesejáveis e prejudiciais.

Uma das questões abordadas diz respeito a capacidade do estacionamento dissuasório reduzir congestionamento. Pesquisas realizadas em Oxford e York (PARKHURST; STOKES, 1994) e estudos realizados por em Maidstone, Norwich, Nottingham e Shrewsbury (Sherwin, 1998) não apresentaram dados que permitissem comprovar esta redução. Os próprios autores salientam, contudo, que é difícil obter uma avaliação conclusiva com respeito à eficiência do estacionamento dissuasório na redução de viagens, e seus efeitos adversos, devido a existência de demanda reprimida em regiões congestionadas.

Outro fator a ser considerado é que a comodidade do uso de estacionamentos dissuasórios pode levar a geração de viagens que não ocorreriam ou seriam realizadas por outro modo de transporte caso o serviço não estivesse disponível. Parkhurst e Stokes (1994) relatam que, em pesquisa realizada em Oxford e York, cerca de 7 e 10% dos usuários, respectivamente, não realizariam a viagem caso tivessem que usar outro modo de transporte, dado referente a um dia de semana em que aproximadamente 50% das viagens foi identificada como para trabalho ou estudo. Considerando usuários de fim de semana, em que um maior número de viagens tem como objetivo compras ou lazer, este percentual cresce para 21 e 15%.

Grande parte dos estacionamentos dissuasórios servidos atendidos por ônibus são atendidos por linhas especiais, destinadas exclusivamente para este serviço. Estas linhas, por visarem a atração de um público mais exigente e não dependente do transporte público, tem uma qualidade, em geral, superior às demais linhas de ônibus mantidas na cidade. Dessa forma, usuários do transporte público que possuem automóvel podem ser incentivados a utilizar o estacionamento dissuasório gerando viagens extras de automóvel e aumentando a quilometragem total do sistema.

A atração de viagens originalmente realizadas em transporte público, particularmente ônibus, é tida como 35% para Oxford e 23% para York (PARKHURST; STOKES, 1994) e maior de 15% em seis de oito cidades pesquisadas pelo WSA (PARKHURST, 2000a). Atração também pode ser exercida sobre usuários do estacionamento que anteriormente se deslocavam de bicicleta ou a pé contribuindo para aumento na quilometragem total percorrida dentro do sistema.

Intrusão visual e ocupação de áreas verdes com grandes estacionamentos também são questões que devem ser consideradas ao planejar a implantação de um estacionamento dissuasório. A prática no Reino Unido é a locação dos estacionamentos na periferia da cidade geralmente em “cinturões verdes”. Além do impacto ambiental, a implantação do estacionamento, e conseqüente geração de demanda, podem acabar atraindo outros investimentos e especulação imobiliária para o local, transformando regiões antes consideradas rurais em zonas urbanas (PARKHURST, 2000b).



## 2.4 MODELAGEM DE DEMANDA DE ESTACIONAMENTOS DISSUASÓRIOS

Antes de abordar as técnicas de previsão de demanda para o estacionamento dissuasório, é necessário definir alguns conceitos básicos frequentemente utilizados na modelagem: a área de serviço e o mercado primário de um estacionamento dissuasório.

### 2.4.1 Área de serviço

Área de serviço ou área de captação do estacionamento é a região onde se origina a maior parte das viagens que utilizam o estacionamento dissuasório. Diversos métodos são utilizados para a delimitação da área de serviço dentre eles, estão o uso de formas geométricas, baseadas na análise da distribuição geográfica dos usuários de estacionamentos existentes e a comparação entre custos de viagens com e sem o estacionamento dissuasório (FARHAN; MURRAY, 2003).

A delimitação através de formas geométricas é citada por autores como Bolger et al. (1992), Dickins (1991), Spillar (1997) e Zakaria et al. (1984). São utilizadas, geralmente, as formas de parábola, elipse e círculo.

Estudos realizados em Seattle e no Texas, com estacionamentos dissuasórios do tipo suburbano, concluíram que em torno de 75% a 95% dos usuários reside no interior de uma área parabólica, cujo foco coincide com o estacionamento. Áreas circulares ao redor dos estacionamentos dissuasórios abrangem em torno de 50% da demanda. As dimensões dos eixos da parábola e do raio do círculo variam conforme o local onde foi realizado o estudo.

Diversos fatores influenciam na definição da forma e do tamanho da área de serviço. Um destes fatores é o tipo de estacionamento. Zakaria et al. (1984) diferencia áreas de serviço de estacionamentos localizados em terminais e de estacionamentos situados ao longo da linha de transporte público. Para os primeiros é adotada a área de serviço parabólica enquanto que para os segundos, a área é circular.

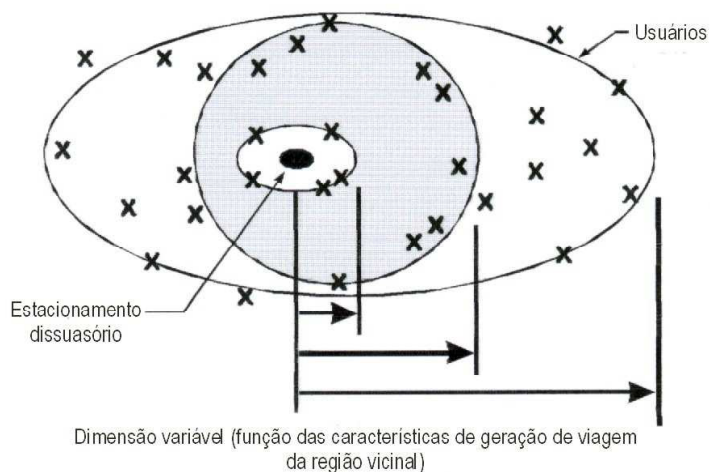
Keck e Liou (1976) adotam a forma cônica para a área de serviço de estacionamentos periféricos enquanto Spillar (1997) define essa área como uma elipse. A figura 1 apresenta a área de serviço em forma de elipse para estacionamentos periféricos.

Duas críticas são endereçadas ao uso de áreas de serviço geométricas:

- a) como a forma e as dimensões da área de serviço são afetadas por características como o tamanho da cidade, as características do sistema de transporte público, a configuração viária, as políticas de estacionamento e o tipo do estacionamento dissuasório (SPILLAR, 1997), as áreas de serviço são específicas para o local em que foram delineadas e sua utilização na previsão de demanda de outros estacionamentos deve ser adotada com cautela;
- b) por ter forma geométrica regular, a área de serviço não considera diferenças de acessibilidade dos diversos usuários dos estacionamentos (FARHAN; MURRAY, 2003).

Uma outra abordagem para o traçado de áreas de serviço é a construção de áreas irregulares delimitadas em função da diferença de custo entre a viagem realizada somente com o automóvel e a viagem utilizando o estacionamento dissuasório. A premissa para esse método de traçado da área de serviço é que os motoristas só irão utilizar o estacionamento dissuasório se o custo for inferior a alternativa de dirigir todo o trajeto (SARGIOUS; JANARTHANAN *apud* FARHAN; MURRAY, 2003).

Apesar de superior à forma geométrica, por considerar as diferenças de acessibilidade, a área de serviço delimitada por custo não considera explicitamente a direção da viagem. Farhan e Murray (2003) sugerem a introdução de ambos os elementos, acessibilidade e direção, para a delimitação de áreas de serviço. São efetuados dois testes para determinar se a viagem está dentro da área de serviço: se o estacionamento está na direção do destino da viagem e se o tempo de viagem está dentro dos limites estabelecidos.



**Figura 1 – Área de serviço de estacionamento dissuasório periférico**

Fonte: adaptada de Spillar (1997)

### **2.4.2 Mercado primário**

Dentro da área de serviço, alguns residentes têm maior probabilidade de utilizar o estacionamento dissuasório do que outros. Essa população, considerada como o público alvo para determinação da demanda, é denominada mercado primário do estacionamento dissuasório.

Alguns atributos freqüentemente associados à definição do mercado primário são a densidade populacional, o padrão e o destino das viagens geradas, a taxa de motorização e a renda familiar.

A taxa de motorização é uma característica importante já que o uso de estacionamento dissuasório pressupõe parte da viagem realizada por automóvel. A taxa de motorização está, em geral, vinculada a renda familiar. Zonas com baixa renda têm, por consequência, uma baixa taxa de motorização. Pesquisas demonstram que 83% dos usuários de estacionamentos dissuasórios nos Estados Unidos pertencem à classe média com renda anual entre 20.000 e 50.000 dólares, aproximadamente 1.420 a 3.570 dólares mensais (SAKANO et al, 2001).

Na previsão da demanda para estacionamentos dissuasórios em Calgary, Canadá, o mercado primário foi definido como número de pessoas, residentes na área de serviço do estacionamento, e que trabalhavam no centro da cidade, destino final das viagens que utilizavam o estacionamento (BOLGER et al., 1992).

### **2.4.3 Métodos para estimativa da demanda de estacionamentos dissuasórios**

Existe uma grande variedade de métodos utilizados para estimar a demanda de um estacionamento dissuasório. A escolha do método adequado é função dos recursos disponíveis, do tipo de lote a ser implantado e do grau de acurácia necessário para a estimativa.

As técnicas freqüentemente empregadas na estimativa de demanda variam desde técnicas simplificadas de planejamento, passando por técnicas baseadas em características específicas do estacionamento até a aplicação de modelos de transporte (AASHTO, 2003).

Métodos simplificados de modelagem podem ser úteis para estudos preliminares, provendo uma estimativa superficial da demanda. Estes modelos requerem uma menor quantidade de dados e permitem uma resposta mais rápida do que os modelos tradicionais. Dentre os métodos simplificados podem ser citados os modelos informais de planejamento e os modelos incrementais de demanda (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Modelos informais de planejamento, *sketch planning models*, são geralmente baseados na transferência e adaptação de modelos desenvolvidos para estudos em outras regiões (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001). Estes modelos devem ser aplicados apenas como uma estimativa inicial de demanda para definição de grandes áreas de interesse para a construção de estacionamentos dissuasórios.

São enquadrados nesta categoria a observação em campo e a análise da população residente na área de serviço do estacionamento. A previsão através da observação em campo é uma das técnicas mais simples e pode ser usada para uma previsão inicial de demanda ou em conjunto com outras técnicas (AASHTO, 2003). É mais apropriada em áreas onde não há expectativa de grande crescimento no número de viagens à zona de destino (CUTR, 2001).

Na observação em campo, diversas fontes de informação são utilizadas para prever a demanda do estacionamento dissuasório. As informações podem ser provenientes de levantamento de campo, contagens, mapas, pesquisas, entre outros (AASHTO, 2003).

A análise da população residente na área de serviço é utilizada em regiões onde já existem outros estacionamentos dissuasórios implantados. Consiste na análise da distribuição modal de viagens nas áreas de serviço de estacionamentos dissuasórios existentes. O percentual de viagens utilizando o estacionamento dissuasório observado nestes estacionamentos é, então, aplicado às viagens geradas dentro da área de serviço do novo estacionamento.

Bolger et al. (1992) descreve a aplicação desta técnica na previsão de demanda para estacionamentos dissuasórios em Calgary, Canadá. Neste exemplo, a demanda para o estacionamento é calculada como entre 15 e 20% do mercado primário, ou seja, das viagens com base na residência e motivo trabalho, originadas na área de serviço, que utilizam o automóvel como modo de transporte.

Os modelos incrementais de demanda são utilizados para a previsão de alterações de demanda devido a pequenas alterações de valor nos atributos de um determinado modo de transporte (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Outro tipo de modelo para estimativa de demanda é o baseado em características específicas do estacionamento. Este modelo estima a demanda para o estacionamento dissuasório com base em atributos do local do estacionamento, da população residente na área de serviço e do sistema viário e de transporte existentes na região do estudo. O modelo é geralmente obtido através da aplicação de técnicas de regressão linear (SPILLAR, 1997).

Atributos geralmente associados a atração de demanda são a relação entre o tempo de viagem até o estacionamento e o tempo de viagem no transporte público, a localização do estacionamento em relação a corredores de transporte público e ao sistema viário principal (rodovias, vias arteriais e coletoras) e a frequência do serviço de transporte público que atende o estacionamento.

Bolger et al. (1992) afirma que o tempo de viagem no transporte público deve corresponder a no mínimo 50% do tempo total da viagem. Zakaria et al (1984) sugere que para que o uso do estacionamento dissuasório seja atraente, a velocidade atingida pelo transporte público deve gerar uma redução no tempo total de viagem que compense o desconforto e atraso sofrido na transferência.

Estacionamentos dissuasórios localizados próximos às principais vias de tráfego oferecem vantagem em termos de facilidade de acesso, visibilidade e demanda potencial. Como a maior utilização desses estacionamentos é em viagens para a região central das cidades, vias com orientação radial costumam atrair mais demanda do que vias transversais (SPILLAR, 1997). Outra vantagem é a redução de viagens em vias locais. Desvios para acesso ao estacionamento não devem ser maiores do que 800 a 1200 metros (CUTR, 2001).

Com relação à distância das linhas de transporte público, experiência em estacionamentos dissuasórios junto a linhas de trem nos Estados Unidos indicam que a distância máxima entre o estacionamento e o ponto de embarque do transporte coletivo é de aproximadamente 450 metros. Distâncias aceitáveis estariam em torno de 122 metros (MATHER, 1983). A frequência mínima do transporte público deve ser de 15 minutos (AASHTO, 2003; MAG, 2001).

Apesar de servirem de orientação, estes parâmetros para os atributos relacionados ao estacionamento dissuasório estão muito vinculados a experiência americana cujo sistema de transporte e padrões de ocupação do solo são muito diferentes da maioria das cidades brasileiras.

Técnicas mais acuradas de previsão de demanda geralmente envolvem a aplicação de um modelo de planejamento de transporte. Existem dois métodos de previsão de demanda com o uso de modelos de transporte: pós-modelagem e modelagem tradicional.

A diferença entre as duas técnicas é a existência ou não do modo estacionamento dissuasório como uma opção dentro do modelo de divisão modal. Na pós-modelagem, a aplicação do modelo de transporte resulta em uma estimativa do volume de viagens por automóvel, entre as zonas de origem e destino com potencial utilização de estacionamentos dissuasório. Estes volumes servem de dado de entrada para a etapa de divisão modal que é realizada externamente ao modelo. Pós-modelagem foi utilizada no estudo multi-modal para o corredor entre Cambridge e Huntingdon, CHUMMS model, (ZHOU; FABER, 2001).

Na modelagem tradicional todo o processo é realizado interno ao modelo através da aplicação sucessiva de modelos de geração, distribuição, divisão modal e alocação. Esta técnica tem a vantagem de permitir uma maior padronização das estimativas. Estudos para a determinação de demanda, utilizando a modelagem tradicional, são relatados por Jason e Faber (2001) e Hull (1998). O modelo de divisão modal é, em geral, baseado nas funções utilidade dos modos envolvidos. Exemplos deste tipo de modelo de divisão modal podem ser encontrados em Guan et al. (2006), Hole (2004), Bos e Molin (2006), Hendricks e Outwater (1998).

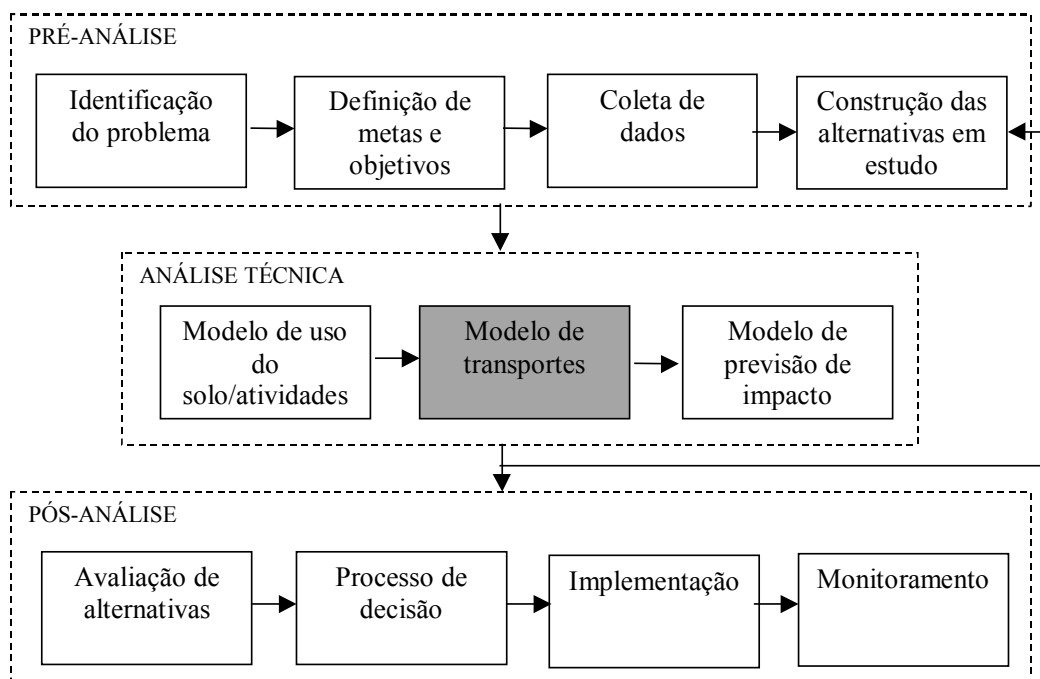
### 3 ESTRUTURAS DE MODELAGEM UTILIZADAS NO ESTUDO

Este capítulo aborda o processo de planejamento de transporte com ênfase na modelagem de transporte. Dentre os modelos de transporte são destacados o modelo seqüencial, também denominado modelo quatro etapas, e os modelos de escolha discreta, em especial o modelo Logit.

#### 3.1 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE

O planejamento de transporte urbano segue, em geral, três fases distintas (PAS *in* HANSON, 1986), ilustradas na figura 3:

- a) pré-análise;
- b) modelagem e análise técnica;
- c) pós-análise.



**Figura 2 – Etapas do planejamento de transporte urbano**

Fonte: adaptada de Pas *in* Hanson (1986)

A seguir é abordada cada uma das fases do planejamento. A etapa de modelagem de transporte, contida na fase de análise técnica, é abordada em maior detalhe devido a sua relevância para o estudo realizado.

### **3.1.1 Pré-análise**

O processo inicia com a identificação do problema a ser solucionado. O problema é desmembrado em metas e objetivos. As metas são as condições ideais a serem perseguidas na solução do problema. Os objetivos são os procedimentos ou ações necessários para atingir as metas.

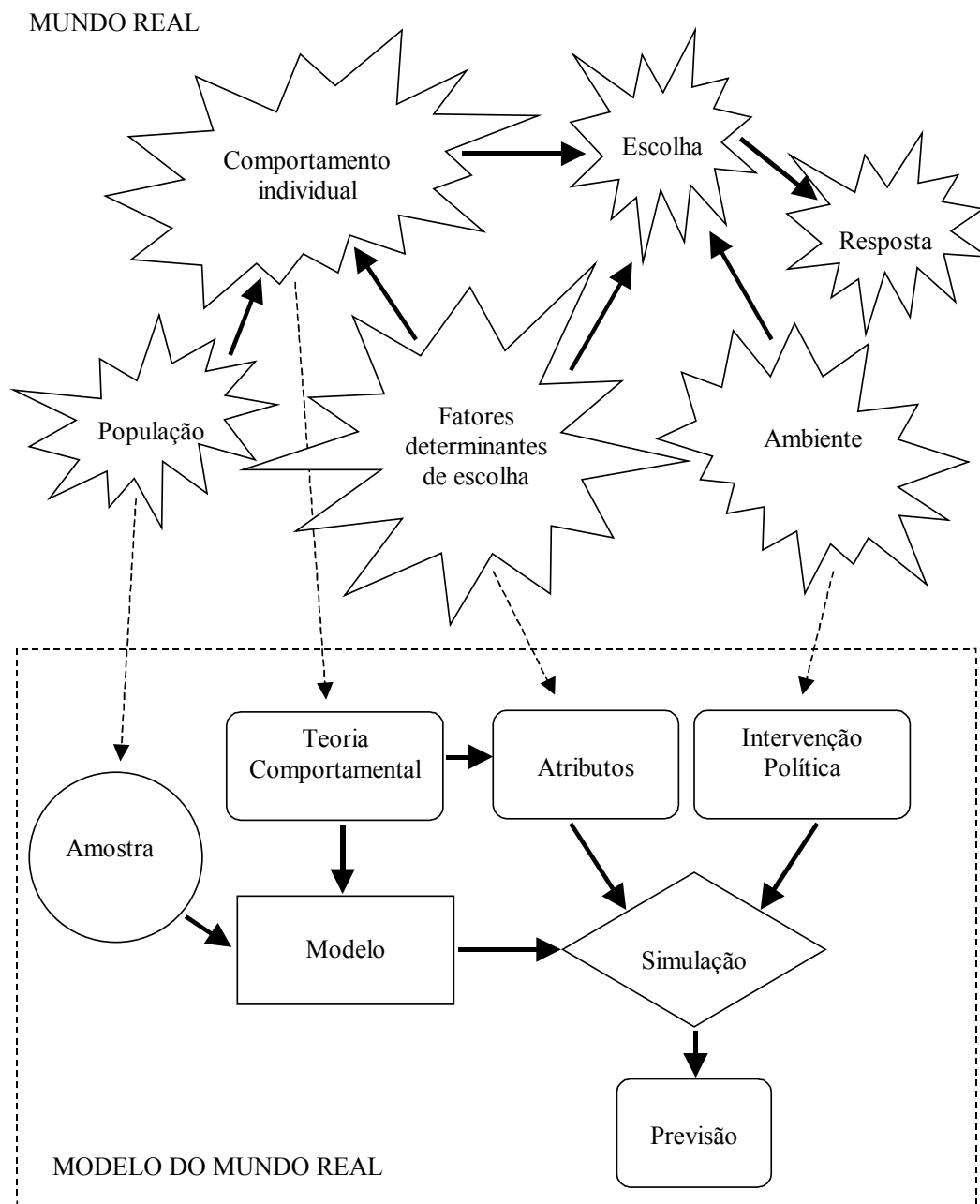
A seguir é realizada a coleta de dados. Os dados necessários para o planejamento de transporte englobam, em geral, dados do sistema viário, dados dos sistemas de transporte público e dados de demanda de viagens. A qualidade dos dados coletados é essencial para a confiabilidade dos resultados.

Por fim, são definidas as alternativas a serem estudadas. O conjunto de alternativas incluídas deve ser o mais amplo possível, restrito pelo tempo e custo alocados ao estudo, e deve permitir a identificação dos *trade-offs* necessários para a tomada de decisão (PAS *in* HANSON, 1986).

### **3.1.2 Modelagem e análise técnica**

Um modelo é uma representação simplificada da realidade vista a partir de um determinado ponto de vista e focada no problema de interesse do modelador (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001). A figura 3 ilustra o processo de representação do mundo real em um modelo.





**Figura 3 - Representação do mundo real**

Fonte: adaptada de Ortuzar e Willumsen (2001)

Os modelos podem ser físicos, como projetos de estruturas para a área de mecânica ou construção civil, ou abstratos, onde se enquadram os modelos utilizados no planejamento de transporte. Os modelos abstratos podem ser subdivididos em mentais ou formais. Os modelos mentais são aqueles utilizados no dia a dia, nas interações do indivíduo com o mundo que o cerca. Seu entendimento é importante para a compreensão da forma como as decisões são tomadas. Os modelos formais são geralmente modelos analíticos para representação de teorias sobre o sistema em estudo e a forma como este funciona (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Três tipos de modelos são comumente utilizados no planejamento de transporte: modelos de uso do solo/atividades, modelos de transporte e modelos de previsão de impacto. Modelos de transporte são utilizados para prever os padrões de viagem em uma rede de transporte. Os modelos de previsão de impacto representam as conseqüências da implantação de uma determinada alternativa de transporte em termos de custo, consumo de energia, efeitos adversos sobre o meio ambiente, entre outros (PAS *in* HANSON, 1986). Neste trabalho serão abordados apenas os modelos de transporte.

### **3.1.3 Pós-análise**

Esta etapa envolve a análise dos impactos de implantação das alternativas, seleção da alternativa a ser implantada (processo de decisão), implantação e, monitoramento da performance do sistema após a implantação. Os impactos da implantação são previstos pelo modelo de previsão de impacto (PAS *in* HANSON, 1986).

## **3.2 MODELOS DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE**

Os modelos de planejamento de transporte são formados, em geral, por três entidades básicas: zonas de tráfego (ZTs), rede de transporte e matriz de viagens. As zonas de tráfego dividem a área de estudo em sub-áreas com características semelhantes, geralmente com relação ao tipo de atividade existente ou a situação sócio-econômica dos residentes. A rede de transporte representa a rede viária e as redes de transporte público existentes, e a matriz de viagens representa a demanda para cada uma dos modos de transporte considerados.

As zonas de tráfego são os locais onde a viagem tem início (origem) ou fim (destino). A definição do número e tamanho das zonas está vinculada ao grau de detalhamento da modelagem. Conforme o grau de detalhamento do modelo aumenta, as zonas de tráfego tornam-se menores e a área de estudo passa a ser dividida por um maior número de zonas. No limite, a zona pode representar um único indivíduo ou residência, caso em que o modelo é denominado desagregado.

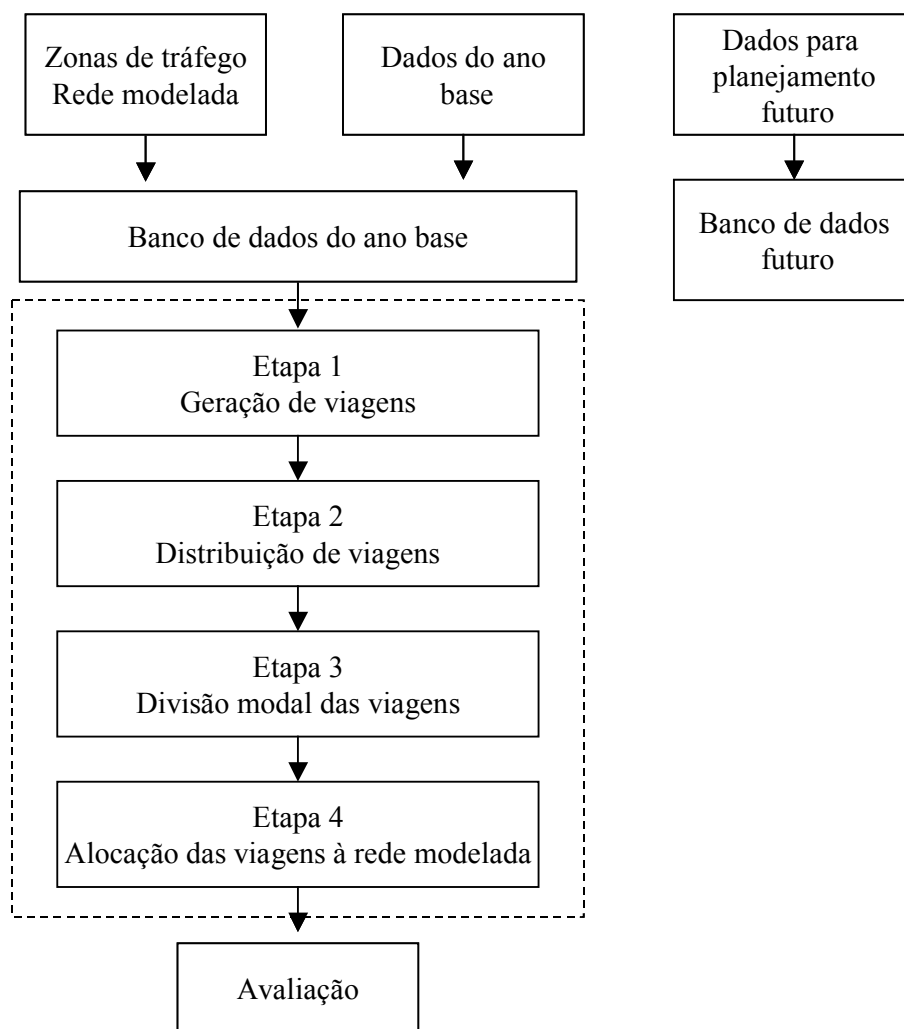
A rede modelada é constituída de arcos, que representam as vias, e nós, que representam cruzamentos. Tanto os arcos quanto os nós são descritos por uma série de características como comprimento, velocidade, entre outros, que irão compor o custo de viajar naquele trecho da rede.

A matriz de viagens informa o número de viagens para cada par Origem/Destino com origem em uma zona “i” e destino em uma zona “j”, para um determinado modo de transporte. As viagens da matriz são distribuídas na rede modelada de forma que o custo de ir de “i” até “j” seja o menor possível, ou seja, o custo seja mínimo.

O método clássico para modelagem de tráfego, utilizado na maioria dos softwares existentes no mercado, é o modelo seqüencial, geralmente denominado de modelo quatro etapas, apresentado na figura 4. Esse modelo é composto pela aplicação sucessiva de quatro modelos (etapas) destinados a:

- a) gerar viagens nas zonas de tráfego – etapa de geração;
- b) distribuir as viagens entre as zonas de tráfego – etapa de distribuição;
- c) dividir as viagens de cada zona entre os modos de transporte disponíveis – etapa de divisão modal e;
- d) distribuir as viagens de cada modo de transporte na infra-estrutura correspondente – etapa de alocação.

Na etapa de geração de viagens, as viagens originadas (produzidas) ou destinadas (atraídas) a uma determinada zona de tráfego são estimadas. Os modelos de produção de viagens são baseados em características do uso do solo e fatores sócio-econômicos da zona enquanto que os modelos de atração são baseados em variáveis explanatórias do tipo e intensidade das atividades não residenciais da zona (PAPACOSTAS; PREVEDOUROS, 2001). Modelos de geração geralmente utilizam regressão linear.



**Figura 4 - Modelo quatro Etapas**

Fonte: adaptada de Órtuzar e Willumsen (2001)

Na etapa de distribuição, as viagens geradas são distribuídas, a partir de suas zonas de origem, às zonas de destino. Os modelos mais utilizados na distribuição modal são os sintéticos, isto é, modelos baseados em analogia com outras áreas da ciência como o modelo gravitacional, baseado na lei gravitacional de Newton. Nesta etapa são construídas as matrizes de origem/destino.

A divisão modal distribui as viagens de cada par origem/destino entre os modos de transporte disponíveis. A escolha do modo de viagem é influenciada por três tipos de fatores: características dos modos de viagem disponíveis, características da viagem a ser realizada e situação sócio-econômica da pessoa que pretende fazer a viagem (PAPACOSTAS; PREVEDOUROS, 2001).

Os modelos de divisão modal podem ser agregados ou desagregados. Modelos agregados são baseados em dados referentes a zonas de tráfego enquanto que modelos desagregados utilizam dados referentes a uma família ou a um indivíduo (ÓRTUZAR, WILLUMSEN, 2001). Neste estudo será utilizado, na etapa de divisão modal, um modelo desagregado do tipo Logit. Os modelos desagregados, também denominados modelos de escolha discreta, e o modelo Logit, mais especificamente, são discutidos no item 3.4.

A última etapa, alocação, distribui as viagens de cada par origem/destino, para cada modo de transporte, na rede modelada. O conjunto de arcos utilizados para ir de uma zona de origem “i” até uma zona de destino “j” é denominado de rota e sua escolha é baseada na comparação de custos entre todas as rotas disponíveis para a realização dessa viagem. É somente nessa etapa que são consideradas as características do sistema viário (oferta) e ocorre a compatibilização entre a demanda, prevista nas três etapas anteriores, e a oferta disponível no sistema (PAPACOSTAS; PREVEDOUROS, 2001).

A ferramenta utilizada para modelagem de transporte, neste estudo, é o SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks*).

### 3.3 SATURN

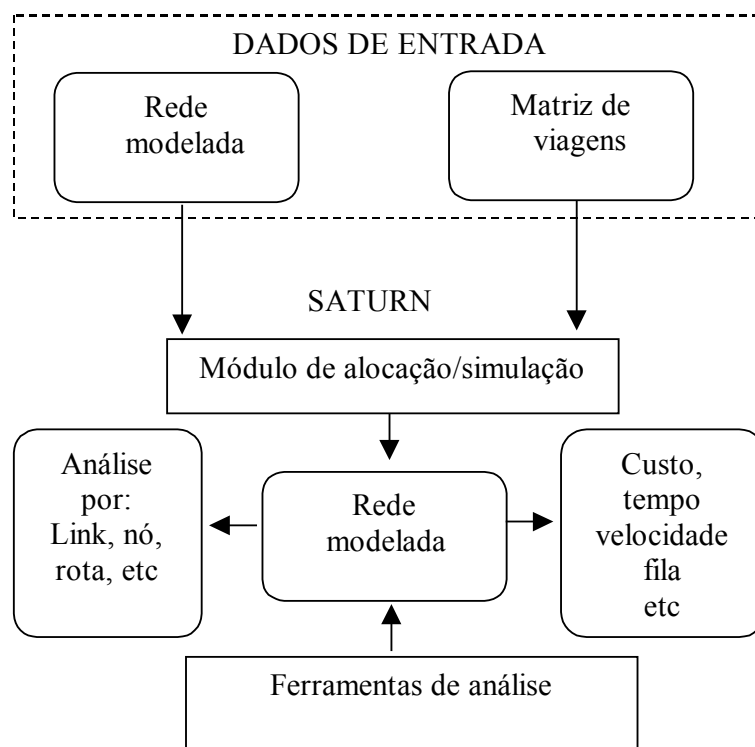
O SATURN é um modelo de alocação e simulação de transporte, desenvolvido pela Universidade de Leeds, Inglaterra, e adquirido pela EPTC e pela UFRGS no final da década de 90. O SATURN é composto por um módulo de alocação e um módulo de simulação de tráfego que podem ser usados em conjunto através de sucessivos *loops*.

São necessários dois arquivos de dados para utilização do software: um arquivo de rede e um arquivo com os dados de demanda (matriz de viagens) entre as zonas de tráfego. Através dos módulos de alocação e simulação do SATURN, os fluxos provenientes da matriz são distribuídos na rede viária.

O módulo de alocação pode ser aplicado isoladamente ou em conjunto com o módulo de simulação. O módulo de simulação do SATURN tem como principal objetivo o cálculo dos atrasos em interseções gerados pelos fluxos alocados na rede. Estes atrasos passam a compor o custo de viajar em uma determinada rota o qual será utilizado na alocação seguinte.

Os módulos de alocação e simulação são executados iterativamente até que a realocação de tráfego, em duas iterações sucessivas, seja suficientemente pequena, de acordo com parâmetros definidos pelo usuário, ou o número máximo de iterações seja atingido.

Como resultado da alocação/simulação, é gerado um arquivo com os fluxos distribuídos na rede viária. Este arquivo pode ser, então visualizado e analisado com as ferramentas disponíveis no SATURN para essa finalidade. A figura 5 ilustra as principais etapas de uma modelagem de tráfego no SATURN.



**Figura 5 - Modelagem no SATURN**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

As ferramentas de análise do SATURN permitem a análise e edição gráfica da rede e a geração de planilhas e relatórios dos resultados gerados pela alocação/simulação. A visualização dos dados gerados pela simulação pode ser realizada em diversos níveis: análises de nós (cruzamentos), análise de arcos (vias) ou análise de rotas (pares origem/destino), por exemplo. É possível também a seleção de nós, arcos ou rotas que atendam a um determinado critério como, por exemplo, velocidades abaixo de um determinado limite.

### 3.4 MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA

Os modelos de escolha discreta, ou modelos comportamentais, são baseados na observação de escolhas individuais e buscam representar o comportamento do indivíduo no momento da tomada de decisão. Tem fundamentação na teoria do consumidor, de Lancaster, na teoria da utilidade randômica e nos modelos psicológicos de processamento da informação em julgamento e tomada de decisão (ADAMOWICZ et al., 1998).

A teoria da utilidade randômica (DOMENNCICH; MCFADDEN, WILLIAMS *apud* ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001) é a base para a estimativa dos modelos de escolha discreta e define que:

- a) dentro de um grupo homogêneo, os indivíduos selecionam sempre a opção que maximiza a sua utilidade, consideradas as suas respectivas restrições;
- b) a cada indivíduo “n” é apresentado um subconjunto de atributos “x”, pertencente a um conjunto de vetores “X” de atributos mensuráveis do indivíduo e da alternativas, associados a um conjunto de alternativas a, pertencentes ao conjunto “A” de alternativas disponíveis;
- c) o indivíduo percebe uma utilidade para cada alternativa, composta por uma parcela mensurável, função dos atributos apresentados, e uma parcela randômica, que representa as particularidades de percepção e preferências dos indivíduos. Para o modelador, apenas a parcela mensurável é conhecida.

O modelo geral para utilidade, dessa forma, é dado por:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad \dots (1)$$

Sendo:

$U_{in}$ = utilidade da alternativa i para o indivíduo n,

$V_{in}$ = utilidade representativa da alternativa i para o indivíduo n, função dos atributos mensuráveis,

$\varepsilon_{in}$ = erro ou resíduo da alternativa i para o indivíduo n, representativo da parcela randômica da utilidade e de atributos não considerados no experimento (fatores não observados).

A utilidade representativa possui a forma geral:

$$V_{in} = \sum_k \beta_{ki} x_{kin} \quad \dots(2)$$

Sendo:

$\beta$ = vetor de coeficientes dos atributos da alternativa i, de dimensão k,

$x$ = vetor de atributos da alternativa i, de dimensão k.

A probabilidade de um indivíduo n escolher a alternativa i ( $P_{in}$ ) em detrimento de uma alternativa j é dada por:

$$P_{in} = \Pr ob(U_{in} > U_{jn}) = \Pr ob(V_{in} + \varepsilon_{in} > V_{jn} + \varepsilon_{jn}) = \Pr ob(\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} > V_{in} - V_{jn}),$$

para todo  $i \neq j$  ... (3)

A densidade do termo de erro  $f(\varepsilon_n)$ , para o indivíduo n, é representada pelo vetor  $\varepsilon_n = (\varepsilon_{n1}, \varepsilon_{n2}, \varepsilon_{n3}, \dots, \varepsilon_{nk})$  e pode ser usada para representar a probabilidade cumulativa de um indivíduo n escolher a alternativa i. A probabilidade, neste caso, é escrita como:

$$P = \int_{\varepsilon} I(\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} < V_{in} - V_{jn}) f(\varepsilon) d_{\varepsilon n}, \text{ para todo } i \neq j \quad \dots(4)$$

Onde I é o indicador função que é igual a 1, quando a expressão entre parênteses é verdadeira, e 0 quando a expressão é falsa.

Existem quatro tipos de modelos usualmente utilizados com dados discretos: Logit, Nested logit, Probit e Mixed logit. Esses modelos diferem entre si (CARSON et. al, 1994) com relação a:

- a) forma da função utilidade de cada variável modelada (linear, quadrática, logarítmica, etc);
- b) forma da função de probabilidade das alternativas modeladas (logit, probit, etc);
- c) distribuição do vetor de erros ( $\varepsilon$ ).



Modelos Logit e Nested logit tem forma fechada para a integral da função de erro. O modelo Logit considera que o vetor segue a distribuição de Gumbel (idd extreme value). Essa distribuição tem como característica a presunção de que os termos de erros das alternativas não são correlacionados e tem a mesma variância para todas as alternativas. O modelo Nested logit considera uma generalização da distribuição de Gumbel com o objetivo de permitir a correlação entre os fatores não observados (TRAIN, 2003).

Nos modelos Probit e Mixed logit, a integral da função de erro não é fechada e sua avaliação numérica é obtida através de simulação. O modelo Probit considera a distribuição como sendo do tipo normal multivariada e o modelo Mixed logit considera que uma parte da função de erro obedece à distribuição de Gumbel e outra parte pode ser representada por qualquer tipo de distribuição (TRAIN, 2003).

Os modelos de escolha discreta tem um uso crescente na área de transportes devido a necessidade de compreender e prever o comportamento de viagem de forma cada vez mais detalhada (BIERLAIRE, 2005). Dentre os modelos de escolha discreta, o modelo logit é o mais utilizado por sua simplicidade e facilidade de interpretação (TRAIN, 2003).

### 3.5 OBTENÇÃO DE DADOS PARA MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA

Para geração de um modelo de escolha discreta são utilizados dados desagregados provenientes de escolhas individuais dos entrevistados. O método mais utilizado para a coleta de dados é a pesquisa de preferência declarada.

Em uma pesquisa de preferência declarada é apresentado, ao entrevistado, um conjunto de alternativas, cada qual representada por um conjunto de atributos. Os atributos sofrem variações (níveis) de forma que são construídos, para cada alternativa, diversos cenários. O entrevistado compara as alternativas apresentadas, representadas por uma combinação específica de níveis de atributo (cenário), e escolhe, conforme a sua percepção de utilidade, a alternativa mais atraente (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Existem três tipos usuais de escolha para uma pesquisa de preferência declarada (FUJII; GÄRLING, 2003; ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001; CARSON et al, 1994):

- a) o entrevistado escolhe apenas uma dentre as alternativas apresentadas, aquela de maior utilidade;
- b) o entrevistado ordena as alternativas por ordem de preferência e;

c) o entrevistado atribui notas a cada uma das alternativas conforme a sua utilidade.

Para a construção de uma pesquisa de preferência declarada é necessário, portanto, definir as alternativas que serão apresentadas e a forma como deve ser feita a sua escolha, definir os atributos que irão descrever cada alternativa e definir os níveis de variação de cada atributo.

As alternativas de uma preferência declarada devem ter as seguintes características (TRAIN, 2003):

- a) serem independentes umas das outras, isto é, a escolha de uma alternativa implica na não escolha das demais;
- b) serem exaustivas, abrangendo todas as escolhas disponíveis ao entrevistado dentro do contexto do problema analisado;
- c) serem finitas, ou seja, devem ser uma variável do tipo discreta.

A definição dos atributos é baseada em bibliografia, estudos anteriores e experiência profissional. Devem ser incluídos todos os atributos considerados importantes na escolha das alternativas. Os atributos podem ser variáveis quantitativas ou qualitativas (ADAMOWICZ et al., 1998).

Os cenários são construídos pela combinação das alternativas, atributos e seus respectivos níveis em um projeto fatorial. Uma das ferramentas mais utilizadas é o projeto de experimentos. A ortogonalidade característica do projeto de experimentos garante que cada combinação de cenários varie independentemente das demais (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Um projeto fatorial em que todos os níveis de cada um dos atributos são combinados com todos os níveis dos demais atributos é denominado fatorial completo. Um projeto do tipo fatorial completo possibilita a avaliação do efeito de cada um dos atributos isoladamente, efeito principal, e todas as suas interações, efeitos secundários, na escolha da alternativa (LOUVIERE et al., 2000).

Apesar de um aumento no número de atributos e de seus respectivos níveis adicionar, em geral, maior poder explicativo para as alternativas, implica em um aumento exponencial do tamanho do projeto requerendo amostras muito grandes para sua execução. Uma forma usual de tratar este problema é a utilização de projetos fatoriais fracionados (LOUVIERE et al., 2000).

Em um projeto fracionado, é selecionada uma parte da amostra total de modo que possam ser estimados todos os efeitos de interesse. Cada vez que um projeto é fracionado ocorre alguma perda de informação. Em geral os projetos fracionados são montados de forma a manter os efeitos principais e as interações mais significativas. Conforme Louviere et al. (2000) os efeitos principais explicam em torno de 70 a 90% da variância da amostra, interações entre dois atributos explicam de 5 a 15% e interações de mais alta ordem explicam o restante da variância.

Além do tamanho de amostra necessária, outro problema de projetos fatoriais muito grandes é a possibilidade de redução da qualidade da pesquisa. Existem indícios de que um número muito grande de alternativas, atributos ou níveis podem reduzir a confiabilidade do resultado devido ao aumento de complexidade do projeto e seu conseqüente efeito sobre o entrevistado: fadiga, dificuldade de lidar com tantas variáveis, entre outros (CAUSSADE et al., 2005; DESHAZO; FERMO, 2002; CARSON et al., 1994).

Caussade et al. (2005) testou o efeito do número de alternativas, atributos e níveis nos resultados obtidos em uma pesquisa de preferência declarada e concluiu que o número de atributos é o fator que mais afeta as escolhas. Um aumento no número de atributos gera aumento no termo de variância de erro. O número de níveis também tem um efeito prejudicial, porém menor do que o dos atributos. O número de alternativas é o que menos afeta o resultado do experimento e sua influência sobre o resultado tem a forma de um U invertido. Até um ponto ótimo, que neste estudo foi quatro alternativas, há uma melhora nos resultados. A partir desse ponto o efeito se torna prejudicial.

O número de entrevistas a serem realizadas é obtido pela multiplicação do número de segmentos da pesquisa pela amostra mínima necessária. Órtuzar e Willumsen (2001) indicam 75 a 100 entrevistas por segmento como sendo uma amostra apropriada para este tipo de pesquisa.

### 3.6 ESTIMATIVA DE UM MODELO DE ESCOLHA DISCRETA

Para a estimativa do modelo é necessário definir a forma da função utilidade de cada uma das alternativas: os atributos que serão incluídos, a forma de inclusão dos atributos, isolados ou combinados, a inclusão de constante representativa do termo de erro e a forma matemática a ser adotada para o modelo, linear, quadrático, etc. (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Inicialmente, no entanto, é necessário observar algumas características dos modelos de escolha discreta, derivadas do processo de decisão comportamental utilizado em sua geração, relacionadas ao valor absoluto da função utilidade (TRAIN, 2003).

Em modelos de escolha discreta, o valor absoluto da função utilidade não é importante. A probabilidade da escolha de uma alternativa é função apenas da diferença entre a sua utilidade e as utilidades das demais alternativas (TRAIN, 2003). Essa característica tem as seguintes conseqüências para a identificação e especificação dos modelos (TRAIN, 2003; ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001):

- a) a função utilidade de uma alternativa é usualmente representada pelo vetor de atributos e uma constante que representa o efeito de fatores que não foram incluídos no estudo (termo de erro);
- b) da mesma forma que para os atributos, somente a diferença entre as constantes é relevante. Se for adicionada uma constante para cada alternativa o problema torna-se insolúvel pois existem infinitas possibilidades de combinação de constantes resultando na mesma diferença e, conseqüentemente, nas mesmas probabilidades de escolha. Dessa forma, modelos de escolha discreta devem ter a sua constante normalizada. A forma mais usual é atribuir a uma das alternativas o valor da constante igual a zero;
- c) para a inclusão de variáveis sócio-econômicas, que são constantes entre todas as alternativas, também é necessária a normalização atribuindo a essas variáveis o coeficiente zero em uma das alternativas;

d) uma função de densidade de erros com dimensão  $k$  tem  $k-1$  diferenças de termos de erros. As funções densidade  $f(\varepsilon)$  e  $g(\varepsilon)$ , representando respectivamente o vetor de erros original e o vetor de diferença de erros, são relacionadas de forma que  $g(\varepsilon)$  é uma derivada de  $f(\varepsilon)$ . Sendo assim, existem infinitas  $f(\varepsilon)$  que podem originar uma  $g(\varepsilon)$  e é necessário, da mesma forma que para as constantes e as variáveis sócio-econômicas, que uma dimensão da função original de densidade de erros  $f(\varepsilon)$  seja normalizada. Existem diversas formas para normalização da função de erro. Para os modelos logit, a normalização ocorre automaticamente em função da própria distribuição adotada.

Os atributos podem ser de dois tipos: genérico ou específico. O atributo genérico está presente na função utilidade de todas as alternativas e seu coeficiente não sofre variação entre as alternativas. O atributo específico aparece apenas em algumas alternativas ou, caso apareça em todas, deve possuir coeficientes diferentes para cada alternativa. No caso de atributos genéricos, deve ser adotada a normalização igualando seu coeficiente a zero em uma das alternativas (ÓRTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Outra consequência da geração de modelos com base em decisão comportamental é que a escala da utilidade também não é importante: um modelo multiplicado por uma constante é equivalente ao modelo original e a relação entre as utilidades das alternativas, desde que multiplicadas pela mesma constante, não sofre alteração (TRAIN, 2003).

Considerando a possibilidade de inúmeros modelos equivalentes, é adotada a normalização da escala de utilidade. A normalização de escala é realizada normalizando a variância do termo de erro (TRAIN, 2003). Cada tipo de modelo possui uma escala padrão de forma que a comparação entre coeficientes de modelos de tipo diferente devem considerar a diferença de escala. A variância da distribuição de um modelo Logit, por exemplo, é  $\pi^2/6$ , isto é, a escala da função utilidade é normalizada por  $\pi/6$  (TRAIN, 2003).

O método mais utilizado para a estimativa dos coeficientes da função utilidade de cada alternativa é a estimativa da máxima probabilidade. Este método considera que uma amostra pode ser gerada por diferentes populações, no entanto, existe uma população que tem maior probabilidade de ter gerado a amostra. Dessa forma, o método determina o conjunto de coeficientes que gera com mais frequência a amostra observada (LOUVIERE et al., 2000).

### 3.7 MODELO LOGIT

O modelo Logit tem como importante característica o atendimento ao axioma de Independência das alternativas irrelevantes (IAA): “Onde quaisquer duas alternativas têm uma probabilidade diferente de zero de serem escolhidas, a taxa de uma probabilidade sobre a outra não é afetada pela presença ou ausência de qualquer alternativa adicional no conjunto de escolha” (LUCE; SUPPES, 1965 *apud* ÓRTUZAR e WILLEMSUN, 2001). Essa característica é derivada da distribuição adotada para o termo de erro (IID Gumbel).

A densidade do termo de erro é dada por:

$$f(\varepsilon_{jn}) = e^{-\varepsilon_{jn}} e^{-e^{-\varepsilon_{jn}}} \quad \dots(5)$$

A distribuição cumulativa do termo de erro é dada por:

$$F(\varepsilon_{jn}) = e^{-e^{-\varepsilon_{jn}}} \quad \dots(6)$$

A diferença entre dois erros é:

$$F(\varepsilon_{jin}) = e^{\varepsilon_{jin}} / 1 + e^{\varepsilon_{jin}} \quad \dots(7)$$

A probabilidade de escolha da alternativa  $i$  pelo indivíduo  $n$ , em um modelo logit, é dada por:

$$P_{in} = \frac{e^{v_{in}}}{\sum_j e^{v_{jn}}} \quad \dots(8)$$

Como a utilidade representativa de um modelo logit é geralmente uma função linear, a probabilidade pode ser escrita como:

$$P_{in} = \frac{e^{\beta'x_{ni}}}{\sum e^{\beta'x_{ni}}} \quad \dots(9)$$

Essa probabilidade de escolha tem três características importantes (TRAIN, 1993):

- a) a probabilidade irá sempre assumir um valor entre 0 e 1. Quanto maior a utilidade da alternativa para o indivíduo mais próximo de 1 será a sua probabilidade. De forma análoga, quanto menor a utilidade da alternativa mais a probabilidade se aproxima de zero;
- b) a soma das probabilidade de todas as alternativas disponíveis ao indivíduo será sempre igual a 1;
- c) a relação entre a probabilidade de escolha de uma alternativa e sua utilidade representativa, quando mantidas constantes as utilidades representativas das demais alternativas disponíveis, tem a forma de um “S” (função sigmóide).

### 3.8 RESULTADO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE MODELOS LOGIT

Os resultados usuais da estimativa de um modelo logit são o vetor de parâmetros (coeficientes dos atributos) da função utilidade, e seus respectivos testes de significância, o cálculo de medidas de adequação do modelo aos dados amostrais e as elasticidades estimadas da escolha de cada alternativa em relação a alteração de valor dos atributos (LOUVIERE et al., 2000).

#### 3.8.1 Parâmetros estimados

Os parâmetros representam o peso e a significância de cada atributo dentro da função utilidade (LOUVIERE et al., 2000). Atributos com maior coeficiente, desde que significativos, tem uma influência maior na escolha de determinada alternativa do que os demais. Cabe ressaltar que os parâmetros estimados são, na realidade, a razão dos parâmetros reais pela variância do erro devido a aplicação de normalização de escala ao modelo (TRAIN,2003).

A significância dos atributos é analisada através da aplicação de teste estatístico do tipo estatística t. Apesar do teste t ser para distribuição normal e o modelo Logit ter distribuição de Gumbel, na prática o teste é considerado uma aproximação confiável (WASHINGTON et al., 2003).

Além da significância, deve ser avaliado se o sinal do coeficiente é compatível com o esperado. Órtuzar e Willumsen (2001) orientam sobre a utilização dos atributos de acordo com o sinal e o teste de significância. Os atributos são classificados, ainda, em atributos importantes, referentes aqueles que são fundamentais para a pesquisa em execução ou estão consolidados por pesquisas anteriores, e demais atributos. A tabela 1 apresenta a classificação e a orientação quanto a utilização dos atributos.

**Tabela 1 - Seleção de atributos para a função utilidade**

Sinal do coeficiente	Resultado do teste de significância	Atributo	
		Importante	demais
Correto	Significativo	Incluir	Incluir
	Não significativo	Incluir	Pode ser rejeitado
Errado	Significativo	Grande problema	Rejeitar
	Não significativo	Problema	Rejeitar

Fonte: adaptado de Órtuzar e Willumsen (2001)

### 3.8.2 Medida de performance do modelo (estatística $\rho^2$ )

É uma estatística que mede a adequação do modelo estimado aos dados coletados comparando os valores de uma função logarítmica de probabilidade (*log-likelihood function*) calculada para os parâmetros estimados do modelo e para a situação de todos os parâmetros iguais a zero, ou seja, a não existência de modelo (TRAIN, 2003).

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad \dots(10)$$

Onde:

LL( $\beta$ ) é a função logarítmica de probabilidade para os parâmetros estimados e,



LL (0) é a função logarítmica de probabilidade para os parâmetros iguais a zero

O valor de  $\rho^2$  varia de 0 a 1 sendo que quanto mais próximo de 1 melhor o poder explicativo do modelo. A comparação deste índice para a determinação de qualidade dos modelos estimados só é válida para modelos gerados com o mesmo conjunto de dados e de alternativas. Nesse caso, modelos com valor maior para  $\rho^2$  são preferíveis aos demais. Órtuzar e Willumsen (2001) apontam valores de  $\rho^2$  em torno de 0,4 como bastante satisfatórios.

A adição de atributos a função de utilidade tende a aumentar o valor de  $\rho^2$  ainda que os atributos adicionados não sejam significativos. Para corrigir esta discrepância costuma ser calculado o valor de  $\rho^2$  corrigida através da equação 11, onde k é o número de parâmetros estimados no modelo (WASHINGTON et al., 2003):

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta) - k}{LL(0)} \quad \dots(11)$$

### 3.8.3 Elasticidade de escolha

Mede a influência de alteração no valor de um atributo sobre a probabilidade de escolha das alternativas. Pode ser direta ou cruzada. A elasticidade direta mede a alteração de probabilidade de escolha de uma alternativa em função de uma modificação percentual no valor de um atributo dessa mesma alternativa. A elasticidade cruzada mede a alteração de probabilidade de escolha de uma alternativa em função de uma modificação percentual em outra alternativa do conjunto de escolhas (LOUVIERE et al., 2000).

A elasticidade da probabilidade de escolha da alternativa “i” pelo indivíduo “n” quando o atributo “k” dessa alternativa sofre uma alteração marginal é calculada através da equação 12.

$$E = \beta_{ik} x_{ikn} (\delta_{ij} - P_{in}) \quad \dots(12)$$

Onde:

$\beta_{ik}$  é o coeficiente do atributo x,

$X_{ikn}$  é o atributo de ordem k da função utilidade da alternativa “i” para o indivíduo “n”,

$P_{in}$  é a probabilidade de escolha da alternativa “i” para o indivíduo “n”,

$\delta_{ij}$  assume o valor 1, se a elasticidade é direta, e 0, se a elasticidade é cruzada.

A interpretação da elasticidade é o efeito percentual na probabilidade de escolha da alternativa i causada pelo aumento de 1% no valor do atributo  $X_k$ . Se a elasticidade for menor do que 1, o atributo  $X_k$  é considerado inelástico, se for maior do que 1 o atributo é elástico. As elasticidades são válidas apenas para pequenas variações no valor do atributo (WASHINGTON et al., 2003).

A elasticidade cruzada é a mesma para todas as alternativas j diferentes de i de acordo com a propriedade do modelo Logit, derivada do axioma da independência das alternativas irrelevantes, de que a substituição entre as alternativas ocorre de forma proporcional (TRAIN, 2003).

### 3.8.4 Taxa marginal de substituição (MRS)

Serve para determinar a magnitude relativa entre dois parâmetros de um modelo Logit (WASHINGTON et al, 2003). A taxa marginal de substituição entre os atributos “b” e “a” da alternativa i é dada pela equação 13.

$$MRS(i)_{ba} = \frac{\beta_{ai}}{\beta_{bi}} \quad \dots(13)$$

Onde:

$MRS(i)_{ba}$  é a taxa marginal de substituição do atributo “b” em relação ao atributo “a”,

$\beta_{ai}$  é o coeficiente do atributo a,

$\beta_{bi}$  é o coeficiente do atributo b.

A interpretação da taxa marginal de substituição é o quanto o atributo “a” deve aumentar para manter a função utilidade inalterada quando ocorre a redução de uma unidade no valor do atributo “b” (WASHINGTON et al, 2003).

## 4 MÉTODO DE TRABALHO

Neste capítulo é proposto um método para estimar a demanda do modo combinado, composto pela integração entre automóvel e transporte público. Para a construção do método foi considerado que o mercado primário das viagens no modo combinado são as viagens em automóvel. Dentre as viagens de automóvel, foram delimitadas as viagens que potencialmente podem ser transferidas para o modo combinado através da adaptação do conceito de áreas de serviço dos estacionamentos dissuasórios.

### 4.1 MÉTODO PROPOSTO

O método proposto é composto de 4 etapas:

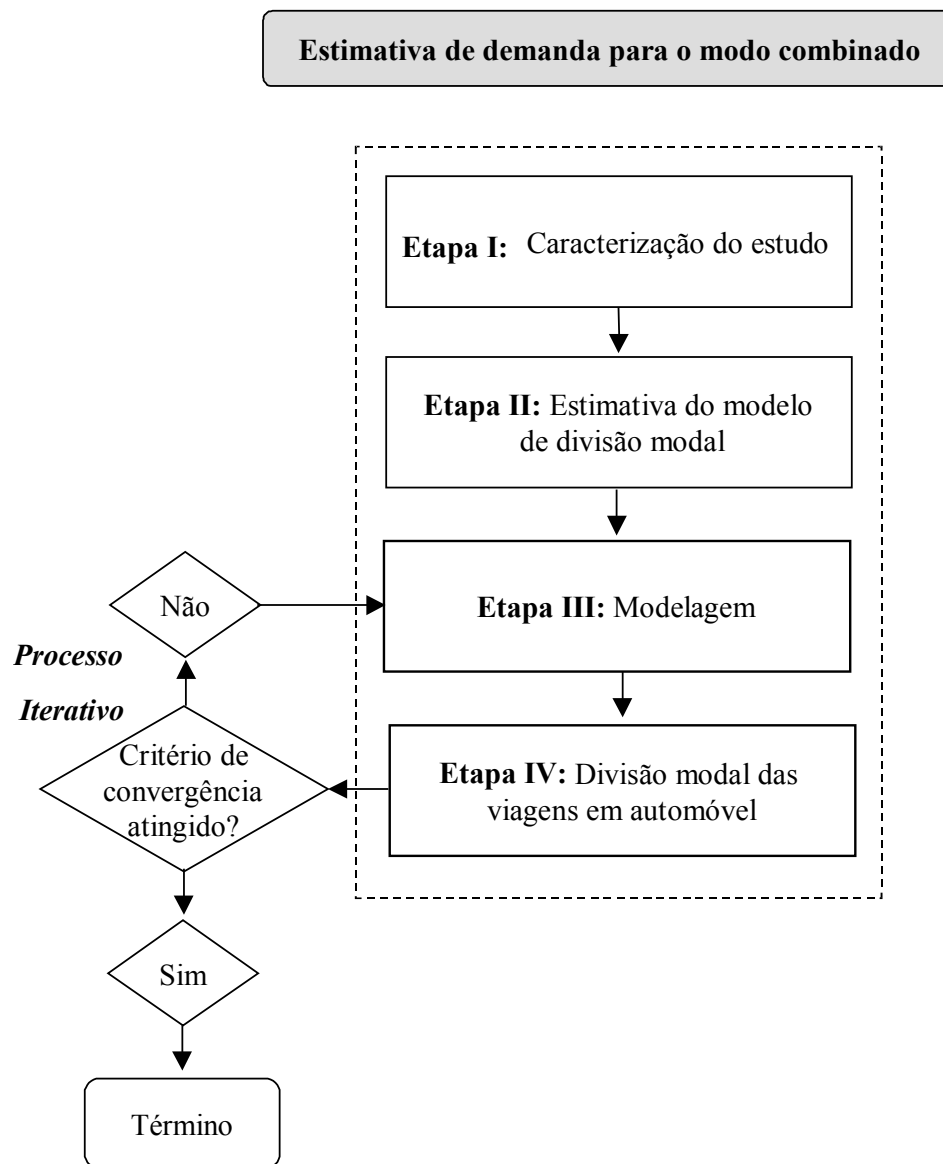
- a) etapa I - caracterização do estudo;
- b) etapa II - estimativa do modelo de divisão modal;
- c) etapa III - modelagem das viagens em automóvel;
- d) etapa IV - estimativa das viagens para o modo automóvel e para o modo combinado.

Na etapa I são definidos os pressupostos utilizados neste trabalho. A etapa II consiste no levantamento de dados e na estimativa do modelo de divisão modal entre o automóvel e o modo combinado. É utilizado um modelo de escolha discreta do tipo Logit e a coleta de dados é feita com a aplicação de uma pesquisa de preferência declarada.

A etapa III consiste da aplicação de um modelo de planejamento de transportes para a alocação e simulação de fluxos, provenientes da matriz de viagens em automóvel, na rede viária. Essa etapa tem dois objetivos: obter os tempos e distâncias de viagem em automóvel entre as zonas de tráfego, e gerar parâmetros para análise de desempenho da rede.

Na etapa IV é estimada a proporção de viagens com automóvel e com o modo combinado. Com base no modelo, estimado na etapa II, e nos dados, provenientes da etapa III, é calculada a probabilidade de utilizar os modos de transporte analisados para cada par origem/destino de viagem. Os resultados dessa etapa são as matrizes de viagem em automóvel e no modo combinado.

O processo se repete de forma iterativa entre as etapas III e IV até que não seja observada variação na matriz de viagem em automóvel, gerada em duas aplicações sucessivas do método. A figura 6 ilustra o método proposto.



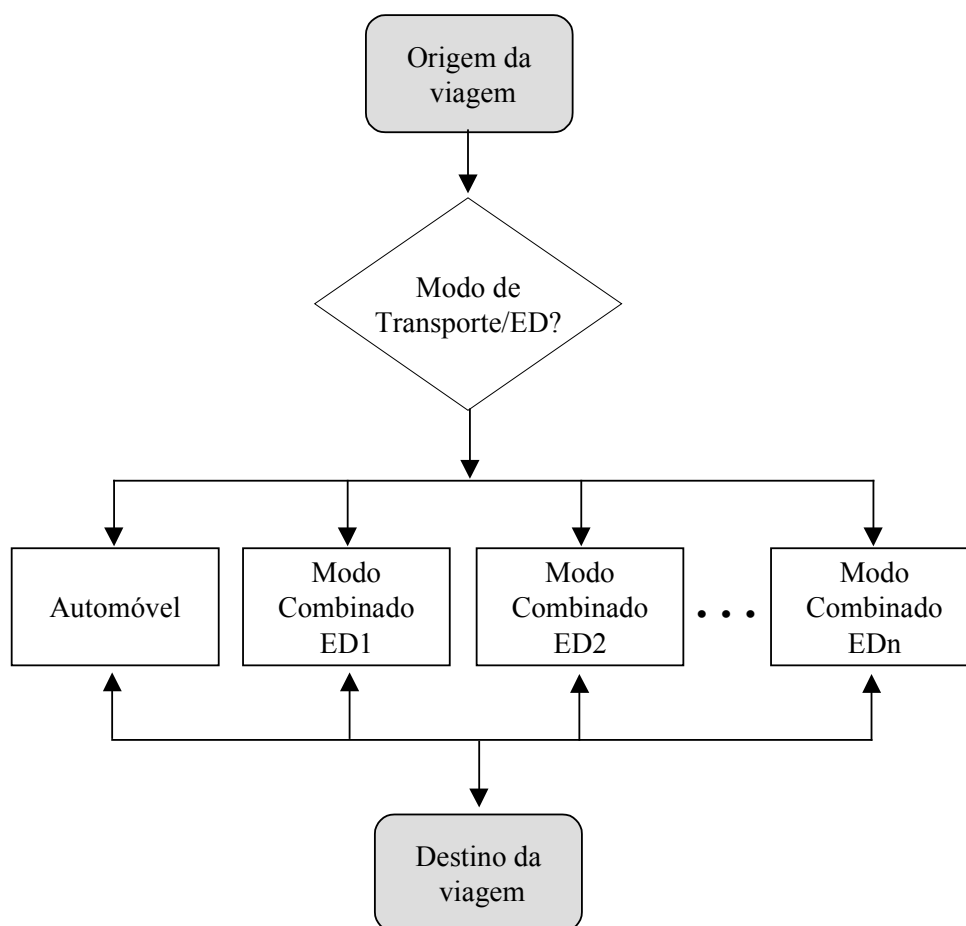
**Figura 6 – Método proposto para estimativa de viagens no modo combinado**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

A viagem no modo combinado, conforme proposta neste trabalho, é composta de um trecho inicial realizado com automóvel, uma transferência modal, e um trecho final realizado em um veículo de transporte público. A transferência entre os modos é realizada em um estacionamento dissuasório. Para a construção do método pressupõe-se que cada usuário tem um conjunto de estacionamentos dissuasórios disponíveis para a transferência e que o estacionamento selecionado será aquele que maximizar a utilidade do modo combinado.

A utilização do modo combinado envolve, portanto, dois processos decisórios que devem ocorrer simultaneamente: a escolha do modo de transporte entre o automóvel e o modo combinado e, no caso do modo combinado, qual o estacionamento dissuasório a ser utilizado. A figura 7 ilustra o processo de decisão.



**Figura 7 – Processo de escolha do modo de transporte**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

Nem todas as viagens podem ser transferidas para o modo combinado. Para que o modo combinado seja uma possível opção de transporte, a viagem deve atender a alguns pré-requisitos quanto à sua origem e destino. Antes de abordar estes pré-requisitos, entretanto, é necessário definir a área de influência dos estacionamentos dissuasórios e das estações de transporte público.

A área de influência foi definida em analogia ao conceito de área de serviço dos estacionamentos dissuasórios e corresponde à região, no entorno dos estacionamentos dissuasórios e estações, em que a distância é suficientemente pequena para ser percorrida a pé. Para o traçado da área de influência foi adotada uma forma circular, com centro no estacionamento dissuasório ou na estação, cujo raio corresponde à máxima distância admissível de caminhada. A definição da distância de caminhada deve considerar que o público alvo é usuário de automóvel tendo, portanto, uma distância admissível menor do que o usuário cativo do transporte público que não possui escolha quanto ao modo de transporte.

Com base nas áreas de influência foram definidas as seguintes restrições às viagens em automóvel para que estas possam utilizar o modo combinado:

- a) a origem da viagem deve ocorrer fora da área de influência dos estacionamento dissuasórios. Por se tratar de um modo composto, em que o trecho inicial utiliza o automóvel, viagens cuja origem está dentro da distância admissível de caminhada até o local de transferência devem ser desconsideradas;
- b) o destino da viagem deve se localizar dentro a área de influência de uma das estações do transporte público utilizado;
- c) o destino da viagem pode estar, ainda, dentro da área de influência de um dos estacionamentos dissuasórios desde que este não tenha sido usado para a transferência entre os modos. Neste caso, o estacionamento dissuasório funciona como uma estação do transporte público.

Com base nos pré-requisitos estipulados, é montada a matriz de viagens potenciais do modo combinado. Esta matriz é formada por um subconjunto de células, da matriz de viagens em automóvel, denominada a partir de agora de matriz original, ao qual será aplicado o método desenvolvido. As demais células da matriz original são mantidas constantes, ao longo das iterações, e representam as viagens que não são transferidas para o modo combinado.

### 4.3 ESTIMATIVA DO MODELO DE DIVISÃO MODAL

Para estimar a demanda do modo combinado foi construído um modelo de divisão modal considerando as duas alternativas de modo de transporte para a viagem: automóvel e o modo combinado. O modo combinado não é usual no Brasil e seu conceito é pouco conhecido pela população. Por esse motivo, foi escolhida para a coleta de dados a pesquisa de preferência declarada. A pesquisa de preferência declarada consiste na comparação de alternativas, descritas por seus atributos, e na escolha da alternativa que maximiza a utilidade do usuário (consumidor).

Com base na revisão bibliográfica, foram escolhidos para representar as alternativas de transporte os seguintes atributos:

- a) tempo e custo total de viagem, para o modo automóvel;
- b) tempo e custo total de viagem, tempo de espera pelo transporte público na estação e lotação do veículo de transporte público, para o modo combinado.

O tempo total de viagem foi definido como o tempo necessário para ir da origem ao destino da viagem, incluindo os tempos de acesso e de egresso e o tempo de espera na estação, para o modo combinado. Apesar de contabilizado no tempo total de viagem, o tempo de espera foi apresentado, também, como um atributo separado devido à diferença de percepção que os usuários costumam ter desse tempo quando comparado ao tempo em viagem no veículo.

O custo da viagem inclui o custo do combustível e o custo de estacionamento, para a viagem realizada no automóvel. Para o modo combinado, é considerado o custo de combustível, no trecho da viagem realizado em automóvel, e o custo da tarifa do transporte público. Foi definido que o custo de estacionamento só seria incluído na viagem em automóvel. Na alternativa modo combinado, o estacionamento no local de transferência seria gratuito ou integrado à tarifa.

A lotação do veículo e o tempo de espera na estação representam o conforto do usuário no transporte público. Como o mercado primário são os motoristas de automóvel, modo de transporte associado a um nível maior de conforto que o transporte público, este atributo é muito importante na decisão de alteração do modo de transporte para o modo combinado.

Os modelos estimados nesta etapa são do tipo Logit e suas funções utilidade tem, a princípio, a forma geral apresentada nas equações 14 e 15. As equações 16 e 17 fornecem a proporção de viagens utilizando os modos automóvel e combinado.

$$U_A = \alpha - \beta_1 T_A - \beta_2 C_A \quad \dots(14)$$

$$U_{MC} = \beta_1 T_{MC} - \beta_2 C_{MC} - \beta_3 T_e - \beta_4 L \quad \dots(15)$$

$$P_A = \frac{e^{U_A}}{e^{U_A} + e^{U_{MC}}} \quad \dots(16)$$

$$P_{MC} = \frac{e^{U_{MC}}}{e^{U_A} + e^{U_{MC}}} \quad \dots(17)$$

Onde:

$\alpha$ = constante do modo automóvel,

$T_A$ = tempo de viagem em automóvel,

$C_A$ = custo da viagem em automóvel,

$T_{MC}$ = tempo de viagem no modo combinado,

$C_{MC}$ = custo de viagem no modo combinado,

$T_e$ = tempo de espera pelo transporte público no modo combinado,

$L$ = lotação de veículo de transporte público no modo combinado.

A análise de proporção de viagens utilizando o automóvel e o modo combinado é realizada para cada par origem/destino da matriz de viagens potenciais no modo combinado. Os atributos tempo de espera e lotação do veículo de transporte público são definidos antes da aplicação do método e mantidos fixos para todas as viagens. O atributo tempo de viagem é diretamente influenciado pelas condições de fluidez da rede viária e pela escolha de rotas e o atributo custo sofre influência da distância de viagem que, por sua vez, é função da escolha de rotas. O valor dos atributos tempo e custo de viagem, para cada par origem/destino, são obtidos na etapa de modelagem das viagens em automóvel.



#### 4.4 MODELAGEM DAS VIAGENS EM AUTOMÓVEL

A etapa de modelagem das viagens em automóvel tem a função de gerar as matrizes de tempo e distância de viagem, necessárias para a aplicação do método, e parâmetros de desempenho das redes, para cada cenário de divisão modal das viagens. Os parâmetros de desempenho propiciam a análise do impacto, sobre a rede viária, da redução das viagens em automóvel devido ao uso do modo combinado.

O modelo selecionado para essa etapa foi o SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks*). Esse modelo foi escolhido devido a sua capacidade de simular os atrasos em interseções. Em redes urbanas, as interseções são responsáveis pela maioria dos atrasos observados ao longo de uma viagem.

O SATURN é um modelo que simula somente viagens em automóvel. As viagens em transporte público são inseridas no programa como um fluxo fixo que interage com os automóveis (VAN VLIET, 2008). Dessa forma, as análises provenientes do SATURN se referem apenas aos trechos de viagem realizados em automóvel.

A partir dos dados de entrada, matriz original de viagem e caracterização da rede viária, o modelo calcula as duas matrizes necessárias para a aplicação do método: a matriz de tempo e a matriz de distância de viagem. A matriz de tempo fornece os tempos totais de viagem entre cada par origem/destino. A matriz de distância entra indiretamente na função de utilidade através do atributo custo. Conforme definido anteriormente, o custo da viagem em automóvel é composto pelo custo do estacionamento e pelo custo de combustível, o qual varia com a distância percorrida pelo veículo.

No método proposto, apenas a etapa de alocação e simulação das viagens em automóvel na rede viária é realizada no modelo de transporte o que o classifica dentro das técnicas de pós-modelagem. A etapa de divisão modal é realizada externamente com o auxílio do software excel.

#### 4.5 ESTIMATIVA DA DEMANDA DE VIAGENS PARA O MODO AUTOMÓVEL E PARA O MODO COMBINADO

A demanda para o modo combinado é estimada através da aplicação do modelo de divisão modal, construído na etapa 2, à matriz original de viagens em automóvel. O modelo de divisão modal estima as probabilidades de utilizar cada um dos modos de transporte, com base em suas funções utilidades e tem a forma indicada nas equações 18 e 19.

$$P_{ijA} = \frac{e^{U_{ijA}}}{e^{U_{ijA}} + e^{U_{ijMC}}} \quad \dots(18)$$

$$P_{ijMC} = \frac{e^{U_{ijMC}}}{e^{U_{ijA}} + e^{U_{ijMC}}} \quad \dots(19)$$

Conforme descrito anteriormente, as funções utilidade possuem atributos, tempo e custo, que variam conforme a origem e o destino da viagem. O cálculo da função utilidade, para cada um dos modos, portanto, gera uma matriz de utilidade. Com base nas matrizes de utilidade são calculadas as proporções de uso do automóvel e do modo combinado para cada viagem da matriz original, gerando as matrizes de probabilidade de viagem em automóvel e de probabilidade de viagem no modo combinado.

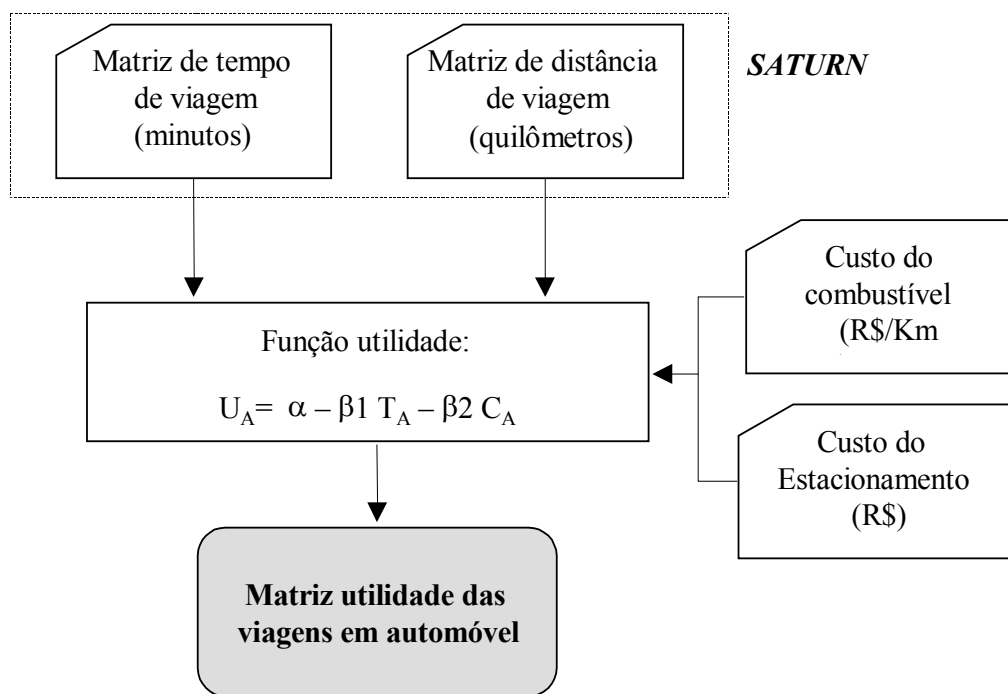
As matrizes de viagem em automóvel e no modo combinado são obtidas, de forma geral, pela multiplicação das respectivas matrizes de probabilidade pela matriz original ou pela matriz de automóvel gerada na última iteração. A seguir são detalhados os principais passos para a obtenção das matrizes de viagem.

##### 4.5.1 Cálculo da matriz de utilidade de viajar em automóvel

A utilidade de viajar em automóvel é função apenas do tempo e do custo da viagem conforme demonstrado na equação 20. O tempo de viagem é obtido diretamente da etapa de modelagem. O custo é composto de uma parcela fixa, preço do estacionamento, e de uma parcela variável, correspondente ao custo de combustível, que depende da distância de viagem. As distâncias são obtidas do modelo de planejamento de transporte SATURN.

$$U_A = \alpha - \beta_1 T_A - \beta_2 C_A \quad \dots(20)$$

Para o cálculo da utilidade é construída, portanto, uma matriz de custo de viagem, considerando a distância de viagem para cada par origem/destino, o preço do combustível, em reais por quilômetro, e o preço do estacionamento, em reais. Com os dados das matrizes de tempo e custo é calculada a utilidade de cada viagem origem/destino gerando a matriz utilidade de viajar em automóvel. A figura 8 ilustra o procedimento para a estimativa da matriz.



**Figura 8 –Geração da matriz de utilidade de viagens em automóvel**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

#### 4.5.2 Cálculo da matriz de utilidade de viajar no modo combinado

O cálculo da matriz utilidade do modo combinado é similar à do automóvel. O processo é um pouco mais complexo devido à necessidade de considerar a viagem dividida em dois trechos, origem/estacionamento dissuasório e estacionamento dissuasório/destino, e o processo de escolha do local onde será realizada a transferência modal.

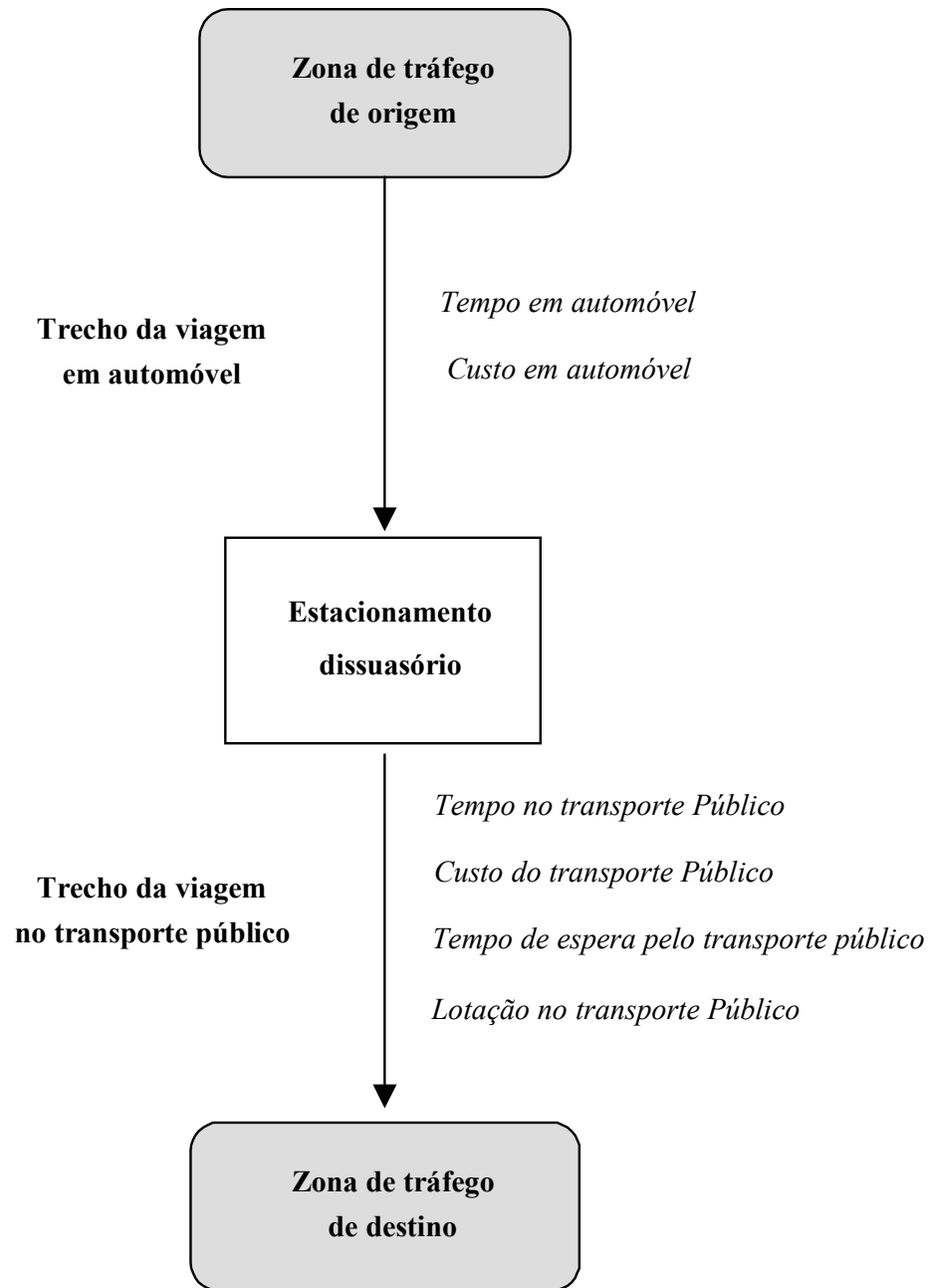
Conforme especificado na etapa 1, caracterização do estudo, nem todas as viagens são passíveis de utilizar o modo combinado. Apenas viagens com origem fora da área de influência dos estacionamentos dissuasórios e com destino na área de influência das estações podem usar o modo combinado. Essas viagens são denominadas viagens potenciais para o modo combinado.

Os atributos considerados para a função utilidade do modo combinado são o tempo de viagem, o custo da viagem, o tempo de espera e a lotação do veículo de transporte público. Os atributos tempo e custo da viagem devem ser desmembrados para representar a porção da viagem no automóvel e a porção no transporte público. O tempo de transferência no estacionamento dissuasório está incluso no tempo total de viagem. A figura 9 apresenta esquematicamente os atributos envolvidos em uma viagem realizada com o modo combinado.

O tempo e o custo de viagem para o trecho em automóvel são calculados da mesma forma que o tempo e o custo de viagem em automóvel, considerando o destino da viagem em um dos estacionamentos dissuasórios. Como não é possível afirmar antecipadamente qual o estacionamento dissuasório mais atraente para cada viagem, são calculadas todas as “n” opções disponíveis, ou seja, origem/estacionamento dissuasório 1 (O/ED1), origem/estacionamento dissuasório 2 (O/ED2), e assim sucessivamente até a origem/estacionamento dissuasório “n” (O/EDn).

Dessa forma, as matrizes tempo e distância, provenientes do SATURN, são desmembradas em “n” matrizes de tempo e “n” matrizes de distância. A figura 10 ilustra o procedimento de geração das matrizes de tempo de viagem para o modo combinado.

Para o trecho da viagem no transporte público, o tempo é composto pelo tempo de espera e pelo tempo no veículo. O tempo de espera é fixo e deve ser pré-definido antes da aplicação do método. O tempo no veículo é calculado pela razão entre a distância, do estacionamento dissuasório ao destino, e a velocidade operacional do sistema de transporte público utilizado.



**Figura 9 – Atributos do modo combinado**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

Novamente são construídas “n” matrizes de tempo de viagem, correspondendo às “n” opções: estacionamento dissuasório 1/destino (ED1/D), estacionamento dissuasório 2/destino (ED2/D) até o estacionamento dissuasório n/destino (EDn/D). O custo da viagem neste trecho é função apenas do custo da tarifa do transporte público, considerando que o estacionamento no portal é gratuito ou incluído na tarifa.

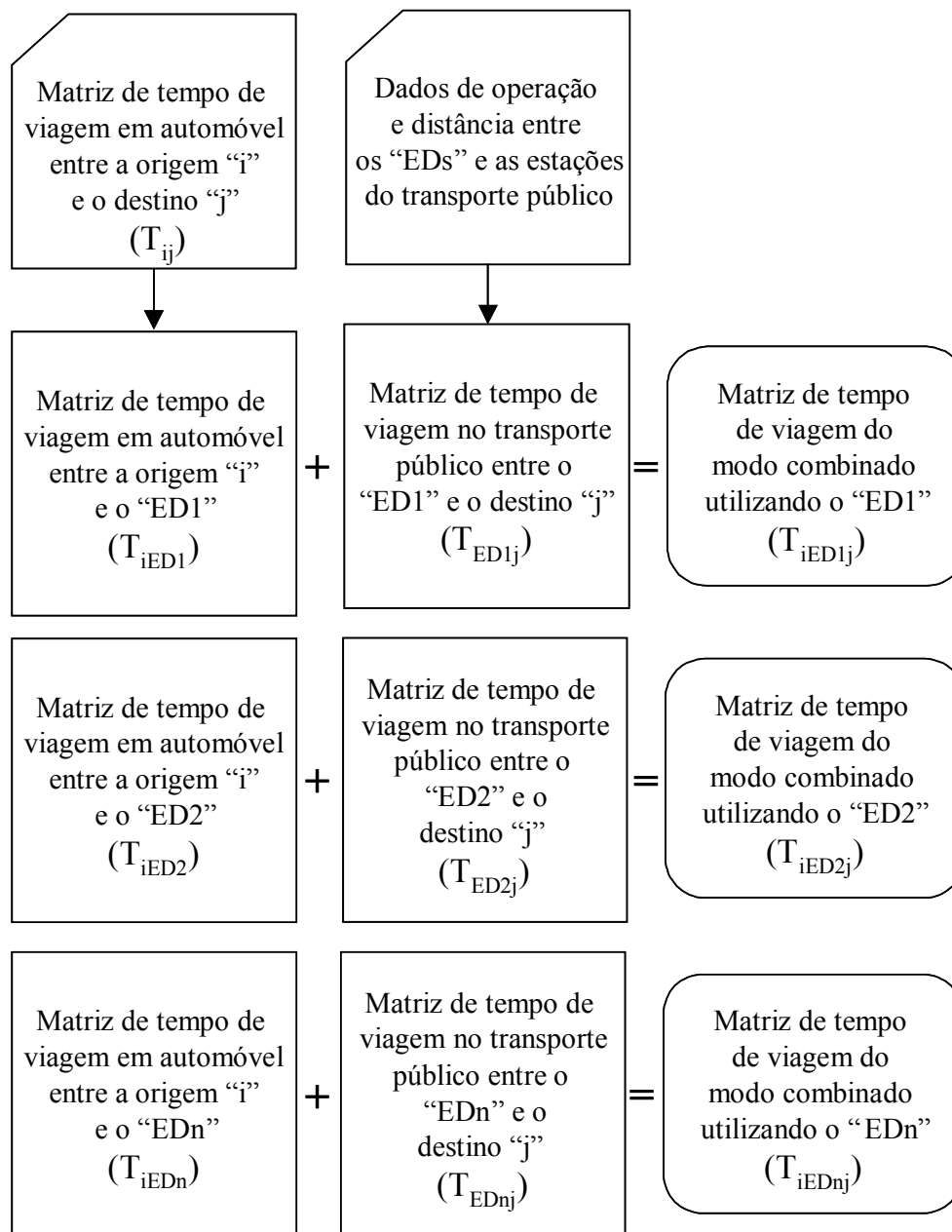
Com base nas matrizes de tempo e de custo da viagem no modo combinado e do valor dos atributos de tempo de espera e lotação, são calculadas as matrizes de utilidade deste modo. Para cada viagem com origem “i” e destino “j”, “V<sub>ij</sub>”, são calculadas “n” utilidades: a utilidade de ir de “i” a “j” através do estacionamento dissuasório 1 ( $U_{iED1j}$ ), a utilidade de ir de “i” a “j” através do estacionamento dissuasório 2 ( $U_{iED2j}$ ) até a utilidade de ir de “i” a “j” através do estacionamento dissuasório “n” ( $U_{iEDnj}$ ).

A matriz de utilidade do modo combinado é uma matriz de maximização de utilidade entre  $iED1j$ ,  $iED2j$ , ...,  $iEDnj$ , para todo “i” e “j” da matriz de viagens potenciais. O procedimento de estimativa da utilidade do modo combinado é apresentado na figura 11. A equação 21 descreve a utilidade de ir de “i” a “j” no modo combinado.

$$U_{ijMC} = \max(U_{iED1j}; U_{iED2j}; U_{iED3j}) \quad \dots(21)$$

Onde:

$U_{ijMC}$  = utilidade de realizar a viagem da origem i ao destino j usando o modo combinado.



**Figura 10 – Geração das matrizes de tempo de viagem do modo combinado para os diversos estacionamentos dissuasórios**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

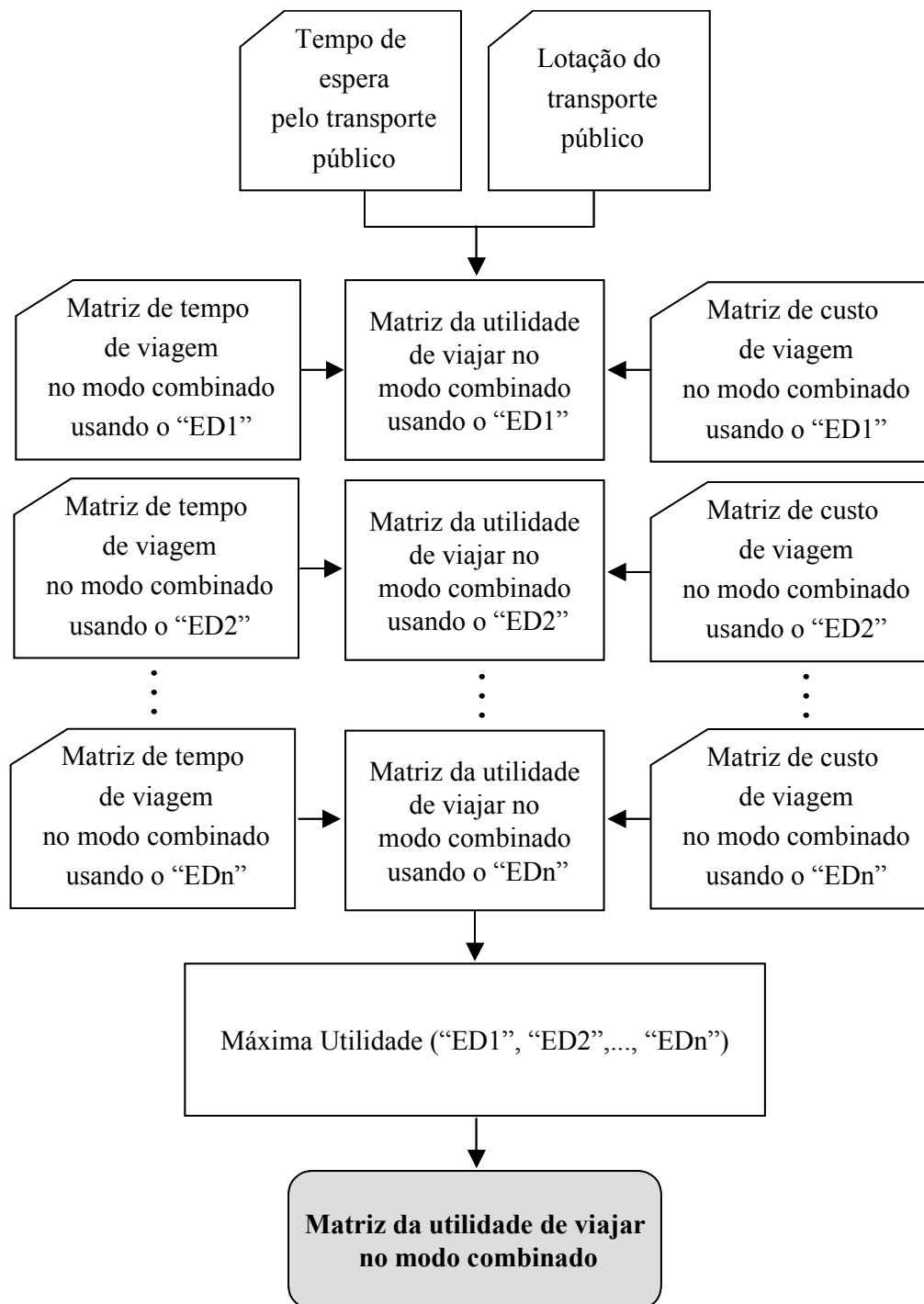


Figura 11 – Geração da matriz de utilidade do modo combinado

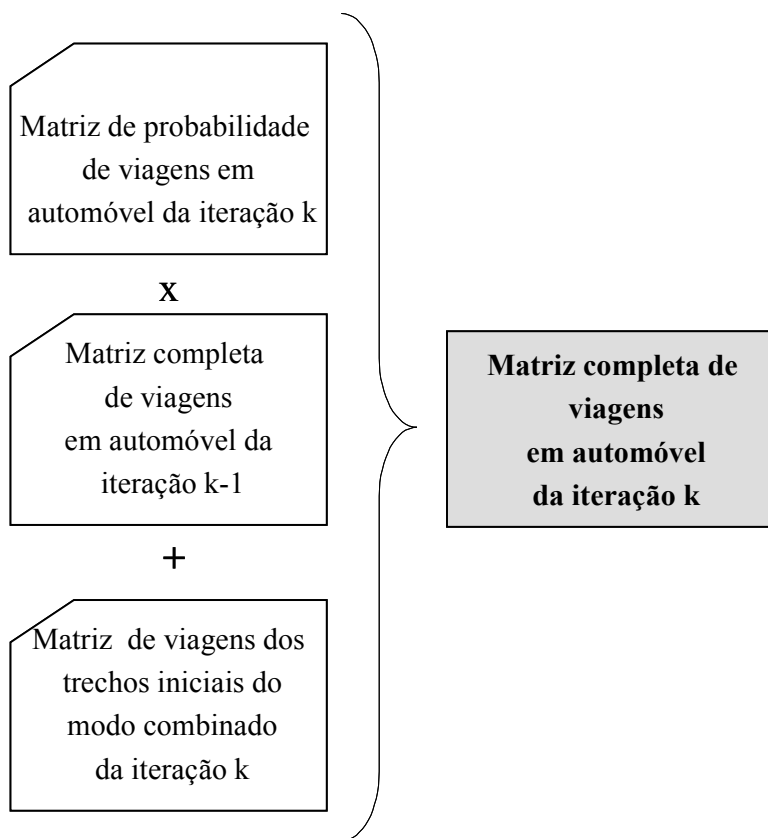
Fonte: figura elaborada pela autora (2009)



### 4.5.3 Cálculo das matrizes de viagem em automóvel e no modo combinado

Com base nas matrizes de utilidade, são calculadas as matrizes de probabilidade de viajar em automóvel ou no modo combinado. Como o processo é iterativo, as matrizes de probabilidade da iteração “k” são multiplicadas pela matriz completa de automóvel da iteração “k-1” originando a matriz preliminar de viagens em automóvel e a matriz de viagens no modo combinado.

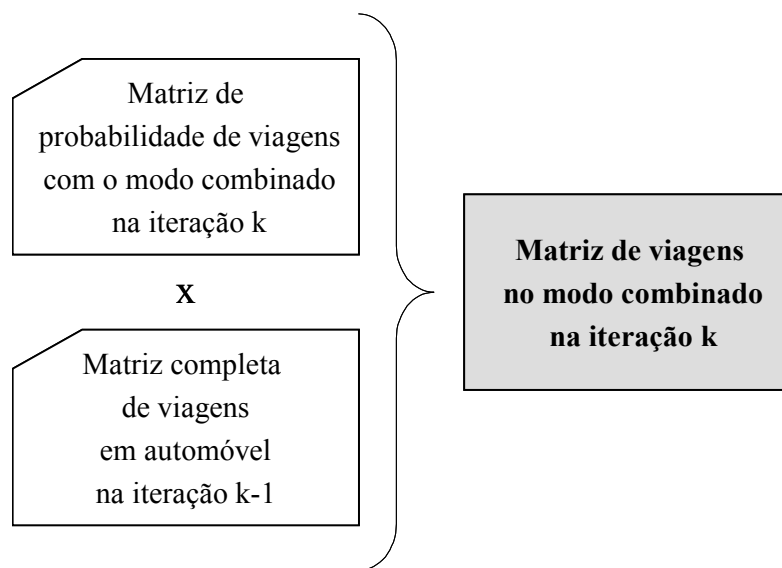
A matriz completa de viagens em automóvel é composta pela matriz preliminar, com as viagens que permanecem sendo realizadas em automóvel, e pela matriz dos trechos iniciais das viagens que foram transferidas para o modo combinado. Pela definição do modo combinado de transporte, o trecho inicial da viagem, da origem até o estacionamento dissuasório, é realizado em automóvel. A figura 12 ilustra o processo de construção da matriz completa de viagens em automóvel da iteração k.



**Figura 12 - Construção da nova matriz completa de viagens em automóvel**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

A matriz de viagens no modo combinado, na iteração  $k$ , é obtida diretamente da multiplicação da matriz de probabilidade de viajar no modo combinado da iteração  $k$  pela matriz completa de viagens em automóvel da iteração  $k-1$ . A figura 13 apresenta o processo de construção da matriz de viagens no modo combinado.



**Figura 13 - Construção da nova matriz de viagens de automóvel**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

#### 4.5.4 Critério de convergência

Ao final de cada iteração  $k$ , a matriz completa de viagens em automóvel, desta iteração, é comparada à matriz completa da iteração  $k-1$ . Se as diferenças entre as células das matrizes estiverem dentro de um percentual pré-definido, o método alcançou a convergência e o processo iterativo é encerrado.

Neste caso, a soma das  $k$  matrizes de viagens no modo combinado, obtidas em cada iteração, resulta na matriz total de viagens no modo combinado. A matriz completa de viagens da última iteração representa o total de viagens que permanecem sendo realizadas em automóvel.

Caso a convergência não tenha sido atingida na iteração  $k$ , a matriz completa de viagens em automóvel desta iteração é alocada no SATURN e as etapas III e IV do método são aplicadas novamente. O processo iterativo continua até que o critério de convergência seja alcançado.

## 5 APLICAÇÃO DO MÉTODO E RESULTADOS

Este capítulo é composto de três partes: apresentação do estudo de caso, aplicação do método proposto ao estudo de caso e apresentação dos resultados obtidos.

### 5.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso utilizado para testar o método de previsão da transferência de viagens do automóvel para o modo combinado é o projeto “Portais da Cidade”. Este projeto foi desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) e a Empresa pública de transporte e circulação (EPTC), com o objetivo de reduzir a degradação ambiental da região central da cidade e racionalizar o sistema de transporte público de Porto Alegre (PMPA, 2007a, 2007b).

O projeto Portais da Cidade prevê a construção e adaptação de aproximadamente dezessete quilômetros de corredor e vinte e três estações de ônibus que farão parte de um sistema de transporte público troncal ligando as regiões sul/sudeste e norte/nordeste com o centro de Porto Alegre. O sistema troncal, proposto no projeto, é do tipo BRT (*Bus Rapid Transit*). O BRT é um modo de transporte público que combina a flexibilidade do ônibus com a velocidade, confiabilidade e segurança característica dos sistemas sobre trilhos (FTA, 2004; VUCHIC, 2007).

Para ser classificado como BRT o sistema deve atender alguns requisitos quanto a estrutura, estações, veículo e operação. Desse modo, o projeto propõe um sistema de transporte público diferenciado em relação ao padrão existente em Porto Alegre: os veículos terão alta capacidade, nível reduzido de emissões e layout diferenciado. As estações deverão ter acesso em nível ao veículo, ser fechadas, seguras e com sistema de informação ao usuário. A venda de bilhetes é externa ao veículo (PMPA, 2007a).

Ao longo da rota do BRT serão construídos três terminais de integração, denominados “portais de integração”: Portal Cairú, Portal Zumbi dos Palmares e Portal Azenha (PMPA, 2007a, 2007b). A figura 14 apresenta a rede proposta para o BRT, com os respectivos portais e estações.

Os portais de integração serão terminais de transbordo que agregarão, junto às estações do BRT, pontos de acesso para outros modos de transporte como o táxi-lotação e o táxi e estacionamento para bicicletas e automóveis. Nestes locais está prevista, também, a construção de infra-estrutura de comércio e/ou serviços tais como shopping center (PMPA, 2007a). A figura 15 mostra um corte esquemático da estrutura proposta para o portal Zumbi dos Palmares onde pode ser visualizada a integração da área de embarque/desembarque com a área destinada aos estacionamentos.

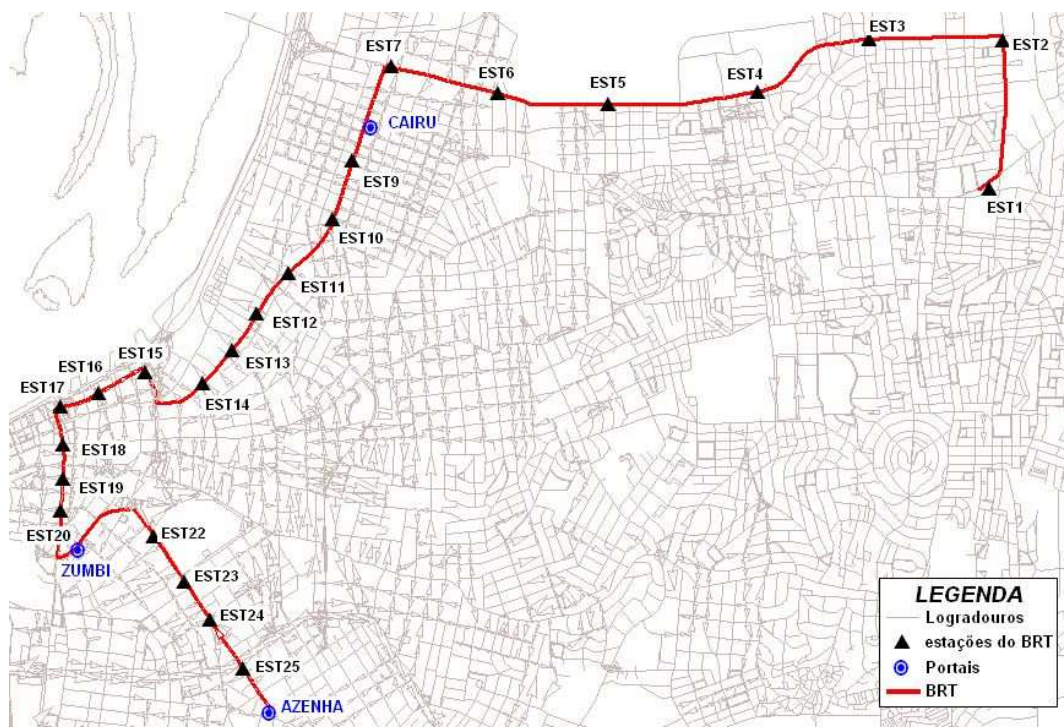


Figura 14 - Rede de transporte público: portais, estações e rota do BRT

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

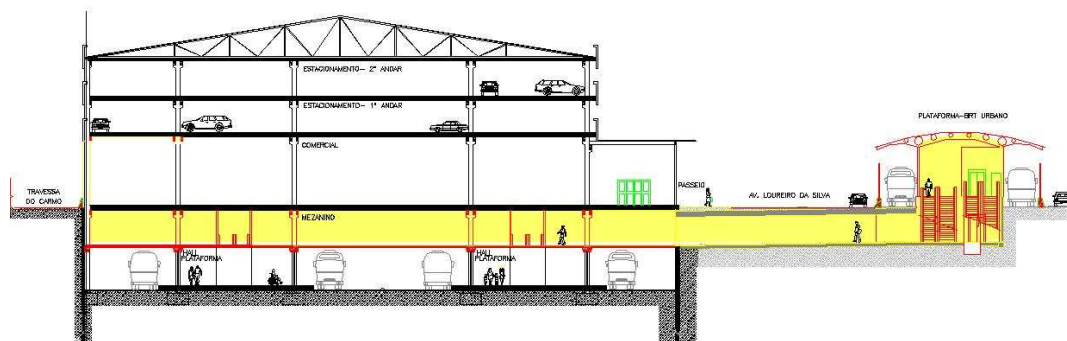


Figura 15 - Corte de um dos portais projetados para a linha do BRT

Fonte: PMPA, 2007b

## 5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO AO ESTUDO DE CASO

É apresentada a seguir a aplicação do método ao estudo de caso seguindo as quatro etapas definidas: caracterização do estudo, estimativa do modelo de divisão modal, modelagem das viagens em automóvel e estimativa das viagens para o modo automóvel e para o modo combinado .

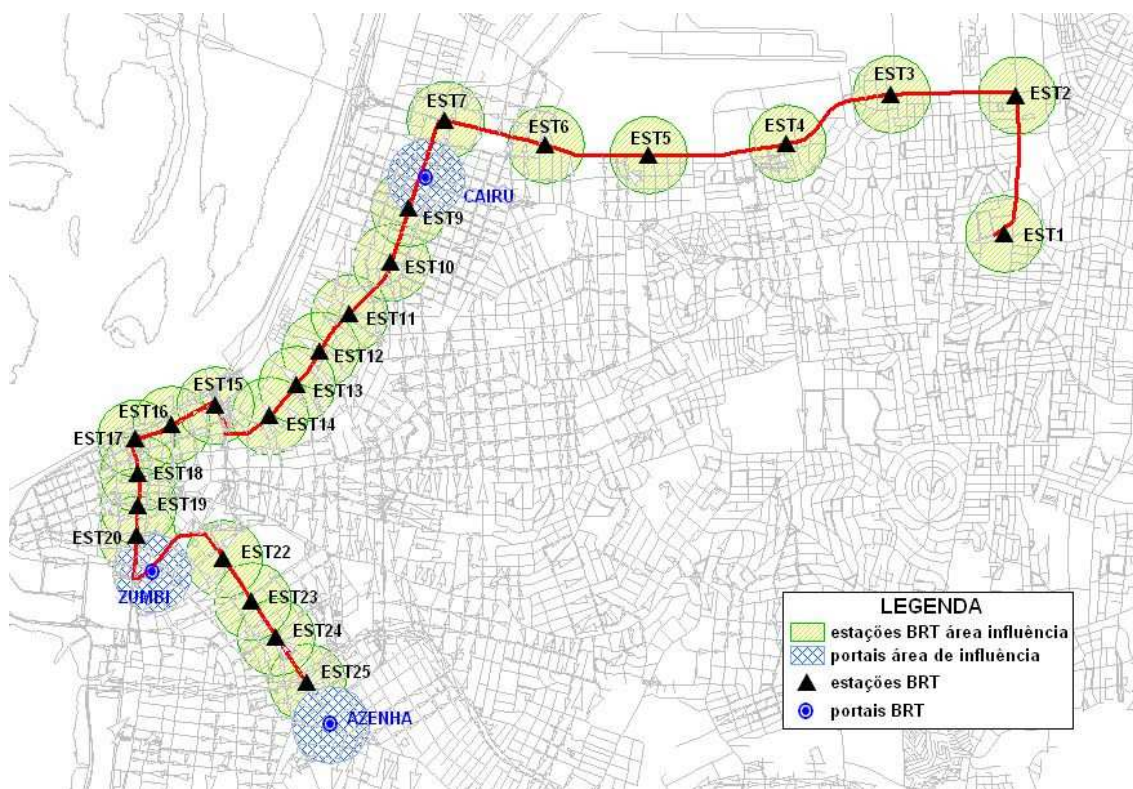
### 5.2.1 Caracterização do estudo

Para a aplicação do método de previsão de demanda do modo combinado ao estudo de caso apresentado foi estipulado que:

- a) o transporte público utilizado para a segunda parte do trajeto é a linha do BRT prevista no projeto Portais da Cidade;
- b) os locais de transferência entre o automóvel e o BRT são os três portais de integração: Cairú, Zumbi dos Palmares e Azenha que, a partir de agora, serão denominados estacionamento dissuasório 1 (ED1), estacionamento dissuasório 2 (ED2) e estacionamento dissuasório 3 (ED3);
- c) para que uma viagem de automóvel possa utilizar o modo combinado sua origem deve estar fora da área de influência dos estacionamentos dissuasórios;
- d) para que uma viagem de automóvel possa utilizar o modo combinado, seu destino deve estar dentro da área de influência das estações do BRT ou de um dos estacionamentos dissuasórios.

A máxima distância de caminhada, para o traçado da área de influência das estações e dos estacionamentos dissuasórios, foi definida com base na pesquisa de entrevistas domiciliares de Porto Alegre (EDOM), realizada em 2003. Mais de 99% dos motoristas entrevistados na EDOM declararam caminhar no máximo 5 minutos do local de estacionamento até o destino final de viagem (EPTC, 2004).

Considerando uma velocidade de caminhada de 1,20 metros/segundo, a distância máxima de caminhada dos motoristas de Porto Alegre é equivalente a 360 metros. Dessa forma, para que o modo combinado seja utilizado, o destino da viagem deve estar dentro de um círculo de raio igual a 360 metros ao redor da estação ou estacionamento dissuasório do BRT. A figura 16 apresenta o traçado da rede do BRT com a localização dos portais e estações e as respectivas áreas de influência.



**Figura 16 - Áreas de influência dos portais e estações do BRT**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

Utilizando os critérios acima definidos foram selecionados 26 destinos possíveis para viagens utilizando o modo combinado. Esses destinos correspondem às 23 estações do BRT e aos 3 estacionamentos dissuasórios.

## 5.2.2 Estimativa do modelo de divisão modal

A estimativa do modelo de divisão modal entre automóvel e modo combinado envolveu três etapas distintas: a construção e aplicação da pesquisa de preferência declarada, para a coleta dos dados, a análise dos dados coletados e a estimativa do modelo.

### 5.2.2.1 Pesquisa de preferência declarada

A pesquisa de preferência declarada foi o método de coleta de dados selecionado para a construção do modelo de divisão modal. Como o objetivo do modelo é prever a atração de viagens em automóvel para o modo combinado, o público alvo da pesquisa foi definido como motoristas de automóvel.

Não foram realizadas estratificações com relação à situação sócio-econômica do entrevistado ou características da viagem apesar de estas informações terem sido coletadas, no momento da entrevista, para análise posterior.

As alternativas da pesquisa eram:

- a) fazer toda a viagem de automóvel ou;
- b) fazer a viagem usando o modo combinado (automóvel + ônibus)

A alternativa “automóvel” foi mantida constante ao longo do questionário e tinha o objetivo de representar a viagem realizada atualmente pelo entrevistado. A pesquisa foi customizada para dois tipos de viagens: viagens curtas, com tempo total estipulado em 30 minutos, e viagens longas, com tempo total estipulado em 50 minutos. Na aplicação da pesquisa era selecionado o questionário cujo tempo de viagem era o mais próximo do experimentado pelo entrevistado.

O atributo custo de viagem, descritivo da alternativa “automóvel” junto com o tempo total de viagem, foi calculado para ambos os questionários, isto é, questionário de viagens curtas e de viagens longas, considerando uma velocidade média de deslocamento de 20 km/h, um consumo de combustível de 12,5 litros/Km e o preço médio da gasolina praticado por postos de abastecimento de Porto Alegre na época da pesquisa. A este custo de combustível foi adicionado o preço do estacionamento de R\$ 4,50.



A velocidade média de deslocamento e o valor do estacionamento foram baseados em pesquisas realizadas em Porto Alegre. O valor do estacionamento corresponde a um turno de 5 horas. O valor do turno foi adotado como uma média entre os motoristas que pagam estacionamento mensal e os motoristas que pagam por turno. Foram obtidos, dessa forma, os valores de R\$ 8,00, para o custo da viagem em automóvel correspondente ao tempo total de viagem de 30 minutos, e R\$ 11,00, correspondente ao tempo total de 50 minutos.

Os atributos descritivos do modo combinado “custo total da viagem” e “tempo total de viagem” foram definidos pela variação dos atributos correspondentes na alternativa “automóvel” na seguinte proporção: -50%, -30% e +30%. Os atributos tempo de espera e lotação foram variados também em três níveis: 3 minutos, 5 minutos e 10 minutos, para o tempo de espera, e 2 passageiros/m<sup>2</sup>, 3 passageiros/m<sup>2</sup> e 5 passageiro/m<sup>2</sup>, para a lotação do veículo. A tabela 2 apresenta as alternativas, atributos e níveis que compõem a pesquisa de preferência declarada.

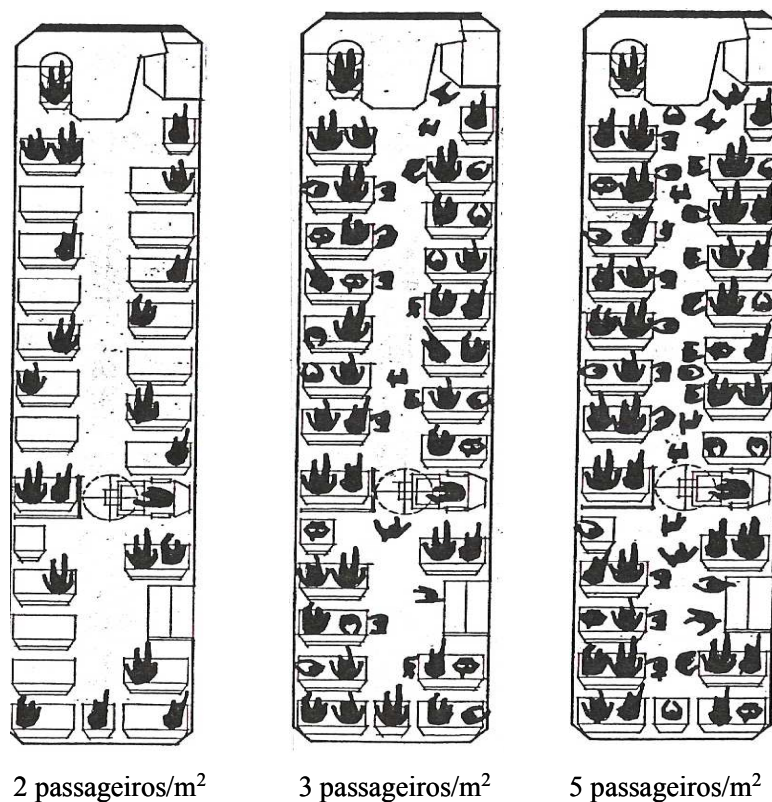
**Tabela 2 - Estrutura da pesquisa de preferência declarada**

Alternativa	Atributo	Níveis	
Automóvel	Tempo total de viagem	30 minutos	50 minutos
	Custo	R\$ 8,00	R\$ 11,00
Modo Combinado	Tempo total de viagem	15 minutos	25 minutos
		21 minutos	35 minutos
		39 minutos	65 minutos
	Custo	R\$ 4,00	R\$ 5,00
		R\$ 6,00	R\$ 7,50
		R\$ 11,00	R\$ 14,00
Tempo de espera	2 minutos	2 minutos	
	5 minutos	5 minutos	
	10 minutos	10 minutos	
Lotação do veículo	2 passageiros/m <sup>2</sup>	2 passageiros/m <sup>2</sup>	
	3 passageiros/m <sup>2</sup>	3 passageiros/m <sup>2</sup>	
	5 passageiros/m <sup>2</sup>	5 passageiros/m <sup>2</sup>	

Fonte: tabela elaborada pela autora (2009)

Os níveis de lotação do veículo foram definidos com base em estudo desenvolvido por De Toni (1994) sobre a relação entre a preferência modal do usuário e o nível de serviço do transporte público. O atributo “lotação” é apresentado na pesquisa de forma gráfica sendo que as figuras descritivas dos níveis de lotação do veículo são provenientes deste estudo.

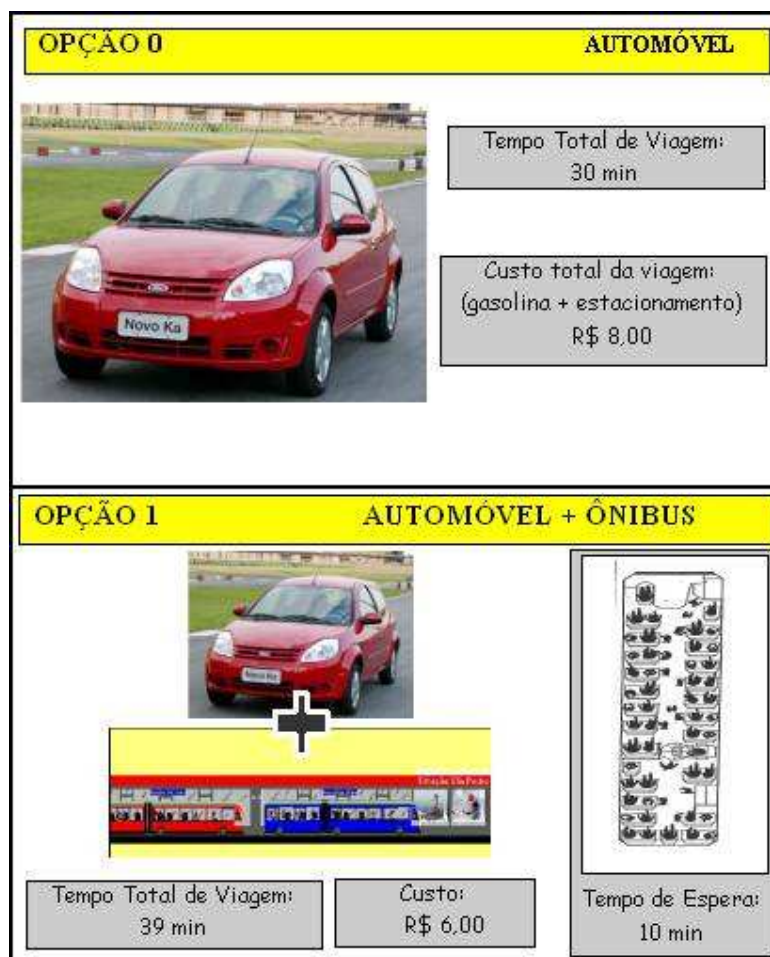
Os níveis de lotação foram escolhidos de forma a representar diferentes níveis de conforto no transporte público. Foram evitadas relações muito altas entre número de passageiros e área do transporte público considerando que os entrevistados são usuários de automóvel e, não seria lógica a troca caso as condições de conforto fossem muito inferiores a experienciada no automóvel. A figura 17 ilustra a representação dos três níveis de conforto conforme apresentados na pesquisa. A figura 18 apresenta um cenário de escolha para viagem de automóvel com 30 minutos de duração.



**Figura 17 – Níveis de conforto do BRT para a pesquisa de preferência declarada**

Fonte: adaptada de De Toni (1994)

Para a construção dos cenários foi montado um projeto fatorial do tipo  $3^4$  resultando em 81 combinações possíveis. Para simplificação, considerando o tempo e os recursos disponíveis para aplicação da pesquisa, o projeto foi fracionado em 1/3 resultando em 3 blocos de 27 combinações.



**Figura 18 - Exemplo de cenário de escolha da pesquisa de preferência declarada**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

O bloco pesquisado foi desmembrado em 3 questionários distintos, de 9 combinações cada, denominados questionário 1, questionário 2 e questionário 3. Em cada questionário foi eliminada uma das combinações, por ter todos os atributos superiores ou inferiores à alternativa automóvel, de forma que os questionários aplicados possuíam apenas 8 combinações.

Cada questionário foi montado para as duas opções de tempo total de viagem, 30 minutos e 50 minutos. Como as variações são as mesmas para os dois conjuntos de questionários, não houve necessidade de duplicação da amostra. A amostra foi calculada em 80 entrevistas para cada questionário resultando num total de 240 entrevistas. A pesquisa foi aplicada no período de 11 a 13 de junho de 2008.

#### 5.2.2.2 Análise

A amostra entrevistada na pesquisa se caracteriza por ser predominantemente do sexo masculino (78,40%), ter pouca representação acima de 60 anos (4,88%) e ter renda superior a R\$ 3.000,00 (67,90%). Os entrevistados costumam realizar viagens de automóvel com frequência (52,42% viajam 5 vezes ou mais por semana).

Um teste de análise de variância do tipo Anova, foi aplicado à amostra para verificar a influência das variáveis sócio-econômicas e das características da viagem de cada na escolha do modo de transporte utilizado. O teste Anova verifica a hipótese nula de que vários grupos diferentes têm a mesma média. O resultado do teste Anova é a estatística F. Para que a hipótese nula seja rejeitada é necessário que o valor de F calculada no teste seja maior do que o valor de F tabelada.

Para aplicar o teste Anova é necessário que as categorias em que está dividida cada variável tenha um número aproximado de ocorrências. As variáveis idade e renda familiar tiveram algumas de suas categorias reagrupadas devido à pouca representatividade na amostra.

Para a variável idade foram agrupadas as categorias “46 a 60 anos” e “mais de 60 anos” que possuíam, respectivamente, 26 e 5 entrevistas. A variável renda familiar teve reagrupamento nas categorias “até R\$ 1.500,00 reais” e “mais de R\$ 1.500,00 a R\$ 3.000,00”, com 11 e 29 entrevistas, respectivamente. A variável sexo não foi analisada devido a grande diferença de ocorrências entre as duas categorias: feminino e masculino. A tabela 3 apresenta o número de entrevistados em cada categoria analisada, após o agrupamento.

Para um nível de significância de 0,05 apenas a variável frequência apresentou diferença significativa na média entre os grupos. Entrevistados com menor frequência (1 a 2 vezes na semana) optaram pelo modo combinado um maior número de vezes que àqueles que viajam com mais frequência.

**Tabela 3 - Amostra por categoria**

Variável	Níveis	Entrevistas
Idade	18 a 35 anos	39
	36 a 45 anos	43
	Mais de 46 anos	34
Estacionamento	Na rua/gratuito	57
	Na rua/pago	52
	Em garagem/gratuito	17
	Em garagem/pago	29
Frequência de uso do automóvel	1 a 2 vezes/semana	13
	3 a 4 vezes/semana	43
	5 ou mais vezes/semana	61
Renda familiar	Até R\$ 3.000,00	48
	Mais de R\$ 3.000,00 a R\$ 5.000,00	46
	Mais de R\$ 5.000,00	61

Fonte: tabela elaborada pela autora (2009)

A fim de verificar uma possível distorção do teste devido a pouca ocorrência de entrevistas com frequência de viagem de 1 a 2 vezes por semana, o teste foi realizado novamente após o agrupamento desta categoria com a frequência de 3 a 4 vezes por semana. O resultado continuou indicando diferença entre os grupos com o grupo de frequência inferior apresentando maior predisposição à alteração de modo de viagem. A tabela 4 apresenta os resultados do teste Anova.

Tabela 4 – Resultado do teste Anova

Variável	Fcalculado	Ftabelado	Resultado do teste
Idade	2,71	3,08	Não significativa
Estacionamento	1,44	2,66	Não significativa
Frequência	4,11	3,08	Significativa
Frequência com reagrupamento	5,08	3,92	Significativa
Renda familiar	0,17	3,06	Não significativa

Fonte: tabela elaborada pela autora (2009)

### 5.2.2.3 Estimativa do modelo

O modelo de divisão modal foi estimado utilizando-se o software gratuito Biogeme (BIERLAIRE, 2008). Foram testadas diversas combinações de atributos para a composição das funções utilidade do estacionamento dissuasório e do automóvel. Os atributos testados foram tempo, custo, tempo de espera e lotação.

Os atributos tempo e custo foram definidos como variáveis genéricas, isto é, com o mesmo coeficiente para as duas funções utilidade. Nos modelos, as variáveis  $T_A$ ,  $T_{MC}$ ,  $C_A$ ,  $C_{MC}$  e  $T_e$  representam, respectivamente, o tempo de viagem em automóvel, o tempo de viagem no modo combinado, o custo de viagem em automóvel, o custo de viagem no modo combinado e o tempo de espera dos usuários do modo combinado pelo transporte público. Estes atributos são representados por variáveis do tipo contínua.

O atributo lotação foi incluído no modelo como duas variáveis *dummy*. A variável *dummy* é uma variável binária que assume o valor 0 quando o atributo não está presente na escolha e 1 quando está presente. O número de variáveis *dummies* que representam um determinado atributo com “n” níveis será sempre “n-1”.

Como o atributo lotação tem 3 níveis, a lotação igual a 2 passageiros/m<sup>2</sup> foi escolhida como referência e foram criadas duas variáveis: “LOTA3”, correspondente a lotação de 3 passageiros/m<sup>2</sup>, e “LOTA5”, correspondendo a lotação de 5 passageiros/m<sup>2</sup>. Para o modo automóvel foi incluída a constante “α”, representando os fatores que influenciam na escolha modal mas não foram incluídos no modelo.

Inicialmente foi estimado um modelo utilizando como atributos dos modos automóvel e modo combinado apenas o tempo e o custo de viagem. A este modelo foram adicionados os demais atributos analisando-se a performance dos modelos com relação ao modelo inicial.

A significância dos atributos que compõem os modelos foi analisada com o teste-t. Para um nível de confiança de 95%, o valor da estatística t deve ser igual ou superior a 1,96. Dos atributos analisados, somente o “tempo de espera” não foi significativo em nenhum modelo em que foi incluído.

O modelo selecionado apresentou medida de performance ( $\rho^2$ ) ajustado igual a 0,289. Este valor é considerado um bom ajuste conforme Órtuzar e Willumsem (2001). As equações 22 e 23 apresentam a função utilidade para o automóvel e para o modo combinado.

$$U_A = 0,655 - 0,0629T_A - 0,460C_A \quad \dots(22)$$

$$U_{MC} = -0,0629T_{MC} - 0,460C_{MC} - 1,08LOTA3 - 1,36LOTA5 \quad \dots(23)$$

Onde:

$U_A$ = utilidade do automóvel,

$T_A$ = tempo de viagem para o modo automóvel,

$C_A$ = custo da viagem para o modo automóvel,

$U_{MC}$ = utilidade do estacionamento dissuasório,

$T_{MC}$ = tempo de viagem para o modo combinado,

$C_{MC}$ = custo da viagem para o modo combinado,

LOTA3= variável *dummy* para a lotação do veículo igual a 3 passageiros/m<sup>2</sup> e,

LOTA5= variável *dummy* para a lotação do veículo igual a 5 passageiros/m<sup>2</sup>.

Analisando os coeficientes dos atributos, nos modelos estimados, todos apresentaram sinais compatíveis com o esperado. A constante  $\alpha$  é positiva indicando que, se o resultado dos demais termos de ambas as utilidades for igual, existe uma preferência pelo uso do automóvel. Os demais atributos são negativos indicando que um aumento nos seus valores causa redução na utilidade do modo associado.

O valor do coeficiente, em módulo, indica a importância do atributo na escolha do modal associado. Os atributos lotação e custo destacam-se como os fatores que mais influenciam na escolha do modo de transporte. No caso do atributo lotação, o coeficiente de “LOTA5” é superior, em módulo, ao de “LOTA3” indicando que um acréscimo na lotação do BRT tem efeito negativo na sua utilidade. A tabela 5 apresenta os valores estimados dos parâmetros, de erro e dos testes de significância para os atributos do modelo selecionado.

A taxa marginal de substituição do tempo em relação ao custo, conhecida como valor do tempo, para o modelo estimado, é obtida através da razão entre os coeficientes dos dois atributos. Foi obtido o valor de R\$ 0,14/min para o valor do tempo dos entrevistados. Este valor foi considerado consistente com o obtido em estudos similares.

O estudo do Plano integrado de transporte e mobilidade urbana (PITMurb) apresenta valores do tempo em caminhada, em espera e no veículo. Foi avaliado o tempo com a agregação de todos os modos considerados no estudo, automóvel, ônibus, lotação e trensub, e discriminado por modo de transporte (TRENDS/SISTRAN, 2007).

Para valores do tempo, considerando todos os modos de transporte, foi obtido R\$ 0,098/min para tempo de espera e de caminhada e R\$ 0,058/min para o tempo no veículo. Considerando apenas o automóvel, os valores são R\$ 0,282/min, R\$ 0,297/min e 0,121/min e considerando apenas o ônibus, R\$ 0,060/min, R\$ 0,086/min e R\$ 0,047/min, respectivamente (TRENDS/SISTRAN, 2007).



**Tabela 5 - Análise dos parâmetros do modelo selecionado**

Atributo	Parâmetro	Erro padrão	Teste-t
Constante do automóvel	0,655	0,230	2,85
Tempo (min)	-0,0629	0,00817	-1,70
Custo (R\$)	-0,460	0,0383	-12,01
LOTA3	-1,08	0,219	-4,92
LOTA5	-1,36	0,212	-6,42

Fonte: tabela elaborada pela autora (2009)

### 5.2.3 Modelagem das viagens em automóvel

O modelo SATURN foi utilizado para realizar as etapas de alocação e simulação da matriz de viagens em automóvel à rede viária do município de Porto Alegre. O SATURN é utilizado em Porto Alegre desde o final da década de 90. A rede viária modelada no software abrange em torno de 11% das vias do município, e quase a totalidade das vias primárias e secundárias da área mais densamente povoada.

A rede modelada possui aproximadamente 708 km de vias formados por 3.444 arcos e 2.137 nós. A figura 19 compara a rede modelada com a rede viária total de Porto Alegre. Para a aplicação do método foi utilizada toda a rede modelada.

A rede modelada tem um zoneamento de tráfego composto por 119 zonas, baseado na divisão utilizada nas pesquisas de entrevistas domiciliares de 1980 e de 2003. Para estudar a transferência de viagens em automóvel para o modo combinado foi necessária uma adaptação das zonas de tráfego para incluir as zonas de influência das estações e dos portais do BRT.

A figura 20 mostra o zoneamento original, com 119 zonas, e o zoneamento construído para o estudo formado por 116 zonas de tráfego. Foram inseridas 23 zonas correspondentes às estações e 3 zonas correspondentes aos portais. Algumas dessas novas zonas se sobrepuseram às antigas, que foram eliminadas.

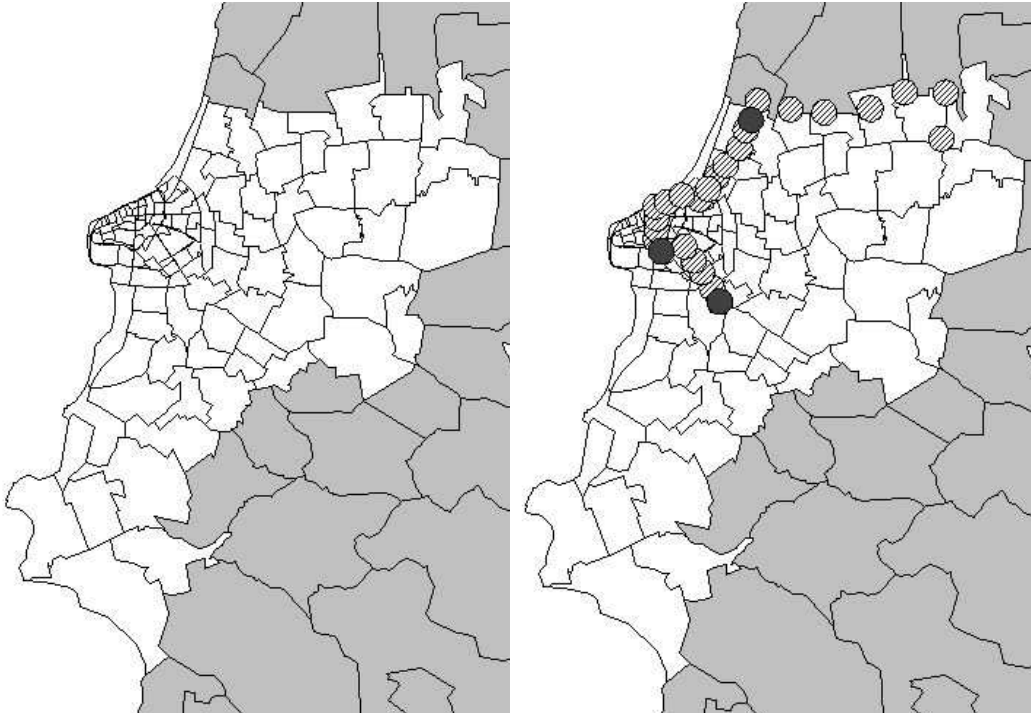


**Figura 19 - Rede modelada de Porto Alegre**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

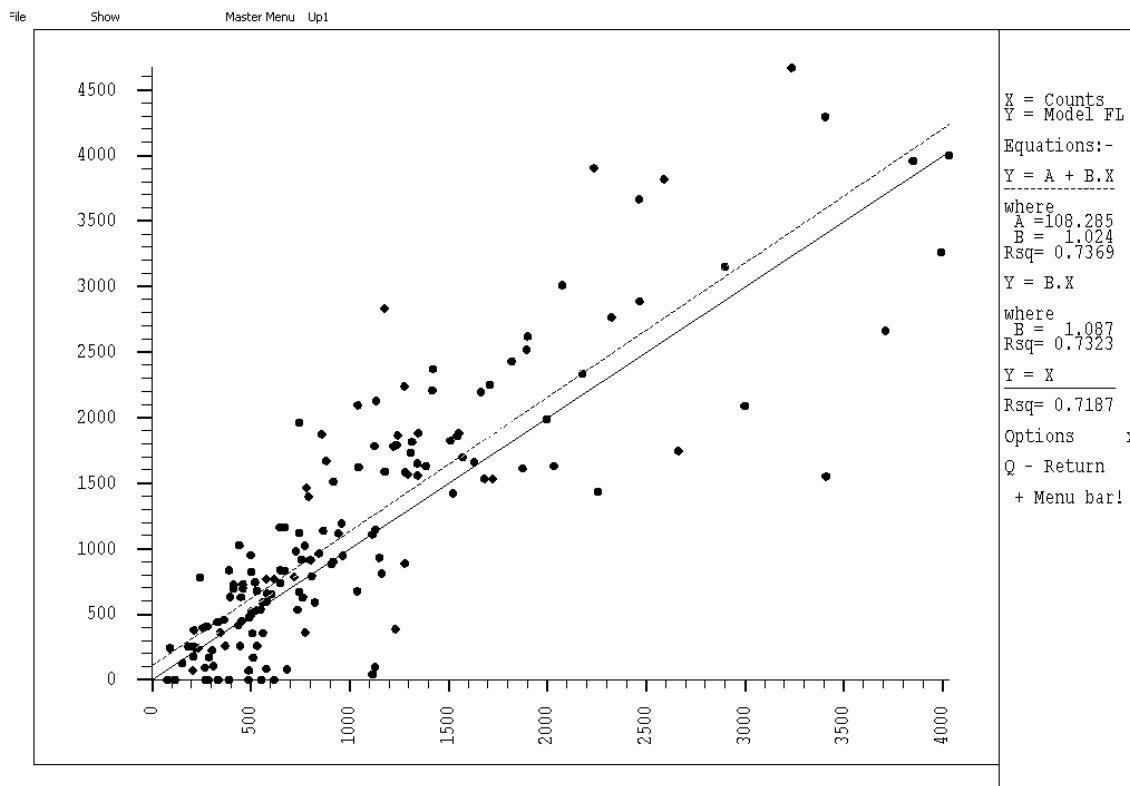
Após a alocação das viagens e subsequente simulação rede modelada, o ajuste entre os fluxos modelados e os fluxos reais, provenientes de contagens de tráfego, foi de aproximadamente 0,70. Este ajuste pode ser observado na figura 21 onde são apresentadas as três equações do modelo de regressão dos fluxos com os respectivos índices de ajuste  $R^2$ . A figura 22 apresenta os fluxos alocados na rede viária, visualizados como barras de espessura variável em que cada milímetro representa 1.000 uvps (unidades de veículo padrão).

As matrizes de tempo e distância, geradas pelo SATURN, foram calculadas considerando todas as rotas alocadas durante o processo iterativo de alocação e simulação, ponderadas pelo percentual de viagens em relação as demais rotas do par O/D. Acredita-se ter, dessa forma, um resultado mais realista do que a utilização apenas dos resultados da rota de custo mínimo.



**Figura 20 - Zonas de tráfego originais e adequadas para o estudo**

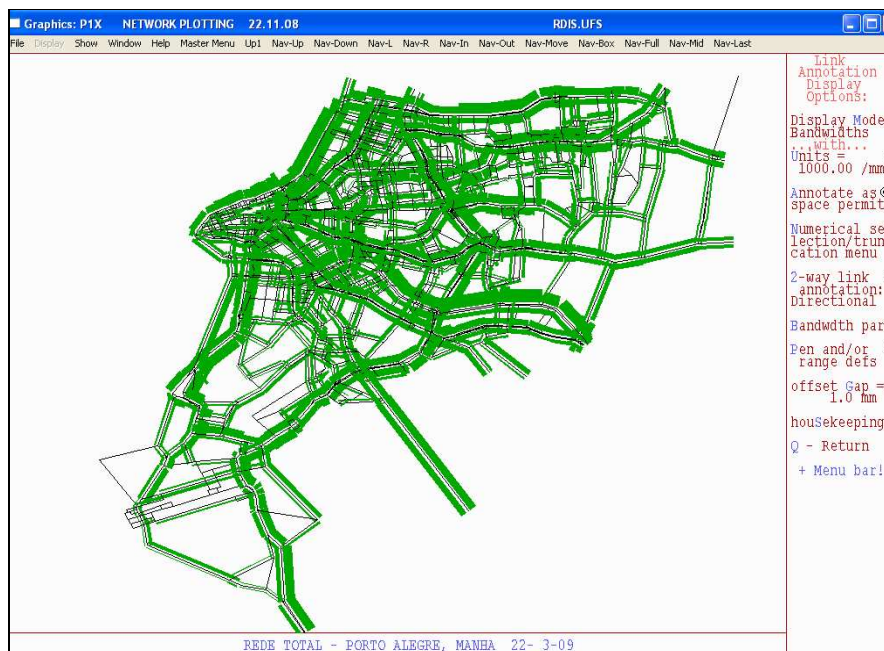
Fonte: figura elaborada pela autora (2009)



**Figura 21 – Equações de regressão do ajuste entre os fluxos modelados e os reais**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

A unidade da matriz de tempo, gerada pelo SATURN, é segundos e da matriz de distância, metros. Para composição do modelo de divisão modal, estas unidades devem ser transformadas para minutos e quilômetros, respectivamente.



**Figura 22 - Fluxos alocados na rede modelada**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

#### 5.2.4 Estimativa das viagens para o modo automóvel e para o modo combinado

A estimativa da divisão modal para as viagens que atualmente utilizam o automóvel inicia com o cálculo das funções utilidade dos modos automóvel e combinado. Esta etapa foi realizada externamente ao SATURN utilizando as planilhas do excel. Foram construídas 34 planilhas sendo que, as quatro primeiras são para a entrada de dados e as demais para a realização dos cálculos necessários para a estimativa do percentual de viagens em cada um dos modos de transporte.

As planilhas de entrada são compostas por uma planilha de configuração de parâmetros do modelo de divisão modal, uma planilha com a matriz de viagens em automóvel para o pico da manhã, conforme utilizada no SATURN, uma planilha com os dados de tempo de viagem e uma com os dados de distância de viagem, provenientes da última modelagem realizada no SATURN.

Como o processo é iterativo, a cada iteração são substituídas as planilhas de tempo, de distância de viagem e a matriz de viagem em automóvel, pelas calculadas na última iteração. A figura 23 apresenta o conjunto com as três planilhas de dados provenientes do SATURN: matriz de viagens (planilha 1), matriz de tempo de viagem (planilha 2) e matriz de distancia de viagem (planilha 3).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Matriz inicial</b>							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7
5	1	0,00	1,00	0,37	0,42	1,26	0,42	12,16
6	2	1,00	0,00	1,19	0,84	1,26	0,42	12,03
7	3	0,84	0,84	0,00	0,21	0,62	0,21	30,11
8	4	0,42	0,42	1,00	0,00	3,00	1,00	24,09
9	5	1,61	1,61	3,83	3,83	0,00	4,32	69,20
10	6	0,54	0,54	1,28	1,28	3,00	0,00	30,73
11	7	23,89	23,89	232,00	51,21	9,04	3,93	0,00
12	8	0,96	0,96	1,45	0,29	0,88	0,29	11,02
13	9	1,11	0,37	0,88	0,88	50,79	0,56	16,35
14	10	0,54	0,54	1,28	1,28	3,00	1,00	6,28
15	11	7,04	7,04	2,57	2,57	2,01	2,01	39,03

	A	B	C	D	E	F	G	H
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7
5	1	0,00	1,44	2,30	3,43	4,50	6,89	
6	2	1,16	0,00	1,71	2,98	4,05	6,44	
7	3	0,59	1,24	0,00	1,31	2,38	4,77	
8	4	2,12	2,76	1,34	0,00	1,07	3,46	6,30
9	5	1,52	2,17	0,74	1,01	0,00	2,01	5,70
10	6	2,29	2,93	1,51	1,77	0,51	0,00	6,50
11	7	3,61	2,51	1,71	2,20	3,27	5,76	0,00
12	8	1,62	0,51	0,00	1,84	2,91	5,30	3,95
13	9	5,23	5,88	4,45	4,72	3,46	2,82	5,03
14	10	2,07	2,72	1,29	1,55	0,29	1,33	4,57
15	11	4,62	5,26	3,82	4,09	2,83	2,27	8,37
16	12	4,17	3,76	3,05	3,54	4,61	7,00	0,38
17	13	7,94	9,58	9,29	9,56	8,25	7,64	8,69
18	14	3,54	5,20	6,02	7,80	8,94	11,46	4,20

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>DISTANCIA (metros)</b>							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7
5	1	0,00	336,00	688,00	622,00	808,00	1435,00	1382,55
6	2	270,00	0,00	500,00	504,00	690,00	1317,00	1194,13
7	3	427,00	437,00	0,00	232,00	418,00	1045,00	1332,87
8	4	859,00	869,00	282,00	0,00	186,00	813,00	1764,67
9	5	1076,00	1086,00	499,00	541,00	0,00	544,11	1981,67
10	6	1710,00	1720,00	1133,00	1175,00	424,00	0,00	2593,22
11	7	1083,05	816,00	441,00	509,00	695,00	1305,12	0,00
12	8	362,00	108,00	0,00	390,00	576,00	1203,00	998,78
13	9	2305,41	2315,41	1728,41	1770,41	1019,41	683,00	1104,81
14	10	1531,00	1541,00	954,00	996,00	245,00	463,00	1109,24
15	11	2122,11	2130,84	1544,52	1586,52	835,52	375,49	2035,50

Figura 23 – Planilhas de dados de entrada

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

### 5.2.4.1 Matriz de utilidade do automóvel

Para o cálculo da matriz utilidade de viajar em automóvel, são necessários o tempo e o custo da viagem em automóvel. O tempo é proveniente da matriz de tempo de viagem e o custo é calculado com base na matriz de distância de viagem.

Conforme definido na pesquisa de preferência declarada, o custo é formado por uma parcela fixa, representando o preço do estacionamento, e uma parcela variável, representando o custo de combustível para realizar a viagem. Para o custo do combustível foi considerado o valor do litro da gasolina igual a R\$ 2,53/litro e um consumo médio de combustível de 12,5 litros/km. O valor obtido, em reais/km é posteriormente multiplicado pela matriz de distância.

Para o custo do estacionamento foi estipulado um valor de R\$ 4,50. Este valor é referente ao preço de um turno de estacionamento (5 horas) pesquisado em Porto Alegre, em novembro de 2007. O custo do combustível é proveniente da pesquisa de preços da ANP, Agência Nacional de Petróleo, no período de 1 a 7 de março de 2009, em Porto Alegre. A figura 24 apresenta as planilhas utilizadas para o cálculo do custo (planilha 4) e da utilidade de viajar em automóvel (planilha 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	CUSTO (R\$)							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7
5	1	4,50	4,64	4,78	4,75	4,83	5,08	5,06
6	2	4,61	4,50	4,70	4,70	4,78	5,03	4,98
7	3	4,67	4,68	4,50	4,59	4,67	4,92	5,04
8	4	4,85	4,85	4,61	4,50	4,58	4,83	5,21
9	5	4,94	4,94	4,70	4,72	4,50	4,72	5,30
10	6	5,19	5,20	4,96	4,98	4,67	4,50	5,55
11	7	4,94	4,83	4,68	4,71	4,78	5,03	4,50
12	8	4,65	4,54	4,50	4,66	4,73	4,99	4,90
13	9	5,43	5,44	5,20	5,22	4,91	4,78	4,95
14	10	5,12	5,12	4,89	4,90	4,60	4,69	4,95
15	11	5,36	5,36	5,13	5,14	4,84	4,65	5,32

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	UTILIDADE							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7
5	1	-1,44	-1,68	-1,86	-1,99	-2,16	-2,57	-2,33
6	2	-1,63	-1,44	-1,75	-1,91	-2,08	-2,50	-2,22
7	3	-1,59	-1,68	-1,44	-1,65	-1,82	-2,23	-2,29
8	4	-1,87	-1,95	-1,66	-1,44	-1,61	-2,03	-2,66
9	5	-1,83	-1,91	-1,63	-1,67	-1,44	-1,79	-2,53
10	6	-2,05	-2,13	-1,84	-1,88	-1,58	-1,44	-2,74
11	7	-2,10	-1,91	-1,74	-1,81	-1,98	-2,41	-1,44
12	8	-1,71	-1,52	-1,44	-1,74	-1,91	-2,33	-2,12
13	9	-2,53	-2,61	-2,32	-2,36	-2,06	-1,92	-2,28
14	10	-1,99	-2,07	-1,78	-1,82	-1,52	-1,69	-2,22
15	11	-2,42	-2,50	-2,21	-2,25	-1,95	-1,79	-2,87

Figura 24 – Matrizes de cálculo de custo e utilidade de viagens em automóvel

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

#### 5.2.4.2 Matriz de Utilidade do modo combinado

O uso do modo combinado pressupõe a utilização de um dos três estacionamentos dissuasórios disponíveis: ED1, ED2 ou ED3. A utilidade do modo combinado é uma função de maximização das utilidades calculadas usando cada um dos estacionamentos disponíveis, para cada par origem/destino. Dessa forma, é necessário, inicialmente, calcular a utilidade de usar o modo combinado com o estacionamento dissuasório 1, com o estacionamento dissuasório 2 e com o estacionamento dissuasório 3.

Para compor a função utilidade dos três estacionamentos dissuasórios, as matrizes de tempo e distância de viagem, provenientes do SATURN, também são desmembradas originando três matrizes de tempo e três matrizes de distância. Cada matriz de tempo e de distância é, ainda, decomposta em duas partes: uma matriz de tempo/distância da origem até o estacionamento dissuasório, trecho realizado em automóvel, e uma matriz de tempo/distância do estacionamento dissuasório até o destino, trecho realizado no BRT.

Para o trecho realizado em automóvel, o valor de tempo e de distância é retirado diretamente da matriz de tempo/distância proveniente do SATURN. Para o trecho da viagem no BRT, o tempo é função da distância entre o estacionamento dissuasório e o destino (estação ou estacionamento dissuasório do BRT) e da velocidade operacional do BRT. O custo da viagem neste trecho é composto apenas do custo da tarifa do transporte público cujo valor considerado foi de R\$ 2,30.

A lotação do veículo é um atributo fixo, isto é, não é função do tempo e da distância de viagem. Para aplicação do método, foram consideradas duas lotações distintas: 2 passageiros/m<sup>2</sup> e 5 passageiros/m<sup>2</sup>. Inicialmente a utilidade com o parâmetro lotação foi calculada para todas as viagens, sem restrição de tempo mínimo de duração. Como os percentuais de alteração para o modo combinado foram muito elevados em viagens de pouca duração, o que não é lógico devido o inconveniente da transferência, foi estipulado um limite de tempo mínimo de viagem igual a 15 minutos para utilização o modo combinado.

A figura 25 apresenta as planilhas referentes ao tempo de viagem entre a origem e o ED1 (estacionamento dissuasório Zumbi dos Palmares) e a distância entre a origem e o ED1 e entre o ED1 e o destino, planilhas 6, 7 e 8, respectivamente. As matrizes de tempo e de distância da origem até o estacionamento dissuasório são matrizes coluna e a matriz de distância entre o estacionamento dissuasório e o destino é uma matriz linha.

	A	B	N	O	P	Q	R	S
1	<b>TEMPO</b>							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	13	14	15	16	17	18
5	1				3,21			
6	2				4,36			
7	3				4,53			
8	4				6,06			
9	5				5,46			
10	6				6,27			
11	7				3,26			
12	8				5,00			
13	9				6,04			
14	10				5,66			
15	11				7,37			

	A	B	O	P	Q	R	S	T
1	<b>DISTÂNCIA</b>							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	14	15	16	17	18	19
5	1			1708,00				
6	2			1696,00				
7	3			2668,00				
8	4			3100,00				
9	5			3317,00				
10	6			3924,03				
11	7			1821,00				
12	8			1600,14				
13	9			1788,74				
14	10			1660,71				
15	11			2135,12				

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>DISTÂNCIA PORTAL-ESTAÇÃO</b>							
2								
3		DESTINO						
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7
5	1							
18	14							
19	15					1413,42	1851,39	1100,84
20	16							
21	17							
22	18							
23	19							
24	20							
25	21							
26	22							
27	23							

Figura 25 – Matrizes de tempo e distância de viajar no modo combinado utilizando o estacionamento dissuasório 1

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)



A figura 26 apresenta as planilhas de tempo, custo e utilidade de viajar no modo combinado utilizando o estacionamento dissuasório 1. O tempo de viagem, apresentado na planilha 9, é a soma, para cada par origem/destino, do tempo de viagem da origem até o ED1 e do ED1 até o destino. O cálculo do custo, planilha 10, é realizado da mesma forma juntando o custo de viajar no trecho em automóvel ao custo da tarifa. A planilha 11 apresenta a utilidade calculada.

	A	B	C	D	E	F	G	H							
1	<b>TEMPO</b>														
2															
3	DESTINO														
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7							
5	1					24,90	27,53	29,03							
6	2					27,20	29,82	31,32							
7	3					27,54	30,17	31,67							
8	4					30,59	33,22	34,72							
9	5					29,40	32,03	27,53							
10	6					31,02	33,64	29,14							
11	7					25,00	27,63	23,13							
12	8					28,48	31,11	26,61							
13	9					30,56	33,19	28,69							
14	10					29,80	32,42	27,92							
15	11					33,22	35,85	31,34							
16	12					34,28	36,91	33,40							
TEMPO ZUMBI / TEMPO CAIRU / TEMPO AZE															
	A	B	C	D	E	F	G	H							
1	<b>CUSTO</b>														
2															
3	DESTINO														
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7							
5	1					5,29	5,29	5,29							
6	2					5,29	5,29	5,29							
7	3					5,68	5,68	5,68							
8	4					5,85	5,85	5,85							
9	5					5,94	5,94	5,94							
10	6					6,19	6,19	6,19							
11	7					5,34	5,34	5,34							
12	8					5,25	5,25	5,25							
13	9					5,32	5,32	5,32							
14	10					5,27	5,27	5,27							
15	11					5,46	5,46	5,46							
16	12					5,94	5,94	5,94							
CUSTO ZUMBI / CUSTO CA															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	<b>UTILIDADE</b>														
2															
3	DESTINO														
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	1														
42	38							-7,26					-7,15		
43	39							-6,92							
44	40							-6,68							
45	41														
46	42					-6,44	-6,60								
47	43					-6,24	-6,41				-6,57				
48	44						-5,66								
49	45					-6,48	-6,64				-6,80				
50	46							-7,74					-7,62		
51	47					-7,61	-7,49						-7,36		
52	48					-7,46	-7,37						-7,26		
U ZUMBI / U CAIRU / U AZENHA / U DISSUA															

Figura 26 – Cálculo da utilidade de viajar no modo combinado usando o estacionamento dissuasório 1

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

O mesmo procedimento é aplicado para o cálculo da utilidade utilizando os outros dois estacionamentos dissuasórios. A matriz de utilidade de viajar no modo combinado, planilha 12, é obtida pela seleção da máxima utilidade, entre os três estacionamentos dissuasórios, célula a célula (figura 27).

The figure displays two Excel spreadsheets. The top spreadsheet shows utility matrices for three parking lots: ZUMBI, CAIRU, and AZENHA. The bottom spreadsheet shows the resulting utility matrix for AZENHA, with cell N12 circled in red.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	UTILIDADE														
2															
3		DESTINO													
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	1														
42	38							-7,26					-7,15		
43	39							-6,92							
44	40							-6,68							
45	41														
46	42					-6,44	-6,60								
47	43					-6,24	-6,41					-6,57			
48	44						-5,66								
49	45					-6,48	-6,64					-6,80			
50	46							-7,74						-7,62	
51	47					-7,61		-7,49						-7,38	
52	48					-7,49		-7,37						-7,26	
8	4					-6,75	-6,58	-6,86				-6,42	-6,97		
9	5					-6,60	-6,44	-6,72				-6,28	-6,83		
10	6					-6,42	-6,26	-6,54				-6,10	-6,65		
11	7					-6,75	-6,58	-6,87				-6,42	-6,98		13 14
12	8					-6,69	-6,53	-6,81				-6,37	-6,92		
13	9					-6,18	-6,02	-6,30				-5,86	-6,41		
14	10					-6,23	-6,06	-6,34				-5,90	-6,46		
15	11					-5,96	-5,79	-6,07				-5,63	-6,19		
11	7					-6,01	-6,17	-6,89				-3,26	-3,00		
12	8					-6,20	-6,37	-6,08				-3,48	-3,21		
13	9					-6,09	-6,26	-5,97				-3,36	-3,08		
14	10					-6,02	-6,18	-5,90				-3,32	-3,05		
15	11					-6,24	-6,41	-6,12				-3,47	-3,19		
11	7					-6,67	-6,34	-6,57				-3,47	-3,07		

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	UTILIDADE														
2															
3		DESTINO													
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
56	52					-6,73	-6,90	0,00				-7,06	0,00		
57	53					0,00	-6,00	0,00				0,00	0,00		
58	54					0,00	-6,07	0,00				0,00	0,00		
59	55					-7,51	-7,67	-7,39				-7,83	-7,28		
60	56					-7,58	-7,41	-7,70				0,00	-7,81		
61	57					-7,98	-7,81	-8,10				0,00	-8,21		
62	58					-8,99	-8,82	-9,11				-8,67	-9,08		
63	59					-8,32	-8,48	-8,20				-8,64	-8,09		
64	60					-7,70	-7,87	-7,59				-8,03	-7,47		
65	61					-7,14	-7,30	-7,02				-7,46	-6,91		
66	62					-7,37	-7,54	-7,25				-7,70	-7,14		
67	63					-7,60	-7,65	-7,56				-8,04	-7,15		

Figura 27 – Cálculo da utilidade de viajar no modo combinado

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

### 5.2.4.3 Divisão modal das viagens de automóvel

Com base nas matrizes de utilidade de viajar em automóvel e no modo combinado, calculadas conforme descrição do item anterior, são estimadas as proporções de viagem utilizando as equações 24 e 25 apresentadas a seguir. São geradas, dessa forma, uma matriz de probabilidade de usar o automóvel, planilha 13, e uma matriz de probabilidade de usar o modo combinado, planilha 14, as quais podem ser visualizadas na figura 28.

$$P_{i_{jA}} = \frac{e^{U_{ijA}}}{e^{U_{ijA}} + e^{U_{ijMC}}} \quad \dots(24)$$

$$P_{ijMC} = \frac{e^{U_{ijMC}}}{e^{U_{ijA}} + e^{U_{ijMC}}} \quad \dots(25)$$

The figure displays two Excel spreadsheets side-by-side, labeled 13 and 14. Both spreadsheets have columns A through M and rows 1 through 16. Spreadsheet 13 is titled 'PROPORÇÃO VIAGENS CARRO - LOGIT' and Spreadsheet 14 is titled 'PROPORÇÃO VIAGENS ED - LOGIT'. Both have a 'DESTINO' row in column B and a 'ORIGEM' row in column A. The data rows (5-16) show values for origins 1-12. In Spreadsheet 13, the values are 1.00 for origins 5-12 and 0.00 for origins 1-4. In Spreadsheet 14, the values are 0.00 for origins 5-12 and 0.00 for origins 1-4. The status bar at the bottom of both spreadsheets shows '%CARRO' and '%ED'.

Figura 28 – Matrizes de probabilidade de viagens no automóvel e no modo combinado

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

A multiplicação da matriz de probabilidade de usar o modo combinado pela matriz de viagens de automóvel, planilha 1, origina a matriz de viagens que foram transferidas do automóvel para o modo combinado, planilha 17 da figura 29. A multiplicação da matriz de probabilidade de usar o automóvel pela matriz de viagens de automóvel origina a matriz preliminar de viagens em automóvel.

	A	B	C	D	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	<b>VIAGENS ORIGEM-ZUMBI</b>														
2															
3		DESTINO													
4	ORIGEM	1	2	3	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
5	1				0,04							0,00			
6	2				0,01							0,00			
7	3				0,00							0,00			
8	4				0,00							0,00			
9	5				0,00							0,00			
10	6				0,00							0,00			
11	7				0,03							0,00			
12	8				0,01							0,00			
13	9				0,00							0,00			
14	10				0,00							0,00			
15	11				0,00							0,00			
16	12				0,00							0,00			

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	<b>NOVA MATRIZ CARRO - LOGIT</b>											
2												
3		DESTINO										
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	1	0,00	1,00	0,37	0,42	1,26	0,42	12,16	0,25	0,37	0,42	0,44
6	2	1,00	0,00	1,19	0,84	1,26	0,42	12,03	0,82	0,37	0,42	0,43
7	3	0,84	0,84	0,00	0,21	0,62	0,21	30,11	1,00	0,18	0,21	0,21
8	4	0,42	0,42	1,00	0,00	3,00	1,00	24,09	1,00	5,33	1,00	3,62
9	5	1,61	1,61	3,83	3,83	0,00	4,32	69,20	3,83	3,84	23,05	5,22
10	6	0,54	0,54	1,28	1,28	3,00	0,00	30,73	1,28	0,89	1,00	3,62
11	7	23,89	23,89	232,00	51,21	9,04	3,93	0,00	10,00	2,41	3,00	3,34
12	8	0,96	0,96	1,45	0,29	0,88	0,29	11,02	0,00	0,26	0,29	1,06
13	9	1,11	0,37	0,88	0,88	50,79	0,56	16,35	0,88	0,00	2,79	2,13
14	10	0,54	0,54	1,28	1,28	3,00	1,00	6,28	1,28	0,80	0,00	9,84
15	11	7,04	7,04	2,57	2,57	2,01	2,01	39,03	2,57	15,35	3,06	0,00
16	12	0,88	0,88	1,36	0,29	0,88	0,29	11,02	0,00	0,26	0,29	1,06

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	<b>MATRIZ MODO COMBINADO</b>												
2													
3		DESTINO											
4	ORIGEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	1					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
6	2					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
7	3					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
8	4					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
9	5					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
10	6					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
11	7					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
12	8					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
13	9					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
14	10					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
15	11					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00
16	12					0,00	0,00	0,00				0,00	0,00

Figura 29 – Matrizes de viagens transferidas para o modo combinado

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

À esta matriz preliminar devem ser acrescentados os trechos iniciais das viagens transferidas para o modo combinado, representado pelas viagens que utilizam o estacionamento dissuasório 1 na planilha 15 da figura 29. A planilha 16, da mesma figura anteriormente citada, ilustra a nova matriz de viagens em automóvel.

A matriz assim obtida é comparada, então, à matriz de viagem em automóvel da iteração anterior. Em nenhuma das aplicações foi alcançado o critério de parada. Entretanto, após 15 iterações decidiu-se encerrar o processo considerando que a diferença percentual entre uma iteração e outra, após as  $x$  primeiras iterações, era muito pequena indicando que seria necessário um número de iterações muito elevado para encontrar o critério de término.

### 5.3 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do método. Foi avaliado o impacto da transferência de viagens para o estacionamento dissuasório no desempenho do sistema viário, através da análise de parâmetros gerais de eficiência da rede. Não foi analisado o impacto de viagens extras no sistema de transporte público.

Foi estimado o percentual de viagens em automóvel transferidas para o estacionamento dissuasório e analisadas as principais zonas de origem e destino das viagens no modo combinado e o potencial de atração de cada um dos três estacionamentos dissuasórios previstos no estudo de caso.

#### 5.3.1 Parâmetros gerais de rede

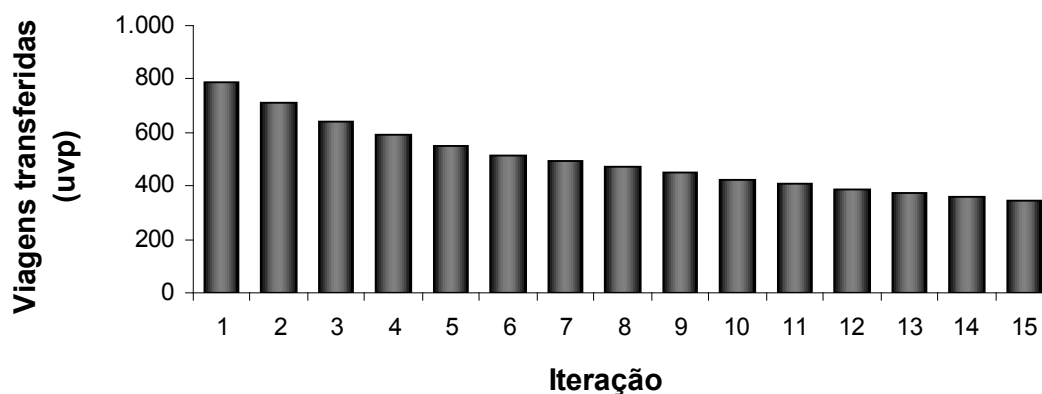
Foram simulados três cenários. O primeiro cenário teve o valor da variável lotação fixado em 2 passageiros/m<sup>2</sup> representando a melhor situação de conforto que o usuário poderia encontrar e, portanto, a maior atração de demanda possível para o modo combinado. Este cenário apresentou um percentual muito alto de transferência de viagens do automóvel para o modo combinado em viagens de curta duração. Considerando-se que o uso do modo combinado envolve um desconforto, devido à transferência, este resultado não é coerente com o esperado.

Com a finalidade de evitar distorções devido a superestimativa de transferência das viagens curtas, foi inserida uma restrição à troca de modo de transporte em função do tempo de viagem. Dessa forma, foi estipulado que o modo combinado só podia ser utilizado se o tempo de viagem em automóvel, obtido na etapa de modelagem, fosse superior a 15 minutos.

Foram simulados, posteriormente, dois cenários incorporando a restrição de tempo mínimo de viagem. Estes cenários, denominados cenário 2 e cenário 3, tinham o valor do atributo lotação fixado em 2 passageiros/m<sup>2</sup> e 5 passageiros/m<sup>2</sup>, respectivamente. O cenário inicial, sem restrição, foi denominado cenário 1.

O cenário 3 representa a pior situação de conforto para o usuário apresentada na pesquisa de preferência declarada. Foi considerada importante a análise da atração de demanda para os dois valores extremos de lotação do veículo de transporte público, pois este atributo tem o segundo maior coeficiente, em módulo, na função utilidade do modo combinado.

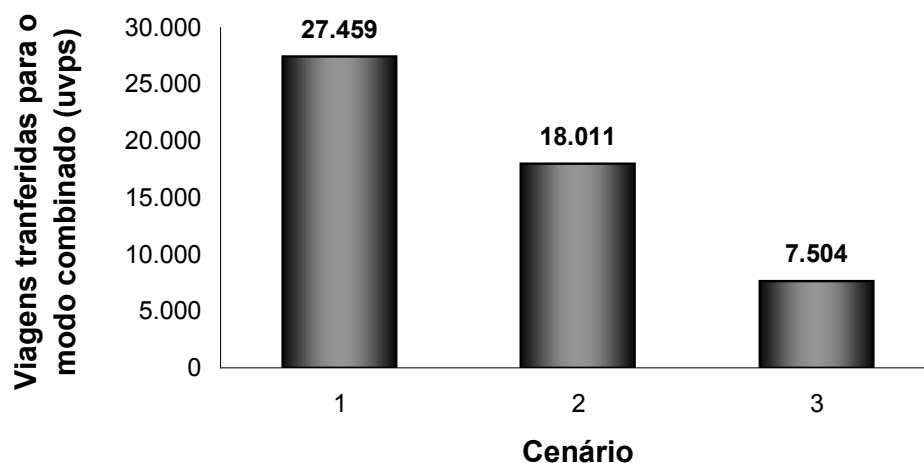
Na aplicação do método, ao estudo de caso, foram realizadas 15 iterações para cada cenário. Considerando-se a curva de viagens transferidas a cada iteração apresentada no gráfico 1, para o cenário 3, é possível concluir que o processo se estabiliza após a iteração de número 10 de forma que, a realização de iterações adicionais tende a produzir pouca alteração entre matrizes sucessivas.



**Gráfico 1 – Viagens transferidas para o modo combinado no cenário 3**

Fonte: gráfico elaborado pela autora (2009)

O gráfico 2 apresenta o total de viagens transferidas para o modo combinado, em cada cenário, ao final das 15 iterações. A incorporação da restrição de tempo mínimo de viagem para uso do modo combinado, única diferença entre os cenários 1 e 2, reduziu o número de viagens transferidas em 34,41%. Comparando-se o cenário 3 com o cenário 2, a redução do conforto do passageiro, representada pelo aumento da lotação do veículo, resultou em menos 42% de transferência de viagens em automóvel para o modo combinado.



**Gráfico 2- Total de viagens transferidas para o modo combinado em cada cenário**

Fonte: gráfico elaborado pela autora (2009)

Para analisar o impacto da transferência de viagens em automóvel para o modo combinado, no desempenho da rede viária, foram selecionados três parâmetros de desempenho, gerados na modelagem no SATURN. Os parâmetros utilizados foram a “distância total de viagem”, o “tempo total de viagem” e a “velocidade média da rede”.

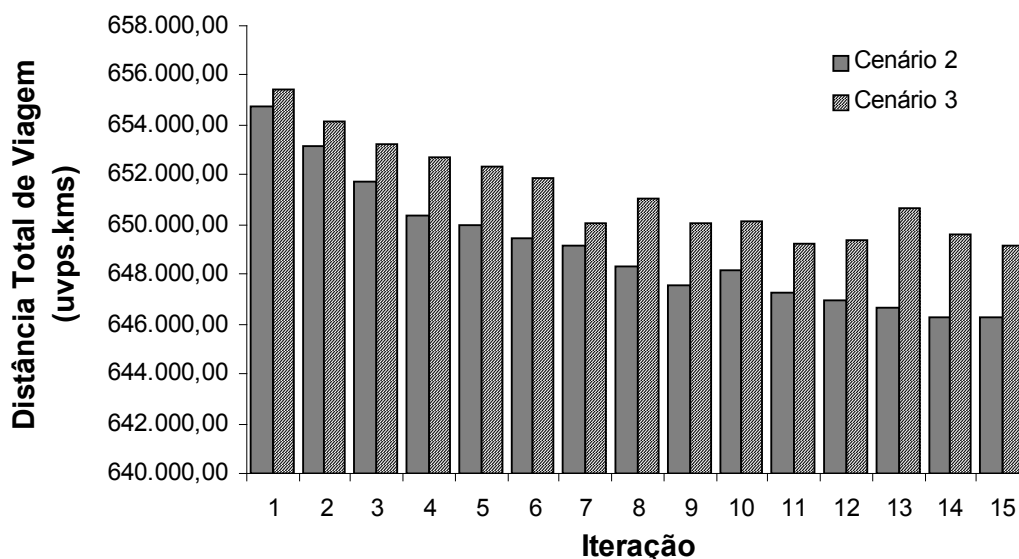
A distância total de viagem é definida como o somatório das distâncias das rotas utilizadas multiplicado pelo fluxo de veículos alocados a cada rota dentro do período modelado. A unidade do parâmetro distância total é uvp.kms (VAN VLIET, 2008). Com a transferência de viagens para o modo combinado é esperada uma redução na distância total de viagem em automóvel na rede viária.

O tempo total de viagem considera o tempo em deslocamento, conforme calculado na etapa de simulação, e os tempos perdidos em atrasos ao longo das rotas utilizadas. A unidade do parâmetro tempo total de viagem é uvp.hs (VAN VLIET, 2008). É esperado que o uso do modo combinado reduza os tempos de viagem através da redução das distâncias percorridas.

A velocidade média da rede é obtida pela razão entre a distância total e o tempo total de viagem. A unidade da velocidade é km/h. As análises subseqüentes são apresentadas apenas para os cenários 2 e 3 considerando que o cenário 1 superestimou os resultados. Os gráficos 3 e 4 apresentam respectivamente as distâncias e tempos totais de viagem obtidos em cada iteração.

Todas as comparações e análises apresentadas a seguir consideram a diferença entre o valor do parâmetro obtido na rede modelada com a matriz original, onde todas as viagens eram realizadas em automóvel, e o valor do parâmetro na rede modelada com a matriz obtida na última iteração do método.

A distância total de viagem na rede modelada com a matriz original é de 657.119,10 uvps.kms. Após as 15 iterações foram obtidos os seguintes valores para os cenários 2 e 3, respectivamente: 646.274,40 uvps.kms e 648.958,60 uvps.kms. Estes valores equivalem a uma redução na distância total de viagem, de 1,65% no cenário 2 e de 1,20% no cenário 3.

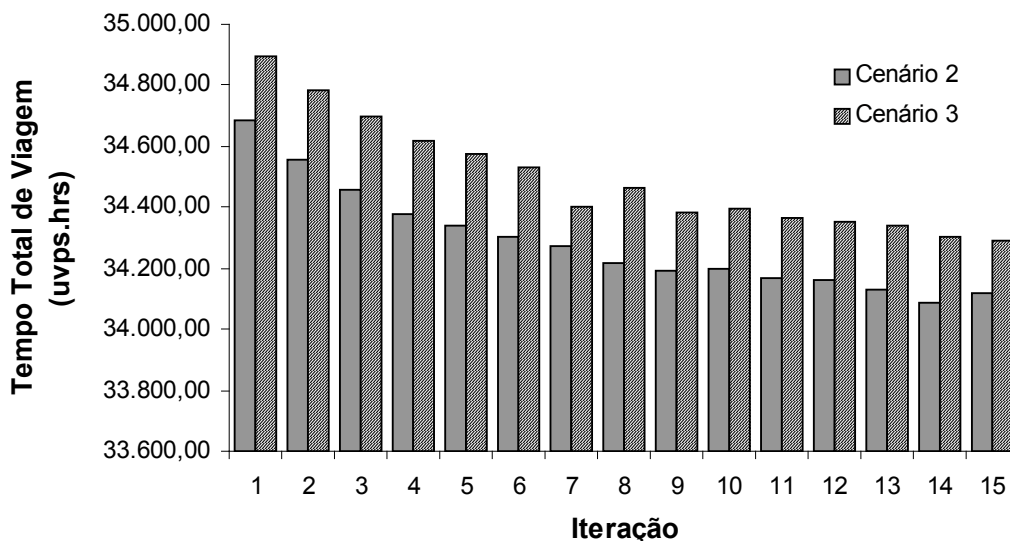


**Gráfico 3 - Distância total de viagem**

Fonte: gráfico elaborado pela autora (2009)

O tempo total de viagem, antes da divisão modal, é 34.983,90 uvps.hrs. O tempo total de viagem para os cenários, após as 15 iterações, é de 34.116,90 uvps.hrs, para o cenário 2 e 34.263,60 uvps.hrs para o cenário 3. Esses valores equivalem a reduções de 2,48% e 2,10%, respectivamente. A velocidade média da rede aumentou de 18,80 km/h, na rede com viagens somente em automóvel, para 18,90 km/h ao final das iterações, nos dois cenários.





**Gráfico 4 - Tempo total de viagem**

Fonte: gráfico elaborado pela autora (2009)

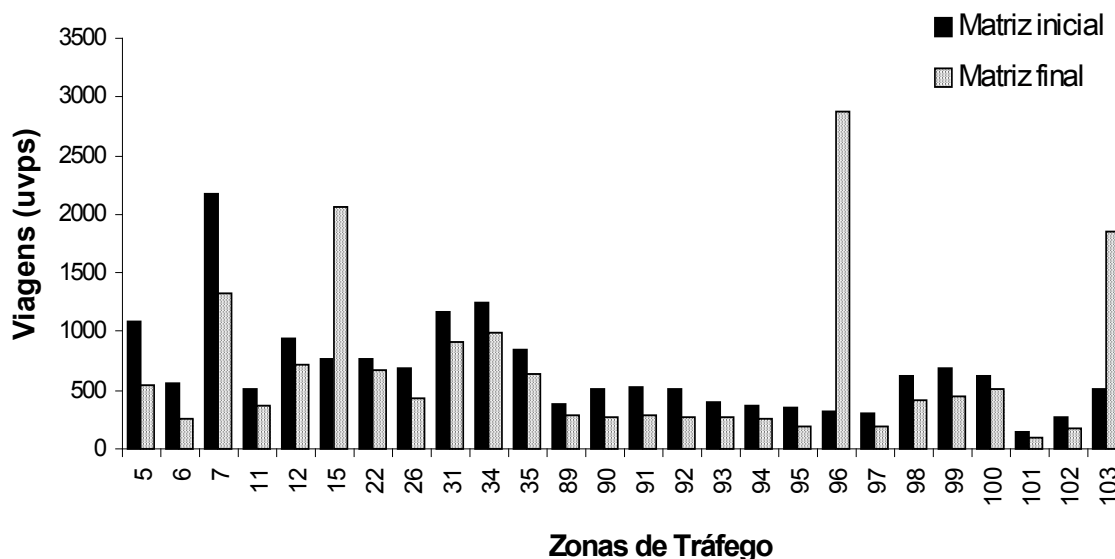
Apesar dos resultados sobre o desempenho da rede viária terem sido percentualmente modestos, 1,20% de redução na distância e 2,10% no tempo total das viagens em automóvel, em números absolutos equivalem a 8.160,50 uvps.kms e 720,30 uvps.hrs de viagens eliminadas na hora-pico, com as suas conseqüentes externalidades negativas.

### **5.3.2 Análise por zona de origem e destino das viagens transferidas para o modo combinado**

Os resultados obtidos para o cenário 2 e 3 são semelhantes diferindo apenas quanto à magnitude dos valores. Dessa forma, as análises a seguir serão realizadas apenas para o cenário 3. Este cenário foi escolhido por representar melhor a situação proposta no estudo de caso.

O BRT, como proposto no projeto Portais da Cidade, não é uma linha dedicada ao modo combinado, mas compartilhada com outros usuários de transporte público. No horário modelado, pico da manhã, é pouco provável a ocorrência de veículos com assentos vagos, situação do cenário 2 que possui o atributo lotação fixado em 2 passageiros/m<sup>2</sup>.

De acordo com os pressupostos adotados, existem 26 destinos possíveis para as viagens utilizando o modo combinado que correspondem às áreas de influência das estações do BRT, incluindo os três estacionamentos dissuasórios. A figura 36 compara o número de viagens em automóvel, para cada uma das 26 zonas de destino, na matriz original (matriz inicial) e na matriz de automóvel obtida após a última iteração do método (matriz final).



**Gráfico 5 - Viagens em automóvel nas matrizes inicial e final por zona de destino**

Fonte: gráfico elaborado pela autora (2009)

De acordo com o gráfico 5, as zonas 5, 6 e 7 aparecem como os principais destinos das viagens transferidas para o modo combinado, o que pode ser observado pela redução no número de viagens em automóvel da matriz original para a matriz da última iteração. Estas zonas se localizam na região central de Porto Alegre, área com restrições de acesso ao automóvel e ocorrência de congestionamentos.

As zonas 15, 96 e 103, ao contrário das demais apresentam um acréscimo no número de viagens em automóvel. Esse acréscimo é devido aos trechos iniciais das viagens transferidas para o modo combinado. Nestes trechos, a zona de destino da viagem passa a ser um dos estacionamentos dissuasórios. A Tabela 6 apresenta as viagens em automóvel que foram transferidas para o modo combinado, de acordo com o estacionamento utilizado.

**Tabela 6 – Viagens utilizando os estacionamentos dissuasórios**

Estacionamento dissuasório	Viagens (uvps)
1 (Portal Cairú)	2.545,81
2 (Portal Zumbi dos Palmares)	1.293,06
3 (Portal Azenha)	1.338,12
Total	5.177,00

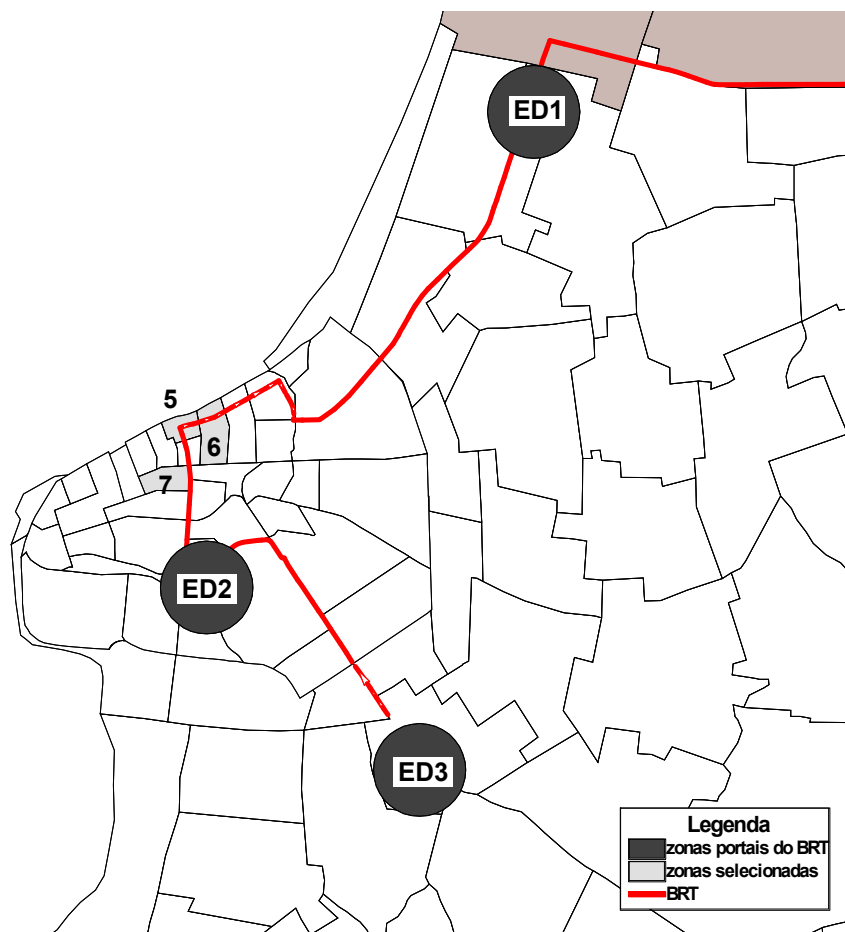
Fonte: tabela elaborada pela autora (2009)

O estacionamento dissuasório 1 atrai o maior número de viagens. Esse estacionamento localiza-se próximo a uma das entradas principais de Porto Alegre com fácil acesso para um grande número de viagens, provenientes dos municípios vizinhos e da zona norte da cidade, área densamente povoada.

Outro fator a ser considerado, é que este estacionamento está mais distante da zona central da cidade, onde se localizam as três zonas com maior atração de viagens no modo combinado, do que os demais. A figura 30 ilustra a posição das três zonas de maior atratividade em relação aos estacionamentos dissuasórios.

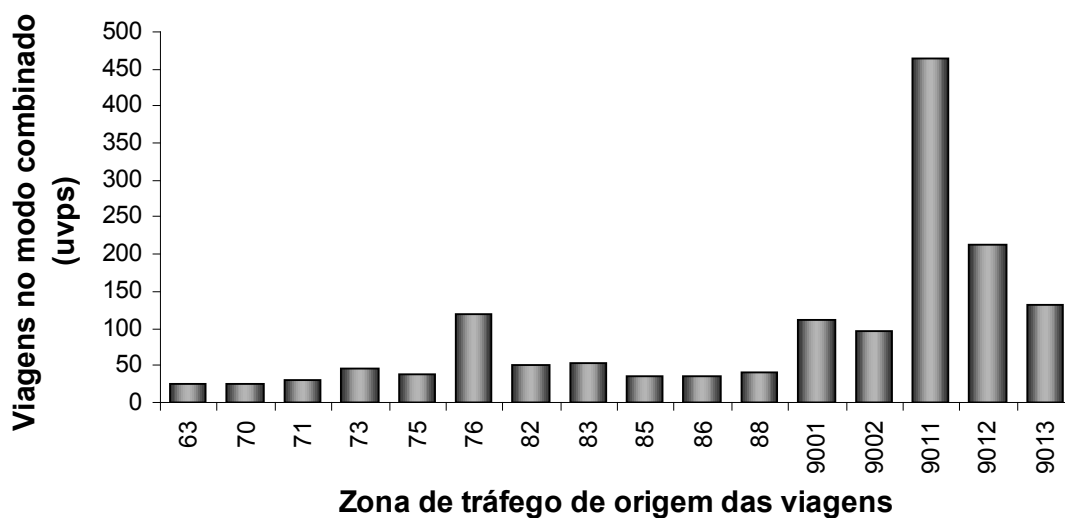
Analisando as origens das viagens no modo combinado, o maior número de viagens é proveniente das zonas externas à área modelada. Esse resultado é esperado já que estas zonas possuem, na matriz original, o maior número de viagens em automóvel. Para evitar distorções, o total de viagens transferidas, por zona, foi avaliado com relação ao número de viagens existentes na matriz original. Os resultados iniciais foram confirmados.

Das 116 origens possíveis de viagem para o modo combinado, aproximadamente 65% das zonas tiveram um percentual de transferência de viagens inferior a 1% de suas viagens na matriz original. O gráfico 6 apresenta as zonas com mais de 3% de transferência de viagens. Este valor foi estipulado de forma a manter os resultados mais relevantes e permitir uma melhor visualização do gráfico.



**Figura 30 – zonas de maior atratividade de viagens para o modo combinado**

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)



**Gráfico 6 – Viagens no modo combinado por zona de tráfego de origem**

Fonte: gráfico elaborado pela autora (2009)

Pode-se observar, no gráfico 6, o destaque das zonas externas 9001, 9002, 9011, 9012, 9013 e da zona 76 na origem das viagens no modo combinado. Analisando espacialmente as 16 zonas de origem apresentadas no gráfico 6, percebe-se que estas se concentram nos extremos sul e leste da cidade. A figura 31 apresenta esta disposição espacial.

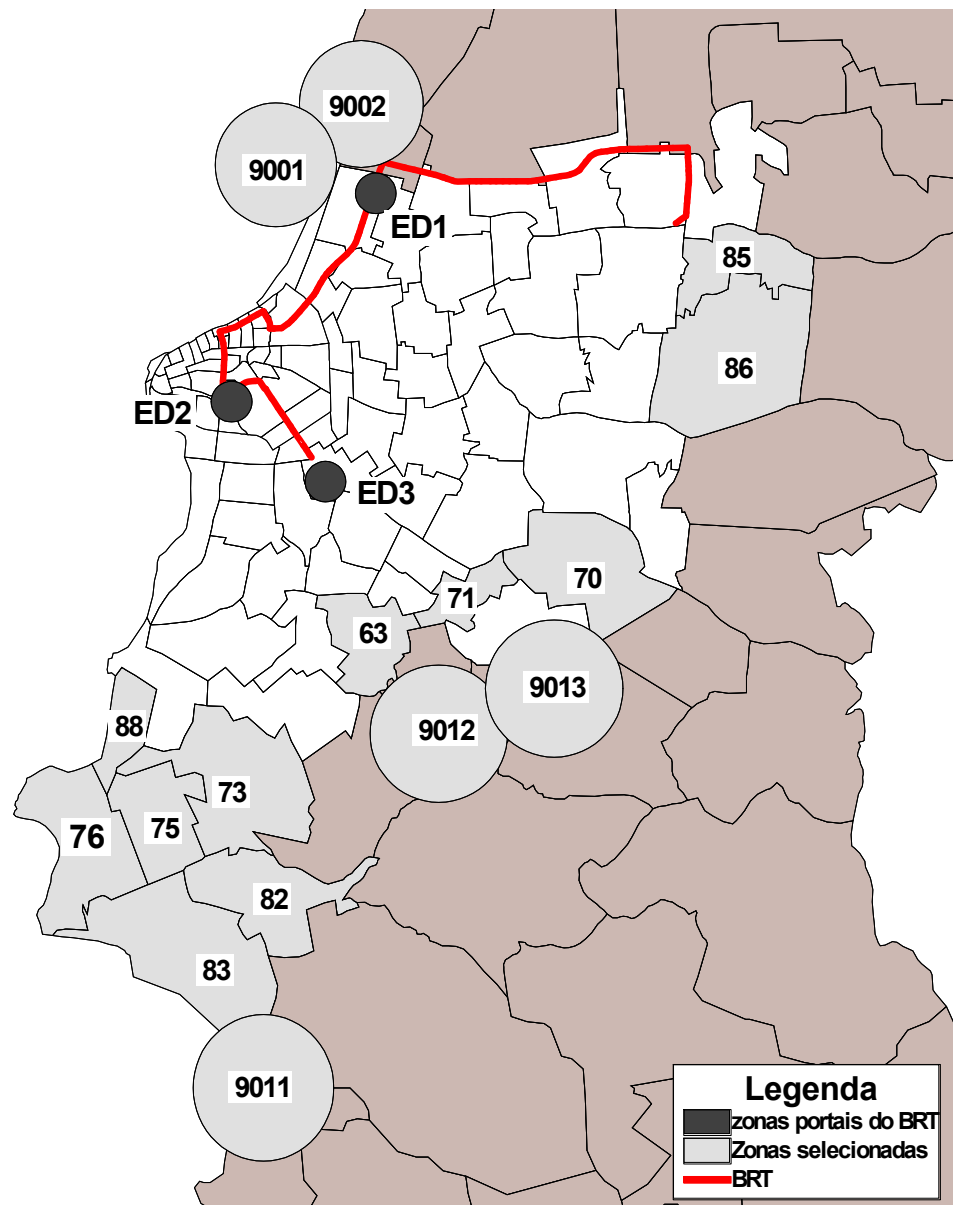


Figura 31 – Principais origens das viagens no modo combinado

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi abordada a utilização de estacionamentos dissuasórios para atração de parte das viagens realizadas por automóvel para o transporte coletivo. Viagens realizadas através da combinação de automóvel, estacionamento dissuasório e transporte coletivo foram denominadas de modo combinado.

O objetivo geral do trabalho foi a elaboração de um método para avaliar a potencial transferência de viagens originalmente realizadas em automóvel para o modo combinado. O método desenvolvido é composto de 4 etapas: caracterização do estudo, estimativa do modelo de divisão modal, modelagem das viagens por automóvel e estimativa das viagens para o modo automóvel e para o modo combinado.

A etapa de caracterização do estudo definiu os pressupostos utilizados na elaboração das demais etapas. Foram identificadas as zonas de origem e destino passíveis de terem suas viagens transferidas para o modo combinado. O principal produto desta etapa é a matriz de viagens potenciais do modo combinado, isto é, a matriz com os pares origem/destino que podem ter viagens transferidas para o modo combinado.

A etapa de estimativa do modelo de divisão modal inclui a concepção do modelo, o levantamento de dados, a estimativa, análise e escolha do modelo para a divisão modal entre automóvel e modo combinado. A concepção do modelo foi baseada em revisão bibliográfica e definiu os atributos e a forma do modelo. Os atributos escolhidos foram custo e tempo total de viagem, para ambos os modos de transporte, e lotação e tempo de espera pelo transporte coletivo, para o modo combinado.

Na etapa de modelagem foi utilizado um modelo de planejamento de transportes para alocar a matriz de viagens em automóvel na rede viária. O objetivo dessa etapa foi obter as matrizes de tempo e distância de viagem em automóvel para todos os pares origem-destino.

A etapa de estimativa das viagens para os modos automóvel e combinado compreendeu a aplicação dos modelos de divisão modal à matriz de viagens por automóvel. Como resultado dessa etapa, foram obtidas uma nova matriz de viagem por automóvel e a matriz de viagens realizadas através do modo combinado.

O método desenvolvido foi aplicado ao Projeto Portais da Cidade. Este projeto prevê a implantação de uma linha de transporte coletivo do tipo BRT (*Bus Rapid Transit*) na região central de Porto Alegre, vinculada a três terminais intermodais que podem funcionar como estacionamentos dissuasórios. Em acordo com as características do BRT, o projeto propõe um sistema de transporte diferenciado tanto na imagem e tecnologia dos veículos quanto em relação a sistema de informação aos usuários e serviços disponibilizados nas estações.

Para construir o modelo de divisão modal entre o automóvel e o modo combinado, foi montada uma pesquisa de preferência declarada. O principal desafio desta pesquisa era apresentar ao entrevistado a diferença entre o sistema de transporte público proposto para o modo combinado, linha do BRT, e o transporte existente em Porto Alegre.

Com os dados coletados foram geradas as funções de utilidade do automóvel e do modo combinado. Dos atributos considerados, tempo e distância total de viagem, tempo de espera e lotação do veículo de transporte público, dois se destacaram por apresentarem coeficientes bem maiores do que os demais: o custo e a lotação.

Por ser uma variável dummy, a lotação entrou como dois atributos diferentes, LOTA3 e LOTA5, representando ocupação de 3 passageiros/m<sup>2</sup> e de 5 passageiros/m<sup>2</sup>, respectivamente. O atributo LOTA5 teve o maior coeficiente do modelo, seguido pelo atributo LOTA3. Esse resultado evidencia que além da lotação ser uma característica importante na escolha do modo de transporte, quanto maior o nível de lotação do veículo maior o peso que este atributo exerce no processo de decisão.

A aplicação do método ao projeto Portais da Cidade, comprovou a importância do atributo lotação na atratividade dos usuários de automóvel para o modo combinado, representada pela diferença entre o número de viagens transferidas nos cenários 2 e 3. Esse resultado indica que a redução de lotação, e conseqüente aumento do conforto do transporte público é um fator preponderante para o aumento de demanda deste modo de transporte.

Os valores de tempos e distância necessários para a estimativa da divisão modal nos diversos pares origem/destino foram obtidos através dos resultados provenientes do modelo SATURN. A utilização do SATURN aliado ao modelo Logit permitiu a integração e a incorporação dos efeitos iterativos entre as etapas de alocação e divisão modal.

Cabe ressaltar que existem no mercado diversos modelos computacionais de planejamento de transportes que integram as tradicionais quatro etapas, e que potencialmente poderiam ser utilizados em um estudo desta natureza. A maioria destes modelos, no entanto, trabalha com a rede viária em um nível macroscópico. O SATURN, por ser um modelo mais detalhado, permite incorporar os atrasos provenientes de interseções, característica importante quando se trabalha com áreas com alto volume de tráfego, sujeita a congestionamentos, como a rede em estudo.

A aplicação do método proposto ao estudo de caso produziu resultados coerentes. As zonas de origem que mais transferiram viagens ao modo combinado localizam-se na periferia da cidade, em áreas em que o tráfego de veículos é menos intenso, e as zonas de destino com maior transferência estão no centro da cidade, em uma área mais congestionada e de difícil acesso para automóveis devido a restrições de circulação.

Os estacionamentos dissuasórios 2 e 3, que se localizam mais próximos ao centro e, portanto, em uma área com maiores problemas de tráfego, tiveram uma atratividade inferior ao estacionamento dissuasório 1 que encontra-se próximo da entrada da cidade. A literatura indica que estacionamentos muito próximos ao destino são pouco atrativos devido à necessidade de transbordo que é vista pelo motorista como uma penalidade.

Um estudo complementar, interessante para desenvolvimento futuro, é a avaliação da demanda para estacionamentos dissuasórios associados a outros modos de transporte público, de maior apelo junto a população, como o metrô, e a ampliação da área de estudo para a incorporação de viagens intermunicipais, principalmente dentro das regiões metropolitanas das capitais brasileiras.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association Of State Highway And Transportation Officials. AASHTO. **Guide for park-and-ride facilities**. 2003. 154 p.

ADAMOWICZ, W; LOUVIERE, J.; SWAIT, J. **Introduction to attribute-based stated choice methods**. Final report. Canadá, 1998. Disponível em: <<http://www.nero.noaa.gov/hcd/socio/statedchoicemethods.pdf>>. Acesso em: 03 de maio de 2007.

Associação Nacional de Transportes Públicos. ANTP. **Sistema de informações da mobilidade urbana: relatório geral 2007**. 2008. 34 p. Disponível em: <<http://portal1.antp.net/site/simob/Downloads/Relatório%20Geral%20de%202007.pdf>>. Acesso em: 06 de julho de 2009.

BAEHR, G. T. Park and Ride Lots of Success. **Mass Transit**, n. 9, p. 48-54, 1982.

BEIRÃO, G.; CABRAL, J. A. S. Understanding attitudes towards public transport and private car: a qualitative study. **Transport Policy**, v. 14, p. 478-489, 2007.

BIERLAIRE, M. **Recent methodological developments in discrete choice models**. Report TRANSP-OR 070415. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland. 2007. Disponível em: <[www.transp-or.epfl.ch](http://www.transp-or.epfl.ch)>. Acesso em: 03 de julho de 2008.

BIERLAIRE, M. **Estimation of discrete choice models with BIOGEME 1.6**. 2008. Disponível em: <[www.biogeme.epfl.ch](http://www.biogeme.epfl.ch)>. Acesso em: 03 de julho de 2008.

BIXBY, R. W. Park and Ride Schemes. **Highways and Transportation**, v. 35, n. 4, p. 12-14, 1988.

BOLGER, D.; COLQUHOUN, D. e MORRAL, J. Planning and design of park-and-ride facilities for the Calgary light rail transit system. **Transportation Research Record**, v. 1361, p. 141-148, 1992.

BOS, I.; MOLIN, E. Is there a 'stick' bonus? A stated choice model for P&R patronage incorporating cross-effects. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 6, n. 3, p. 275-290, 2006.

CAIRNS, M. R. The Development of Park and Ride in Scotland. **Journal of Transport Geography**, v. 6, n. 4, p. 295-307, 1997.

CARSON, R. et al. Experimental analysis of choice. **Marketing Letters**, v. 5, n. 4, p. 351 – 358, 1994.

CAUSSADE, S.; ÓRTUZAR, J. D.; RIZZI, L. I.; HENSHER, D. A. Assessing the influence of design dimensions on stated choice experiment estimates. **Transportation Research Part B**, v. 39, p. 621-640, 2005.

Center For Urban Transportation Research. CUTR. **Update of FDOT State park & ride lot program planning manual**. University of South Florida, 2001.

SHERWIN, H. **Park and ride – its role in local transport policy**. Campaign to Protect Rural England - CPRE, 1998. Disponível em: <[www.cpre.org.uk/filegrab/park-and-ride.pdf?ref=1867](http://www.cpre.org.uk/filegrab/park-and-ride.pdf?ref=1867)>. Acesso em: 9 de julho de 2009.

DE TONI, J.S. **A preferência e o conforto dos usuários no transporte coletivo urbano de passageiros: uso de técnicas de preferência declarada (stated preference) em corredor urbano de transporte coletivo por ônibus de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

DESHAZO, J. R.; FERMO, G. Designing choice sets for stated preference methods: the effects of complexity on choice consistency. **Journal of environmental economics and management**, v. 44, p. 123-143, 2002.

DICKINS, I. S. J. Park and ride facilities on light rail transit systems. **Transportation**, v. 18, n.1, p. 23-36, 1991.

DOMENCICH, T.; MCFADDEN, D. **Urban Travel demand: a behavioural analysis**. Amsterdam: North-Holland, 1975.

THE ENGLISH HISTORIC TOWNS FÓRUM. **Bus based park and ride**. A good practice guide. Bristol: Avon County Council Publicity and Advertising, 1993.

EPTC. **Entrevista domiciliar: Pesquisa de Origem e destino para Porto Alegre 2003**. Empresa Pública de Transporte e Circulação. Documento interno. Porto Alegre, 2004. 77 p.

FARHAN, B.; MURRAY, A. T. **A GIS-based approach for delineating market areas for park-and-ride facilities.** 2003. TRB 2003 Annual Meeting. 1 CD-ROM.

Federal Transit Administration. FTA. **Characteristics of Bus Rapid Transit for decision-making.** 2004. 301 p. Disponível em <[www.nbrti.org](http://www.nbrti.org)>. Acesso em: 06 de julho de 2009.

GUAN, H.; QIN, H.; LIU, X. **Modelling park-and-ride choice behavior based on a stated preference survey.** TRB 2006 Annual meeting. 1 CD-ROM.

HENDRICKS, S.; OUTWATER, M. Demand forecasting model for park and ride lots in King County, Washington. **Transportation Research Record**, v. 1623, p. 80-87, 1998.

HOLE, A. R. Forecasting the demand for an employee park and ride service using commuters' stated choice. **Transport Policy**, v. 11, n.4, p. 355-362, 2004.

HULL, E. **Application of a park-and-ride forecasting procedure in the Greater Vancouver transportation model.** In: ANNUAL INTERNATIONAL EMME/2 USER'S GROUP CONFERENCE, 13, 1998, Houston, Texas. Disponível em: <[http://www.inro.ca/en/pres\\_pap/international/ieug98/msword4.pdf](http://www.inro.ca/en/pres_pap/international/ieug98/msword4.pdf)>. Acesso em: 06 de julho de 2009.

JASON, J. Z.; FABER, O. **The use of EMME/2, SATURN, MapInfo, ACCES, EXCEL and ALOGIT in the CHUMMS Model.** In: EUROPEAN EMME/2 USER'S GROUP CONFERENCE, 10, 2001, Greece, Thessaloniki,. Disponível em: <[www.inro.ca/en/pres\\_pap/european/eeug01/jason\\_jh.doc](http://www.inro.ca/en/pres_pap/european/eeug01/jason_jh.doc)>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2009.

KECK, C. A. e LIOU, P. S. Forecasting demand for peripheral park-and-ride service. **Transportation Research Record**, v. 563, p. 63-74, 1976.

LOUVIERE, J. J.; HENSHER, D. A. e SWAIT, J. D. **Stated choice methods: analysis and applications.** United Kingdom, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

LUCE, R. D.; SUPPES, P. Preference, utility and subject probability. In: LUCE, R. D.; BUSH, R. R.; GALANTER, E. (eds). **Handbook of mathematical psychology.** New York: John Wiley & Sons, p. 252-410, 1965.

MACNALLY, M. G. **The activity-based approach.** Center for Activity Systems Analysis, Irvine: University of California, 2000. Disponível em: <<http://repositories.cdlib.org/itsirvine/casa/UCI-ITS-AS-WP-00-4/>>. Acesso em: 8 de janeiro de 2008.

MACKETT, R. L. Why do people use their cars for short trips? **Transportation**, v. 30, n. 3, p. 329-348, 2003.

MAIBACH, M. et al. **Handbook on estimation of external cost in the transport sector**. Delft, 2007. Disponível em: <[www.ce.nl](http://www.ce.nl)>. Acesso em: 03 de julho de 2009

MATHER, J. J. Guidelines and standarts for the planning, design, and operation of bus park-and-ride facilities. **Transportation Research Record**, v. 908, p. 1-6, 1983.

NOEL, E. C. Park-and-ride: Alive, Well, and expanding in the United States. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 114, n. 1, p. 2-13, 1988.

PAPACOSTAS, C. S.; PREVEDOUROS, P. D. **Transportation engineering and planning**. 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

OPPENHEIM, N. **Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium**. New York: Wiley, 1995.

ÓRTUZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling transport**. 3 ed. England, Chichester: John Wiley & Sons Ltda., 2001.

PARKHURST, G. Park and ride: could it lead to an increase in car traffic? **Transport Policy**, v. 2, n. 1, p. 15-23, 1995

PARKHURST, G. Influence of bus-based park and ride facilities on user's car traffic. **Transport Policy**, v. 7, p. 159-172, 2000a.

PARKHURST, G. A longer-range strategy for car-bus interchange: the "link-and-ride" concept. **Traffic Engineering and Control**, v.41, n. 8, p. 319-324, 2000b.

PARKHURST, G. **Dedicated bus-based park and ride services and the demand for public transport**. ESRC Transport Studies Unit, 2001.

PARKHURST, G., RICHARDSON, J. Modal Integration of Bus and Car in UK Local Transport Policy: The Case for Strategic Environmental Assessment. **Journal of Transport Geography**, v. 10, p. 195-206, 2002.

PARKHURST, G.; STOKES, G. **Park and ride in Oxford and York: report of surveys.** Working paper 797, Transport Studies Unit, 1994.

PAS, E. I. The urban transportation planning process. In: HANSON, S. **The geography of urban transportation.** New York: The Guilford Press, 1986.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. PMPA. **Portais da Cidade: manifestação de interesse. Modelo Conceitual.** Porto Alegre, 2007a. Disponível em: <[http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ppp/usu\\_doc/mi\\_anexo\\_i\\_modelo\\_conceitual.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ppp/usu_doc/mi_anexo_i_modelo_conceitual.pdf)>. Acesso em: 8 de março de 2007.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. PMPA. **Portais da Cidade: manifestação de interesse. Diretrizes do projeto funcional do BRT.** Porto Alegre, 2007b. Disponível em: <[http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ppp/usu\\_doc/mi\\_anexo\\_ii\\_diretrizes\\_projeto\\_funcional\\_brt.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ppp/usu_doc/mi_anexo_ii_diretrizes_projeto_funcional_brt.pdf)>. Acesso em: 29 de março de 2007.

RDC, Inc. **Activity-based modeling system for travel demand forecasting: Travel Model Improvement Program.** USA. 1995. Disponível em: <<http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/Amos/amos.pdf>>. Acesso em: 7 de janeiro de 2008.

RIBEIRO, S. K. et al. Transport and its infrastructure. In: METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A, **Climate change 2007: mitigation.** Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.p. 323-385.

SAKANO, R.; BENJAMIN, J.; BEN-AKIVA, M. **Evaluating effects of travel demand management in a medium-sized urban area.** North Carolina, 2001.

SARGIOUS, M. A.; JANARTHANAN, N. Forecasting demand for the park-and-ride mode and determining the optimal location of stations. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 10, n. 4, p. 695-702, 1983.

SEIK, F. T. Experience from Singapore's park-and-ride scheme (1975-1996). **Habitat International**, v. 21, n. 4, p. 427-443, 1997.

SPILLAR, R. J. **Park-and-Ride planning and design guidelines.** New York: Parsons Brinckerhoff Inc., 1997

TRAIN, K. **Qualitative choice analysis**: theory, econometrics, and an application to automobile demand. Massachusetts: MIT Press, 1993.

TRAIN, K. **Discrete choice methods with simulation**. University of California, Berkeley and National Economic Research Associates Inc., 2003. Disponível em: <<http://elsa.berkeley.edu/books/choice2.html>> Acesso em: 10 de maio de 2008.

PLANO INTEGRADO DE TRANSPORTE E MOBILIDADE URBANA (PITMurb). **Relatório Técnico**. Pesquisa de preferência declarada. Porto Alegre, 2007. 162 p.

WASHINGTON, S. P.; KARLAFTIS, M. G.; MANNERING, F. L. **Statistical and econometric methods for transportation data analysis**. USA: Chapman & Hall/CRC, 2003.

WILLIAMS, H. C. W. L. On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. **Environment and planning**, v. 9a, n.3, p. 285-344, 1977.

VAN VLIET, D. **SATURN Version 10.8 Manual**. 2008. Disponível em: <[https://saturnsoftware.co.uk/downloads/pdfs/SATURN%20v10.8%20Manual%20\(10.8.22%20All\).pdf](https://saturnsoftware.co.uk/downloads/pdfs/SATURN%20v10.8%20Manual%20(10.8.22%20All).pdf)> Acesso em: 17 de dezembro de 2008.

VUCHIC, V. R. **Urban transit**: systems and technology. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2007.

ZAKARIA, T., LATIF, A. e SALPEAS, P. P. Analysis of regional park-and-ride and Express bus service. **Transportation Research Record**, v. 915, p. 31-39, 1984.

**APÊNDICE A – CAPA DA PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA**

**PARA RESPONDER A PESQUISA A SEGUIR CONSIDERE UM SISTEMA DE TRANSPORTE (ÔNIBUS) COM AS SEGUINTE CARACTERÍSTICAS:**

**Veículos confortáveis e com design diferenciado:**



**Estacionamento coberto e seguro (câmeras, guardas) nas principais estações:**

**Informações sobre linhas e horários de chegada dos ônibus nos pontos de embarque:**


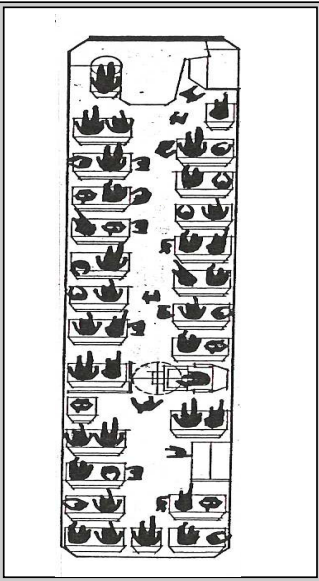
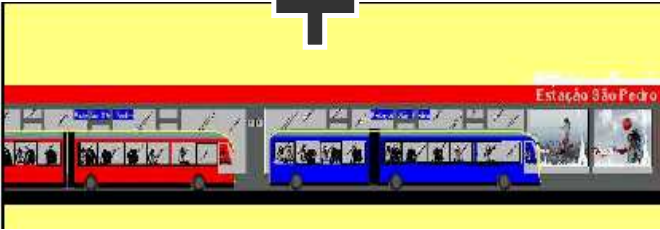


**Pontos de embarque seguros, cobertos e com lojas de conveniências:**



**APÊNDICE B – CENÁRIOS DA PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA**  
**BLOCO 1 ( 30 MINUTOS)**

OPÇÃO 0	AUTOMÓVEL
	<p>Tempo Total de Viagem: 30 min</p>
	<p>Custo total da viagem: (gasolina + estacionamento) R\$ 8,00</p>

OPÇÃO 1	AUTOMÓVEL + ÔNIBUS	
		
		
<p>Tempo Total de Viagem: 21 min</p>	<p>Custo: R\$ 4,00</p>	<p>Tempo de Espera: 10 min</p>

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

**OPÇÃO 0****AUTOMÓVEL**

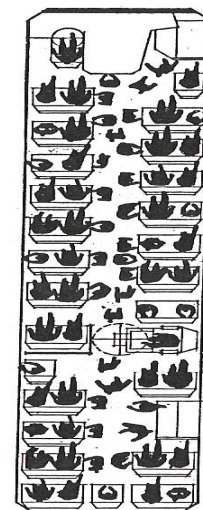
Tempo Total de Viagem:  
30 min

Custo total da viagem:  
(gasolina + estacionamento)  
R\$ 8,00

**OPÇÃO 1****AUTOMÓVEL + ÔNIBUS**

Tempo Total de Viagem:  
39 min

Custo:  
R\$ 4,00



Tempo de Espera:  
5 min

**OPÇÃO 0****AUTOMÓVEL**

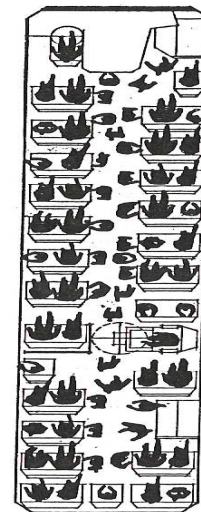
Tempo Total de Viagem:  
30 min

Custo total da viagem:  
(gasolina + estacionamento)  
R\$ 8,00

**OPÇÃO 1****AUTOMÓVEL + ÔNIBUS**

Tempo Total de Viagem:  
21 min

Custo:  
R\$ 11,00



Tempo de Espera:  
2 min

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

**OPÇÃO 0****AUTOMÓVEL**

Tempo Total de Viagem:  
30 min

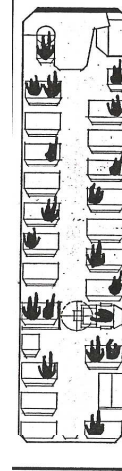
Custo total da viagem:  
(gasolina + estacionamento)  
R\$ 8,00

**OPÇÃO 1****AUTOMÓVEL + ÔNIBUS**

Tempo Total de Viagem:  
21 min

Custo  
R\$ 6,00

Tempo de Espera:  
5 min



**OPÇÃO 0****AUTOMÓVEL**

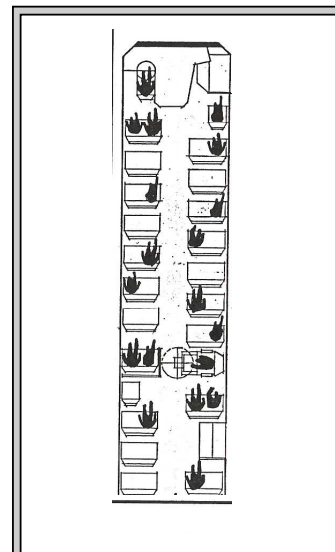
Tempo Total de Viagem:  
30 min

Custo total da viagem:  
(gasolina + estacionamento)  
R\$ 8,00

**OPÇÃO 1****AUTOMÓVEL + ÔNIBUS**

Tempo Total de Viagem:  
15 min

Custo:  
R\$ 4,00



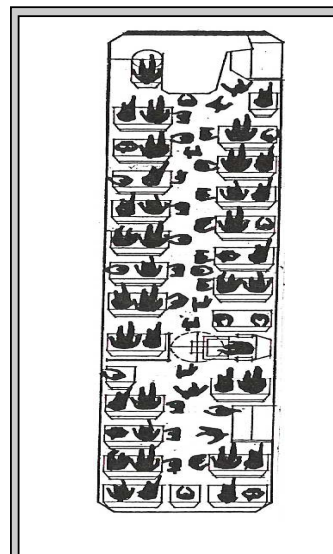
Tempo de Espera:  
2 min

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)

**OPÇÃO 0****AUTOMÓVEL**

Tempo Total de Viagem:  
30 min

Custo total da viagem:  
(gasolina + estacionamento)  
R\$ 8,00

**OPÇÃO 1****AUTOMÓVEL + ÔNIBUS**

Tempo Total de Viagem:  
15 min

Custo:  
R\$ 6,00

Tempo de Espera:  
10 min

**OPÇÃO 0****AUTOMÓVEL**

Tempo Total de Viagem:  
30 min

Custo total da viagem:  
(gasolina + estacionamento)  
R\$ 8,00

**OPÇÃO 1****AUTOMÓVEL + ÔNIBUS**

Tempo Total de Viagem:  
15 min

Custo:  
R\$ 11,00

Tempo de Espera:  
5 min



**APÊNDICE C – FORMULÁRIO DE RESPOSTAS DA PESQUISA DE  
PREFERÊNCIA DECLARADA**

<b>QUESTIONARIO</b>	
Local da entrevista: _____	Data: _____ / 06 / 2008
Entrevistador: _____	Hora: _____ :
<b><u>Dados do entrevistado:</u></b>	
1.1 Bairro origem: _____	<b><u>Resultado da Pesquisa:</u></b>
1.2 Bairro Destino: _____	<b><u>Opção</u>    0= carro    1= carro + ônibus</b>
1.3 Tempo viagem: _____	
<b>Sexo:</b>	
1.4 <input type="checkbox"/> Feminino	
1.5 <input type="checkbox"/> Masculino	
<b>Idade:</b>	
1.6 <input type="checkbox"/> de 18 a 35 anos	
1.7 <input type="checkbox"/> de 36 a 45 anos	
1.8 <input type="checkbox"/> de 46 a 60 anos	
1.9 <input type="checkbox"/> mais de 60 anos	
<b>Onde estacionou:</b>	
2.1 <input type="checkbox"/> na rua (gratuito)	
2.2 <input type="checkbox"/> na rua (área azul)	
2.3 <input type="checkbox"/> em garagem (gratuito)	
2.4 <input type="checkbox"/> em garagem (pago)	
<b>Quantos dias por semana usa o carro para vir ao trabalho/estudo?</b>	
3.1 <input type="checkbox"/> 1 a 2	
3.2 <input type="checkbox"/> 3 a 4	
3.3 <input type="checkbox"/> 5 ou mais	
<b>Faixa de renda familiar</b>	
4.1 <input type="checkbox"/> até R\$ 1500,00	
4.2 <input type="checkbox"/> mais de R\$ 1500.00 a R\$ 3000.00	
4.3 <input type="checkbox"/> mais de R\$ 3000.00 a R\$ 5000.00	
4.4 <input type="checkbox"/> acima de R\$ 5000,00	

Cartão	Opção
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Fonte: figura elaborada pela autora (2009)