

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

DISSERTAÇÃO

**EFEITO DA DEFINIÇÃO DO ZONEAMENTO
E DAS DIMENSÕES RELACIONADAS A ESTE
EM MODELOS DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO**

Carlos Eduardo de Paiva Cardoso

Engenheiro eletrônico e mestre em transportes pela Escola Politécnica da USP, doutor em serviço social pela PUC-SP, analista de Sistema e de Planejamento de Tráfego e Transporte da CET-SP e Membro do Conselho Editorial da Revista dos Transportes Públicos da ANTP.

paivacardoso@yahoo.com.br

Orientador: Hugo Pietrantonio

Índice

- 1 - Introdução**
- 1.1 - Uso de Modelos em Transporte
- 1.2 - Modelos em Transporte e o EMME/2
- 1.3 - Contexto da Aplicação
- 1.4 - Resumo da Estrutura do Trabalho

- 2 - Critérios de Definição de Zonas de Tráfego em Modelos de Transporte**
- 2.1 - Recomendações Gerais sobre Zoneamento
 - 2.1.1 - A Rede e o Zoneamento
 - 2.1.2 - Definição da Área de Estudo
 - 2.1.3 - Definição do Zoneamento - Zonas Internas
 - 2.1.4 - Definição do Zoneamento - Zonas Externas
- 2.2 - Análise das Recomendações Gerais
 - 2.2.1 - Definição da Área de Estudo
 - 2.2.2 - Definição do Zoneamento - Zonas Internas
 - 2.2.2.1 - Tamanho das Zonas de Tráfego e a Inter-relação entre elas
 - 2.2.2.2 - Composição das Zonas de Tráfego
 - 2.2.2.3 - Rede e Zona de Tráfego
 - 2.2.2.4 - Limites das Zonas de Tráfego
 - 2.2.2.5 - Agregação de Zonas de Tráfego
 - 2.2.2.6 - Forma da Zona de Tráfego
 - 2.2.2.7 - Outras Observações
 - 2.2.3 - Definição do Zoneamento - Zonas Externas

- 2.3 - Estudos Anteriores sobre os Efeitos da Definição do Zoneamento
 - 2.3.1 - O efeito do Tamanho da Zona no Carregamento e Distribuição do Tráfego, Wildermuth et alli (1972)
 - 2.3.1.1 - Rede e Zoneamentos Analisados
 - 2.3.1.2 - Alocação de Tráfego
 - 2.3.1.3 - Distribuição de Viagens
 - 2.3.1.4 - Conclusões
 - 2.3.2 - O efeito do Tamanho da Zona e do Detalhamento da Rede sobre os Resultados do Carregamento de Equilíbrio e o Carregamento tudo ou nada, segundo Jensen e Bovy (1982).
 - 2.3.2.1 - Rede e Zoneamentos Analisados
 - 2.3.2.2 - Resultados Obtidos
 - 2.3.2.3 - Conclusões
 - 2.3.3 - Impacto da Reconfiguração de Zonas na Previsão de Demanda de Viagens, Crevo (1991)
 - 2.3.3.1 - Identificação das Zonas Candidatas a Subdivisão
 - 2.3.3.2 - Comparação dos Resultados
 - 2.3.4 - Focalização (*focusing*) de uma Subárea com Modelos de Interação Espacial e Alocação de Equilíbrio, segundo Horowitz (1990).
- 2.4 - Análise dos Estudos Anteriores
 - 2.4.1 - O Efeito do Tamanho da Zona no Carregamento e Distribuição do Tráfego
 - 2.4.2 - O Efeito do Tamanho da Zona e do Detalhamento da Rede sobre os Resultados do Carregamento de Equilíbrio e o Carregamento Tudo ou Nada.
 - 2.4.3 - Impacto da Reconfiguração de Zonas na Previsão de Demanda de Viagens
 - 2.4.4 - Focalização (*focusing*) de uma Subárea com Modelos de Interação Espacial e Alocação de Equilíbrio
 - 2.4.5 - Conclusão da Análise – Estudos Anteriores
- 3 - Intervenção Viária Água Espreada**
 - 3.1 - Contexto da Intervenção
 - 3.1.1 - Breve Histórico
 - 3.1.2 - Caracterização da Área de Estudo

- 3.2 - Aspectos Metodológicos
 - 3.2.1 - Zoneamento e Matriz de Viagens
 - 3.2.1.1 - Novo Zoneamento
 - 3.2.1.2 - Projeção da Matriz
 - 3.2.1.3 - Matriz Atual - Auto - Pico Manhã
 - 3.2.1.4 - Detalhamento da Matriz Auto para 560 Zonas
 - 3.2.1.5 - Matriz Atual - Caminhão - Pico Manhã
 - 3.2.2 - Rede Viária

4 - Análise de Alternativas de Zoneamento

- 4.1 - Definição da Metodologia do Estudo
- 4.2 - Análise dos Volumes Alocados
 - 4.2.1 - Comparação com Dados de Contagens
 - 4.2.2 - Identificação do Uso da Rede na Área
- 4.3 - Detalhamento da Metodologia de Análise e Definição dos Experimentos
 - 4.3.1 - Detalhamento da Metodologia de Análise
 - 4.3.2 - Definição dos Experimentos
- 4.4 - Resultados Obtidos
 - 4.4.1 - Experimento 1
 - 4.4.2 - Experimento 2
 - 4.4.3 - Experimento 3
 - 4.4.4 - Experimento 4
 - 4.4.5 - Experimento 5
- 4.5 - Análise de Critérios Aplicáveis
 - 4.5.1 - Síntese das Conclusões através da Análise dos Experimentos
 - 4.5.2 - Comparação com os Resultados de Estudos Anteriores

5 - Conclusões e Recomendações

1.- Introdução

O objetivo deste trabalho é analisar o efeito da definição do zoneamento de tráfego e das dimensões relacionadas a este em modelos de alocação de tráfego para planejamento de transportes. Para análise deste efeito, será realizado um estudo da região da AV. Água Espraiada - São Paulo - SP com o software EMME/2 da Inro.

1.1 - Uso de Modelos em Transporte

O uso dos modelos tradicionais em planejamento de transportes é um assunto tratado extensamente na literatura técnica. A discussão a seguir visa resumir os aspectos de interesse para este trabalho e está baseada em textos como Bruton, 1975; Hutchinson, 1979; Ortúzar e Willumsen, 1994; Oppenheim, 1995.

A teoria clássica dos modelos de transporte ¹ tem como base uma representação discreta do espaço contínuo, em que a área a ser modelada é dividida em zonas de tráfego e o sistema de transporte é representado através de uma rede de nós e ligações (trechos de via que conectam pontos do sistema viário, representados pelos nós).

Neste procedimento clássico, as zonas de tráfego são definidas *a priori* e passam a ser representadas por um único ponto chamado centróide.

O conjunto de segmentos da rede viária do sistema de transporte existente é representado

¹ Na década de 70, buscou-se o aprimoramento do enfoque tradicional através da teoria do consumidor, extensão de conceitos de economia geral. Com este enfoque, o uso de um serviço de transporte passa a ser visualizado como um conjunto de decisões em cascata, na qual o consumidor adquire, não algo simples e único, mas sim um pacote de opções (destino, horário da viagem, meio de transporte e rota). O consumidor neste caso estabelece um elenco de opções de alternativas na ordem de preferência e escolhe sempre a mais desejável, buscando assim maximizar sua utilidade (medida da preferência do consumidor pelas diferentes alternativas existentes).

pelos seus respectivos custos generalizados (combinação ponderada de atributos como tempo e distância) nos deslocamentos e pela representação das regras de circulação, que permitem definir ligações unidirecionais ou bidirecionais, proibições ou penalidades de conversão. Estes atributos dependem dos modos de transporte utilizados, individual (auto, taxi, perua escolar, etc.) ou coletivo (ônibus, metrô, etc.), para percorrer as ligações.

Os centróides das zonas de tráfego são ligados à rede através de conectores, que representam os pontos de acesso ou egresso ao sistema de transporte para as viagens com origem ou destino naquela zona e a média do custo generalizado de acesso/egresso correspondente.

No processo de utilização dos modelos de transportes, os centróides funcionam como pólos de produção e atração de viagens das respectivas zonas, que utilizam-se da rede para realizarem seus deslocamentos. Principalmente as viagens interzonais são simuladas na metodologia tradicional.

O processo de modelagem, na metodologia clássica, divide-se em quatro etapas distintas, porem interligadas, que são:

1. geração, na qual as quantidades de viagens produzidas e atraídas em cada zona de tráfego são estimadas;
2. distribuição, determinação dos intercâmbios de viagens e dos deslocamentos correspondentes;
3. escolha modal, determinação do modo de transporte pelo qual as viagens são realizadas;
4. alocação, que representa a etapa de escolha do caminho, por um dado modo, entre os pares de zonas de tráfego.

A Geração de Viagens é estimada de modo agregado (função das características das zonas), ou desagregado (função das características dos domicílios), através de relações funcionais (usualmente obtidas por regressão linear) ou uso de taxas médias de viagens por indivíduo ou domicílio de cada grupo (no procedimento chamado de análise de categorias). São determinadas relações distintas para produção e atração de viagens, eventualmente

desagregadas por motivo de viagem (trabalho, estudo, negócios, lazer, etc.).²

A Distribuição de Viagens é tipicamente realizada após a geração das viagens e consiste em distribuir entre os vários destinos, totais de viagens obtidos para cada zona na fase de geração. Um dos modelos mais usados é o modelo gravitacional, que é uma analogia com a lei da gravidade de Newton. Este modelo baseia-se na suposição, de que as viagens entre zonas são diretamente proporcionais à geração de viagem (respectivamente produção e atração) das zonas e inversamente proporcional a uma função de separação espacial entre elas (impedância, relacionada com o custo generalizado da viagem) e pertence a categoria dos modelos sintéticos, Ortúzar e Willumsen, (1994, p.156). Outros modelos convencionais são os de fator de crescimento que utilizam um procedimento de ajuste baseado em uma matriz de viagens histórica anterior, como os métodos de Furness ou Fratar.

Em ambos os tipos usuais de modelos de distribuição de viagens, a imposição dos valores obtidos na etapa de geração de viagem leva a utilizar procedimentos iterativos de balanceamento por origem ou por destino (unidimensionais) ou por origem e destino (bidimensionais). Balanceamentos multidimensionais também podem ser usados, impondo a observação de dados de outra natureza.

A terceira etapa da modelagem, a Divisão Modal, é realizada tipicamente após a distribuição de viagens e consiste em distribuir o total de viagens, para cada par origem/destino (OD), entre os diferentes modos de transporte existentes. Em alguns casos, a ordem das etapas de distribuição de viagens e divisão modal é invertida. O modelo usado nesta etapa é uma função que representa a porcentagem de viagens realizadas em transporte coletivo, em relação ao transporte individual, ou entre diversos modos. Relaciona-se impedância dos modos em função do custo generalizado da viagem (isto é, atributos como custo e nível de serviço oferecido pelo modo de transporte) a dados dos viajantes

² Na metodologia clássica, diferentemente do entendimento tradicional, o conceito de zona de produção e atração de viagens não coincide com os conceitos de origem e destino das viagens. Por exemplo, consideram-se as viagens de ida ao trabalho (origem na residência e destino no trabalho) e as viagens de retorno à residência (origem no trabalho e destino na residência), como sendo produzidas na zona residencial e atraídas na zona de trabalho. Enquanto existe um intercâmbio das origens e destinos as zonas responsáveis pela produção e atração das viagens não se alteram.

(como renda e propriedade de auto), normalmente utilizando modelos de escolha discreta tipo logit (com estrutura simples ou hierárquica).

A Alocação de Viagem, a última etapa na modelagem clássica, busca definir para cada modo as rotas utilizadas entre cada par OD. Esta alocação realiza-se em rede representativa do sistema de transporte existente. O método mais simples de alocação é o tudo ou nada, que encontra a rota de mínimo custo para cada par OD e nele aloca todo o tráfego. Existem também métodos de alocação com rotas múltiplas (como o de Dial). Uma grande desvantagem destas técnicas é não levar em conta a existência de congestionamento resultando em valores de volumes irrealistas. A etapa de alocação de tráfego pode ser feita em uma rede multimodal, o que eventualmente permite suprimir a etapa de divisão modal (admitindo que os princípios de escolha entre modos são similares aos de escolha entre rotas).

Na modelagem em quatro etapas, a existência de congestionamento torna as etapas anteriores à alocação de viagens dependentes dos volumes no sistema viário. Para levar esta questão em conta várias alternativas têm sido implementadas com o objetivo de permitir alocação de tráfego com representação do efeito de congestionamento, com demanda fixa ou variável de viagem (por modo de transporte, intercâmbio de viagem, etc.).

Para redes congestionadas, é mais conveniente o uso da alocação por equilíbrio (restrição da capacidade), no qual cada usuário escolhe a rota que percebe como melhor. Os resultados são fluxos que satisfazem o princípio de Wardrop do “ótimo usuário”, ou seja, que nenhum usuário pode melhorar seu tempo de viagem mudando de rota. Neste caso, todos os fluxos em todos caminhos utilizados entre um par OD têm tempos iguais. Existem procedimentos exatos para alocação de equilíbrio como o método de Frank & Wolfe ou de aproximação linear e procedimentos heurísticos como os métodos de alocação incremental, onde porções da matriz OD são alocadas a cada iteração, permitindo o recálculo da rota de mínimo custo para cada par OD, até que, 100% dos volumes sejam alocados.

Nos modelos com demanda variável temos, em vez de uma matriz de viagens que identifica para cada par OD o número de viagens existentes, um conjunto de funções que irão fornecer o número de viagens para cada par OD em cada iteração do processo de alocação em

função dos custos generalizados.

1.2 - Modelos em Transporte e o EMME/2

Este item é baseado no Manual de Usuário do EMME/2 (Inro, 1992; especialmente capítulo I, seções 1, 2.2, 2.4; capítulo IV, seções 3.22, 5.1, 5.2 e capítulo VI, seções 1.1, 1.2, 2.1).

O EMME2, software comercializado pela Inro, fornece ao planejador um arcabouço geral para implementação de uma ampla variedade de modelos de previsão de demanda de viagens, indo da simples alocação de viagens de transporte individual ou coletivo até a implementação de procedimentos de equilíbrio multimodal, incluindo a possibilidade de implementação do modelo clássico de quatro etapas (utilizando o módulo de manipulação de matrizes).

Os módulos especializados do software EMME2 são os de alocação de tráfego (os demais módulos executam procedimentos interativos de entrada ou saída de dados ou procedimentos genéricos de definição e análise de funções ou manipulação de matrizes). Os seguintes procedimentos de alocação de tráfego foram implementadas no software EMME/2:

- Alocação para transporte individual (usualmente privado e sob demanda) com demanda fixa
- Alocação para transporte individual (usualmente privado e sob demanda) com demanda variável.
- Alocação para transporte regular (usualmente coletivo e público) por caminhos múltiplos e demanda fixa.

O procedimento de alocação do transporte individual (que é chamado de modo auto, embora possa representar alternativas como taxi, carga, entre outros) realizado pelo EMME/2 é realizada através do algoritmo de aproximação linear (que é uma especialização do método clássico de Frank & Wolfe para programação não linear) que foi inicialmente proposto por Bruynooghe, Gibert e Sakarovich (1968) e popularizado pelos trabalhos subsequentes de Leblanc, Morlok e Pierskalla (1975), Florian e Nguyen (1976) e Dow e Van Vliet (1979)

(appud Inro (1992), capítulo VI, ítem 2.1). Uma discussão detalhada deste procedimento pode também ser encontrada no capítulo 5 em Sheffi (1985) e no capítulo 11 em Ortúzar e Willumsen (1994).

O processo de alocação com transporte regular (que é chamado de modo coletivo e permite representar alternativas como ônibus, metrô, entre outros) implementado no EMME/2 é baseado no conceito de estratégias ótimas (Spiess, 1984; Spiess e Florian, 1989), ou seja, o usuário de transporte coletivo comporta-se de modo a minimizar o tempo total esperado de viagem, que é a soma ponderada dos tempos a pé, de espera e no veículo, considerando um conjunto de opções atrativas de rotas e linhas e a frequência específica em cada uma (que determina uma repartição de demanda que corresponde à probabilidade de usar cada opção).

Uma outra característica da alocação do EMME/2 é que a alocação dos modos auto e coletivo pode utilizar dados relacionados à mesma rede de transporte. Normalmente a capacidade das ligações refere-se apenas ao modo auto; desconta-se, da capacidade real, o volume adicional, em veículos-equivalente, resultante da frequência das linhas de transporte coletivo. A alocação de transporte coletivo pode utilizar dados resultantes da alocação de auto e levar em conta os efeitos de congestionamentos sobre o tempo de viagem dos veículos de transporte coletivo.

O módulo de manipulação de matrizes permite utilizar vários modelos de distribuição de viagens utilizando os procedimentos de balanceamento de matrizes. O balanceamento bidimensional permite implementar modelos agregados tais como modelos de fator de crescimento (Furnes, Fratar, ...) e modelos de gravidade, entre outros.

O balanceamento de matrizes tridimensional permite o uso de estratificações adicionais além dos totais de viagens de origem e destino por zona do balanceamento bidimensional, tais como linhas de contorno (*cordon lines*) ou linhas de aferição (*screen lines*)³ internas e

³ Screen lines Linha que acompanha barreira natural ou não, que isola determinada região da cidade (com uma quantidade de acessos limitado) permitindo através de contagens nesses acessos a verificação dos volumes da rede.

Cordon lines Cordão externo, à área de interesse de estudo, delimitando as zonas consideradas internas, das externas.

Cutlines Linha transversal a um corredor, cortando todas as vias paralelas a esse corredor (busca medir o volume em determinada direção).

distribuição por faixa de valores de impedância (ou tempo de viagem).

Modelos de geração (análise de categorias ou análise de regressão) e divisão modal também podem ser implementados através do módulo de cálculo de matrizes, bastante versátil.

1.3 – Contexto da Aplicação

A estudo de transporte pode ser realizado em diferentes contextos, que por sua vez, dão pesos específicos a diferentes aspectos da modelagem de transporte que influenciam a definição do zoneamento de tráfego.

Numa primeira abordagem os contextos de aplicação podem ser diferenciados em função do horizonte de planejamento. Segundo Florian, 1988, nos estudos de planejamento e gerenciamento de transportes vinculados a um processo de tomada de decisão real, pode-se identificar três distintas e inter-relacionadas perspectivas: estratégica, tática e operacional.

A escolha de uma ou outra perspectiva (estratégica, tática e operacional) está relacionada a várias noções como nível de decisão a ser tomada, investimentos possíveis, horizonte de planejamento, etc. e consiste essencialmente na definição do que é endógeno e exógeno ao estudo.

- Na perspectiva estratégica (mais agregada) a análise e a tomada de decisão são utilizadas para definição de políticas gerais e alocação dos principais investimentos para um horizonte de longo prazo. O planejador tem geralmente um alto grau de liberdade, e o estudo considera tipicamente o estado global do sistema de transporte, a variação possível da demanda de transporte em relação à tendência demográfica, a evolução do uso do solo, etc., devendo também considerar a variabilidade do contexto econômico, governamental e financeiro da organização responsável pela implementação do estudo. Os resultados obtidos podem identificar por exemplo um novo serviço de ligações a ser implementado, localização e capacidade de um terminal de transporte coletivo, políticas de ocupação do uso do solo, etc.

- Na perspectiva operacional (em geral mais desagregada e localizada) resolve-se os problemas de curto prazo considerando-se como exógenos fatores não estritamente parte da questão a ser respondida. O planejador considera, na busca de soluções, muitos fatores e em particular o ambiente do problema como fixados e conseqüentemente exógenos, são por exemplo considerados como restrição a demanda média, recursos humanos disponíveis, etc..
- Na perspectiva tática, situada entre as duas acima, são tratadas questões concernentes ao planejamento da alocação de recursos com o objetivo de melhora da eficiência e produtividade. Os resultados são obtidos para um horizonte de médio prazo e identificam o uso eficiente dos recursos, em geral, já existentes ou representam a própria seleção dos recursos necessários.

Um segundo aspecto relacionado ao contexto de aplicação está relacionado a amplitude geográfica do estudo. Normalmente, considera-se em relação principalmente ao zoneamento, que se está modelando toda uma área urbana “autônoma” (continua no sentido urbano e separada de outras áreas por vazios urbanos). Esta perspectiva contudo, não é a única perspectiva existente, Easa, 1993, por exemplo identifica além dos estudos urbanos (*Large Area*), os estudos de área ou corredores de transporte (*Small Area*).

- Os estudos urbanos (*Large Area*) em geral englobam todo espaço contínuo urbano de determinada região (por exemplo região metropolitana de São Paulo), sendo em geral estudos agregados que identificam políticas de transporte a serem implementadas. Em relação ao contexto “temporal” encontram-se quase sempre dentro da perspectiva estratégica (as vezes tática). Para a realização deste tipo de estudo utiliza-se em geral a metodologia clássica de 4 etapas, exceto quanto a perspectiva é operacional e de curto prazo (caso em que, muitas vezes, os estudos limitam-se a analisar a alocação de tráfego com matriz de viagem fixa.
- Os estudos de área ou corredores (*Small Area*) englobam pequenas regiões do espaço contínuo urbano e normalmente são estudos de operacionais (excepcionalmente táticos). Para a realização destes estudos utilizam-se, em geral, três metodologias:

- Estudos restritos, onde através de pesquisas específicas (por exemplo, pesquisas de placas em acessos de vias expressas) e uma rede detalhada limitada à área ou ao corredor busca-se analisar alternativas viárias, política de estacionamento, etc..
- Estudos através de janelamento (*windowing*) no qual a área a ser estudada, obtida de um estudo urbano, é isolada através de uma linha de contorno (*cordon line*). Todas viagens que atravessam esta linha de contorno são então consideradas externas e associadas a portões de entrada e saída (*gateways*), não mais sujeitas a mudanças devido a alocação de tráfego. A rede interna a linha de cordão é detalhada de acordo com os objetivos do estudo . (Pedersen e Samdahl, 1982, Easa, 1993).
- Estudo com focalização (*focusing*), no qual toda área urbana é mantida, alterando-se os níveis de agregação interno e externos a área de estudo. Na área de estudo a rede e a matriz de viagens são detalhadas enquanto o zoneamento e/ou rede externos a área de estudo podem ser progressivamente agregados a medida que se afastam da mesma. (Pedersen e Samdahl, 1982, Horowitz, 1990, Easa, 1993)

Em cada um destes contextos os requisitos específicos traduzem-se em recomendações de metodologias de estudo que tem impacto sob o zoneamento de tráfego. Entretanto os estudos de perspectiva mais ampla envolvem diversos aspectos sócio-econômicos em um grau tal de incerteza no horizonte de planejamento que provavelmente superam a importância dos aspectos espaciais. Portanto um estudo sob a influência do zoneamento de tráfego pode adotar uma perspectiva de análise mais relacionada com os estudo operacionais (considerando exógenos aspectos sócio-econômicos) e, dessa forma, destacar a influência dos efeitos espaciais.

1.4 – Resumo da Estrutura do Trabalho

Este item busca informar o conteúdo e objetivos de cada um dos capítulos que se seguem.

O capítulo 2, *Crterios de Definição de Zonas de Tráfego em Modelos de Transporte*, faz

uma revisão da principal bibliografia sobre o tema onde 4 itens são abordados: *Recomendações Gerais sobre Zoneamento, Análise das Recomendações Gerais, Estudos Anteriores sobre os Efeitos da Definição do Zoneamento e Análise dos Estudos Anteriores.*

Os itens, *Recomendações Gerais sobre Zoneamento e Análise das Recomendações Gerais* são respectivamente dedicados à exposição das considerações dos autores dentro da bibliografia pesquisada e posterior análise. Ambos os itens acima são subdivididos em 4 itens: *Definição da Área de Estudo, Definição do Zoneamento – Zonas Internas, Definição do Zoneamento - Zonas Externas.*

Nos itens *Estudos Anteriores sobre os Efeitos da Definição do Zoneamento e Análise de estudos Anteriores* existe um relato de trabalhos levantados sobre o tema com posterior análise sobre os mesmos. Ambos os itens são subdivididos em itens com os nomes dos trabalhos analisados.

Já o capítulo 3, *Intervenção Viária Água Espreada*, tem como objetivo fornecer informações sobre a área onde realizamos nosso estudo e sobre o zoneamento, matriz de viagens e rede viária utilizados neste trabalho. Estas informações são respectivamente expostas em dois itens: *Contexto da Intervenção*, subdividido em *Breve Histórico e Caracterização da Área de Estudo* e *Aspectos Metodológicos* também subdividido em *Zoneamento e Matriz de Viagens e Rede Viária.*

O capítulo 4, *Análise de Alternativas de Zoneamento* busca analisar as dimensões relacionadas a definição do zoneamento de tráfego que interferem na alocação de viagens de modo a identificar recomendações a serem utilizadas na definição deste zoneamento. Este capítulo é dividido em 5 itens: *Definição da Metodologia de Estudo, Análise dos Volumes Alocados, Detalhamento da Metodologia de Análise e Definição dos Experimentos, Resultados Obtidos nos Experimentos e Análise de Critérios Aplicáveis.*

Por fim o capítulo 5, *Conclusões e Recomendações* resume as conclusões e recomendações para pesquisas futuras relacionadas a este tema.

2. - Critérios de Definição de Zonas de Tráfego em Modelos de Transporte

Este capítulo é um resumo das recomendações técnicas apresentadas pelos principais trabalhos sobre o tema e tem como objetivo subsidiar o desenvolvimento deste estudo.

2.1 - Recomendações Gerais sobre Zoneamento

2.1.1 - A Rede e o Zoneamento

O nível de detalhe a ser modelado em transportes é um aspecto de muitas dimensões, que refere-se em particular à escolha da rede e do zoneamento. Esta escolha reflete-se num compromisso entre dois objetivos conflitantes: exatidão e custo. Em tese, uma grande exatidão seria alcançada com mais detalhes no zoneamento e na rede, o que por sua vez implicaria em um maior custo no levantamento das informações necessárias à montagem da rede e da matriz de viagens.

2.1.2 - Definição da Área de Estudo

A figura 2.1 abaixo exemplifica os principais elementos que serão tratados neste capítulo. A área de estudo, definida pelo planejador, delimita duas regiões: a interna e externa ambas divididas em zonas, internas e externas respectivamente. Em geral linhas de referências

também são definidas, com objetivos de verificar ou complementar os dados pesquisados. Essas linhas são classificadas em dois tipos principais a linha de cordão (*cordon line*) e a linha de aferição (*screen line*), as quais respectivamente circunscreve e corta a área de estudo. Nestas linhas são definidos pontos de contagem e/ou entrevistas que permitem obter os dados necessários à verificação ou complementação de pesquisa realizada. Todos os elementos da figura são definidos pelo planejador de tráfego com exceção das áreas administrativas. O objetivo deste capítulo é a discussão da delimitação de cada um desses elementos.

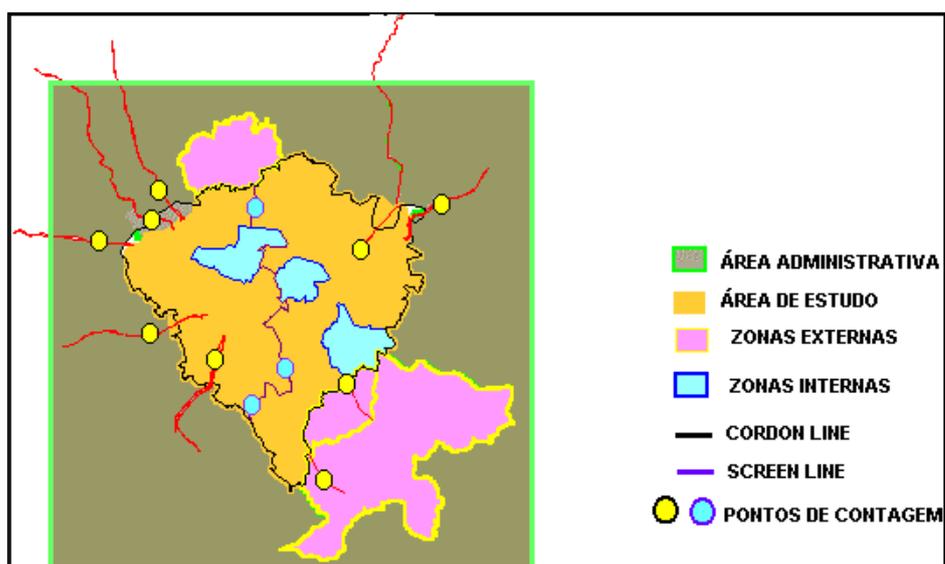


Figura 2.1 - Tipos de áreas e linhas de referência

Na definição de um zoneamento deve-se inicialmente distinguir a área de estudo do resto do mundo, Ortúzar e Willumsen, (1994, p. 102).

Segundo Bruton, (1975, p. 83 - 85), deve-se limitar a área estudo através de um cordão externo segundo três critérios principais:

1. “O cordão externo deve englobar todos os movimentos que são importantes no cotidiano da área urbana estudada. Para conseguir isto, deve-se circunscrever a região com movimentos sistemáticos orientado para o centro. Geralmente, isto significa que deve-se incluir na área de estudo as áreas urbanas, suburbanas e semi-rurais, que geram um fluxo regular de viagens, especialmente viagens trabalho para o centro urbano. Os detalhes destes movimentos são mais

facilmente obtidos através da aplicação de técnicas de entrevista domiciliar. Os demais residentes, que moram além do cordão externo fazem muito menos viagens para o centro urbano, resultando que existe um ponto onde é mais fácil e mais econômico detectar-se estes movimentos através de entrevistas na via, em lugar de usar-se a entrevista domiciliar. Portanto o cordão externo é traçado de modo a conter a grande maioria das viagens pendulares de uma área urbana.

2. O cordão externo deve incluir as áreas em que haja previsão de desenvolvimento futuro dentro do período para o qual se planeja as facilidades de transporte.
3. Este cordão externo deve satisfazer requisitos técnicos para facilitar entrevistas de viagens nas vias, ou seja, o cordão externo deve ser colocado de modo que o número de pontos de pesquisa seja mínimo, deve cruzar as vias em locais seguros para a realização de entrevistas; deve ser contínuo e uniforme de modo que os movimentos cruzem o cordão apenas uma vez (exceto os movimentos através da área de estudo).”

Para facilitar a definição da área de estudo, na maioria dos casos nada simples, Ortúzar e Willumsen, (1994, p. 102, 103), sugerem:

1. “Na escolha da área de estudo deve ser considerado, no contexto da decisão, o sistema a ser modelado e a natureza das viagens de interesse, obrigatórias ou opcionais, de longa ou curta distância, etc.
2. Para estudos estratégicos existe interesse de definir-se a área de estudo de forma que a maioria das viagens tenha sua origem e destino internamente; entretanto, isto pode não ser possível para a análise de problemas de transporte em pequenas áreas urbanas onde a maioria das viagens de interesse são viagens através, ou de passagem.
3. Problemas similares aparecem com estudos de gerenciamento do tráfego em áreas locais onde também a maioria das viagens tem sua origem, destino ou ambos claramente fora da área de interesse. O que é importante nestes casos é a possibilidade de modelar-se as mudanças nestas viagens, que surgem como

resultado de novos projetos.

A área de estudo deve ser grande o suficiente para que a área especificada englobe o sistema a ser considerado. Oportunidades para a troca de rota, mudança de destino, etc. devem ser permitidas quando deseja-se modelar estes efeitos como parte da área de estudo.”

Khisty, (1990, p. 414, 415) afirma que o planejador, antes de realizar a previsão de viagens, deve claramente definir a área exata a ser considerada. Esta área deve, geralmente, incluir toda área urbana atual mais as áreas que se desenvolverão nos próximos 20 a 30 anos. O limite desta área deve ser demarcado por um cordão externo, que deve levar em conta, além do crescimento futuro, as jurisdições políticas, os limites das áreas censitárias e os limites naturais. O contorno deve ainda interceptar um número mínimo de rodovias para reduzir o número de entrevistas.

Pedersen e Samdahl (1982, p.83) em estudos direcionados a janelamento (*windowing*) e focalização (*focusing*) indicam em um guia de definição da área de estudo passos relacionados a esta definição que identificam critérios a serem seguidos:

1. “A área de estudo deve ser definida examinando-se as seguintes fontes: fotografia aérea, limites institucionais, limites naturais, mapas da área e vistorias.
2. Escolha a área de estudo que englobe não somente a rede viária que será analisada mas também as zonas afetadas pelo uso desta rede. Especial atenção deve ser dada a inclusão de rotas alternativas à rede viária a ser analisada, assim como das zonas que contêm este sistema viário alternativo.
3. Escolha do limite da área de estudo coincidente com os limites das zonas do estudo urbano (large area).
4. Para o janelamento (*windowing*) inclua todas as vias internas de circulação dentro da área de estudo. Isto significa que todas viagens que tem origem e destino dentro da área de estudo devem utilizar-se na alocação de tráfego somente vias contidas na área de estudo.

O autores citam também uma outra maneira de definir a área de estudo, onde através de

um tempo máximo de viagem a partir de um nó central seleciona-se a rede e as zonas que comporão a área. Este tipo de área de estudo é especialmente usada para empreendimentos concentrados como shoppings, escritórios, estacionamentos e áreas residenciais de alta densidade populacional.

Pedersen e Samdahl também definem como essencial que todas as vias que modifiquem as rotas de tráfego (dentro da área de estudo) sejam inclusas na rede revisada (detalhada).

2.1.3 - Definição do Zoneamento - Zonas Internas

Segundo Ortúzar e Willumsen, (1994, p.102), duas dimensões estão relacionadas à definição de um zoneamento, o número de zonas e o tamanho de cada uma delas, as quais estão certamente relacionadas, pois um maior ou menor número de zonas, podem cobrir a mesma área de estudo.

A área de estudo deve ser dividida em zonas internas. As zonas são representadas em termos computacionais, como se todos seus atributos e propriedades fossem concentrados em um simples ponto chamado centróide.

Hutchinson, (1979, p. 24 - 27), citando Smith, (1970, p. 406 - 422) relaciona o tamanho da zona (sistema da área de estudo) com cada nível de planejamento. Os 5 níveis de planejamento identificados por Smith com seus respectivos padrões de zoneamento são:

Tabela 2.1 – Níveis de Planejamento - Smith

Nível de Planejamento	Zoneamento
Plano conceitual	setores com uma população futura entre 200.000 e 500.000 habitantes.
Plano delimitador	distritos de população futura entre 50.000 e 200.000 habitantes.
Plano diretor	zonas homogêneas de 5.000 a 10.000 habitantes.
Plano estatutório	zonas, bloco de ruas e/ou subdivisões das propriedades mais importantes.
Plano detalhado	blocos de ruas e subdivisões em lotes detalhados.

Obs.: O plano conceitual estabelece objetivos do plano de forma e função desejáveis da região, desenvolve plano contendo as aplicações mais viáveis desses objetivos e estima indicadores da demanda futura de viagem para o principal corredor de transporte. O plano delimitador estabelece objetivos em escala setorial a partir de objetivos regionais, para um horizonte de 20 anos (horizonte intermediário de 10 anos) e realiza previsões simplificadas de uso do solo, população e emprego e estimativas de demanda futura de viagens nas principais rotas de transporte (modelos simplificados de transporte e uso do solo). O plano diretor estabelece objetivos em escala distrital a partir de objetivos setoriais para um horizonte de 20 anos (horizonte intermediário a cada 5 anos) e realiza-se previsões abrangentes dos parâmetros das zonas e estimativas de demanda futura de viagens em todas as rotas principais (modelos abrangentes de transporte e uso do solo). O plano estatutório estabelece objetivos em escala local a partir de objetivos distritais, para um horizonte de 10 anos e realiza-se previsões detalhadas, dependendo do problema, e as estimativas de demanda futura de viagens são obtidas do plano precedente (diretor). O plano detalhado formula planos de controle e uso do solo, planos de desenvolvimento, para um horizonte de um ano ou mais.

Segundo Hutchinson, (1979, p. 316), o principal motivo para a utilização de um sistema de zonas relativamente grandes no planejamento estratégico urbano (plano delineador e diretor, Hutchinson, 1979 p. 25) é que, neste estágio, as políticas de desenvolvimento podem ser expressas somente em termos gerais e o planejador está interessado somente nas implicações urbanas destas políticas.

Um critério importante para estabelecer estas zonas baseia-se no fato que elas isolam os componentes estruturais importantes de uma área urbana, tais como, “CBD” (distrito comercial central), as áreas industriais importantes e as principais áreas residenciais.

As seguintes diretrizes (Hutchinson, 1979, p. 335) são usadas no estabelecimento das zonas das fases subsequentes ao plano estratégico no processo de planejamento:

1. “Os limites das zonas devem ser compatíveis com os limites utilizados nos censos, de modo que as informações censitárias, possam ser usadas.
2. Os principais obstáculos geográficos e físicos às viagens e ao desenvolvimento do solo, tais como: rios, escarpas, linhas ferroviárias, canais, auto-estradas, etc., são limiteis úteis para as zonas.
3. Ruas arteriais importantes não constituem sempre limites razoáveis de zonas, na medida em que tipos de uso do solo de cada um dos lados das ruas, são geralmente similares, o que pode situá-los dentro da mesma zona.
4. A localização física do centróide da zona poderia ser identificável na medida em que os tempos de viagens sejam medidos a partir de centróides.
5. A zona ou zonas, da área central, deveriam conter apenas as atividades, que são verdadeiramente atividades do tipo “CBD” (Central Business District) e não aquelas que são complementares aos “CBD”, tais como armazenamento.
6. O sistema de zonas de tráfego para estudos operacionais ou táticos devem ser compatíveis com o sistema de zonas de tráfego para estudos de planejamento estratégico”.

Oppenheim, (1995, p. 3, 4), afirma : “O número ótimo de zonas, seu tamanho típico, forma e outras características, devem ser decididos sobre uma base empírica em situações

específicas. A escolha final, em geral, representará um compromisso entre os recursos disponíveis em termos de dados, recursos computacionais, níveis de detalhe exigidos, etc. Em geral, a escolha do sistema de zonas tem efeitos decisivos sobre o desempenho nos modelos subsequentes desenvolvidos nesta base”.

Segundo Khisty, (1990, p. 414, 415), a área de estudo deve ser dividida em unidades de análise para capacitar o planejador a vincular informações sobre atividades, viagens e transporte para localizações dentro da área de estudo. As unidades de análise de transporte são conhecidas como zonas. As zonas variam em tamanho dependendo da densidade ou da natureza do desenvolvimento urbano. Em áreas comerciais “*CBD's - Central Business District*”, as zonas devem ser pequenas, próximas a uma quadra, e em áreas pouco desenvolvidas elas podem ser tão grandes quanto 10 milhas quadradas ou mais. Uma área com um milhão de pessoas deve ter de 600 a 800 zonas, e um área de 200.000 pessoas deve ter de 150 a 200 zonas. As zonas devem limitar atividades urbanas homogêneas; a zona deve ser toda residencial, toda comercial, toda industrial, etc. Zonas devem considerar limites naturais e zonas censitárias. Uma importante consideração no estabelecimento das zonas é sua compatibilidade com a rede de transporte a ser usada. Como regra geral a rede deve moldar os contornos das zonas.

Bruton, (1975, p. 85, 86), afirma: “Para o tráfego interno à área de estudo, deve-se definir pequenas zonas de modo a obter-se precisão do movimento e permitir o estabelecimento de taxas de geração de viagens confiáveis. Para isto, divide-se, normalmente, a área limitada pelo cordão externo em setores, um dos quais, a área central. Os outros são definidos usando-se barreiras topográficas, tais como rios, canais, ferrovias, em conjunto com áreas naturais de convergência de tráfego. Os setores são, então, subdivididos em zonas e subzonas com base no uso do solo predominante, ou seja residencial, comercial, recreacional e industrial. Os limites das zonas usados por outros órgãos para coleta de informações relacionadas ao padrão de viagens devem ser considerados se forem usados no estágio da análise do processo de planejamento de transportes.

O movimento de tráfego de uma zona está certamente relacionado com sua população.

Portanto, é sempre aconselhável estabelecer estas zonas tão próximas quanto possíveis, a conjuntos de setores censitários. Os dados de uso do solo baseiam-se em quadras, de modo que, caso se pretenda relacionar o movimento de tráfego ao uso do solo, deve-se levar em conta os limites das quadras quando se define as zonas de tráfego. Estudos mais recentes também tem levado em conta as áreas com as mesmas características ambientais.

O tamanho da zona de tráfego pode variar com as diferentes etapas do processo de planejamento dos transportes. O tamanho de zonas utilizadas no estabelecimento de taxas de geração de viagens são geralmente menores do que as requeridas pela etapa da distribuição. Isto deve-se ao fato de que é necessário que o uso do solo apresente características semelhantes de modo a que se possa estabelecer taxas de geração de viagens confiáveis e semelhantes. A distribuição de viagens que simula os padrões de viagem, de uma maneira geral, requer freqüentemente maiores zonas, devido à uma menor quantidade de dados de padrão de viagens quando comparados a geração das mesmas.”

Segundo Ortúzar; Willumsen, (1994, p. 104), uma lista de critérios sobre zoneamento obtidos de experiências de vários estudos práticos seria:

1. “O tamanho das zonas deve ser aquele em que o erro de agregação causado pela suposição de que todas as atividades sejam concentradas no centróide está dentro de padrões aceitáveis.
2. O sistema de zoneamento deve ser compatível com outras divisões administrativas, particularmente com zonas do censo; este é provavelmente o principal critério; as compatibilidades restantes devem ser seguidas, se não tornarem inconsistentes este critério
3. As zonas devem ser tão homogêneas quanto possível com relação ao uso do solo e/ou composição da população. Zonas censitárias com claras diferenças a este respeito (por exemplo zonas residenciais com grandes diferenças no nível de renda) em princípio não devem ser agregadas, mesmo se elas forem muito pequenas.
4. As fronteiras das zonas devem ser compatíveis com linhas de contornos e

aferição (*cordon line e screen lines*) e com sistemas prévios de zoneamento. Tem se verificado que a prática do uso de vias importantes como fronteiras de zonas deve ser evitada porque esta aumenta consideravelmente a dificuldade de atribuir viagens para as zonas quando estas tiverem origem ou destino na fronteira da zona

5. A forma das zonas deve permitir fácil determinação dos conectores de centróides. Isto é particularmente importante para determinarmos estimativas posteriores das características intrazonais. A zona deve representar a área natural de influência da rede de transporte e as ligações do centróide devem representar unicamente os custos principais de acesso à essa rede.
6. As Zonas não necessitam ter a mesma área, mas sim dimensões similares em unidades de tempo de viagem, Por essa razão as zonas são menores em áreas congestionadas, do que em áreas não congestionadas.
7. O sistema de zoneamento deve ser hierárquico com diferentes níveis de agregação, permitindo facilidades de análise para diferentes tipos de decisão”.

A definição das zonas de tráfego tem sido também estudada por diversos autores, que buscam padrões e métodos de automatizar esta definição via GIS (*Geographic Information System*), buscando facilitar o processo de planejamento de transportes.

Segundo Guo, (1997, p. 2), existem duas diferentes visões de como definir adequadamente o zoneamento de transportes. Uma delas escolhe critérios básicos, *a priori*, e os aplica independentemente do modelo tratado e é conhecida como definição indireta do zoneamento; a outra busca a definição do zoneamento de desempenho ótimo para o modelo tratado e é conhecida como definição direta do zoneamento.

A maioria dos pesquisadores e profissionais da área tem desenvolvido seus trabalhos dentro da visão de definição indireta de zoneamento, buscando indicar critérios que um sistema de zoneamento deve satisfazer.

Segundo, O'Neill, (1991, p. 33 - 35), as zonas devem ter características sócio-econômicas homogêneas, deve-se minimizar o número de viagens internas por zona, deve-se utilizar dos

limites políticos e históricos sempre que possível, não devem existir zonas circunscrevendo outras, cada zona deve gerar e atrair o mesmo numero de viagens ou conter aproximadamente a mesma população, domicílios ou área, e deve-se, sempre que possível acompanhar os limites censitários.

Dentre as características necessárias as zonas de tráfego Sanches, (1997, p. 105 - 107) se aprofunda em dois aspectos: homogeneidade e forma das zonas. Em relação a homogeneidade afirma que : “diversos procedimentos têm sido utilizados para avaliar a similaridade de duas áreas urbanas. Alguns definem uma medida de similaridade entre as zonas como Ding e Fotheringham,1992; GEIPOT,1985. Outros utilizam agrupamentos hierárquicos através de procedimentos estatísticos de análise fatorial com Baass, 1981; Bennon e O’Neill, 1994”. Como medidas mais usuais de autocorrelação espacial aponta o coeficiente de Moran e a formulação utilizada pelo GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes) para agrupar cidades com características semelhantes, Sanches (1997, p. 106). Quanto à forma da zona Sanches afirma que : “no processo de agrupamento de setores censitários visando a construção de zonas de tráfego, procura-se fazer com que cada zona resultante seja a mais compacta possível” (mesma dimensão transversal em todas as direções). Como maneiras de medir a compacidade de uma zona cita os métodos de Bennion e O’Neill, (1994) e Baass, (1981).

Já segundo Ding, (1994, p. 368), a contiguidade do sistema de zoneamento tem a mais alta prioridade. Deve-se buscar a homogeneidade máxima dentro da condição anterior, deve-se buscar igual geração de viagens através do controle da população e volume de tráfego, deve-se ajustar os limites das zonas aos limites políticos e não devem existir zonas concêntricas.

A definição direta de Zoneamento, (zoneamento de desempenho ótimo), baseia-se na crença segundo Openshaw, (1978) apud Guo, (1997), de que a medida mais apropriada do desempenho do sistema de zoneamento é a qualidade de representação da realidade pelo modelo. Como o resultado do modelo espacial reflete o sistema de zoneamento, é possível escolher um zoneamento, que tenha ótimas propriedades medidas através do resultado da representação da realidade pelo modelo.

2.1.4 – Definição do Zoneamento - Zonas Externas

Segundo Bruton, (1975, p. 83 - 85), as zonas definidas fora da área limitada pelo cordão externo, devem englobar todo município. Como a geração de tráfego para a área de estudo tende a decrescer com a distância à mesma, tem-se que o tamanho das zonas externas podem aumentar com a distância à área de estudo. Ao definir-se os limites de uma zona externa deve-se levar em conta a rede viária e as características topográficas dos centros populacionais das áreas externas. Os centros de população próximos à área de estudo e que geram fluxos significativos para a área de estudo devem ser zoneadas separadamente.

Quanto a região externa a área de estudo, Ortúzar; Willumsen, (1994, p. 103), afirmam que em muitos caso é suficiente definir zonas externas representando o resto do mundo em uma dada direção. Os limites dessas diferentes zonas devem respeitar os “*links*” naturais de alimentação da área definida como área de estudo. Para a obtenção de impactos sobre diferentes tipos de viajantes (de curta e longa distância por exemplo), pode ser vantajoso definir as zonas externas de tamanhos crescente com a distância da área de estudo.

Pedersen e Samdahl (1982, p.84) em estudos direcionados a janelamento (*windowing*) e focalização (*focusing*) afirmam que fora da área de estudo mudanças no zoneamento são necessárias. No caso do janelamento, as zonas externas à esta área são agregadas em *gateways* (eliminando-se assim toda rede de simulação), que servem de origem e destino para todas viagens realizadas de/para localizações externas à área de estudo. Já no caso de focalização (*focusing*) as zonas podem ser agregadas com objetivo de reduzir custos computacionais e para conservar o número total de zonas existentes no zoneamento original. Em caso de agregação do zoneamento externo deve-se manter inalteradas nas zonas da vizinhança adjacente à área de estudo, assim como a rede de simulação pois mudanças das rotas das viagens podem ocorrer com a agregação dessas zonas e da rede (mudanças nos conectores, rede). Em áreas distantes a agregação de zonas e agregação ou eliminação de trechos da rede usualmente tem efeito mínimo sobre as rotas que utilizam-se da rede da área de estudo.

2.2 - Análise das Recomendações Gerais

2.2.1- Definição da Área de Estudo

O primeiro passo na definição das zonas de tráfego segundo Ortúzar e Willumsen, Bruton e Khisty é a definição da área de estudo, ou seja, a área onde se deseja medir as conseqüências das mudanças implementadas. Para esta tarefa, nem sempre simples, os autores acima indicam alguns critérios a serem seguidos, sem contudo definir um conjunto de procedimentos.

Observa-se, que a preocupação contida no 1º critério de Bruton, também esta presente no 2º critério de Pedersen e Samdahl e no 1º, 2º, 3º e 4º critério definidos por Ortúzar e Willumsen. Todos esses critérios têm como preocupação comum a definição de uma área de estudo que permita uma real avaliação da modificação implementada no sistema, ou seja, que existam possibilidades de alterações no tráfego devido por exemplo a troca de rota, distribuição diferenciada da viagens, alteração da divisão modal, etc. Temos, portanto, que a definição da área de estudo está intimamente vinculada ao tipo de estudo de planejamento que está sendo realizado e portanto deve ser definida levando-se em conta a real possibilidade de alteração no sistema existente.

Tanto Bruton quanto Khisty têm uma preocupação clara de incluir, na área de estudo regiões em que se prevê um desenvolvimento futuro, sendo este período, o do desenvolvimento do estudo para Bruton, e de 20 a 30 anos para Khisty. Observa-se, também, nestes critérios, uma preocupação importante de que à medida que as modificações implementadas no sistema ocorram em um futuro próximo, mudanças de uso do solo e com sua conseqüente geração ou atração de viagens devem estar contempladas na área de estudo.

Quanto ao 3º critério de Bruton sobre as entrevistas a serem realizadas no cordão externo (também citado por Khisty) observa-se que são critérios práticos relativos a facilitar a necessária pesquisa nos pontos entrada e saída do cordão definido.

Khisty e Pedersen e Samdahl citam, alguns outros critérios para a definição da área de estudo, como levar em conta as jurisdições políticas, limites das área censitárias e os limites naturais, critérios práticos que permitem o inter-relacionamento de áreas preconcebidas possibilitando assim a obtenção de dados de outras fontes de informação.

Pedersen e Samdahl identificam também alguns critérios relacionados especificamente a definição da focalização e janelamento como a coincidência do limite da área de estudo com os limites das zonas do estudo urbano (*Large Area*) e especificamente em relação ao janelamento definem que este deve incluir todas as vias em que haja circulação de viagens interzonais internas à área de estudo (com origem e destino em zonas internas a área de estudo).

Observa-se que em relação a definição da área de estudo os autores tanto para estudos urbanos (*large area*) como para estudos de focalização e janelamento (*small area*) definem critérios bastante semelhantes.

2.2.2 – Definição do Zoneamento – Zonas Internas

Para facilitar a análise dos critérios de definição das zonas de tráfego (ZTs) dos diversos autores optamos por sistematizá-los nos seguintes itens: Tamanho das ZTs e inter-relação entre elas; Composição das Zts; Rede e Zts; Limites das ZTs; Agregação de ZTs; Forma das ZTs e Observações. É importante notar que esta sistematização tem como objetivo facilitar a análise dos diferentes critérios e que estes, mesmo estando relacionados a um item, muitas vezes, poderiam também estar relacionados a outros itens. Segue abaixo quadro resumo (Tabela 2.2 – Quadro Resumo):

Tabela 2.2

Quadro Resumo - Zonas de Tráfego Internas a Área de Estudo

	Oppenheim (1995)	Ortúzar e Willumsen (1994)	Khisty (1990)	Bruton (1985)	Hutchinson (1979)	Outros *
Tamanho da Zona de Tráfego e a inter-relação entre elas	O ótimo número de zonas, seu tamanho típico e outras características devem ser decididas sobre uma base empírica em situações específicas.	O tamanho da zona deve ser aquele em que o erro de agregação, causado pela suposição que todas as atividades estejam centradas no centróide, está dentro de padrões aceitáveis. As zonas não tem que ter a mesma área, mas sim dimensões similares em unidades de tempo de viagem.	As zonas devem variar de tamanho dependendo da densidade e da natureza do desenvolvimento urbano (de uma quadra para áreas desenvolvidas até 10 milhas ² ou mais para não desenvolvidas)	O tamanho da zona deve variar com as diferentes etapas do processo de planejamento. O tamanho das zonas exigidas para a etapa de geração de viagens são geralmente menores que a da etapa de distribuição. Isto acontece, em geral, devido aos tipos de dados disponíveis a cada uma das etapas.	Para cada nível de planejamento existe um padrão de zoneamento: Plano conceitual - setores com uma população futura entre 200.000 e 500.000 habitantes Plano delineador - distritos de população futura entre 50.000 e 200.000 habitantes Plano diretor - zonas homogêneas de 5.000 a 10.000 habitantes Plano estatutório - zonas, bloco de ruas e/ou subdivisões das propriedades mais importantes Plano detalhado - blocos de ruas e subdivisões em lotes detalhados	(O'Neill) As zonas devem gerar e atrair o mesmo n° de viagens ou conter aproximadamente a mesma população, domicílios ou área. Deve-se minimizar o número de viagens internas em cada zona. (Ding) Deve-se buscar igual geração de viagens através do controle da população e volume.
Composição da Zona de Tráfego		As zonas devem ser tão homogêneas quanto possíveis em relação ao uso do solo	As zonas devem ser homogêneas em termos de atividade urbana (toda comercial, residencial, etc.)		A zona ou zonas da área central devem conter apenas atividades do tipo CBDs (Central Business District).	O'Neill: Idêntico a Ortúzar (Ding; Sanches) Deve-se buscar homogeneidade máxima dentro da condição de contigüidade da zona
Rede e Zona de Tráfego		A zona de tráfego deve representar a natural área de influência da rede de transporte	Como regra geral a rede de transporte deve moldar os contornos das zonas.	As zonas devem ser áreas naturais de convergência de tráfego.		
Limites das Zonas de Tráfego		Compatibilidade com os limites utilizados pelo censo. Este critério prático é determinante devendo ser seguido mesmo tornando inconsistentes outros critérios. As fronteiras das zonas devem ser compatíveis com linhas de contornos (<i>cordon lines e screen lines</i>) e com sistemas prévios de zoneamento O uso de vias importantes como fronteiras de zonas deve ser evitado porque esta aumenta consideravelmente a dificuldade de atribuir viagens para as zonas quando estas tiverem origem ou destino na fronteira da zona	Deve haver compatibilidade com os limites naturais, com a rede de transporte a ser usada e com as zonas censitárias.	Deve-se definir as zonas de tráfego, o mais próximas possíveis dos setores censitários em vista do relacionamento entre viagens e população Deve-se considerar os principais obstáculos geográficos às viagens e ao desenvolvimento do uso do solo (ferrovias, estradas etc.). Os limites usados por outros órgãos para a coleta de informações relacionadas ao padrão de viagens devem ser considerados. Deve-se levar em conta os limites das quadras se pretende-se relacionar movimentos de tráfego com o uso do solo.	Compatibilidade com os limites utilizados pelo censo. Os principais obstáculos geográficos e físicos as viagens e ao desenvolvimento do solo (rios, ferrovias, etc.) são limites úteis para as zonas. Ruas arteriais do sistema viário não constituem sempre limites razoáveis, pois os tipos de uso do solo dos dois lados da via são geralmente similares.	(O'Neill; Ding) Deve-se utilizar os limites políticos na definição sempre que possível (O'Neill) Deve-se utilizar os limites históricos e censitários sempre que possível (Openshaw) A escolha do sistema de zoneamento depende da qualidade de representação da realidade pelo modelo. Como o resultado do modelo espacial reflete o sistema de zoneamento, é possível escolher um zoneamento, que tenha ótimas propriedades medidas através do resultado da representação da realidade pelo modelo
Agregação de Zonas de Tráfego		O sistema de zoneamento deve ser hierárquico em diferentes níveis de agregação permitindo facilidades de análise para diferentes tipos de decisão.			O sistema de zonas de análise de tráfego deve ser compatível com o sistemas de zonas de planejamento estratégico	
Forma da Zona de Tráfego						(O'Neill; Ding) Contigüidade do sistema de zonas e não existência de zonas concêntricas (Sanches) As zonas devem ser o mais compactas possíveis
Observações	A escolha de zonas em geral representa um compromisso entre recursos disponíveis e as necessidades existentes. A escolha do sistema de zonas tem efeito decisivo sobre o desempenho dos modelos desenvolvidos.				A localização física do centróide da zona pode ser identificável na medida em que os tempos de viagens sejam medidos a partir de centróides	

* Os autores Guo (1997); Sanches(1997); Ding (1994); O'Neill (1991); Openshaw (1978) tem estudado metodologias para a definição de zonas de tráfego automatizadas via SIG (Sistemas de Informação Geográfica).

2.2.2.1 - Tamanho da Zona de Tráfego e a Inter-relação entre elas

O conceito genérico, mas bastante claro, definido por Ortúzar e Willumsen de que o tamanho da zona depende do erro de agregação aceitável, de certa forma, engloba todos os outros critérios relacionados ao tamanho da zona. Examinando cada um deles observamos que os mesmos são basicamente constatações ou orientações que irão facilitar a definição prática do zoneamento.

Quando O'Neill nos orienta a minimizar o número de viagens internas de cada zona, esta nos orientando a diminuir um fator de erro da modelagem, já que nos modelos clássicos, estas viagens não são alocadas na rede. Do mesmo modo, quando Bruton identifica que o tamanho das zonas deve variar com as diferentes etapas da modelagem, busca nos orientar a melhor aproveitar o conjunto de dados disponíveis em cada etapa, minimizando assim outro fator erro da modelagem.

Quanto à inter-relação entre zonas, os autores Ortúzar e Willumsen, Ding e O'Neill buscam obter zonas similares em relação a modelagem, usando para isto, orientações como: tempo de viagens iguais, o mesmo número de viagens geradas e/ou atraídas, a mesma população, etc., fatores estes que dependem basicamente da natureza e do desenvolvimento urbano existente e sobre o qual deve variar o tamanho das zonas segundo Khisty.

Um outro aspecto só citado por Hutchinson é que o tamanho da zona deve ser diferenciado de acordo com os objetivos a serem alcançados. Para cada nível de planejamento definido por Smith, identifica um padrão de zoneamento. Este tipo de abordagem nos parece importante na definição do tipo do zoneamento pois consegue relacionar os objetivos do trabalho com o padrão de discretização do espaço contínuo.

Oppenheim destaca que todas as orientações acima devem ser decididas sobre uma base empírica que é a realidade.

2.2.2.2 - Composição das Zonas de Tráfego

Todos os autores identificam a necessidade de obter zonas homogêneas em relação ao uso do solo e em termos de atividade urbana, pois este tipo de zoneamento facilita a pesquisa origem-destino (menor amostra), assim como em casos de previsão de demanda (geração e atração de viagens futuras) a obtenção de modelos agregados (função das características das zonas).

2.2.2.3 – Rede e Zona de Tráfego

Observa-se nas definições de Ortúzar e Willumsen, Khisty e Bruton a mesma preocupação na conceituação da zona de tráfego; relacionar o zoneamento a ser definido com a rede de transportes. Contudo apenas Ortúzar e Willumsen conseguem deixar clara a necessidade de homogeneidade da zona quanto às condições de acesso ao sistema de transporte.

É interessante destacar que a não satisfação desta definição, no processo de zoneamento, prejudicará em muito a modelagem, principalmente em relação a alocação das viagens à rede, podendo trazer graves distorções aos resultados obtidos.

2.2.2.4 - Limites das Zonas de Tráfego

Segundo os autores os limites das zonas de tráfego devem ser compatíveis (sempre que possível) com os seguintes limites:

- * Políticos (O'Neill e Ding)
- * Históricos (O'Neill)
- * Linhas de contorno (cordon lines e screen lines) (Ortúzar e Willumsen)
- * Usados por outros órgãos para coleta de informações relacionadas ao padrão de viagem (Bruton; Ortúzar e Willumsen)
- * Naturais, obstáculos geográficos (rios, ferrovias) e com a rede de transporte (Khisty e Bruton)
- * Censitários (Ortúzar e Willumsen; Khisty; Bruton; Hutchinson; O'Neill). Para Ortúzar

e Willumsen este critério é determinante, devendo ser seguido mesmo que haja necessidade de desprezar outros critérios (incompatíveis com o zoneamento do censo).

* Quadras, quando pretende-se relacionar o tráfego com o uso do solo. (Bruton)

Observa-se que a preocupação dos autores com a compatibilidade do zoneamento de tráfego com outros zoneamentos é bastante grande pois permite que um maior número de informações seja usada na modelagem. Nota-se também um quase consenso em relação aos setores censitários, sendo que Ortúzar e Willumsen são bastante claros ao abandonarem qualquer outra compatibilidade em favor dos setores censitários.

Com relação aos limites também observa-se uma orientação de Ortúzar e Willumsen e Hutchinson de desaconselhar o uso de vias importantes como fronteiras das zonas, em vista da dificuldades de se atribuir viagens para as zonas quando estas tiverem origem ou destinos nestas fronteiras e/ou por não respeitarem o critério de homogeneidade de uso do solo, já que os dois lados da via provavelmente terão uso do solo similares.

Buscando um caminho diferenciado, Openshaw define como critério para a escolha do zoneamento a qualidade do modelo (em termos de representação da realidade) obtida, a medida que o resultado de um modelo espacial reflete claramente o sistema de zoneamento escolhido.

2.2.2.5 –Agregação de Zonas de Tráfego

Em relação a agregação segundo Hutchinson e Ortúzar e Willumsen, o sistema de zoneamento deve ser hierárquico, em diferentes níveis de agregação, permitindo facilidades de análise para diferentes tipos de decisão. Esta compatibilidade através da agregação de zonas é importante pois permite o intercâmbio de informações entre níveis de decisão diferenciados.

2.2.2.6 –Forma da Zona de Tráfego

Os autores que buscam automatizar o processo de zoneamento em transportes via GIS tem

como critérios a contigüidade do sistema de zoneamento, a não existência de zonas concêntricas, (O'Neill e Ding) e a compactação das zonas (Sanches), critérios não tratados por outros autores que provavelmente consideravam estas considerações como óbvias.

2.2.2.7 – Outras Observações

Uma observação de Oppenheim merece destaque pois permite perceber a importância da escolha do sistema de zonas para a modelagem. Segundo Oppenheim a escolha do sistema de zonas tem efeitos decisivos sobre o desempenho dos modelos subsequentes desenvolvidos nesta base.

Analisando-se o processo de modelagem clássico verifica-se que ele está todo fundamentado nas zonas de tráfego que é a base para os modelos de distribuição e alocação de viagens.

2.2.3 – Definição do Zoneamento - Zonas Externas

Observa-se que os autores, Ortúzar e Willumsen e Bruton identificam como critérios básicos para definição das zonas externas a rede viária de acesso a área de estudo e as características topográficas dos centros populacionais das áreas externas à área de estudo.

Verifica-se também que a orientação de Pedersen e Samdahl de agregar em *gateways* as zonas externas ao janelamento (*Small Area*) vai de encontro à afirmação de Ortúzar e Willumsen que em muitos casos, para a definição do zoneamento externo (*Large Area*), é suficiente definir zonas externas que representem o resto do mundo em uma dada direção.

Ortúzar e Willumsen indicam que, em casos de existirem viajantes com características diferenciadas, as zonas externas devem crescer de tamanho com a distância da área de estudo, buscando melhor caracterizar estes viajantes, processo este, bastante semelhante ao processo de redução de zonas externas indicada por Pedersen e Samdahl na focalização (quando da necessidade de reduzir custos computacionais).

Outro critério bastante interessante e que vai no sentido de buscar diferenciar características específicas de viajantes ou regiões é a indicação de Bruton que as áreas próximas à área de estudo que gerem fluxos significativos devem ser zoneadas separadamente.

Como observação final acreditamos que seria também desejável que estas zonas externas fossem compatíveis com zoneamentos administrativos e históricos permitindo assim a obtenção de um conjunto maior de informações de outras fontes.

2.3 - Estudos Anteriores sobre os Efeitos da Definição do Zoneamento

Diversos estudos anteriores analisaram os efeitos decorrentes das definições de zoneamento sobre a qualidade das previsões de tráfego. Alguns desses estudos estão comentados abaixo.

2.3.1 - O Efeito do Tamanho da Zona no Carregamento e Distribuição do Tráfego, Wildermuth et alli (1972).

Este artigo busca analisar o efeito do tamanho das zonas nos modelos de alocação e distribuição de viagens de modo a permitir estudos mais agregados em planejamento de transporte, tendo em vista que em muitos desses estudos não se tem necessidade de grande exatidão. Esta pesquisa foi realizada baseada em rede definida para a cidade de Melbourne, Austrália em 1964.

2.3.1.1 - Rede e Zoneamentos Analisados

Rede base da cidade de Melbourne, Austrália (1964) dados gerais:

Tabela 2.3 – Rede Base – Dados Gerais

Zonas internas	607
Zonas externas	32
Nº de links *	4936
Nº de nós **	1880
Nº de ligações de centróides	2440

* Links unidirecionais representando 1085 milhas de vias arteriais e coletoras

** Total de nós na rede não incluindo centróides

Alguns valores médios podem ser obtidos da tabela acima:

Tabela 2.4 – Valores Médios – Cenário Base

Nº de links / Zona	7,72
Nº de nós / Zona	3,94
Nº de ligações de centróides / Zona	3,82
Zonas externas / Total de Zonas %	5,01
Viagens / Zona	33.486

Pesquisa O-D realizada em 1964 na cidade de Melbourne para estudos de transporte.

Tabela 2.5 – Pesquisa OD

Domiciliar	30.000 entrevistas	Amostra de 5%
Motoristas de caminhão	9.000 entrevistas	Amostra de 10%
Motoristas de táxi	600 entrevistas	Amostra de 25%
Linha de Cordão (32)	resultando em cerca de 90.000 viagens	

Resultados obtidos com a pesquisa O-D (dirigindo veículo) acima.

Número de viagens internas e externas (obtidas na linha de cordão) para as diferentes categorias

Tabela 2.6 – Resultado da Pesquisa OD

Categorias de Viagens	Viagens Internas	Viagens Externas	Total
Base domiciliar - motivo trabalho *	518.578	19.443	538.021
Base domiciliar - motivo outros *	593.579	33.922	573.501
Base não domiciliar *	341.693	8.824	350.517
Veículos Comerciais	631.666	25.407	657.073
Total de Viagens	2.031.516	87.596	2.119.112

* auto

Da agregação do zoneamento acima, dentro faixas de número de zonas pré estabelecidas (30 a 50 zonas, 100 a 150 zonas e 250 a 300 zonas), várias hipóteses de zoneamento foram criadas, levando-se em conta critérios de uso do solo, proximidade física, barreiras físicas, dimensões em unidade tempo (entre 3 e 6 minutos de viagem) das áreas existentes, etc. Os zoneamentos agregados obtidos foram com 263, 144, 136, 56 e 40 zonas. Através de critérios de seleção adotados em planejamento de transporte definiu-se como cenários de testes os zoneamentos 263, 136 e 40.

Tabela 2.7 – Zoneamentos Alternativos

Sistema	Zonas Internas	Zonas Externas	Nº de Centróides	Nº máximo de viagens atraídas por zona
607 *	607	32	639	35.894
263	263	23	286	124.422
136	136	23	159	217.355
40	40	23	63	342.813

* Zoneamento base

Após análise de resultados de alocação (rede viária inalterada – rede viária do cenário base-607) dos cenários agregados observou-se que o estabelecimento de um limite para número máximo de viagens atraídas por zona, melhorava substancialmente a exatidão da alocação o que levou a inclusão dos zoneamentos 144 e 56 nos cenários a serem testados neste trabalho.

Tabela 2.8 – Novos Zoneamentos Alternativos

Sistema	Zonas Internas	Zonas Externas	Nº de Centróides	Nº máximo de viagens atraídas por zona
607 *	607	32	639	35.894
144	144	17	161	70.176
56	56	17	73	124.422

* Zoneamento base

Também para estes zoneamentos definidos é possível obter alguns valores médios

Tabela 2.9 – Valores Médios – Zoneamentos Alternativos

Sistema	607	263	136	40	144	56
Nº de links / Zona	7,72	17,25	31,04	78,35	30,66	67,62
Nº de nós / Zona	3,10	7,15	13,82	47,00	13,05	33,57
Zonas externas / Total de Zonas %	5,01	8,04	14,5	36,5	10,6	23,3
Viagens / Zona	3.347	7.724	14.938	50.788	14.107	36.277

2.3.1.2 - Alocação de Tráfego

A análise do efeito do tamanho das zonas na alocação de viagens foi realizada para todos os sistemas de zonas definidos através de duas técnicas de alocação diferentes: tudo ou nada e múltiplas rotas.

As tabelas abaixo permitem ter-se uma visão dos resultados obtidos relativos à alocação de viagens para os diferentes sistemas de zonas

- Viagens intrazonais adicionais resultantes da agregação das zonas do sistema base (607)

Tabela 2.10 – Viagens Intrazonais

Sistema	Viagens intrazonais adicionais *	% relativa ao total de Viagens	Veículos - Milha **		Veículos - Hora **	
			Valor	% relativa ao sistema 607	Valor	% relativa ao sistema 607
263	139.373	6,9	104.584	1,17	4.194	1,19
144	254.742	12,5	234.929	2,63	9.009	2,56
136	297.504	14,6	277.471	3,11	11.479	3,27
056	454.840	22,4	540.992	6,05	20.242	5,76
040	594.044	29,2	793.704	8,88	31.120	8,85

* Total de viagens intrazonais em adição ao sistema 607 (base)

** Veículos-Milha e Veículos-Hora obtidos através de carregamento tudo ou nada no sistema 607. (base) com as viagens que tornaram-se intrazonais nos sistemas alternativos (todos os links exceto ligações de centróides).

O numero de viagens intrazonais adicionais para o sistema 263 em relação as viagens intrazonais do sistema base foi de cerca de 17% e para os sistema 40 de 38,6% entretanto verifica-se que a variação em termos de veículos-milha esteve entre 1,2 e 8,9 %, valores estes facilmente tolerados em muitos estudos de transporte , especialmente porque o estudo mostrou que essas viagens não estavam concentradas.

- Erros de alocação obtidas em 16 linhas de verificação com um total de 194 links (comparação com contagens volumétricas).

Tabela 2.11 – Erros de Alocação

Sistema	Múltiplas rotas		Tudo ou Nada		Erro Relativo ***	
	Erro 1 *	Erro 2 **	Erro 1 *	Erro 2 **	Erro 1	Erro 2
607	7.022	591.928	7.596	648.321	7,56%	8,70%
263	7.047	635.564	7.494	714.428	5,96%	11,04%
144	7.454	647.452	8.940	850.789	16,62%	23,90%
136	8.722	800.039	8.635	723.685	-1,01%	-10,55%
56	9.618	1.189.126	10.553	1.327.603	8,86%	10,43%
40	12.510	2.105.617	12.255	1.895.989	-2,08%	-11,06%

* Erro 1 = $\sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (V_i - A_i)^2}$ (“rms” - Erro Padrão)

** Erro 2 = $\sum_{i=1}^n (V_i - A_i)^2 / V_i$ (“chi square” - Qui-quadrado)

onde :

V_i → Contagem no link i

A_i → Volume de alocação no link i

n → numero de links (194)

*** Erro Relativo = $\frac{\text{Erro (Tudo ou Nada)} - \text{Erro (Múltipla Rota)}}{\text{Erro (Tudo ou Nada)}}$

Obs.: O erro relativo acima compara os dois métodos de alocação indicando, para cada um dos zoneamentos testados, qual método levou a resultados mais próximos das contagens volumétricas.

Tabela 2.12 – Erro Relativo ao Sistema Base

Sistema	Variação do Erro em relação ao Sistema 607	
	Var1 *	Var2 **
263	0,36%	7,37%
144	6,15%	9,38%
136	24,21%	35,16%
56	36,97%	100,89%
40	78,15%	255,72%

* **Var1**= Erro1 (Sistema) - Erro1 (Sistema 607)

Erro1 (Sistema 607)

** **Var2** = Erro2 (Sistema) – Erro2 (Sistema 607)

Erro2 (Sistema 607)

- Erro 1 (*rms*) da alocação múltipla rota por distrito (sistema 56)

Tabela 2.13 – Erro *RMS* por Distrito

Sistema	Erro 1 (<i>rms</i>)		Coeficiente de Variação *	
	Veículos-milha	Veículos-hora	Veículos-milha	Veículos-hora
263	9.826	411	6,0	6,4
144	16.244	637	10,0	9,9
136	15.818	778	9,7	9,7
056	22.160	879	13,6	13,6
040	38.307	1.594	23,5	24,6

* Coeficiente de Variação é obtido em relação a média de veículos-milha (163.307) e média de veículos-hora (6.446) do cenário base (607)

Segundo os autores as seguintes conclusões foram obtidas:

*As comparações dos volumes indicaram que o número de zonas pode ser reduzido a menos da metade do número original antes que cresça o erro1. Observou-se também que a alocação por múltipla rota gera erros menores que a alocação tudo ou nada.

*A análise de veículos-milha e veículos-hora internamente a cada um dos 56 distritos (sistema 56) para todos os sistemas testados mostrou que o erro (*rms*) para os sistemas 263, 144 e 136 para a alocação múltipla rota foi em média de 10% para veículos-milha e de 12% para veículos-hora. A alocação tudo ou nada aumentou este erro entre 1 e 2% para veículos-milha e acima de 3% para veículos-hora.

*Enfim, as análises realizadas neste estudo indicaram que o número de zonas geralmente usadas para estudos de transporte metropolitano (segundo Wildermuth et

alli) podem ser reduzidos para um terço ou mesmo, um quarto e ainda produzir alocações de tráfego adequadas para muitos estudos de planejamento. Verificou-se também que o erro adicional na alocação de tráfego pode ser minimizado pelo uso da alocação de múltipla rota, com o uso adequado de ligações de centróide e pela limitação do número máximo de viagens atraídas por zona .

Algumas observações podem ser feitas relativas as conclusões dos autores:

- Os erros obtidos na alocação tudo ou nada são maiores para o zoneamento 144 do que os obtidos com o zoneamento 136, o que parece inconsistente. Em princípio, esperava-se que o aumento da agregação também levasse a um aumento do erro de alocação de tráfego. Este resultado mostra que o processo é no mínimo aleatório e não evolui de forma contínua.
- A limitação do número máximo de viagens atraídas por zona de acordo com os dados fornecidos (veja alocação tudo ou nada sistema 136 e 144), não necessariamente minimizam o erro da alocação de tráfego, como afirma o autor, pois o erro obtido para o sistema 136 foi menor que o obtido para o sistema 144, definido exatamente para melhorar a densidade muito alta de viagens atraída por algumas zonas do sistema 136.
- Os autores afirmam que a alocação por múltipla rota gera erros menores que a alocação tudo ou nada, contudo, observa-se que existem dois casos em que este fato não se dá, zoneamento 136 e 40.

Esperava-se que, com o aumento da agregação do zoneamento (não houve variação da rede no estudo), o erro relativo aumentasse, ao contrário verifica-se que além de não aumentar, ele torna-se negativo nestes zoneamentos.

- As inconsistências citadas acima ocorreram relativas aos sistemas 136 e 40, onde os autores tinham identificado uma densidade muito alta de viagens atraídas para algumas zonas, o que inclusive os levou a definição de dois novos sistemas de zonas a partir de alterações dos sistemas acima. Este fato pode nos indicar que um padrão

de viagens atraídas por zona, para toda área de estudo, deve ser seguido para que obtenhamos resultados mais consistentes para os diferentes modelos de alocação de tráfego.

- Os autores afirmam que o número de zonas utilizados em regiões metropolitanas pode ser reduzido para um terço ou um quarto do número de zonas em geral utilizados neste estudos sem contudo mostrar que este era um padrão (607 zonas) utilizado na época deste trabalho.

2.3.1.3 - Distribuição de Viagens

O efeito da agregação de zonas sobre a distribuição de viagens foi avaliado para os sistemas 263, 144 e 56 através do modelo gravitacional aplicado com um e quatro motivos de viagens. Para cada cenário foram calibradas funções de impedância para cinco categorias de viagens obtendo-se erros no tempo médio de viagem em relação ao observado de cerca de 0,1 minutos.

As tabelas abaixo permitem obter uma visão dos resultados relativos a distribuição de viagens para cada um dos 3 cenários:

* Tempo médio de viagem (minutos) por categoria de viagem

Tabela 2.14 – Tempo Médio de Viagem

Categorias de Viagens	Sistema 263	Sistema 144	Sistema 56
Base não domiciliar *	15,4	14,9	14,6
Base domiciliar - motivo trabalho *	19,6	19,0	19,0
Base domiciliar - motivo outros *	13,5	13,0	13,4
Veículos Comerciais	15,0	14,7	14,4
Tempo Médio Geral	15,8	15,4	15,4

O resultados obtidos para os tempos de viagem dos três sistemas analisados mostram uma provável inconsistência no tratamento das viagens intrazonais. Sistemas mais agregados por terem menos viagens de curta distância, e em geral de menor tempo de viagem, tem tempos médios maiores. As viagens intrazonais normalmente não são alocadas pelos procedimentos de carregamento das matrizes de viagem e portanto devem ser alocadas como volumes exógenos.

Quanto este procedimento não é executado o não carregamento dessas viagens permite uma diminuição do efeito do congestionamento e portanto resultados inconsistentes como tempos médios menores para zoneamentos mais agregados.

* Erros de alocação obtidas em 16 linhas de verificação com um total de 194 links (comparação com contagens volumétricas).

Tabela 2.15 – Erros de Alocação

Sistema	O-D pesquisada		Distribuição - 4 motivos		Distribuição - 1 motivo	
	Erro 1	Erro 2	Erro 1	Erro 2	Erro 1	Erro 2
263	7.047	635.564	7.631 (8,3)	774.783 (21,9)	7.780 (10,4)	785.465 (23,5)
144	7.454	647.452	7.896 (5,9)	741.073 (14,5)	7.967 (6,9)	748.603 (15,6)
056	9.618	1.189.126	9.801 (1,9)	1.228.486 (3,3)	9.983 (3,8)	1.263.340 (6,2)

(...) - Variação percentual dos erros obtidos com a alocação da matriz de viagens (4 e 1 motivo) em relação a alocação da matriz de viagens da pesquisa O-D.

Observa-se através da variação percentual do erro1 (menor que 10,5%) que os erros 1 para um e quatro motivos são marginalmente maiores do que os erros obtidos com o carregamento da matriz O-D pesquisada. Verifica-se também que os erros obtidos com a distribuição de viagens realizada com um motivo é consistentemente maior que a distribuição com quatro motivos.

A análise de veículos-milha e veículos-hora para os 56 distritos (sistema 56) indicaram resultados similares para as distribuições realizadas com um e quatro motivos com exceção do sistema 263 onde houve maiores erros para a distribuição com quatro motivos do que com um motivo. A análise detalhada indicou que a maioria dos grandes erros eram motivados pela escolha do zoneamento em vez do processo de distribuição.

As curvas de impedância obtidas para todos tipos de motivos foram bastante similares para os três sistemas, principalmente na faixa intermediária. As divergências ocorreram para viagens com tempo maior que 50 minutos (menos de 2% das viagens) e para viagens de curta distância, como esperado, devido a quantidade de viagens intrazonais das zonas. Para a maior parte da curva tivemos valores similares o que demonstra que a função de impedância independe, para esta faixa da curva, do numero de zonas que foi dividida a área de estudo.

As observações realizadas indicaram que a redução do número de zonas não diminui apreciavelmente a exatidão do processo de distribuição de viagens e que a distribuição com um motivo é somente levemente menos precisa (variação do erro 1 e 2 de alocação para 4 e 1 motivos) do que as distribuições realizadas com vários motivos.

2.3.1.4 - Conclusões

O estudo determinou que o nível de precisão em alocações e distribuição de viagens que são esperados em estudos de transporte podem ser obtidos com menos zonas de análise (Var1 e Var2 para os sistemas 263 e 144 e Erro1 relativo a pesquisa OD para 1 e 4 motivos) do que o usado pelo autor

Os testes de alocação de viagens da pesquisa OD com os 5 sistemas de zoneamentos indicaram a possibilidade da seleção do número de zonas de acordo com os objetivos do estudo:

- Zonas com tamanho médio entre 10.000 a 15000 viagens atraídas mostraram-se mais adequadas para o planejamento das principais rotas de tráfego
- Zonas com tamanho médio de cerca de 30.000 viagens atraídas por zona forneceram dados suficientemente precisos para previsão de crescimento de tráfego em corredores de transporte ou setores de áreas urbanas.

A comparação da alocação de viagens da matriz O-D com as matrizes geradas com a distribuição de viagens indicou que a exatidão do processo de distribuição não é afetada significativamente pela redução no número de zonas de tráfego e que a distribuição com um motivo oferece significativo ganho (levantamento de dados, computacionais, etc.) com uma pequena redução da exatidão dos resultados.

2.3.2- O Efeito do Tamanho da Zona e do Detalhamento da Rede sobre os Resultados do Carregamento de Equilíbrio e o Carregamento Tudo ou Nada, segundo Jansen, Bovy (1982).

Este artigo apresenta alguns resultados de uma experiência empírica realizada na cidade Holandesa de Eindhoven com cerca de 200.000 habitantes. Diferentes níveis de agregação foram testados em duas metodologias de carregamento da rede: equilíbrio (método de Frank & Wolfe ou de aproximação linear) e tudo ou nada

2.3.2.1- Redes e Zoneamentos Analisados

Três sistemas (redes e zoneamentos) com diferentes níveis de agregação foram testados:

1. Zoneamento Agregado e Sistema Viário Arterial
2. Zoneamento Médio e Sistema Viário Arterial e Coletor
3. Zoneamento Detalhado (quadras) e quase todas as vias da cidade (rede “real”)

A definição das redes acima seguiram os seguintes preceitos:

1. Todos os links inclusos em um nível mais agregado de rede também faziam parte dos níveis mais desagregados.
2. O zoneamento de um nível mais agregado era formado pela composição de zonas de um nível mais desagregado.

Alguns dados são importantes para entendermos a relação entre as três redes simuladas:

Tabela 2.16 – Dados Básicos

	Rede				
	Detalhado	Médio		Agregado	
Nº de Links direcionais	12871	2490	19,3 %	544	4,2 %
Nº de Nós	4312	826	19,2 %	204	4,7 %
Total de Kms	1348	648	48,0 %	275	20,4%
Capacidade Total *	898651	525268	58,5 %	305388	34,0 %
Velocidade Média **	32	35		40	
Nº de Centróides (Zonas)	1286	183	14,2 %	47	3,6 %
Nº de Ligações de Centróides	4588	942	20,5 %	202	4,4 %

* Km veic/h (capacidade da rede em uma hora)

** Velocidade média = (Σ comprimento dos links) / (Σ tempo de fluxo livre)

% Variação em relação a rede detalhada

Tabela 2.17 – Dados de Viagens e Habitantes

	Zoneamento				
	Detalhado		Médio		Agregado
Nº médio de habitantes / Zona	150	2,8 %	1130	21,3 %	5300
Nº Total de Viagens	58575		58575		58575
Nº de Viagens Intrazonais	143	5,8 %	719	29,3 %	2458

% Variação em relação as viagens intrazonais da rede agregada

Observa-se a existência de um numero pequeno de viagens intrazonais nos três cenários simulados

Alguns valores médios podem ser obtidos das tabelas acima:

Tabela 2.18 – Valores Médios

	Detalhado	Médio	Agregado
Nº de links / zona	10	13,6	11,6
Nº de nós / zona	3,4	4,5	4,3
Nº de ligações de centróides / zona	3,6	5,2	4,2
Kms / zona	1,05	3,5	5,8
Capacidade / zona	699	2870	6498
Nº de Viagens /zona	45	320	1246
Nº de Viagens Intrazonais / zona	0,11	3,9	52,3

2.3.2.2 - Resultados Obtidos

Diversos dados foram comparados em diversos níveis:

1. No nível de toda a rede: volume total, tempo total e frequência dos volumes (histograma)
2. No nível localizado, volumes em *Screenlines e Cutlines*.
3. No nível individual, volume nos links.
4. No nível real, comparação com contagens volumétricas.

As tabelas abaixo permitem avaliar os resultados da comparação dos volumes de alocação e contagens em 190 links, para a método de equilíbrio e tudo ou nada.

Tabela 2.19 – Alocação x Contagem

Tipo Via	Nível	Aloc	N	\bar{V}_c	\bar{V}_a	AE	DSD	CV	RMSE	% RMSE	% AE ²	% DSD ²	% CV ²
I	Agregado	EQ	57	1107	1689	+ 591	+ 505	572	968	87	38	27	35
I	Médio	EQ	57	1107	1265	+ 158	+ 197	432	501	45	10	16	74
I	Detalhado	EQ	57	1107	1228	+ 121	+ 167	405	454	41	7	13	79
I	Agregado	TN	57	1107	1726	+ 619	+ 655	743	968	105	28	31	41
I	Médio	TN	57	1107	1360	+ 253	+ 403	640	501	72	10	25	65
I	Detalhado	TN	57	1107	1285	+ 178	+ 363	634	624	68	6	23	71
II	Médio	EQ	83	342	386	+ 44	+ 115	250	278	81	3	17	80
II	Detalhado	EQ	83	342	373	+ 32	+ 82	216	233	68	2	12	86
II	Médio	TN	83	342	354	+ 12	+ 131	261	278	85	0	20	80
II	Detalhado	TN	83	342	339	- 3	- 108	254	254	81	0	15	85
I+II	Médio	EQ	140	654	744	+ 90	+ 152	341	383	59	5	16	79
I+II	Detalhado	EQ	140	654	721	+ 68	+ 121	310	340	52	4	13	83
I+II	Médio	TN	140	654	764	+ 110	+ 286	465	383	85	4	26	70
I+II	Detalhado	TN	140	654	724	+ 71	+ 244	310	459	80	2	21	77
III	Detalhado	EQ	50	76	73	- 3	+ 16	88	89	117	0	3	97
III	Detalhado	TN	50	76	61	- 15	- 14	88	109	146	2	2	97
I+II+III	Detalhado	EQ	190	502	551	+ 49	+ 107	270	295	59	3	13	84
I+II+III	Detalhado	TN	190	502	550	+ 48	+ 204	270	403	90	1	20	79

$$RMSE = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (V_a - V_c)^2}$$

$$RMSE\% = (RMSE / \bar{V}_c) * 100$$

$$AE = \bar{V}_a - \bar{V}_c$$

$$Sdf = \sqrt{1/(N-1) \sum_{i=1}^n (V_a - \bar{V}_a)^2}$$

$$Sdc = \sqrt{1/(N-1) \sum_{i=1}^n (V_c - \bar{V}_c)^2}$$

$$DSD = Sdf - Sdc$$

$$CV = \sqrt{2 \cdot (1-R) \cdot Sdf \cdot Sdc}$$

onde:

V_a = Volume Alocado

V_c = Volume de Contagem

N = Número de Amostras

RMSE = Desvio Padrão

AE = Erro médio

DSD = Diferença entre Desvios Padrões relativos a média

R = Coeficiente de Correlação

Tipos de Vias

I = Sistema Viário Arterial

II = Sistema Viário Coletor

III = Sistema Viário Local

2.3.2.3 - Conclusões

Os diversos resultados obtidos levaram as seguintes conclusões:

- O efeito do detalhamento espacial é consistente e semelhante para ambos modelos de

carregamento; refinar a rede e o zoneamento sempre melhora os resultados do carregamento. Entretanto o nível de melhora diminui com o crescimento do nível de detalhes. Enquanto o nível médio representa só um quinto dos links da rede “real”, os carregamentos obtidos são só levemente piores que o nível detalhado (rede “real”). Já no nível agregado de rede obtiveram-se erros significativos de superestimação dos volumes; aproximadamente $2/3$ dos erros encontrados, segundo Bovy, tinham origem na agregação da rede e zoneamento.

- Os resultados indicaram que para ser usada em análise de carregamento não há necessidade de uma rede muito detalhada. Uma rede de médio detalhamento consiste de todas as vias coletoras e arteriais, este tipo de rede parece dar resultados que dificilmente podem ser melhorados (a inclusão das vias locais (nível detalhado), na alocação pelo método de equilíbrio, resultou em pequena melhora do *RMSE%* das vias arteriais; de 45% para o nível médio para 41% no nível detalhado).
- O resultados experimentais (por exemplo: o sistema viário arterial (I), alocação pelo método de equilíbrio, tem o *RMSE %* de 87% para o nível agregado e 45% para o nível médio, onde houve a inclusão das vias coletoras na rede), também indicaram uma diretriz a ser sugerida em relação a seleção de links para um carregamento de rede: se desejamos estimar o volume de uma classe funcional é desejável incluir na rede uma classe abaixo na hierarquia. No trabalho foi verificado que a inclusão desta classe mais baixa melhora significativamente o carregamento da mais alta.
- Os melhores resultados nos três níveis de detalhe foram obtidos para o modelo de equilíbrio

Observa-se que no trabalho desenvolvido por Jansen e Bovy, diferentemente de outros, variou-se tanto o zoneamento quanto a rede. Trabalhou-se com três sistemas: rede agregada com o zoneamento agregado, rede média e zoneamento médio e rede desagregada e zoneamento desagregado. Outras hipóteses de sistemas (rede agregada e zoneamento desagregado, rede média com zoneamento agregado, etc.) combinando todas os padrões de zoneamento e rede poderiam ter sido testados permitindo assim uma completa compreensão do

comportamento da alocação de tráfego.

2.3.3 - Impacto da Reconfiguração de Zonas na Previsão da Demanda de Viagens segundo Crevo (1991)

O objetivo deste artigo é verificar se as estimativas de demanda de viagem podem ser melhoradas com a subdivisão de determinadas zonas de análise de tráfego. Como resultado deste trabalho temos a técnica de identificação das zonas candidatas a subdivisão e os resultados das alocações realizadas com o sistema original e com o zoneamento modificado.

Este estudo foi desenvolvido com os modelos e dados de 1970 usados para a previsão de viagens do condado de New Castle para o ano de 1985 pelo Delaware Department of Transportation. O condado de New Castle compreende aproximadamente metade do norte do estado de Delaware, USA.

2.3.1 - Identificação das Zonas Candidatas a Subdivisão

A análise de dados domiciliares e características de empregos usados para estimar as viagens futuras formam a base para a identificação das zonas de análise de tráfego que são candidatas à subdivisão em unidades menores. A chave desta determinação é o estabelecimento do nível de variação entre o ano base e o ano de previsão, que indique um nível de crescimento da zona de tráfego significativamente diferente de outras zonas, e que deve influenciar seus padrões de viagens. Seis diferentes métodos foram usados para a avaliação das zonas candidatas:

- a) O método 1 realizava comparações absolutas e relativas para os anos de 1970 e 1985 de características domiciliares (população, unidades residenciais e automóveis) e de empregos (manufatura, industrial, comercial, serviço e varejo) e se mostrou inconsistente para identificar as zonas candidatas a subdivisão.
- b) Os métodos 2,3,4 assumem que a variação de atividades de uso do solo pode ser expressa em termos da produção e atração de viagens por zona ou sua variação

(absoluta ou percentual) entre os anos de 1970 e 1975. Através da definição de valores de corte (valores que identificam zonas acima de um certo limite), nem sempre justificados pelo autor, se obtêm conjuntos diferenciados de zonas candidatas.

- c) Os métodos 5 e 6 utilizam para esta análise a densidade de produção e atração de viagens ou sua variação (absoluta ou relativa) ao longo dos anos e também através de valores de corte obtêm conjuntos de zonas candidatas.

É interessante observar que os valores de corte arbitrários usados nos diferentes métodos buscaram sempre identificar zonas diferenciadas e foram propostos unicamente para este trabalho.

Com exceção do método 1 cada enfoque gerou um conjunto de zonas para reconfiguração. Em muitos casos vários métodos identificaram zonas comuns. Entretanto, a decisão final de que zonas devem ser reconfiguradas deve levar em conta outros fatores que derivem da prática e habilidade do planejador na aplicação do conhecimento da área. Os componentes das zonas a serem avaliados, mas não limitados a estes, são os seguintes: barreiras naturais ou não, vias que são parte do limite da zona ou fornecem acesso a mesma, número de viagens geradas e tamanho físico da zona.

Do cruzamento dos métodos de seleção e da avaliação dos componentes acima, 9 zonas foram escolhidas para reconfiguração e transformadas em 23 unidades obtendo-se um modelo revisado com 242 zonas, em vez das 228 iniciais. Definiu-se como padrão para constituição das novas zonas de 6.000 a 8.000 viagens atraídas.

O autor não avalia cada um dos métodos de escolha das zonas candidatas a subdivisão em separado, de modo que fossem testados, o que não permite identificar a qualidade dos resultados obtidos individualmente.

2.3.3.2 - Comparação dos Resultados

Na tabela abaixo observamos resultados da alocação de tráfego para os dois conjuntos de

zonas (sistema 228 e 242):

Tabela 2.20 – Resultados de Alocação

Tipo de Viagens	Sistema	Total de Viagens	Viagens Intrazonais	Viagens-Hora	Tempo Médio de Viagem
Trabalho	228	226.501	2.571	58.088	15,39
	242	226.468	2.435	58.241	15,43
Base Domiciliar	228	214.638	4.811	32.497	10,76
	242	214.752	5.724	36.660	10,24
Compras	228	336.670	9.231	66.778	11,90
	242	336.826	9.066	66.840	11,91
Outros	228	210.714	7.241	38.652	11,01
	242	211.190	7.157	38.597	10,97
Base Não Domiciliar	228	988.523	23.854	196.015	12,27
	242	989.236	24.382	200.338	12,14
Total de Viagens	228	988.523	23.854	196.015	12,27
	242	989.236	24.382	200.338	12,14

Obs.: verifica-se que houve pequena alteração na relação viagens intrazonais / total de viagens dos sistema 228, 2,41% para o sistema o sistema 242, 2,46%, assim como do total de viagens para cada tipo de viagem motivados provavelmente pela redistribuição das viagens no diferentes zoneamentos.

O objetivo da análise era estabelecer se um dos conjuntos de zonas na alocação poderia ser considerado melhor do que o outro se comparado com as contagens. A técnica escolhida para a comparação eficaz das alocações foi:

- As comparações quantitativas e absolutas para se obter uma avaliação geral das diferenças obtidas na área de estudo

Em uma amostra de 185 links escolhidos aleatoriamente na rede foi realizada uma comparação com contagens. O quadro abaixo mostra o número de ligações por faixa de erro (%) agregadas em 4 classificações administrativas, “FAP - Federal-aid primary”, FAS - Federal-aid secondary”, FAU - Federal-aid urban” e “LOC - Local jurisdiction secondary”.

Tabela 2.21 – Número de ligações por Faixa de Erro

Número de Links por Faixa de Erro (Alocação X Contagem)											
Classificação Viária	Sistema	< +10%		+11-20%		+21-30%		+>30%		Total	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
FAP 1985	228	18	32	11	20	8	14	19	34	56	100
	242	17	30	8	14	10	18	21	38	56	100
FAS 1985	228	4	9	5	11	4	9	31	71	44	100
	242	7	16	3	7	1	2	33	75	44	100
FAU 1985	228	8	15	9	16	5	9	33	60	55	100
	242	10	18	6	11	7	13	32	58	55	100
LOC 1985	228	4	13	3	10	6	20	17	57	30	100
	242	2	7	4	13	4	13	20	67	30	100
TOTAL 1985	228	34	18	28	15	23	12	100	55	185	100
	242	36	19	19	11	22	12	100	58	185	100

Observa-se que o autor não deixa claro na classificação de vias utilizadas o padrão das mesmas e não identifica se o erro foi positivo ou negativo, inclusive para se ter clareza se os erros encontram-se no mesmo sentido.

A não realização de comparações mais localizadas, nas proximidades das zonas alteradas (o número de zonas reconfiguradas pode ser considerado pequeno), não permite uma melhor avaliação dos resultados.

- A aplicação de regressão linear entre os volumes obtidos nas alocações (sistema 228 e 242) e as contagens, fornecendo parâmetros que permitissem avaliar a habilidade de cada alocação representar as contagens (veja tela abaixo).

Tabela 2.23 – Regressão Linear

Regressão Linear (Alocação X Contagem)					
Classificação	Sistema	R	R²	Inclinação	Intercepção
FAP 1985	228	0,713	0,508	0,547	10115
	242	0,722	0,521	0,545	9936
FAS 1985	228	0,445	0,198	0,606	2406
	242	0,457	0,209	0,545	2206
FAU 1985	228	0,549	0,302	0,653	4798
	242	0,520	0,271	0,616	5043
LOC 1985	228	0,934	0,872	1,047	46
	242	0,927	0,860	1,020	49

A avaliação dos resultados obtidos, com o sistema mais desagregado (242), mostraram que a subdivisão das zonas não implicou em uma melhor representação do sistema viário. Tanto os erros obtidos em relação as contagens, assim como os testes estatísticos não indicaram

nenhuma vantagem do sistema reconfigurado. O pequeno número de zonas reconfiguradas pode ser um dos fatores que implicaram neste resultado, contudo não existe nenhuma indicação que a desagregação de mais zonas irá alterar os resultados obtidos.

Por fim, o autor chega a um resultado não esperado, já que a desagregação não melhorou os resultados da alocação de tráfego, sem explicar as causas desse resultado.

2.3.4 – Focalização (*focusing*) de uma Subárea com Modelos de Interação Espacial e Alocação de Equilíbrio, segundo Horowitz (1990).

Segundo Horowitz, a focalização (*focusing*) de uma subárea é um modo de reduzir o custo de preparação dos dados e necessidades computacionais na previsão de viagem em grandes redes de transporte, quando somente uma pequena área da região é afetada pela implantação de um projeto. O zoneamento e rede devem ser reconfigurados de modo que a área central de impacto do projeto esteja consideravelmente detalhada (pequenas zonas e muitas ligações) e regiões distantes com muito menos detalhes (grandes zonas e somente as principais ligações).

Deve-se ter claro que as modificações na rede original causam erros na previsão de tráfego, que precisam ser avaliadas. O artigo busca compreender melhor os erros causados pela focalização de uma subárea (*focusing*) através de simulações realizadas em Wausau, Wisconsin. Estas simulações serão realizadas utilizando-se o modelo tudo ou nada e o modelo “*Highway Land Use Forecasting Model II*” (HLFM II) que simultaneamente realiza previsão do uso do solo e de tráfego. Este modelo foi selecionado, em vez de modelos tradicionais, por realizar iterações espaciais e portanto ser mais sensível a variações do tamanho e forma das zonas de tráfego. Erros medidos na alocação através do HLFM II devem portanto ser maiores que os erros obtidos em modelos que realizem somente previsão de tráfego.

A iteração espacial implementada no HLFM II é uma versão do modelo de Lowry-Garin, Lowry (1964) e Garin (1966), para uso do solo, um dos métodos mais populares para este fim; já a iteração de previsão de tráfego estima o número de viagens entre cada par de zonas e as aloca na rede. Vários métodos de alocação podem ser implementados neste modelo sendo que

o adotado neste estudo foi um método de alocação com médias sucessivas (chamado pelo autor de incremental) com demanda variável, um híbrido do algoritmo de demanda variável de Evans (1976) e de alocação com médias sucessivas derivado do algoritmo de Frank-Wolfe. Testes mostraram que este modelo de alocação converge aproximadamente no mesmo tempo que o algoritmo de Frank-Wolfe.

O zoneamento de Wausau já está focalizado (*focusing*) na área central (Central Business District – CBD), todas as vias estão representadas e o tamanho das zonas é cerca de 0,2 milhas². As outras zonas tornam-se maiores com a distância da área central, entre 3 e 10 milhas². O zoneamento urbano de Wausau contém 36 zonas e 9 zonas externas na forma de *gateway*.

A rede inicial de alocação de viagens foi obtida com o modelo de alocação com médias sucessivas com demanda variável na rede e zoneamento originais da cidade de Wausau, com 20 iterações. A alocação deste cenário é o ponto inicial das simulações seguintes. Para cada alternativa foram feitas simulações com o método das médias sucessivas até 250 iterações e com o método de alocação tudo ou nada (com os tempos obtidos na rede inicial). Para a rede inicial a alocação tudo ou nada gerou um erro (*RMS – root means square*) de 114 veículos/hora, cerca de 26,5 % (o que indica um carregamento médio de 400 veículos/hora).

Zoneamentos alternativos foram criados com o objetivo de determinar a sensibilidade do modelo com a diminuição do número de zonas. No total 15 novos zoneamentos foram elaborados; os oito primeiros, denominados pelo autor de zoneamentos A, B, C, D, E, F, G, H são simplesmente zoneamentos resultantes de agregações de um par de zonas adjacentes em diferentes regiões da cidade (35 zonas em cada um dos zoneamentos), os quatro seguintes são resultantes de agregações de dois pares de zonas anteriores (os mesmos pares de zonas dos oito zoneamentos iniciais), AB, CH, EG, DF (34 zonas em cada um dos zoneamentos), e os três zoneamentos finais são por sua vez são agregações de quatro e oito pares de zonas anteriores ou seja ABCH, EGDF (32 zonas em cada um dos zoneamentos) e ABCHEGDF (28 zonas).

Os erros (*RMS*) obtidos para os oito cenários iniciais em relação ao cenário base para o modelo de alocação médias sucessivas de demanda variável e de alocação tudo ou nada para todas as ligações da área central e de toda a rede (não inclui conectores) pode ser visto a baixo.

RMS em veículos/hora – Cenários com eliminação de uma Zona

Tabela 2.24 – Erro de Alocação – Eliminação de 1 Zona

Rede Comparada	Alocação Médias Sucessivas de Demanda Variável		Alocação Tudo ou Nada	
	Todas Ligações	Links Área Central	Todas Ligações	Links Área Central
A	20,7	30,1	25,6	40,1
B	42,2	6,5	44,2	6,9
C	17,2	0,6	17,5	0,4
D	30,2	5,9	45,8	6,1
E	55,9	5,1	44,6	3,5
F	30,3	6,7	33,1	14,1
G	4,5	6,1	5,1	6,9
H	26,3	0,4	26,3	2,6

Observa-se que os erros obtidos nos diferentes cenários para os volumes das ligações (*RMS*), como esperado, é menor para a área central do que para toda a rede com exceção do zoneamento A, onde as zonas agregadas são adjacentes à área central e do zoneamento G, agregação de zonas externas - *gateways*. O autor não busca identificar os motivos dessas diferenças.

Em relação aos dois modelos de alocação verifica-se uma similaridade dos erros obtidos (resultado não esperado) e que sugere a não necessidade da alocação de equilíbrio para a verificação de erros de detalhamento (*focusing*).

A eliminação de uma simples zona causa variação na alocação de tráfego, algumas ligações são afetadas mais do que as outras, principalmente as ligações próximas às zonas eliminadas.

Podemos observar que os erros obtidos para os diferentes pares de zonas agregadas (zoneamentos A, B, C, D, E, F, G, H) variam bastante. O autor contudo não explorou este aspecto neste estudo, tentando identificar os possíveis motivos (número de viagens produzidas e/ou atraídas, localização relativa da zona à área central, etc.) que podem ser responsáveis por este resultado.

Assumindo que a variação causada pela eliminação de uma zona seja uma variável randômica independentemente distribuída é possível se obter o erro (*RMS*) estimado para zoneamentos com mais de uma zona adjacente agregada pela composição dos erros obtidos nos zoneamentos de menos zonas (o autor não exemplifica claramente o procedimento usado para obtenção do erro estimado), e o medido através da comparação com o cenário base, obtendo-se as tabelas abaixo:

RMS em veículos/hora. Cenários com eliminação de múltiplas Zonas.
Todos links da rede

Tabela 2.25 – Erro de Alocação – Eliminação de Múltiplas Zonas – Todos as Ligações

Rede Comparada (todos links da rede)	Alocação Médias Sucessivas de Demanda Variável		Alocação Tudo ou Nada	
	Medido	Estimado	Medido	Estimado
AB	45,2	47,0	48,9	51,1
CH	31,4	31,4	31,9	31,6
EG	43,2	56,1	45,0	44,9
DF	42,4	42,8	56,2	56,5
ABCH	55,0	56,5	58,6	60,1
EGDF	60,6	70,6	72,0	72,2
ABCHEGDF	82,5	89,9	93,1	93,9

RMS em veículos/hora. Cenários com eliminação de múltiplas Zonas.
Links da área central

Tabela 2.26 - Erro de Alocação – Eliminação de Múltiplas Zonas – Ligações da Área Central

Rede Comparada Links da Área Central	Alocação Médias Sucessivas de Demanda Variável		Alocação Tudo ou Nada	
	Medido	Estimado	Medido	Estimado
AB	30,4	30,8	37,7	40,7
CH	0,6	0,7	0,6	2,6
EG	5,9	8,0	7,0	7,7
DF	8,1	8,9	15,2	15,4
ABCH	30,4	30,8	37,6	40,8
EGDF	10,2	12,0	19,5	17,2
ABCHEGDF	32,2	33,1	45,4	44,3

Observa-se nas duas tabelas que os erros medidos e estimados estão bem próximos confirmando portanto a hipótese de independência das ligações, o que permite estimar o erro total de agregação a partir do erro de eliminação de uma única zona.

Outro aspecto, também não explorado pelo autor, e que pode ser observado foi que, o

aumento do número de zonas agregadas leva, na maioria dos casos, ao um aumento do erro (*RMS*), tanto para as ligações da área central com para todas as ligações da rede. A tabela abaixo evidencia esta observação:

Tabela 2.27 – Relação Erro x Número de Zonas

Rede Comparada	Alocação Médias Sucessivas de Demanda Variável Erro (<i>RMS</i>) - Todos as ligações e em ligações (CBD)		
A = 20,7 (30,1)	AB = 45,2 (30,4)	ABCH = 56,5 (30,4)	ABCHEGDF = 82,5 (32,2)
B = 42,2 (6,5)			
C = 17,2 (0,6)	CH = 31,4 (0,6)		
H = 26,3 (0,4)			
E = 55,9 (5,1)	EG = 43,2 (5,9)	EGDF = 60,6 (10,2)	
G = 4,5 (6,1)			
D = 30,2 (5,9)	DF = 42,4 (8,1)		
F = 30,3 (6,7)			

Exceto no zoneamento EG o erro cresce com o número de zonas agregadas.

Este artigo de Horowitz também avalia a distribuição das rotas de viagens para seis zoneamentos, A, B, C, D, E, F obtendo para cada um deles o número médio de rotas por ligação, o desvio padrão, etc. para a alocação tudo ou nada, assim como define procedimento de estimar o erro total de agregação a partir do erro da eliminação de uma única zona. Não identificamos nos resultados obtidos nenhum interesse a este estudo.

O modelo HLFM II permite também uma avaliação do erro (*RMS*) na previsão da população causado pela eliminação de zonas nos diversos zoneamentos definidos pelo autor. Este erro foi calculado para as 24 zonas que não foram agregadas em nenhum dos cenários definidos.

Tabela 2.28 – Erro de Previsão da População

Erro (<i>RMS</i>) de 24 Zonas não Alteradas					
Zoneamento	Erro	Zoneamento	Erro	Zoneamento	Erro
A	4,3	E	14,9	AB	8,1
B	6,0	F	2,8	CH	1,3
C	1,4	G	0,8	EG	1,0
D	8,2	H	0,9	DF	7,9
ABCH	7,8	EGDF	8,4	ABCHEGDF	10,9

Sabendo-se que o número da população média por zona é de 1885 verificamos que os erros obtidos estão dentro da faixa de 1%.

Também neste caso o autor não buscou verificar o motivo dos diferentes erros encontrados.

Como conclusão o autor destaca que na focalização de uma subárea (*focusing*) a grande vantagem esta na redução do tempo de processamento para grandes redes, obtida principalmente devido à agregação das zonas, e que a eliminação de ligações oferece poucas vantagens considerando os danos de previsão causados

A conclusão de Horowitz em relação a agregação da rede identifica para os procedimentos de focalização a não necessidade de compatibilidade entre o nível de zoneamento externo a área de detalhamento e a rede existente, inclusive aconselhando a realização da agregação unicamente do zoneamento.

2.4 - Análise dos Estudos Anteriores

2.4.1 - O Efeito do Tamanho da Zona no Carregamento e Distribuição de Tráfego

Observa-se no estudo realizado por Wildermuth, Delaney e Thompson que não houve uma preocupação de compatibilizar a rede de simulação com os novos zoneamentos criados (número médio de links por zona para os diferentes sistemas variando entre 7 e 80 e de nós entre 4 e 30), ou seja, a rede manteve-se inalterada para todos os zoneamentos (do sistema base - 639 zonas (internas e externas) ao sistema 40 - 63 zonas), apesar do número viagens intrazonais ter crescido cerca de 30%.

É usual que a rede de simulação represente as principais rotas de comunicação entre as zonas existentes, a medida que as viagens intrazonais não são alocadas na rede. A rede mantida inalterada foi gerada para o sistema base (639 zonas) representando as rotas existentes para este sistema e não para os sistemas 263, 144, 136, 56 e 40, entretanto observa-se, que não existiu uma grande variação dos erros relativos a contagens, na ligações que cruzavam as 16 linha de aferição, para os sistemas 263 e 144, este com cerca de $\frac{1}{4}$ do número do zonas do sistema base (639 zonas).

As conclusões de Wildermuth et al. neste trabalho: os resultados esperados em estudos de transporte, em termos de alocação e distribuição de viagens, em geral podem ser obtidos com

muito menos zonas do que o normalmente usado e o processo de distribuição não é afetado significativamente pela redução do número de zonas e que a distribuição com um motivo leva a uma pequena redução da exatidão dos resultados; antes que elas possam ser generalizadas, precisariam ser testadas em outros trabalhos similares.

Os testes de alocação de viagem segundo os autores indicaram a seleção do número de zonas para dois tipos de estudos de planejamento:

Tabela 2.29 – Atividades de Planejamento x Viagens Atraídas por Zona

Atividades de Planejamento	Nº de Viagens Atraídas por Zonas
Planejamento das Principais Rotas de Tráfego	De 10.0000 a 15.000
Previsão de Crescimento em Corredores de Transporte ou Setores de Áreas Urbanas	Cerca de 30.000

2.4.2 - O Efeito do Tamanho da Zona e do Detalhamento da Rede sobre os Resultados do Carregamento de Equilíbrio e o Carregamento Tudo ou Nada.

Neste trabalho de Jansen e Bovy observa-se uma certa compatibilidade entre as diferentes redes e zoneamentos, número médio de ligações por zona e número médio de nós para os três níveis de agregação são bastante próximos (variação para as ligações entre 10 e 14 e para os nós entre 3 e 5).

Os resultados indicaram que para estudos de análise de carregamento não existe necessidade de uma rede muito detalhada, isto porque a melhora obtida a partir do detalhamento de uma rede composta de vias arteriais e coletoras (rede média) é muito pequena.

Outro resultado indicou que para estimarmos com maior precisão os volumes de uma classe funcional de vias devemos incluir na rede viária uma classe funcional abaixo na hierarquia, logo se tivermos interesse de analisarmos os volumes das vias arteriais teríamos que incluir as vias locais (rede detalhada) o que torna a escolha do detalhamento da rede dependente do tipo de vias a serem analisadas.

2.4.3 - Impacto da Reconfiguração de Zonas nas Previsões de Demanda de Viagens

Crevo neste estudo busca verificar se a subdivisão de determinadas zonas de tráfego melhoram as estimativas de demanda futura.

Os resultados obtidos não indicaram nenhuma melhora nos valores de alocação obtidos, mas permitiram identificar técnicas para a escolha de zonas candidatas. Novos trabalhos deveriam ser feitos neste sentido para chegar-se a uma conclusão definitiva.

2.4.4 - Focalização (*focusing*) de uma Subárea com Modelos de Interação Espacial e Alocação de Equilíbrio

Horowitz neste artigo busca analisar os erros obtidos na alocação e na previsão da população por um processo de focalização, causados basicamente pela agregação das zonas externas à área focalizada. Esta análise contudo não buscou identificar padrões de agregação relacionados aos erros obtidos, o que é de interesse deste estudo. Este trabalho indicou, contudo, padrões de erros para agregações com diferentes quantidades de zonas diferentes.

Tabela 2.30 – Padrão de Erro por Número de Zonas

Zoneamento Agregado	Alocação Médias Sucessivas de Demanda Variável	
	Todas Ligações	Links Área Central
1 par de Zona	14 a 1,1 %	7,5 a 0,1%
2 pares de Zonas	11 a 7,8 %	7,6 a 0,15 %
4 pares de Zonas	15 a 13 %	7,6 a 3,0 %
8 pares de Zonas	20,6 %	8,1 %

2.4.5 - Conclusão da Análise – Estudos Anteriores

A observação dos três trabalhos iniciais (Wildermuth et al., Jansen e Bovy e Crevo) indicam que o detalhamento da rede de simulação e zoneamento a partir de um certo nível (médio), não tem contribuído para a melhora significativa dos erros dos volumes alocados na rede em relação aos volumes pesquisados. Este resultados, ainda iniciais, talvez possam ser interpretado como uma necessidade de melhora na qualidade das informações adquiridas no campo (pesquisa OD mais detalhada, capacidade, extensão da vias da rede, determinação dos coeficientes da função de carregamento, etc.), base para todo processo de simulação, e que

sem este refinamento não seja possível obter melhores resultados nos volumes de alocação.

O trabalho de Horowitz, por sua vez, indicou como contribuição a este estudo padrões de erros para agregações com diferentes quantidades de zonas e a não necessidade (principalmente na focalização) da compatibilidade de rede e zoneamento em regiões externas à área de interesse (estudo).

3 – Intervenção Viária Água

Espraiada

Este capítulo busca fornecer informações sobre a área onde se desenvolvera este estudo, e sobre o zoneamento, matriz de viagens e rede viária utilizados nas simulações.

3.1 - Contexto da Intervenção

A intervenção viária, Av. Água Espraiada, , parte da Operação Urbana Água Espraiada, localiza-se na zona sudoeste da cidade de São Paulo, numa área de 1337 hectares (figura 3.1), abrangendo a zona de influência da bacia de drenagem do córrego Água Espraiada entre as vias Marginal Pinheiros e Rod. dos Imigrantes, Av. Bandeirantes e Av. Prof. Vicente Rao (figura 3.2).

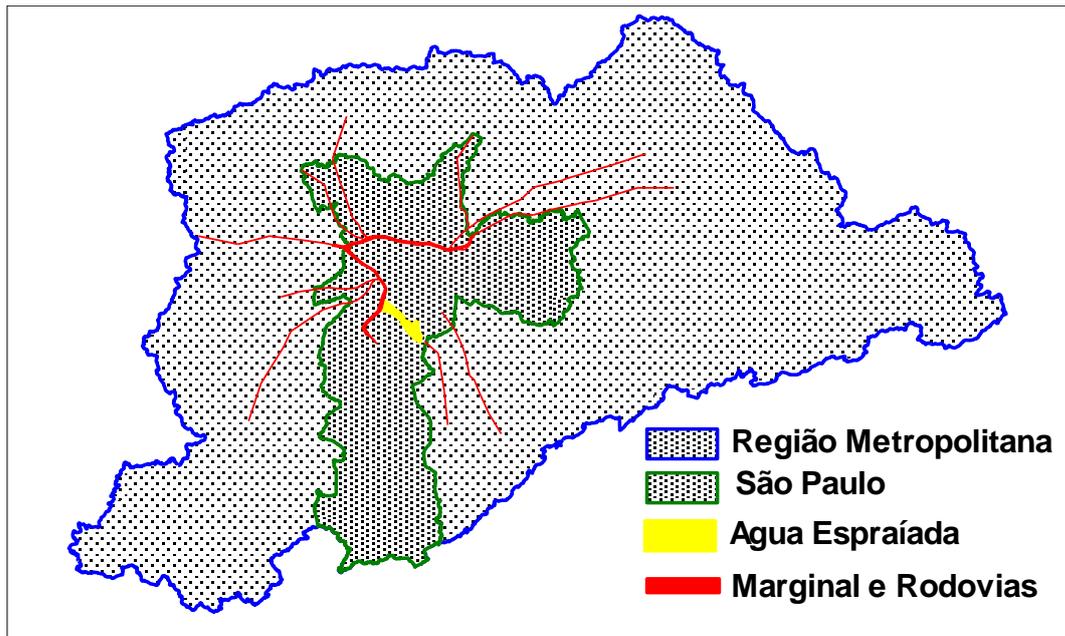


Figura 3.1 - Localização da Operação Urbana Água Espraiada

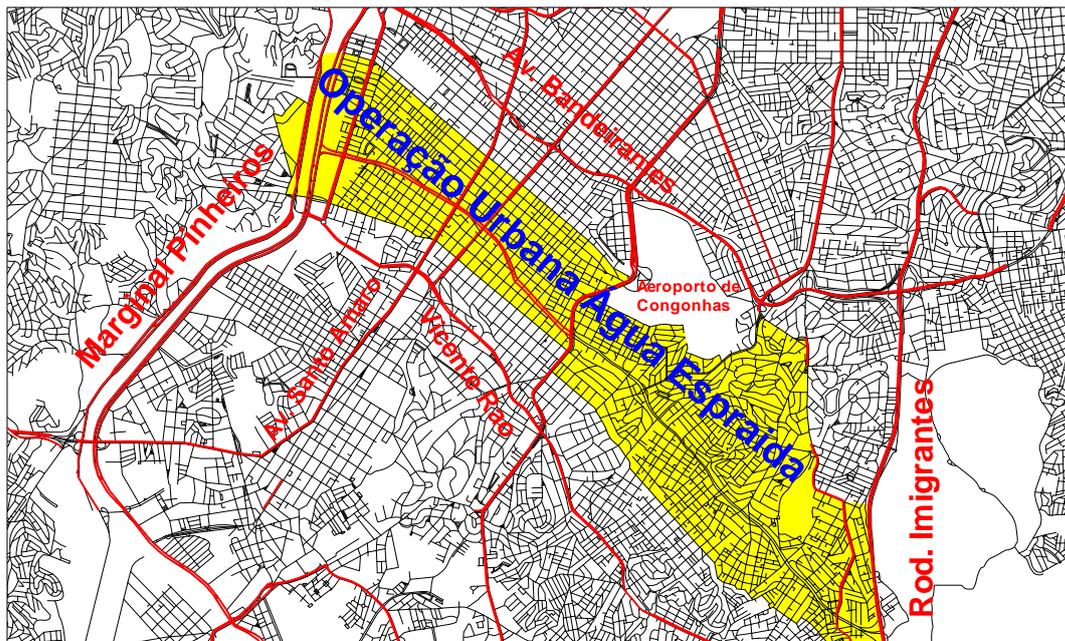


Figura 3.2 - Principais avenidas no entorno da Operação Urbana Água Espraiada

3.1.1 - Breve Histórico

O projeto Lei nº 296/91, Operação Urbana Água Espraiada,⁴ foi encaminhado à Câmara

⁴ A Operação Urbana é um instrumento previsto no artigo 152 da Lei Orgânica do Município, pelo qual certas intervenções são desenvolvidas pela iniciativa privada e pelo poder público, tendo em vista a melhoria do padrão de urbanização, maior rapidez de execução e menor volume de recursos públicos. É realizada sob a coordenação do poder público e podem ser propostas por iniciativa do setor privado ou por iniciativa do poder público, devendo em qualquer caso ser aprovado por Lei.

Municipal em 1991, com objetivos de implantação de uma série de melhorias no sistema de drenagem da região, no sistema viário e nos problemas habitacionais existentes (grande número de favelas). Como parte dessas melhorias, propunha-se uma avenida parque, suporte ao tráfego urbano local, que teria influência decisiva na organização espacial da área e a relocação das famílias faveladas ou encortiçadas das áreas lindeiras ao córrego.

Mais tarde, provavelmente no início de 1994, o poder executivo retirou o projeto Lei 296/91 do Legislativo para reestudo. Surge então um novo projeto concebido pela Emurb (Empresa Municipal de Urbanização) prevendo um conjunto de vias expressas, que interligariam as Marginais Pinheiros à Rodovia Imigrantes.

Neste mesmo período, a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) recebe solicitação da Emurb para análise do sistema viário proposto, assim como, da área de influência do projeto em termos de tráfego.

3.1.2 - Caracterização da Área de Estudo

Para a análise solicitada pela EMURB, a CET definiu como área de estudo uma faixa longitudinal de aproximadamente um quilômetro de largura a partir do eixo do córrego Água Espreada, englobando a área delimitada pela Emurb. Em função da similaridade de uso do solo e dos eixos viários existentes, a área do estudo definida acima foi dividida em quatro trechos conforme figura 3.3 abaixo:

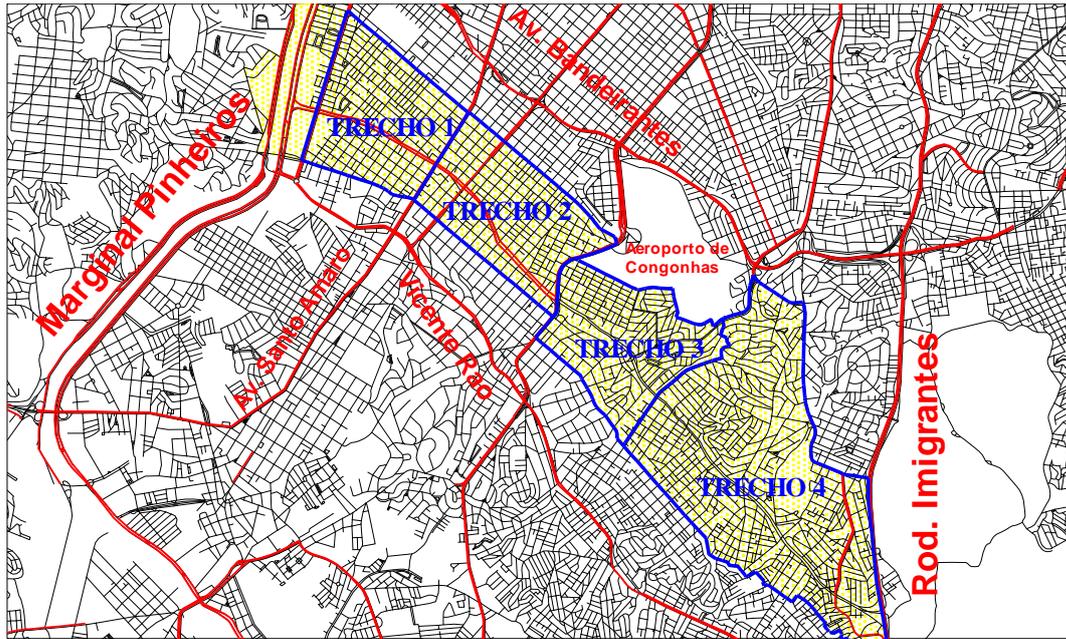


Figura 3.3 - Área de Estudo - subdivisão

Nos trechos definidos, a CET realizou levantamentos de uso do solo e de circulação viária, (Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, 1994, item 3) resultando na seguinte avaliação:

Trecho 1 – Entre a Av. Engenheiro Carlos Berrini e a Av. Santo Amaro

Apresenta uso do solo predominantemente residencial de padrão médio e alto, sendo que, nas proximidades do córrego, torna-se de baixo padrão, passando em seguida à condição de favelas. A malha viária é retilínea, entretanto, as vias transversais ao córrego não apresentam continuidade, existindo apenas três vias com transposição, Av. Luís Carlos Berrini, R. Nova York e Av. Portugal. Seu viário é quase todo composto de vias de tráfego local que se articulam com as Av. Berrini, Santo Amaro e Morumbi.

Trecho 2 – Entre a Av. Santo Amaro e a Av. Washington Luís

Com predominância de uso do solo residencial, apresenta uma presença acentuada de uso misto, (comercial e serviços) principalmente nos eixos das Av. Santo Amaro e Ver. José Diniz, R. Joaquim Nabuco e R. Pe. Antônio José dos Santos. A maioria das vias apresenta sentido duplo de circulação com exceção do binário formado pelas ruas Jesuino Maciel e Viera de Moraes por um lado e Joaquim Nabuco por outro.

Trecho 3 - Entre a Av. Washington Luís e a R. Alba

O Uso de solo é predominantemente residencial de médio e baixo padrão. Ao longo da margem do córrego predominam as favelas. A malha viária não apresenta continuidade pois todas as vias transversais ao córrego são interrompidas. A maioria das vias são de tráfego local, com exceção da Av. Washington Luís e um conjunto de vias que alimentam esta avenida.

Trecho 4 – Entre a R. Alba e a Rodovia dos Imigrantes

O uso do solo predominante é o residencial de baixo padrão com acentuada presença de uso misto (comércio e serviço) de pequeno porte. A malha viária é irregular com vias estreitas de sentido duplo, muitas sem saída. Existe algumas transposição sobre o córrego, que devido à topografia irregular, não tem continuidade em termos viários.

3.2 - Aspectos Metodológicos

A modelagem do sistema viário proposto e de sua área de influência foi realizada através da alocação de viagens em diferentes cenários na situação atual (1994) e futura (2014). Esta análise teve como base a rede viária expressa, arterial e coletora da cidade e a matriz de viagens, pico manhã (entre 7:00hs e 9:00hs), obtida da pesquisa Origem/Destino 1987 (OD/87).

3.2.1 - Zoneamento e Matriz de Viagens

A matriz de viagens de autos no pico manhã, utilizada neste trabalho pela CET, foi elaborada a partir da pesquisa OD/87, com 254 zonas e 1012 subzonas. Composta a partir da agregação das 1012 subzonas da pesquisa OD/87, a matriz usada na modelagem era composta de 481 zonas sendo 462 zonas internas e 19 zonas, representativas de estradas que acessam a região metropolitana de São Paulo. A matriz foi então, ajustada para o ano de 1991, através dos dados de variação populacional, obtidos do Censo 91.

Para melhor avaliar as viagens que atravessariam a futura Av. Água Espraiada, optou-se pelo detalhamento de um conjunto de zonas cortadas pela obra. A opção pelo detalhamento, surgiu devido à não alocação de viagens intrazonais, e por não se ter clareza, se as viagens com origem ou destino nestas zonas atravessariam ou não a Av. Água Espraiada (este atravessamento da Av. Água Espraiada dependeria, na situação original – 481 zonas, unicamente de como estariam ligados os conectores de centróide à rede).

3.2.1.1 - Novo Zoneamento

A divisão das sete zonas cortadas pela Av. Água Espraiada (zonas 192, 194, 197, 198, 199, 200, 273), foi realizada com base nas condições existentes na época, ou seja, o critério de proporcionalidade de área ajustada através de fotos aéreas da região, obtendo-se quatorze novas zonas (cada zona original foi dividida em duas novas zonas) com base nas seguintes taxas:

Tabela 3.1 – Zoneamento 488

ZONA ANTIGA	NOVA ZONA A		NOVA ZONA B	
ZONA	ZONA	% ZONA ANTIGA	ZONA	% ZONA ANTIGA
192	192	50%	482	50%
194	194	60%	483	40%
197	197	65%	484	35%
198	198	65%	485	35%
199	199	50%	486	50%
200	200	85%	487	15%
273	273	40%	488	60%

A nova matriz de viagens passa agora a ter 488 zonas (figura 3.4) sendo que as zonas 463 a 481 são zonas externas, ou seja rodovias que acessam a região metropolitana.

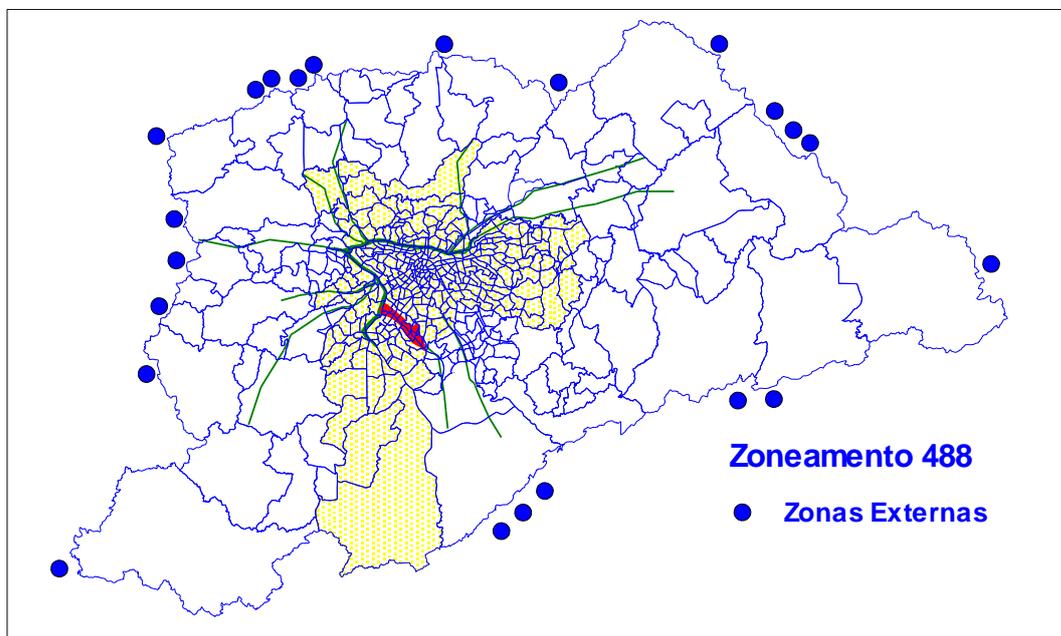


Figura 3.4 - Zoneamento 488

3.2.1.2 - Projeção da Matriz

Os trabalhos de análise e concepção do viário proposto pela Emurb para a Operação Urbana Água Espreada foram realizados para um horizonte de 20 anos. Tendo em vista os incentivos propostos para transformação do uso do solo na área da Operação Urbana e do crescimento previsto para cidade, a Emurb realizou estudo para definir uma projeção de adensamento para esta área. Para isto, dividiu-se a área em questão em 38 sub-regiões, (figura 3.5 abaixo) de acordo com as tendências de transformação do solo.

O estudo das 38 regiões baseou-se nos dados do TPCL (Cadastro Territorial, Predial, Conservação e Limpeza) de 1986, com atualização das novas áreas construídas realizada junto a SEHAB (Secretaria Estadual de Habitação), contemplando apenas os maiores projetos aprovados e construídos na região. As hipóteses de transformação foram consideradas de acordo com a predominância de usos dos imóveis, sua probabilidade de transformação e as tendências futuras de cada uma dessas sub-regiões, a partir de implantação dos

melhoramentos propostos. Deste trabalho obteve-se para cada uma das 38 regiões pré definidas uma projeção de adensamento residencial e comercial conforme tabela abaixo:

Tabela 3.2 – Sub-regiões Emurb

Sub-região	Adensamento Residencial	Adensamento Comercial
1	463%	690%
2	112%	314%
3	150%	437%
4	51%	1086%
5	30%	47%
6	69%	45%
7	85%	86%
8	33%	26%
9	130%	540%
10	319%	2700%
11	118%	1900%
12	45%	61%
13	263%	966%
14	137%	77%
15	142%	41%
16	148%	100%
17	173%	43%
18	69%	45%
19	20%	46%

Sub-região	Adensamento Residencial	Adensamento Comercial
20	38%	60%
21	21%	233%
22	93%	98%
23	126%	65%
24	39%	34%
25	117%	86%
26	148%	800%
27	58%	44%
28	89%	70%
29	44%	94%
30	46%	80%
31	137%	67%
32	181%	400%
33	101%	280%
34	45%	92%
35	45%	92%
36	66%	27%
37	*	*
38	*	*

* Os valores inexistentes não foram encontrados no relatório Operação Urbana

Água Espreada, (1994) devido falha de elaboração do mesmo.

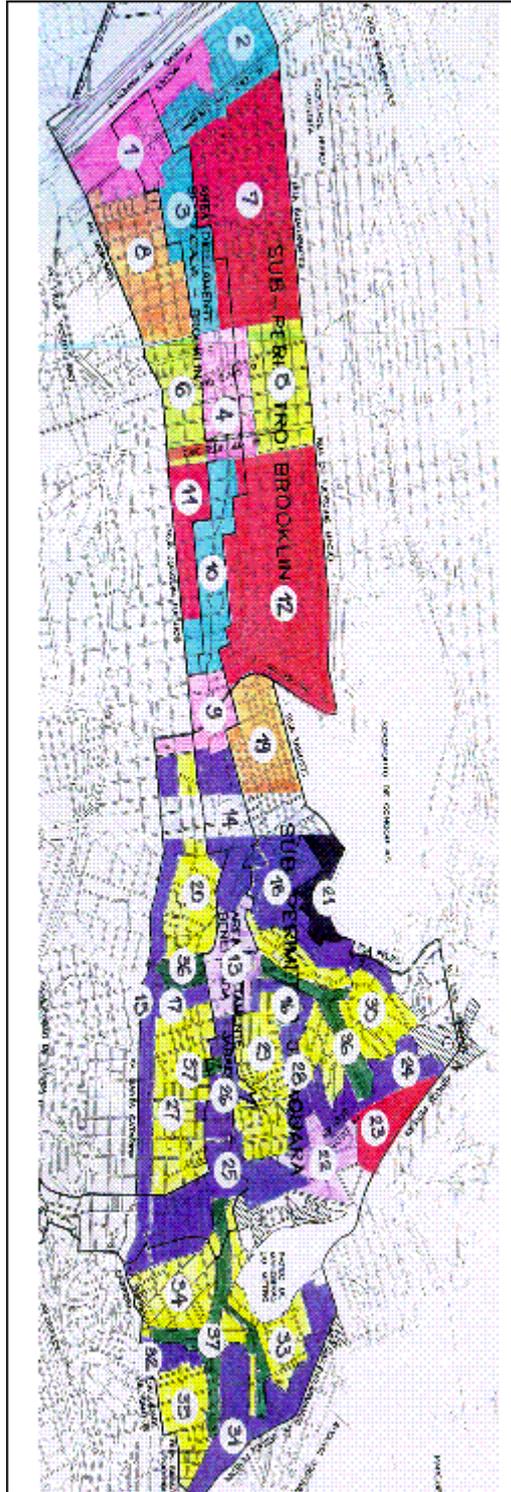


Figura 3.5 - Regiões Emurb

A projeção da matriz de viagens de autos para um horizonte de 20 anos foi realizada com os dados projetados pela Emurb. Através da relação entre as áreas dos dois zoneamentos (Emurb e Matriz de Viagens CET – 488) definiu-se as composições de cada zona da matriz de

simulação (CET – 488). Por exemplo a taxa de crescimento da zona 273 foi composta por 10% da taxa de crescimento da sub-região 2, 7% da sub-região 25, 28% da sub-região 33, 18% da sub-região 37 e 37% da sub-região 31 totalizando assim a taxa de crescimento da zona 273 (as porcentagens aplicadas as taxas de crescimento são relativas a proporção entre as áreas dos zoneamentos CET e Emurb).

Por tratar-se de uma matriz de viagens pico manhã optou-se por aplicar a taxa de crescimento residencial ao total de viagens com origem na zona e a taxa de crescimento comercial ao total de viagens com destino na zona, isto porque a matriz pico da manhã é composta principalmente de viagens com base domiciliar, motivo trabalho (indústria e comércio) e escola. Todas as zonas localizadas na área da operação urbana Água Espraiada foram ajustadas desta forma. Para as zonas externas à área definida pela Emurb adotou-se o crescimento médio de 1,15% ao ano, taxa média de crescimento populacional da região metropolitana divulgada pela Sempla (Secretaria Municipal de Planejamento). Para o balanceamento da matriz futura utilizou-se o método Fratar através do modulo de balanceamento bidimensional do software EMME/2.

3.2.1.3 - Matriz Atual - Auto - Pico Manhã

Em vista dos trabalhos atualmente desenvolvidos pela CET, principalmente as simulações do Rodoanel Metropolitano, existiu a necessidade de elaboração de uma matriz atual com a desagregação de um conjunto de zonas. Optou-se pela projeção e desagregação da matriz 1994 (488 zonas) para uma matriz ano 2000 (considerada atual) com 550 zonas.

A geração e produção de viagens foi realizada a partir de dados sócio econômicos (população e empregos) estimados pela Tekhintes Consultores Associados S/C Ltda, (1992) para a Companhia Metropolitana de São Paulo e taxas médias de crescimento volumétrico nas rodovias (zonas externas), obtidas da DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S.A (1996).

A distribuição de viagens foi realizada através do método fratar para as zonas com crescimento inferior a 20% (no período de 1994 a 2000) e pelo método gravitacional (tempo

de viagem usado como impedância) e fratar para as zonas com crescimento superior ou igual a 20%, ou seja, a aplicação do método gravitacional se deu unicamente para o acréscimo de viagens que excedeu os 20% definidos. Buscou-se assim manter o padrão das viagens da matriz 1994 (CET 488).

A Matriz atual (2000) com 550 zonas (figura 3.6) é resultado da desagregação do conjunto de zonas abaixo:

Tabela 3.3 – Zonas Desagregadas – Matriz 550 Zonas

ZON 488	ZON 550	REGIÃO	ZON 488	ZON 550	REGIÃO	ZON 488	ZON 550	REGIÃO	ZON 488	ZON 550	REGIÃO		
396	396	FERRAZ	382	382	EMBU	408	408	STO AMARO	391	391	GUARULHOS		
	520			492			534					506	
429	429	SUZANO		493			535					507	
	521					494		376		376		508	
	522					495		536				509	
374	374	MAUA	414	414	COTIA	537		510	392	392	GUARULHOS		
			523			496		538		511			
			524			497		539		512			513
			525			498		540		514		424	424
			526			499		541		515			516
	527		384	384	CARAPICUIBA	542		517	426	426	ITAQUAQUECETUBA		
400	400		500			543		518				519	
	528		501			544		519				377	377
401	401	RIBEIRÃO	385	385	ITAPECIRICA	381	381	SÃO PAULO		546			
	529	PIRES	502			489			547		548		
	530		503			490					549		
404	404	STO ANDRÉ	386	386	BARUERI	378	378						
	531			504			545						
	532			505			546						
375	375		387	387	SÃO PAULO								
	533		550										

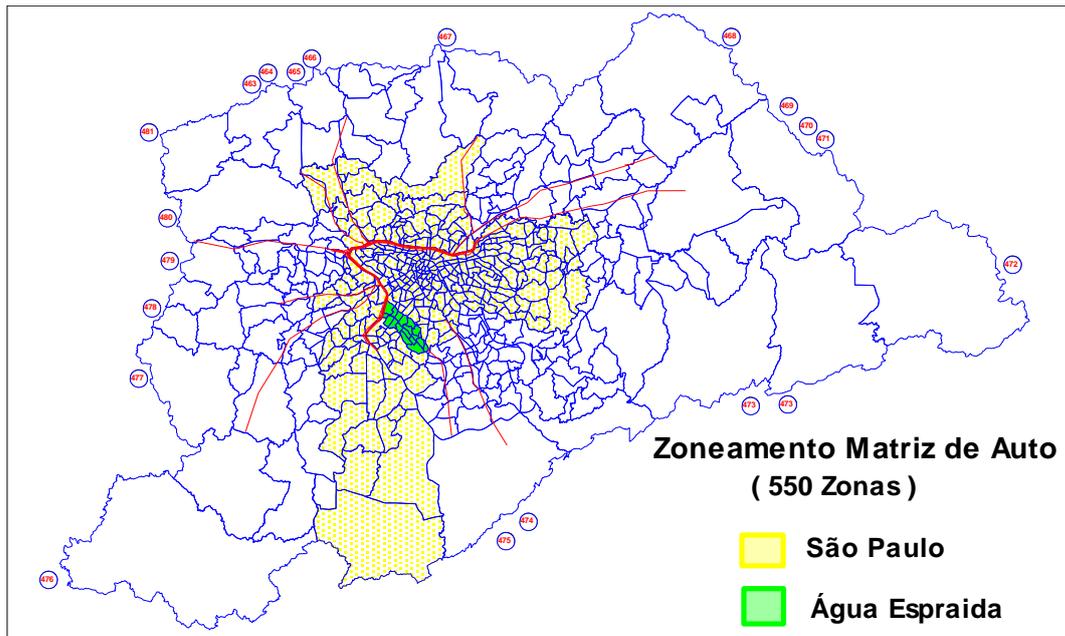


Figura 3.6 - Zoneamento 550 zonas

As figuras 3.7 e 3.8 abaixo permitem observar o total de viagens (veículos) produzidas e atraídas por macrozona da OD/87 para a matriz auto atual (2000), pico manhã.

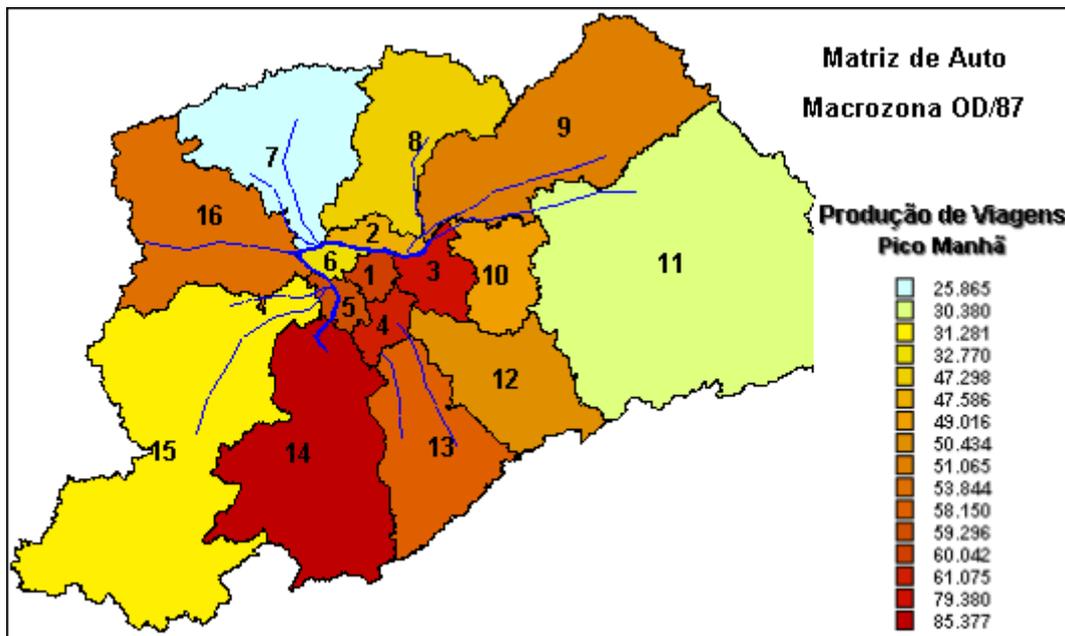


Figura 3.7 - Produção de Viagens - Auto - Pico Manhã

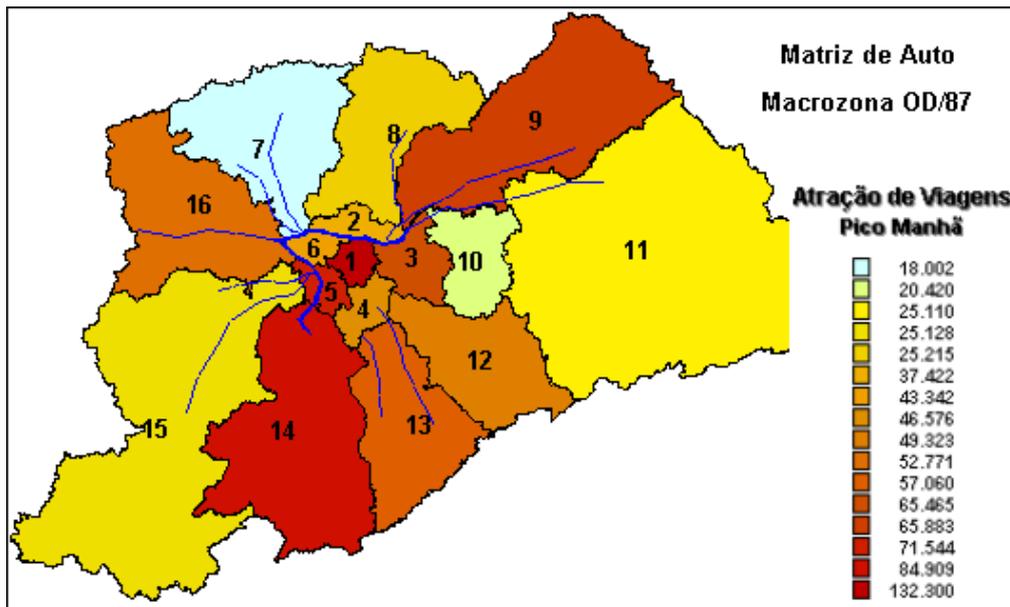


Figura 3.8 - Atração de Viagens - Auto - Pico Manhã

A tabela abaixo nos permite avaliar os fluxos de viagens (veículos) pelo modo auto, pico manhã existentes entre quatro regiões agregadas, Água Espraiada, Município de São Paulo (excluindo-se Água Espraiada), Região Metropolitana (excluindo-se o município de São Paulo) e a Região Externa a Região Metropolitana ou seja, o resto do Mundo (excluindo-se a Região Metropolitana).

Tabela 3.4 – Fluxos de Viagem - Auto

ORIGEM	DESTINO	VIAGENS	% do Total
ÁGUA ESPRAIDA	ÁGUA ESPRAIDA	5.239	0,63%
ÁGUA ESPRAIDA	EXTERNO A REG. METROP.	255	0,03%
ÁGUA ESPRAIDA	REGIÃO METROPOLITANA	2.546	0,31%
ÁGUA ESPRAIDA	SÃO PAULO	21.817	2,63%
EXTERNO A REG. METROP.	ÁGUA ESPRAIDA	1	0,00%
EXTERNO A REG. METROP.	EXTERNO A REG. METROP.	790	0,10%
EXTERNO A REG. METROP.	REGIÃO METROPOLITANA	1.049	0,13%
EXTERNO A REG. METROP.	SÃO PAULO	4.012	0,48%
REGIÃO METROPOLITANA	ÁGUA ESPRAIDA	2.122	0,26%
REGIÃO METROPOLITANA	EXTERNO A REG. METROP.	2.572	0,31%
REGIÃO METROPOLITANA	REGIÃO METROPOLITANA	189.789	22,90%
REGIÃO METROPOLITANA	SÃO PAULO	67.394	8,13%
SÃO PAULO	ÁGUA ESPRAIDA	17.915	2,16%
SÃO PAULO	EXTERNO A REG. METROP.	4.622	0,56%
SÃO PAULO	REGIÃO METROPOLITANA	75.659	9,13%
SÃO PAULO	SÃO PAULO	432.936	52,24%
TOTAL GERAL		828.718	

3.2.1.4 - Matriz Atual - Caminhão - Pico Manhã

A matriz de caminhão utilizada pela CET é resultado de um trabalho realizado pela empresa de consultoria Vetec S.A. para a DERSA, de ajuste e expansão da pesquisa da linha de cordão da OD/87, a qual a CET teve acesso através de estudo realizado pela CET do Rodoanel Metropolitano.

Cabe informar que no estudo realizado pela CET sobre a Operação Urbana Água Espreada, descritos neste capítulo, os volumes de caminhão eram exógenos, fixos na ligação (não foi alocada uma matriz de caminhão conjuntamente com matriz auto).

Segue abaixo (figura 3.9) o zoneamento da matriz de caminhão:

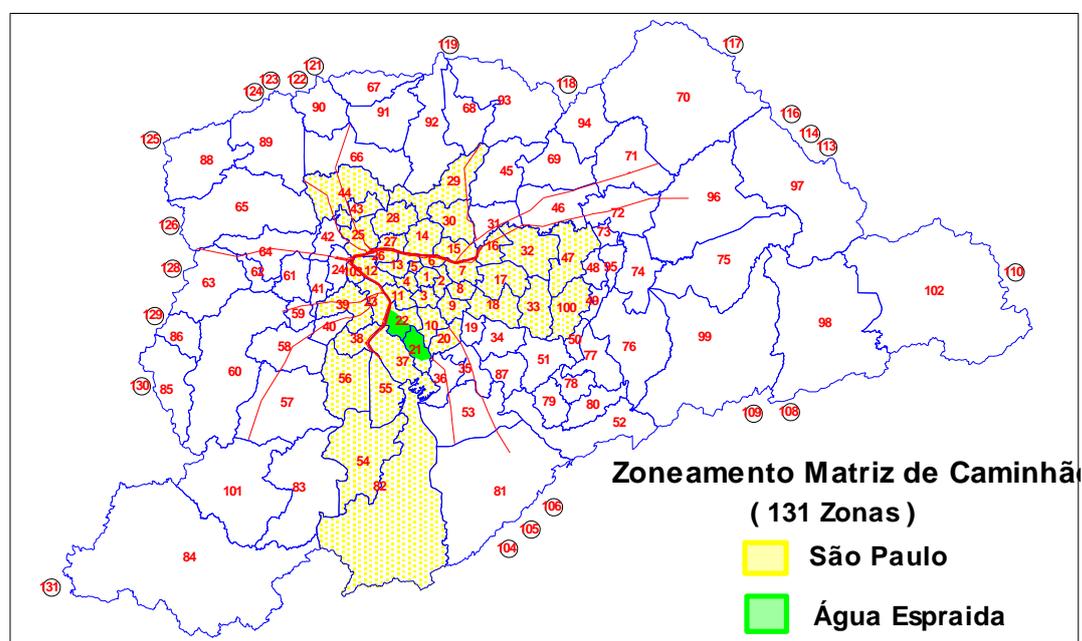


Figura 3.9 - Zoneamento Caminhão

As figuras (3.10 e 3.11) abaixo permitem observar o total de viagens de caminhão no pico manhã produzidas e atraídas por Macrozona da OD/87.

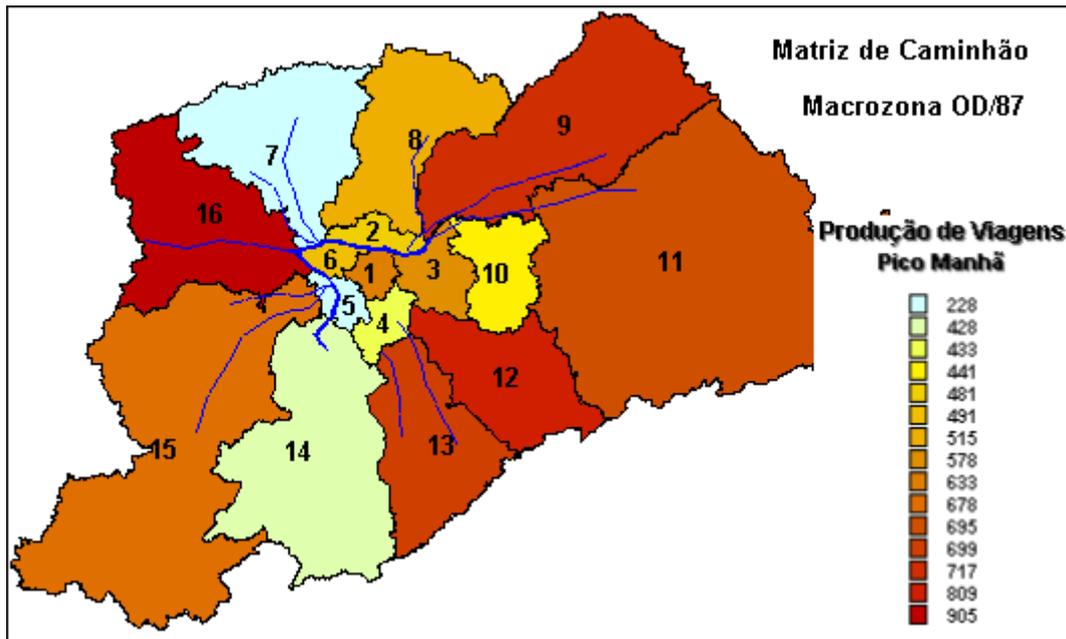


Figura 3.10 - Produção de Viagens - Caminhão - Pico Manhã

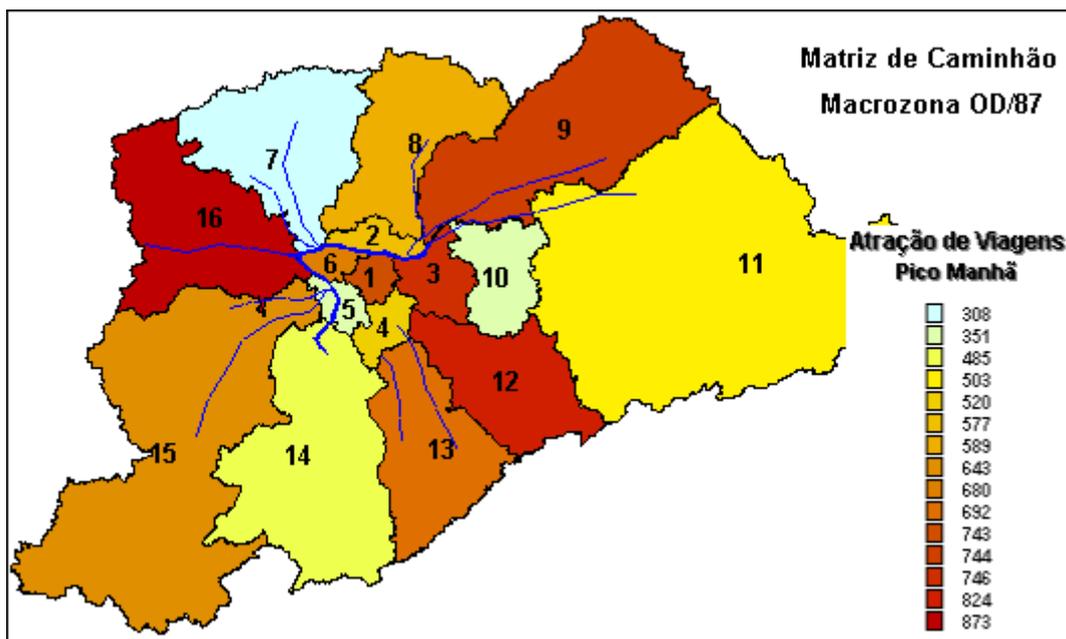


Figura 3.11 - Atração de Viagens - Caminhão - Pico Manhã

A tabela abaixo nos permite avaliar os principais fluxos de viagens do modo caminhão existentes entre três regiões agregadas, Município de São Paulo, Região Metropolitana (excluindo-se São Paulo) e a Região Externa à Região Metropolitana, ou seja, o resto do Mundo (excluindo-se a Região Metropolitana).

Tabela 3.5 – Fluxos de Viagem - Caminhão

ORIGEM	DESTINO	VIAGENS	% do Total
EXTERNO REG. METROP.	EXTERNO REG. METROP.	1.087	8,36%
EXTERNO REG. METROP.	REGIÃO METROPOLITANA	970	7,46%
EXTERNO REG. METROP.	SÃO PAULO	1.925	14,79%
REGIÃO METROPOLITANA	EXTERNO REG. METROP.	982	7,55%
REGIÃO METROPOLITANA	REGIÃO METROPOLITANA	2.477	19,04%
REGIÃO METROPOLITANA	SÃO PAULO	946	7,27%
SÃO PAULO	EXTERNO REG. METROP.	1.293	9,94%
SÃO PAULO	REGIÃO METROPOLITANA	628	4,83%
SÃO PAULO	SÃO PAULO	2.701	20,76%
TOTAL DE VIAGENS		13.008	

3.2.2 - Rede Viária

A rede viária utilizada na modelagem da Av. Água Espraiada é a utilizada pela CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) para trabalhos diversos realizado pela mesma. Esta rede é composta das vias denominadas estruturais e coletoras da cidade. O conjunto de vias selecionado para compor esta rede é resultado de um trabalho de classificação viária realizada pela CET em 1992, veja quadro resumo logo abaixo definindo estas vias, Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, (1992 p 14,15)

Rede Viária Básica

Viário Estrutural

Tabela 3.6a - Rede Básica- Viário Estrutural

Categoria das Vias	Função das Vias	Classe das Vias	Característica Operacional	Característica Físicas		
				No de Pistas	No de Faixas	Separador de Pista
Rede Viária Estrutural	Forma a principal estrutura viária da cidade Permite articulação e deslocamentos entre regiões extremas Constitui os principais acessos a outros municípios e rodovias	Estrutural I	Controle de acesso Fluxo ininterrupto	2 ou Mais	2 ou Mais por Sentido	Sim
		Estrutural II	Fluxo interrompido	2 ou Mais	2 ou Mais por Sentido	Sim
		Estrutural III	Fluxo interrompido	1	2 ou Mais	Não
		Estrutural IV	Fluxo interrompido	1	1	Não

Viário Coletor

Tabela 3.6b – Viário Coletor

Categoria das Vias	Função das Vias	Classe das Vias	Característica Operacional	Característica Físicas		
				No de Pistas	No de Faixas	Separador de Pista
Rede Viária Coletora	Apoia a circulação das vias da Rede Estrutural Distribui os fluxos veiculares entre as vias das Redes Estrutural e Coletora	Coletora I	Fluxo interrompido	1 ou Mais	2 ou Mais	Eventualmente
		Coletora II	Fluxo interrompido	1	1	Não

* Para uma visão da rede viária utilizada na modelagem, ou seja, a rede viária estrutural e coletora veja figura 3.12 abaixo.

A classificação viária da CET pode ser relacionada ao padrão de classificação mais comumente usado, Expressa, Arterial e Coletora. A correspondência entre estas duas classificações é a seguinte:

* Vias Expressas são as vias Estruturais I (de fluxo ininterrupto);

- * Vias Arteriais são as vias Estruturais II, III e IV (de fluxo interrompido com variações dos padrões geométricos);
- * Vias Coletoras são as vias Coletoras I e II (também neste caso, com variações de seus padrões geométricos).

A alteração do sistema viário na região da operação urbana Água Espraiada, consequência da construção da avenida, e a alteração do uso do solo indicou a necessidade de alterar a função de um conjunto de vias existentes nesta região, transformando-as de vias de tráfego local em vias coletoras. Segue abaixo o conjunto de vias incluídas na rede.

Tabela 3.7 - Alteração do Sistema Viário.

Vias da região Urbana Água Espraiada Inclusões na rede	Situação Anterior	Situação da Rede
R Prsa Isabel	Local	Coletora 2
R Br. do Triunfo	Local	Coletora 2
R Republica do Iraque	Local	Coletora 1
R Cristóvão Pereira	Local	Coletora 1
R Palmares	Local	Coletora 2
R Manuel Cherem	Local	Coletora 1
Via Proposta		Coletora 1
R Rishin Matsuda	Local	Coletora 2
R Atos Damasceno	Local	Coletora 2
R Rodolfo Garcia	Local	Coletora 2
R Coriolano Durand	Local	Coletora 2
R Tupiritama	Local	Coletora 2
R Dr. Mário de Campos	Local	Coletora 2

O resultado destas alterações encontram-se na figura 3.12 abaixo.

decidiu-se por utilizar-se a matriz e a rede atual com o viário existente (estrutural e coletor) da região da Av. Água Espraiada, como base do estudo que estaremos desenvolvendo.

Os estudos a serem realizados neste trabalho nos levaram também a optar pelo detalhamento de 8 zonas do zoneamento 550 localizadas entre as avenidas Bandeirantes, Washington Luís, Morumbi e Carlos Berrini. Este detalhamento foi baseado no zoneamento Emurb dentro desta área, e resultou em 18 zonas, gerando um zoneamento de 560 zonas.

Buscou-se utilizar nesta desagregação os critérios utilizados em desagregações já realizadas nesta área dentro das informações existentes. Através do TPCL identificou-se para cada zoneamento a área construída por zona. Como fator de desagregação utilizou-se as proporções entre as áreas construídas (zona desagregada / zona agregada).

Buscando-se manter a distribuição original de viagens optou-se pela aplicação dos fatores de desagregação nas linhas e colunas da Matriz Auto 550 - Atual (Matriz 2000 – pico manhã). Linhas e colunas desta matriz foram duplicadas (de acordo com a relação: zona agregada gerou n zonas desagregadas) e então multiplicadas pelos fatores de desagregação gerados a partir do TPCL (este método já tinha sido utilizado pela CET para a desagregação da matriz auto 481 nesta mesma região obtendo-se a matriz 488 zonas – estudo Operação Urbana Água Espraiada).

4 - Análise de Alternativas de Zoneamento

A partir da discussão anterior, buscaremos neste capítulo, analisar as dimensões relacionadas à definição do Zoneamento de Tráfego (área de estudo, zoneamento interno e externo à área de estudo, número de conectores, etc.) que interferem na alocação de viagens, de modo à identificar recomendações a serem seguidas na definição deste zoneamento.

4.1 - Definição da Metodologia do Estudo

O estudo terá como base a matriz atual (matriz projetada pela CET para o ano 2000 com detalhamento na região da Av. Água Espraiada - 560 zonas) e rede de simulação atual (Rede CET, composta das vias Expressas, Arteriais e Coletoras).

A área a ser analisada detalhadamente, denominada área de interesse (AI), está contida dentro dos seguintes limites: Marginal Pinheiros, a Av. Bandeirantes, a Av. Washington Luís e Av. Prof. Vicente Rao. Nesta região o nível de detalhamento do modelo é bastante grande tanto no nível do zoneamento quanto da rede. Uma segunda área denominada área de 5 Km (R5), com influência direta na área de interesse e contida dentro de um raio de 5 km a partir da interseção da Av. Santo Amaro com Av. Água Espraiada também será avaliada neste trabalho (ambas as áreas acima serão melhor definidas no item 4.3).

As comparações entre cenários serão realizadas somente para alocações do modo auto, sendo que os volumes de ônibus e caminhões serão considerados exógenos⁵. A simplificação da execução do estudo e da análise dos seus resultados definiram a escolha desta alternativa. Apoiaram esta escolha os fatos da Av. Água Espraiada na opção arterial (entre a Marginal

⁵ Esses volumes foram obtidos respectivamente, das frequências de ônibus programadas pela São Paulo Transporte Ltda. e da alocação da matriz de caminhão da OD/87 (linha de cordão) expandida para o estudo do Rodoanel Metropolitano pela empresa de consultoria Vetec S.A.

Pinheiros e a Av. Washington Luís) não ser rota preferencial de caminhões e a menor confiabilidade desta matriz (matriz de caminhões).

As comparações das alocações, com foco concentrado na área de interesse, serão principalmente entre os cenários alternativos e o cenário base. Secundariamente, a comparação com as contagens volumétricas, que são limitadas, serão usadas para avaliar a calibração do modelo através da observação do erro do cenário base.

O cenário base será o da matriz de zoneamento máximo e rede de máximo detalhamento (expressa, arterial e coletora) com densidade dos conectores máxima (média de 5 conectores por zona para AI e R5), todos os experimentos utilizarão a opção máxima de rede e densidade de conectores com exceção dos experimentos que estiverem analisando a influência destas variáveis. Para esta análise se utilizará uma linha de cordão no entorno de AI e quatro linhas de aferição no seu interior (descritas adiante, em 4.3.1).

Em estudos anteriores (alguns descritos neste trabalho, capítulo 2), os autores variaram o método de alocação. Neste estudo utilizaremos o método de alocação por equilíbrio, especificamente o método de Frank & Wolfe do software EMME/2, atualmente quase que unanimemente aceito como padrão para a alocação de viagens.

É importante notar que a utilização do método de alocação de equilíbrio cria grande interdependência entre os diferentes fluxos que utilizam-se da rede viária, por este motivo sempre que foi necessário recorreu-se a estratégia de fixar um ou outro fluxo (como volume exógeno) para que pudesse-mos melhor analisar os fluxos de interesse do experimento. Este tipo de estratégia foi utilizada tanto para fluxos que tornaram-se intrazonais (na agregação de zonas) como para fluxos interzonais externos a área de estudo pois percebeu-se durante o decorrer da análise dos resultados (principalmente nos casos de subárea) que alterações obtidas não tinham a ver com o objetivo da análise, produzindo variações nos resultados que mascaravam o real interesse do problema

4.2 - Análise dos Volumes Alocados

Iniciaremos nosso estudo a partir da comparação das contagens obtidas e da alocação do cenário de detalhamento máximo (base) para verificarmos os erros de alocação (uma medida da qualidade da calibração do modelo) e identificaremos o uso da rede na área (de modo a podermos analisar as zonas com contribuição significativa ao tráfego da região em estudo).

4.2.1 - Comparação com Dados de Contagens

Tendo como base a rede viária (expressa, arterial e coletora) e a matriz de viagens detalhamento máximo (560 zonas), vamos inicialmente realizar uma avaliação da alocação das viagens na região da Operação Urbana Água Espreada. A figura 4.1, a seguir, localiza os pontos de contagem na rede viária simulada.

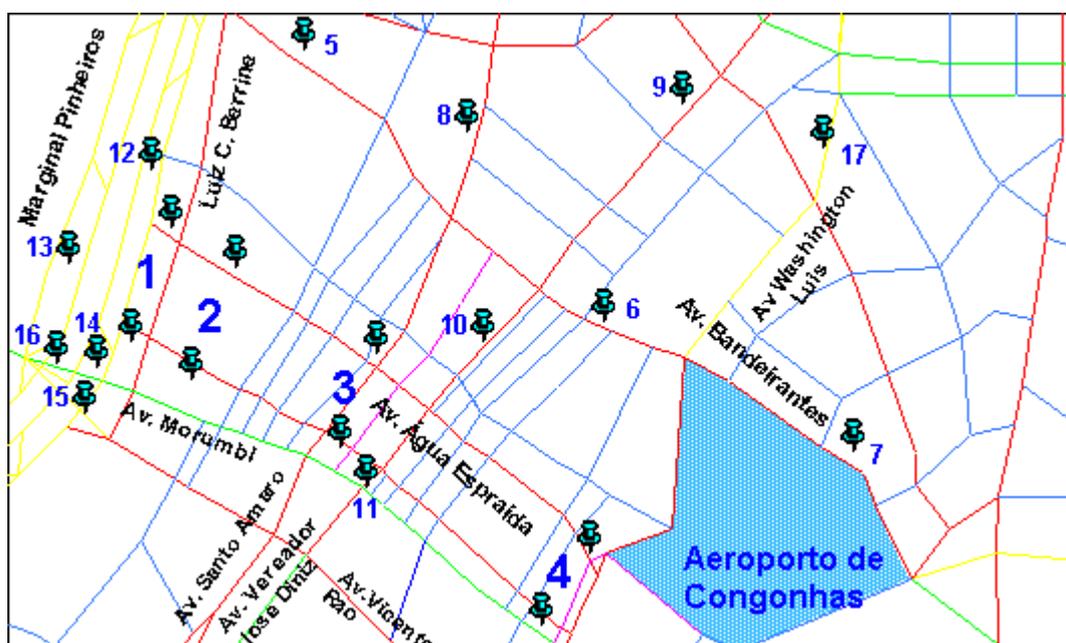


Figura 4.1 – Localização dos pontos de contagem

A tabela abaixo relaciona os erros encontrados para cada um dos pontos onde existe contagem (todas as contagens são do ano de 1996 com exceção das contagens de Av. Água Espreada que são do ano de 1997).

Tabela 4.1 – Contagem x Alocação de Viagens

Localização	Posto	Volume (veic/h) Contagem	Volume (veic/h) Alocação	Erro	Erro %
Av. Água Espraiada (sentido Imigrantes)	1	2902	3184	-282	-10%
	2	1934	3166	-1232	-64%
	3	2550	3125	-575	-23%
	4	2480	1784	696	28%
Av. Água Espraiada (sentido Marginal)	1	856	770	86	10%
	2	2634	2896	-262	-10%
	3	1970	2992	-1022	-52%
	4	1034	1667	-633	-61%
Av. Bandeirantes (sentido Imigrantes)	5	4247	3668	579	14%
	6	3992	3261	731	18%
	7	5081	2951	2130	42%
Av. Bandeirantes (sentido Marginal)	5	5677	4372	1305	23%
	6	4976	4049	927	19%
	7	5539	4224	1315	24%
Av. Santo Amaro (sentido Centro)	8	1667	3772	-2105	-126%
Av. Santo Amaro (sentido Santo Amaro)	8	1984	2597	-613	-31%
Av. Ver. José Diniz (sentido Centro)	9	2163	1449	714	33%
	10	2909	2109	800	28%
	11	2096	1943	153	7%
Av., Ver. José Diniz (sentido Santo Amaro)	9	1621	1631	-10	-1%
	10	2404	1879	525	22%
	11	1660	1150	510	31%
Marginal Pinheiros - local (sentido Pinheiros)	12	2876	3021	-145	-5%
Marginal Pinheiros - expressa (sentido Pinheiros)	12	8259	7676	583	7%
Marginal Pinheiros - local (sentido Santo Amaro)	13	2205	2410	-205	-9%
Marginal Pinheiros - expressa (sentido Santo Amaro)	13	4407	4087	320	7%
Ponte Morumbi (sentido Morumbi)	14	3910	4435	-525	-13%
Ponte Morumbi (sentido Marginal)	15	3265	3675	-410	-13%
Ponte do Morumbi Alça de retorno sentido Pinheiros	16	647	206	441	68%
Av. Washington Luiz (sentido Aeroporto)	17	5171	4871	300	6%
Av. Washington Luiz (sentido Centro)	17	6328	6204	124	2%

A observação dos erros obtidos permite-nos identificar desbalanceamento na calibração da rede entre dois eixos de deslocamento de viagens importantes:

1. Av. Bandeirantes (com volume alocado menor que as contagens) e Av. Água Espraiada (com volume alocado maior que as contagens)
2. Av. Santo Amaro (com volume alocado maior que as contagens) e Av. Ver. José Diniz (com volume alocado menor que as contagens)

O conjunto de dados acima e as distâncias de cada ligação, onde se encontram as seções de contagem, nos permite obter os seguintes dados agregados:

Tabela 4.2 – Erros de Alocação de Viagens

		Erro Médio	Volume Médio *	Erro Médio %
$\Sigma \text{Erro} $	$\Sigma (\text{Erro} * \text{distancia})$	$\Sigma (\text{Erro} * \text{distância})$ ----- $\Sigma \text{Distância}$	$\Sigma (\text{Volume} * \text{distância})$ ----- $\Sigma \text{Distância}$	$\frac{\text{Erro médio}}{\text{Volume Médio}}$
20190	8820	618,5	3363	18%

* Volume Médio da alocação

O Erro médio obtido e as observações acima identificam problemas na calibração da rede de simulação, porém devido à complexidade da tarefa e por não ser a calibração da rede objeto deste estudo, não buscamos melhorá-la e optamos por uma estratégia de investigação baseada na comparação entre volumes simulados (cenários alternativos versus cenário base).

4.2.2 – Identificação do Uso da Rede na Área.

Para identificar os fluxos origem/destino responsáveis pelos maiores volumes nas ligações da área de interesse utilizaremos um procedimento de alocação do software EMME2 (*Select link*), que permite obter a matriz das viagens alocadas que têm em sua rota a Av. Água Espraiada. A matriz OD obtida permitiu-nos analisar o total de viagens produzidas e atraídas em cada zona. A figura 4.2 classifica as zonas segundo o total de viagens produzidas e atraídas em cada zona, permitindo uma visão da contribuição de cada zona no tráfego da região.

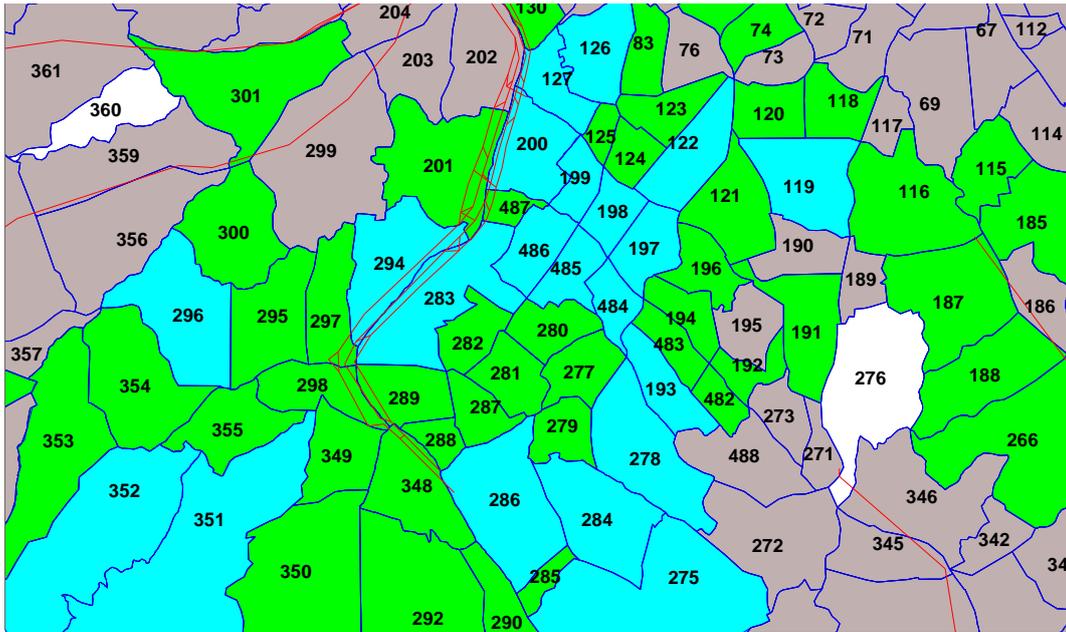


Figura 4.2- Utilização da rede da área de interesse
Azul - 380 a 2780 viagens; Verde - 50 a 380 viagens; Cinza - 0 a 50 viagens.

As zonas que contribuem com mais viagens estão localizadas nas proximidades ou internamente à área de interesse (AI). Dentro da faixa de viagens produzidas e atraídas consideraremos como zonas de contribuição significativa as zonas que produzem e atraem mais que 380 viagens que tenham como rota o sistema viário Av. Água Espreiada. As seguintes zonas (cor azul) satisfazem este critério: 119, 122, 126, 127, 193, 197, 198, 199, 200, 275, 278, 283, 284, 286, 294, 296, 351, 352, 484, 485, 486, sendo que as zonas 119, 122, 123, 126, 127, 193, 197, 198, 199, 200, 278, 283, 294 estão contidas dentro da área AI+R5 (que foi selecionada exatamente por conter a maior parte dos fluxos com influência em AI).

4.3 - Detalhamento da Metodologia de Análise e Definição dos Experimentos

Tendo como base os resultados obtidos na identificação do uso da rede na área da Av. Água Espreiada, dividiu-se a região metropolitana de São Paulo em três áreas de modo a permitir o desenvolvimento do estudo e facilitar a exposição dos resultados obtidos:

Área de Interesse (AI) - composta por 18 zonas⁶ (Z) na matriz de zoneamento máximo e tem como limites a Marginal Pinheiros, a Av. Bandeirantes, a Av. Washington Luís e Av.

⁶ Zonas contidas em AI para o zoneamento base: 197, a 200, 484 a 487, 581 a 590.

Prof. Vicente Rao.

Área de 5 Km (R5) - composta por 34 zonas⁷ (Z) na matriz de zoneamento máximo que estão contidas dentro de um círculo de 5 km de raio a partir da interseção da Av. Santo Amaro com a Av. Água Espreada, excluindo-se as 18 zonas (Z) da área de interesse definida acima.

Área Externa (RE) - composta de toda região metropolitana excluindo-se a área de interesse (AI) e a área de 5 km (R5) e adicionando-se 489 zonas (Z) mais 19 *gateways* (G) representando as rodovias que acessão a região metropolitana.

A figura 4.3 abaixo identifica as regiões definidas acima:

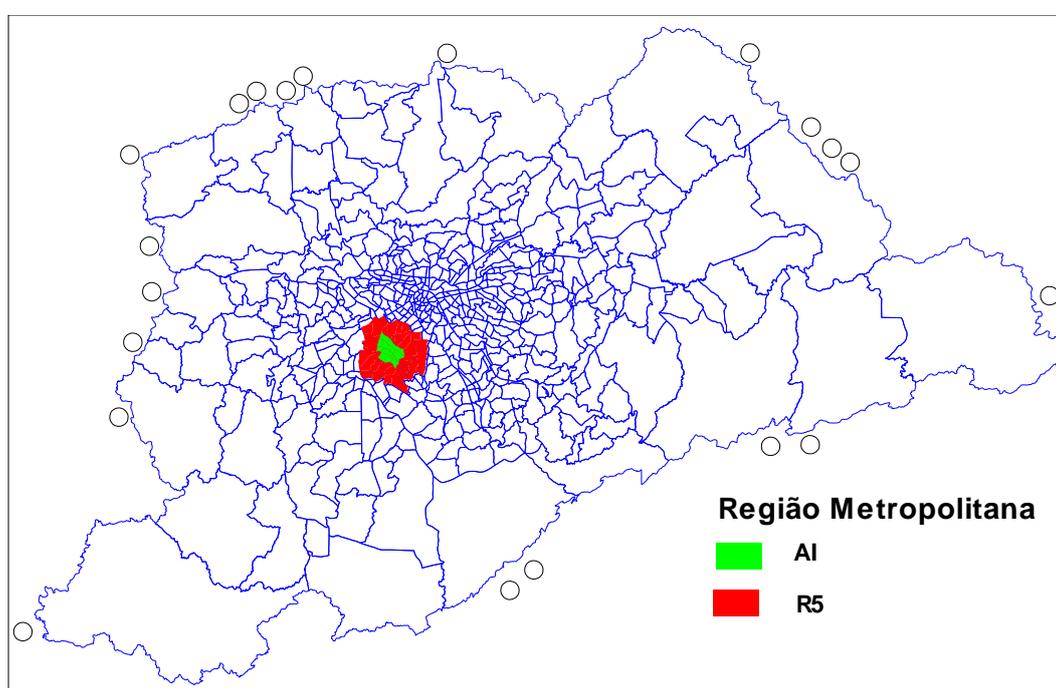


Figura 4.3 – Áreas Definidas

4.3.1. Detalhamento da Metodologia de Análise

Os cenários alternativos serão analisados comparativamente com o cenário base através das seguintes linhas de referência:

1. **Linha de Cordão – (LC)** – situada externamente à AI nas avenidas: Bandeirantes, Luiz Carlos Berrini, Morumbi e Washington Luís

⁷ Zonas contidas em R5 para o zoneamento base são: 76, 83, 119 a 127, 130, 190 a 196, 201 a 203, 277 a 287, 289, 294, 482, 483.

- (XE)** - Volume Exógeno Externo (Auto) – ocorre quando considera-se exógeno os fluxos gerados por RE (equivale aos volumes EE e EI de RE , conforme definição abaixo).
- (EE)** - Volume Endógeno Externo – Externo (Auto) – gerados pela matriz de viagens entre as zonas de RE
- (EI)** - Volume Endógeno Externo – Interno (Auto) – gerados pela matriz de viagens entre zonas de RE e zonas de R5+AI, ou AI, conforme o experimento.
- (II)** - Volume Endógeno Interno – Interno (Auto) – gerados pela matriz de viagens entre as zonas de R5+AI ou AI, conforme o experimento.

Para as variáveis acima serão fornecidos volumes, erros médios absolutos e variação percentual de volume médios em cada uma das linhas de referência definidas para que se possa avaliar os resultados obtidos.

$$\text{Volume Médio} = \left(\sum_{i=1}^n \text{Volumes} \right) / n$$

$$\text{Variação Percentual do Volume Médio} = \left(\sum_{i=1}^n \text{Erro} / \text{Volume} \right) * 100 / n$$

$$\text{Erro Médio Absoluto} = \left(\sum_{i=1}^n | \text{Erro} | \right) / n$$

onde $| \text{Erro} |$ = Erro em valor absoluto

$$\text{Erro} = \left(\sum_{i=1}^n (\text{Vol}_A - \text{Vol}_B) \right) / \text{Vol}_B$$

Vol_A = Volume do cenário Alternativo

Vol_B = Volume do cenário Base

n = Número de ligações

É importante observar que a variação percentual do volume médio fornece a variação média do volume total que cruza cada linha de aferição ou de um conjunto das linhas, em caso de totalização, pois permite que erros de uma dada ligação sejam eventualmente compensados

por erros de outras ligações (erros com sinais opostos).

O erro médio absoluto, por sua vez, calculado em módulo fornece a média da somatória dos erros individuais de cada ligação não permitindo que qualquer compensação seja realizada (erros de sinais opostos são somados).

4.3.2 – Definição dos Experimentos

Os seguintes experimentos foram delineados tendo como base as análises a serem realizadas e os resultados de uso da rede obtidos:

- E1- Variação do zoneamento da área de interesse (AI), 18Z (base – máximo detalhamento), 8Z e 4Z (zoneamentos existentes em AI nos estudos realizados pela CET nesta área), mantendo-se constante R5 (34Z) e RE (489Z + 19G), situação de máximo detalhamento. Este experimento corresponde a uma focalização.

A figura 4.5 abaixo mostra os 3 zoneamentos de AI.

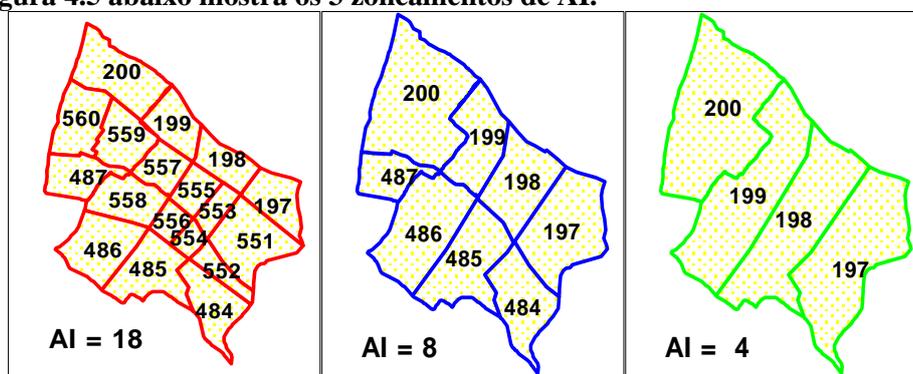


Figura 4.5 – Zoneamentos de AI

- E2- Variação do número de zonas em AI e R5 (AI + R5 = 18Z+34Z, 8Z+34Z, 4Z+34Z, 8Z+14Z, 4Z+14Z) mantendo exógenos os volumes auto com origem e/ou destino nas zonas pertencentes a RE, ou seja, só serão analisados os volumes interzonais pertencentes as zonas das áreas AI e R5. A figura abaixo mostra os dois zoneamento de R5 (34 e 14).

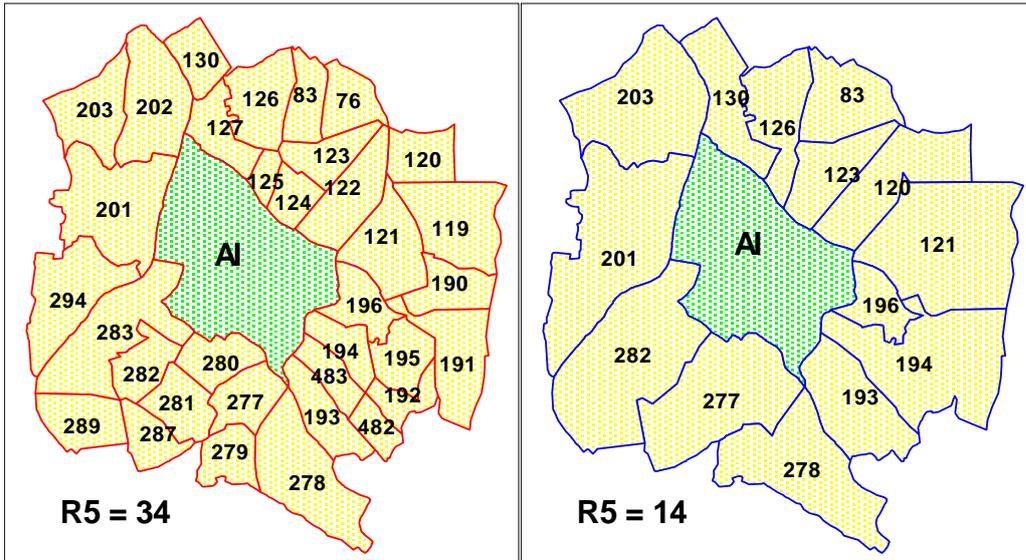


Figura 4.6 – Zoneamentos de R5

E3- Variação do zoneamento de RE (489Z+19G, 46Z+19G, 21Z+19G, 15Z+19G) e

RE exógeno (FE489) mantendo-se fixo os zoneamentos de AI+R5 (18+34).

Os zoneamento definidos foram resultado das análises do uso da rede em AI e da utilização das macrozonas OD/87. O zoneamento RE=15Z+19G é composto das macrozonas OD/87 (16 macrozonas) com exceção das macrozona 5 que foi anexada a macrozona 6. O zoneamento RE=21Z+19G temos as 15 macrozonas do zoneamento anterior mais 6 zonas considerada de contribuição significativa (275, 284, 286, 296, 351, 352). No zoneamento RE=46Z+19G buscou-se um zoneamento intermediário em relação ao cenário base dividindo-se as macrozonas próximas a AI+R5. As figuras 4.7a e 4.7b mostram os zoneamentos de RE acima.

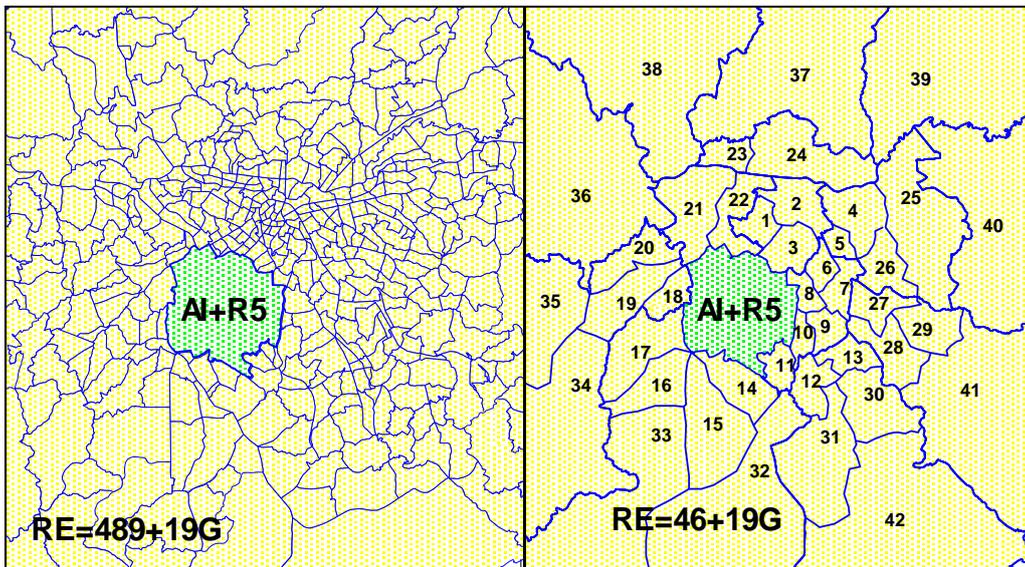


Figura 4.7a - Zoneamentos de RE

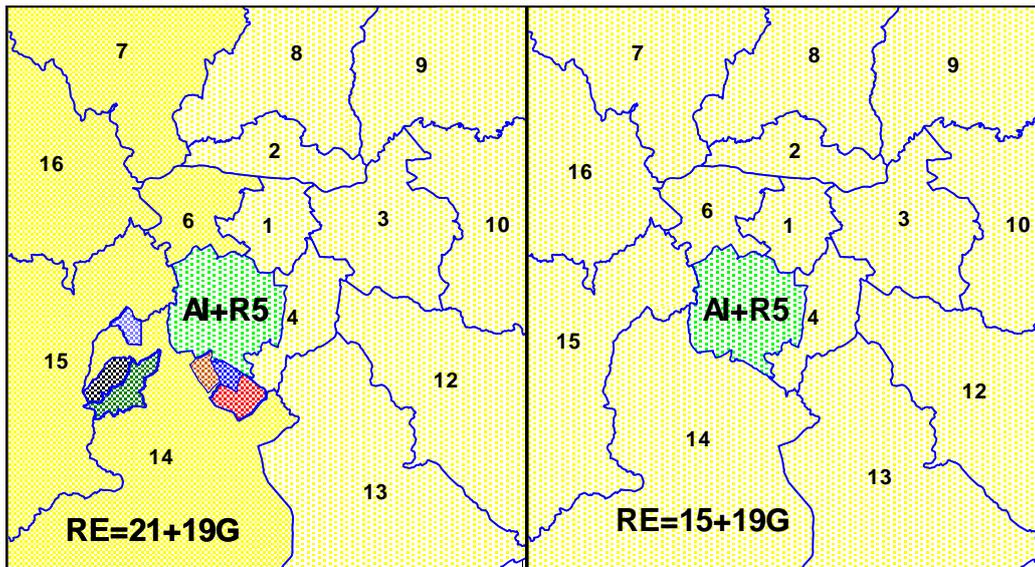


Figura 47b – Zoneamentos de RE

- E4- Variação da densidade de conectores, 5, 3, 1 conectores por zona em AI+R5 (18+34) e do posicionamento destes em AI e AI+R5, considerando-se exógeno os fluxos de RE.
- E5 - Variação da rede simulada em AI. Serão simulados com a rede arterial (expressa e arterial, sem coletoras) internamente a AI (sem alteração da rede restante) os seguintes zoneamentos de AI+R5 (18+34, 8+34, 4+34).

4.4 – Resultados Obtidos

Os resultados obtidos a nível de alocação de viagens e o número de viagens interzonais e intrazonais para os diversos zoneamentos analisados serão expostos abaixo:

4.4.1 – Experimento 1

Buscaremos neste experimento identificar qual o nível de desagregação a partir do qual temos pequena variação do resultado da alocação de tráfego, seu relacionamento com o número médio de viagens interzonais e intrazonais de AI e se o padrão de desagregação pode trazer algum viés aos resultados obtidos. Examinaremos três tipos de viagens EE, EI e II (em relação a AI) e buscaremos minimizar os erros causados pela agregação tornando as viagens

interzonais que tornaram-se intrazonais nos cenários agregados em volumes exógenos (XI).

Neste experimento de focalização, onde AI é mais desagregado do que R5+RE, podemos caracterizar cada nível de detalhamento pelo número médio de viagens por zona (AI) e a relação percentual entre viagens intrazonais e interzonais (origem + destino):

Tabela 4.3 – Viagens - Matriz AI+R5+RE – E1

AI	VIAGENS INTERZONAIS *		VIAGENS INTRAZONAIS	RELAÇÃO % ** INTRA / INTER
	ORIGEM	DESTINO		
18	1034	848	1882	0,86%
8	2272	1854	4126	2,16%
4	4424	3588	8012	3,56%

* Viagens Interzonais (média por zona) com origem ou destino em AI.

** Porcentagem relativa ao número médio de viagens interzonais (origem+destino).

A variações percentuais de AI =8 e AI =4 em relação a AI=18 (cenário base) são:

Tabela 4.4 – Variação Percentual em Relação a AI18 – E1

AI	INTERZONAIS *			INTRAZONAIS
	ORIGEM	DESTINO	ORIGEM+DESTINO	
8	120%	119%	119%	438%
4	328%	323%	326%	1670%

* Note que esta matriz é sintética resultado da desagregação de uma matriz de campo e que as proporções similares das viagens com origem e destino em AI obtidas decorrem do método de desagregação (item 3.3)

A matriz de viagens responsável pelos fluxos EE, EI e II pode também ser totalizada segundo estes fluxos obtendo-se os seguintes totais de viagens:

Tabela 4.5 – Matriz 560 Zonas por Tipo de Viagem – E1

Matriz 560	Total de Viagens	% do Total
EE	782585	94%
EI	41323	5%
II	4810	1%
Total	828718	

A tabela abaixo é resultado das simulações realizadas neste experimento e contem:

1. Os resultados da alocação obtidos em (AI=18) e os erros médios absolutos referentes a este resultado das simulações de AI=8 e AI=4 para os fluxos EE, EI e II.

2. Os fluxos exógenos médios de ônibus (XO), caminhão (XC) e referentes a viagens intrazonais de cada agregação $AI=8$ e $AI=4$ (XI)
3. Os volumes endógenos totais médios ($EE+EI+II$) e endógenos + exógenos ($XO+XC+EE+EI+II$)
4. A variação percentual dos volumes médios endógenos ($EE+EI+II$) e endógenos mais exógenos ($EE+EI+II+XI$) de $AI=4$ e $AI=8$ em relação a $AI=18$

Tabela 4.6a – Erros Médios Absolutos – E1

	Vol Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total (137)
		E (30)*	S (29)	E (5)	S (5)	E (5)	S (5)	E (16)	S (14)	E (13)	S (15)	
AI18	EE	1123	1161	1235	1301	1212	994	582	660	601	609	948
	EI	411	540	1238	821	726	824	263	579	387	251	604
	II	0	0	117	138	54	83	44	52	40	33	56
Erros Médios Absolutos												
AI8	EE	41	50	75	55	87	91	48	52	39	23	56
	EI	41	70	294	317	263	146	93	107	127	46	150
	II	0	0	54	47	32	30	22	43	32	16	28
AI4	EE	70	98	164	273	258	324	126	124	61	67	156
	EI	115	122	496	508	334	466	225	565	349	270	345
	II	0	0	164	167	51	95	44	50	37	32	64

* O valor entre () é o número de ligações da linha de aferição

Tabela 4.6b – Variação Percentual dos Volumes Médios – E1

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Todos Cenários	N Ligações	30	29	5	5	5	5	16	14	13	15	137
	Cap	4828	4736	3160	3120	3440	3440	1863	1929	2023	1940	3048
	XO	105	109	0	0	0	0	86	99	106	92	60
	XC	190	173	429	456	379	362	84	86	20	21	220
AI8	XI	0	0	3	3	1	1	0	0	0	0	1
AI4	XI	0	0	3	3	5	3	15	17	13	11	7
AI18	EE+EI+II	1534	1702	2594	2260	1987	1894	888	1291	1028	892	1607
	EE+EI+II+XO+XC	1829	1985	3023	2716	2366	2256	1058	1475	1154	1005	1887

Volumes Médios - Variação Percentual

AI8 (%)	EE+EI+II	0,400	0,373	0,146	-1,337	-11,920	-4,699	2,013	2,265	10,391	4,785	0,672
	EE+EI+II+XI	0,404	0,377	0,258	-1,207	-11,868	-4,642	2,013	2,265	10,424	4,815	0,698
AI4 (%)	EE+EI+II	0,481	0,448	1,677	3,502	-16,656	-11,460	-27,691	-44,737	-34,006	-19,363	-10,520
	EE+EI+II+XI	0,491	0,458	1,800	3,644	-16,429	-11,293	-25,964	-43,447	-32,718	-18,076	-10,064

As seguintes constatações referentes a tabela de resultados do experimento 1 acima podem ser feitas:

1. O erro médio total absoluto de alocação cresce com a agregação, para o cenário AI=8 tivemos um erro de 56 para EE, 150 para EI e 28 para II, e para o cenário AI=4 tivemos um erro de 156 para EE, 345 para EI e 64 para II.
2. Para AI=8 os maiores erros médios absolutos ocorreram para as linhas de referência SA e JD. Para AI=4 embora a tendência anterior se mantenha, esta observação não se aplica particularmente para o EI. Observa-se também em AI=4 que o erro EI é significativo em AEM e AEW.
3. Os volume exógenos XI foram pequenos exceto em AEM e AEW para o cenário AI=4 em que até superam os volumes relacionados com II.
4. Para AI=8 as variações percentuais dos volumes médios para o volume endógeno ($VE = EE+EI+II$) foram maiores nas linhas de aferição JD-E e AEW-E. e para AI=4 nas linhas JD, AEM e AEW. O mesmo padrão ocorre com $VE+XI$ (volume endógeno mais exógeno).
5. A variação percentual do volume médio $VE+XI$ em relação a VE só foi significativa em AI=4 nas linhas de aferição AEM e AEW.

Analisando as constatações acima temos:

O volume de tráfego XI está diretamente relacionado com o número de viagens intrazonais pois as viagens intrazonais resultado das agregações (cenários AI=8 e AI=4) não são alocadas na rede (método de simulação adotado). Buscando avaliar esta relação podemos observar a tabela abaixo:

Tabela 4.7 – Viagens Intrazonais x Volume Médio Exógeno XI – E1

Cenário	Média de Viagens Intrazonais *	Total de Viagens Intrazonais *	Volume Médio XI **
AI=8	93	744	1
AI=4	307	1228	7
Comparação AI4 / AI8	3,3	1,6	7

* Valor da médio por zona das viagens intrazonais da matriz OD e valor total das viagens intrazonais da Matriz OD.

** Valor médio XI por ligação.

Observa-se o volume exógeno XI cresce mais que proporcionalmente com a variação do número médio de viagens intrazonais.

- Os erros de alocação II e EI estão relacionados a redefinição espacial do zoneamento. O erro de alocação II está relacionado ao número de zonas em AI, que define a localização de origens e destinos e determina como resíduo o fluxo intrazonal. O número de viagens EI mantém-se constante enquanto o número de zonas é alterado (alteração da posição dos centróides e conectores dentro de AI). Observa-se na tabela abaixo a variação do número viagens interzonais relativo ao erro médio total absoluto em AI.

Tabela 4.8 – Viagens Interzonais x Erro Médio de Alocação – EI

Cenário	Viagens * Interzonais/Zona	Erro Médio Total II **	Erro Médio Total EI **
AI=8	4126	28	150
AI=4	8026	64	345
Comparação AI4 / AI8	1,9	2,3	2,3

* Valor médio de viagens Interzonais por Zona em AI

** Erro Médio por ligação (II e EI)

Observa-se que tanto para EI como II que a variação percentual do erro médio é mais que proporcional a variação do número de viagens interzonais.

- O erro de alocação EE está diretamente relacionado à interdependência entre os fluxos (método de alocação de tráfego), que é responsável pelos erros obtidos. O Erro EE seria resultante das mudanças nos volumes de EI e II (e do congestionamento das ligações decorrente). Buscando avaliar a relação de EE com EI e II temos abaixo a tabela de Volumes Médios.

Tabela 4.9 – Volumes Médios Totais – EI

Cenário	Volumes Médios Totais			
	EE	EI	II	EI+II
AI18	948	604	56	660
AI8	957	582	53	636
AI4	956	443	33	476

Observa-se que a diminuição do volume EI+II provoca um aumento do volume EE na mudança para AI=8. Na mudança de AI=8 para AI=4 a variação de EE é

desprezível.

4. A composição do volume total médio nas linhas de aferição, obtida para o cenário base AI=18 (vide tabela abaixo), assim como a composição da matriz de viagens (fornecida na tabela 4.5) indicam como as avaliações acima devem ser relativizadas, dado que esta composição pode diferir em diferentes estudos.

Tabela 4.10 – Volume Médio por Tipo de Volume – E1

Tipo de Volume	Volume Médio (AI=18)	% relativa ao Total
EE	948	59%
EI	604	38%
II	56	3%
XI	0	0%

5. Os maiores erros médios absolutos nas linhas SA e JD não são discrepantes se comparados com os volumes médios correspondentes, como pode ser visto na tabela abaixo. Pode-se ver que, em termos percentuais, os padrões distintos por linha de aferição referem-se a AEM e AEW para AI=4 e para a linha de contorno LC (externa à área de focalização).

Tabela 4.11 – Erros Médios Percentuais de Alocação – E1

	Erros % Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
AI8	EE	4%	4%	6%	4%	7%	9%	8%	8%	6%	4%	6%
	EI	10%	13%	24%	39%	36%	18%	35%	19%	33%	18%	25%
	II			46%	34%	60%	36%	51%	83%	80%	48%	49%
AI4	EE	6%	8%	13%	21%	21%	33%	22%	19%	10%	11%	16%
	EI	28%	23%	40%	62%	46%	57%	86%	98%	90%	108%	57%
	II			141%	121%	95%	115%	98%	95%	93%	97%	114%

** O Erro % Médio = Erro V / Volume V(base) para V=EE, EI e II.

Observa também, através da tabela acima, que percentualmente os erros para os dois cenários (AI=8 e AI=4) são crescentes, sendo o maior percentual é relativo a II.

6. O padrão de desagregação utilizado para obtenção do cenário AI=8 a partir do cenário AI=4 é o responsável por um volume exógeno (XI) em média 3 vezes maior nas linhas AEM e AEW em relação as outras linhas de aferição. Esta desagregação buscou obter informações das viagens que atravessavam a Av. Água

Espraiada definindo portanto um viés neste sentido, o que sugere que critérios relacionados com a acessibilidade homogênea à rede viária são mais importantes que o nível de agregação (medido pelo número médio de viagens por zona em cada zoneamento). Este viés pode ser observado na variação percentual dos volumes médios e nos erros percentuais médios da tabela acima onde verifica-se que a magnitude do erro EI de AEM e AEW é maior que o encontrado em outras linhas de aferição. O erro II deveria ter um comportamento similar a EI já que este viés estaria afetando este dois tipos de fluxo, o que não se verificou, neste caso específico (e pode ter relação com a orientação e magnitude das viagens).

7. Os valores maiores de variação existentes tanto para VE como VE+XI estão relacionados a diversos fatores ligados especificamente a cada um dos tipos de volumes EE, EI e II (já comentados acima). Contudo, especificamente em relação as linhas de aferição AEM e AEW do cenário AI=4, o viés de desagregação (já comentado acima) tem um peso importante.
8. Nos cenários agregados (AI=4 e AI=8) o volume XI foi alocado como exógeno, logo a comparação própria seria entre II do cenário base (AI=18) e II+XI dos cenários agregados. A comparação da variação percentual do volume médio nas linhas de aferição mostraram que onde o XI foi significativo (cenário AI=4, linhas de aferição AEM e AEW) houve correção da variação percentual, o que levou a uma correção do valor percentual médio total. Note que estas comparações não consideraram simulações sem o volume exógeno XI, o que é uma prática usual.

4.4.2 – Experimento 2

Buscaremos neste experimento avaliar a influência do zoneamento interno da área de estudo (AI+R5) nos resultados da alocação de tráfego em AI. Estando EE e EI como volumes exógenos (XE) avaliaremos o comportamento de II em AI+R5 para diferentes cenários de zoneamento interno (número médio de viagens interzonais e intrazonais de AI+R5).

Buscaremos também minimizar os erros causados pela agregação das zonas, transformando as viagens interzonais que tornaram-se intrazonais nos cenários agregados em volumes exógenos (XI).

Cada zoneamento definido pode ser caracterizado através do número médio de viagens por zona e relação percentual entre viagens intrazonais e interzonais (origem + destino) da matriz completa AI+R5 (os fluxos EE e EI foram fixados como exógenos).

Tabela 4.12 – Viagens Matriz AI+R5 – E2

AI+R5	VIAGENS INTERZONAIS	VIAGENS	RELAÇÃO %
	DESTINO + ORIGEM *	INTRAZONAIS	INTRA / INTER
18+34	1604	115	7%
8+34	1966	152	8%
4+34	2148	181	8%
8+14	3350	493	15%
4+14	4037	631	16%

* Número médio de viagens interzonais com origem é igual ao número médio de viagens interzonais com destino em AI+R5. Os dados referem-se a AI+R5 apenas (excluem EE e EI)

Variação percentual de AI+R5 (8+34, 4+34, 8+14 e 4+14) em relação a AI+R5 (18+34), cenário base (crescimento relativo do número de viagens interzonais e intrazonais relativo as viagens interzonais e intrazonais respectivamente do cenário AI+R5=18+34 – base).

Tabela 4.13 – Relação Percentual – E2

AI+R5	INTERZONAIS	INTRAZONAIS
	ORIGEM + DESTINO	
8+34	23%	33%
4+34	34%	58%
8+14	109%	330%
4+14	152%	450%

Observa-se um crescimento mais acentuado da viagens intrazonais em relação as viagens interzonais (Matriz da pesquisa OD/87).

Segue abaixo os dados da alocação obtidos com o experimento 2. Os dados mostrados são:

1. Volume médio II do cenários base (18+34) e os erros médios absolutos obtidos nos cenários alternativos (8+34, 4+34, 8+14, 4+14) em relação ao cenário base.
2. Os fluxos exógenos médios de ônibus (XO), caminhão (XC), auto (XE=EE+EI) e referentes as agregação dos cenários alternativos (XI).
3. Os volume médio endógeno (II) + exógenos (XO+XC+XE) para o cenário base.
4. A variação percentual dos volumes II e II+XI dos cenários alternativos em relação ao cenário base (II).

Tabela 4.14a – Erros Médios Absolutos – E2

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total (137)
		E (30)**	S (29)	E (5)	S (5)	E (5)	S (5)	E (16)	S (14)	E (13)	S (15)	
18+34	II	412	545	1036	692	599	756	331	494	410	343	562
Erros Médios Absolutos												
8+34	II	28	52	350	195	143	142	54	112	94	71	124
4+34	II	45	81	739	337	229	297	77	171	118	51	215
8+14	II	197	201	328	119	235	185	93	127	114	124	172
4+14	II	193	203	786	249	257	218	108	167	97	147	242

** O valor entre () é o número de ligações da linha de aferição

Tabela 4.14b – Variação Percentual dos Volumes Médios – E2

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Todos Cenários	N Ligações	30	29	5	5	5	5	16	14	13	15	137
	Cap	4828	4736	3160	3120	3440	3440	1863	1929	2023	1940	3048
	XO	105	109	0	0	0	0	86	99	106	92	60
	XC	190	173	429	456	379	362	84	86	20	21	220
	XE	1126	1162	1565	1565	1407	1162	559	804	636	575	1056
8+34	XI	0	0	3	3	3	1	0	0	0	0	1
4+34	XI	0	0	3	3	3	3	15	17	13	12	7
8+14	XI	0	0	3	3	3	1	0	0	0	0	1
4+14	XI	0	0	3	3	3	3	15	17	13	12	7
18+34	II+XO+XC+XE	1829	1985	3023	2716	2366	2256	1058	1475	1154	1005	1887

Volumes Médios - Variação Percentual

8+34	II	-0,886	-0,694	-3,637	-3,293	-8,310	-8,836	-0,979	-1,163	12,216	5,091	-0,518
	II+XI	-0,872	-0,682	-3,355	-2,870	-8,138	-8,694	-0,979	-1,163	12,301	5,175	-0,439
4+34	II	-0,897	-0,703	-0,962	-1,208	-11,086	-10,717	-1,385	-24,960	-25,339	3,100	-6,143
	II+XI	-0,860	-0,673	-0,654	-0,746	-10,332	-10,297	3,253	-21,588	-22,109	6,684	-4,774
8+14	II	2,305	1,805	-18,532	3,523	12,880	6,756	-0,163	-3,350	20,242	2,372	2,010
	II+XI	2,319	1,816	-18,249	3,949	13,052	6,897	-0,163	-3,350	20,326	2,456	2,089
4+14	II	3,900	3,054	-12,496	6,594	19,911	8,953	0,713	-26,389	-13,454	1,650	-1,431
	II+XI	3,936	3,082	-12,187	7,057	20,673	9,369	5,351	-23,016	-10,339	5,233	-0,071

As seguintes observações referentes as informações tabeladas do experimento 2 (E2) podem ser feitas:

1. O erro médio total absoluto II (EE+EI exógenos) cresceu com a agregação. Seus valores foram os seguintes: cenário 8+34, 124; cenário 4+34, 215; cenário 8+14, 172; cenário 4+14, 242.
2. Os maiores erros médios absolutos ocorreram para a linha de referência SA-E para todos os cenários testados
3. Os volume exógenos XI foram pequenos em relação a II do cenário base exceto nos cenários 4+34 e 4+14 nas linhas de aferição AEM e AEW (Av. Água Espreada), como no experimento 1.
4. Obteve-se valores altos (maiores que 10%) para a variação percentual dos volumes médios principalmente nos linhas de aferição JD-E e AEW-E (em todos cenários). Outros valores nesta faixa existem sem em SA-E para R5=14 e AEM-S para AI=4.
5. Nos dois cenários onde variou-se apenas a agregação de AI (8+34 e 4+34) a variação percentual de volume relativa ao cenário base (18+34) melhorou com a inclusão de XI na maioria das linhas de aferição e na variação total média.
6. Já para os cenários onde variou-se também a agregação de R5 (8+14 e 4+14) obteve-se nas linhas de aferição melhora do resultado só em 3 das 10 linhas E/S analisadas sendo que o a variação percentual média total melhorou para o cenário 4+14 e piorou para o cenário 8+14.

Analisando as observações acima temos:

- 1 O volume de tráfego médio XI está diretamente relacionado ao número de viagens intrazonais e manteve-se nos limites dos valores obtidos com AI no experimento 1.

- 2 O erro II, em relação ao número médio de viagens Interzonais, conforme a tabela abaixo está relacionado a posição das zonas agregadas⁸ em relação a área de estudo. Observa-se que quando alteramos o zoneamento de AI (comparações 4+34/8+34 e 4+14/8+14) com uma variação total de viagens interzonais de cerca de 115% temos uma variação do erro II entorno de 150% enquanto para alterações em R5 (comparações 8+14/8+34 e 4+14/4+34) com uma variação total de viagens intrazonais de cerca de 180% obtemos uma variação do erro II entorno de 125%. Além disso para zoneamentos coerentes (8+34 e 4+14) o erro de agregação variou linearmente com a densidade de viagens interzonais.

Tabela 4.15 – Viagens Interzonais x Erro Médio II– E2

Cenário AI+R5	Viagens Interzonais/Zonas	Erro Médio Total II
8+34	1966	124
4+34	2148	215
8+14	3350	172
4+14	4037	242
Taxa de variação entre os cenários comparados **		
4+34 / 8+34	1,09	1,73
4+14 / 8+ 14	1,20	1,40
8+14 / 8+34	1,70	1,38
4+14 / 4+34	1,88	1,12

Os dados da tabela acima são relativos a AI+R5

* Variação média por zona nas viagens interzonais da matriz OD

** Erro médio absoluto II por ligação.

3. Em termos relativos observa-se que o erros médios são bastante similares com exceção de dois efeitos maiores na linha de cordão (LC) quando R5 passa de 34 zonas para 14 zonas e em SA-E quando o zoneamento de AI passa de 8zonas para

⁸ É bom lembrar que as linhas de aferição estão localizadas internamente a AI e no seu entorno pois é a área esta de interesse do estudo.

Tabela 4.16 – Erro Médio Percentual de Alocação – E2

Cenários	Erros %	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
AI+R5	Médios											
8+34	II	7%	9%	34%	28%	24%	19%	16%	23%	23%	21%	22%
4+34	II	11%	15%	71%	49%	38%	39%	23%	35%	29%	15%	38%
8+14	II	48%	37%	32%	17%	39%	25%	28%	26%	28%	36%	31%
4+14	II	47%	37%	76%	36%	43%	29%	33%	34%	24%	43%	43%

4. Ao observar-se os volumes exógenos XI verifica-se que este valor é bastante pequeno ($XI \leq 3$) com exceção dos cenários em que AI=4 nas linhas de aferição da Av. Água Espirada ($12 \leq XI \leq 17$), como no experimento 1

4.3 – Experimento 3

Neste experimento buscaremos analisar a influência do zoneamento externo à AI+R5 nos volumes alocados (medidos nas linhas de referência já definidas). Serão avaliados os volumes EE, EI e II em relação a número médio de viagens interzonal e intrazonal de RE. Também neste experimento os volumes resultantes de viagens que tornaram-se intrazonais nas diferentes agregações de RE foram alocados na rede como volumes exógenos (estes volumes não se encontram nas tabelas resultado pois não utilizam-se do viário das linhas de referência).

A matriz RE responsável pelos fluxos EE, EI e II pode ser totalizada segundo estes fluxos obtendo-se os seguintes totais de viagens:

Tabela 4.17 – Matriz RE por Tipo de Volume – E3

Matriz RE	Total de Viagens	% do Total
EE	657.365	79%
EI	123661	15%
II	47692	6%
Total	828718	

Cada zoneamento definido pode ser caracterizado através do número médio de viagens por zona e a relação percentual entre viagens intrazonais e interzonais (origem + destino) das diversas matrizes de RE. Para a matriz de viagens externa – externa responsável pelo fluxo EE temos:

Tabela 4.18 – Matriz EE – Viagens por Zona – E3

ÁREA - RE MATRIZ - EE	VIAGENS INTERZONAIS DESTINO + ORIGEM *	VIAGENS INTRAZONAIS	RELAÇÃO % INTRA / INTER
489+19G	2244	175	8%
46+19G	10460	4883	47%
21+19G	10848	11011	102%
15+19G	12132	13269	109%

* Número médio de viagens intrazonais origem igual a número médio de viagens intrazonais destino

Variação percentual das viagens interzonais e intrazonais em RE (46Z+19G, 21Z+19G, 15Z+19G) em relação a RE (489Z+19G), cenário base para os dados acima é:

Tabela 4.19 – Variação Percentual de Viagens, Matriz EE – E3

ÁREA - RE MATRIZ - EE	INTERZONAIS ORIGEM + DESTINO	INTRAZONAIS
46+19G	466%	2796%
21+19G	483%	6305%
15+19G	541%	7598%

Também para a matriz de viagens externa – interna de RE responsável pelo fluxo EI temos:

Tabela 4.20 – Matriz EI – Viagens por Zona – E3

ÁREA RE MATRIZ - EI	INTERZONAIS		
	ORIGEM	DESTINO	ORIGEM+DESTINO
489+19G	134	110	244
46+19G	1046	856	1902
21+19G	1701	1391	3092
15+19G	2001	1636	3637

Variação percentual das viagens interzonais e intrazonais de RE (46Z+19G, 21Z+19G, 15Z+19G) em relação a RE (489Z+19G), cenário base para os dados acima (EI) também pode ser obtida:

Tabela 4.21 – Variação Percentual de Viagens, Matriz EI – E3

ÁREA RE MATRIZ - EI	INTERZONAIS		
	ORIGEM	DESTINO	ORIGEM+DESTINO
46+19G	782%	778%	780%
21+19G	1271%	1264%	1268%
15+19G	1495%	1487%	1491%

Os volume interzonais e intrazonais relativos ao fluxo II para o zoneamento de AI+R5 = 18+34 já foram obtidos no experimento anterior e são respectivamente 1604 e 115 viagens por zona.

Segue abaixo os dados da alocação obtidos com o experimento 3. Os dados mostrados são:

1. Volume médio II, EI, EE do cenários base (489+19G) e os erros médios absolutos

obtidos nos cenários alternativos (46+19G, 21+19G, 15+19G e FE489) em relação ao cenário base.

2. Os fluxos exógenos médios de ônibus (XO), caminhão (XC) de todos os cenários e auto (XE) do cenário FE489.
3. Os volume médio endógeno (EE+EI+II) e exógenos (XO+XC) + endógeno (EE+EI+II) para o cenário base.
4. A variação percentual dos volumes EE+EI+II dos cenários alternativos em relação ao base e variação percentual de FE489 (II e II+XE) relativa ao cenário base.

Tabela 4.22a – Volumes Médios Absolutos – E3

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total (137)
		E (30)	S (29)	E (5)	S (5)	E (5)	S (5)	E (16)	S (14)	E (13)	S (15)	
489+19G	EE	292	302	392	589	604	363	136	144	129	145	310
	EI	834	860	1173	976	803	800	423	661	507	430	747
	II	407	540	1029	695	580	732	329	486	392	317	551
Erros Médios Absolutos												
46+19G	EE	53	61	108	162	107	85	21	17	12	20	65
	EI	56	87	101	60	70	110	51	42	53	31	66
	II	31	33	52	26	72	26	26	28	16	44	35
21+19G	EE	88	108	245	177	73	213	47	61	42	51	110
	EI	200	140	259	115	99	203	100	89	73	96	137
	II	59	90	107	41	84	113	78	83	77	60	79
15+19G	EE	101	149	339	278	180	309	69	108	87	74	169
	EI	232	167	364	93	155	317	113	165	142	104	185
	II	78	101	87	108	184	153	99	108	113	57	109
FE489	II	28	48	88	27	85	86	24	90	52	46	57

Tabela 4.22b – Variação Percentual dos Volumes Médios – E3

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Todos Cenários	N Ligações	30	29	5	5	5	5	16	14	13	15	137
	Cap	4828	4736	3160	3120	3440	3440	1863	1929	2023	1940	3048
	XO	105	109	0	0	0	0	86	99	106	92	60
	XC	190	173	429	456	379	362	84	86	20	21	220
FE489	XE	1126	1162	1565	1565	1407	1162	559	804	636	575	1056
489+19G	EE+EI+II	1534	1702	2594	2260	1987	1894	888	1291	1028	892	1607
	EE+EI+II+XO+XC	1829	1985	3023	2716	2366	2256	1058	1475	1154	1005	1887
Volumes Médios - Variação Percentual												
46+19G	EE+EI+II	-4,473	-4,170	-2,440	-3,746	-5,397	-0,749	-4,362	-3,746	-5,023	-4,781	-4,075
21+19G	EE+EI+II	-7,804	-7,275	-10,389	-1,266	-1,588	-3,909	-13,621	-6,618	-5,054	-14,517	-7,548
15+19G	EE+EI+II	-9,784	-9,121	-16,476	-8,224	-11,088	-11,512	-14,799	-7,465	-5,629	-15,849	-10,394
FE489	II	1,203	0,939	0,680	-0,451	3,140	3,359	0,546	1,538	4,597	1,030	-12,629
	II+XE	0,320	0,298	0,270	-0,139	0,917	1,298	0,202	0,579	1,752	0,366	0,477

As seguintes observações referentes às informações tabeladas no experimento 3 (E3) podem ser feitas:

1. O erro médio total absoluto cresce com a agregação das zonas de RE para os 3 fluxos, EE, EI e II. Os erros relativos ao cenário base (489+19G) para os cenários alternativos (46+19G, 21+19G e 15+19G) foram respectivamente os seguintes: cenário 46+19G, erro EE igual a 65, EI 66 e II 35; cenário 21+19G, EE 110, EI 137 e II 79; cenário 15+19G, EE 172; EI 185 e II 109. Para o cenário FE489, uma forma de representação do cenário base, o erro médio total absoluto II foi igual a 57 (EE+EI estão como fluxos exógenos).
2. Os erros médios nas linhas de aferição estiveram dentro de um padrão praticamente constante ou seja erros maiores nos cenários mais agregados, algumas exceções foram encontradas sem contudo identificar algum padrão.
3. A variação percentual média do volume também obedeceu o padrão identificado no item acima para os resultados nas linhas de aferição e totais com exceção da variação do cenário 46+19G nas linhas SA-S e JD-E. onde a variação foi maior que a do cenário 21+19G, contudo alterar o padrão do efeito global.
4. A variação percentual do volume médio total de FE489 foi para II de cerca de -12% e para II+XE (XE=EE+EI) de cerca de 0,5% sendo que neste último caso a variação nas linhas de aferição não passaram de 1,75%.

A analisando as observações acima temos:

1. O erro de simulação EE esta diretamente relacionado com a agregação das zonas externas dada a manutenção das viagens intrazonais em RE como exógenas. A tabela abaixo busca identificar esta relação.

Tabela 4.23 – Viagens Interzonais x Erro Médio de Alocação EE – E3

Cenário RE Matriz EE	Viagens Intezonais/Zona *	Erro Médio Total EE **
46+19G	10460	65
21+19G	10844	110
15+19G	12132	169
Taxa de variação entre os cenários comparados **		
21+19G / 46+19G	1,04	1,69
15+19G / 46+19G	1,16	2,60
15+19G / 21+19G	1,12	1,54

* Variação média por zona nas viagens interzonais da matriz OD EE

**Erro médio absoluto EE por ligação.

Observa-se na tabela acima que o aumento do erro total médio EE tem maior relação com a configuração das vias de acesso à área (critério utilizado em 46+19G) do que com a contribuição das zonas (critério utilizado em 21+19G)

- O erro EI está relacionado a redefinição espacial dos zoneamentos. O número de viagens total da matriz EI mantêm-se constante enquanto o número de zonas é alterado (a posição dos centróides e os conectores em RE são alterados) levando a uma mudança de rotas o que gera os erros EI. Observa-se na tabela abaixo a variação do número de viagens interzonais por zona de EI em relação erro médio total absoluto.

Tabela 4.24 – Viagens Interzonais x Erro Médio de Alocação EI – E3

Cenário RE	Viagens* Interzonais/Zona	Erro Médio Total EI**
46+19G	1902	66
21+19G	3092	137
15+19G	3637	185
Taxa de variação entre os cenários comparados		
21+19 / 46+19	1,63	2,08
15+19 / 46+19	1,91	2,80
15+19 / 21+19	1,18	1,35

* Viagens interzonais por zona da matriz OD EI

** Erro médio de alocação por ligação

Observa-se que a variação do Erro Médio EI tem relação com a densidade de viagens da Matriz EI por zona externa, embora a relação não seja linear. A influência das vias de acesso é também importante mas neste caso confunde-se com a menor densidade de viagens.

3. O erro II neste caso está diretamente relacionado à interdependência entre os fluxos é responsável pelos erros obtidos no método de alocação de tráfego escolhido, O erro II é resultante das mudanças nos fluxos de EE e EI, em função do seu efeito no congestionamento das vias.

Tabela 4.25 – Volumes Médios Totais – E3

Cenários	Volumes Médios Totais			
	II	EE	EI	EE+EI
489+19G	551	310	747	1056
46+19G	532	287	729	1016
21+19G	528	305	670	975
15+19G	538	268	622	890

Não observou-se a relação esperada entre os volumes. Os volumes médios (EE, EI) dos cenários agregados diminuem em relação ao cenário base, mas o efeito em II é pequeno.

4. Convém comparar o erro II dos cenários 46+19G, 21+19G e 15+19G com o erro e a variação percentual do volume médio do cenário FE489 são devidos ao erro numérico do método iterativo de alocação utilizado no processo, pois este cenário é idêntico ao base (489+19G) transformando-se os volume EE+EI em exógenos (XE - fixos na ligação). Observa-se claramente que quando considera-se II+XE, a variação média obtida em cada linha de aferição e total é pequena (menor que 6%) e que os erros médios totais II especialmente para o cenário 46+19G são de mesma magnitude aos obtidos em FE489 (identificando que este erro está também relacionado ao erro numérico do processo de convergência).
5. A composição total média desses volume fornecida para o cenário base RE=489+19G (vide tabela abaixo) assim como a composição da matriz de viagens (tabela 4.17) indicam que as avaliações acima que devem ser relativizadas.

Tabela 4.26 –Volume Médio por Tipo de Volume– E3

Tipo de Volume	Volume Médio RE=489+19G	% relativa ao Total
EE	310	19%
EI	747	46%
II	551	34%

4.4.4 – Experimento 4

Este experimento busca analisar os efeitos da variação da densidade de conectores e seu posicionamento em AI+R5 na alocação de tráfego. A análise será realizada em relação ao fluxo II pois EE+EI serão considerados fixos na ligação (exógenos - XE).

Serão avaliados os volumes endógenos II nas linhas de referência com as 3 densidades de conectores (5Con, 3Con e 1Con respectivamente com 5, 3 e 1 conector por zona). Teste com o posicionamento de conectores de algumas zonas dentro de AI também serão realizados buscando verificar a influência dos mesmos nos volumes obtidos. Serão realizados quatro testes de variação da posição dos conectores com o cenário de densidade média de conectores igual a 3 (3Con): 3Comp (conectores ligados de maneira complementar ao cenário 3Con em relação à 5Con, em AI+R5), 3Centro (alteração da posição dos conectores em duas zonas localizadas entre as linhas de aferição definidas), 3Horiz (alteração do posicionamento dos conectores em 4 zonas externas paralelas a linha de aferição AEM) e 3Vert (alteração do posicionamento dos conectores em 4 zonas externas e paralelas à linha de aferição SA).

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos na alocação de tráfego nas linhas de referência definidas com a os diferentes cenários descritos acima. Os dados fornecidos são:

1. Volume médio endógeno II
2. Erros médios absolutos dos cenários alternativos relativos ao cenário base 5Con.
3. Volume endógeno + exógeno (II+XE e II+XO+XC+XE) do cenário base (5Con).
4. Variação percentual média II para os cenários alternativos relativo a base II.

Tabela 4.27a – Erros Médios Absolutos – E4

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total (137)
		E (30)	S (29)	E (5)	S (5)	E (5)	S (5)	E (16)	S (14)	E (13)	S (15)	
5Con	II	412	545	1036	692	599	756	331	494	410	343	562
Erros Médios Absolutos												
3Con	II	131	130	303	91	25	87	66	149	121	79	118
3Compl	II	107	119	82	67	139	178	46	126	62	55	98
3Centro	II	131	133	319	94	57	90	72	149	118	92	125
3Horiz	II	135	128	323	93	27	82	57	142	120	84	119
3Vert	II	131	116	409	72	27	95	80	154	126	69	128
1Con	II	171	341	284	218	159	191	78	105	116	108	177

* O valor entre () é o número de ligações da linha de aferição

Tabela 4.27b – Variação Percentual dos Volumes Médios – E4

	Volumes Médios	LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Todos Cenários	N Ligações	30	29	5	5	5	5	16	14	13	15	137
	Cap	4828	4736	3160	3120	3440	3440	1863	1929	2023	1940	3048
	XO	105	109	0	0	0	0	86	99	106	92	60
	XC	190	173	429	456	379	362	84	86	20	21	220
	XE	1126	1162	1565	1565	1407	1162	559	804	636	575	1056
5Con	II+XE	1534	1702	2594	2260	1987	1894	888	1291	1028	892	1607
	II+XO+XC+XE	1829	1985	3023	2716	2366	2256	1058	1475	1154	1005	1887

Volumes Médios - Variação Percentual

3Con	II	12,487	12,620	5,734	11,776	-1,734	-3,222	1,487	1,814	6,481	1,430	4,837
3Compl	II	13,252	14,322	4,212	9,710	15,964	13,183	0,521	-1,320	-0,674	3,332	7,880
3Centro	II	12,420	12,568	5,516	11,563	-5,131	-2,829	1,097	1,656	5,898	0,036	4,287
3Horiz	II	12,744	12,822	-2,746	2,986	-0,081	-2,034	1,754	1,725	6,092	1,842	2,570
3Vert	II	14,161	13,935	-18,511	4,124	0,829	-2,658	1,196	1,314	8,598	0,070	0,032
1Con	II	29,207	29,410	1,168	7,221	18,568	24,553	1,996	1,521	5,732	7,464	12,511

As seguintes constatações referentes as informações tabeladas do experimento 4 (E4) podem ser feitas:

1. Através do erro médio total absoluto é possível verificar erros expressivos em todos os casos (da ordem de 20%) e identificar duas faixas de erros: os cenários com 3 conectores (3Con, 3Compl, 3Centro, 3Horiz, 3Vert) com erro variando entre 98 e 128 e o cenário com 1 conector (1Con) com erro de 177. Observa-se claramente que o erro cresce quando se diminui o número de conectores, mas há significativa variação entre as diferentes linhas de aferição.
2. Em relação a posição dos conectores (cenários com 3 conectores, citados acima) pode-se identificar dois padrões de alteração:
 - Cenários Complementares (3Con e 3Compl) onde obteve-se erros médios totais de 118 (21,4%) e 98 (17,5%) respectivamente, sugerindo uma variação do erro de 3,5% para a densidade de 3 conectores por zona.
 - Cenários com variações pontuais nos conectores próximos as linhas de aferição (3Con, 3Centro, 3Horiz, 3Vert) onde se obtiveram erros médios totais de 118 (21,0%), 125 (22,3%), 119 (21,2%) e 128 (22,8%) respectivamente, mostrando que a faixa extrema de variação do erro tem a metade da magnitude do erro obtido nos cenários complementares.
3. Os erro médio absoluto e a sua variação foi significativamente maior no cenário com 1 conector
4. Observou-se que a linha de Cordão (LC) para todos os cenários teve um aumento significativo de volume tanto entrando como saindo (entre 12,48% e 14,32 para os cenários com 3 conectores e cerca 29% para o cenário com 1 conector).

Analisando as constatações acima temos:

1. As redes de simulação viária em geral representam parcialmente o sistema viário existentes em áreas urbanas, somente as principais vias são representadas, nosso experimento mostrou que deve-se buscar representar este conjunto de vias com uma densidade grande de conectores. O erros médios totais absolutos de

magnitudes diferenciadas para cenários com 3 e 1 conector indicaram esta linha de atuação, mas este resultado deveria ser avaliado com comparações de volumes observados (dado que o efeito da inclusão de conector é dúbio).

2. A opção testada 3Con e 3Compl (complementares) mostraram (erro médio total absoluto e relativo) que determinado viés pode ser obtido através de ligações diferenciadas com o mesmo número de conectores, com uma margem de variação pequena (3,5%). Alterações pontuais na posição dos conectores a menos de efeitos localizados tem influência menor.
3. Os erros médios absolutos obtidos nas linhas de aferição para os diversos cenários apontaram também para a opção densa de conectores. Não identificamos explicações específicas para as diferenças identificadas em cada linha.
4. O efeito na linha de cordão (LC) onde o aumento de volume foi bastante claro em todos cenários é uma linha divisória tem de considerar sua característica como uma linha divisória que envolve vias principais (pontos especiais de conexão que afetam os fluxos de entrada e saída). Por esse motivo muitos conectores foram incluídos em LC o que não ocorreu nas demais linhas de aferição.

4.4.5 – Experimento 5

Este experimento fornece resultados da alocação de tráfego nas linhas de referência em simulação realizada com rede viária Arterial (expressa e arterial, sem coletoras) em AI e matriz II de AI+R5, variando-se o zoneamento AI+R5 (18+34, 8+34, 4+34). Somente o volume II será analisado (endógeno), EE+EI volumes com origem e/ou destino em RE serão considerados fixos (exógenos). Os objetivos deste experimento são: analise a rede arterial comparativamente a rede completa (expressa, arterial e coletora) e analise do comportamento da rede arterial com a variação do zoneamento em AI.

Os dados mostrados na tabela abaixo são:

1. Volume Total II dos cenários 18+34 da Rede Arterial (RA) comparativamente ao Volume Total II da Rede Completa (RC – expressa, arterial e coletora).
2. Volume médio II dos cenários RA(18+34) base para a obtenção dos erros médios absolutos para os cenários (8+34 4+34).
3. Os fluxos exógenos médios de ônibus (XO), caminhão (XC), auto (XE=EE+EI) e referentes as agregação alternativas (XI).
4. A variação percentual dos volumes II e II+XI dos cenários alternativos em relação ao cenário bases (II).

Tabela 4.28a – Volumes Totais Médios – E5

Volume Totais		LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Rede Completa	N Ligações	30	29	5	5	5	5	16	14	13	15	137
Vol Total II	18+34 (base)	12371	15800	5181	3458	2993	3781	5289	6911	5326	5150	76954
Rede Arterial	N Ligações	30	29	5	4	5	5	7	7	7	7	106
Vol Total II	18+34	12329	15758	5194	3466	3210	3731	5233	6662	5413	4811	78524
Volumes Totais - Variação Percentual												
(RA - RC) / RC	18+34	-0,340	-0,267	0,252	0,252	7,251	-1,305	-1,075	-3,604	1,630	-6,586	2,040

Tabela 4.28b – Erros Médios Absolutos – E5

Volumes Médios		LC		SA		JD		AEM		AEW		Total (106)
		E (30)	S (29)	E (5)	S (4)	E (5)	S (5)	E (7)	S (7)	E (7)	S (7)	
18+34	II	411	543	1039	867	642	746	748	952	773	687	741
Erros Médios Absolutos												
8+34	II	24	29	183	110	134	70	108	56	104	100	92
4+34	II	54	56	432	340	126	326	422	551	393	349	305

* O valor entre () é o número de ligações da linha de aferição

Tabela 4.28c – Variação Percentual dos Volumes Médios – E5

Volumes Médios		LC		SA		JD		AEM		AEW		Total
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	
Todos Cenários	N Ligações	30	29	5	4	5	5	7	7	7	7	106
	Cap	4828	4736	3160	3550	3440	3440	2457	2457	2457	2457	3298
	XO	105	109	0	0	0	0	198	198	198	198	100
	XC	188	172	465	628	395	378	181	166	38	42	265
	XE	1112	1148	1544	1884	1371	1150	1211	1461	1181	1176	1324
8+34	XI	0	0	7	8	1	1	0	0	1	1	2
4+34	XI	0	0	16	17	5	4	35	34	28	28	17
Volumes Médios - Variação Percentual												
8+34	II	0,163	0,128	-4,109	0,113	-16,619	-5,176	0,635	1,289	13,272	6,026	-0,096
	II+XI	0,163	0,128	-3,481	1,054	-16,444	-5,007	0,635	1,289	13,354	6,110	0,038
4+34	II	-0,638	-0,499	4,261	13,194	-19,647	-9,364	-56,509	-57,917	-50,866	-49,278	-16,439
	II+XI	-0,638	-0,499	5,843	15,198	-18,825	-8,800	-51,821	-54,377	-47,266	-45,231	-15,004

As seguintes constatações referentes as informações tabeladas do experimento 5 (E5) podem ser feitas:

1. A variação percentual média dos volumes totais indica que o volume total nas linhas de aferição para o zoneamento AI+R5=18+34 praticamente não se altera (2% na variação total e no máximo 7% nas linhas de aferição).
2. Os erros médios absolutos totais são crescentes com a agregação do zoneamento. Para os zoneamentos 8+34 e 4+34 obtivemos respectivamente os seguintes erros: 92 e 305.
3. Observa-se também, relativo ao erro médio total nas linhas de aferição que eles foram crescentes com a agregação do zoneamento.
4. Os volume exógenos XI foram pequenos em relação a II do cenário base (menores que 2%) exceto no cenário 4+34 e nas linhas de aferição AEM e AEW onde estiveram na faixa de 4%.
5. Obteve-se valores altos (entre 35 e 60%) para a variação percentual dos volumes médios nas linhas de aferição AEM e AEW para o cenário 4+34. Valores também altos (entre 15 e 20%) foram encontrados em ambos os cenários para a linha JD-E.
6. Observou-se que a variação percentual dos volumes médios foi pequena (entre 0,1 e 0,7%) na linha de cordão (LC), em todos os cenários.
7. Em todos os cenários a variação percentual do volume médio total melhorou com a inclusão do volume exógeno XI. Isto também aconteceu na maioria das linhas de aferição (exceto para o cenário 8+34 linhas AEW e SA-S).

Analisando as constatações acima temos:

- 3 O erro de alocação de II (neste caso EE+EI foram fixados como exógenos) está diretamente relacionado ao número de viagens interzonais (o erro com a agregação do zoneamento), comparando-se este erro com o número de viagens interzonal e com XI médio temos:

Tabela 4.29 – Viagens interzonais x Erro Médio de Alocação e Volume exógeno – E5

Cenário AI+R5	Viagens Interzonais/Zona *	Erro Médio Total II **
8+34 C=	1966	92
4+34 C=	2148	305
Taxa de variação entre os cenários comparados **		
4+34 / 8+34 =	1,09	3,32

Os dados da tabela acima são relativos a AI+R5

* Variação média por zona nas viagens interzonais da matriz OD

** Erro médio absoluto II por ligação.

Observa-se que para a mesma variação de viagens interzonais (1,09) obteve-o dobro da variação do erro médio da rede completa (3,32 contra o valor 1,73 na Tabela 4.15) para II, que deveu-se a uma diminuição do erro em 8+34.

4. Os valores diferenciados e maiores de XI nas linhas de aferição AEM e AEW deve-se ao viés introduzido na desagregação do zoneamento AI=4 para AI=8, já citado em outros experimentos e que se manteve com a agregação da rede, agora concentrado em um número menor de ligações.
5. Não se tem explicação para constatações feita relativas a algumas linhas de aferição onde o erro médio absoluto não cresceu com a agregação. Ao contrário do erro absoluto, a variação dos volumes teve o padrão esperado, isto é, aumentou com a agregação da rede (a eliminação das vias coletoras). Pode-se ver, também, que o efeito na LC foi desprezível (em ambos os experimentos).
6. Como era esperado a inclusão do XI (volume exógeno) melhorou os totais e os resultados obtidos nas linhas de aferição em quase 100% dos casos entre 1 e 40% do valor sem o volume exógeno.

4.5 - Análise de Critérios Aplicáveis

A análise dos diversos experimentos evidencia que as viagens EE, EI e II devem ser consideradas separadamente para avaliar o efeito da definição do zoneamento, utilizando-se a composição da matriz da área específica para ponderar o efeito global.

No experimento 1 de focalização, (EE, EI e II como endógenos) identificou que as

variações do zoneamento interno a esta área alterou de modo diferenciado os três tipos de fluxos. A variação de II mostrou-se, em termos relativos, o dobro da variação de EI e cerca de 8 vezes a variação de EE. (observa-se que estes dados são relativos a este experimento mas indicam que o volume II é mais afetado pelas alterações de zoneamento em AI). A magnitude dos fluxos intrazonais pode ser diretamente relacionado com as viagens intrazonais e é maior que os fluxos intrazonais correspondentes, nas ligações (usualmente ignoradas no estudos práticos).

Entretanto, verificou-se que os vieses na definição do zoneamento (como entre AI=8 e AI=4) acarretam erros mais significativos que os relacionados ao nível de agregação medido pela densidade média de viagem das zonas.

O experimento 2, onde analisamos o zoneamento interno à área de estudo, com EE+EI fixos nas ligações (exógenos) observa-se que II está relacionado com a agregação das zonas (número de viagens interzonais) e também com a posição das zonas agregadas em relação à área de interesse do estudo. Observa-se que a variação das zonas mais próximas às linhas de aferição (no caso as zonas de AI) .levaram a um aumento do erro em cerca de 90% enquanto a variação das zonas mais afastadas (no caso de R5) o aumento do erro nas linhas de aferição foi de cerca de 30%. Além disso, os erros obtidos com agregações diferenciadas (8+14 e 4+34) variaram mais que proporcionalmente ao número médio de viagens por zona (o que sugere que a homogeneidade neste aspecto é recomendável).

No experimento 3, onde variou-se as zonas externas à área estudo, (EE, EI e II como endógenos) identificou que a variação relativa de EE foi o dobro de EI e cerca de seis vezes a de II (também este valores são relativos mas identificam magnitudes diferentes), o que é um resultado esperado. Entretanto, evidenciou-se que o erro de EE tem relação mais forte com as áreas de influência das vias de acesso externo do que com a identificação das zonas externas com alta contribuição.

O experimento 4 quando com a variação da densidade e posição dos conectores permitiu-

nos observar que houve um crescimento significativo do erro com a diminuição do número de conectores por zona. Estes resultados favoreceriam uma estratégia de utilização de alta densidade de conectores mas deve-se ponderar que não analisamos o erro em relação aos volumes observados (e sim aos simulados com a densidade de conectores máxima), o que leva a tomarmos esta conclusão com bastante cautela.

Relativo a variação da posição dos conectores observou-se uma variação máxima no erro de cerca de 3,5% relativo ao fluxo II, menor ainda para mudanças localizadas, o que sugere um efeito localizado (isto é, que não vai muito adiante da zona correspondente). Isto justifica o procedimento usual de dar mais atenção à definição da posição dos conectores nas imediações da área de interesse da análise das intervenções viárias.

O experimento 5 relativo a variação da rede (rede mais agregada) observou-se que o volume total II na área de estudo (AI) não teve variação significativa no total e nas linhas de aferição. Observou-se também que o comportamento dos erros ocasionados pela agregação das zonas foi bastante similar a rede completa (expressa, arterial e coletora), mantendo-se inclusive o viés identificado já na desagregação de AI=4 para AI=8. A rede mais agregada gerou maior variação dos erros mas a variação percentual manteve sempre a relação com o nível de agregação das zonas. Observa-se que desagregação do zoneamento em redes agregadas não causa leva a nenhum erros de incompatibilidade entre rede e zoneamento (isto é, não há motivo para evitar desagregação do zoneamento decorrente da necessidade de compatibilidade com qualquer nível de agregação da rede).

A conclusão das observações acima é que a definição da área de estudo, que determina sua área interna e externa, é uma decisão importante. Devemos ter clareza da composição da matriz de viagens EE, EI e II, pois isto nos permitirá definir o zoneamento interno e externo da melhor forma, relativizando sua importância na área a ser estudada.

5 – Conclusão e Recomendações

Neste estudo buscamos avaliar o efeito do zoneamento de tráfego e as dimensões relacionadas a este na alocação de viagens em modelos de planejamento de transporte. Vários experimentos foram definidos buscando avaliar o zoneamento interno e externo a área de estudo, densidade de conectores, compatibilidade entre a rede de simulação e zoneamento, de tráfego, etc..

O estudo foi realizado de forma não usual através da focalização de uma região, onde considerou-se os volumes intrazonais (nos zoneamentos agregados) na alocação de tráfego e onde sempre que necessário recorreu-se a estratégia de fixar um ou outro volume para que pudesse-mos melhor analisar os fluxos de interesse.

A bibliografia levantada inicialmente com as orientações dos diversos autores serviu de base para alguns dos experimentos realizados, sendo que outros coube a nós definirmos.

Como resultado da análise destacamos a evidência obtida em todos experimentos que os fluxos de atravessamento (EE), de fluxo de entrada e saída (EI), interzonais (II), além das viagens intrazonais devem ser considerados separadamente para a definição da área de estudo que determina o zoneamento interno e externo.

Em cada um dos experimentos obteve-se resultados relacionados com seus objetivos como: nível de desagregação das zonas (medido pela densidade média de viagens por zona) mostrou um efeito consistentemente favorável mas inferior a aspectos relacionados com vieses de divisão das zonas internas ou externas em relação à acessibilidade às vias; a influência dos conectores de centróide e das vias coletoras foi considerado localizado, diminuindo rapidamente com a distância das vias de interesse; as zonas mais agregadas exigem atenção maior para evitar erros significativos, não tendo sido observado qualquer limite para a redução dos erros (mesmo em grau decrescente) com a maior desagregação das zonas.

Acreditamos que a continuidade do estudo dentro da linha escolhida de análise (separando-se os diversos fluxos e fixando um ou outro volume para melhor compreensão dos resultados) pode ser implementada em outras áreas permitindo obter resultados comparativos e mais conclusivos. Esta linha de estudo mostrou-se bastante interessante na compreensão dos relacionamentos entre diferentes fluxos que utilizam-se da área em estudo.

Destacamos também, que aspectos relacionados ao tamanho das zonas (área ocupada, número de ligações viárias), a forma das zonas, a localização dos centróides, a previsões de tráfego, etc. deveriam inclusos nos experimentos a serem realizados buscando um melhor entendimento dos efeitos do zoneamento de tráfego.

Bibliografia

Bruton M. J. (1975). **Introducton to Transportion Planing**. 3^o ed. London, University College London, England

Bruynooghe, A.; Gibert, A.; Sakarovich, M. (1968). Une méthode d'affectation du tráfico, **Proceedings of fouth symposium on theory of traffic flow** (Karlsruhe).

Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (1992). **Rede Viária Básica - Hierarquização das Vias do Município de São Paulo**

Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo Relatório, (1994). **Operação Urbana Água Espreada**

Crevo, C.C. (1991). Impacts of Zonal Reconfigurations on Travel Demand Forecasts. **Transportation Research Record** 1305, p. 72-80

Ding C. (1994). Impact Analysis of Spacial Data Agregation on Transport Forecasted Demand: a GIS Aproach - **URISA Proceedings** 1, p. 362 - 375 (<http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/urisa/ur94032.html>)

Desenvolvimento Rodoviário S.A. (1996). **RODOANEL - Via de Interligação Rodoviária- Análise de Desempenho e Redimensionamento**.

Dow, P. ; Van Vliet, D. (1979). Capacity restrained road assignment, **Traffic Engineering and Control** 20, p. 296-305

Easa, M. S. (1993). Urban Trip Distribution in Praticce – I: Conventional Analysis (Reviewed by the Urban Transportation Division). *Journal of Transportation Engineering* vol 119, n^o 6, November/December, p. 793 - 815

Evans S. P. (1976). Derivation and Analysis of Some Models for Combining Trip

Distribution and Assignment. **Transportation Research** vol. 10, p.37 - 55

Florian M. ; Nguyen S. (1976). An Application and Validation of Equilibrium Trip Assignment Methods, **Transportation Science** 10, 374-389

Garin R. A. A Matrix Formulation of Lowry Model for Intrametropolitan Activity Allocation. **AIP Journal** vol 32, Nov., p 361-364

Guo, J. Y. (1997). The Multi-Criteria Zoning Problem - **19th Conference of Australian Institutes of Transport Research. Melbourne, Australia.**(<http://www.trc.rmit.edu.au/STAFF/staffjguo.htm>)

Horowitz, A. J. (1990). Subarea Focusing with Combined Models of Spatial Interaction and Equilibrium assignment. **Transportation Research Record** 1285, p 1-8

Hutchinson, B. G. (1979). **Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano**, sLp Editora Guanabara Dois

Inro (1992), **EMME/2 User's Manual**, Cap. I, Seções 1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4; Cap. IV, Seções 3.22, 5.1, 5.2; Cap. VI

Jansen, G. R. M.; Bovy P. H. (1982) The Effect of Zone Size and Network Detail on All-or-Nothing and Equilibrium Assignment Outcomes. **Traffic Engineering + Control**, june 1982, p. 311-317,328

Khisty, C. J. (1990). **Transportation Engineering : an Introduction**. 2^o ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, p. 414-415

Leblanc, L.J.; Morlok, E.K.; Pierskalla, W.P.(1975). An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem, **Transportation Research** 5, p. 309-318

Lowry I. S.(1966). A Model Metropolis . **The Rand Corporation**, Santa Monica, Calif

O'Neill W. A. (1991). Developing Optimal Transportation Analysis Zones Using GIS - **ITE Journal** December 1991, p. 33 - 35

Openshaw S. (1978), "**5. An optimal zoning approach to the study of spatially aggregated data**" in **Spatial representation and Spatial Interaction**, Eds I Masser, P Brown (Martinus Nijhoff, Leiden, Holland).

Oppenheim, N. (1995). **Urban Travel Demand Modeling: from Individual Choices to General Equilibrium**. New York, John Wiley

Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. G. (1994). **Modelling Transport**. 2º ed. Chichester, England. John Wiley

Pedersen N. J. ; Samdahl D. R. (1982). Highway Traffic Data for Urbanized Area Project Planning and Design, **Nacional Cooperative Highway Research Program Report 255**

Sanches, S. da P. (1997). Definição de Zonas de Tráfego a Partir de Setores Censitários Usando GIS, **XI ANPET, Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, p. 103 - 112

Secretaria. Municipal Planejamento (1994). **Relatório Parcial - Grupo de Trabalho Operações Urbanas**.

Sheffi, Y. (1985). **Urban Transportation Networks: equilibrium analysis with mathematical programming methods**. Englewood Cliffs, Prentice - Hall, USA.

Smith E. A. (1970). Organizing for Effective Transport Planning, Proceedings, **Australian Road Research Board, Melbourne, Austrália** p.406 - 422

Spiess, H.; Florian, M. (1989). Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks, **Transportation Research B**, Vol. 23B No 2, p. 83-102

Tekhnites Consultores Associados S/C Ltda (1992) - Companhia Metropolitana de São Paulo.

Estudos para Definição da Rede Básica, TOMO II - Estudos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo.

Wang, J. J.. Route Analysis Fundamentais. **Washington Department of Highways.**

Wardrop, J.G. (1952). Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, **Proc. Inst. Civ. Eng., Part. II**, 325-378

Wildermuth B.R. et al. (1972). Effect of Zone Size on Traffic Assignment and Trip Distribution. **Highway Research Record** No 392, Highway Research Board, Washington, DC, 1972, p. 58- 75