

# VELOCIDADE MÉDIA DE DESLOCAMENTO CONSTRUINDO UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE

**Carlos Eduardo de Paiva Cardoso**

Superintendência de Desenvolvimento – SDE  
Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET-SP  
Programa de Estudos Pós-Graduados em Serviço Social  
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP

## RESUMO

A velocidade média de deslocamento sempre foi uma informação de grande interesse nas áreas de planejamento, projeto e operacional, pois permite avaliar o sistema de transporte por trecho de via ou área independentemente da distância percorrida. Este estudo busca, dentro dos limites do município de São Paulo, definir uma metodologia de análise que permita avaliar o desempenho comparativo de cada modo de transporte por região permitindo assim, ao planejador acompanhar a evolução histórica do transporte na cidade.

## ABSTRACT

The average speed of displacement has always been an information of great interest to the planning, project and operation areas because it allows to evaluate the system of transportation by section of streets or areas, independently of the roamed distance. This study searches, inside the limits of São Paulo city, to define a methodology of analysis that allows to evaluate the comparative performance for each mode of transportation by region. It allows the planner to know the historical evolution of the transportation in the city.

## 1. INTRODUÇÃO

A velocidade média de deslocamento sempre foi uma informação de grande interesse nas áreas de planejamento, projeto e operacional, pois permite avaliar o sistema de transporte (entendendo-se este, como o modo de transporte (ônibus, auto, etc.) e o sistema viário) por trecho de via ou área independentemente da distância percorrida. Com objetivo de obter-se esta velocidade para os diferentes modos de transporte nas diferentes regiões do município de São Paulo vamos utilizar duas bases de dados importantes ao planejamento de transporte: a *Pesquisa Origem Destino do Metrô-SP de 1997 (OD97)* e o *Cadastro Territorial, Predial, Conservação e Limpeza de 2000 (TPCL2000)*.

Antes de avançarmos neste estudo torna-se importante identificarmos as duas bases de dados citadas acima:

- Nos últimos trinta anos, foram realizadas quatro *pesquisas Origem-Destino* na Região Metropolitana de São Paulo: 1967, 1977, 1987 e 1997 a qual focalizou todos os 39 municípios da Região Metropolitana, quando foram entrevistados os residentes de cerca de 30 mil domicílios localizados nas 389 zonas de pesquisa.

Os principais dados e conceitos utilizados na Pesquisa Origem-Destino são: (1) Zona de Pesquisa: unidade básica para o levantamento da origem e destino das viagens (zona OD). É a menor unidade para a qual está garantida a validade estatística das informações. (2) Viagem: movimento de uma pessoa entre dois pontos (origem e destino), com motivo definido e, utilizando para isso, um ou mais modos de transporte. (3) Modo de Transporte: (a) Coletivo: metrô, trem, ônibus, ônibus fretado, escolar e lotação. (b) Individual: motorista de automóvel, passageiro de automóvel, táxi, caminhão, moto, bicicleta e outros. (c) A pé: viagem realizada a pé da origem ao destino quando à distância percorrida for superior a 500 metros (5 quadras). Quando o motivo da viagem é trabalho ou escola, a viagem é registrada independentemente da

distância percorrida. (4) Motivo da Viagem: trabalho, escola, compras, etc. (5) Dados Socioeconômicos: renda, posse de autos, escolaridade, profissão, idade, sexo etc. (Metrô/SP, 1997)

- O TPCL é um arquivo da Secretaria de Finanças (SF) da Prefeitura de São Paulo com informações sobre os imóveis do município: Uso, Padrão Construtivo, Tipo de Terreno, Dados de Conservação, Área Construída, Área do Terreno etc. A chave principal deste banco de dados é o SQL (setor, quadra, lote) que permite identificar de maneira única cada imóvel.

Anualmente a Secretaria de Planejamento da Prefeitura de São Paulo (SEMPA) solicita à SF e à Empresa de Processamento de Dados do Município (Prodam) a agregação destes dados por quadra.

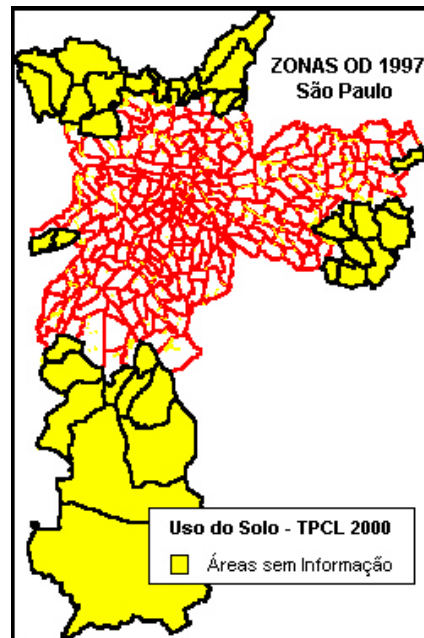
Os dados agregados do TPCL permitem ao planejador conhecer para cada quadra fiscal o nº de m<sup>2</sup> construídos e o nº de m<sup>2</sup> de terreno para cada uso definido: (1) Residencial Horizontal de Baixo Padrão; (2) Residencial Horizontal de Médio Padrão; (3) Residencial Horizontal de Alto Padrão; (14) Residencial Vertical de Baixo Padrão; (5) Residencial Vertical de Médio Padrão; (4) Residencial Vertical de Alto Padrão; (6) Comércio e Serviço Horizontal; (7) Comércio e Serviço Vertical; (8) Indústria; (9) Depósito e Armazém; (10) Uso Coletivo (Cinema, Teatro, Casa de Diversão, Clube ou Congêneres; Templo; Clube Esportivo); (11) Escola, (12) Uso Especial (Hotel, Pensão ou Hospedaria; Hospital, Ambulatório Casa de Saúde e Assemelhados; Estação Radio Emissora de Televisão e Empresas Jornalísticas; Asilo, Orfanato, Creche, Seminário e Convento); (13) Terreno Vago; (15) Garagens Não Residenciais e Edifícios de Garagem; (99) Usos Indústria, Armazéns Gerais e Depósitos com Padrão Construtivos Residências e de Comércio Horizontal. Obs.: Os números entre parênteses acima são os códigos utilizados no banco de dados TPCL para a respectiva agregação. (Deplano – Sempla, 1999)

Neste estudo, mais que velocidades médias precisas, buscaremos, em vistas das imprecisões existentes nas duas bases de dados, definir uma metodologia que possibilite avaliar o desempenho comparativo de cada modo de transporte por região (zona OD97, Distritos, Subprefeituras), permitindo assim, ao planejador acompanhar historicamente a evolução do transporte na cidade de São Paulo. Para realizar esta comparação vamos utilizar o *Índice de Discrepância* (Calculado pela divisão de todos os valores obtidos para variável em estudo pelo menor valor observado para a mesma variável, deixando claro a amplitude da variável que permite a medida do tamanho da desigualdade existente entre as diversas regiões da cidade) e o *Diagrama de Espalhamento de Moran / Indicadores Locais de Associação Espacial* (LISA Mapa) que identifica agrupamentos (“clusters”) significativos de valores semelhantes em torno de determinadas localizações e áreas fora do padrão regional (“outliers”).

É importante destacar que a metodologia escolhida, além de tornar possível a identificação das regiões com menor desempenho de velocidade permite sua decomposição em pares origem destino, o que possibilita ao técnico o detalhamento do problema e consequentemente a identificação de possíveis medidas de correção. Vale a pena, também observar que a diferença da data do cadastro TPCL disponível, 2000 em relação à OD, 1997 não deve gerar erros maiores que os já contidos nos dois cadastros, já que a alteração do uso do solo na cidade tem se dado de forma bastante lenta e gradual. Tendo em vista a

falta de informações confiáveis no TPCL2000 em algumas regiões da cidade (Figura 1 abaixo, Uso do solo – TPCL2000 – Áreas Sem Informação), estas áreas foram desconsideradas no estudo.

**Figura 1:** Uso do solo – TPCL2000 – Áreas Sem Informação.



## 2. CONSTRUINDO A VELOCIDADE MÉDIA DE DESLOCAMENTO

De volta aos bancos de dados, base deste estudo, podemos observar que na OD97 temos como informação os tempos das viagens o que permite o cálculo do tempo médio de viagem por motivo para cada zona OD. Para obtenção da velocidade (distância/tempo) falta-nos, portanto a distância média percorrida. No TPCL2000 temos o número de m<sup>2</sup> construídos por tipo de uso do solo em cada quadra fiscal o que permite obtermos para cada zona OD um centróide para cada uso do solo (mais detalhes no item 2.1 abaixo).

A tipificação, motivo de viagem (OD97) e uso do solo (TPCL2000), servirá de base para o relacionamento entre estes arquivos (por exemplo: viagens motivo comércio destinam-se a áreas de uso comercial) gerando os grupos motivo/uso (tabela 1 abaixo) que parametrizam os cálculos dos centróides e por seguinte das distâncias das viagens, sejam elas interna a cada zona (intrazonais) ou entre zonas (interzonais).

**Tabela 1: Relacionamento Motivo Viagem OD97 e Uso do Solo – TPCL2000**

Grupo Motivo / Uso	Motivo Viagem OD 1997 Código e Descrição	Uso do Solo – Quadra Fiscal – TPCL 2000 Código e Descrição
01	01 – Trabalho Industria	08 – Uso Industrial 09 – Uso de Armazéns e Depósitos
02	02 – Trabalho Comercio 03 – Trabalho Serviço 05 – Compras 06 – Médico 07 – Recreação	06 – Uso Comercial e Serviço Horizontal 07 – Uso Comercial e Serviço Vertical 10 – Uso Especial (Hotel, Hospital, Cartório) 12 – Uso Coletivo (Cinema, Teatro, Clube e Templo)
03	04 – Escola	11 – Uso Escola
04	08 – Residência Classe de Renda A e B (Classif. ABIPEME)	03 – Uso Residencial Horizontal Alto Padrão 05 – Uso Residencial Vertical Alto Padrão
05	08 – Residência Classe de Renda C	02 – Uso Residencial Horizontal Médio Padrão 05 – Uso Residencial Vertical Médio Padrão
06	08 – Residência Classe de Renda D e E	01 – Uso Residencial Horizontal Baixo Padrão 14 – Uso Residencial Vertical Baixo Padrão
07	09 – Outros	Todos os Usos (inclusive 15* e 99**) Centróide médio – área construída

\* 15 – Uso Garagens Não Residenciais \*\* 99 – Outros Usos (Uso e Padrão Não Previsto)

Obs.: (1) Os códigos Motivo Viagem OD 1997 e Uso do Solo – Quadra Fiscal – TPCL2000 são os utilizados nos respectivos banco de dados.

(2) Os motivos e usos foram agrupados de modo a permitir a obtenção do início e fim das viagens (centróides das zonas OD97 por grupo motivo/uso) e conseqüentemente as distâncias percorridas nas viagens.

## 2.1 Calculo dos Centróides Zonas por Motivo / Uso

O calculo dos centróides dos grupos motivo/uso de cada zona OD se fez pela média ponderada da posição dos centróides de cada quadra fiscal TPCL2000 contida na zona OD pela área construída das quadras dos respectivos usos dos grupos definidos na tabela 1.

Exemplo / Formula 1: Por exemplo, para o calculo do centróide da zona z do grupo motivo uso 02, relativo a compras, serviço, médico e recreação temos:

$$CentroidX_z = \frac{\sum_{q=1,n} (Acon_{06_q} + Acon_{07_q} + Acon_{10_q} + Acon_{12_q}) * CentroidX_q}{\sum_{q=1,n} (Acon_{06_q} + Acon_{07_q} + Acon_{10_q} + Acon_{12_q})}$$

$$CentroidY_z = \frac{\sum_{q=1,n} (Acon_{06_q} + Acon_{07_q} + Acon_{10_q} + Acon_{12_q}) * CentroidY_q}{\sum_{q=1,n} (Acon_{06_q} + Acon_{07_q} + Acon_{10_q} + Acon_{12_q})}$$

em que:

**CentroidX<sub>z</sub>** – Coordena X do Centróide da Zona OD n° Z.

**CentroidX<sub>q</sub>** – Coordena X do Centróide da Quadra n° Q contida na Zona OD n° Z

**CentroidY<sub>z</sub>** – Coordena Y do Centróide da Zona OD n° Z.

**CentroidY<sub>q</sub>** – Coordena X do Centróide da Quadra n° Q contida na Zona OD n° Z

**Acon<sub>nn</sub>** – Área construída do Uso Código nn (exemplo: Acon06 – Área Construída uso solo 06 - Uso Comercial e Serviço Horizontal)

Obs.: Para zonas OD97 onde não foi possível gerar o centróide de algum dos grupo acima utilizou-se o centróide do grupo 07, gerado a partir da área construída total.

## 2.2 Cálculo das Distâncias das Viagens

Para o cálculo das distâncias das viagens entre centróides dos grupos motivo/uso de cada zona são possíveis dois métodos com suas respectivas vantagens e desvantagens:

- a) **Caminho Real:** Distância média calculada sob os principais eixos viários e rotas de transporte da cidade.
- b) **Caminho ideal:** Distância em linha reta, calculada entre os centróides das zonas.

Tendo claro que os tempos de viagem estão fixados pelos dados da OD97, observa-se que quanto menor à distância percorrida (*caminho ideal – linha reta*) menor será a velocidade (distância/tempo) obtida. Portanto, o uso do caminho ideal como opção para o cálculo da distância percorrida penaliza a falta de sistema viário, assim como para o transporte coletivo, a falta de linhas de ônibus que realizem a ligação desejada pelo usuário. A opção pela penalização evidencia e facilita ao planejador a identificação das áreas com problemas, sejam eles no sistema viário e/ou no modo de transporte, pois existe uma tendência de valores mais discrepantes (velocidade menores) nestas regiões.

Buscando uma opção que avalie o modo de transporte e sistema viário existente, mas também pela facilidade de cálculo, optamos neste momento pelo *caminho ideal*, deixando claro que as duas opções de estudo e avaliação do transporte na cidade tem interesse e devem ser realizadas para um maior aprofundamento.

Para o caminho ideal o cálculo da distância de viagem é simplesmente à distância entre os centróides dos grupos motivo/uso de cada zona. Em casos de viagens intrazonais (internas as zonas) em que este valor foi nulo optou-se pela distância média das viagens internas a esta zona.

## 2.3 Cálculo das Velocidades Médias de Deslocamento da Zona OD (VMD)

Após a análise de diversas opções para o cálculo de VMD, relativas ao par origem – destino (viagens com origem na zona, viagens com destino na zona, viagens na qual as pessoas têm domicílio na zona e etc.), optamos pela opção mais ampla, consideramos a velocidade média de deslocamento (VDM) da zona como sendo a distância total percorrida por todas viagens com origem e/ou destino na zona em estudo pelo tempo total, também das viagens com origem e/ou destino na zona ( $VDM = \text{Distancia Total} / \text{Tempo Total}$ ).

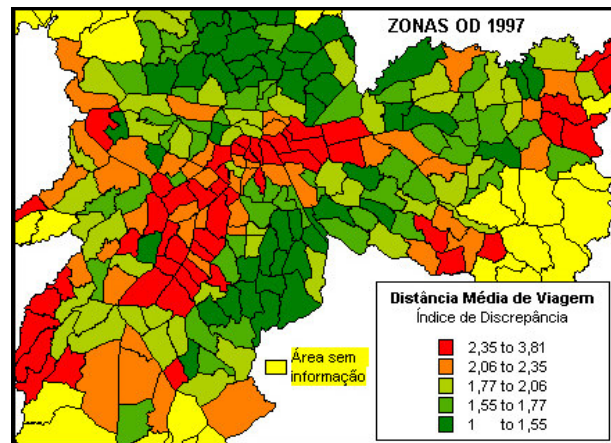
## 3. ANALISANDO O MODO PRINCIPAL ÔNIBUS - OD97

Para análise do modo principal ônibus optou-se pelas viagens com origem e destino no município permitindo, portanto uma avaliação do sistema de transporte urbano da cidade.

Antes de iniciarmos a análise deste modo torna-se importante termos algumas informações gerais: (1) O modo principal ônibus interno ao município é formado de cerca de 4 milhões 182 mil viagens dia sendo que apenas cerca de 1,3% dessas viagens utilizam-se de outro modo de transporte conjuntamente com modo ônibus urbano. (2) Do total de viagens dia realizadas cerca de 6,4% são internas as zonas (intrazonais) sendo o restante, 93,6 % entre zonas (interzonais).

As figuras disponibilizadas abaixo buscam analisar a distância e a velocidade média das viagens modo principal ônibus com base nos dados da OD97 e TPCL2000.

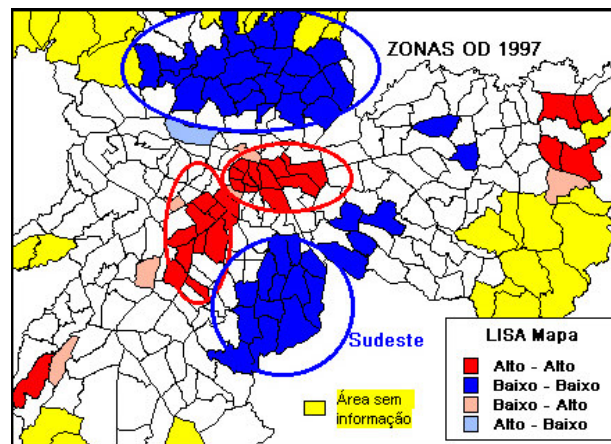
**Figura 2:** Distância Média (caminho ideal) das Viagens Ônibus Urbano por Zona (viagens com origem e/ou destino nas zonas OD97 internas ao Município de São Paulo)



Obs.: (1) Mapeamento realizado em *quantis*, metodologia que estabelece grupos com o mesmo número de zonas (cinco grupos – *quintis*) identificados por uma faixa de variação da variável.  
 (2) Para a região em estudo temos a menor média por zona de 3,6 Km e maior de 13,7 Km. A distância média de percurso por viagem para toda a região em estudo é de 6,7 km.

Antes de continuarmos vale a pena observar que a figura abaixo baseada no Diagrama de Moran / Lisa Mapa permite visualizar a dependência espacial existente na variável distância média através da comparação entre o valor da variável na zona e o valor médio da variável de seus vizinhos. As áreas são classificadas em quatro grupos: alto valor da variável em estudo e vizinhos também de alto valor (Alta – Alta), valores baixos com vizinhos também de baixo valor (Baixa – Baixa), valores altos com vizinhos de baixo valor (Alta – Baixa) e vice e versa (Baixa – Alta). Entre estes agrupamentos (“*clusters*”) são identificados os com significância estatística. O Lisa Mapa identifica também áreas com significância que não se identificam com o padrão local e não pertencem a transição entre estes agrupamentos (“*outliers*”), territórios de não estacionariedade (podem indicar tendências de alteração do padrão regional).

**Figura 3:** Diagrama de Espalhamento de Moran / Lisa Mapa Distância Média (caminho ideal) - Viagens Ônibus Urbano por Zona OD97



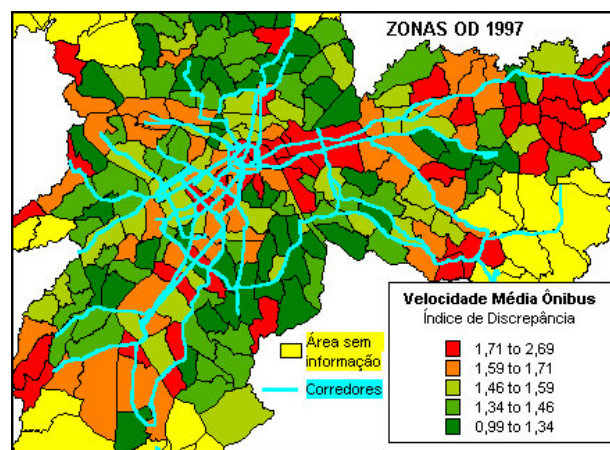
A observação dos mapas acima (figuras 2 e 3), principalmente o Lisa Mapa, identifica com significância estatística:

- Dois grandes agrupamentos (“clusters”) de baixos valores de distância média de viagem (circundados por linhas azuis);
- Dois agrupamentos (“clusters”) menores de altos valores de distância média de viagem (circundados por linhas vermelhas);
- Duas zonas de não estacionaridade (“outliers”), Bexiga (zona OD97 n°14) e Jardim Paulistano (71) de baixos valores de distância média de viagens circundadas por zonas de altos valores;
- Uma zona de não estacionaridade (“outlier”), Água Branca (41), de alto valor de distância média de viagem circundada por zonas de valores baixos.

Todas as observações acima devem ser analisadas de modo a permitir um melhor entendimento da cidade. Como exemplo, vamos analisar o agrupamento sudeste (assinalado na figura 3) de baixa distância média de viagem formada pelas zonas: Ipiranga (58), Nazaré (59), Jardim Previdência (60), Jardim Saúde (61), Vila Carioca (101), Moinho Velho (103), São João Clímaco (104), Sacomã (106), Vila Moraes (107), Parque do Estado (108), Miguel Estéfano (109), Cidade Vargas (110) e Jardim Bom Clima (182). Para maior detalhamento sobre a localização das zonas citadas veja Anexo I – Localização das Zonas OD97.

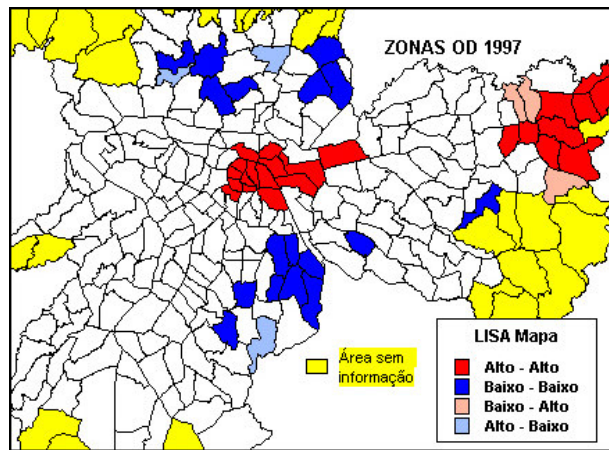
Estudando o conjunto das viagens com origem e/ou destino no agrupamento sudeste observa-se que de um total de 484 mil viagens dia cerca de 309 mil viagens (64%) ocorrem internamente a esta área, o que explica claramente a pequena distância percorrida por estas viagens.

**Figura 4:** Velocidade Média de Deslocamento Modo principal Ônibus – Zona OD 1997  
Principais corredores de transporte coletivo da cidade de São Paulo



O mapa de discrepância acima permite observar certa correlação entre corredores radiais (centro–bairro) e zonas OD97 com maiores velocidades médias. A grande quantidade de viagens dia neste eixo e as características destes corredores (maior velocidade) tende a explicar médias melhores para zonas com acesso a estes corredores.

**Figura 5:** Diagrama de Espalhamento de Moram / Lisa Mapa  
Velocidade Média de Deslocamento Modo principal Ônibus



Verifica-se com significância estatística, no Lisa Mapa, agrupamentos (“clusters”) de baixa e alta velocidade de transporte coletivo urbano, assim como zonas de não estacionaridade (“outliers”), Tucuruvi (150) e Parque do Estado (108) que devem ser analisados detalhadamente para melhor compreensão desta ocorrência.

Observa-se que o agrupamento sudeste, assinalado na figura 3, (baixa distância média de viagem) com exceção da zona Parque do Estado (108) é parcialmente coincidente com agrupamento de Baixa velocidade no Lisa Mapa acima (figura 5). A constatação que a Velocidade (distância/tempo) e Distância Média de Deslocamento têm valores médios Baixos indicam que o Tempo de Viagem de Deslocamento entre as zonas deste agrupamento deve ser alto já que 64% das viagens são realizadas entre as zonas internas ao agrupamento.

Aprofundando a análise desta hipótese temos uma clara indicação de problemas no transporte coletivo urbano modo ônibus desta área (falta de linhas, frequência abaixo do necessário, má distribuição horária das linhas, etc.) e/ou falta de viário compatível à circulação de transporte coletivo interligando estas áreas, pois à distância percorrida é pequena e o tempo de viagem é alto comparativamente a outras regiões da cidade (baixa velocidade). O estudo detalhado desta região possibilita ao planejador identificar os pares OD com problemas, que combinados a conhecimentos: da região, das linhas de transporte e do sistema viário, permitiriam a definição de soluções necessárias.

#### **4. OBSERVAÇÕES FINAIS**

Este artigo visou principalmente construir uma metodologia de análise assim como mostrar seu potencial. O estudo antes (1997 com a atualização 2002) e depois (2007, nova Pesquisa OD), por exemplo, permitiria identificar as melhorias obtidas (em termos de velocidade de percurso) pelo novo sistema de transporte em implantação, assim como a correção de possíveis problemas.

Assim como analisamos, ainda que sem finalização, o modo de transporte urbano ônibus na cidade de São Paulo, mais como um exemplo, os dados disponíveis permitem o aprofundamento deste estudo e a análise de qualquer outro modo de transporte. A



desagregação desta análise só está limitada a desagregação da OD97 (modo, par OD97, hora, renda, idade, sexo, etc.).

Este método, ainda em desenvolvimento, busca permitir o planejamento aprofundado da cidade, baseado na análise consistente de dados e menos em experiências pessoais que por mais nos pareçam acertadas, são visões parciais de um mundo mais amplo e mais complexo que deve ser desvendado.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E SOFTWARES**

**Câmara, Carvalho, Cruz e Correa** (2005) Análise Espacial de Áreas – INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) - <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>

**Cardoso, Carlos E. Paiva** (2003) Mobilidade em São Paulo – Estudo Através de Técnicas de Análise Espacial – Revista: ENGENHARIA – Ano 61– Nº 559 – Instituto de Engenharia de São Paulo.

**Deplano – Sempla** (1999) Metodologia de Agregações de Usos e Padrões Construtivos do TPCL

**Metrô/SP** (1997) Relatório Pesquisa Origem Destino do Metrô/SP

**Ramos, Frederico Roman** (2002) Dissertação de Mestrado – INPE – <http://www.dpi.inpe.br/teses/fred/>

**MapInfo** Software comercial que permite a análise de dados localizados espacialmente, <http://www.geograph.com.br> .

**Terra View** Software disponibilizado na internet pelo INPE, <http://terralib.dpi.inpe.br/> que permite de modo simples a análise espacial dos dados.

---

**Carlos Eduardo de Paiva Cardoso (paivacardoso@yahoo.com.br)**

#### **Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET-SP**

Gerência de Planejamento, Logística e Estudos Especiais – GPL

Superintendência de Desenvolvimento – SDE

Rua Formosa, 99 3º andar fundos, Centro – São Paulo – SP – Brasil.

#### **Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP**

Programa de Estudos Pós-Graduados em Serviço Social

Rua Monte Alegre, 984, 4º andar – Prédio Novo, Perdizes - São Paulo - SP