



MOBILIDADE E SISTEMAS DE TRANSPORTES

DEMANDA POR TRANSPORTES

Prof. Dr. Daniel Caetano

2019 - 1

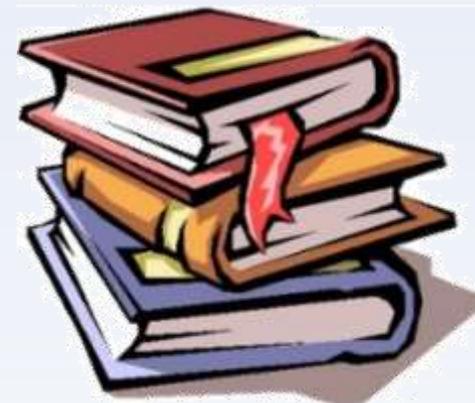


Objetivos

- Conhecer as principais características da demanda por transportes
- Compreender como pode ser mensurada a demanda por transportes
- Conhecer alguns dos principais métodos para projeção da demanda de transportes
- **Trabalho A no SAVVA!**



Material de Estudo



Material

Acesso ao Material

Apresentação

<http://www.caetano.eng.br/>
(Mobilidade e Sistemas de Transportes – Aula 8)

Minha Biblioteca

Engenharia de Infraestrutura de Transportes , Caps 1 a 3

Biblioteca Virtual

Planejamento de Transportes, Caps 1 e 3 a 8

Material Adicional

Pesquisa Origem Destino do Metrô (2007) – Sumário de Dados: <https://tinyurl.com/yxntlsa2>



A DEMANDA NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE



Planejamento de Transporte

- Garantir: Mobilidade e Acessibilidade
- O que planejar: a oferta
 - Provisão de Infraestrutura
 - Divisão do Espaço Viário
 - No Transporte Urbano... Redes de T.P.

Quanta oferta?



Planejamento de Transporte

- Oferta “a maior possível”?
 - Oferta \leftrightarrow Demanda
 - Análise de Alternativas



Tongi, Bangladesh



Porto Alegre, Brasil

Planejamento de Transporte

- Mas projetar oferta para **qual** demanda?
 - Demanda atual ou futura?
 - Horizonte de Projeto



CARACTERIZANDO A DEMANDA



Caracterizando a Demanda

- Demanda por transportes?
 - Como se manifesta o transporte?
- Transporte: realizado por meio de **viagens**
 - Origem e Destino
 - **Motivo**
 - Modo de Transporte
 - **Rota**



- **OBS:** “Viagens Virtuais”



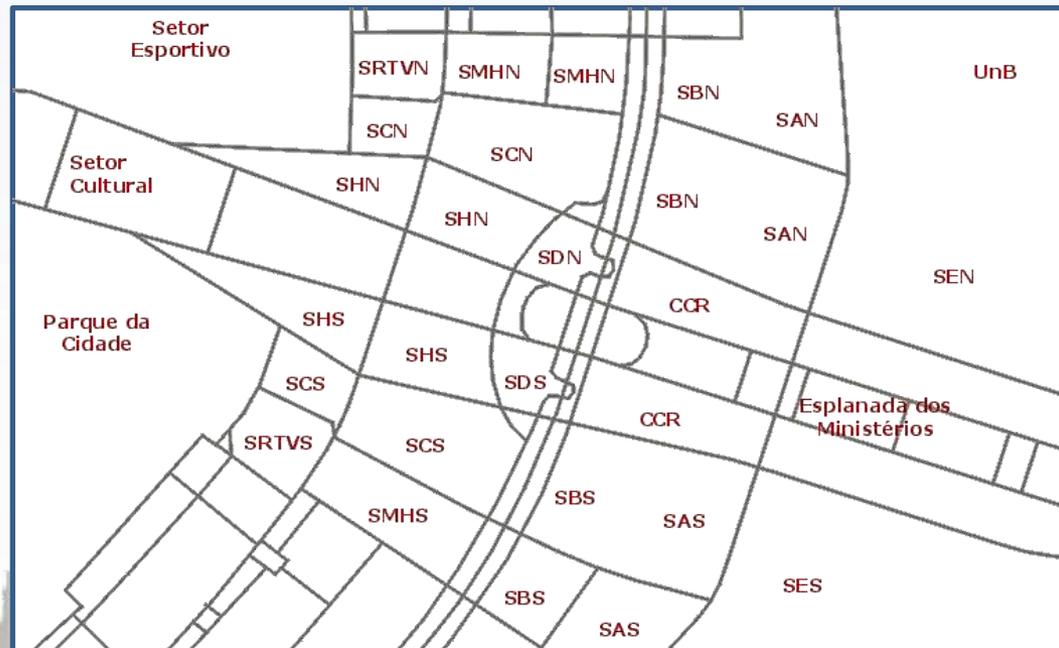
Caracterizando uma Viagem

- Características de uma Viagem
 - Heterogeneidade: viagens são sempre diferentes
 - Indissociabilidade: sempre há **um** viajante
 - Intangibilidade: não pode ser tocada
 - Perecibilidade: não pode ser estocada



As Viagens e o Espaço

- Variabilidade na dimensão espacial
 - Ocupação do espaço interfere no transporte
 - Brasília x Centro Expandido de São Paulo
 - Centro x Periferia (de São Paulo)

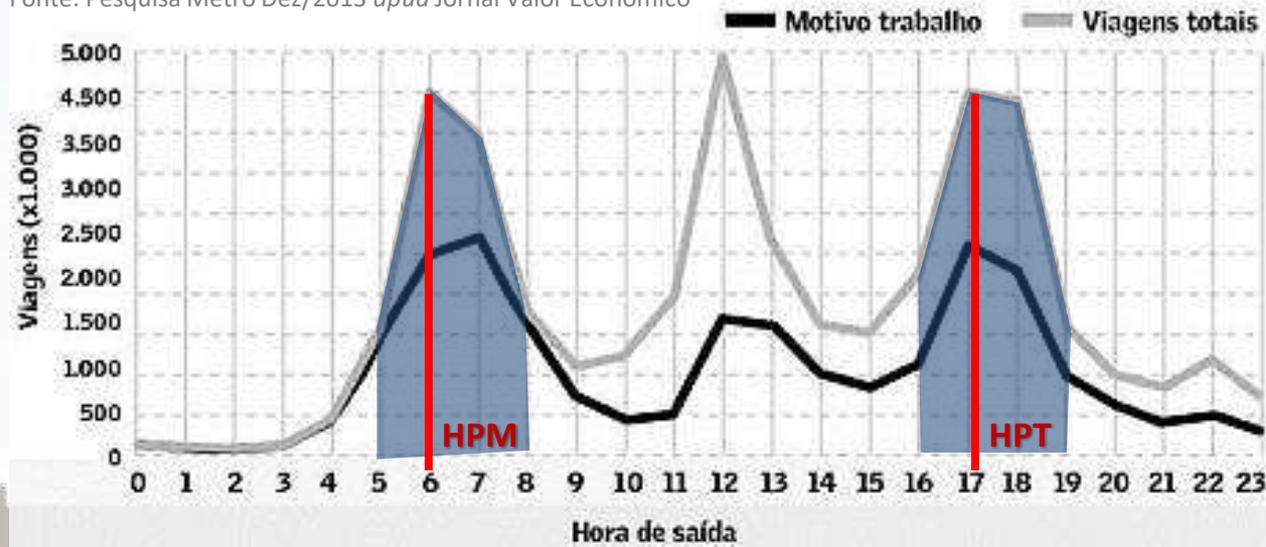


As Viagens e o Tempo

- Variabilidade na dimensão temporal
 - Variação horária
 - Hora-pico (manhã x tarde)
 - Período-pico (manhã x tarde) – 3 horas

Dados da região metropolitana de São Paulo

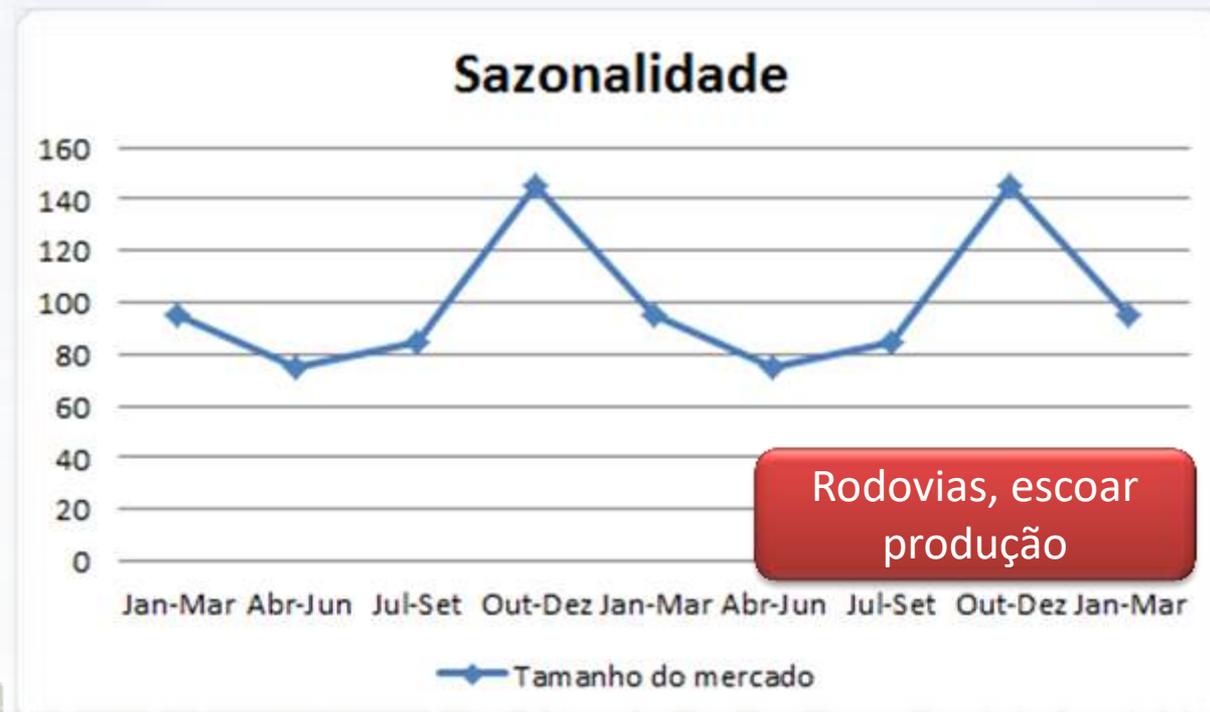
Fonte: Pesquisa Metrô Dez/2013 *apud* Jornal Valor Econômico



As Viagens e o Tempo

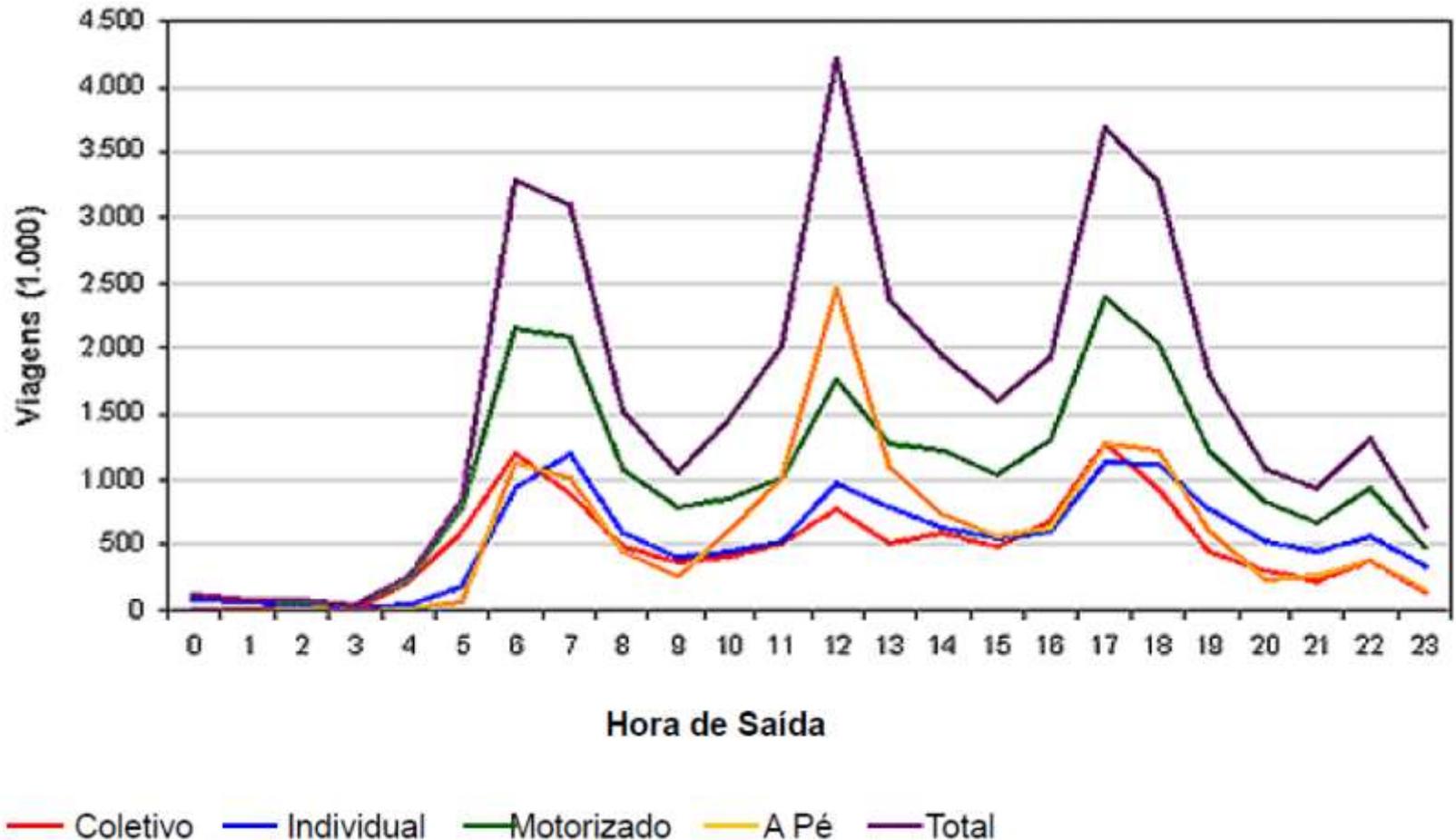
- Variabilidade na dimensão temporal
 - Outras variações
 - Diária
 - Semanal
 - Mensal
 - Sazonal

Dia Pico,
Hora Pico



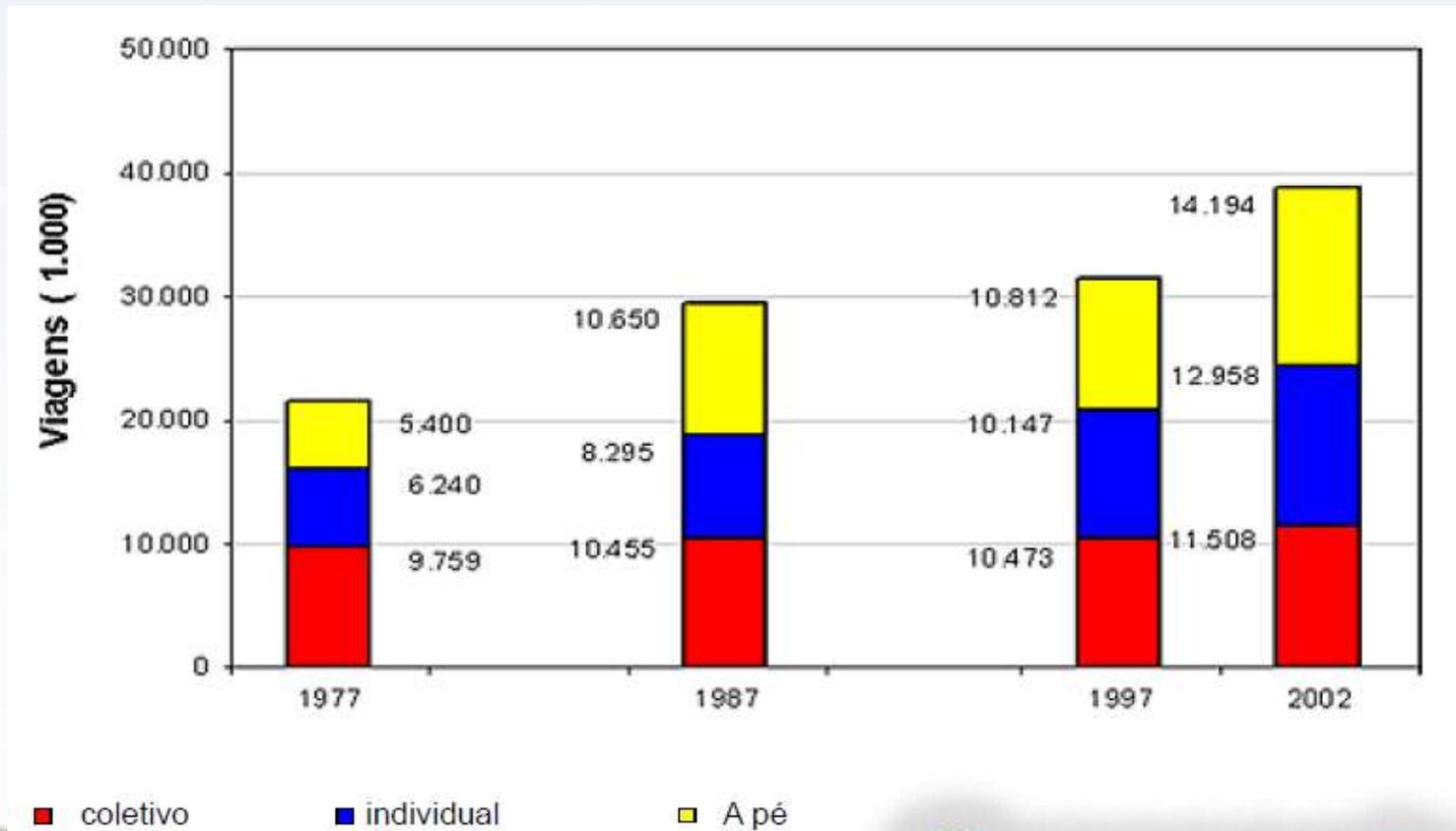
As Viagens e o Tempo

- Flutuação Horária por Modo (RMSP)



As Viagens e o Tempo

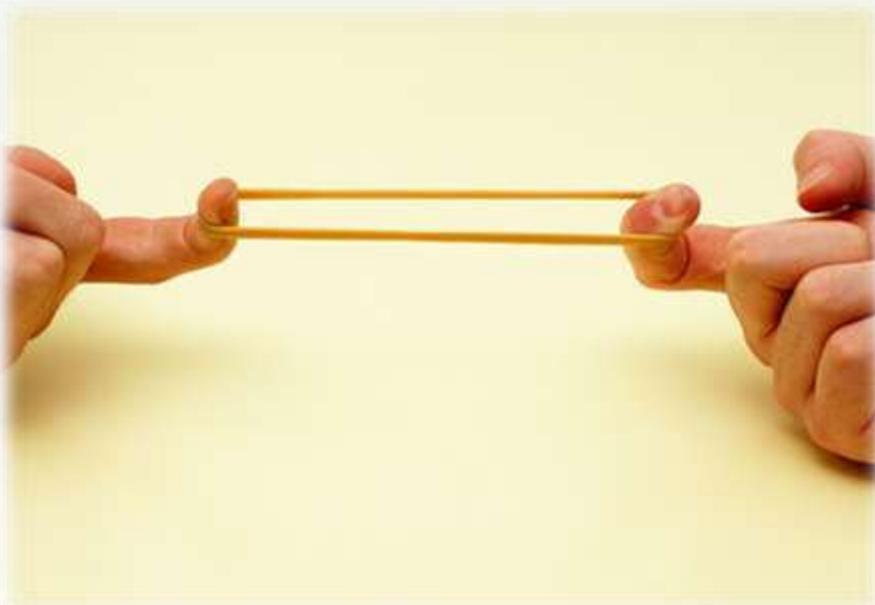
- Evolução das Viagens Diárias na RMSP



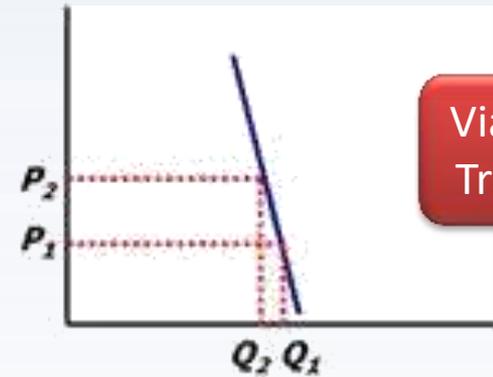
Crescente!

Elasticidade da Demanda

- Elasticidade da Demanda
 - Preço, tempo, segurança...

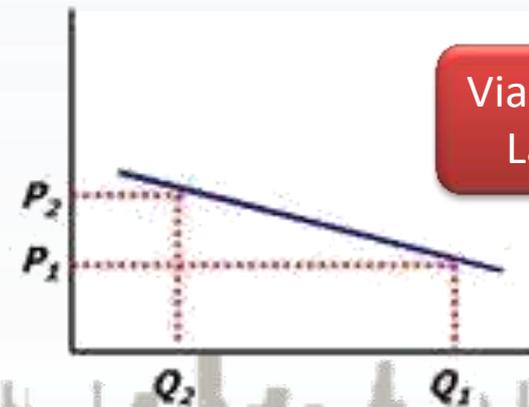


Demanda inelástica



Viagem a Trabalho

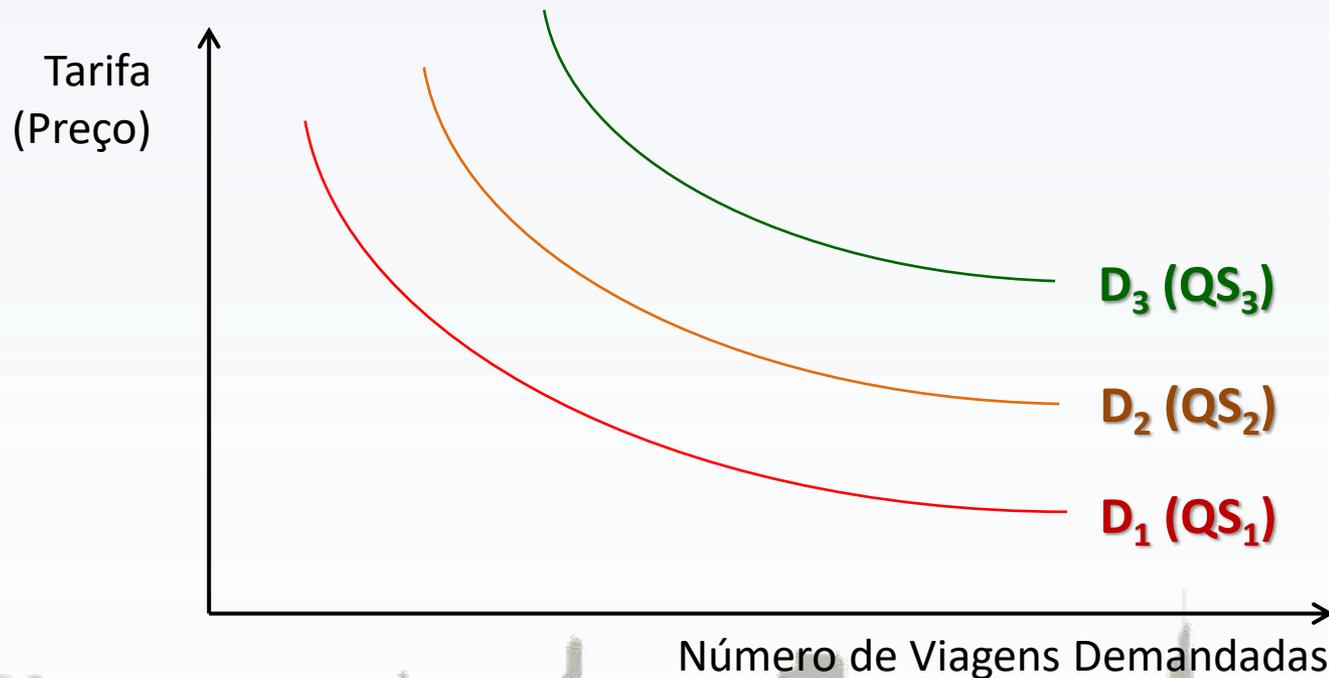
Demanda elástica



Viagem a Lazer

Elasticidade e Qualidade

- Elasticidade da Demanda
 - Curvas diferentes: preço x qualidade de serviço



Percepção da Qualidade

- Percepção da Qualidade de Serviço
 - Varia com situação socioeconômica
 - Idade
 - Sexo
 - Escolaridade
 - Renda
 - Frequência de uso



Resumo de Fatores

- Características socioeconômicas/demográficas
 - Resultam em participação em atividades
 - Afeta a geração de viagens
- Uso do Solo
 - Influencia a caracterização espacial da demanda
 - De onde vou? Para onde vou?
 - Afeta a distribuição de viagens
- Oferta e Qualidade (x motivo)
 - Modos de transporte
 - Rotas
 - Afetam por que modo e por qual caminho vou

QUANTIFICANDO A DEMANDA ATUAL



Como Medir a Demanda?

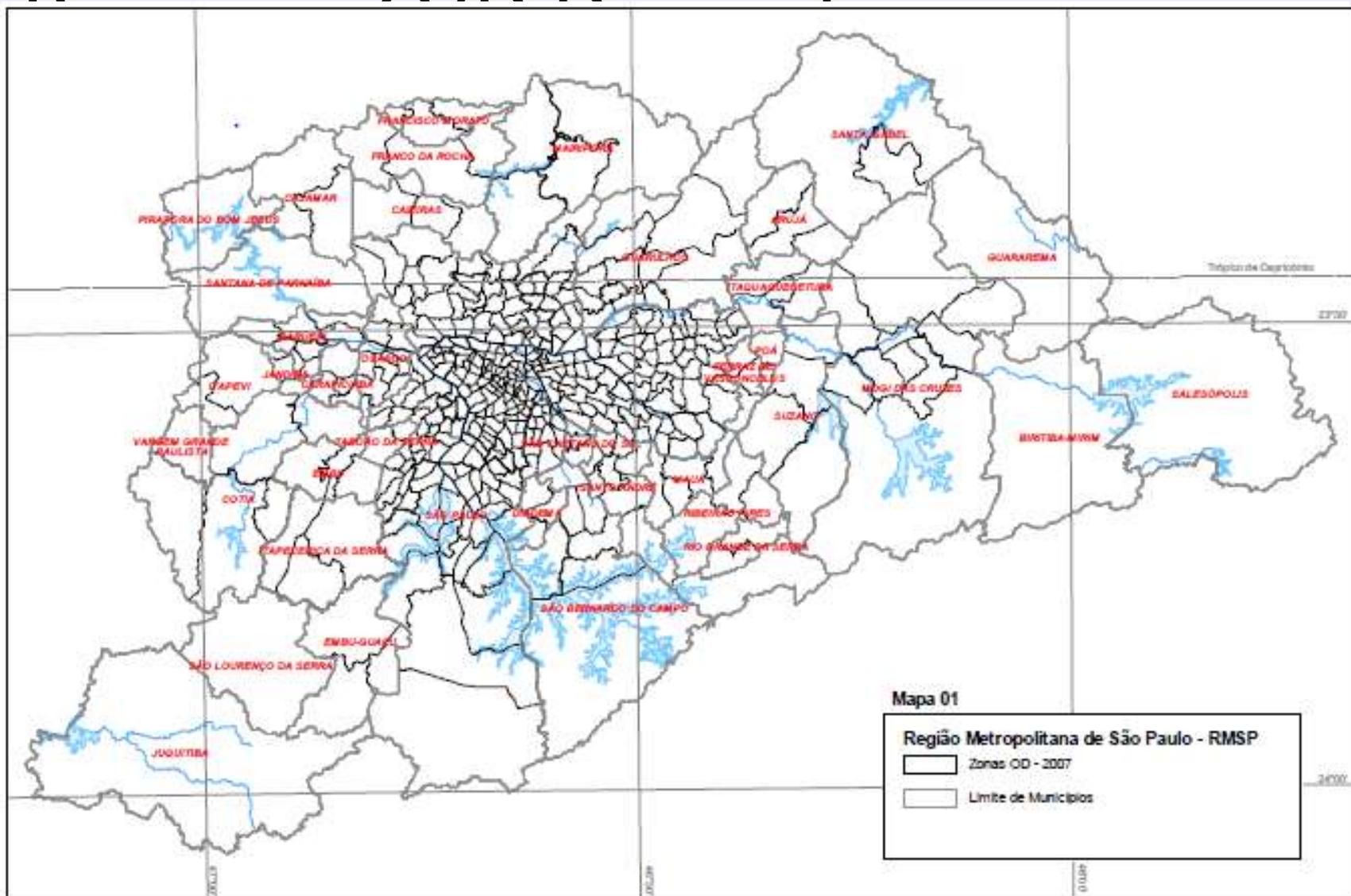
- Saber como as pessoas se deslocam na região
 - Quantas pessoas vão de um bairro a outro num determinado horário?

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4
Z1	7425	5734	4574	2689
Z2	6546	10234	3565	1564
Z3	1245	6557	5678	4564
Z4	1456	4356	6533	7683

- Pesquisa O/D domiciliar

Pesquisa O/D Domiciliar

- Reflete o momento em que é feita
- Por meio de entrevistas
 - Dia e hora afetam resultado (viagens dia anterior)
- Amostragem / Entrevistas
 - Setores homogêneos socio-economicamente



Mapa 01
 Região Metropolitana de São Paulo - RMSP
 Zonas OD - 2007
 Limite de Municípios

Pesquisa O/D Domiciliar

- Matriz Origem-Destino para horário

$\begin{matrix} D \\ O \end{matrix}$	1	n	n+1	z
1							
⋮							
n							
n+1	VIAGENS EXTERNAS (ENTRADAS)				VIAGENS ATRAVÉS		
⋮							
z							

Pesquisa O/D Domiciliar

- Perguntas permitem estratificação
 - Matrizes por Período, Motivo, Modo, Renda, ...



Demanda atual é a de projeto?

Demanda de Projeto

- Demanda \Leftrightarrow Horizonte de Projeto
 - Curto: medição direta (O/D), poucas mudanças
 - Médio: expansão (O/D) com atividades constantes
 - Longo: considerar mudanças no uso do solo

Como fazer?



Metrô / Linha 4, São Paulo

Demanda de Projeto

- Projetar a demanda *futura*?
- Métodos Sintéticos
 - Modelos de Expansão
 - Baseados em Matrizes O/D atuais
 - Puramente matemáticos
 - Modelos de Geração
 - Baseados em dados socioeconômicos
 - Gerar uma “O/D” sintética

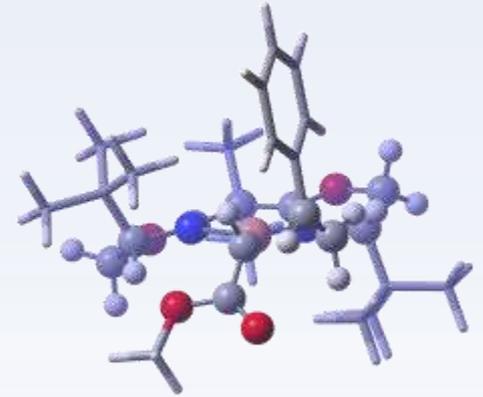


MODELAGEM DA DEMANDA



Conceito de Modelo

- Modelo: abstração da realidade
 - Reproduzir para análise
- Importância: problema complexo
 - Consequências muito relevantes
- Modelo realista
 - Adequado à aplicação
 - Produz resultados consistentes



Coleta de Dados

- Inventário de Transportes
 - Sistema Viário
 - Transporte Público
- Inventário de Atividades
 - Mapas/Zoneamentos
 - Polos geradores
- Pesquisa O-D Domiciliar
 - Dias úteis, típicos

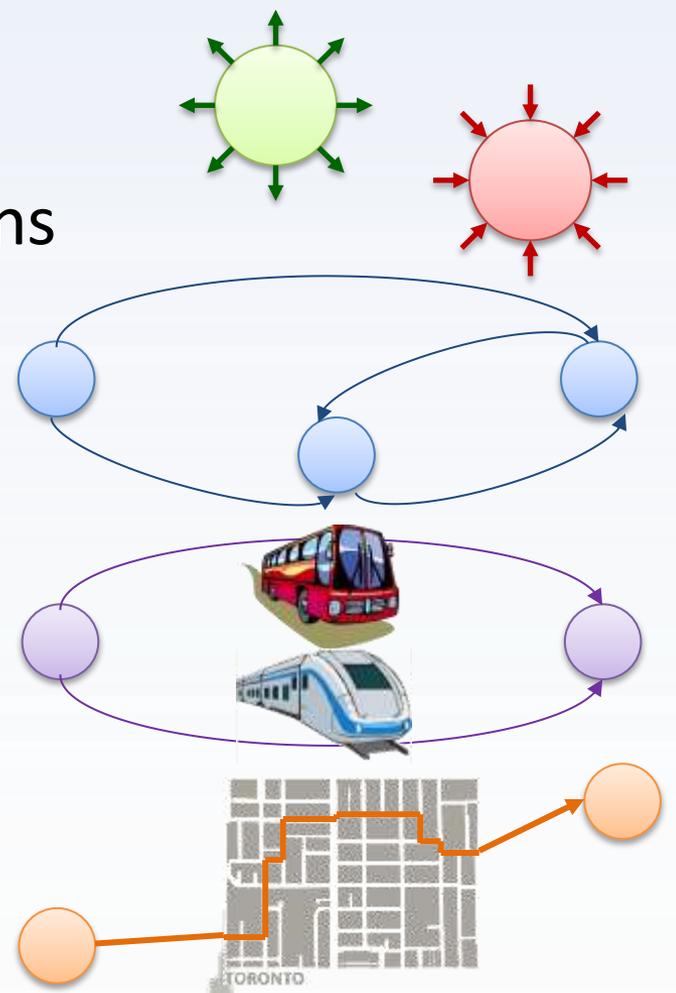


MODELO 4 ETAPAS



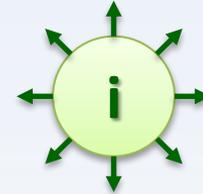
Modelo 4 Etapas

- Análise em 4 Estágios
 - Produção e Atração de Viagens
 - Quantas?
 - Distribuição de Viagens
 - De onde? Para onde?
 - Divisão Modal
 - Por qual modo de transporte?
 - Alocação de Viagens
 - Por qual caminho?

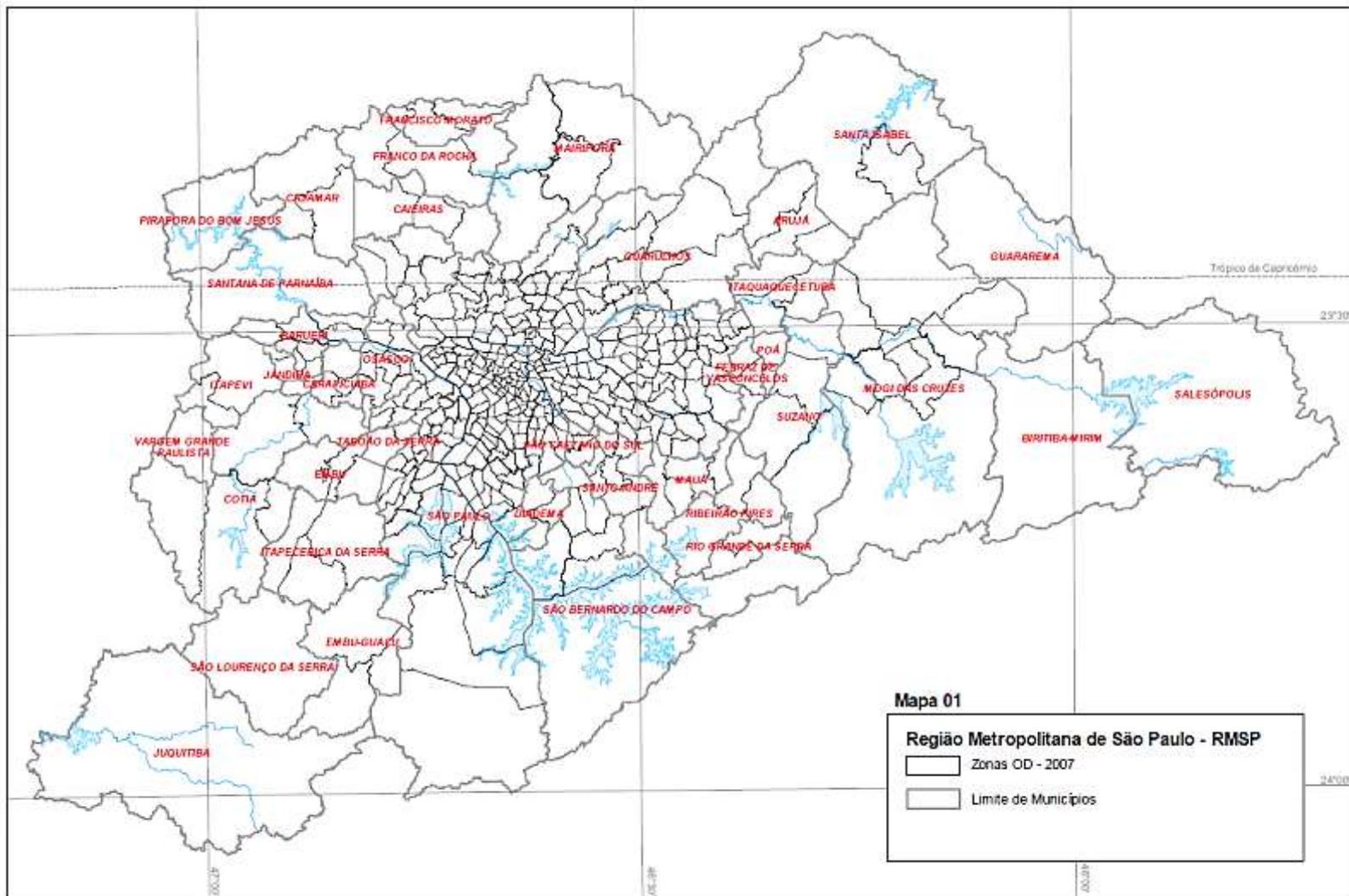


Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Quantas viagens
 - Partem de cada zona
 - Chegam em cada zona



Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

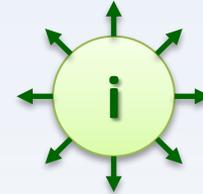


Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Produção de Viagens

- Função de variáveis S.E. e U.S.

- População, habitações, automóveis, renda...



$$P_i = f(SE_i, US_i)$$

← Regressão Linear Múltipla

- Exemplo:

$$P_i = 0,5 \cdot P_i + 0,145 \cdot H_i + 0,253 \cdot A_i$$

↑
Produção

↑
População

↑
Habitações

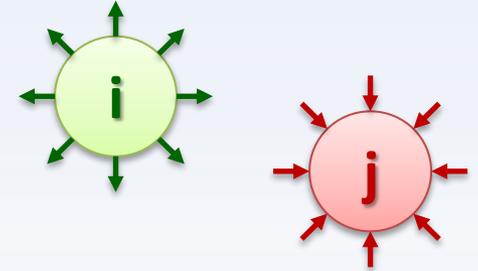
↑
Automóveis

Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Atração de Viagens

- Função de variáveis S.E. e U.S.

- Pop., área construída, empregos, vagas em escola...



$$A_j = f(SE_j, US_j)$$

← Regressão Linear Múltipla

- Exemplo:

$$A_j = 0,0013 \cdot P_j + 0,357 \cdot E_j + 0,112 \cdot VE_j$$

Atração

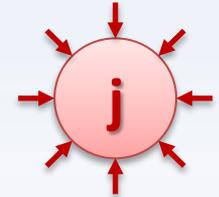
População

Empregos

Vagas Escolares

Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Resultados das equações
 - para dados S.E. e U.S. atuais...



$$P_i = 0,5 \cdot P_i + 0,145 \cdot H_i + 0,253 \cdot A_i$$

$$A_j = 0,0013 \cdot P_j + 0,357 \cdot E_j + 0,112 \cdot VE_j$$

- Precisam “bater” com matriz O/D atual!

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Z1	7425	5734	4574	4345	2689	3676
Z2	6546	10234	3565	2355	1564	12420
Z3	1245	6557	5678	187	4564	2356
Z4	2467	1235	2466	12567	1237	3542
Z5	1456	4356	6533	4325	7683	5567
Z6	4577	345	768	3455	7655	8943

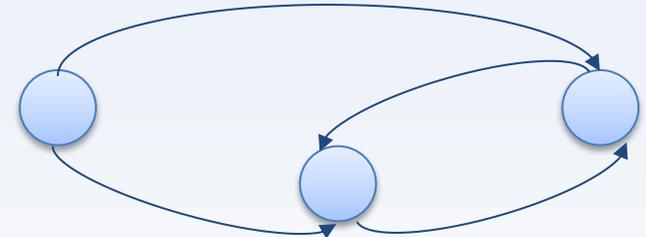
$P_1 = 28443$

$A_1 = 23716$

Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas

$$F_{ij} = f(P_i, A_j)$$



- Transforma a produção/atração em viagens entre pares de regiões: bater com a O/D atual!

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Z1	7425	5734	4574	4345	2689	3676
Z2	6546	10234	3565	2355	1564	12420
Z3	1245	6557	5678	187	4564	2356
Z4	2467	1235	2466	12567	1237	3542
Z5	1456	4356	6533	4325	7683	5567
Z6	4577	345	768	3455	7655	8943

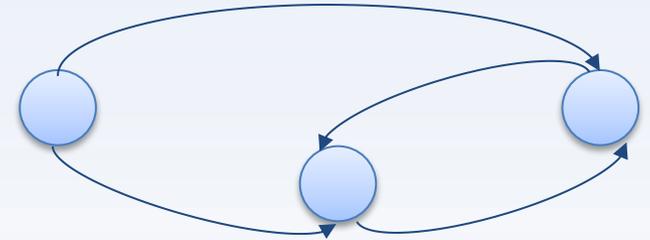
$F_{43} = 2466$

$P_4 = 24514$

$A_3 = 23584$

Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas
- Modelo de Gravidade

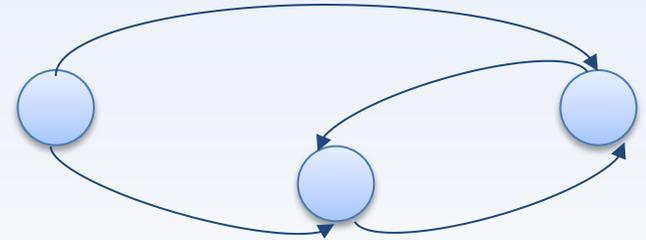


$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \quad \rightarrow \quad F_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{I_{ij}^\beta}$$

Impedância

Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas
- Modelo de Gravidade



$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \quad \rightarrow \quad F_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{I_{ij}^\beta}$$

Quanto “Custa” uma Viagem?

- Impedância: “resistência” de uma viagem
 - O quão “ruim” é aquela viagem (para usuário)
 - Custo Generalizado de Viagem: “custos” → \$
 - Tempo Generalizado de Viagem: “custos” → h:m:s

Modelo 4 Etapas – Divisão Modal

- Quais modos usados?
 - Competição entre modos
 - Comportamento do usuário
- Fatores que Influenciam a divisão
 - Características do viajante
 - Posse/disponibilidade de auto, Renda...
 - Característica da viagem
 - Motivo, período
 - Características do Sistema de transporte
 - **Quantitativos: tempo, custo...**
 - **Qualitativos: conforto, segurança...**



Impedância

Modelo 4 Etapas – Divisão Modal

- Quais modos usados?
- Dividir fluxo



$$p^{\hat{O}nibus}_{12} = 0,3$$

$$p^{Auto}_{12} = 0,7$$

- Modelo Logit

$$p^k_{ij} = \frac{e^{-\lambda \cdot c^k_{ij}}}{\sum_k e^{-\lambda \cdot c^k_{ij}}}$$

$$\sum_k p^k_{ij} = 1$$

- Onde:

- p^k_{ij} : probabilidade de uso do modo k de i para j
- c^k_{ij} : custo generalizado (impedância) de i para j pelo modo k
- λ : parâmetro do modelo (calibragem)

Modelo 4 Etapas – Alocação

- Qual o caminho?
 - Vias / Linhas
 - Considerar
 - Tempo/Custo de deslocamento
 - Capacidade das ligações
 - Algoritmo de Caminho Mínimo
 - “Google Maps” para cada alternativa
- Tudo ou Nada x Iterativo
 - Congestionamento → Aumenta “custo” da viagem!



Limitações do Modelo 4 Etapas

- Percepção e reação do usuário?
 - Na distribuição, “Impedância” é agregada
 - Impedância não entra na produção/atração!
 - Transporte público grátis?
- Avaliar mudanças mais complexas
 - Integrações entre modais?
 - Cada integração um “modo” novo?
- Ausência de Feedback
 - Interações transporte \Leftrightarrow Uso do solo
 - Devem ser implementadas “manualmente”

SUPERANDO AS LIMITAÇÕES DO MODELO 4 ETAPAS



Tipos de Modelos

- Limitações vêm do tipo de modelo

Demanda Agregada

x

Comportamento Individual

- Modelos Agregados x Desagregados
 - Qualidade da Teoria x Qualid./Dispon. dos Dados

Tipos de Modelos

- Modelos Convencionais (ou agregados)
 - Não consideram os usuários individualmente
 - Modelo 4 Etapas
- Modelos de Escolha Discreta
 - Comportamentais Simples e Encadeados
 - Teoria do Consumidor: “custo” de viagem / utilidade
 - Indireto ao considerar comportamento

Tipos de Modelos

- Modelos de Escolha Discreta (continuação)
 - Atitudinais
 - Incorpora percepção individual
 - Melhorar qualidade de sistemas já existentes
- Modelos Int. de Transportes e Uso do Solo
 - Interação: transportes x atividade x uso do solo
 - Processo cíclico até o equilíbrio

Resumo

- Demanda: um dos principais fatores
 - A demanda tem diversas especificidades
 - Medição/Projeção da demanda
 - Método 4 Etapas
 - Métodos agregados x desagregados
-
- Oferta de transportes
 - Características
 - Noções de capacidade

PERGUNTAS?

