



MOBILIDADE E SISTEMAS DE TRANSPORTES

DEMANDA POR TRANSPORTES

Prof. Dr. Daniel Caetano

2019 - 2



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



Material de Estudo



Material	Acesso ao Material
Apresentação	http://www.caetano.eng.br/ (Mobilidade e Sistemas de Transportes – Aula 7)
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 (2017) – A Mobilidade Urbana da Região Metropolitana de São Paulo em Detalhes: https://tinyurl.com/y5q2qpkt



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?
 - Quais as características da demanda?
 - Demanda atual ou futura?
 - Observar: 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

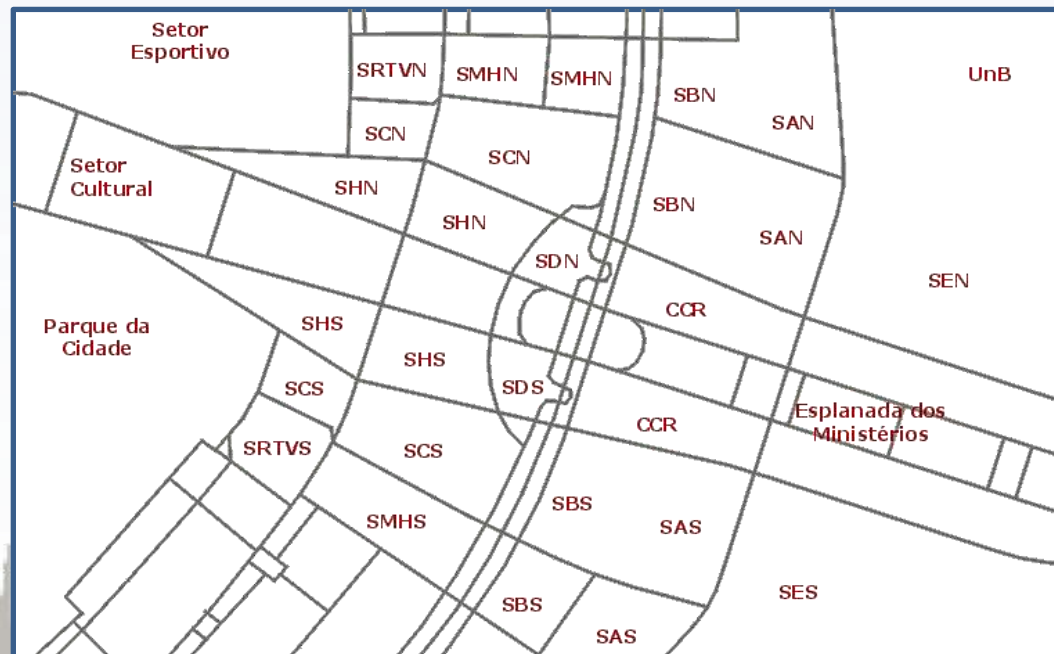
- Características de uma Viagem
 - Heterogeneidade: viagens são sempre diferentes
 - Indissociabilidade: sempre há **um** viajante
 - Intangibilidade: não pode ser tocada
 - Perecibilidade: não pode ser estocada



As Viagens e o Espaço

Onde estão as atividades?

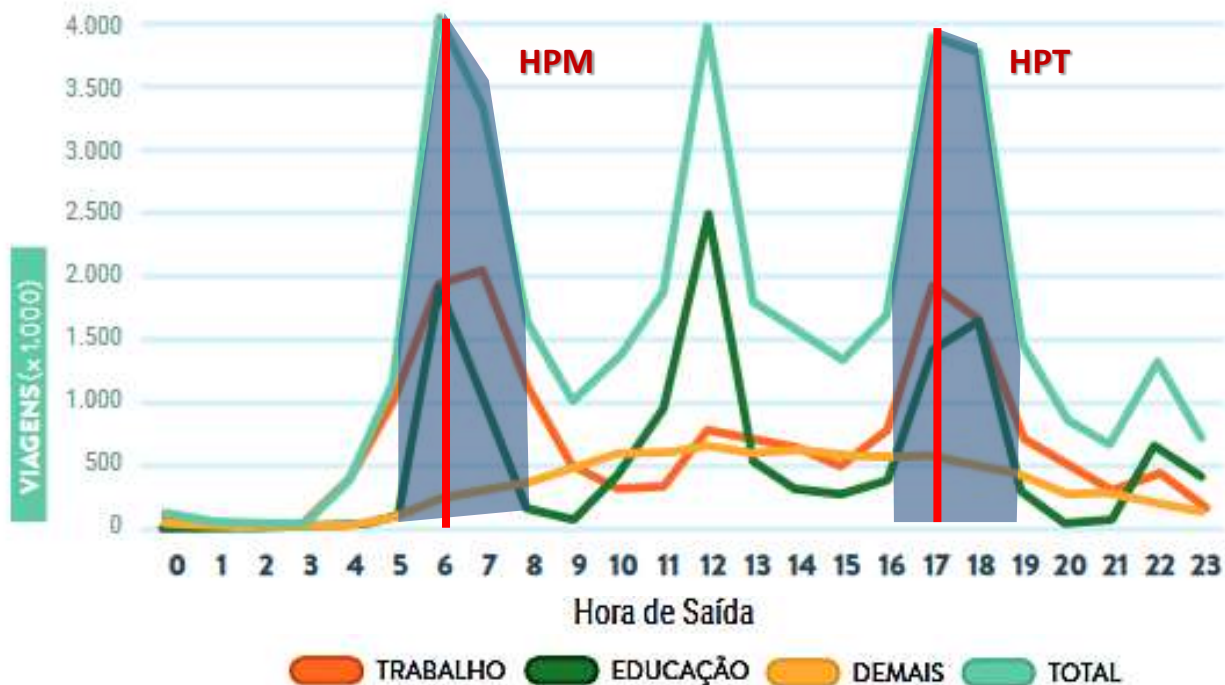
- Variabilidade na dimensão espacial
 - Ocupação do espaço interfere no transporte
 - Brasília x Centro Expandido de São Paulo
 - Centro x Periferia (de São Paulo)



As Viagens e o Tempo

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

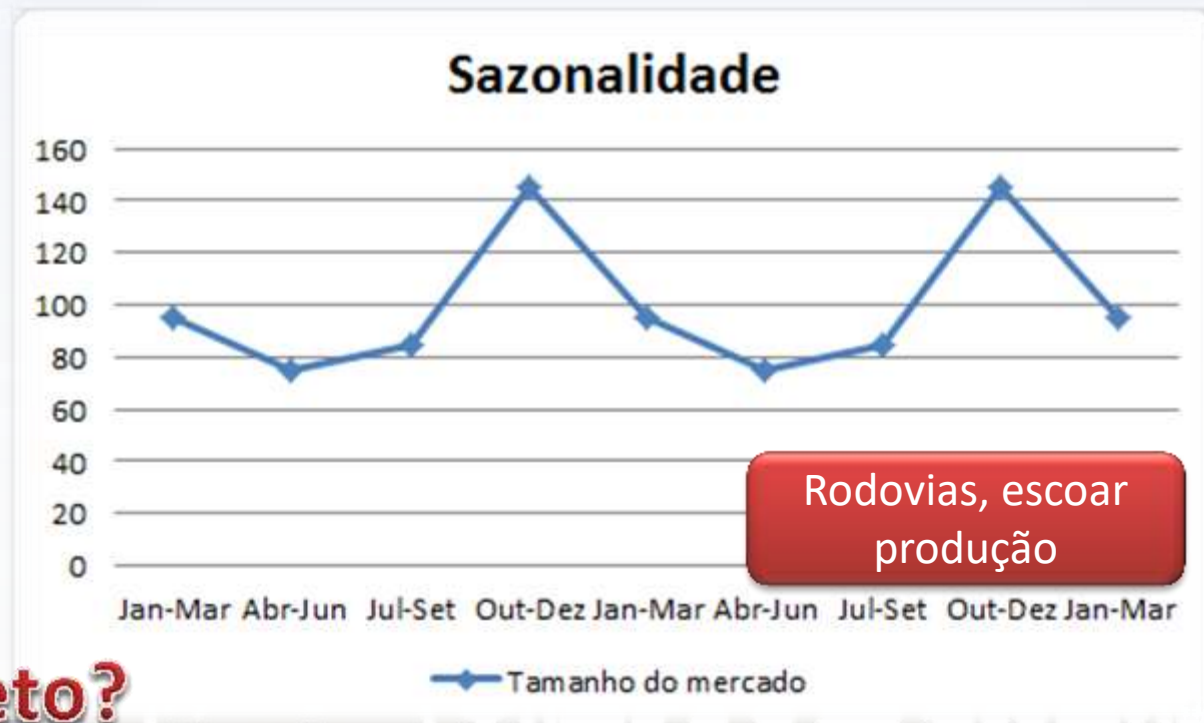
FLUTUAÇÃO HORÁRIA DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MOTIVO – 2007



As Viagens e o Tempo

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

Dia Pico,
Hora Pico



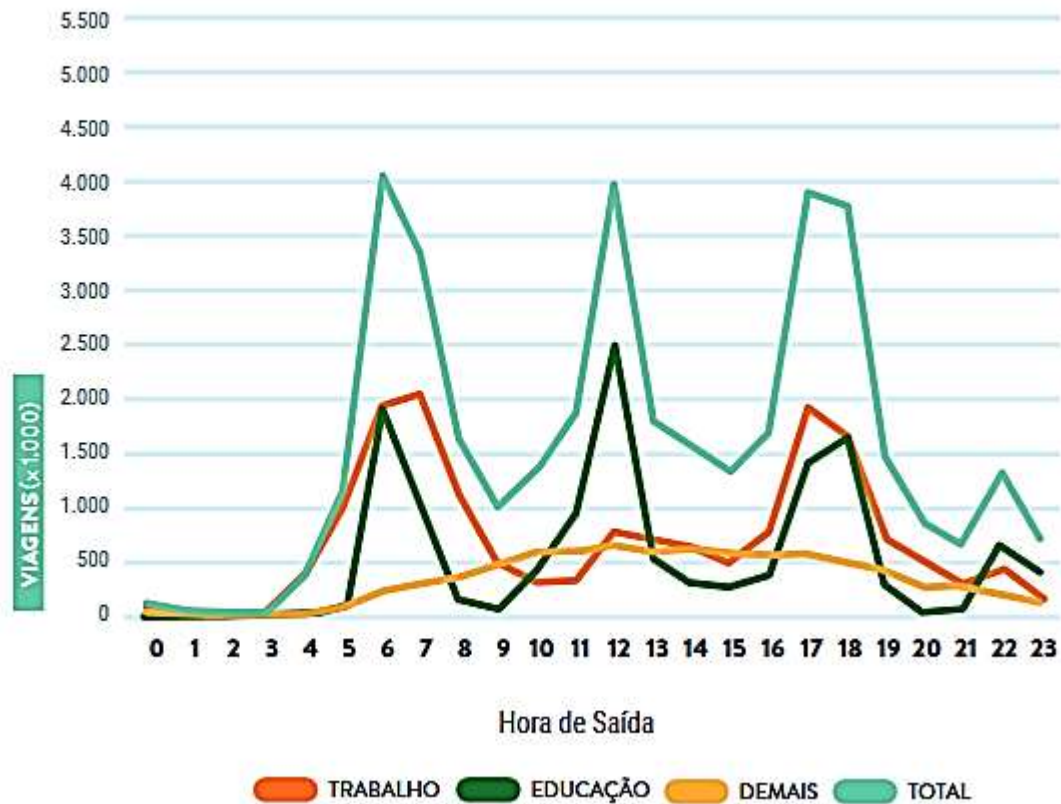
Para projeto?

Usual: hora pico do dia médio

As Viagens e o Tempo

- Comparando curvas ao longo dos anos

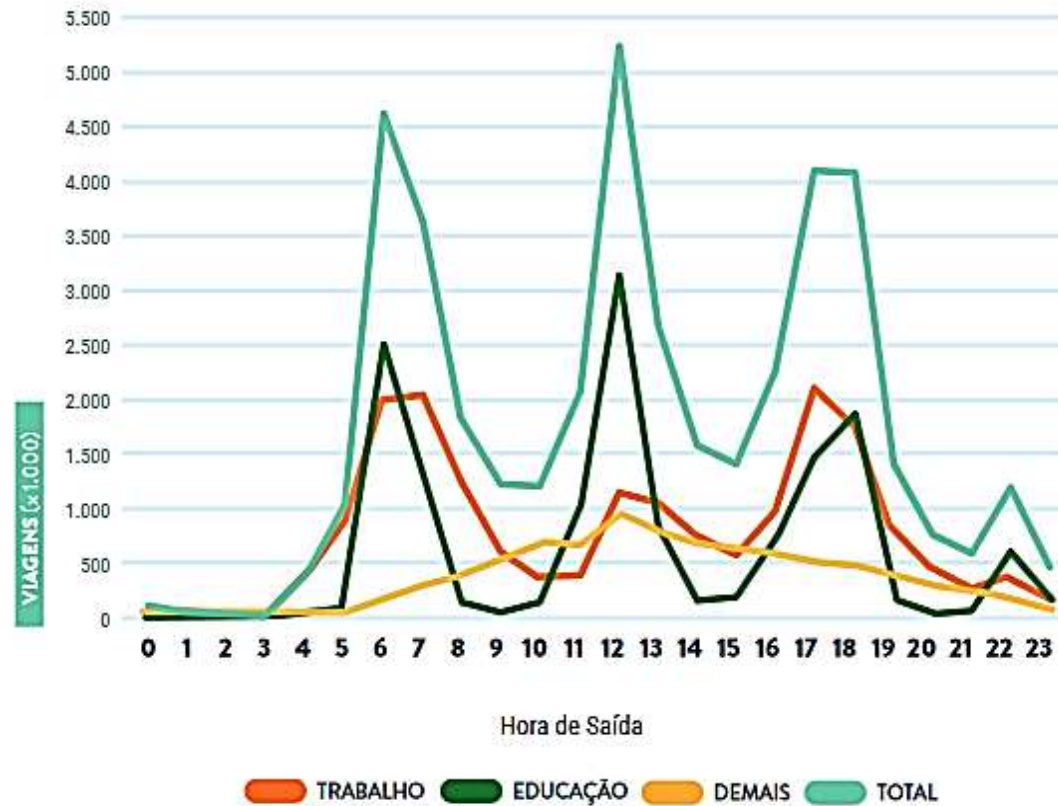
FLUTUAÇÃO HORÁRIA DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MOTIVO – 2007



As Viagens e o Tempo

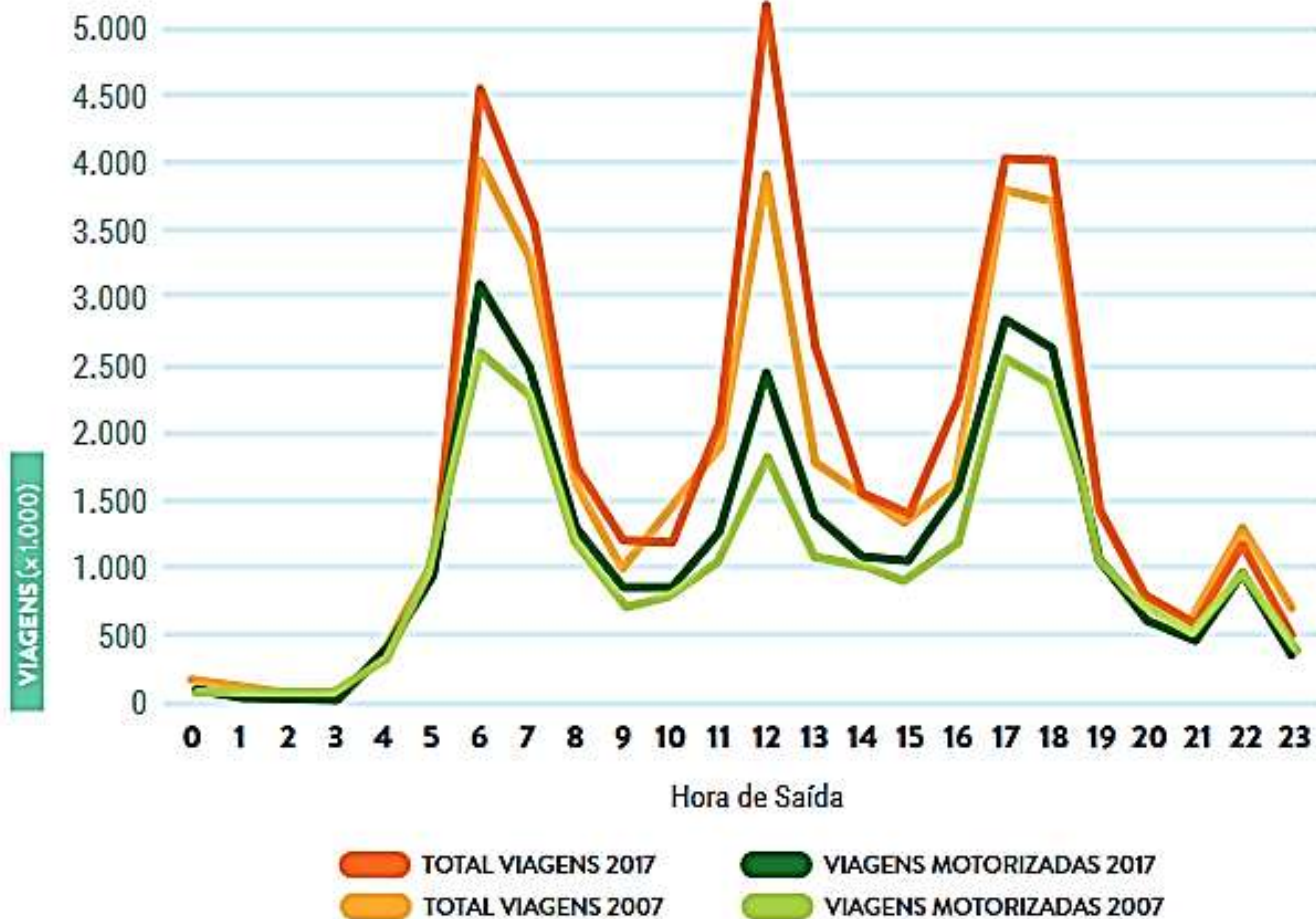
- Comparando curvas ao longo dos anos

FLUTUAÇÃO HORÁRIA DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MOTIVO – 2017



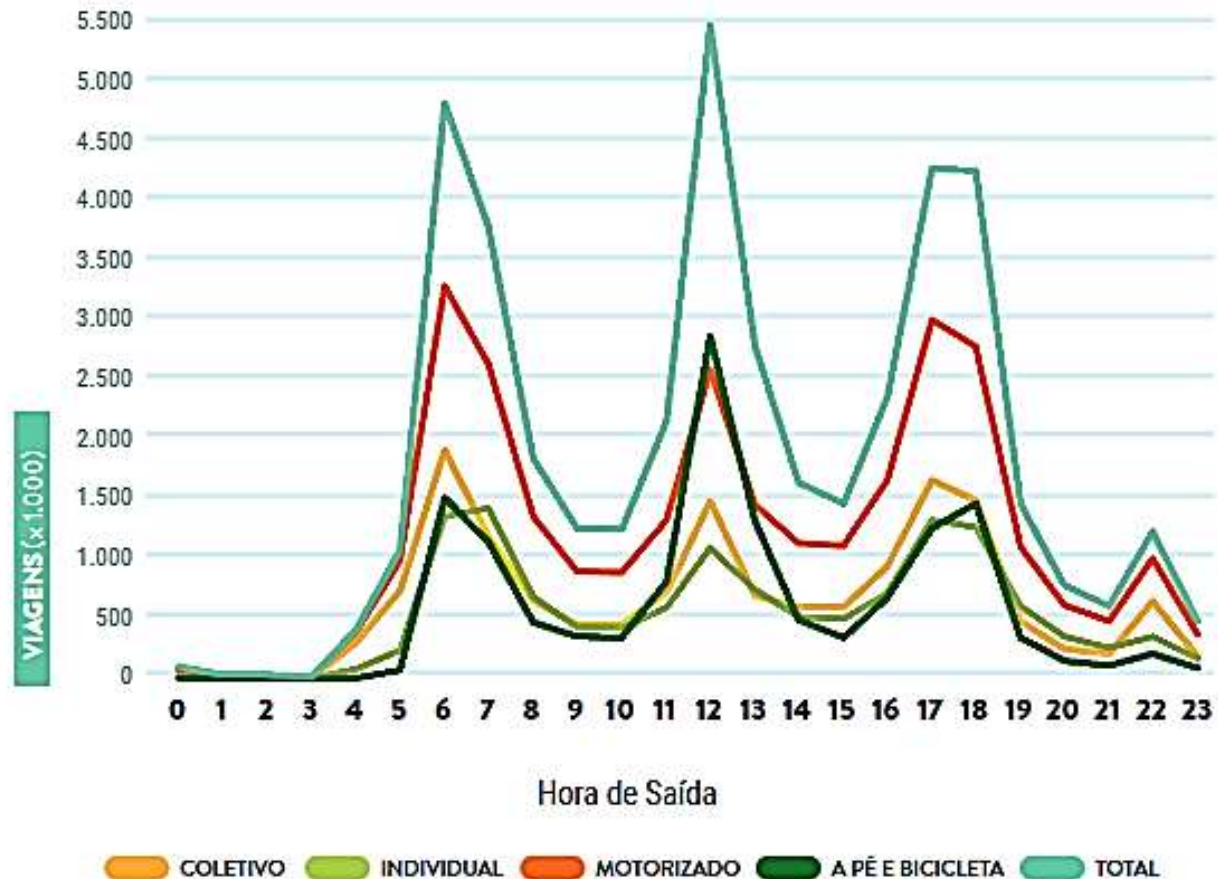
As Viagens e o Tempo

FLUTUAÇÃO HORÁRIA DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MODO – 2007 e 2017



As Viagens e o Tempo

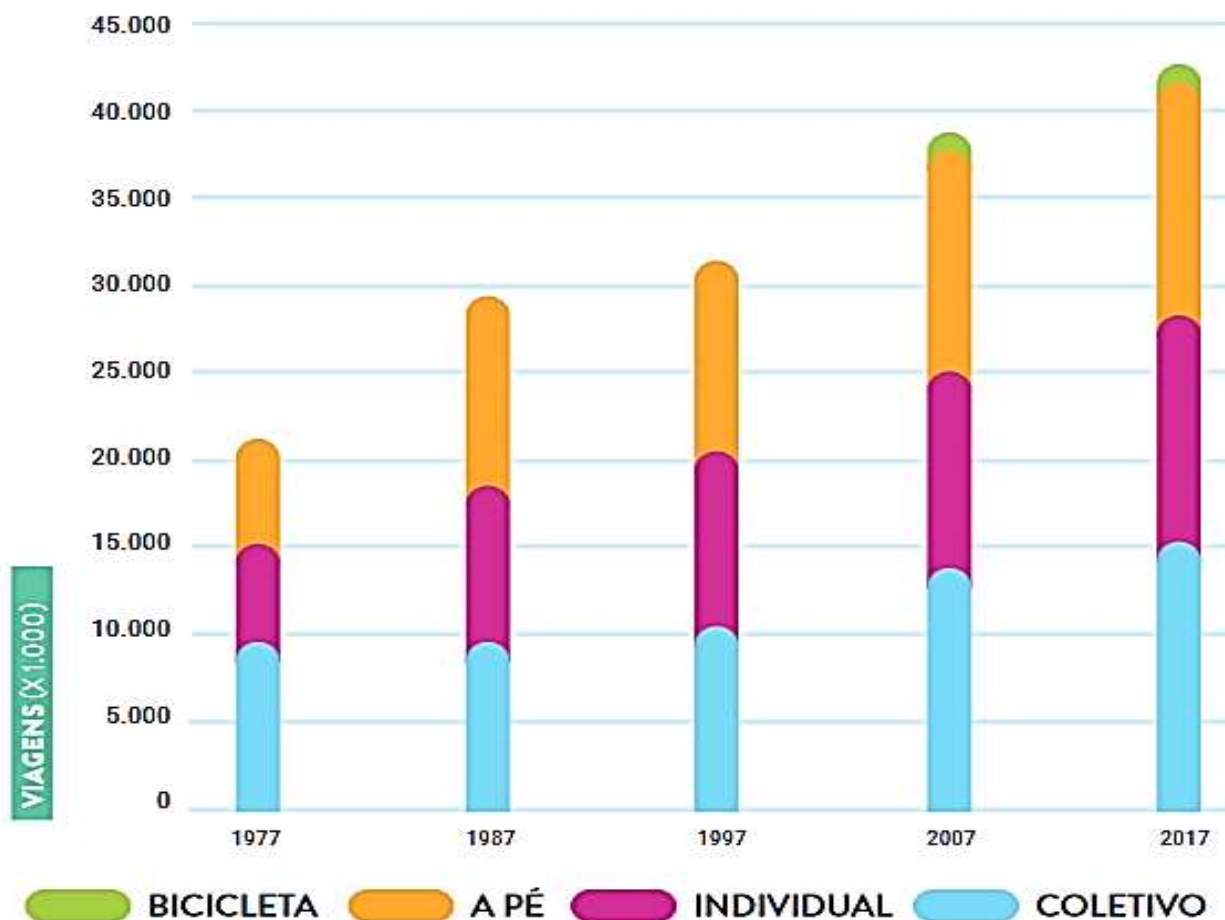
FLUTUAÇÃO HORÁRIA DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MODO – 2017



As Viagens e o Tempo

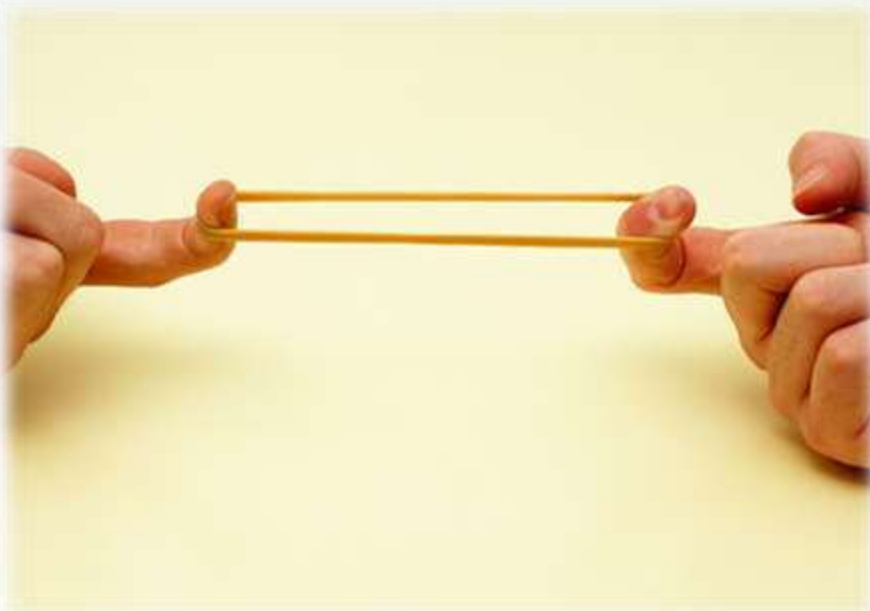
EVOLUÇÃO DAS VIAGENS DIÁRIAS POR MODO
Região Metropolitana de São Paulo – 1977 a 2017

Crescente!

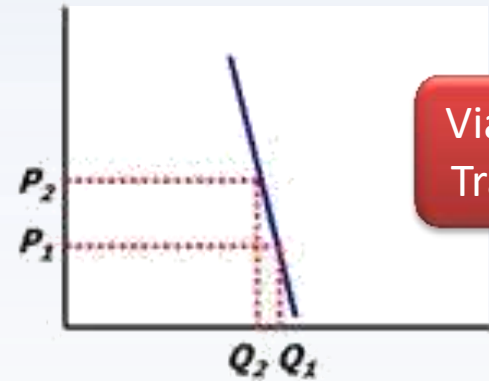


Elasticidade da Demanda

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

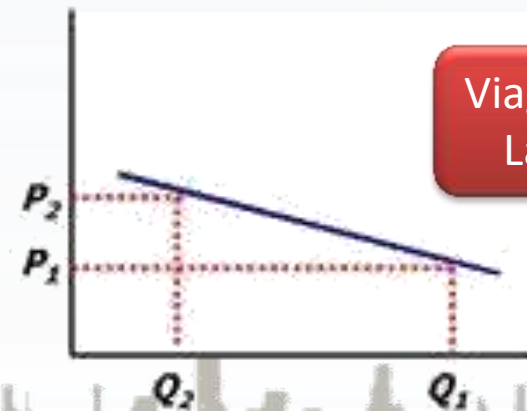


Demanda inelástica



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
 - ...



QUANTIFICANDO A DEMANDA ATUAL



Fatores que Afetam as Viagens

- 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 e suas rotas
 - Afetam por que modo e por qual caminho vou

Como Medir a Demanda?

- Detalhar: deslocamento das pessoas na região
 - Nº de viagens de um “bairro” a outro
 - Para um horário específico!

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

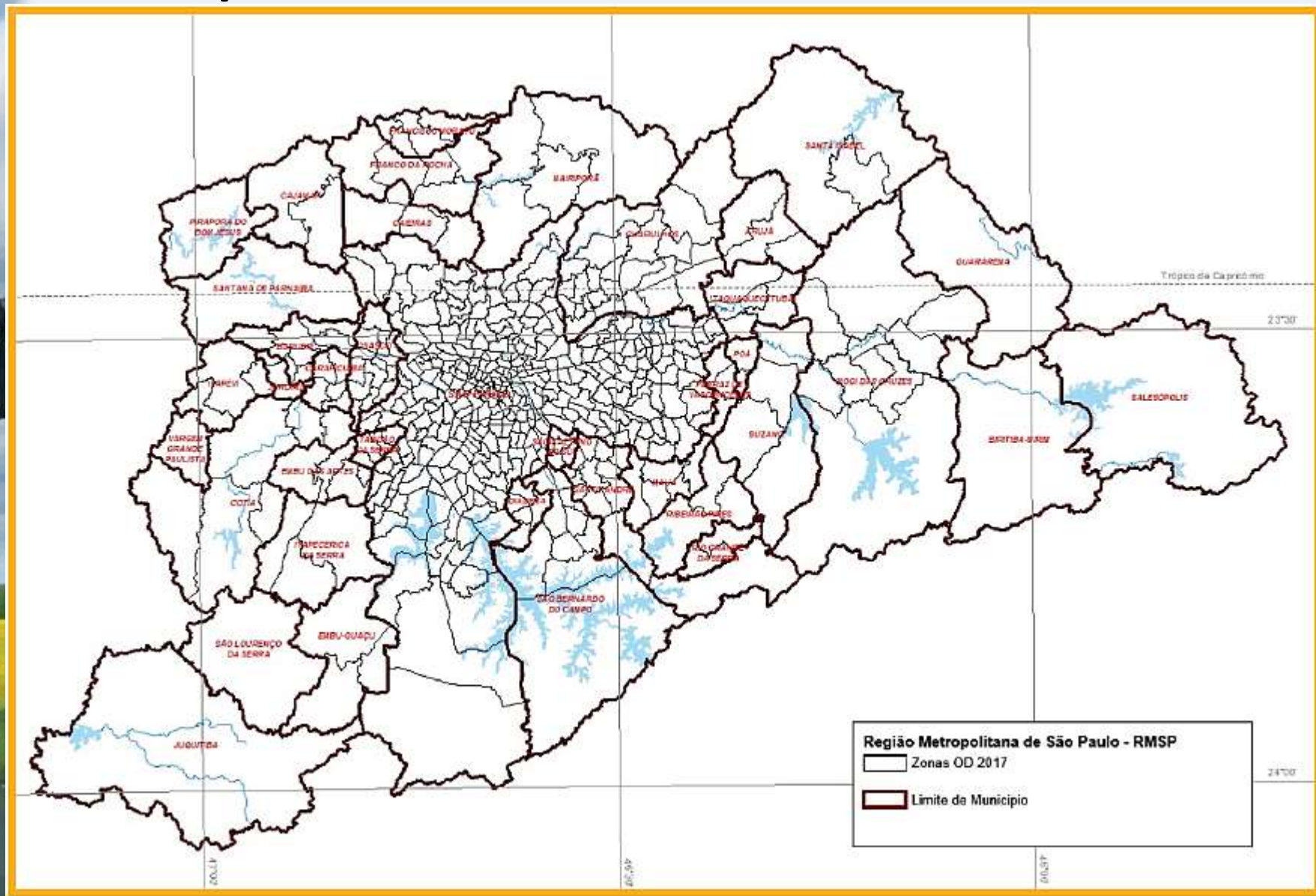
- Pesquisa O/D domiciliar

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
 - Zonas homogêneas socio-economicamente



Pesquisa O/D Domiciliar



Pesquisa O/D Domiciliar

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



**Demanda de projeto
deve ser a atual?**

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?



**Projeção da
Demanda**

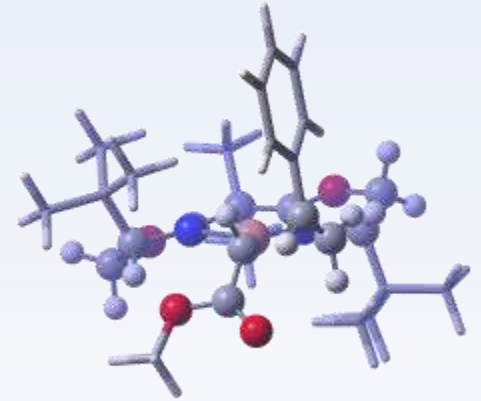
Metrô / Linha 4, São Paulo

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

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

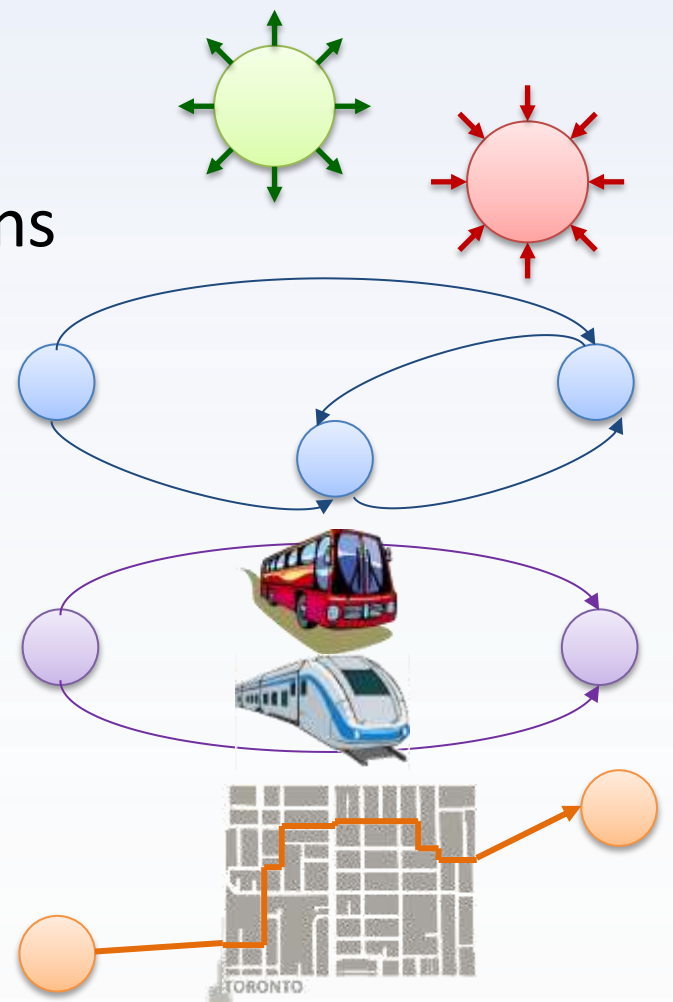


MODELO 4 ETAPAS



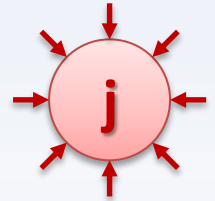
Modelo 4 Etapas

- 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

- Produção de Viagens

- Função de variáveis S.E. e U.S.*

- Que expliquem o surgimento de viagens
 - População, habitações, automóveis, renda...

- Exemplo:

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

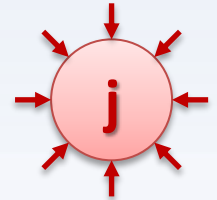
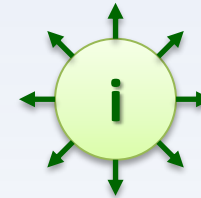
↑
Produção

↑
População

↑
Habitações

↑
Automóveis

- Manhã x Tarde



(*) S.E. significa Socioeconômicas; U.S. significa Uso do Solo

Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Atração de Viagens

- Função de variáveis S.E. e U.S.

- Que expliquem a atração de viagens
- Empregos, vagas em escola, área construída, pop....

- Exemplo:

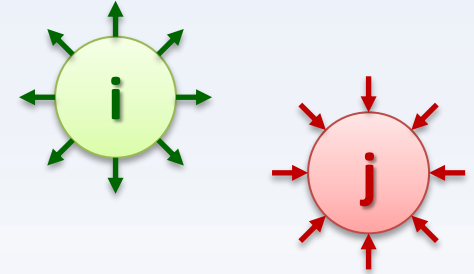
$$A_j = 0,0013 \cdot P_j + 0,357 \cdot E_j + 0,112 \cdot VE_j$$

Atração

População

Empregos

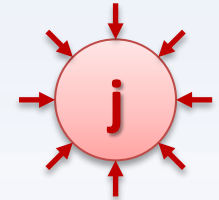
Vagas Escolares



Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Coeficientes das equações

– Ajustados p/ dados S.E. e U.S. atuais...



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

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

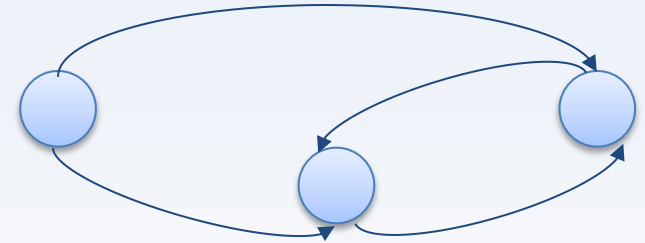
– Precisam “bater” com matriz O/D atual!

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Prod.
Z1	7.425	5.734	4.574	4.345	2.689	3.676	21.018
Z2	6.546	10.234	3.565	2.355	1.564	12.420	36.684
Z3	1.245	6.557	5.678	187	4.564	2.356	20.587
Z4	2.467	1.235	2.466	12.567	1.237	3.542	23.514
Z5	1.456	4.356	6.533	4.325	7.683	5.567	29.920
Z6	4.577	345	768	3.455	7.655	8.943	25.743
Atr.	16.291	28.461	23.584	27.234	25.392	36.504	

$P_1 = 21.018$

Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas
 - Modelo de gravidade



$$F_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{I_{ij}^\beta}$$

Impedância →

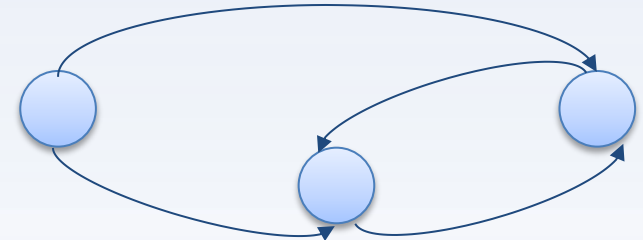
$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

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 – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas
 - Modelo de gravidade



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

- Transforma prod./atr. em viagens entre zonas

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Prod.
Z1	7.425	5.734	4.574	4.345	2.689	3.676	21.018
Z2	6.546	10.234	3.565	2.355	1.564	12.420	36.684
Z3	1.245	6.557	5.678	187	4.564	2.356	20.587
Z4	2.467	1.235	2.466	12.567	1.237	3.542	23.514
Z5	1.456	4.356	6.533	4.325	7.683	5.567	29.920
Z6	4.577	345	768	3.455	7.655	8.943	25.743
Atr.	16.291	28.461	23.584	27.234	25.392	36.504	

$$F_{43} = 2466$$

Modelo 4 Etapas – Divisão Modal

- Quais modos usados?
 - Competição entre modos
 - Comportamento do usuário
- Fatores que Influenciam a divisão
 - Características do viajante (posse 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

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

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

- 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

- Não considera percepção e reação do usuário
 - Transporte público grátis?
- Dificuldade para avaliar mudanças complexas
 - Integrações entre modais (combinações: modo novo)
- Ausência de Feedback
 - Interações transporte \Leftrightarrow Uso do solo: “por fora”



Resumo

- Demanda: um dos principais fatores
 - A demanda tem diversas especificidades
 - Medição/Projeção da demanda
 - Método 4 Etapas
-

- Oferta de transportes
 - Características
 - Noções de capacidade

PERGUNTAS?

