



Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia de Transportes

Geração de Viagens

PTR 3431
Planejamento e Operação de Sistemas de
Transportes

Prof. Dr. Cassiano A. Isler
2019.1



- Sistemas de Transportes
 - Planejamento Estratégico
 - Modelo 4 Etapas
- Geração de Viagens
 - Definições
 - Características das Viagens
 - Escolha de Variáveis
- Modelagem de Geração de Viagens
 - Correlação
 - Regressão Linear
- Condição de Modelos de Geração de Viagens



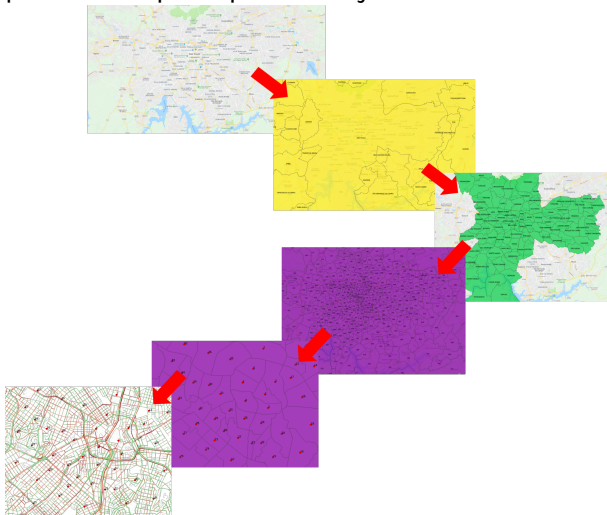
O Planejamento Estratégico de Sistemas de Transportes considera:

- Pesquisas existentes
- Informações sobre comportamento da população
- Padrões de uso do solo e alterações ao longo do tempo

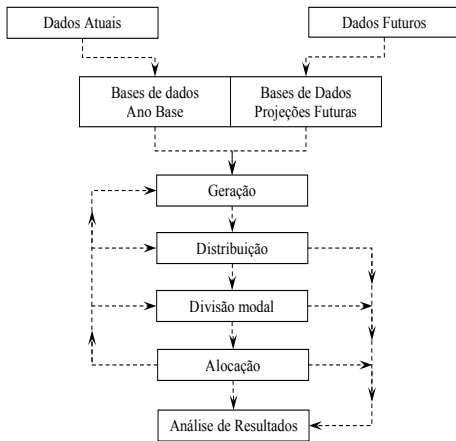
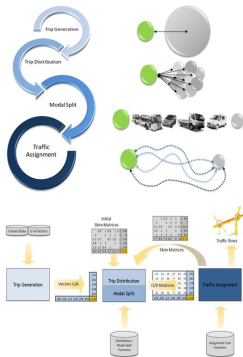
Os resultados esperados são:

- Número de viagens segundo um nível de agregação
- Rotas escolhidas em função do carregamento da rede

Inicialmente é necessário considerar o nível de agregação dos dados disponíveis e aquele que se deseja realizar as análises.



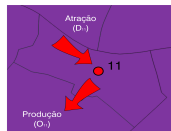
Do ponto de vista de planejamento estratégico de transportes, os padrões de viagens em uma região devidamente zoneada têm sido tradicionalmente estudados pelo **Modelo 4 Etapas**.





Retomando o Modelo 4 Etapas...

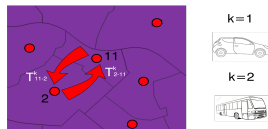
Geração de Viagens



Distribuição de Viagens



Divisão Modal



Alocação de Tráfego





Geração de Viagens



A pergunta que se deseja responder nesta etapa é:

Qual é o número de viagens produzidas (O_i) e atraídas (D_j) pelas zonas de tráfego da região de estudo em um dado período de tempo?

O objetivo é estabelecer um modelo (matemático) que permita estimar o número de viagens em função das características de cada zona de tráfego independentemente das zonas adjacentes.

Do ponto de vista de planejamento estratégico de transportes, a modelagem do número de viagens mais utilizada é aquela que permite prever (com certo grau de acurácia) os padrões de viagens da população com base em suas características socioeconômicas.



- **Definições**

Um questionamento a ser feito na modelagem da geração de viagens é: “Qual é o objeto ou evento de interesse a ser representado pelos modelos?”

Trip/Journey (Viagem): movimento unidirecional de um local de origem para um local de destino. Geralmente as viagens estudadas têm enfoque nos modos motorizados, mas o crescente interesse nos meios alternativos de transporte indicam uma orientação para modelagem de viagens a pé e por bicicleta, por exemplo.

Sojourn: curto período de tempo de permanência em um local (estudo, trabalho, lazer etc.).



- **Definições**

Home-based Trip (HB): viagens em que a origem ou o destino é a residência do indivíduo.

Non-Home-based Trip (NHB): viagens em que a origem ou o destino não é a residência do indivíduo.

Activity: esforço de um indivíduo na execução de uma tarefa, não necessariamente associada a uma localização. Por exemplo, a ida ao cinema pode ocorrer em diferentes locais.

Trip Chain: sequência de viagens e sojourns.



- **Características das Viagens - Motivo**

Para viagens com base nas residências (HB), os motivos podem ser: **Trabalho, Estudo, Compras, Lazer, Outras** (por exemplo, viagem ao médico).

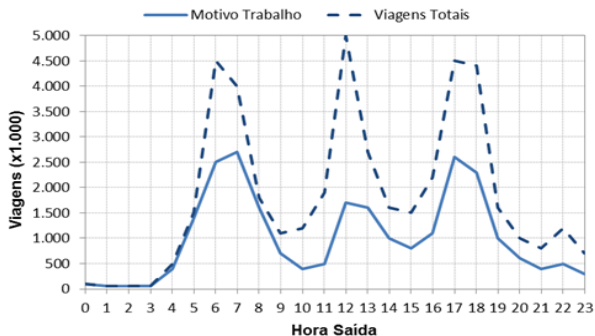
Os dois primeiros tipos são geralmente definidas como compulsórias na modelagem de geração de viagens e os demais são como motivos discricionários (opcionais).

As viagens sem base nas residências (NHB) geralmente são caracterizadas com motivo **Trabalho** e **Outras**.



- **Características das Viagens - Período do dia**

As viagens em geral são classificadas em horário de pico (*peak*) ou fora do pico (*off-peak*).





- **Características das Viagens - Indivíduos**

Alguns fatores que podem ser utilizados para relacionar o número de viagens com os indivíduos são:

- (1) Renda (por exemplo, em três estratos, baixa, média e alta);
- (2) Posse de automóvel (por exemplo, 0, 1 e 2 ou mais);
- (3) Características do domicílio (número de cômodos, infraestrutura urbana etc.).



- **Escolha de Variáveis - Produção de Viagens**

Os seguintes fatores são geralmente considerados na modelagem de produção de viagens para as zonas.

Renda

Posse de automóvel

Tamanho da unidade familiar

Estrutura do domicílio

Valor da propriedade

Acessibilidade



- **Escolha de Variáveis - Atração de Viagens**

Os seguintes fatores são geralmente considerados na modelagem de atração de viagens para as zonas.

Número de empregos

Nível de vendas de produtos

Área industrial, comercial etc.



Modelagem de Geração de Viagens



O objetivo é estabelecer uma relação matemática entre o número de viagens observadas (atraídas e produzidas) em cada zona com base nas características socioeconômicas das unidades familiares analisadas em conjunto.

O propósito em estabelecer essas relações pode ser:

- (1) Estimar o número total de viagens produzidas e atraídas para cada zona segundo atributos socioeconômicos;
- (2) Extrapolar os modelos para regiões com características semelhantes às da analisada;
- (3) Realizar projeções futuras de viagens produzidas e atraídas;
- (4) Utilizar essas relações para outras etapas, sobretudo de Distribuição de Viagens.



A maioria dos métodos utilizados para caracterizar as viagens produzidas e atraídas pelas unidades familiares ou por zonas é através de relações matemáticas (geralmente lineares) entre o número de viagens realizadas e os dados associados à essas unidades ou zonas.

Um modelo linear aditivo pode ser da seguinte forma:

$$y = f(x_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \cdots + \beta_n \cdot x_n$$

onde y = variável dependente;

x_i, \cdots, x_n = variáveis independentes;

$\beta_0, \beta_1, \cdots, \beta_n$ = parâmetros a serem estimados.

Modelagem de Geração de Viagens



Na etapa de geração de viagens, a variável dependente (y) corresponde ao número de viagens produzidas (O_i) ou atraídas (D_j) pela i -ésima zona de tráfego.

As variáveis independentes (x_1, \dots, x_n) correspondem às características da zona de tráfego e dos indivíduos que vivem nela, por exemplo, renda média, número de automóveis, escolas, empregos etc.

- Fatores de influência: Renda, Propriedade de veículos, Tamanho e estrutura familiar, Valor/Usado solo, Matrículas/Empregos*

$$Y_i = 9058 + 0,4663a_i + 2,2817b_i + 1,6221c_i + 3,9380d_i$$

(Implantação Metrô Rio)

Y_i = Viagens geradas c_i = Empregos indústria
 a_i = População d_i = Matrículas
 b_i = Empregos comércio i = zonas



Ministério das Cidades





Antes de qualquer modelagem é necessário estabelecer os critérios que definirão as viagens a serem contabilizadas, os quais podem envolver:

- **Tipo de viagem** (automóvel, a pé ou todos)
- **Idade mínima da amostra** (mais de 5 anos de idade)
- **Motivo da viagem** (trabalho, lazer ou outros)
- **Viagens entre zonas (inter-zonais)**: as zonas devem ser suficientemente homogêneas para representar adequadamente os deslocamentos dos indivíduos.
- **Viagens dentro das zonas (intra-zonais)**: a limitação dos modelos em geral é a impossibilidade de modelar e estimar viagens intrazonais.



Antes de estimar os parâmetros que caracterizam $y = f(x_i)$ é interessante avaliar o grau de associação entre as variáveis independentes (x_i) e a dependente (y).

A relação entre x_i e y pode ser verificada através o **coeficiente de correlação** de Pearson ($\rho_{x_i y}$).

$$\rho_{x_i y} = \frac{\text{Covariância}_{x_i y}}{\sqrt{\text{Variância}_{x_i}} \cdot \sqrt{\text{Variância}_y}} \text{ em que } -1 \leq \rho_{x_i y} \leq 1.$$

Os seguintes casos particulares têm denominações específicas para os valores do coeficiente de correlação.

$$\rho_{x_i y} = -1 \quad \Rightarrow \quad \text{correlação negativa perfeita}$$

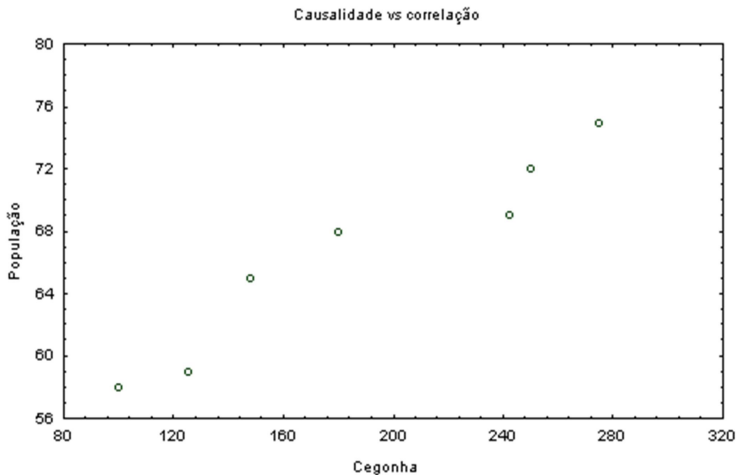
$$\rho_{x_i y} = 1 \quad \Rightarrow \quad \text{correlação positiva perfeita}$$

$$\rho_{x_i y} = 0 \quad \Rightarrow \quad \text{correlação nula}$$

O Excel tem uma função que calcula a correlação entre dois conjuntos de dados, dada por “CORREL($x_i; y$)”.



É importante ressaltar que alta correlação não implica sempre em relações de causa e efeito.





Sob o formato aditivo, um modelo de regressão multivariada com k observações e n variáveis independentes é dado por:

$$y_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_{ik} + \varepsilon_k$$

onde y_k = k -ésima observação da variável dependente;

β_0, β_i = parâmetros a serem estimados;

x_{ik} = k -ésima observação da i -ésima variável ;

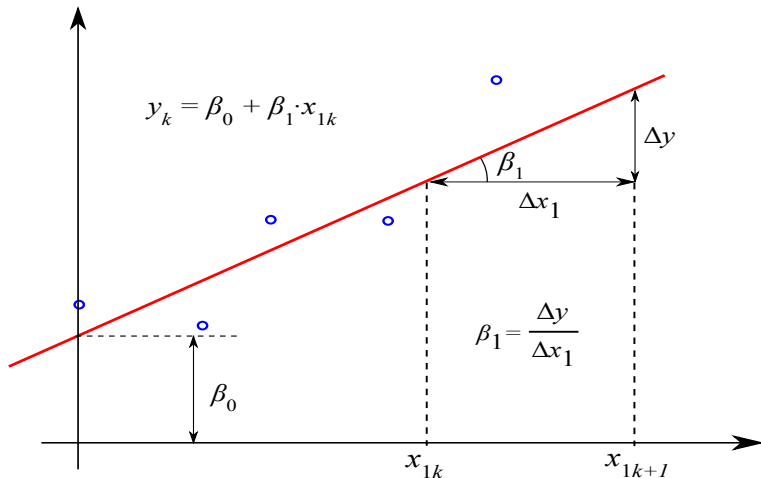
ε_k = erro aleatório da k -ésima observação.

Admite-se que os erros são aleatórios segundo uma distribuição Normal e independentes entre si, ou seja, a covariância entre os erros é nula.



Geração de Viagens

No caso univariado, a regressão linear pode ser interpretada geometricamente.



Modelagem de Geração de Viagens



A estimativa dos parâmetros β_i é realizada com o objetivo de minimizar o erro total (soma dos erros) entre os valores observados e estimados.

Como $y_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_{ik} + \varepsilon_k$ então:

$$\varepsilon_k = y_k - \left(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_{ik} \right)$$

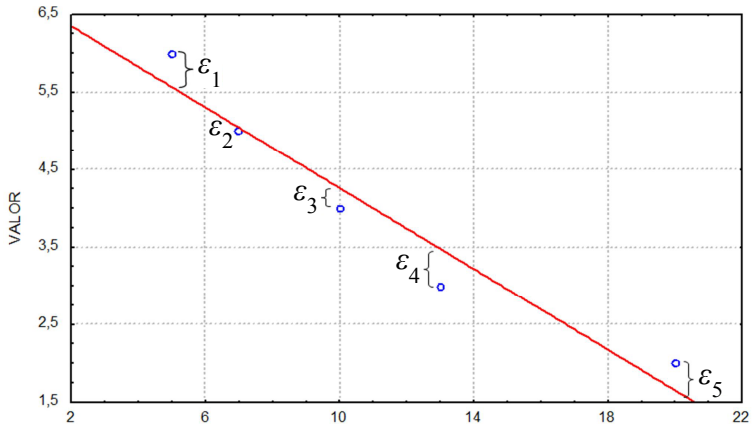
Para eliminar o efeito dos valores negativos e positivos entre as observações, minimiza-se a soma dos erros quadráticos entre observados e estimados. Ou seja, o objetivo é:

$$\text{minimizar } \sum_k \varepsilon_k^2 = \sum_k \left[y_k - \left(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_{ik} \right) \right]^2$$



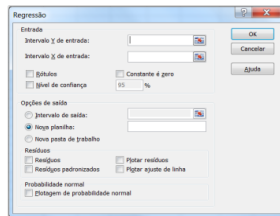
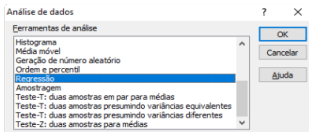
Modelagem de Geração de Viagens

O erro quadrático pode ser representado graficamente para um modelo de regressão linear simples, cujo objetivo é minimizar a diferença entre os valores efetivamente observados e aqueles estimados pelo modelo.





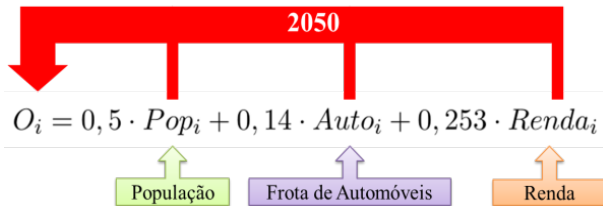
Existem inúmeros softwares (por exemplo, Excel) que automatizam os métodos para estimativa dos parâmetros de um modelo de regressão linear com base no número de viagens atraídas e produzidas observadas.



Além das estimativa dos parâmetros do modelo de regressão, esses softwares também resultam em testes estatísticos de significância das estimativas em função dos dados utilizados.



A partir da projeção dos valores das variáveis socioeconômicas para um horizonte de planejamento estratégico (por exemplo, população para 2050), esses valores são incluídos no modelo de regressão linear para geração de viagens e, assim, são estimadas as viagens produzidas e atraídas por cada zona naquela data futura.





Condição de Modelos de Geração de Viagens



A modelagem do número de viagens produzidas e atraídas pode resultar no total de viagens com origem nas zonas i (O_i) diferente do total de viagem com destino à elas (D_j). Entretanto, a modelagem 4 etapas em geral exige que:

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j$$

A solução é estabelecer um coeficiente de ajuste para o número de viagens com destino à D_j assumindo que o número de viagens realizadas é o estimado pelos modelos, que resultam em $\sum_i O_i$.

Esse ajuste é tal que cada o número de viagens atraída pelas zonas D_j é multiplicado por um fator f dado por:

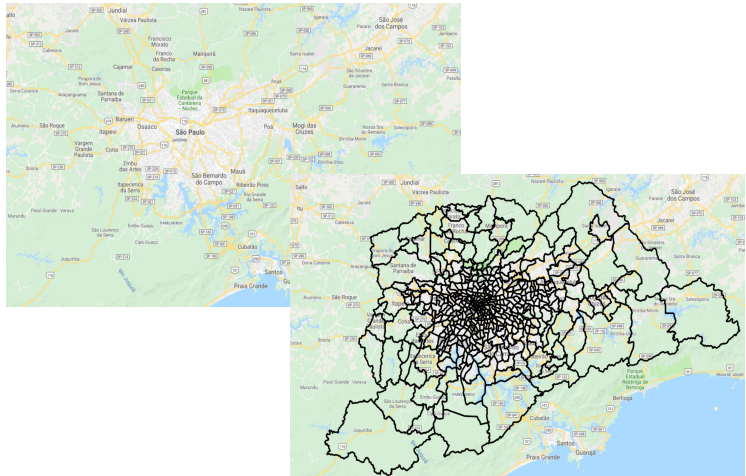
$$f = \frac{\sum_i O_i}{\sum_j D_j}$$



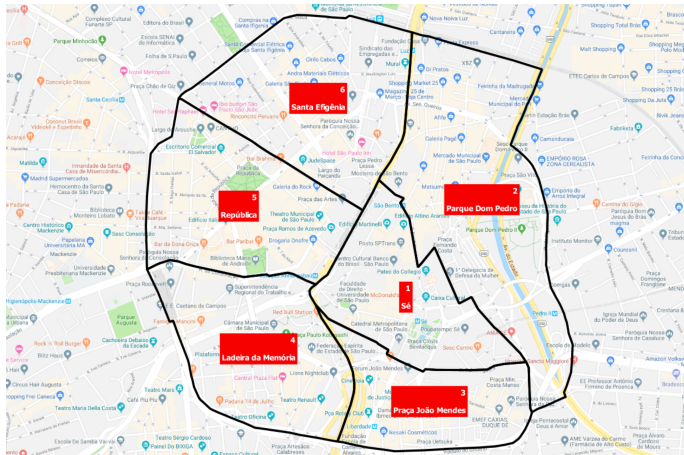
Exemplo de Modelagem Geração de Viagens



Pesquisa OD Metrô 2007 Pesquisa de Mobilidade Urbana 2012



Exemplo de Modelagem Geração de Viagens



Exemplo de Modelagem Geração de Viagens



Estimar os modelos de geração (produção e atração) de viagens das zonas de tráfego indicadas com base nas observações da Pesquisa OD 2007 e taxas de crescimento da Pesquisa de Mobilidade 2012, ambas do Metrô.

Estimar o número de viagens produzidas e atraídas em 2030.

