

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES  
STT405 - PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE SISTEMAS DE  
TRANSPORTES

# Aula: Modelos Sequenciais

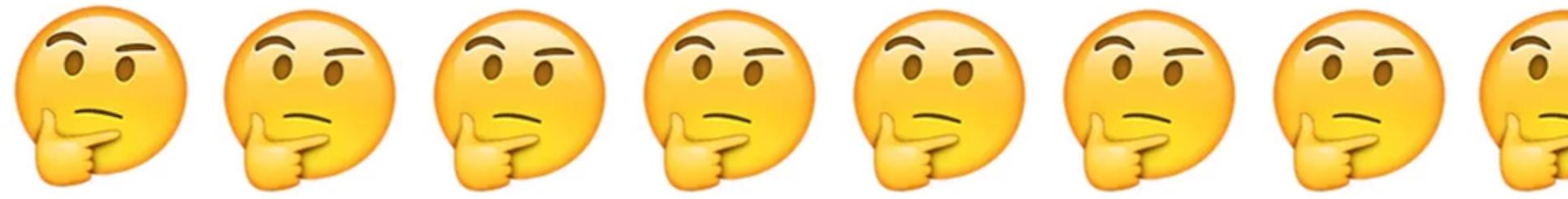
Docente: Cira Souza Pitombo



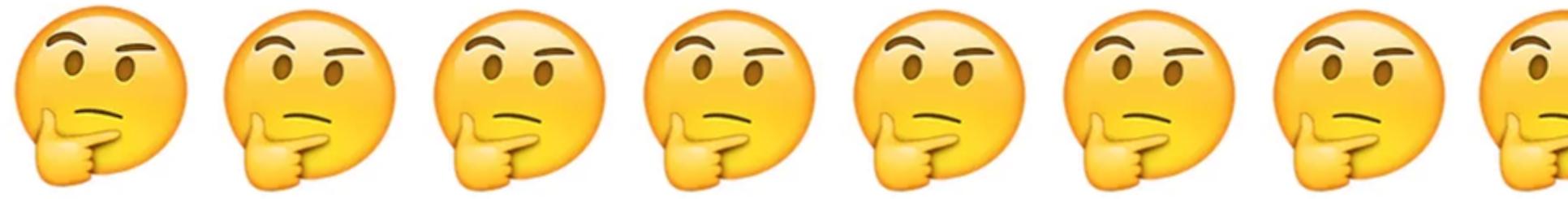
# MODELOS SIMULTÂNEOS DE DEMANDA POR TRANSPORTES

Qual a razão dos modelos diretos “perderem” sua utilidade para casos de estimativas de viagens urbanas?????

O QUE VOCÊ  
PRECISA  
SABER.....

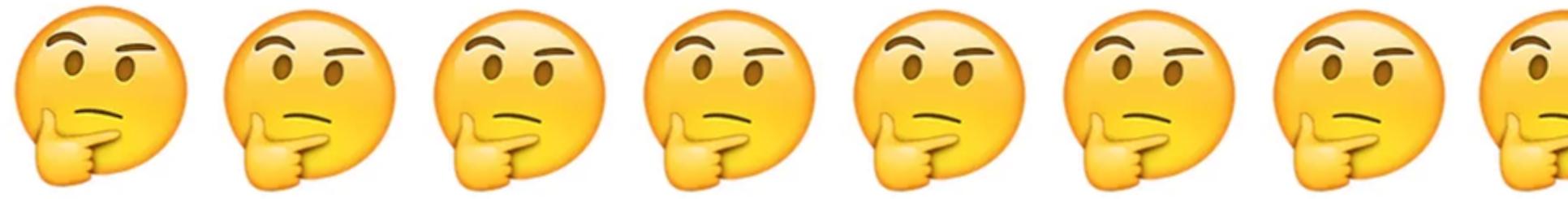


QUAL A RAZÃO PARA OS  
MODELOS DIRETOS NÃO SEREM  
UTILIZADOS PARA O CASO DE  
VIAGENS NO MEIO URBANO?

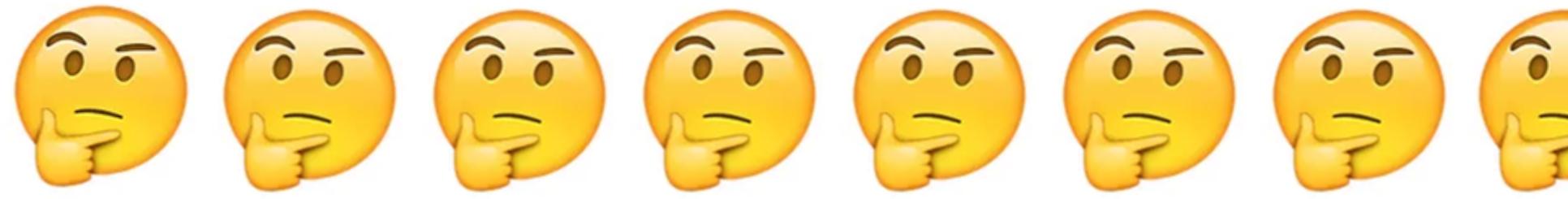


# QUAL A RAZÃO PARA OS MODELOS DIRETOS NÃO SEREM UTILIZADOS PARA O CASO DE VIAGENS NO MEIO URBANO?

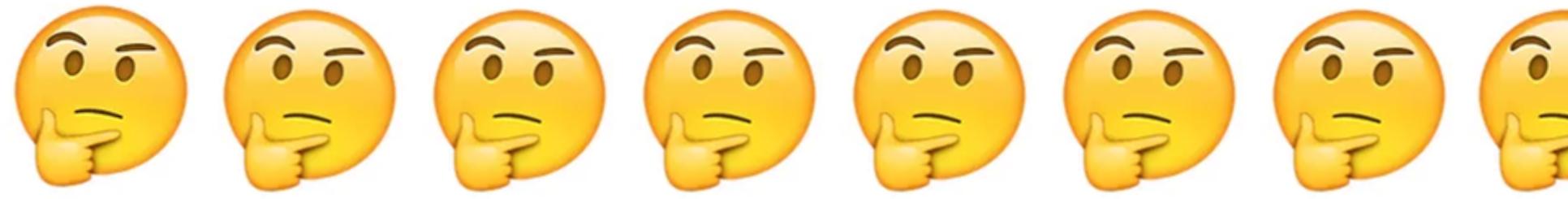
Há uma combinação grande de  
origens, destinos, motivos e modos



O QUE VOCÊ  
PRECISA  
SABER.....

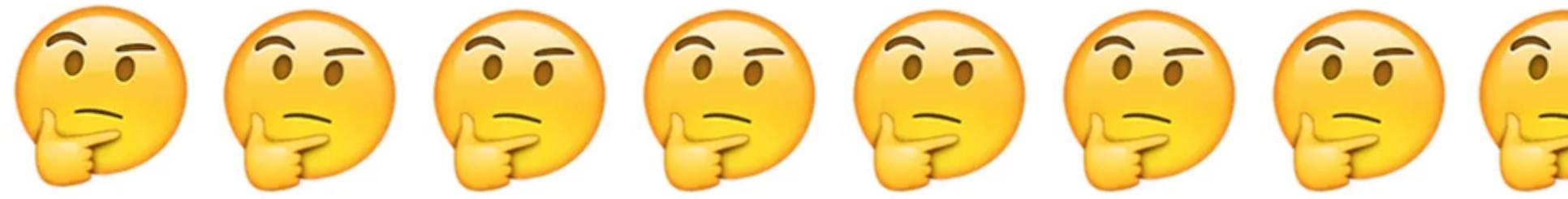


# O QUE SÃO MODELOS SEQUENCIAIS?

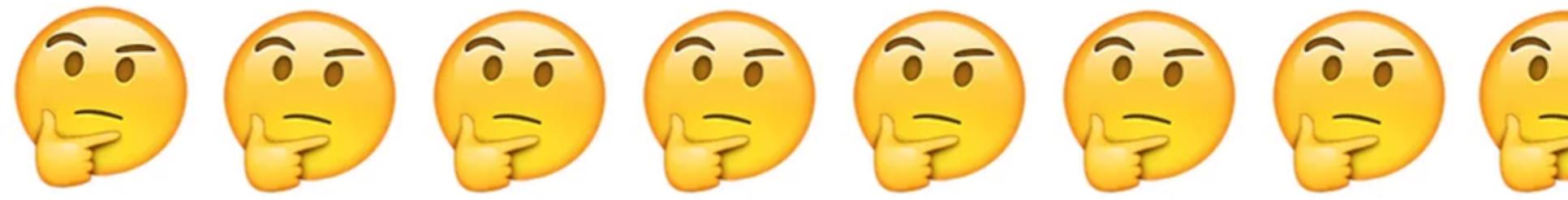


# O QUE SAO MODELOS SEQUENCIAIS?

Servem para prever a demanda por transportes através da aplicação sequencial de 4 etapas



O QUE VOCÊ  
PRECISA  
SABER.....



QUAIS AS ETAPAS DOS MODELOS SEQUENCIAIS?



# MODELOS SEQUENCIAIS

GERAÇÃO DE VIAGENS



DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS



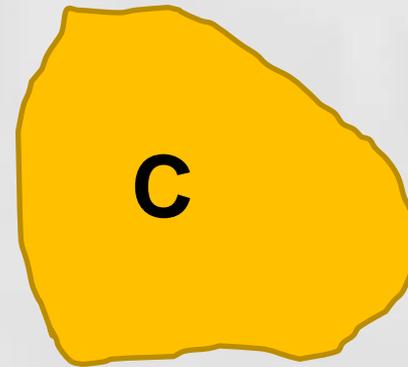
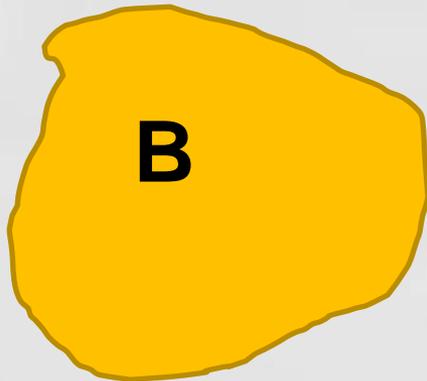
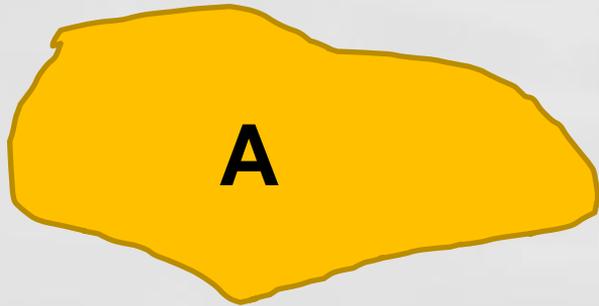
ESCOLHA MODAL



ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO



# MODELOS SEQUENCIAIS



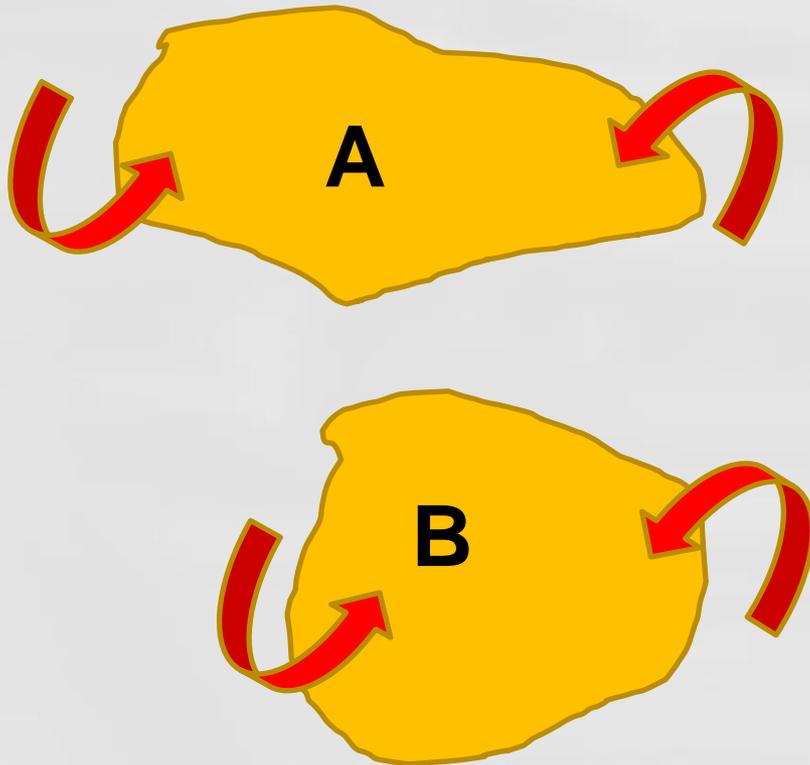
# MODELOS SEQUENCIAIS

GERAÇÃO DE VIAGENS

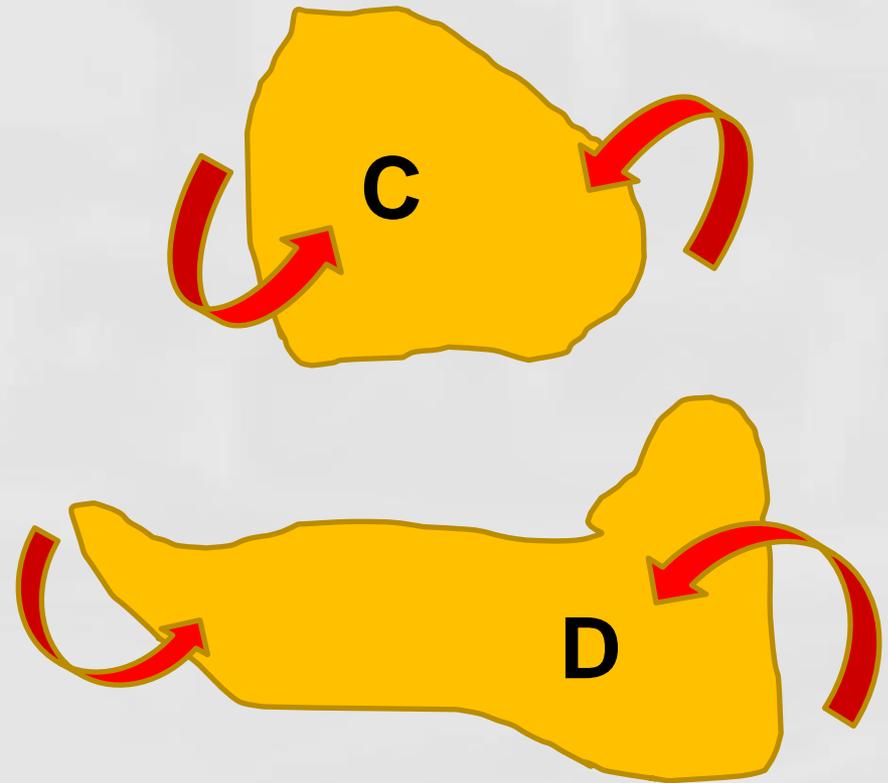


# MODELOS SEQUENCIAIS

Geração de viagens



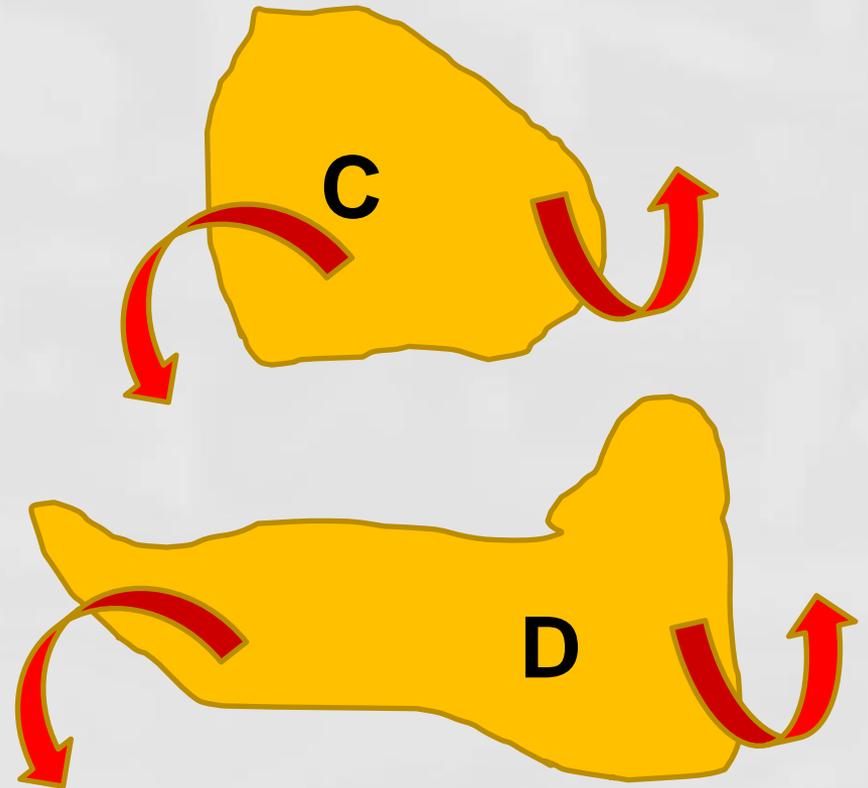
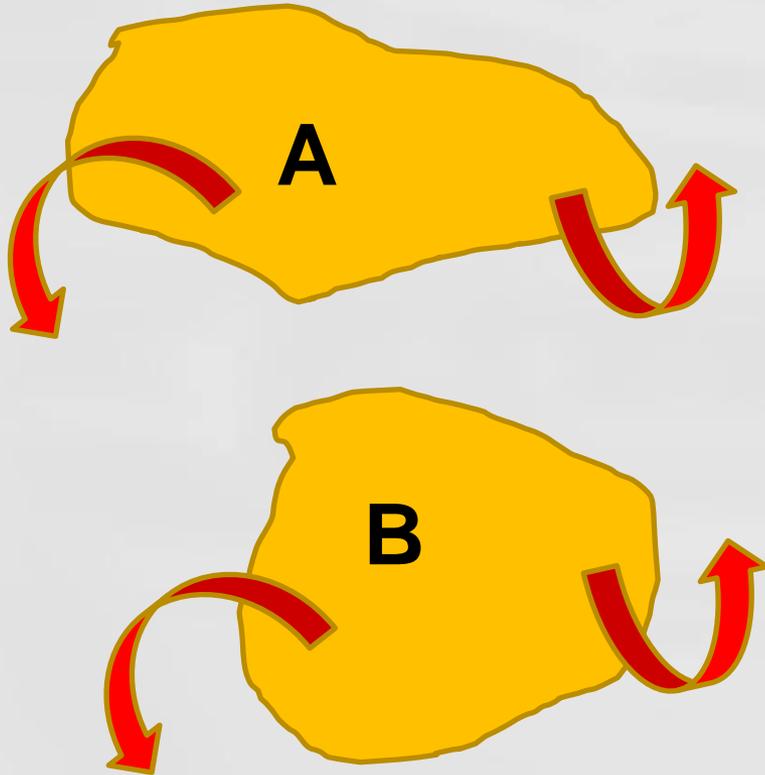
Viagens atraídas



# MODELOS SEQUENCIAIS

Geração de viagens

Viagens produzidas



# MODELOS SEQUENCIAIS

## Viagens produzidas

$$PROD_i = 0.9POP_i + 0.8AUTO_i$$

## Viagens atraídas

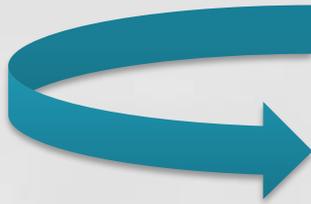
$$ATRA_j = 0.87EMP_j + 0.4LINHAS\ DE\ TP_j$$

# MODELOS SEQUENCIAIS

O/D	A	B	C	D	TOTAL
<b>A</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>w</b>	<b>PROD A</b>
<b>B</b>	<b>k</b>	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>n</b>	<b>PROD B</b>
<b>C</b>	<b>i</b>	<b>j</b>	<b>g</b>	<b>t</b>	<b>PROD C</b>
<b>D</b>	<b>n</b>	<b>o</b>	<b>p</b>	<b>r</b>	<b>PROD D</b>
<b>TOTAL</b>	<b>ATRA A</b>	<b>ATRA B</b>	<b>ATRA C</b>	<b>ATRAD</b>	

# MODELOS SEQUENCIAIS

O/D	A	B	C	D	TOTAL
A	x	y	z	w	PRODA
B	k	l	m	n	PRODB
C	i	j	g	t	PRODC
D	n	o	p	r	PRODD
TOTAL	ATRA A	ATRA B	ATRA C	ATRA D	



O/D	A	B	C	D	TOTAL
A	X'	Y'	Z'	W'	PRODA'
B	K'	L'	M'	N'	PRODB'
C	i'	J'	G'	T'	PRODC'
D	N'	O'	P'	R'	PRODD'
TOTAL	ATRA A'	ATRA B'	ATRA C'	ATRA D'	

# MODELOS SEQUENCIAIS

O/D	A	B	C	D	TOTAL
A	x	y	z	w	PROD A
B	k	l	m	n	PROD B
C	i	j	g	t	PROD C
D	n	o	p	r	PROD D
TOTAL	ATRA A	ATRA B	ATRA C	ATRAD	

# MODELOS SEQUENCIAIS

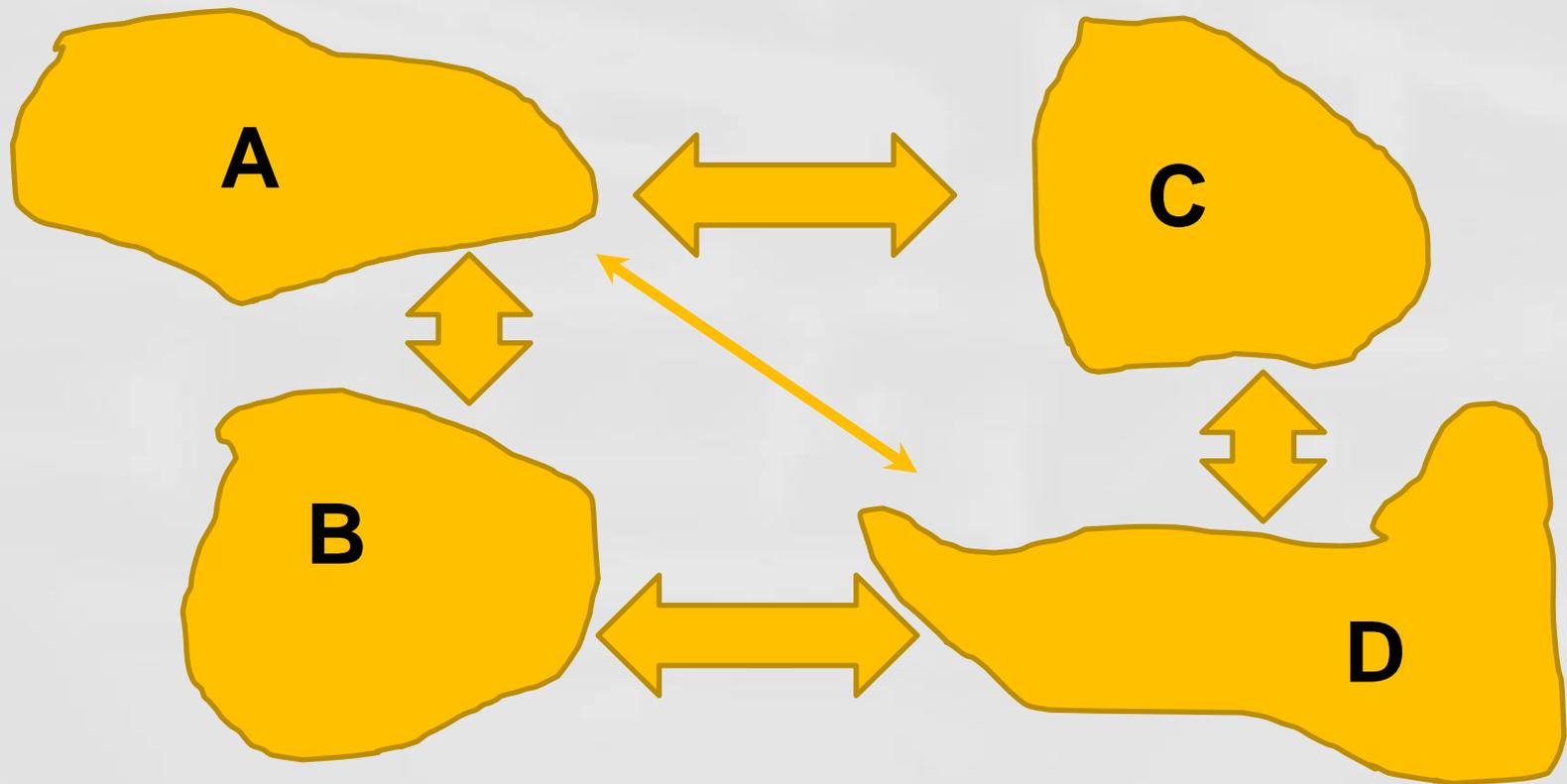
O/D	A	B	C	D	TOTAL	
A	x	y	z	w	PROD A	PROD A'
B	k	l	m	n	PROD B	PRODB'
C	i	j	g	t	PROD C	PROD C'
D	n	o	p	r	PROD D	PROD D'
TOTAL	ATRA A	ATRA B	ATRA C	ATRAD		
	ATRA A'	ATRA B'	ATRA C'	ATRA D'		

# MODELOS SEQUENCIAIS

## DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS



# MODELOS SEQUENCIAIS



# MODELOS SEQUENCIAIS

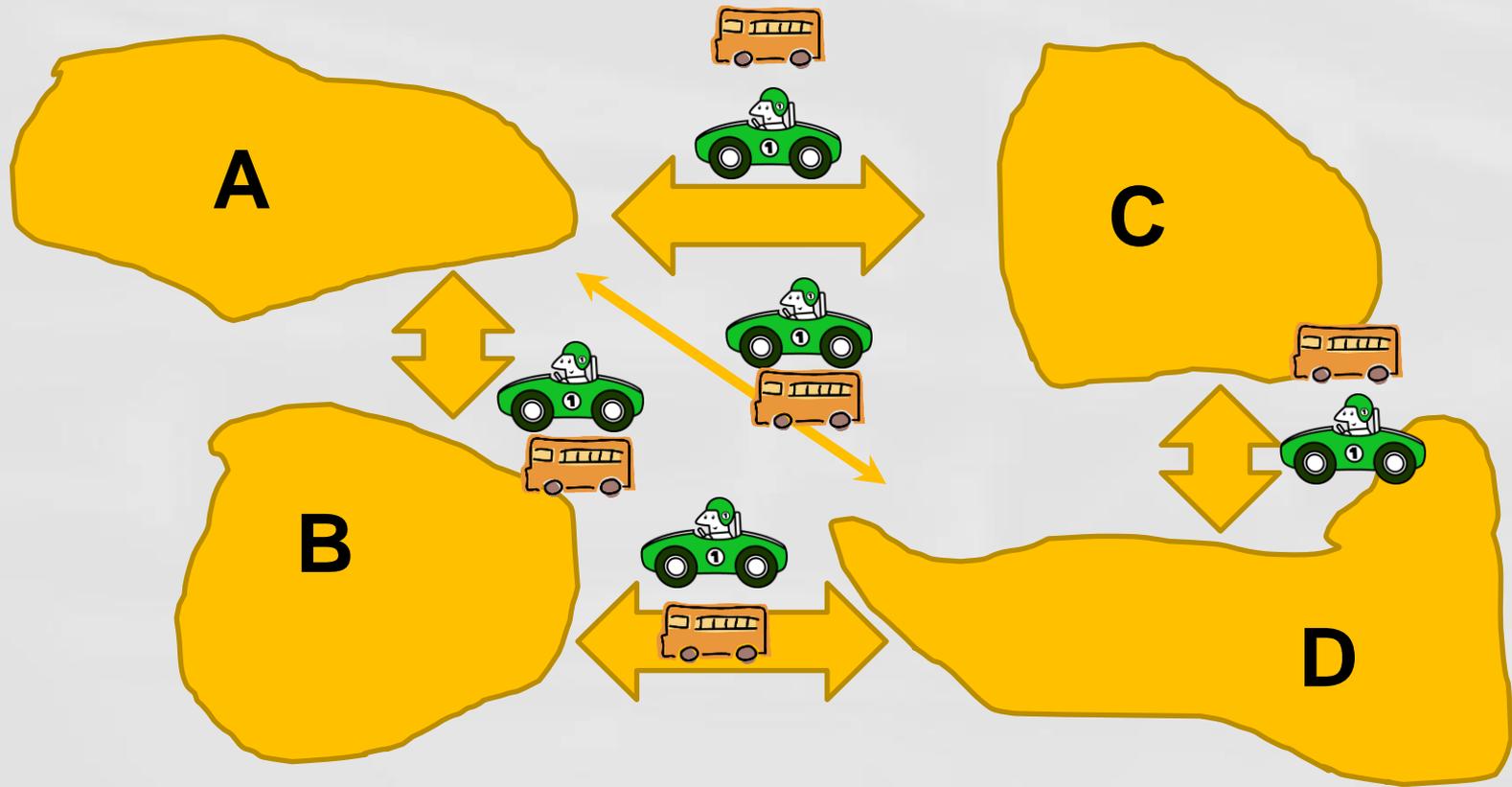
O/D	A	B	C	D	TOTAL	Prod´
A					PROD A	Prod´A
B					PROD B	Prod´B
C					PROD C	Prod´C
D					PROD D	Prod´D
TOTAL	ATRA A	ATRA B	ATRA C	ATRAD		
Atra´	Atra´A	Atra´B	Atra´C	Atra´D		

# MODELOS SEQUENCIAIS

## ESCOLHA MODAL



# MODELOS SEQUENCIAIS



# MODELOS SEQUENCIAIS

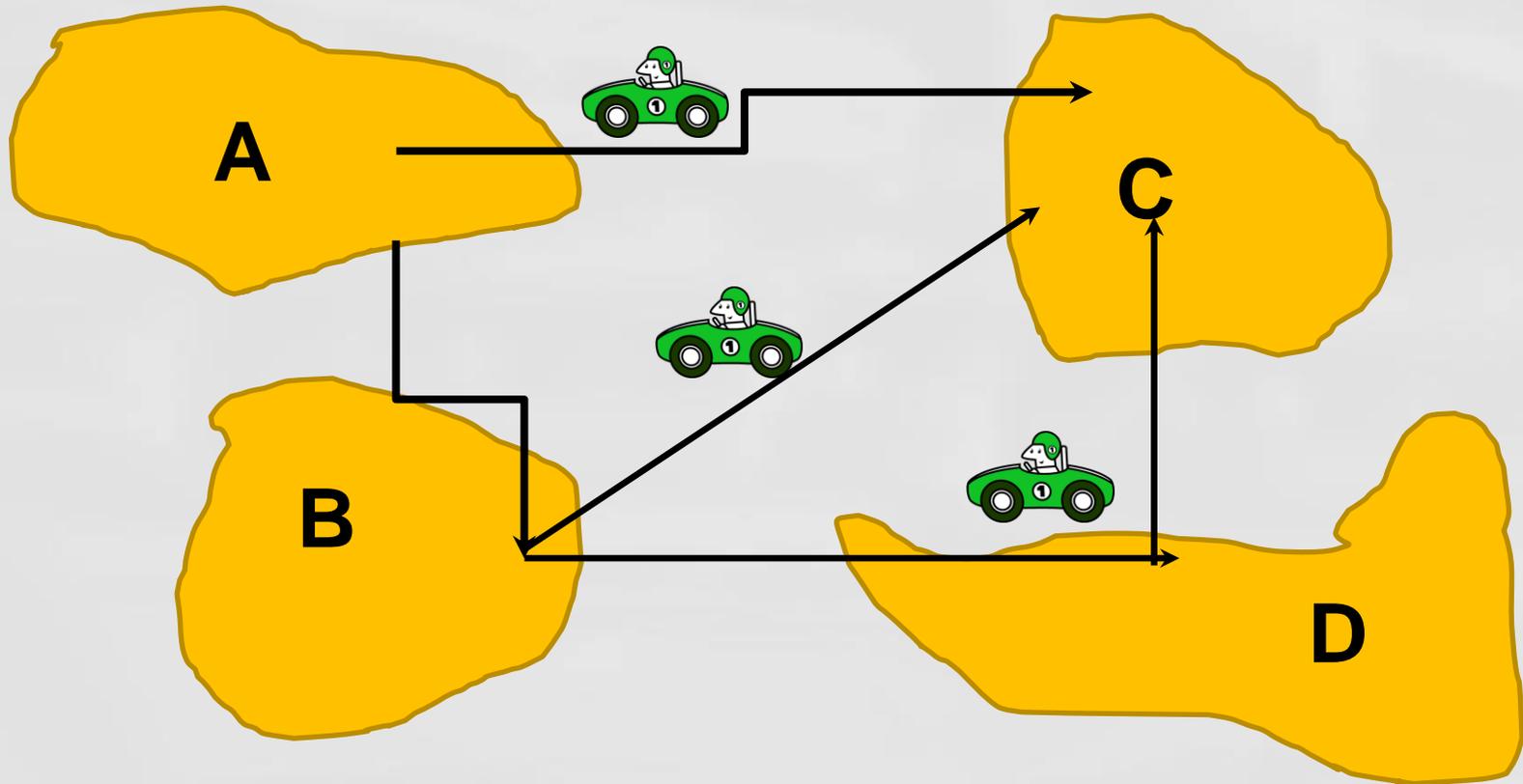
O/D	A	B	C	D	TOTAL	Prod´
A	 %  %				PROD A	Prod´A
B					PROD B	Prod´B
C					PROD C	Prod´ C
D					PROD D	Prod´D
<b>TOTAL</b>	<b>ATRA A</b>	<b>ATRA B</b>	<b>ATRA C</b>	<b>ATRAD</b>		
<b>Atra´</b>	<b>Atra´A</b>	<b>Atra´B</b>	<b>Atra´C</b>	<b>Atra´D</b>		

# MODELOS SEQUENCIAIS

ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO



# MODELOS SEQUENCIAIS





# GERAÇÃO DE VIAGENS

Produção e Atração de Viagens

# UM EXEMPLO

	1	2	3	4
1	1	0	1	1
2	3	1	3	1
3	1	2	1	0
4	1	3	0	1

# UM EXEMPLO

	1	2	3	4	Prod
1	1	0	1	1	3
2	3	1	3	1	8
3	1	2	1	0	4
4	1	3	0	1	5
Atra	6	6	5	3	20

# UM EXEMPLO

Zona de Tráfego	População	Atividades
1	5	13
2	17	12
3	8	9
4	11	7

# UM EXEMPLO

	1	2	3	4	Prod
1	1	0	1	1	3
2	3	1	3	1	8
3	1	2	1	0	4
4	1	3	0	1	5
Atra	6	6	5	3	20

Zona de Tráfego	População	Produção	Atividades	Atração
1	5	3	13	6
2	17	8	12	6
3	8	4	9	5
4	11	5	7	3

# GERAÇÃO DE VIAGENS

	1	2	3	4	Prod	PFutura
1	1	0	1	1	3	
2	3	1	3	1	8	
3	1	2	1	0	4	
4	1	3	0	1	5	
Atra	6	6	5	3	20	
AFutura						

# GERAÇÃO DE VIAGENS

- Número de viagens geradas, numa zona de tráfego, em função das variáveis capazes de explicá-las.

zonal ou domiciliar – modelos lineares

Técnica de fator de crescimento

Análise de categorias

# GERAÇÃO DE VIAGENS

- Caracterização das viagens

- Por motivo

1. *Trabalho*

2. *Estudo*

Compulsórias ou obrigatórias

3. *Compras*

4. *Social/recreação*

5. *Para acompanhamento*

6. *Outras*

Opcionais

# GERAÇÃO DE VIAGENS

- Caracterização das viagens

Por horário do dia

1. *Período de pico*

2. *Período entre pico*

# GERAÇÃO DE VIAGENS/Fatores influenciam

- **Produção de viagens domiciliares**

1. *Renda*
2. *Posse de automóveis*
3. *Tamanho da família*
4. *Estrutura domiciliar*
5. *Acessibilidade*

# GERAÇÃO DE VIAGENS/Fatores influenciam

- **Produção de viagens zonais**

1. *População*

2. *População ocupada*

3. *População de estudantes*

4. *Uso do solo*

5. *Renda*

# GERAÇÃO DE VIAGENS/Fatores influenciam

- **Atração de viagens zonais**
  1. *Empregos*
  2. *Empregos na indústria, comércio e serviços*
  3. *Acessibilidade*
  4. *Pontos de Interesse*

# GERAÇÃO DE VIAGENS

- Fator de crescimento
- Regressão Linear
- Classificação cruzada

# UM EXEMPLO

	1	2	3	4	Prod
1	1	0	1	1	3
2	3	1	3	1	8
3	1	2	1	0	4
4	1	3	0	1	5
Atra	6	6	5	3	20

	1	2	3	4	Prod
1	1	0	1	1	3
2	3	1	3	1	8
3	1	2	1	0	4
4	1	3	0	1	5
Atra	6	6	5	3	20

$$Prod = \partial \cdot Popula\tilde{c}ao_{zona} + \theta$$

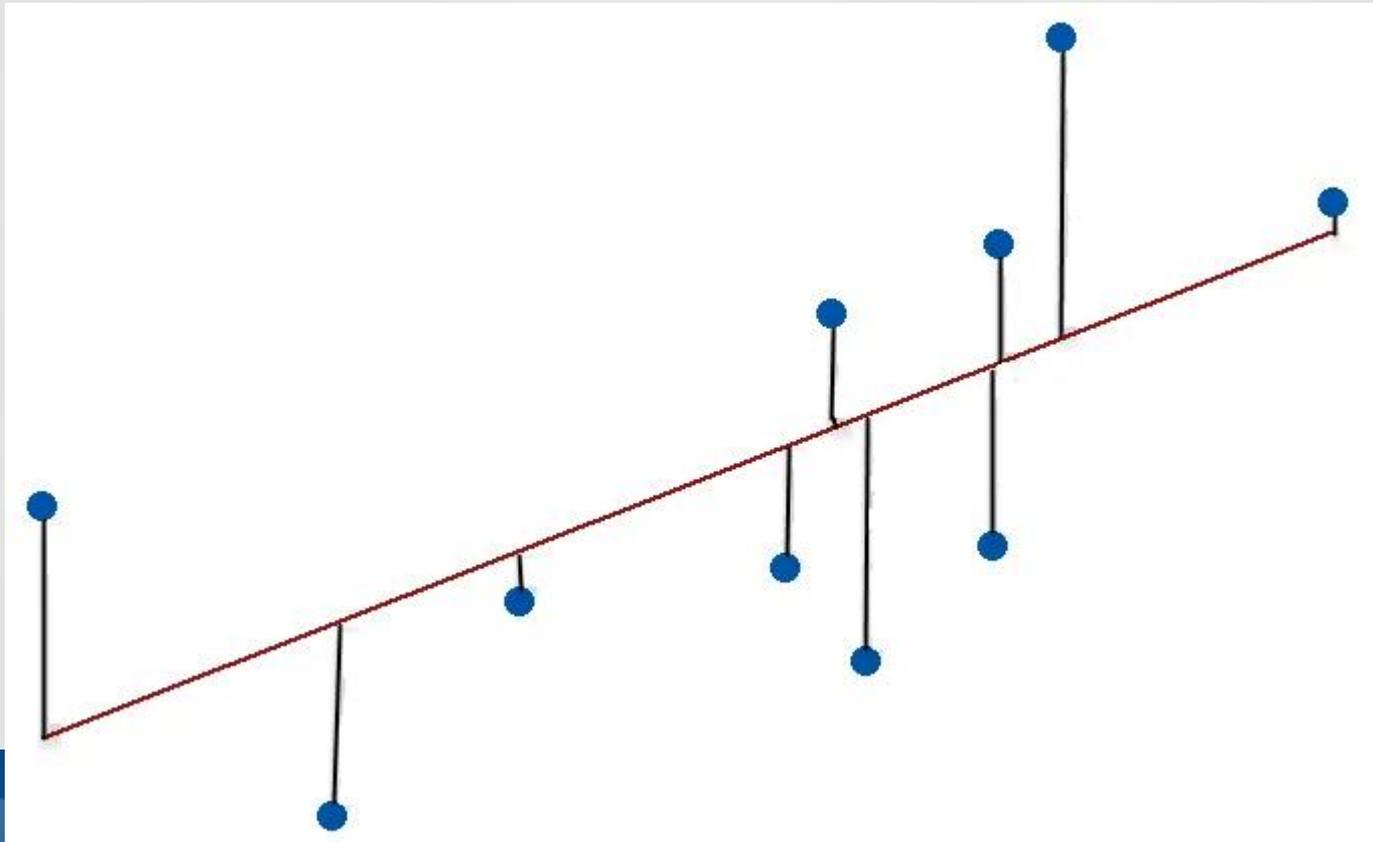
$$Atra = \mu \cdot Atividades_{zona} + \beta$$

	1	2	3	4	Prod	PFutura
1	1	0	1	1	3	
2	3	1	3	1	8	
3	1	2	1	0	4	
4	1	3	0	1	5	
Atra	6	6	5	3	20	
AFutura						

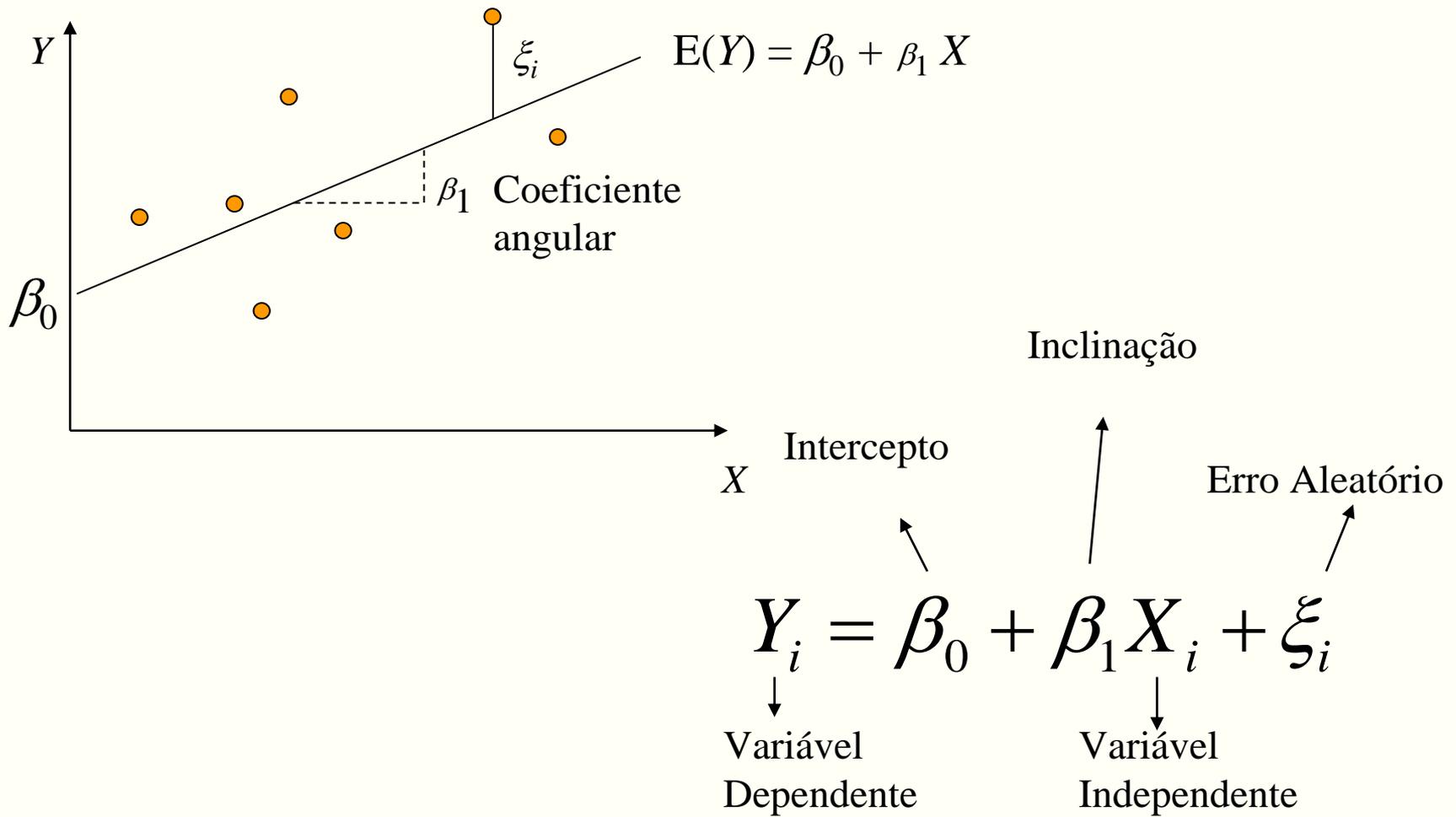
# **BANCO DE DADOS PARA CALIBRAÇÃO DOS MODELOS LINEARES**

Zona de Tráfego	População	Produção	Atividades	Atração
1	5	3	13	6
2	17	8	12	6
3	8	4	9	5
4	11	5	7	3

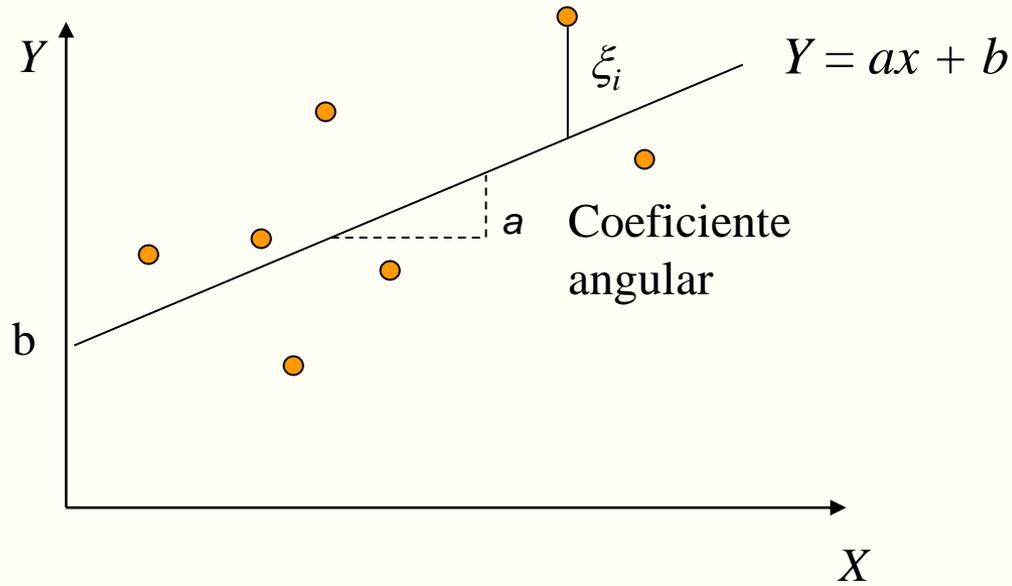
# REGRESSÃO LINEAR



# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES



# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES



$$a = \frac{n \cdot \sum(X \cdot Y) - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{n \cdot \sum x^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{\sum Y - a \cdot \sum X}{n}$$

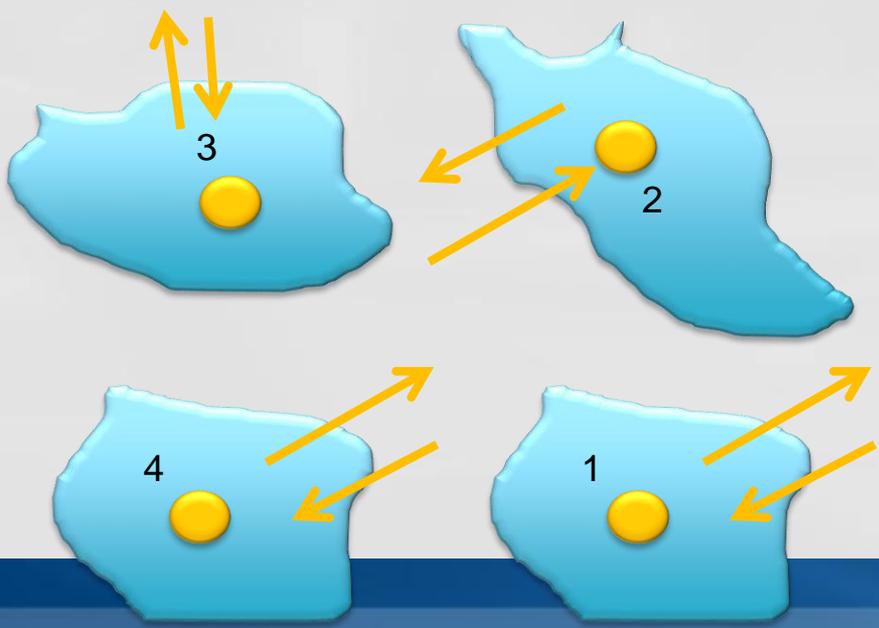
# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES (EXEMPLO)

1. Determine os modelos (reta de regressão) para:

Produção (y) x População (x)

Atração (y) x Atividades (x)

	1	2	3	4	Prod
1	1	0	1	1	3
2	3	1	3	1	8
3	1	2	1	0	4
4	1	3	0	1	5
Atra	6	6	5	3	20



Zona de Tráfego	População	Produção	Atividades	Atração
1	5	3	13	6
2	17	8	12	6
3	8	4	9	5
4	11	5	7	3

$$Prod_i = 0,42 \cdot Popula\tilde{c}ão_{zona}_i + 0,70$$

$$Atra_j = 0,48 \cdot Atividades_j + 0,044$$

***Avaliando a  
qualidade do  
modelo...***

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

## Coeficiente de determinação ( $R^2$ )

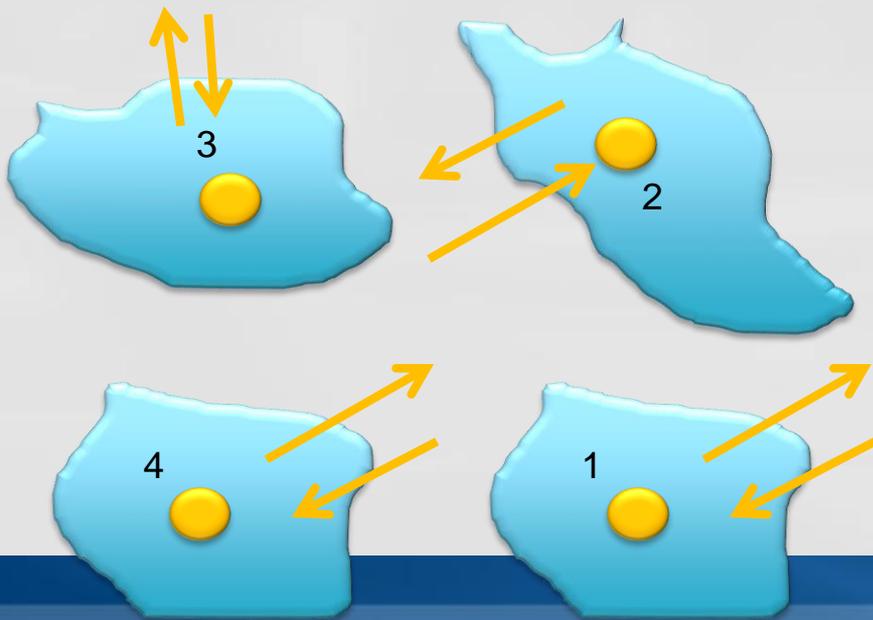
O coeficiente de determinação deve ser interpretado como a proporção de variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente  $X$ .  $R^2$  igual a 0,7385 significa que 73,85 % das variações de  $Y$  são explicadas pela variação de  $X$ .

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES (EXEMPLO)

Calcule os coeficientes de determinação dos modelos calibrados e avalie a qualidade dos modelos. O modelo é adequado? Os coeficientes estimados são significativos?

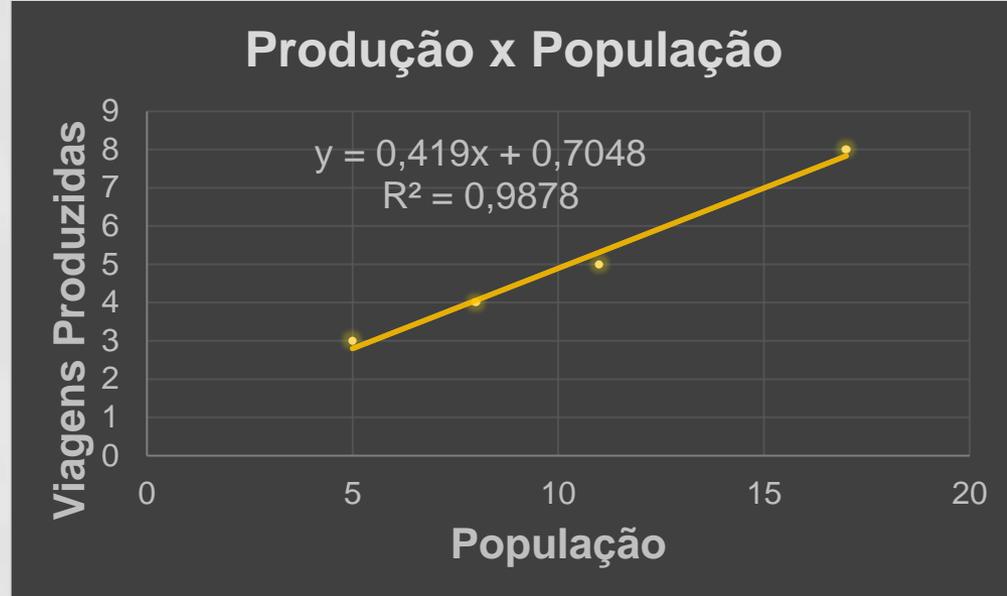
$$Prod = 0,42 \cdot Populaçãozona + 0,70$$

$$Atra = 0,48 \cdot Atividades + 0,044$$



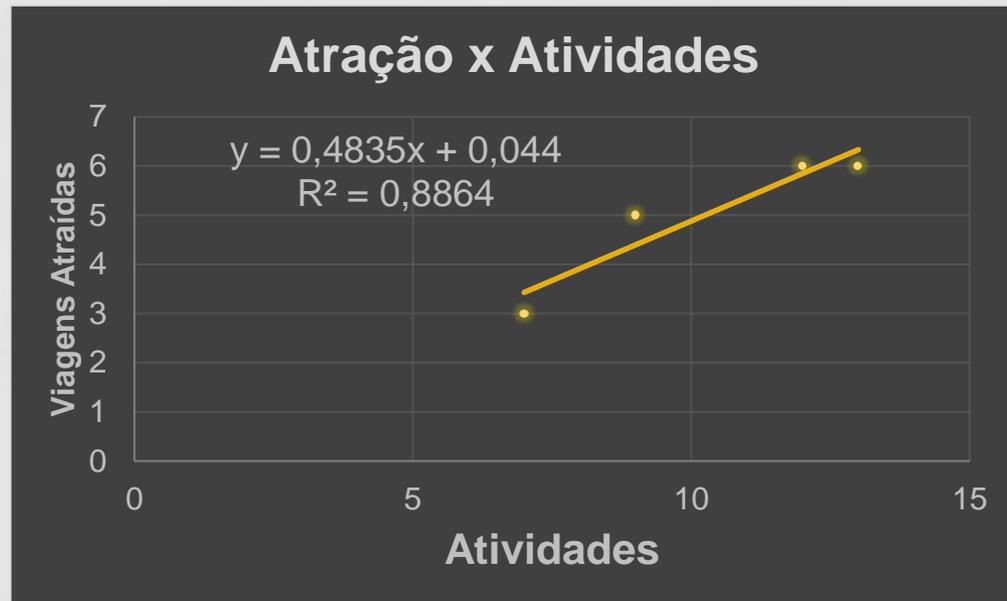
$$Prod = 0,42 \cdot Popula\tilde{c}aozona + 0,70$$

$$R^2 = 0,99$$



$$Atra = 0,48 \cdot Atividades + 0,04$$

$$R^2 = 0,88$$



***Significância  
dos parâmetros  
P-valor***

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

## Observações importantes (Produção)

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0.993858693							
R-Quadrado	0.987755102							
R-quadrado ajustado	0.981632653							
Erro padrão	0.292770022							
Observações	4							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	13.82857143	13.82857143	161.3333333	0.006141307			
Resíduo	2	0.171428571	0.085714286					
Total	3	14						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	0.704761905	0.368486517	1.912585327	0.195937117	-0.880707612	2.290231421	-0.880707612	2.290231421
População	0.419047619	0.032991444	12.70170592	0.006141307	0.277096893	0.560998345	0.277096893	0.560998345

***PARA QUÊ  
SERVE O  
P-valor?***

O P-VALOR É UM NÚMERO  
ENTRE 0 E 1, QUE  
QUANTIFICA A NOSSA  
CONFIANÇA EM UMA  
HIPÓTESE

O PARÂMETRO ESTIMADO É  
DIFERENTE DE ZERO

QUANTO MAIS PRÓXIMO  
DE ZERO, MAIOR  
CONFIANÇA TEREMOS  
NAQUELA HIPÓTESE

O PARÂMETRO ESTIMADO É  
DIFERENTE DE ZERO

QUÃO PEQUENO O P-  
VALOR DEVE SER PARA  
TERMOS CONFIANÇA  
SUFICIENTE PARA  
ACEITAR DETERMINADA  
HIPÓTESE?

**P-VALOR - 0,05**

**SE FIZERMOS O EXPERIMENTO  
100 VEZES, EM APENAS 5% DAS  
REPETIÇÕES A HIPÓTESE NÃO  
SERÁ COMPROVADA**

**NÍVEL DE CONFIANÇA 95%**

**P-VALOR - 0,01**

**SE FIZERMOS O EXPERIMENTO  
100 VEZES, EM APENAS 1% DAS  
REPETIÇÕES A HIPÓTESE NÃO  
SERÁ COMPROVADA**

**NÍVEL DE CONFIANÇA 99%**

**P-VALOR - 0,10**

**SE FIZERMOS O EXPERIMENTO  
100 VEZES, EM APENAS 10% DAS  
REPETIÇÕES A HIPÓTESE NÃO  
SERÁ COMPROVADA**

**NÍVEL DE CONFIANÇA 90%**

P-VALOR = 0,07



P-VALOR = 0,8



P-VALOR = 0,02



NÍVEL DE  
CONFIANÇA  
95%

P-VALOR = 0,07



P-VALOR = 0,8



P-VALOR = 0,02



NÍVEL DE  
CONFIANÇA  
99%

P-VALOR = 0,07



P-VALOR = 0,8



P-VALOR = 0,02



NÍVEL DE  
CONFIANÇA  
90%

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

## Observações importantes (Produção)

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0.993858693							
R-Quadrado	0.987755102							
R-quadrado ajustado	0.981632653							
Erro padrão	0.292770022							
Observações	4							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de sianificação</i>			
Regressão	1	13.82857143	13.82857143	161.3333333	0.006141307			
Resíduo	2	0.171428571	0.085714286					
Total	3	14						
	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	0.704761905	0.368486517	1.912585327	0.195937117	-0.880707612	2.290231421	-0.880707612	2.290231421
População	0.419047619	0.032991444	12.70170592	0.006141307	0.277096893	0.560998345	0.277096893	0.560998345

# REGRESSAO LINEAR MULTIPA

## Observações importantes (Atração)

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0.941513084							
R-Quadrado	0.886446886							
R-quadrado ajustado	0.82967033							
Erro padrão	0.583660296							
Observações	4							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de sianificação</i>			
Regressão	1	5.318681319	5.318681	15.61290323	0.058486916			
Resíduo	2	0.681318681	0.340659					
Total	3	6						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	0.043956044	1.287778938	0.034133	0.975871194	-5.496909518	5.584821606	-5.496909518	5.584821606
Atividades	0.483516484	0.122368448	3.951317	0.058486916	-0.042992451	1.010025418	-0.042992451	1.010025418

# ***Retirando os interceptos***

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

## (Produção sem intercepto)

RESUMO DOS RESULTADOS										
<i>Estatística de regressão</i>										
R múltiplo	0.997871									
R-Quadrado	0.995746									
R-quadrado ajustado	0.662413									
Erro padrão	0.402065									
Observações	4									
ANOVA										
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>					
Regressão	1	113.5150301	113.5150301	702.1983471	0.001421064					
Resíduo	3	0.48496994	0.161656647							
Total	4	114								
	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>		
Interseção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D		
População	0.476954	0.017998923	26.4990254	0.000117912	0.419673303	0.534234513	0.419673303	0.534234513		

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

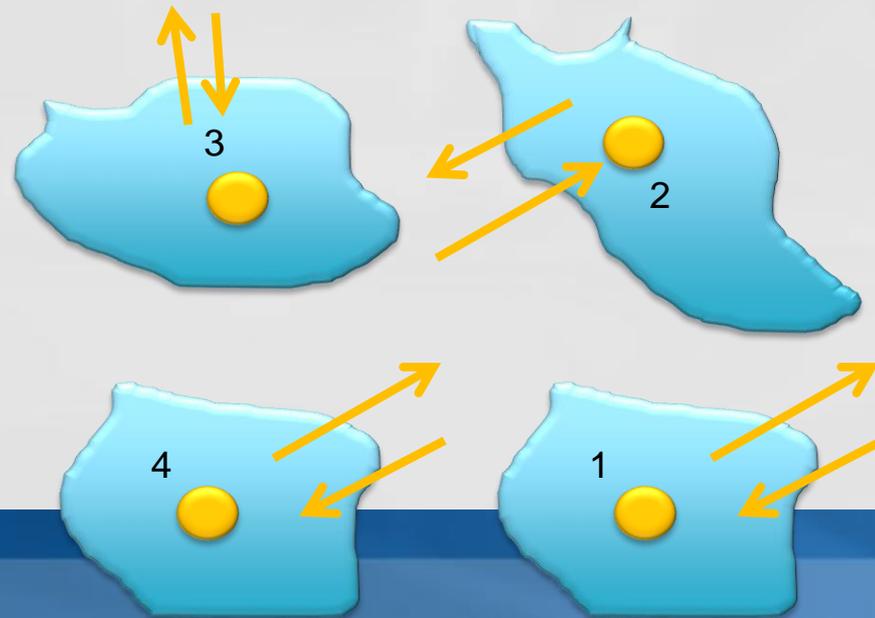
## (Atração sem intercepto)

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0.996779174							
R-Quadrado	0.993568721							
R-quadrado ajustado	0.660235388							
Erro padrão	0.476695422							
Observações	4							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	105.3182844	105.3182844	463.4702	0.002150678			
Resíduo	3	0.681715576	0.227238525					
Total	4	106						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Atividades	0.48758465	0.022648483	21.52835801	0.000219	0.415507069	0.559662231	0.415507069	0.559662231



# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES (EXEMPLO)

Considerando uma taxa de crescimento de 30% (em 10 anos) para a variável população e 22% (em 10 anos) para a variável atividades. Preencha a matriz OD para viagens produzidas e atraídas futuras para 10 anos (2032)



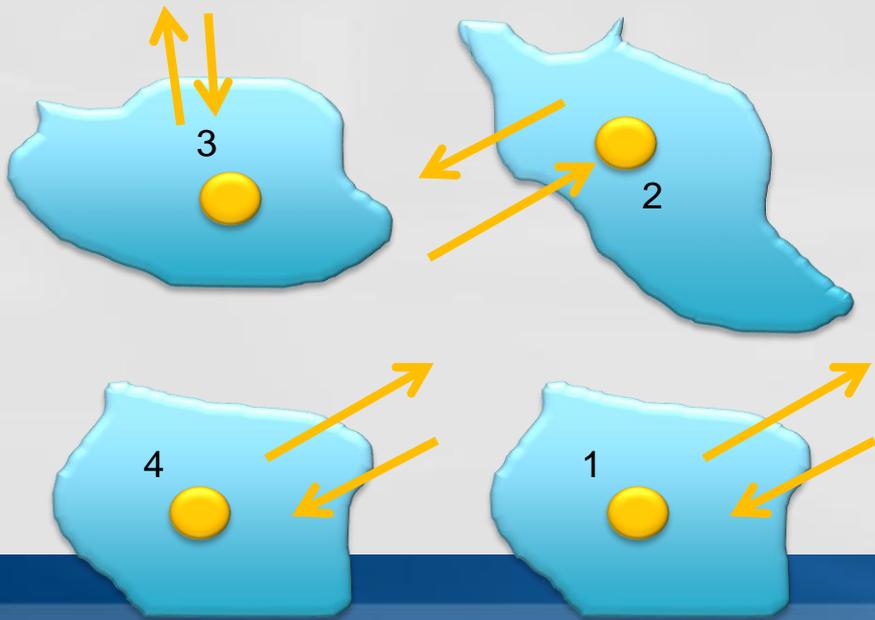
Zona de tráfego	População	Pop Futura	Produção	Atividades	Ativ Futura	Atração
1	5	6.5	3	13	15.86	6
2	17	22.1	8	12	14.64	6
3	8	10.4	4	9	10.98	5
4	11	14.3	5	7	8.54	3

***Substituindo os  
valores futuros  
(2032) de população  
e atividades nas  
equações  
calibradas...***

# REGRESSÃO LINEAR SIMPLES (EXEMPLO)

$$y_{produçãoi}(2032) = 0,48populaçãoi(2032)$$

$$y_{atraçãoj}(2032) = 0,49*empregosj(2032)$$



<b>Produção</b>	<b>Produção Futura</b>	<b>Atração</b>	<b>Atração Futura</b>
<b>3</b>	<b>3.12</b>	<b>6</b>	<b>7.7714</b>
<b>8</b>	<b>10.608</b>	<b>6</b>	<b>7.1736</b>
<b>4</b>	<b>4.992</b>	<b>5</b>	<b>5.3802</b>
<b>5</b>	<b>6.864</b>	<b>3</b>	<b>4.1846</b>

***Como corrigir os  
totais de atração e  
produção?***

# CORRIGINDO OS TOTAIS DE PRODUÇÃO E ATRAÇÃO....

## Condição necessária

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j$$

## O que fazer?????

$$f = \sum_i O_i / \sum_j D_j$$

$$D_j \cdot f$$

# EXEMPLO....

Os valores totais (soma de atração e produção futura) são iguais? Há alguma forma de corrigir este problema?

	1	2	3	4	Prod	ProdFutura
1	1	0	1	1	3	3.12
2	3	1	3	1	8	10.61
3	1	2	1	0	4	4.99
4	1	3	0	1	5	6.86
Atra	6	6	5	3	20	
AtraFutura	7.77	7.17	5.38	4.18		
	24,51					25,58

# EXEMPLO....

Os valores totais (soma de atração e produção futura) são iguais? Há alguma forma de corrigir este problema?

$$f=25,58/24,51=1,04$$

	1	2	3	4	Prod	ProdFutura
1	1	0	1	1	3	3.12
2	3	1	3	1	8	10.61
3	1	2	1	0	4	4.99
4	1	3	0	1	5	6.86
Atra	6	6	5	3	20	
AtraFutura	7.77	7.17	5.38	4.18		
	24,51					25,58

# EXEMPLO....

## Matriz corrigida

Essa matriz é utilizada para distribuição de viagens

	1	2	3	4	Prod	ProdFutura
1	1	0	1	1	3	3
2	3	1	3	1	8	11
3	1	2	1	0	4	5
4	1	3	0	1	5	7
Atra	6	6	5	3	20	
AtraFutura	8	8	6	4		26

