

14 a 17
setembro
2021

27ª SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

TRILHOS PARA UM FUTURO SUSTENTÁVEL

Novo Modelo de Geração de Viagens

Alexandre Frazão D' Andréa
José de França Bueno
Mário José Gil Telesi
Ana Carolina Theodoro Dantas
Alexandre Makoto Koga
José Alberto de Castro Rubira

REALIZAÇÃO



ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ



APRESENTAÇÃO DOS AUTORES

Alexandre Frazão D' Andréa: Engenheiro Civil (FEI), Mestre em Engenharia de Transportes (UNICAMP). Atua há 23 anos em projetos de planejamento de transportes com ênfase em modelos multimodais de previsão de demanda. Cargo de Coordenador de Estudos de Demanda - DPA/GPA/CED.

José de França Bueno: Bacharel em Matemática Aplicada (IME-USP), Mestre em Matemática Aplicada (IME-USP), Doutor em Ciências da Engenharia (EPUSP). Cargo de Analista III - DPA/GPA/CED.

Mário José Gil Telesi: Licenciado em Matemática (IME-USP), Pós-graduação: Curso de Especialização em Matemática Pura (USP). Cargo de Analista II - DPA/GPA/CED.

Ana Carolina Theodoro Dantas: Engenheira Civil (Universidade São Judas Tadeu), MBA – Visão Integrada de Sistemas sobre Trilhos Urbanos – USP. Cargo de Engenheira - DPA/GPA/CED.

Alexandre Makoto Koga: Engenheiro Civil (EPUSP). Cargo de Engenheiro - DPA/GPA/CED.

José Alberto de Castro Rubira: Bacharel e licenciado em Física (UNG-Guarulhos). Cargo de Analista de Transportes III. - DPA/GPA/CED.



27^a SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO
AEAMESP
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ

DEFINIÇÃO DE MODELOS DE TRANSPORTES

“Modelos são simplificações da realidade com foco em elementos considerados importantes de acordo com um determinado ponto de vista”

(ORTUZAR e WILLUMSEN, 2011)



27^a SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO
AEAMESP
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ

IMPORTÂNCIA DOS MODELOS DE TRANSPORTES

- Minimizar as incertezas
- Concepção da rede futura
- Planos de investimentos
- Priorização e faseamento de implantação de linhas
- Análises de viabilidade técnica, econômica e financeira
- Estudos de impacto ambiental e cálculo de benefícios sociais
- Insumos para obtenção de recursos para financiamento
- Dimensionamento de equipamentos nos projetos funcionais e básicos – frota, estações, terminais, sistemas



27^a SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO
AEAMESP
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ

MODELO 4 ETAPAS

Modelo de geração

Quantas viagens são produzidas e atraídas por zona OD?

Modelo de distribuição

Como essas viagens se distribuem entre as zonas OD?

Modelo de divisão modal

Quais são os modos escolhidos nas viagens?

Modelo de alocação

Quais são as preferências de caminhos nas viagens?

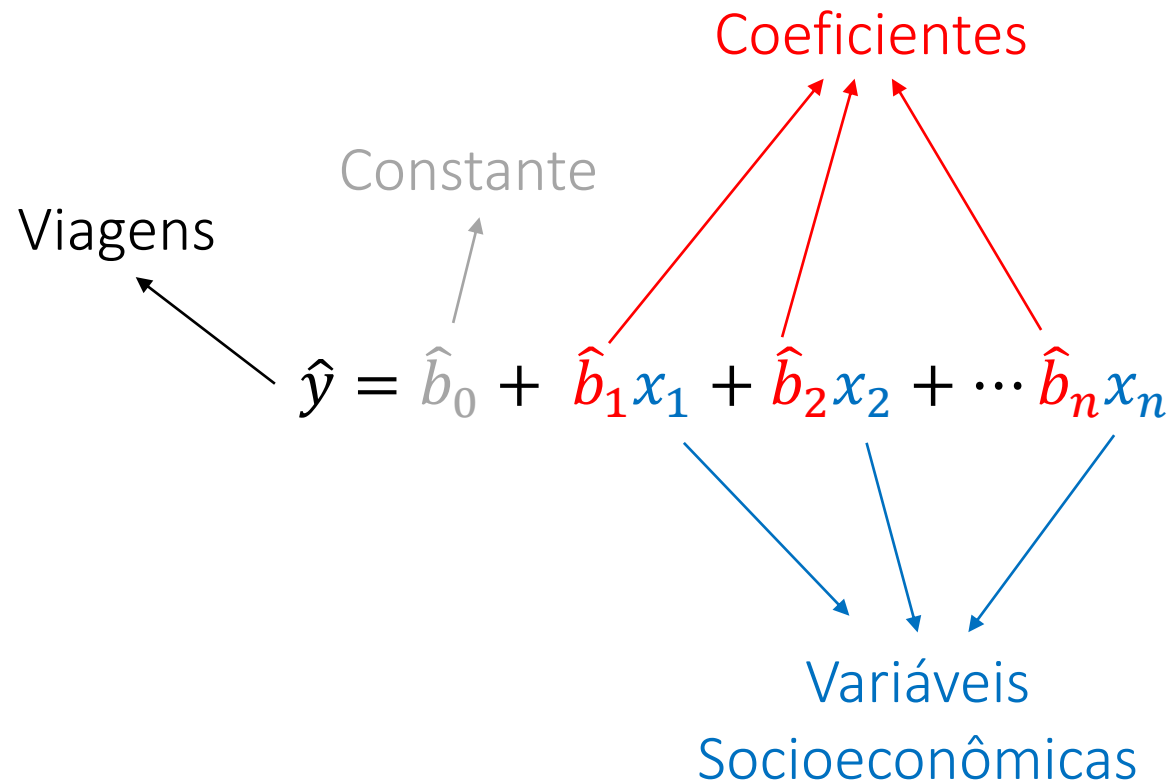
(ORTUZAR e WILLUMSEN, 2011)



27^a SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO
AEAMESP
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ

MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS



(ORTUZAR e WILLUMSEN, 2011 e FIELD, 2009)



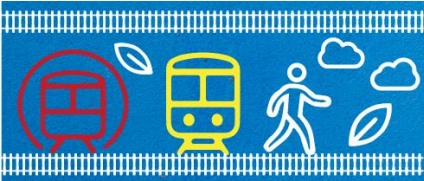
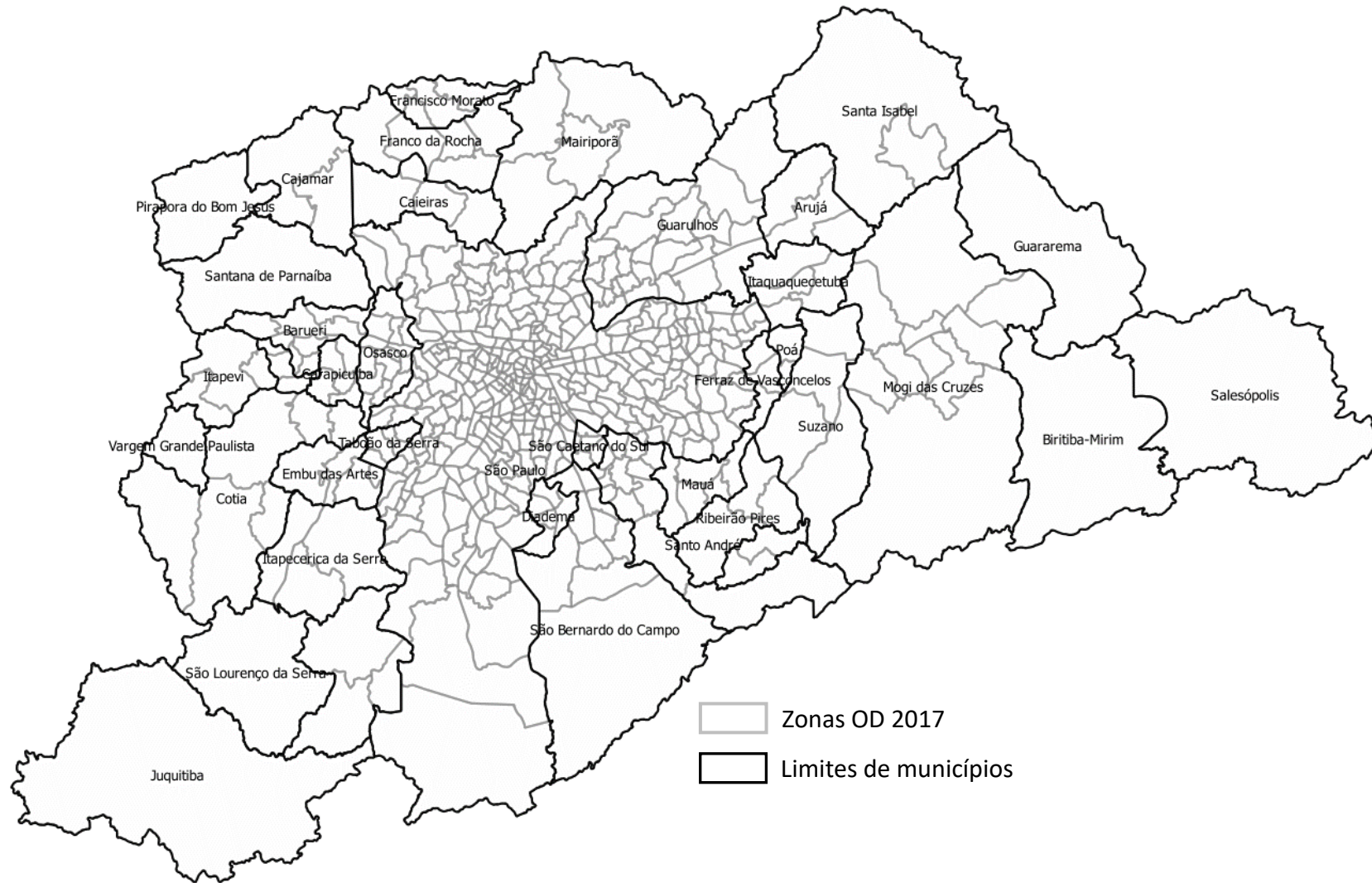
O PROBLEMA DA HETEROGENEIDADE DO ESPAÇO



- Padrões de demanda heterogêneos
- Evolução das variáveis socioeconômicas
- Particularidades de cada localidade
- Variáveis importantes de cada localidade
- Peso relativo das variáveis em cada localidade
- Necessidade de maior segmentação da demanda



O PROBLEMA DA HETEROGENEIDADE DO ESPAÇO



ELABORAÇÃO DOS *CLUSTERS* ESPACIAIS

Critérios de similaridade:

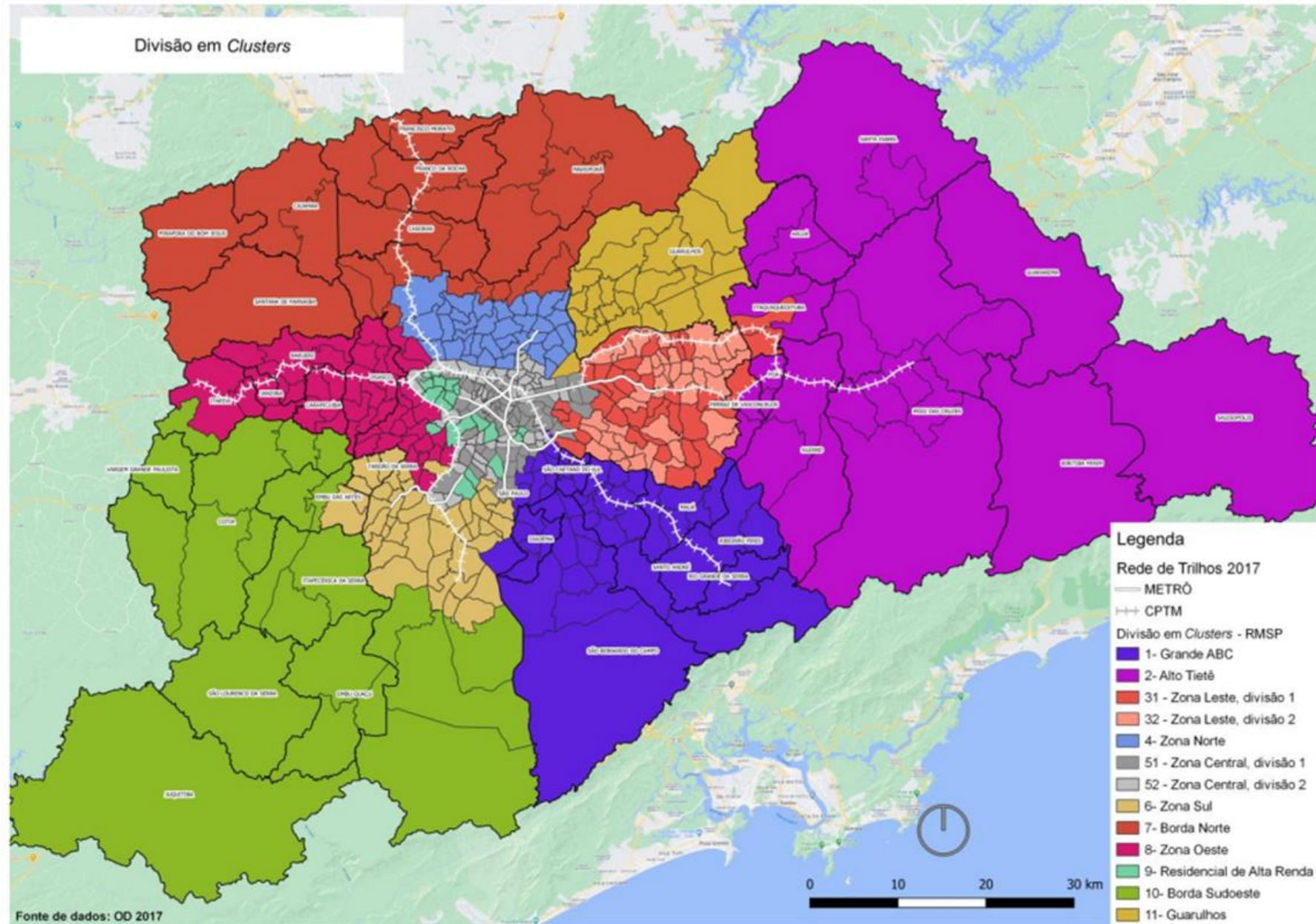
- Espacialização dos empregos
- Continuidade geográfica
- Renda per capita
- Produções e atrações de viagens
- Adequação aos modelos de geração de viagens



27^a SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO
AEAMESP
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ

ELABORAÇÃO DOS CLUSTERS ESPACIAIS



ELABORAÇÃO DOS MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Exemplo: *Cluster 1* Produção Base Domiciliar Trabalho

Source	SS	df	MS			
Model	47.0875058	2	23.5437529			
Residual	3.80550228	50	.076110046			
Total	50.8930081	52	.978711694			

ln_pbdt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pop	1.066622	.0438901	24.30	0.000	.9784662	1.154778
ln_rpc	.5061056	.1324874	3.82	0.000	.2399969	.7722143
_cons	-5.935046	1.018783	-5.83	0.000	-7.981332	-3.88876

Number of obs =	53
F(2, 50) =	309.34
Prob > F =	0.0000
R-squared =	0.9252
Adj R-squared =	0.9222
Root MSE =	.27588

Variáveis **Coeficientes** **Teste t**

Teste F

R² ajust.

(MAROCO, 2014)



ELABORAÇÃO DOS MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Pressuposto	Descrição	Verificação do Pressuposto
Normalidade	Os resíduos devem apresentar distribuição normal.	<ul style="list-style-type: none">• Teste de Shapiro-Wilk• Teste de Shapiro Francia• Teste Visual
Colinearidade	As correlações entre as variáveis explicativas devem ser menores que 0,5.	<ul style="list-style-type: none">• Matriz de Correlação Simples• VIF (Variance Inflation Factor)
Homocedasticidade	Os resíduos entre os valores modelados e observados devem ser constantes em toda a extensão dos dados.	<ul style="list-style-type: none">• Teste de Breusch Pagan/Cook-Weisberg
Linearidade	A variável dependente e as variáveis explicativas se relacionam de forma linear.	<ul style="list-style-type: none">• Teste de Linearidade/Especificação Funcional

(FÁVERO, 2009)



MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS RESULTANTES

- PBDT: 14 modelos
- ABDT: 12 modelos
- PBDE: 14 modelos
- ABDE: 14 modelos
- PBDO: 13 modelos
- ABDO: 10 modelos
- PBND: 11 modelos
- ABND: 9 modelos

Total de 97 modelos



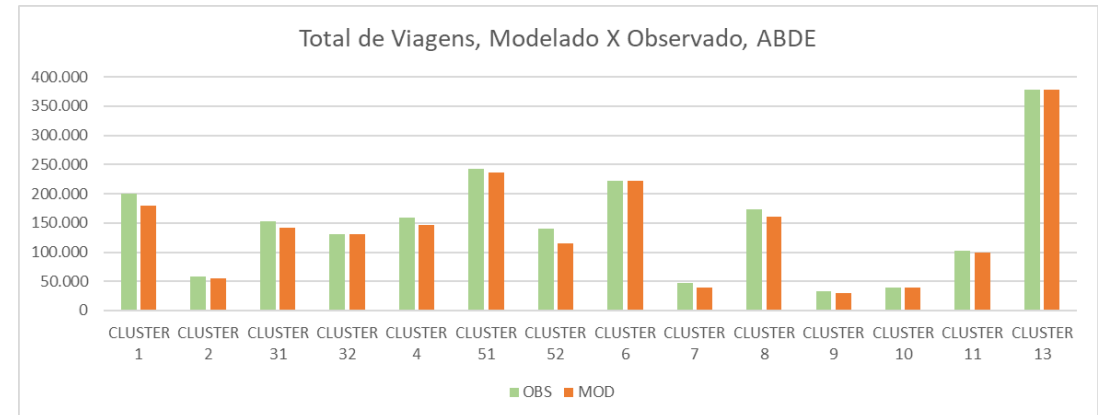
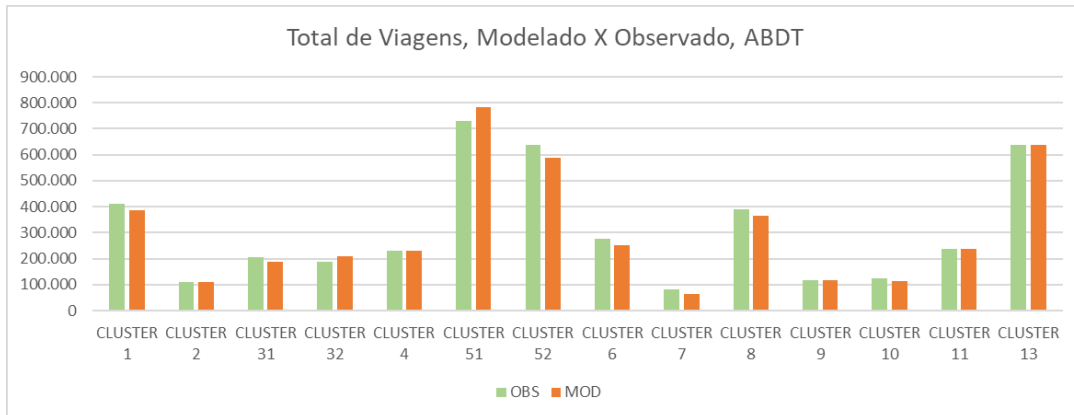
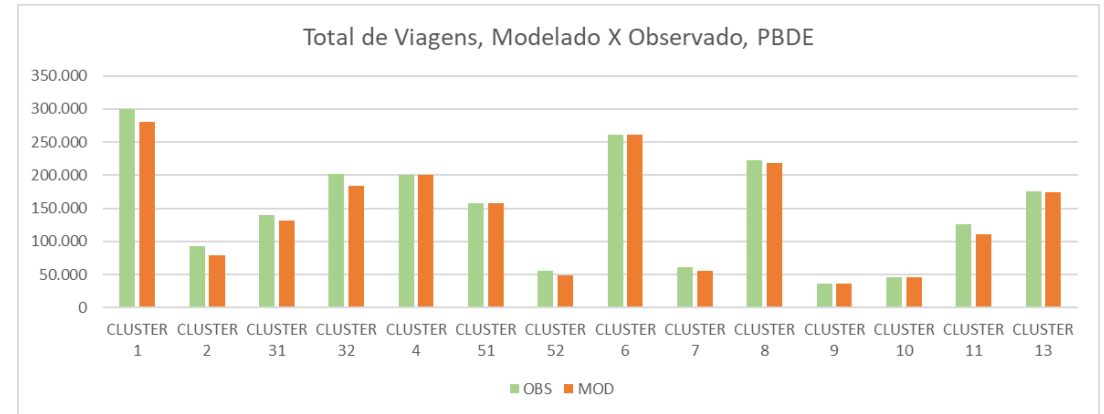
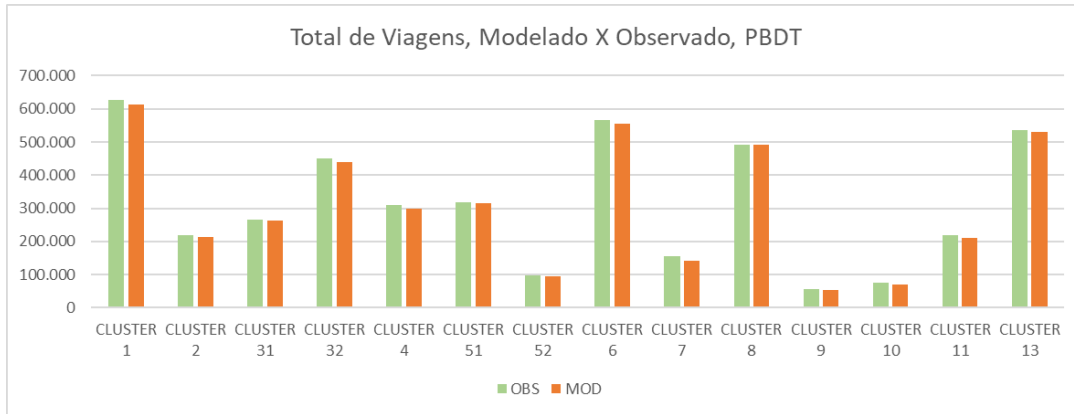
RESULTADOS POR MOTIVOS

Modelos de Produção	OBS	MOD	Diferença	Diferença %	Participação	
					OBS	MOD
PBDT	4.387.766	4.291.142	-96.625	-2,2%	59,3%	60,5%
PBDE	2.078.868	1.985.718	-93.150	-4,5%	28,1%	28,0%
PBDO	608.235	553.825	-54.410	-8,9%	8,2%	7,8%
PBND	326.878	258.597	-68.281	-20,9%	4,4%	3,6%
Total	7.401.746	7.089.281	-312.465	-4,2%		

Modelos de Atração	OBS	MOD	Diferença	Diferença %	Participação	
					OBS	MOD
ABDT	4.387.766	4.282.748	-105.018	-2,4%	59,3%	61,2%
ABDE	2.078.868	1.970.722	-108.145	-5,2%	28,1%	28,1%
ABDO	608.235	494.712	-113.523	-18,7%	8,2%	7,1%
ABND	323.341	253.873	-69.468	-21,5%	4,4%	3,6%
Total	7.398.210	7.002.055	-396.155	-5,4%		



RESULTADOS POR CLUSTERS



RESULTADOS DAS COMPARAÇÕES DE MODELOS

Modelos de produção com clusters

CLUSTERS	PRODUÇÃO		DESVIOS	DESVIOS EM MÓDULO	DESCRIÇÃO
	OBSERVADA	MODELADA	Desvio	Desvio em módulo	
CLUSTER 1	1.064.208,82	1.012.281,85	4,9%		4,9% ABC
CLUSTER 2	377.659,90	360.277,89	4,6%		4,6% Alto Tietê
CLUSTER 31	552.478,90	535.290,47	3,1%		3,1% Zona Leste, Divisão 1
CLUSTER 32	815.823,90	785.272,83	3,7%		3,7% Zona Leste, Divisão 2
CLUSTER 4	726.232,22	702.187,15	3,3%		3,3% Zona Norte
CLUSTER 51	613.321,34	592.522,42	3,4%		3,4% Centro, Divisão 1
CLUSTER 52	198.782,88	180.006,13	9,4%		9,4% Centro, Divisão 2
CLUSTER 6	1.060.009,69	1.023.098,55	3,5%		3,5% Zona Sul
CLUSTER 7	301.102,46	269.107,23	10,6%		10,6% Borda Norte
CLUSTER 8	853.778,34	823.155,97	3,6%		3,6% Zona Oeste
CLUSTER 9	110.791,19	108.510,76	2,1%		2,1% Residencial Alta Renda
CLUSTER 10	286.161,01	290.456,11	-1,5%		1,5% Borda Sudoeste
CLUSTER 11	441.395,56	407.113,64	7,8%		7,8% Guarulhos
TOTAL	7.401.746,22	7.089.281,01	4,2%		4,2%

Modelo de produção sem clusters aplicado em cada clusters

CLUSTERS	PRODUÇÃO		DESVIOS	DESVIOS EM MÓDULO	DESCRIÇÃO
	OBSERVADA	MODELADA	Desvio	Desvio em módulo	
CLUSTER 1	1.064.208,82	1.028.739,28	3,3%		3,3% ABC
CLUSTER 2	377.659,90	393.339,52	-4,2%		4,2% Alto Tietê
CLUSTER 31	552.478,90	487.318,38	11,8%		11,8% Zona Leste, Divisão 1
CLUSTER 32	815.823,90	750.425,02	8,0%		8,0% Zona Leste, Divisão 2
CLUSTER 4	726.232,22	632.854,92	12,9%		12,9% Zona Norte
CLUSTER 51	613.321,34	575.237,06	6,2%		6,2% Centro, Divisão 1
CLUSTER 52	198.782,88	187.146,65	5,9%		5,9% Centro, Divisão 2
CLUSTER 6	1.060.009,69	927.985,57	12,5%		12,5% Zona Sul
CLUSTER 7	301.102,46	291.199,97	3,3%		3,3% Borda Norte
CLUSTER 8	853.778,34	794.988,28	6,9%		6,9% Zona Oeste
CLUSTER 9	110.791,19	100.582,39	9,2%		9,2% Residencial Alta Renda
CLUSTER 10	286.161,01	247.413,46	13,5%		13,5% Borda Sudoeste
CLUSTER 11	441.395,56	437.399,08	0,9%		0,9% Guarulhos
TOTAL	7.401.746,22	6.854.629,59	7,4%		7,4%



RESULTADOS DAS COMPARAÇÕES DE MODELOS

Modelos de atração com clusters

CLUSTERS	PRODUÇÃO		DESVIOS	DESVIOS EM MÓDULO	DESCRIÇÃO
	OBSERVADA	MODELADA	Desvio	Desvio em módulo	
CLUSTER 1	903.328,40	822.030,61	-9,0%		9,0% ABC
CLUSTER 2	302.719,72	311.231,94	2,8%		2,8% Alto Tietê
CLUSTER 31	414.106,74	374.681,02	-9,5%		9,5% Zona Leste, Divisão 1
CLUSTER 32	389.358,29	406.332,37	4,4%		4,4% Zona Leste, Divisão 2
CLUSTER 4	484.959,86	451.223,44	-7,0%		7,0% Zona Norte
CLUSTER 51	1.334.428,48	1.364.367,51	2,2%		2,2% Centro, Divisão 1
CLUSTER 52	1.199.584,99	1.062.728,85	-11,4%		11,4% Centro, Divisão 2
CLUSTER 6	573.469,00	545.575,85	-4,9%		4,9% Zona Sul
CLUSTER 7	185.111,22	152.924,09	-17,4%		17,4% Borda Norte
CLUSTER 8	758.077,69	699.925,40	-7,7%		7,7% Zona Oeste
CLUSTER 9	209.739,12	200.528,62	-4,4%		4,4% Residencial Alta Renda
CLUSTER 10	227.740,03	217.382,15	-4,5%		4,5% Borda Sudoeste
CLUSTER 11	415.586,41	393.123,07	-5,4%		5,4% Guarulhos
TOTAL	7.398.209,94	7.002.054,93	-5,4%		5,4%

Modelo de atração sem clusters aplicado em cada clusters

CLUSTERS	PRODUÇÃO		DESVIOS	DESVIOS EM MÓDULO	DESCRIÇÃO
	OBSERVADA	MODELADA	Desvio	Desvio em módulo	
CLUSTER 1	903.328,40	809.205,93	-10,0%		10,0% ABC
CLUSTER 2	302.719,72	310.503,21	3,7%		3,7% Alto Tietê
CLUSTER 31	414.106,74	373.499,63	-10,2%		10,2% Zona Leste, Divisão 1
CLUSTER 32	389.358,29	433.101,56	10,3%		10,3% Zona Leste, Divisão 2
CLUSTER 4	484.959,86	415.902,74	-14,9%		14,9% Zona Norte
CLUSTER 51	1.334.428,48	920.204,53	-30,9%		30,9% Centro, Divisão 1
CLUSTER 52	1.199.584,99	754.197,64	-37,2%		37,2% Centro, Divisão 2
CLUSTER 6	573.469,00	577.691,41	-0,8%		0,8% Zona Sul
CLUSTER 7	185.111,22	185.506,36	0,3%		0,3% Borda Norte
CLUSTER 8	758.077,69	646.811,17	-13,9%		13,9% Zona Oeste
CLUSTER 9	209.739,12	129.975,49	-36,8%		36,8% Residencial Alta Renda
CLUSTER 10	227.740,03	206.589,89	-9,6%		9,6% Borda Sudoeste
CLUSTER 11	415.586,41	358.330,63	-14,1%		14,1% Guarulhos
TOTAL	7.398.209,94	6.121.520,20	-17,3%		17,3%



CONCLUSÕES

- Ganhos significativos ao considerar a heterogeneidade do espaço na previsão de viagens.
- Formulação mais robusta sob ponto de vista estatístico e de planejamento de transportes.
- Maior estabilidade dos modelos com *clusters*.
- Melhor poder explicativo dos modelos com *clusters*.
- Identificação das variáveis explicativas das viagens em cada localização na RMSP.
- Distribuição espacial dos desvios.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIELD, A. Descobrimdo a Estatistica Usando o SPSS. 2th. ed. [s.l.] Artmed Editora Ltda, 2009.

FÁVERO, L. P. et al. Análise de Dados - Modelagem Multivariada para Tomada de Decisões. 10. ed. São Paulo: Elsevier Ltd, 2009.

MAROCO, J. Analise estatistica com o SPSS Statistics. In: Analise e Gestao da Informacao. [s.l: s.n.]. p. 990.

ORTUZAR, J. DE D.; WILLUMSEN, L. G. Modelling Transport. 4th. ed. [s.l.] John Wiley and Sons, Ltd., 2011.



27^a SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO
AEAMESP
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ

14 a 17
setembro
2021

27ª SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA

TRILHOS PARA UM
FUTURO SUSTENTÁVEL

Novo Modelo de Geração de Viagens

Alexandre Frazão D' Andréa
José de França Bueno
Mário José Gil Telesi
Ana Carolina Theodoro Dantas
Alexandre Makoto Koga
José Alberto de Castro Rubira

REALIZAÇÃO

 **AEAMESP**
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ


8ª SEMANA
TECNOLOGIA &
DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS
ANP TRILHOS
CONSTITUÍDA EM 1978
CETU
CONSTITUÍDA EM 1973