

32^a

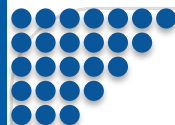
**SEMANA DE
TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA**

**[ANÁLISE
TOPOLOGICA DE
REDES
METROVIÁRIAS]**



Aryane L. A. Guimarães/ Edson Alves Cardoso Junior
Daniele Silva Marques/ Welber Souza

APRESENTAÇÃO DA EQUIPE



Aryane Lya



Engenheira Civil - FEI

MBA – Sistemas sobre trilhos – USP

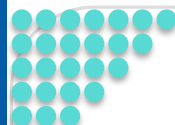
MBA – Gestão de Projetos - PUCRS

MBA – Metodologias ágeis (em curso –

PUCRS



Metroviária desde 2009 – Implantação de estações, túneis e poços de ventilação e gerenciamento de projetos.



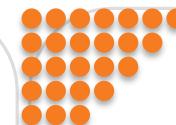
Edson A. Cardoso Jr.



Engenheiro Civil - IFSP



Metroviário desde 2014 – Gestão de empreendimentos de infraestrutura metroviária com experiência em projetos executivos, padronização de processos, normatização ISO e integração com planejamento, contratos e implantação dos empreendimentos.



Danielle Marques



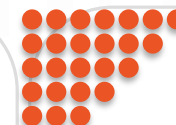
Engenheira Civil - IFSP

Especialista em Gestão de Projetos – FGV

Mestranda em Infraestrutura – ITA



Acompanhamento e fiscalização de obras de infraestrutura desde 2019
Consórcio ICCV – Fiscalização de obras de Infraestrutura e Verificação de Projetos.



Welber Souza



Engenheiro Civil - IFSP

Especialista em Gestão de Projetos – FGV

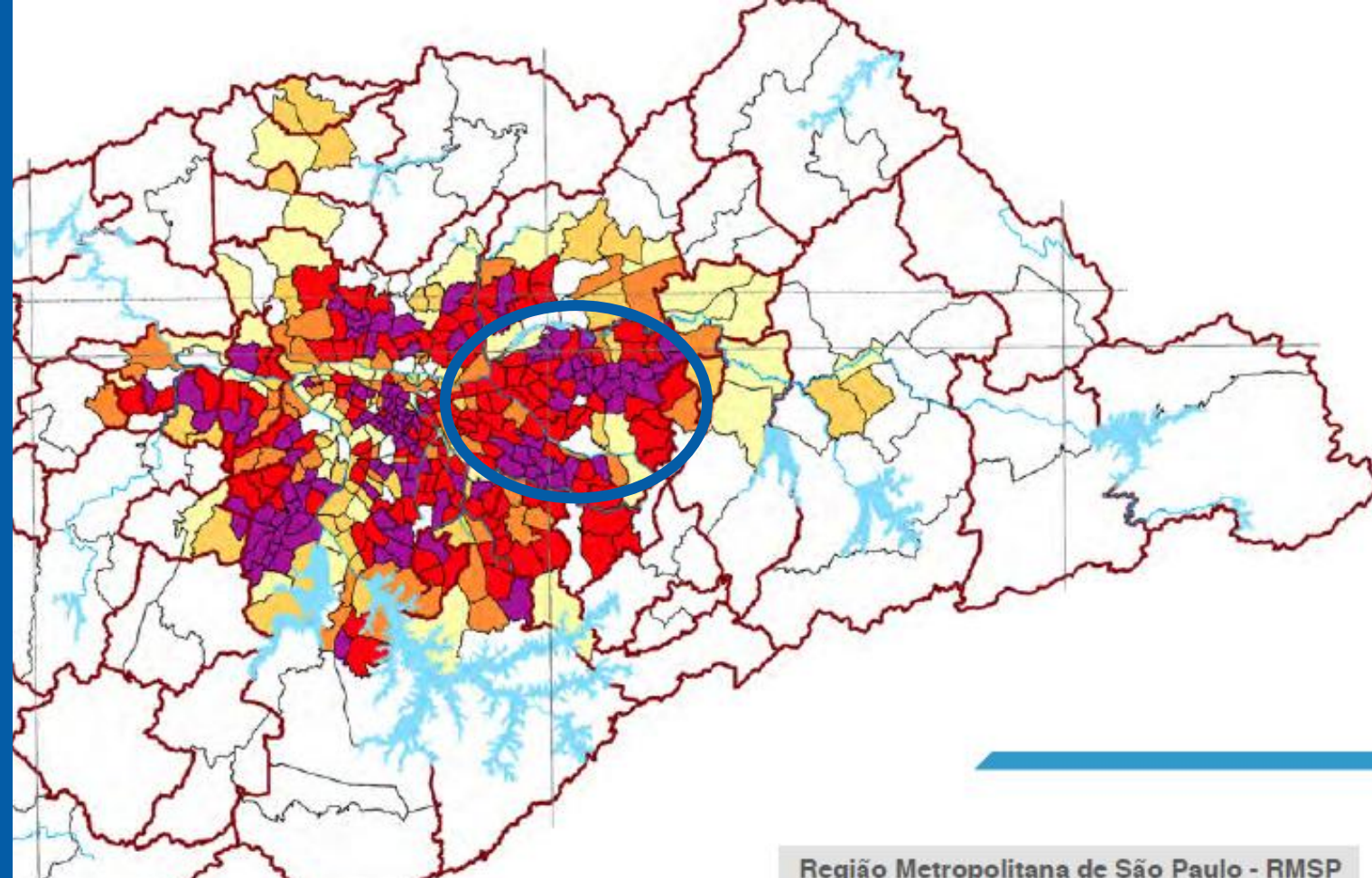
Mestrando em Estruturas – ITA



Ingenia Engenharia – Elaboração de projetos e gerenciamento de obras de infraestrutura metroviária desde 2011.

DENSIDADE POPULACIONAL E A DINÂMICA ATUAL DE DESLOCAMENTOS

A recuperação da mobilidade no pós-pandemia tem sido acompanhada por mudanças nos padrões de deslocamento, como maior flexibilidade nas viagens de trabalho, alterações na escolha modal e redistribuição temporal da demanda, aspectos relevantes ao planejamento e à expansão das redes de transporte.



Zona Leste	2017 (x 1.000)	2023 (x 1.000)
Viagens Originadas em Coletivo	691	674
Viagens Originadas em Individual	722	838
Viagens Internas em Coletivo	498	500
Viagens Internas em Individual	629	734
Total na RMSP de Viagens em Transporte Coletivo	15.295	12.264
Total na RMSP de Viagens em Transporte Individual	12.985	12.869

Região Metropolitana de São Paulo - RMSP

 Limite de município

**Densidade de população (habitantes/ha)
zonas OD 2023**

 Até 25

 25 a 50

 50 a 75

 75 a 100

 100 a 150

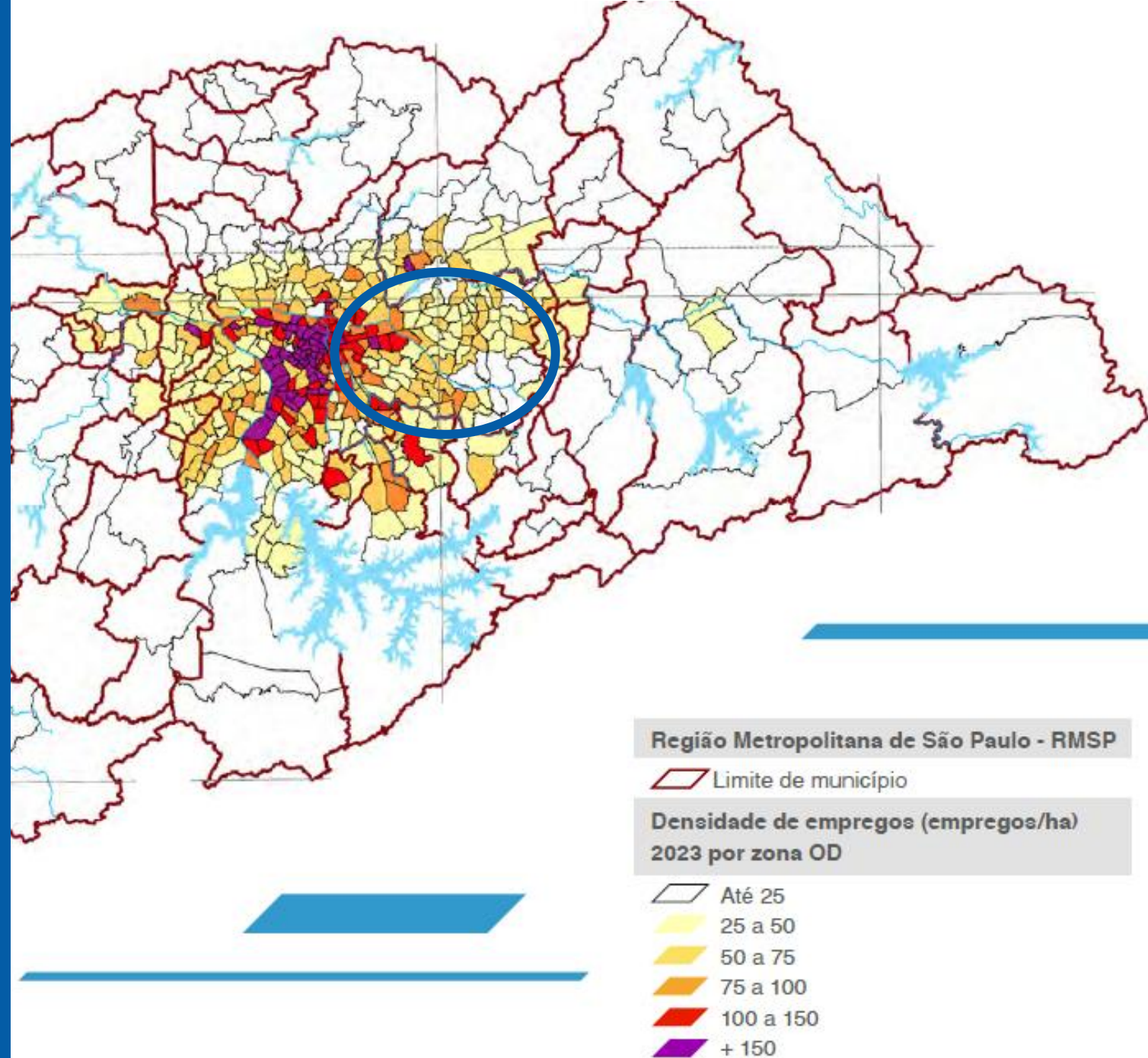
 + 150

DENSIDADE DE EMPREGOS

A comparação entre regiões demonstra que a Zona Leste reúne uma condição singular:

- elevada densidade populacional;
- grande volume de viagens;
- baixa participação do transporte coletivo.

Tal combinação caracteriza um cenário de alta prioridade para investimentos em infraestrutura de alta capacidade, especialmente sistemas metroferroviários.

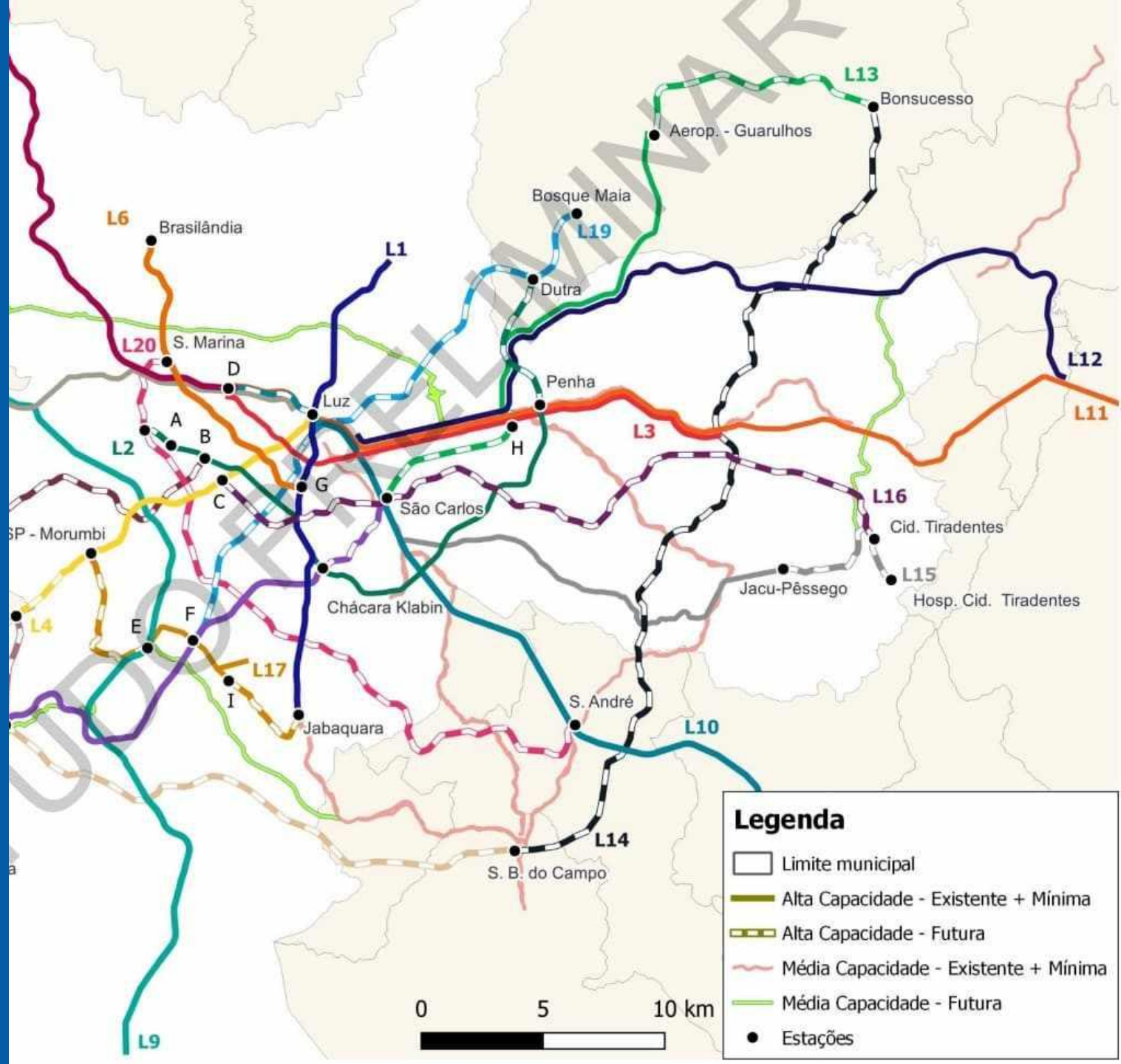


PITU 2040

Proposta é baseada em:

- Eixo estruturante central – Linha 16;
- Criação de alternativas para compor a rede – Extensão da Linha 2 e Extensão da Linha 15;
- Eixo transversal para consolidação da rede – Linha 14.

Rede Leste consolidada cria um conjunto complexo, robusto e equilibrado para atender de maneira perene a região.

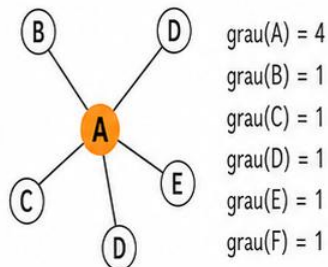


CONCEITOS

Fundamentação Teórica: Indicadores de Análise Topológica

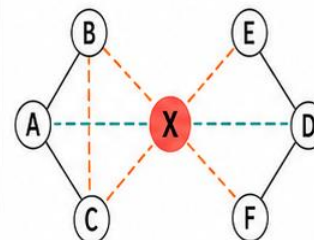
MEDIDAS DE REDES: CONCEITOS E REPRESENTAÇÕES

1 Centralidade de grau

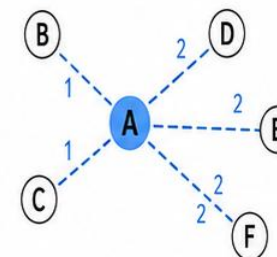


Número de conexões diretas de um nó. Identifica **concentração estrutural**.

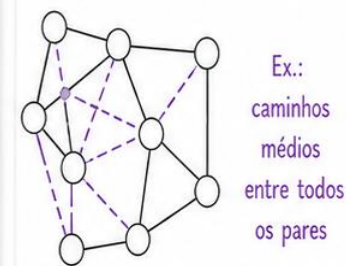
2 Centralidade de intermediação (betweenness)



3 Centralidade de proximidade (closeness)

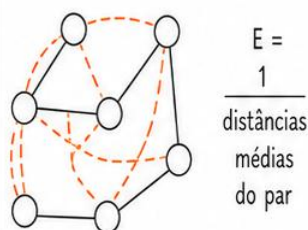


4 Comprimento característico



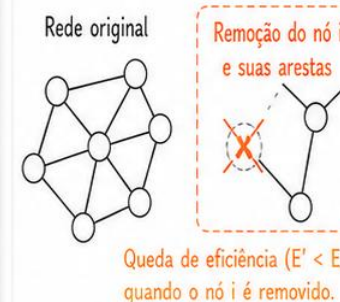
Propriedade global que reflete a **separação interna média** da rede.

5 Eficiência de rede (E)



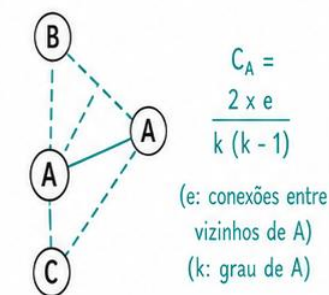
Mede o desempenho global de comunicação pelo **inverso das distâncias**.

6 Centralidade da Informação (Information centrality)



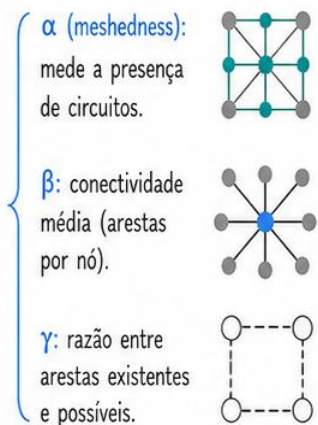
Quantifica a robustez pela queda relativa de eficiência ao remover o nó i e suas arestas, sendo o instrumento direto para **priorizar intervenções** e **avaliar vulnerabilidade**.

7 Coeficiente de Aglomeração (clustering)



Probabilidade de que dois **vizinhos** de um nó estejam também **conectados**.

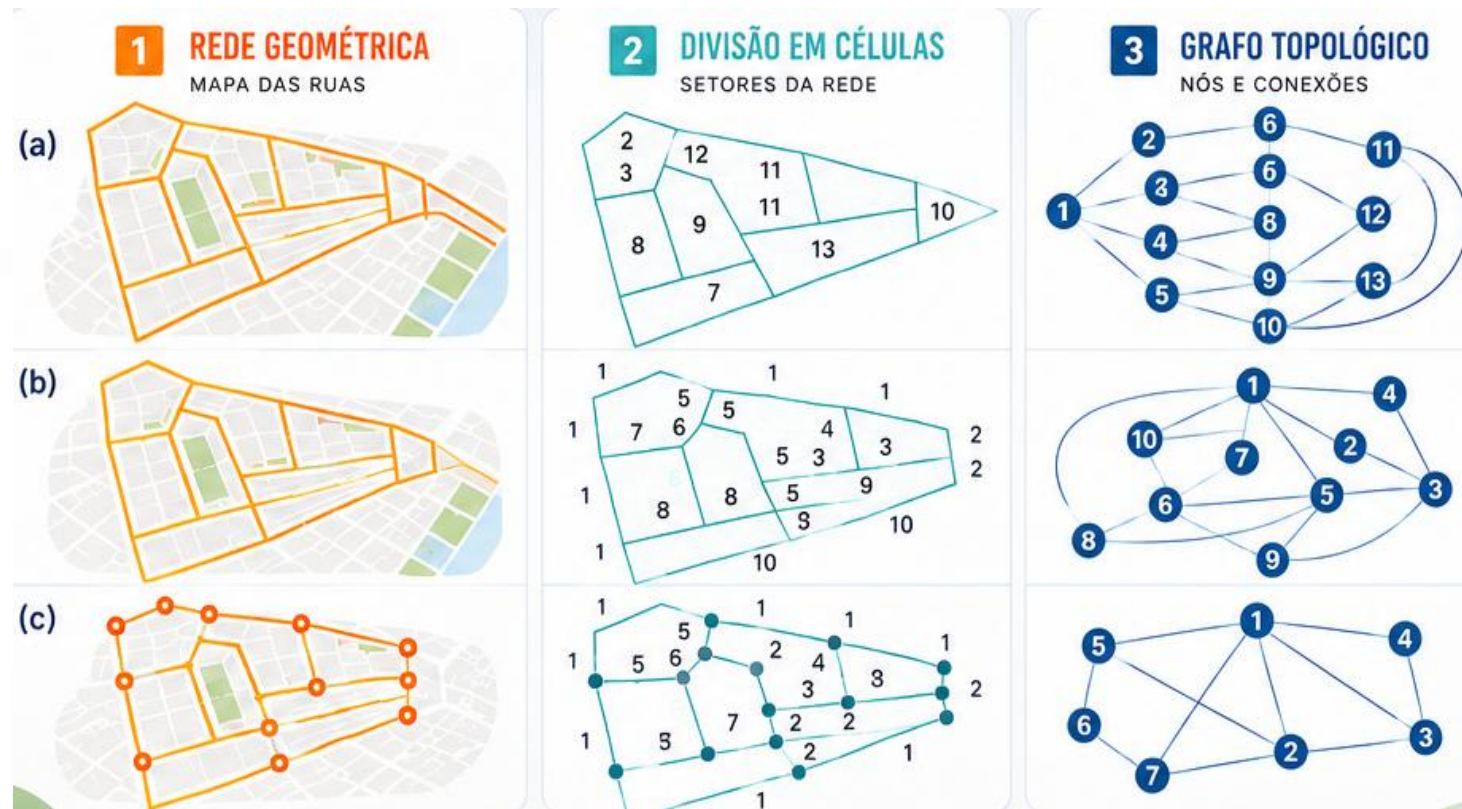
8 Índices de conectividade



LEGENDA: ○ Nós (estações) — Arestas (conexões) - - - Caminho mínimo 1 - - - Caminho mínimo 2 - - - Relação entre vizinhos

CONCEITOS

Fundamentação Teórica: Indicadores de Análise Topológica



DIFERENTES FORMAS, A MESMA REDE!

Esses modelos preservam a conectividade e permitem análises, simulações e aplicações diversas.



CENÁRIOS

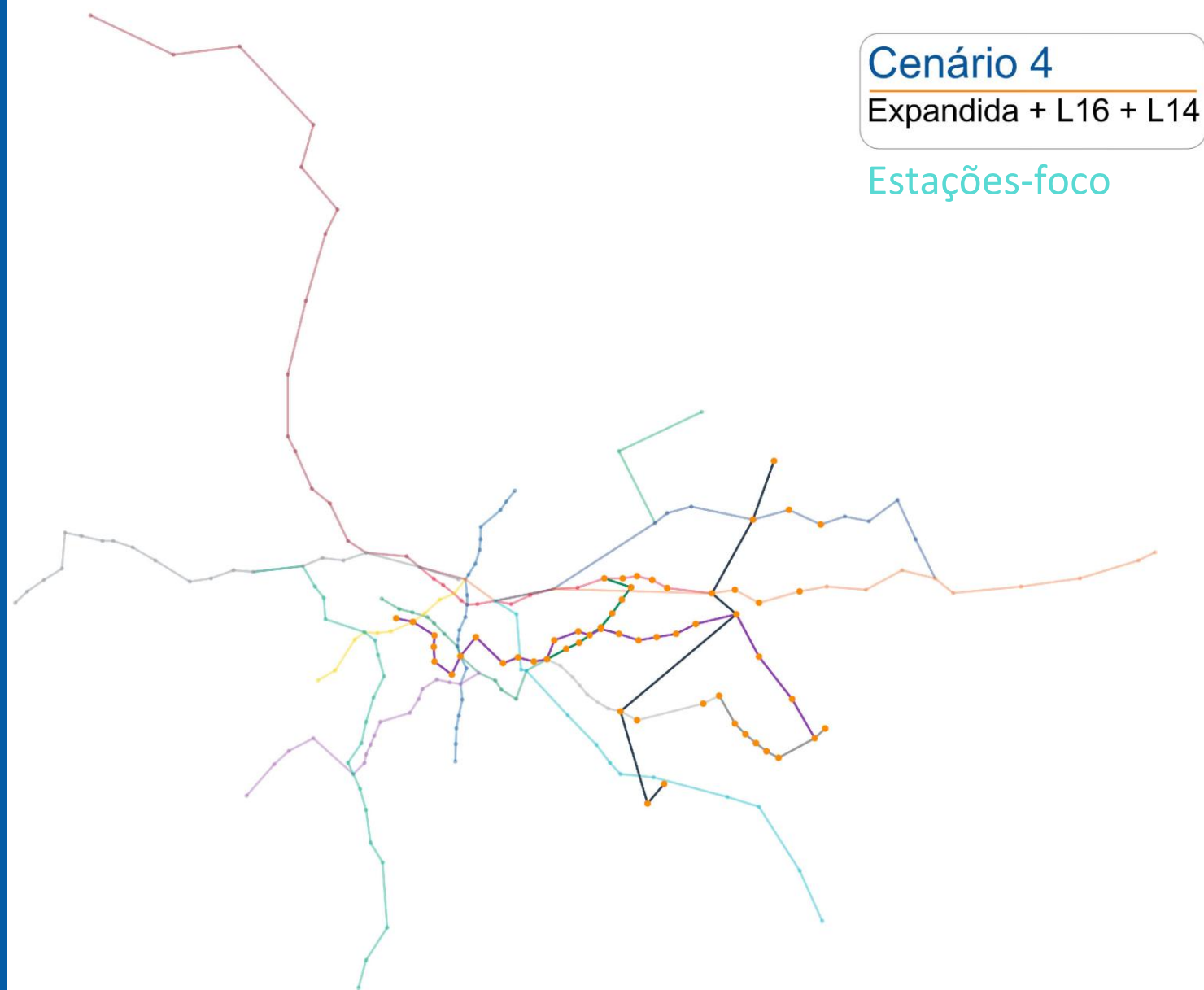
A análise é dividida em quatro cenários:

Cenário 1 – Rede atual em operação.

Cenário 2 – Atual + L16: inclusão da Linha 16.

Cenário 3 – Expandida + L16: rede atual acrescida da extensão da Linha 2 até a Penha e da extensão da Linha 15 até Cidade Tiradentes (rede expandida), com a Linha 16.

Cenário 4 – Expandida + L16 + L14: acréscimo da Linha 14, em traçado orbital no Leste.



ANÁLISE

Resultados da Modelagem Computacional

Indicadores Topológicos globais

Indicador	Atual	+L16	Exp.+L16	Exp.+L16+L14
Nós (N)	172	183	195	199
Arestas	182	194	209	215
Grau médio $\langle k \rangle$	2,116	2,120	2,144	2,161
Densidade	0,01238	0,01165	0,01105	0,01091
<i>Clustering</i> médio	0,00736	0,00692	0,00650	0,00637
L (saltos)	14,253	14,042	13,897	13,336
L (km)	27,096	26,572	26,527	26,440
L_P (transbordos)	2,561	2,593	2,556	2,541
Eficiência E (topológica)	0,1079	0,1079	0,1078	0,1117
Eficiência E (km)	0,06906	0,06978	0,06892	0,06814
Eficiência E (demanda)	0,05264	0,05202	0,05189	0,05120
α (<i>meshedness</i>)	0,0324	0,0332	0,0390	0,0433
β	1,0581	1,0601	1,0718	1,0804
γ	0,3569	0,3573	0,3610	0,3638

ANÁLISE

Centralidade da Informação das estações-foco nos quatro cenários. Valores maiores indicam maior criticidade (menor robustez). Os quatro primeiros nós da rede são pontos de interesse do sistema; os demais, da Zona Leste.

Centralidade de informação das estações-foco nos quatro cenários

Estação	Atual	+L16	Exp.+L16	Exp.+L16+L14
<i>Pontos de interesse do sistema</i>				
Brás	0,184	0,172	0,057	0,055
Luz	0,102	0,095	0,088	0,087
Sé	0,089	0,059	0,051	0,050
Ana Rosa	0,058	0,140	0,085	0,082
<i>Zona Leste</i>				
Tatuapé	0,142	0,134	0,041	0,030
Tamanduateí	0,137	0,129	0,081	0,081
Vila Prudente	0,076	0,072	0,061	0,053
Oscar Freire	0,031	0,054	0,049	0,048
Sapopemba	0,019	0,018	0,014	0,028
Corinthians-Itaquera	0,012	0,011	0,012	0,020
Penha	0,010	0,009	0,019	0,017
São Miguel Paulista	0,003	0,002	0,002	0,010
São Mateus	0,002	0,001	0,005	0,006
Artur Alvim	−0,000	−0,000	0,002	0,003
Analia Franco	NA	0,008	0,024	0,022
Cidade Tiradentes	NA	−0,007	0,001	0,001
Jardim Colonial	−0,005	−0,005	0,003	0,005

ANÁLISE

Centralidade de intermediação (ponderada por distância) das estações-foco nos quatro cenários.

Centralidade de intermediação das Estações-Foco nos quatro cenários

Estação	Atual	+L16	Exp.+L16	Exp.+L16+L14
<i>Pontos de interesse do sistema</i>				
Brás	12.532	12.686	13.186	13.410
Sé	10.012	9.400	9.070	9.356
Luz	6.738	6.914	8.156	8.500
Ana Rosa	6.134	10.714	10.100	10.330
<i>Zona Leste</i>				
Tamanduateí	6.478	6.968	9.656	9.966
Tatuapé	8.850	9.532	8.986	8.754
Vila Prudente	3.220	3.440	7.640	7.724
Corinthians-Itaquera	3.596	3.860	4.254	5.560
Oscar Freire	3.182	5.116	5.392	5.516
Sapopemba	1.008	1.074	3.314	4.564
Penha	1.238	1.326	3.430	3.108
Analia Franco	NA	720	3.122	2.850
São Miguel Paulista	1.880	2.012	2.050	2.746
São Mateus	340	362	2.610	2.790
Cidade Tiradentes	NA	0	448	424
Artur Alvim	150	150	1.400	1.396
Jardim Colonial	0	0	2.252	2.424

CONCLUSÃO

Sob a perspectiva deste trabalho, o fortalecimento da malha metroviária na Zona Leste contribui para reduzir desigualdades de acesso historicamente associadas à configuração urbana do município.

 **REDUÇÃO DE
SOBRÉCARGA E GARGALOS**

ATÉ
79%
**DE REDUÇÃO NA
CRITICIDADE DOS
GARGALOS**



**MAIS CONECTIVIDADE
PARA OS BAIRROS PERIFÉRICOS.**



Cidade
Tiradentes



Guaianases



Itaquera



São Miguel
Paulista

**ESTAÇÕES QUE ANTES ERAM
TERMINAIS, AGORA SÃO NÓS
DE PASSAGEM INTEGRADOS.**



Penha



Vila Prudente



São Mateus



Sapopemba



**MÚLTIPLAS
ALTERNATIVAS
DE DESLOCAMENTO,
ALÉM DO EIXO
RADIAL SATURADO.**

**MENOS DEPENDÊNCIA
DE PONTOS CONCENTRADORES.**

MODELO RADIAL
CONCENTRADO



MALHA TOPOLÓGICA
DISTRIBUÍDA



O Brás continua estratégico, porém a malha
perde a dependência exclusiva do nó central,
distribuindo resiliência por toda a rede.

**A OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA
DE REDES DE TRANSPORTE
PROMOVE MAIS CONECTIVIDADE
TERRITORIAL, ACESSIBILIDADE
E INTEGRAÇÃO URBANA.**



 **ROTAS
ALTERNATIVAS**

 **ACESSIBILIDADE**

 **REDE
RESILIENTE**

REFERÊNCIAS

Apresentação das referências textuais e de figuras utilizadas.

LIN, J.; BAN, Y. Complex Network Topology of Transportation Systems. *Transport Reviews*, v. 33, n. 6, p. 658–685, 2013.

SHIRAI, O.; MOTA, C. I. et al. Complex Network Analysis: Mexico's City Metro System. In: *Proc. European Modeling and Simulation Symposium (EMSS)*, 2019.

LATORA, V.; MARCHIORI, M. Efficient Behavior of Small-World Networks. *Physical Review Letters*, v. 87, n. 19, 198701, 2001.

LATORA, V.; MARCHIORI, M. A measure of centrality based on network efficiency. *New Journal of Physics*, v. 9, 188, 2007.

FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*, v. 40, n. 1, p. 35–41, 1977.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, v. 393, p. 440–442, 1998.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. *Physical Review E*, v. 73, 036125, 2006.

BARTHÉLEMY, M. Spatial networks. *Physics Reports*, v. 499, n. 1–3, p. 1–101, 2011. [9] DERRIBLE, S.; KENNEDY, C. The complexity and robustness of metro networks. *Physica A*, v. 389, n. 17, p. 3678–3691, 2010.

SEN, P. et al. Small-world properties of the Indian railway network. *Physical Review E*, v. 67, 036106, 2003.

BOCCALETTI, S. et al. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, v. 424, n. 4–5, p. 175–308, 2006.

RODRIGUE, J.-P. *The Geography of Transport Systems*. 5. ed. New York: Routledge, 2020.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (METRÔ-SP). *Pesquisa Origem-Destino 2023 da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 2023.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (METRÔ-SP). *Mapa da rede metroviária*. São Paulo, 2026. Disponível em: metro.sp.gov.br.

Imagens ilustrativas geradas por inteligência artificial (OpenAI — ChatGPT), a partir de prompts elaborados pelos autores, 2026

Grafos dos cenários e tabelas elaborados pelos autores, 2026

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

OBRIGADO(A)!

Aryane L. A. Guimarães | alaguimaraes@metrosp.com.br

Edson A. Cardoso Jr. | edson.cardoso@metrosp.com.br

Daniele Silva Marques | danielle@ita.br

Welber Simões de Souza | welber@ita.br



13ª Edição
Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP **TRILHOS**
Associação Nacional dos Transportadores
de Passageiros sobre Trilhos

TIC **TRENS**

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