

Padrões de Mobilidade em São Paulo: Uma Abordagem Baseada em Redes Complexas e Dados de Bilhetagem

Magdiel B. Izidoro¹ Abimael R. Sergio² Pedro Henrique T. Schimit³

Programa de Pós-Grad. em Informática e Gestão do Conhec., Univ. Nove de Julho, São Paulo - SP

A compreensão da mobilidade humana desempenha um papel fundamental em diversas áreas do conhecimento, permitindo a análise de padrões de deslocamento tanto em nível individual quanto coletivo. Nos últimos anos, o avanço na coleta de dados georreferenciados sobre movimentação tem possibilitado uma abordagem quantitativa mais precisa, facilitando o desenvolvimento de modelos capazes de reproduzir as estruturas espaço-temporais dos trajetos humanos [2, 3].

Uma área de estudo relevante neste contexto é a rede de transporte público. Tradicionalmente, as redes de transporte de modo único têm sido analisadas usando camadas monomodo. Exemplos incluem redes de metrô em cidades como Pequim, Boston, Londres, Montreal, Paris e Seul; redes de ônibus na China e na Polônia; redes ferroviárias em Boston, Viena e na Índia; e redes de transporte público combinadas em 14 cidades ao redor do mundo [2, 3].

Neste artigo, propõe-se uma metodologia para mapear o deslocamento por trilhos dentro da cidade de São Paulo, formatando os dados em um grafo, ou uma rede complexa. Os dados usados foram extraídos do sistema de bilhetagem eletrônica da Autopass [1], empresa responsável pela gestão da bilhetagem no sistema de transporte público metropolitano da Grande São Paulo. Esse sistema abrange diferentes modais de transporte, incluindo o Metrô, CPTM e os ônibus intermunicipais gerenciados pela EMTU. Os dados analisados referem-se aos registros de validação dos cartões de transporte TOP, utilizados pelos passageiros para acessar o sistema, possibilitando a análise dos padrões de mobilidade urbana. Esses registros contêm informações anonimizadas sobre os embarques, garantindo a privacidade dos usuários. Além disso, os dados são usados exclusivamente para fins de pesquisa, sem permitir a identificação individual dos passageiros. Ressalta-se que esses dados não são públicos.

Dessa forma, a rede é montada da seguinte forma: Bairros de São Paulo que têm uma estação de metrô ou trem são considerados nós da rede. São Paulo tem 96 bairros e 142 estações de metrô e trem. Se um usuário da rede de transportes embarca em um bairro x na primeira metade do dia, e embarca em outro bairro y na segunda metade do dia, considera-se que é um trajeto de locomoção de ida e volta e uma aresta sem peso conecta esses bairros. Essa aproximação é necessária, já que o sistema não registra o desembarque do passageiro. Essa rede pode ser montada de acordo com um período específico.

As métricas utilizadas para a análise da estrutura da rede de transporte incluem o **caminho médio** (ℓ), que representa a distância média entre dois nós na rede, e a **densidade** (ρ), que mede a conectividade da rede ao calcular a proporção entre o número de conexões existentes e o total possível. Além disso, considera-se o **diâmetro** (D), definido como a maior distância entre quaisquer dois nós da rede, e o **coeficiente de agregação** (C), que mede quão conectados estão os nós vizinhos de cada nó. Por fim, o **grau médio** (\bar{k}) indica a média do número de conexões por nó na rede [4].

As Figuras 1 e 2 apresentam as redes para dois períodos distintos: 6 a 8 de abril de 2024 (situação normal) e 29 a 31 de dezembro de 2024 (período de férias). A primeira rede apresenta

¹magdiel.izidoro@uni9.edu.br

²Abimael.sergio@uni9.edu.br

³schimit@alumni.usp.br

as métricas $\ell = 2,7980$, $\rho = 0,9693$, $D = 2$, $C = 0,9732$, $\bar{k} = 51,3704$, enquanto a segunda possui $\ell = 1,8414$, $\rho = 0,7834$, $D = 2$, $C = 0,8491$, $\bar{k} = 41,5185$. Como esperado, a densidade, o grau médio e o coeficiente de agregação diminuem no período de menor uso da rede. No entanto, um resultado curioso é a redução também do caminho médio.

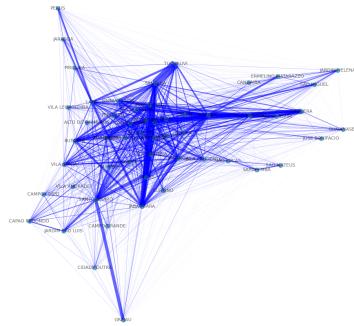


Figura 1: Estrutura da rede de transporte no período de 6 a 8 de abril de 2024.

$$\ell = 2,7980, \rho = 0,9693, D = 2, C = 0,9732, \bar{k} = 51,3704.$$

Fonte: autoria própria.

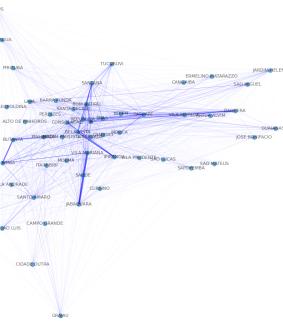


Figura 2: Estrutura da rede de transporte no período de 29 a 31 de dezembro de 2024.

$$\ell = 1,8414, \rho = 0,7834, D = 2, C = 0,8491, \bar{k} = 41,5185.$$

Fonte: autoria própria.

Essa metodologia será usada para comparar diferentes redes em diferentes momentos de uso do transporte sobre trilhos da cidade de São Paulo. No resultado preliminar obtido, percebe-se que a rede no período das férias, com um caminho médio menor, tem uma característica de conexão entre bairros mais distribuída, enquanto que a rede em um período sem férias, apesar de ter mais conexões, mostra bairros mais distantes entre si na rede.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Autopass pelo acesso aos dados. PHTS tem suporte para pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - #421779/2022-5, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - #2022/16196-0. MBI e ARS têm bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - #88887.983720/2024-00 e 88887.940868/2024-00.

Referências

- [1] Autopass. **Página Oficial da Autopass**. Acesso em: 14 mar. 2025. URL: <https://www.autopass.com.br>.
 - [2] H. Barbosa, M. Barthelemy, G. Ghoshal, C. R. James, M. Lenormand, T. Louail, R. Menezes, J. J. Ramasco, F. Simini e M. Tomasini. **Human mobility: Models and applications**. Mar. de 2018. DOI: [10.1016/j.physrep.2018.01.001](https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.01.001).
 - [3] A. Noulas, S. Scellato, R. Lambiotte, M. Pontil e C. Mascolo. “A tale of many cities: Universal patterns in human urban mobility”. Em: **PLoS ONE** 7 (5 2012). DOI: [10.1371/journal.pone.0037027](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037027).
 - [4] P. H. T. Schimit e F. H. Pereira. “Disease spreading in complex networks: A numerical study with Principal Component Analysis”. Em: **Expert Systems with Applications** 97 (mai. de 2018), pp. 41–50. ISSN: 09574174. DOI: [10.1016/j.eswa.2017.12.021](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.12.021).