

Rampas e bicicletas: estimativa das centralidades dos segmentos viários de um bairro de São Carlos-SP, Brasil

Road slopes and bicycles: estimating centralities of road segments in a neighborhood of São Carlos-SP, Brazil

Marcelo Monari(1); Gabriella Mie Hanada Kodama(2); Thais de Cassia Martinelli Guerreiro(3)

1 Doutor em Engenharia de Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar), São Carlos-SP, Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5562-3235>. E-mail: marcelo.monari@ufscar.br

2 Estudante de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos-SP, Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7863-7405>. E-mail: gabriella.kodama@estudante.ufscar.br

3 Doutora em Engenharia de Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar), São Carlos-SP, Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5795-8875>. E-mail: tcmguerreiro@ufscar.br

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 13, n. 2, p. 102-115, julho-dezembro, 2024 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2024.v13i2.5135>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

A produção de subsídios técnicos é uma das demandas mais prementes à elaboração de Planos de Mobilidade Urbana no Brasil. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é propor, aplicar e comparar duas abordagens para mensurar a centralidade de segmentos viários da rede ciclável, isto é, a potencial importância relativa de cada *link* da rede com relação ao transporte por bicicleta. Na primeira abordagem, propôs-se desconsiderar as condições topográficas do relevo da área de estudo, sendo os próprios comprimentos reais dos *links* da rede utilizados como impedâncias no algoritmo de identificação de rotas cicláveis. Já na segunda abordagem, optou-se pela atribuição de impedâncias de acordo com Taxas Marginais de Substituição associadas às declividades médias dos *links* da rede, sendo os comprimentos reais convertidos em comprimentos cicláveis equivalentes. O estudo de caso foi conduzido no bairro Cidade Jardim (São Carlos-SP, Brasil), que possui algumas vias com declividades bastante íngremes e cujo uso do solo é predominantemente residencial, apresentando-se como um interessante local para aplicação do método. O geoprocessamento de informações espaciais foi realizado com o *software* QGIS e as seguintes fontes abertas foram utilizadas para obtenção de dados do estudo de caso: *OpenStreetMap*, para dados do sistema viário; repositório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para dados preliminares do último Censo Demográfico Nacional; e Modelo Digital de Elevação derivado da *Shuttle Radar Topography Mission*, para dados altimétricos. Além disso, 118 Polos Geradores de Viagens foram georreferenciados e classificados por meio de levantamentos de campo. Os resultados permitiram poderosas e descomplicadas comparações visuais e numéricas entre as abordagens propostas, podendo-se verificar, em cada etapa, os distintos segmentos viários que devem ser priorizados em projetos cicloviários pontuais. Na primeira abordagem, nota-se uma contribuição máxima de quase 23% de um dos segmentos viários que compõem a Av. das Gardêneas; já na segunda, nota-se uma contribuição máxima de mais de 29% de um dos segmentos viários que compõem a Alameda dos Crisântemos. Apesar disso, comparando-se as centralidades homólogas por meio do teste de Wilcoxon para amostras pareadas, especula-se que não há diferença significativa entre os correspondentes índices de centralidade mensurados por cada critério.

Palavras-chave: Mobilidade urbana; Bicicletas; Rampas; Centralidades.

Abstract

The production of technical subsidies is one of the most pressing demands for the preparation of Urban Mobility Plans in Brazil. In this context, the objective of this paper is to propose, apply and compare two approaches to measure the centrality of road segments in the cycling network, that is, the potential relative importance of each link in the network in relation to bicycle transport. In the first approach, it was proposed to disregard the topographic conditions of the relief of the study area, using the actual lengths of the network links as impedances in the algorithm for identifying cycling routes. In the second approach, in turn, impedances were assigned according to Marginal Rates of Substitution associated with the average slopes of the network links, with the actual lengths converted into equivalent cycling lengths. The case study was conducted in the Cidade Jardim neighborhood (São Carlos-SP, Brazil), which has some roads with steep slopes and whose land use is predominantly residential, presenting itself as an interesting location for the application of the method. The geoprocessing of spatial information was performed using QGIS software and the following open sources were used to obtain case study data: *OpenStreetMap*, for road system data; repository of the Brazilian Institute of Geography and Statistics, for preliminary data from

the last Brazilian National Demographic Census; and Digital Elevation Model derived from the Shuttle Radar Topography Mission, for altimetric data. Furthermore, 118 Trip Attractors were georeferenced and classified through field surveys. The results allowed powerful and easy visual and numerical comparisons between the proposed approaches, suggesting, at each stage, the different road segments that should be prioritized in specific cycling projects. In the first approach, a maximum contribution of almost 23% is noted from one of the links that make up Gardênias Avenue; in the second, there is a maximum contribution of more than 29% from one of the links that make up Crisântemos Lane. However, comparing homologous centralities using the Wilcoxon test for paired samples, it is speculated that there is no significant difference between the corresponding centrality indices measured by each criterion.

Keywords: Urban mobility; Bicycles; Road slopes; Centralities.

1 Introdução

No Brasil, a elaboração de Planos de Mobilidade Urbana (PlanMob) pelos municípios com população superior a 20 mil habitantes é exigida legalmente há mais de uma década. Em suma, a Política Nacional de Mobilidade Urbana – PNMU (Lei Federal nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, alterada pelas Leis nº 14.000, 19 de maio de 2020, e nº 14.748, de 5 de dezembro de 2023), dentre outros princípios, estabelece o favorecimento dos modos ativos e coletivos de transporte em detrimento do transporte motorizado individual (BRASIL, 2012).

Inobstante à exigência legal, levantamentos recentes sobre a situação dos PlanMob no Brasil indicam que apenas 15% dos municípios que são obrigados a elaborar o plano de fato o fizeram (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2024), sugerindo, por um lado, uma certa omissão dos órgãos aos quais compete pressionar e supervisionar tais municípios; e por outro, uma carência de subsídios técnicos que facilitem a adesão deles à PNMU.

O planejamento da mobilidade urbana é algo complexo e que dificilmente pode se basear em diretrizes genéricas. Isso se deve, sobretudo, aos diferentes processos de urbanização de cada município, que englobam a inserção desses na rede de cidades (municípios isolados, polos regionais ou pertencentes às regiões metropolitanas); suas características específicas (cidades industriais, turísticas, históricas, “dormitório” etc.); os aspectos socioeconômicos de sua população (idade, gênero, renda etc.), entre outros (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015). Não diferentemente, as características morfológicas e urbanas de cada cidade também são intervenientes no processo de planejamento da mobilidade, a saber: traçados viários, existência de barreiras naturais ou artificiais, localização em regiões ambientalmente sensíveis e, no que tange ao transporte ativo, em particular, a topografia do relevo.

Diante das informações apresentadas e entendendo que o planejamento da mobilidade urbana deve explorar as potencialidades locais e desenvolver medidas para minimizar os impactos negativos, o objetivo do presente trabalho é propor,

aplicar e comparar duas abordagens distintas para mensurar a importância relativa (centralidade) de segmentos viários da rede ciclável: i) sem considerar as características topográficas do relevo; e ii) considerando as diferentes taxas de declividade entre os segmentos viários para conversão dos respectivos comprimentos reais em *comprimentos cicláveis equivalentes*, uniformizando trechos viários percorridos sob diferentes condições geométricas e operacionais. Nesse contexto, a seguinte pergunta é formulada para a pesquisa: existem diferenças entre os segmentos viários de maior importância à rede quando avaliados com e sem considerar as condições topográficas do relevo?

Para a aplicação de ambas as abordagens em um estudo de caso, foi selecionado o bairro Cidade Jardim da cidade de São Carlos-SP, Brasil, que possui algumas vias com declividades bastante íngremes e cujo uso do solo é predominantemente residencial. Ademais, devido à proximidade do bairro em questão com os campi da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), especula-se que grande parte de seus moradores sejam estudantes, que normalmente não dispõem de automóveis e, por isso, possuem uma maior dependência do transporte ativo (a pé e por bicicleta) em suas viagens cotidianas.

2 Referencial Teórico

O planejamento de sistemas sustentáveis de transporte já vigora em diversas cidades europeias, norte-americanas, australianas e canadenses há mais de três décadas, nas quais a provisão de tipologias como ciclofaixas, ciclovias e rotas cicláveis escala para o conceito de redes cicloviárias, contrapondo-se à inserção de infraestruturas isoladas (BUEHLER; DILL, 2016). Normalmente, as redes cicloviárias possuem como principal atributo a conectividade, que pode ser associada à integração física entre os trajetos, à densidade de interseções ou, ainda, à manutenção da qualidade operacional ao longo das rotas que a compõem (MORAN *et al.*, 2018). Entretanto, outros atributos são igualmente importantes no planejamento de tais redes, como a integração com o transporte público (ZUO; WEI, 2019) e sua “cobertura” tanto com relação à demanda por ciclismo (OSPINA *et al.*, 2022) quanto aos Polos Geradores de Viagem (PGVs) por bicicleta.

A facilidade em se atingir destinos de viagem é classicamente definida na literatura técnica como acessibilidade (HANSEN, 1959). À medida que mais PGVs tornam-se acessíveis, mais o ciclismo é encorajado, o que é especialmente observado em regiões caracterizadas pela diversidade de uso do solo (MELLO; PORTUGAL, 2017). Esse mesmo raciocínio também baliza alguns dos princípios do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável – DOTS (ou TOD, do original, em inglês, *Transit-Oriented Development Standard*), uma ferramenta amplamente utilizada no contexto

internacional para mitigar os problemas decorrentes do espraiamento das cidades e que, dentre outras coisas, almeja misturar os usos do solo e os indivíduos de diferentes faixas demográficas e de renda, além de adensar e compactar os espaços urbanos (ITDP, 2017).

Ainda diante da definição de acessibilidade, os princípios do DOTS são perfeitamente alinhados com o conceito da “vizinhança de x minutos” (*x-minute neighbourhood*), que, embora não tão recente, foi trazido à tona com a pandemia do COVID-19, a qual expôs a vulnerabilidade do modelo de planejamento urbano vigente em cidades ao redor do mundo, sobretudo de países emergentes. Em suma, em uma “vizinhança de x minutos”, entende-se que os residentes podem atingir um conjunto completo de destinos usuais de viagem, em até x minutos, utilizando o transporte ativo (MORENO *et al.*, 2021).

Apesar da “perfeita sintonia” supracitada, muitas limitações podem ser elencadas no que diz respeito à aplicação direta do DOTS para a definição de redes cicloviárias, sendo a principal delas o critério um tanto quanto inflexível para a escolha da tipologia cicloviária mais adequada, baseado meramente na hierarquia funcional da via (ITDP, 2017) e, com isso, desconsiderando aspectos importantes como a disponibilidade de espaço e as rampas.

Restrições de utilização também podem ser endereçadas à teoria da “vizinhança de x minutos”: apesar de diversos autores da literatura terem tentado equacionar a acessibilidade de ciclistas, poucos deles se beneficiaram da suposta teoria para tal, não havendo ainda, de fato, uma sistematização do processo (KAMRUZZAMAN, 2022). Entretanto, dois determinantes metodológicos foram identificados por Lu e Diab (2023) nas cidades norte-americanas e australianas que aplicaram o conceito, sugerindo uma operacionalização do processo: i) adoção de um valor-limite para o raio de ação de pedestres e ciclistas; e ii) ponderação das distintas categorias de PGVs.

O tempo e/ou distância de pedalada é inversamente proporcional à acessibilidade de ciclistas. Embora não haja um consenso sobre o valor-limite para o raio de ação da bicicleta, pois esse parâmetro varia em função do condicionamento físico e da idade de cada indivíduo, a literatura sugere valores entre 3 e 8 km (GEIPOT, 2001; MCDANIEL; LOWRY; DIXON, 2014). Inobstante a isso, entende-se que os ciclistas buscam, sempre que possível, desviar de segmentos viários com condições precárias de segurança e conforto (HOOD; SALL; CHARLTON, 2011), como aqueles que apresentam aclives íngremes e, por isso, demandam um grande despendimento de energia ao serem trafegados.

Com base nas premissas acima, vários autores voltaram seus esforços para incluir as condições topográficas do relevo como uma variável quantitativa na mensuração da acessibilidade de ciclistas e na estimativa da centralidade de segmentos viários, no último caso, entendida como a contribuição desses segmentos às rotas identificadas

entre todos os pares origem-destino de interesse (BRANDES, 2008). Lowry, Furth e Hadden-Loh (2016), por exemplo, identificaram regiões de Seattle (EUA) com acessibilidade cicloviária precária e, para isso, ampararam-se em Taxas Marginais de Substituição (TMS) propostas por Broach, Dill e Gliebe (2012), isto é, considerando que os ciclistas se dispõem a trafegar até 37,1% a mais para desviarem de aclives entre 2% e 4%; 120,3% a mais para desviarem de aclives entre 4% e 6%; e 323,9% a mais para desviarem de aclives superiores a 6%. Já Monari *et al.* (2024) utilizaram a taxa de declividade de segmentos viários de Bariri-SP como um dos critérios para a classificação do nível de estresse de ciclistas, traduzido, em seguida, como a impedância de segmentos viários no cômputo de suas correspondentes centralidades.

3 Método

Nesta seção, apresenta-se o método da pesquisa e os dados do estudo de caso. O *software* QGIS 3.34.6, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) gratuito, foi utilizado em todas as etapas.

3.1 Identificação de rotas cicláveis

A identificação de uma rota ciclável normalmente é conduzida utilizando-se o algoritmo de Dijkstra (1959), que, baseado na teoria dos grafos, busca minimizar o somatório das impedâncias (associadas aos segmentos viários) entre o par origem-destino de interesse. Neste trabalho, as respectivas estratégias para atribuição de impedâncias (r) nas duas abordagens utilizadas são apresentadas pelas Equações (1) e (2) a seguir.

$$r_{\text{dist},e} = L_e \quad (1)$$

$$r_{\text{rampa},e} = L_e * f_{\text{eq},e} \quad (2)$$

Em que $r_{\text{dist},e}$ é a impedância do segmento viário e baseada no critério da distância (abordagem 1); $r_{\text{rampa},e}$ é a impedância do segmento viário e baseada no critério da rampa (abordagem 2); L_e é o comprimento real do segmento viário e ; e $f_{\text{eq},e}$ é o fator de equivalência do segmento viário e para rampa (d) e sentido de circulação. Os valores de f_{eq} foram adotados com base nas TMS da Tabela 1. Em suma, além das TMS propostas por Broach, Dill e Gliebe (2012) (já detalhadas no referencial teórico), considerou-se que ciclistas não optam por trafegar na contramão, em uma via de “mão única”, a menos que isso diminua a distância de viagem em mais de 4,020 vezes (HOOD; SALL; CHARLTON, 2011).

Tabela 1: Equivalência entre segmentos percorridos sob diferentes condições.

| Rampa d (%) | f_{eq} | |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| | Sentido correto | Contramão |
| $d \leq 2$ | $1,000 \times 1,000 = 1,000$ | $4,020 \times 1,000 = 4,020$ |
| $2 < d \leq 4$ | $1,000 \times 1,371 = 1,371$ | $4,020 \times 1,371 = 5,511$ |
| $4 < d \leq 6$ | $1,000 \times 2,203 = 2,203$ | $4,020 \times 2,203 = 8,856$ |
| $d > 6$ | $1,000 \times 4,239 = 4,239$ | $4,020 \times 4,239 = 17,041$ |

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.2 Estimativa de centralidades

Após identificadas as rotas cicláveis entre todos os pares origem-destino da rede, pode-se proceder com a estimativa das centralidades dos segmentos viários. No entanto, essa contribuição geral de cada segmento ao conjunto de rotas pode ser conduzida de forma ponderada pela demanda potencial acumulada no nó de origem e pela atratividade correspondente ao nó de destino (MCDANIEL; LOWRY; DIXON, 2014; MONARI *et al.*, 2024). As Equações (3) a (9), a seguir, apresentam a formulação matemática pertinente a essa etapa.

$$C_{dist,e} = \sum_{i \in O, j \in J | D_{ij} \leq \delta} \sigma_{ij}(e) \times M_i \times M_j \quad (3)$$

$$C_{rampa,e} = \sum_{i \in O, j \in J | D_{ij} \leq \delta} \sigma_{ij}^*(e) \times M_i \times M_j \quad (4)$$

$$\sigma_{ij}(e) = \{1, \text{ se } e \text{ é usado em } \sigma_{ij}; 0, \text{ caso contrário}\} \quad (5)$$

$$\sigma_{ij}^*(e) = \{1, \text{ se } e \text{ é usado em } \sigma_{ij}^*; 0, \text{ caso contrário}\} \quad (6)$$

$$M_i = \frac{q_i}{\sum_{i \in O} q_i} \quad (7)$$

$$M_j = \frac{a_j}{\sum_{j \in J} a_j} \quad (8)$$

$$a_j = \sum_{l=1}^{20} y_l \times u_{j,l} \quad (9)$$

Em que $C_{dist,e}$ e $C_{rampa,e}$ são as centralidades do segmento viário e baseadas nos critérios da distância e da rampa, respectivamente; σ_{ij} e σ_{ij}^* são as rotas cicláveis identificadas pelas abordagens 1 e 2, respectivamente; M_i e M_j são os multiplicadores para origem i e destino j , respectivamente; O e J são os conjuntos de todas as origens e destinos, respectivamente; D_{ij} é a distância em rede entre i e j ; δ é o valor-limite para o raio de ação da bicicleta, adotado nesse trabalho como 2,5 km; q_i é a demanda potencial em i ; a_j é a atratividade em j ; γ_l é o fator de ponderação para destinos do tipo l ; e $u_{j,l}$ é o número de destinos do tipo l alocados em j . A ponderação de cada destino de viagem por bicicleta foi conduzida a partir de uma adaptação do sistema de pontuação proposto por McNeil (2011) para uma “vizinhança de 20 minutos”, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Sistema de pontuação para PGVs.

| Categoria | Código | PGV (l) | Pontos (γ_l) |
|----------------------|---------------|---|---------------------------------------|
| Nutrição | N1 | Supermercado e/ou mercearia (1) | 7,50 |
| | N2 | Bar e/ou restaurante (2) | 7,50 |
| Educação | E1 | Pré-escola e/ou educação especial (3) | 2,50 |
| | E2 | Ensino fundamental (público) (4) | 2,50 |
| | E3 | Ensino médio (público) (5) | 2,50 |
| | E4 | Ensino superior (6) | 2,50 |
| | E5 | Escola de música, idiomas etc. (7) | 2,50 |
| Recreação e Comércio | R1 | Parque e/ou praça (8) | 10,00 |
| | R2 | Espaço cultural (9) | 7,50 |
| | R3 | Loja de roupas (10) | 5,00 |
| | R4 | Loja de varejo (11) | 7,50 |
| Saúde e Estética | S1 | Atenção Primária à Saúde (APS) (12) | 10,00 |
| | S2 | Farmácia (13) | 7,50 |
| | S3 | Academia (14) | 5,00 |
| | S4 | Clínica (15) | 5,00 |
| | S5 | Salão de estética, cabeleireiro etc. (16) | 2,50 |
| Transporte público | T1 | Ponto de ônibus (17) | 5,00 |
| Comodidade cívica | C1 | Agência de correios (18) | 2,50 |
| | C2 | Banca de jornal (19) | 2,50 |
| | C3 | Banco e/ou caixa automático (20) | 2,50 |

Fonte: Adaptado de McNeil (2011).

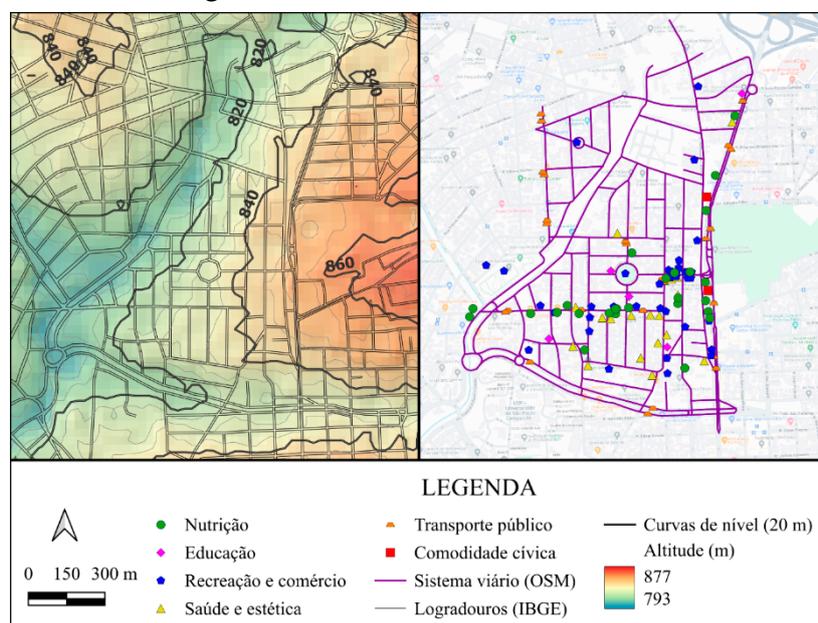
3.3 Comparação entre centralidades homólogas

A comparação entre centralidades homólogas deve se basear em testes estatísticos para amostras pareadas, como o Teste-*t*, caso as diferenças entre os valores homólogos das duas amostras estejam normalmente distribuídas; ou testes equivalentes não-paramétricos, caso contrário. O teste de Wilcoxon, por exemplo, é baseado na soma dos postos das diferenças positivas (T^+) e negativas (T^-), sob a hipótese nula de que não há diferença entre as medianas de ambas as amostras (FIELD, 2009).

3.4 Dados do estudo de caso

Os dados do estudo de caso são apresentados na Figura 1. À direita, tem-se os PGVs por bicicleta, georreferenciados e categorizados por meio de visitas de campo; e os dados do sistema viário, obtidos da plataforma de mapeamento colaborativo *OpenStreetMap* (OSM). Já à esquerda, tem-se os logradouros da área de estudo, atualizados do último Censo Demográfico Nacional (IBGE, 2022), para os quais são disponibilizados os totais de residências (discretizados por face de quadra); e o Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 30 m, derivado da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Figura 1: Dados do estudo de caso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

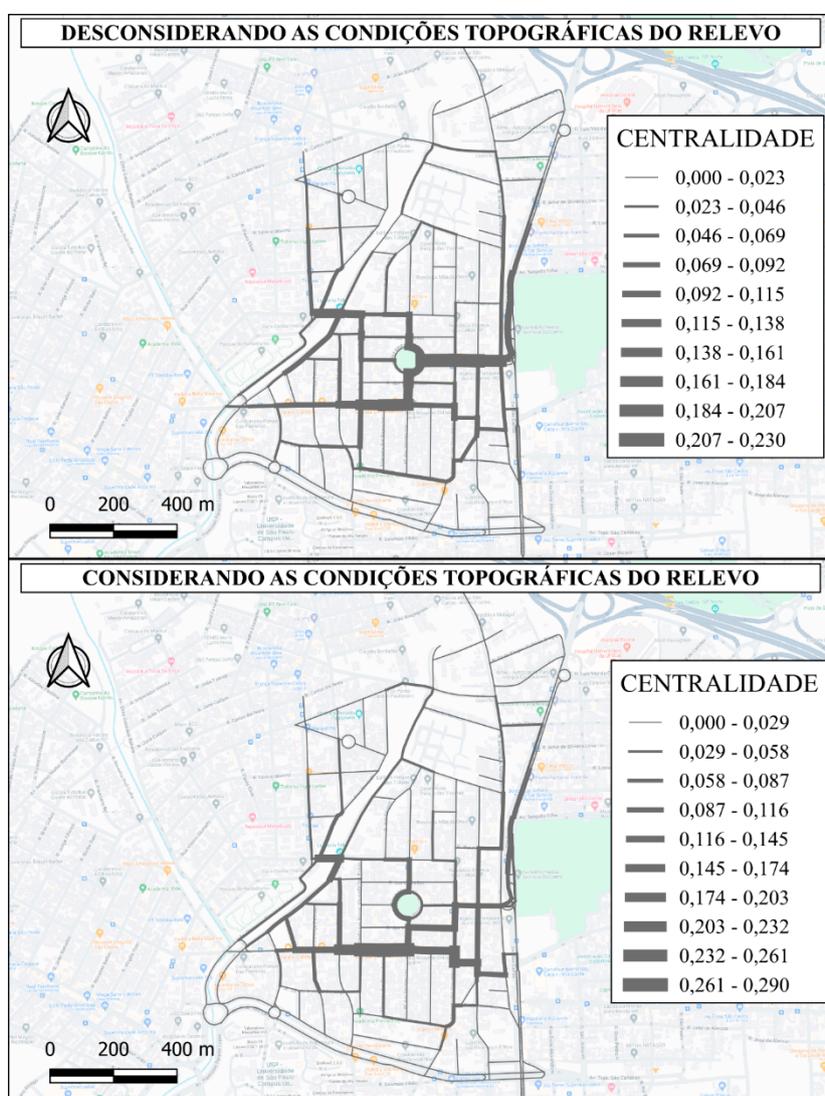
Ao todo, 291 segmentos viários compõem a rede ciclável de estudo. Cada um deles foi avaliado com relação ao sentido de circulação, sendo os segmentos de “mão dupla” geminados na rede para que a cada sentido de circulação fosse atribuído o seu correspondente f_{eq} e, com isso, as rotas cicláveis pudessem ser identificadas

adequadamente. No que diz respeito à demanda potencial por ciclismo, os multiplicadores para as origens foram determinados a partir dos totais de residências acumuladas em cada nó do grafo (por sua vez, estimados distribuindo-se igualmente o número de residências em cada face de logradouro entre os correspondentes nós iniciais e finais). Por último, destaca-se que o bairro Cidade Jardim de São Carlos-SP, à época dos levantamentos de campo, possuía 118 PGVs (26 N; 5 E; 39 R; 20 S; 26 T; e 2 C).

4 Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta as centralidades dos 291 segmentos viários estudados, estimadas por ambas as abordagens propostas neste trabalho.

Figura 2: Centralidades de segmentos viários com e sem considerar a topografia do relevo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com relação à primeira abordagem proposta, estima-se que, em média, os

segmentos viários contribuam com 2,98% do conjunto de rotas identificadas entre os pares origem-destino da rede, sendo observada uma contribuição máxima de quase 23% de um dos segmentos viários que compõem a Av. das Gardêneas, imediatamente conectado com a rotatória central da área de estudo e bastante próximo de uma grande concentração de PGVs dos tipos Recreação/comércio e Nutrição. Em contrapartida, 19 dos 291 segmentos viários avaliados não contribuem com as rotas cicláveis desse primeiro critério.

Com relação à segunda abordagem proposta, a contribuição média dos segmentos viários ao conjunto de rotas identificadas é estimada em 3,20%, sendo observada uma contribuição máxima de mais de 29% de um dos segmentos viários que compõem a Alameda dos Crisântemos, via coletora que apresenta os maiores fluxos de tráfego do bairro Cidade Jardim e que garante o acesso direto à maioria dos PGVs da região. Por outro lado, 18 dos 291 segmentos viários avaliados não contribuem com as rotas cicláveis desse segundo critério, sendo 7 deles com nenhuma importância à rede por ambos os critérios.

No que se refere à comparação entre as 23.836 rotas cicláveis homólogas identificadas (202 nós x 118 PGVs), isto é, rotas identificadas entre os mesmos pares origem-destino, porém pelos diferentes critérios, nota-se que 8.010 (33,6%) dos trajetos homólogos são semelhantes entre si. Em média, as rotas cicláveis identificadas considerando-se as condições topográficas do relevo da área de estudo são aproximadamente 73 m mais extensas que seus pares, embora um desvio máximo de mais de 717 m tenha sido observado.

Por último, endereçando-se à pergunta da pesquisa, as diferenças entre as centralidades homólogas foram submetidas a testes de normalidade, não sendo constatada essa condição. Assim, procedeu-se com o teste de Wilcoxon, cujos resultados ($z\text{-score} = 1,79$; $p = 0,07 > 0,05$) sugerem não rejeitar a hipótese nula ou, em outras palavras, que a mediana das diferenças não é estatisticamente diferente de zero. Isso, por sua vez, sinaliza para semelhanças entre os índices homólogos de centralidade, fomentando a ideia de que, para o estudo de caso, as condições topográficas do relevo não foram adversas o suficiente para acarretar mudanças significativas na importância dos segmentos viários à rede ciclável.

5 Considerações finais

O presente trabalho teve por objetivo propor, aplicar e comparar duas abordagens distintas para estimar a centralidade de segmentos viários à rede ciclável. Espera-se que trabalhos dessa natureza sejam de grande valia às autoridades municipais em transportes no Brasil, contribuindo com diretrizes para a elaboração dos PlanMob, visto que a aplicação do método em um estudo de caso no bairro Cidade Jardim da

cidade de São Carlos-SP beneficiou-se majoritariamente de dados abertos e *software* livres, endossando sua reprodutibilidade.

Os resultados da aplicação do método permitiram poderosas e descomplicadas comparações visuais e numéricas entre ambas as abordagens propostas, podendo-se verificar, em cada etapa, os respectivos segmentos viários que devem ser priorizados em projetos cicloviários pontuais, mas que, gradativamente, podem escalar para uma rede (MORAN *et al.*, 2018). Trabalhos futuros são encorajados a incorporar (na forma de TMS) outras variáveis de influência no uso da bicicleta, além da declividade, no algoritmo de busca por caminhos mínimos (BROACH; DILL; GLIEBE, 2012). Ademais, sugere-se que a estimativa da demanda potencial por ciclismo inclua também variáveis socioeconômicas da população residente na região de estudo (MONARI *et al.*, 2024); que um número mínimo de cada categoria de PGV seja acessível para a atribuição integral dos correspondentes pontos (MCNEIL, 2011); e que estudos sejam conduzidos para verificar a aderência dos resultados do método proposto com os projetos cicloviários já em pauta no local de estudo (PREFEITURA DE SÃO CARLOS, 2023).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de Iniciação Científica e Tecnológica – ICT (CNPq Processo 144499/2023-1), ao Programa Institucional de ICT da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e ao Grupo de Pesquisa em Planejamento Urbano Sustentável - GPLUS.

Referências

- BRANDES, Ulrik. On Variants of Shortest-Path Betweenness Centrality and Their Generic Computation. *Social Networks*, v. 30, n. 2, p. 136-145, 2008. DOI: 10.1016/j.socnet.2007.11.001.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 4 jan. 2012. Seção 1, p. 1.
- BROACH, Joseph; DILL, Jennifer; GLIEBE, John. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 46, n. 10, p. 1730-1740, 2012. DOI: 10.1016/j.tra.2012.07.005.
- BUEHLER, Ralph; DILL, Jennifer. Bikeway networks: A review of effects on cycling. *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 9-27, 2016. DOI: 10.1080/01441647.2015.1069908.
- DIJKSTRA, Edsger W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik*, v. 1, p. 269-271, 1959.
- FIELD, Andy. *Descobrendo a Estatística Usando o SPSS*. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GEIPOT. *Manual de Planejamento Cicloviário*. Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes. Brasília: Ministério dos Transportes, 2001. 116 p. Disponível em: <https://observatoriodabicicleta.org.br/uploads/2021/02/Manual-Planejamento-Cicloviario-2001-Geipot.pdf>. Acesso: 22 out. 2024.

HANSEN, Walter G. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, v. 25, n. 1, p. 73-76, 1959.

HOOD, Jeffrey; SALL, Elizabeth; CHARLTON, Billy. A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. *Transportation Letters*, v. 3, n. 1, p. 63-75, 2011. DOI: 10.3328/TL.2011.03.01.63-75.

IBGE. *Base de Faces de Logradouros do Brasil [Data set]*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Estruturas Territoriais da Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html>. Acesso: 14 ago. 2024.

ITDP. *Padrão de Qualidade DOTS*. 3ª ed. Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. Nova York: ITDP, 2017. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2017/12/DU- Padr%C3%A3o-de-Qualidade-DOTS-2017-v1.pdf>. Acesso: 22 out. 2024.

KAMRUZZAMAN, Liton. Typologies of 20-Minute Neighbourhoods, Active Transport Use, and Spatial Spillovers. *Transport Findings*, 2022. DOI: 10.32866/001c.33158.

LOWRY, Michael; FURTH, Peter; HADDEN-LOH, Tracy. Prioritizing new bicycle facilities to improve low-stress network connectivity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 86, p. 124-140, 2016. DOI: 10.1016/j.tra.2016.02.003.

LU, Michael; DIAB, Ehab. Understanding the determinants of x-minute city policies: A review of the North American and Australian cities' planning documents. *Journal of Urban Mobility*, v. 3, p. 100040, 2023. DOI: 10.1016/j.urbmob.2022.100040.

MCDANIEL, Stephen; LOWRY, Michael B.; DIXON, Michael. Using origin-destination centrality to estimate directional bicycle volumes. *Transportation Research Record*, v. 2430, n. 1, p. 12-19, 2014. DOI: 10.3141/2430-02.

MCNEIL, Nathan. Bikeability and the 20-min Neighborhood: How Infrastructure and Destinations Influence Bicycle Accessibility. *Transportation Research Record*, v. 2247, n. 1, p. 53-63, 2011. DOI: 10.3141/2247-07.

MELLO, Andréa; PORTUGAL, Licínio. Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção de Planos Estratégicos de Mobilidade Urbana: o caso do Brasil. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales (EURE)*, v. 43, n. 128, p. 99-125, 2017. DOI: 10.4067/S0250-71612017000100005.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *PlanMob Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana*. Brasília: Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana (Se-Mob), 2015. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/planmob/>. Acesso: 22 out. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Levantamento sobre a situação dos Planos de Mobilidade Urbana*. Brasília: Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/>

acesso-a-informacao/acoes-e-programas/mobilidade-urbana/sistema-de-apoio-a-elaboracao-de-planos-de-mobilidade-urbana/levantamento-sobre-a-situacao-dos-planos-de-mobilidade-urbana. Acesso: 07 ago. 2024.

MONARI, Marcelo, SEGANTINE, Paulo C. L.; SILVA, Antônio N. R.; RODRIGUES, Murilo R.; SILVA, Irineu. Comparing distance-based and stress-based centralities to rank priority locations for cycling infrastructure investments in small-sized cities. *TRANSPORTES*, v. 32, n. 2, 2024. DOI: 10.58922/transportes.v32i2.2890.

MORAN, Sarah K.; TSAY, William; LAWRENCE, Sean; KRYKEWYCZ, Gregory R. Lowering Bicycle Stress One Link at a Time: Where Should We Invest in Infrastructure? *Transportation Research Record*, v. 2672, n. 36, p. 33-41, 2018. DOI: 10.1177/0361198118783109.

MORENO, Carlos; ALLAM, Zaheer; CHABAUD, Didier; GALL, Catherine; PRATLONG, Florent. Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. *Smart Cities*, v. 4, n. 1, p. 93-111, 2021. DOI: 10.3390/smartcities4010006.

OSPINA, Juan P.; DUQUE, Juan C.; BOTERO-GERNÁNDEZ, Verónica; MONTOYA, Alejandro. The maximal covering bicycle network design problem. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 159, p. 222-236, 2022. DOI: 10.1016/j.tra.2022.02.004.

PREFEITURA DE SÃO CARLOS. *Plano de Mobilidade Urbana de São Carlos*. São Carlos, 2023. Disponível em: <http://mobilidadeurbana.saocarlos.sp.gov.br/>. Acesso: 01 fev. 2024.

ZUO, Ting; WEI, Heng. Bikeway prioritization to increase bicycle network connectivity and bicycle-transit connection: A multi-criteria decision analysis approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 129, p. 52-71, 2019. DOI: 10.1016/j.tra.2019.08.003.