

Level of Traffic Stress, Índice de Serventia Urbano e declividade viária combinados para a avaliação de uma vizinhança de 5, 10 ou 15 minutos

Gabriella Mie Hanada Kodama

Estudante de Graduação em Engenharia Civil, UFSCar, Brasil

gabriella.kodama@estudante.ufscar.br

ORCID iD: 0009-0000-7863-7405

Marcelo Monari

Professor Doutor, UFSCar, Brasil

marcelo.monari@ufscar.br

ORCID iD: 0000-0002-5562-3235

Submissão / Submission: 01/11/2025

Aceito / Acceptance: 22/06/2026

KODAMA, Gabriella Mie Hanada; MONARI, Marcelo. Level of Traffic Stress, Índice de Serventia Urbano e declividade viária combinados para a avaliação de uma vizinhança de 5, 10 ou 15 minutos. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, [S. l.], v. 5, n. 11, p. e2601, 2026. DOI: [10.17271/n47fr258](https://doi.org/10.17271/n47fr258). Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rtgs/article/view/6431>.

Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) License: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Level of Traffic Stress, Índice de Serventia Urbano e declividade viária combinados para a avaliação de uma vizinhança de 5, 10 ou 15 minutos

RESUMO

Objetivo - desenvolver um índice de qualidade viária combinando LTS, ISU e declividade para avaliar a viabilidade de "vizinhanças de X minutos" (XmN) sob a ótica do ciclismo.

Metodologia - aplicação do índice em um estudo de caso no bairro Cidade Jardim (São Carlos-SP, Brasil), com georreferenciamento e pontuação de 77 Polos Geradores de Viagens (PGVs).

Originalidade/relevância - propõe uma abordagem inédita de avaliação cicloviária integrada ao conceito de XmN, ainda pouco explorado no contexto urbano brasileiro.

Resultados - o bairro apresenta alto potencial para se tornar uma 10mN ou 15mN ciclável, apesar da precariedade de parte da infraestrutura viária.

Contribuições teóricas/metodológicas - introduz um novo índice composto para análise da qualidade cicloviária, combinando variáveis técnicas relevantes para o planejamento urbano.

Contribuições sociais e ambientais - oferece subsídios para políticas públicas que incentivem o transporte sustentável e a distribuição equitativa de serviços urbanos essenciais.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte Cicloviário. Transporte Ativo. Mobilidade Urbana Sustentável.

Level of Traffic Stress, Urban Pavement Service Index, and road slope combined for the evaluation of a 5-, 10- or 15-minute Neighborhood

ABSTRACT

Objective – Develop a road segment quality index by combining LTS, ISU, and road slope to assess the feasibility of "X-minute neighborhoods" (XmN) from a cycling perspective.

Methodology – The index was applied in a case study conducted in the Cidade Jardim neighborhood (São Carlos-SP, Brazil), involving the georeferencing and scoring of 77 bicycle Trip Attractors (TAs).

Originality/Relevance – Proposes a novel approach to cycling infrastructure assessment integrated with the XmN concept, still underexplored in Brazilian urban contexts.

Results – The neighborhood shows strong potential to become a 10mN or 15mN, despite some poor road conditions.

Theoretical/Methodological Contributions – Introduces a new composite index for evaluating cycling infrastructure, combining key technical variables for urban planning.

Social and Environmental Contributions – Provides input for public policies that promote sustainable transportation and equitable distribution of essential urban services.

KEYWORDS: Cycling. Active Transport. Sustainable Urban Mobility.

Nivel de Estrés De Tránsito, Índice de Servicio Urbano y pendiente de la carretera combinados para la evaluación de un barrio de 5, 10 o 15 minutos

RESUMEN

Objetivo – Desarrollar un índice de calidad de segmentos viales combinando LTS, ISU y pendiente de las calles, para evaluar la viabilidad de los "barrios de X minutos" (XmN) desde la perspectiva del ciclismo.

Metodología – El índice fue aplicado en un estudio de caso en el barrio Cidade Jardim (São Carlos-SP, Brasil), que involucró la georreferenciación y puntuación de 77 Puntos Generadores de Viajes (PGVs) por bicicleta.

Originalidad/Relevancia – Propone un enfoque novedoso para la evaluación de la infraestructura ciclista, integrado con el concepto de XmN, aún poco explorado en contextos urbanos brasileños.

Resultados – El barrio muestra un gran potencial para convertirse en una 10mN o 15mN, a pesar de algunas condiciones viales deficientes.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Introduce un nuevo índice compuesto para evaluar la infraestructura ciclista, combinando variables técnicas clave para la planificación urbana.

Contribuciones Sociales y Ambientales – Aporta insumos para políticas públicas que promuevan el transporte sostenible y la distribución equitativa de servicios urbanos esenciales.

PALABRAS CLAVE: Transporte en Bicicleta. Transporte Activo. Movilidad Urbana Sostenible.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso da bicicleta vem crescendo de forma significativa em cidades ao redor do mundo. A popularização desse modo de transporte se dá por vários motivos, como a busca por uma vida mais saudável e sustentável, e pelo seu fácil acesso e manutenção quando comparados aos dos veículos motorizados individuais (Valenzuela *et al.*, 2024, p. 420).

Em face da necessidade de tornar a mobilidade urbana nacional mais acessível, sustentável, segura e eficiente, em 2012, houve a aprovação da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), via Lei nº 12.587, cuja principal diretriz é a valorização dos modos ativos e coletivos de transporte, em detrimento dos veículos motorizados individuais (Brasil, 2012, p. 1). Anos mais tarde, em 2018, foi aprovado o Programa Bicicleta Brasil (PBB), via Lei nº 13.724, que visa incentivar especificamente o transporte ciclovitário em território nacional (Brasil, 2018, p. 1). Assim, em tese, quando trabalhado em conjunto com a PNMU, principalmente em cidades com mais de 20 mil habitantes, o PBB pode promover a integração da bicicleta com outros modos de transporte e auxiliar no planejamento de infraestrutura para o transporte ativo.

Apesar dos esforços legais supracitados, ainda muito se discute sobre a carência de subsídios técnicos capazes de auxiliar na tomada de decisão frente a alocação de infraestruturas ciclovitárias no Brasil (Monari, 2022, p. 31). Para além dos benefícios notórios decorrentes do uso massivo da bicicleta pela população (contribuição à saúde dos usuários, menor necessidade de espaço etc.), tal carência priva a grande maioria dos municípios brasileiros de um planejamento urbano inteligente e racional, como aquele baseado em “vizinhanças de X minutos” (do original, em inglês, *X-minute Neighborhood*, ou XmN. Ex.: 5mN, 10mN e 15mN).

O conceito de 5mN, 10mN ou 15mN não é novo, porém veio à tona outra vez com a pandemia do novo Coronavírus (COVID-19), em 2020, quando as cidades ao redor do mundo tiveram que procurar soluções rápidas e eficientes para que as atividades cotidianas pudessem voltar à “normalidade” sem desobedecer às barreiras sanitárias e recomendações dos órgãos de saúde (C40 Cities Climate Leadership Group, 2020). Em suma, uma XmN é uma unidade territorial autossuficiente, que colabora com a diminuição da dependência de veículos motorizados individuais (Moreno *et al.*, 2021, p. 100). Hoje, ao redor do mundo, estima-se que mais de cem cidades estejam implementando esse conceito, mas somente duas delas localizam-se na América Latina, Buenos Aires (Argentina) e Bogotá (Colômbia) (Teixeira *et al.*, 2024, p. 10), sinalizando para a falta de sistematização do processo no sul global.

Segundo Santos e Santos (2022, p. 115), o planejamento da mobilidade urbana nas cidades brasileiras está diretamente ligado ao interesse do Estado, e, até então, os modelos de planejamento em vigor têm enfatizado o transporte motorizado individual. Isso deixa em segundo plano os modos não motorizados, como a bicicleta e a caminhada, embora esses sejam amplamente utilizados no Brasil, principalmente em cidades de pequeno porte (ANTP, 2020, p. 9). Nesse contexto, as XmN podem ajudar a reverter esse quadro, de scentralizando as funções e serviços urbanos (Bocca *et al.*, 2021, p. 400; Ferrer-Ortiz *et al.*, 2022, p. 147); e incentivando o transporte ativo em curtos deslocamentos.

Embora o conceito de XmN ainda seja pouco sistematizado para aplicação em larga escala (Kamruzzaman, 2022, p. 1), exemplos internacionais de sucesso sugerem que um de seus

pilares é a promoção da acessibilidade geográfica, isto é, a facilidade em se alcançar destinos de viagem cotidianos (Lu; Diab, 2023, p. 2). Na Itália, por exemplo, Abdelfattah, Deponte e Fossa (2022) constataram que os moradores da área central de Milão possuem fácil acesso a pé a serviços essenciais, ao contrário dos que residem nos bairros periféricos da cidade. Resultados semelhantes também foram observados na capital, Roma, que, apesar de conhecida por seu centro histórico e considerada um Patrimônio Mundial pela UNESCO, ainda se encontra em processo de urbanização, sendo evidenciadas desigualdades econômicas e socioespaciais (Chiaradia *et al.*, 2024); e em Nápoles, onde algumas regiões mais remotas carecem de serviços essenciais e, conseqüentemente, tornam seus moradores dependentes do transporte público ou do automóvel (Gaglione *et al.*, 2022).

A não operacionalização da aplicação do conceito de XmN se deve à dificuldade em se desenvolver uma abordagem universal (Khavarian-Garmsir; Sharifi; Sadeghi, 2023, p. 3). Isso foi evidenciado por Teixeira *et al.* (2024, p. 13), que elencaram diferentes perspectivas do conceito para distintas realidades. Por exemplo, em Tucson (EUA), o plano de mobilidade deu ênfase no tempo de viagem; em Surrey (Canadá), o foco foi na qualidade e na segurança dos transportes; e em Oslo (Noruega), enfatizou-se o uso e a ocupação do solo. Considerando os documentos analisados, os autores classificaram as cidades em inovadoras (*innovators*), adotantes iniciais (*early adopters*), maioria inicial (*early majority*), maioria tardia (*late majority*) e retardatárias (*laggards*). As primeiras são aquelas que já estão avançadas na transição para o modelo de XmN, como Paris (França), Melbourne (Austrália) e Barcelona (Espanha). As adotantes iniciais, como a já citada Milão (Itália), apresentam planos já bem desenvolvidos para implantação do conceito em questão. Oslo (Noruega), classificada como maioria inicial, encontra-se ainda no estágio inicial no que tange à implantação de elementos da 15mN. Dentre as cidades analisadas, 41% foram classificadas como maioria tardia, isto é, que ainda têm adotado poucos esforços em seu plano de ação. Por fim, cerca de 13% foram identificadas como retardatárias, ou seja, cidades que ainda não adotaram nenhuma prática do conceito em seu modelo de planejamento, mas que demonstraram interesse em realizar a transição do modelo convencional para o da XmN.

A aplicação específica do conceito de 15mN no planejamento da mobilidade urbana de cidades europeias, como Munique (Alemanha), Madri (Espanha), Gante (Bélgica) e Amsterdã (Holanda), tem auxiliado na economia local, gerando empregos a nível de bairro e trazendo uma sensação de segurança e pertencimento aos seus moradores. No entanto, autores como Büttner *et al.* (2024, p. 8) alertam para a necessidade de implementação desse modelo de forma cuidadosa e com estudos específicos acerca de cada região, pois, caso contrário, é possível haver problemas de gentrificação. Assim, há uma demanda premente pelo início de estudos como esses também no Brasil, evitando-se “importar” modelos estrangeiros.

Nacionalmente, apesar da sabida escassez de dados para o planejamento de sistemas de transporte, muitas técnicas de vanguarda fartamente documentadas na literatura podem servir de aporte técnico para a promoção das XmN, sobretudo aquelas associadas ao transporte ciclovário, como a classificação *Level of Traffic Stress* (LTS) (Mekuria; Furth; Nixon, 2012), que visa quantificar o nível de estresse do ciclista, em função das características geométricas e das condições operacionais das vias de tráfego, em um intervalo de 1 a 4, sendo o melhor e o pior caso, respectivamente (Mekuria; Furth; Nixon, 2012, p. 14).

Em âmbito nacional, a classificação LTS foi adotada para determinar centralidades de segmentos viários e decorrentes níveis de prioridade de investimento das vias em ciclismo (Monari *et al.*, 2024); e para confrontar níveis teóricos de estresse com aqueles aferidos em campo por meio de medidas fisiológicas do estresse de ciclistas de uma cidade de médio porte (Miranda *et al.*, 2018). No último caso, apesar do estudo nacional não ter encontrado uma forte correlação entre as variáveis analisadas, a literatura internacional advoga a favor de se complementar a classificação original com algumas variáveis adicionais de estresse, como declividades acentuadas (Rybarczyk *et al.*, 2020, p. 90) e defeitos no pavimento (Zeile *et al.*, 2016, p. 211).

Diante das informações apresentadas, avaliação das condições superficiais do pavimento urbano também pode se basear em técnicas simplificadas, que agilizam a aplicação em larga escala, como o Índice de Serventia Urbano (ISU) (Villibor *et al.*, 2009). Ademais, a ampla gama de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) livres de custo desenvolvidos nas últimas décadas, como MDE TOPODATA (INPE, 2008), têm facilitado a inclusão de variáveis altimétricas nos algoritmos de roteamento de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o que é fundamental para o planejamento de infraestrutura para o transporte ativo, visto que caminhadas e pedaladas são fortemente influenciadas pelas condições topográficas do relevo (Winters *et al.*, 2010, p. 7).

2 OBJETIVOS

Diante das informações apresentadas na seção introdutória, o objetivo do presente trabalho é combinar algumas das principais variáveis que influenciam no uso da bicicleta como modo de transporte urbano – LTS, ISU e declividade viária – em um índice de qualidade de segmentos viários, para posterior aplicação desse índice como critério de avaliação de uma XmN. Visando demonstrar a viabilidade do método da pesquisa, um estudo de caso foi conduzido no bairro Cidade Jardim, em São Carlos-SP (Brasil).

3 METODOLOGIA

A seguir, são apresentados os materiais e o método da pesquisa, que contemplam: 1) SIG, para geoprocessamento dos dados espaciais; 2) critérios para classificação LTS de situações de tráfego misto; 3) critérios para avaliação do ISU; 4) critérios para avaliação das declividades viárias; 5) estimativa do índice de qualidade global do segmento viário ao ciclismo; 6) avaliação e mapeamento (se pertinente) das condições de 5mN, 10mN e 15mN; e 7) dados do estudo de caso.

3.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Conforme mencionado brevemente na introdução, o uso de um SIG é imprescindível a qualquer abordagem que se propõe a avaliar e/ou planejar XmN, visto que, obrigatoriamente,

são demandados dados espaciais para isso. Dessa forma, o presente trabalho foi executado utilizando-se o *software* QGIS 3.34.12 “Prizren”, um SIG de código aberto e disponível gratuitamente para download. Entre outras vantagens, essa versão do *software* possui complementos próprios à análise de redes de transporte, permitindo, por exemplo, identificar os caminhos mínimos entre conjuntos de origens e destinos especificados pelo usuário, por diversos critérios, via processamento em lote.

3.2 Classificação LTS

A Tabela 1 apresenta os critérios para classificação LTS de segmentos viários sujeitos à condição de tráfego misto, isto é, ao compartilhamento de espaço entre bicicletas e automóveis. Em suma, as variáveis previsoras dessa classificação são a disponibilidade de espaço, traduzida pelo número de faixas de tráfego; a velocidade do tráfego motorizado; e a existência de sinalização horizontal delimitadora dos sentidos de circulação (*centerline*) (Mekuria; Furth; Nixon, 2012, p. 37).

Tabela 1 - Classificação LTS para situações de tráfego misto

Limite de velocidade (km/h)	Número de faixas de tráfego		
	2-3	4-5	≥ 6
Até 40	1 ou 2*	3	4
50	2 ou 3*	4	4
60 ou superior	4	4	4

Fonte: Mekuria, Furth e Nixon (2012, p. 37).

*O menor valor é atribuído a segmentos viários sem *centerline* ou a vias residenciais com menos de 3 faixas; caso contrário, atribui-se o maior valor.

Ressalta-se ainda que a metodologia original prevê também critérios para a classificação de ciclofaixas, interseções etc., porém essas outras situações não foram consideradas no presente trabalho, visto a não existência de infraestruturas cicloviárias na região delimitada para estudo e a baixa complexidade viária das interseções avaliadas.

3.3 Avaliação do ISU

O ISU pondera os defeitos característicos de pavimentos urbanos de acordo com o seu tipo (remendos, panelas/ondulações e trincas, cada qual com um diferente fator *F*) e grau de deterioração (*G*), sendo esse último relacionado à área de incidência (*A*) e à severidade (*S*) de cada defeito. Esses valores são apresentados nas Tabelas 2 e 3 a seguir (Villibor *et al.*, 2009, p. 174-176).

Uma vez determinado o valor de *G* para cada tipo de defeito, por meio de levantamentos de campo, pode-se proceder com o cálculo do ISU mediante a Equação (1). A condição do pavimento, em função do ISU calculado, é apresentada na Tabela 4.

Tabela 2 - Fator de ponderação relacionado ao tipo de defeito (F)

Tipo de defeito	Fator de ponderação (F)
Remendos	3
Panelas/Ondulações	2
Trincas	5

Fonte: Villibor *et al.* (2009, p. 175).

Tabela 3 - Grau de deterioração do pavimento urbano (G)

Severidade	Área de incidência		
	$A_1 \leq 10\%$ (Baixa)	$10\% < A_2 < 50\%$ (Média)	$A_3 \geq 50\%$ (Alta)
S_1 (Baixa)	1	2	3
S_2 (Média)	2	4	6
S_3 (Alta)	3	6	9

Fonte: Villibor *et al.* (2009, p. 174).

$$ISU = 100 - \left[\frac{100}{90} \times (G_R \times F_R + G_P \times F_P + G_T \times F_T) \right] \quad (1)$$

Em que G_R , G_P e G_T são os graus de deterioração para remendos, panelas/ondulações e trincas, respectivamente; e F_R , F_P e F_T são os fatores de ponderação para os defeitos avaliados, na mesma ordem.

Tabela 4 - Condição do pavimento em função do ISU

Condição do pavimento	ISU
Péssima	0 a 30
Ruim	30 a 45
Regular	45 a 70
Boa	70 a 80
Muito boa	80 a 100

Fonte: Villibor *et al.* (2009, p. 175).

3.4 Declividades viárias

As declividades viárias ideais ao ciclismo são limitadas a 3%, sendo admitido em projeto um valor máximo de 5%, pois, a partir dessa taxa, os aclives íngremes demandam um grande despendimento de energia dos usuários de bicicletas e os declives íngremes tornam o percurso pouco seguro (Austroads, 2014, p. 95). No entanto, as condições topográficas do relevo de uma determinada cidade ou região de estudo nem sempre permitem definir trajetos cicláveis com declividades restritas aos valores mencionados. Assim, para o caso particular dos aclives íngremes, diversos manuais técnicos da literatura propõem comprimentos máximos admissíveis a serem considerados em projeto, conforme exemplificado na Tabela 5 (AASHTO, 1999, p. 39).

Tabela 5 - Comprimentos em aclave admissíveis em projetos cicloviários

Gradiente (%)	Comprimento em aclave admissível – L_{adm} (m)
5-6	240
7	120
8	90
9	60
10	30
> 10	15

Fonte: AASHTO (1999, p. 39).

3.5 Índice de qualidade do segmento viário

Para combinar as três variáveis quantitativas acima detalhadas (LTS, ISU e declividade viária) em um índice de qualidade global do segmento viário ao ciclismo (I_{QGC}), as seguintes hipóteses foram admitidas no presente trabalho: 1) todas as variáveis analisadas possuem o mesmo grau de influência tanto na escolha da bicicleta como modo de transporte quanto na própria escolha das rotas pelos ciclistas; e 2) visando padronizar a avaliação, cada variável possui 4 intervalos de qualidade geométrica e/ou operacional (análogos aos intervalos da classificação LTS), conforme apresentado na Tabela 6. Após aplicados os critérios da Tabela 6, obtém-se o I_{QGC} por meio da média aritmética entre as avaliações individuais de cada variável de influência, conforme Equação (2). A interpretação para cada intervalo do índice é apresentada na Tabela 7.

Tabela 6 - Qualidade geométrica e/ou operacional dos segmentos viários ao ciclismo

Classificação (I_{LTS} , I_{ISU} e I_{Grad})	Variável de influência		
	LTS	ISU	Gradiente (%)
1	1	80 a 100	< 3%
2	2	70 a 80	3-5%
3	3	45 a 70	> 5% e $L_{real} \leq L_{adm}$
4	4	0 a 45	> 5% e $L_{real} > L_{adm}$

Fonte: Autores (2025).

$$I_{QGC} = \frac{I_{LTS} + I_{ISU} + I_{Grad}}{3} \quad (2)$$

Em que I_{LTS} , I_{ISU} e I_{Grad} são as avaliações individuais, padronizadas, referentes ao LTS, ISU e declividade viária, respectivamente.

Tabela 7 - Interpretação do I_{QGC}

I_{QGC}	Interpretação
1,00 – 2,00	Segmento viário com boa qualidade geométrica e/ou operacional, cuja utilização em rotas cicláveis é aconselhada. Pode requerer intervenções ou modificações pontuais.
2,00 – 3,00	Segmento viário com qualidade geométrica e/ou operacional intermediária, cuja utilização em rotas cicláveis é aconselhada mediante intervenções e modificações severas em pelo menos um dos critérios avaliados.
3,00 – 4,00	Segmento viário com baixa qualidade geométrica e/ou operacional, cuja utilização em rotas cicláveis não é recomendada em seu estado atual. Intervenções e modificações severas são requeridas em mais de um dos critérios avaliados.

Fonte: Autores (2025).

3.6 Avaliação e mapeamento das condições de 5mN, 10mN e 15mN

Para avaliação e mapeamento (se pertinente, pois, a depender das características do local de estudo, podem ser observados níveis uniformes de acessibilidade em toda a área avaliada) das condições de 5mN, 10mN e 15mN a partir do I_{QGC} previamente estimado para cada segmento viário da área de estudo, propõe-se a seguinte abordagem: primeiramente, devem ser mapeados e ponderados os Polos Geradores de Viagens (PGVs) condizentes com uma XmN, conforme o sistema de pontuação da Tabela 8, que é adaptado do trabalho de McNeil (2011, p. 58). Em suma, além do conjunto completo de PGVs não relacionados a trabalho (nutrição, educação, lazer e comércio, saúde e estética, Transporte Público Coletivo – TPC e outros serviços), o sistema proposto pelo autor considera a importância relativa entre os diferentes tipos de PGVs, além do número de ocorrências necessárias a cada categoria (k) desses potenciais destinos de viagem para satisfazer a população residente.

Em seguida, devem ser calculados os caminhos mínimos entre todos os pares Origem-Destino (OD) da região de estudo. Para isso, sugere-se que os nós do grafo (extremidades ou interseções entre segmentos viários – “esquinas”) componham o conjunto das origens (O); e os próprios PGVs georreferenciados o dos destinos (J). Assim, tomando-se por base o critério de minimização da “resistência” acumulada ao tráfego entre um determinado par OD, a estratégia de atribuição de impedâncias apresentada pela Equação (3) deve ser aplicada no cálculo das rotas cicláveis. Por último, o índice de acessibilidade de cada origem $i \in O$, representativo da condição de XmN, deve ser calculado pelas Equações (4) e (5) e, em seguida, interpolado ao longo de toda a região de estudo. Para determinar se um PGV do tipo k é acessível em até X minutos a partir de i , as Equações (6) e (7) devem ser empregadas em conjunto com as velocidades apresentadas na Tabela 9.

Tabela 8 - Sistema de pontuação para ponderação de PGVs

Tipo de PGV	Categoria de PGV (k)	Pontos por ocorrência (p_k)	Máximo de ocorrências	Total de pontos (T_k)
Nutrição	Supermercados e mercearias (1)	5,000	2	10,000
	Cafés e lanchonetes (2)	1,250	4	5,000
	Restaurantes (3)	0,625	12	7,500
	Açougues, hortifruti e padarias (4)	0,625	8	5,000
Educação	Ensino Fundamental (somente escolas públicas) (5)	10,000	1	10,000
	Ensino Médio (somente escolas públicas) (6)	10,000	1	10,000
Lazer e comércio	Parques, praças e espaços públicos abertos (7)	10,000	1	10,000
	Entretenimento/cultura (clubes, teatros, cinemas etc.) (8)	1,500	5	7,500
	Lojas de roupas (9)	1,250	4	5,000
	Atenção Primária à Saúde (APS) (10)	10,000	1	10,000
Saúde e estética	Farmácias (11)	1,250	2	2,500
	Academias em geral (12)	2,500	2	5,000
	Salões de estética (13)	0,625	4	2,500
TPC	Pontos de ônibus (14)	1,250	4	5,000
Serviços	Correios (15)	2,500	1	2,500
	Bancos (16)	1,250	2	2,500
Total	-	-	-	100

Fonte: Adaptado de McNeil (2011, p. 58).

$$L_{eq_e} = L_{real_e} \times I_{QGC} \quad (3)$$

$$A_i = \frac{\sum_{k=1}^{16} P_{ik}}{100} \quad (4)$$

$$P_{ik} = \text{mínimo}\{p_k \times n_{ik}; T_k\} \quad (5)$$

$$t_{ij} = \sum_{e=1}^m \frac{\sigma_{ij}(e) * L_e}{V_e} \quad (6)$$

$$\sigma_{ij}(e) = \{1, \text{se } e \text{ é usado em } \sigma_{ij}; 0, \text{caso contrário}\} \quad (7)$$

Em que L_{eq_e} e L_{real_e} são os comprimentos equivalente e real do segmento viário e ; P_{ik} são os pontos atribuídos ao PGV de categoria k , a partir da origem i ; p_k são os pontos associados a uma ocorrência do PGV de categoria k ; n_{ik} é o número de PGVs de categoria k acessíveis a partir de i , em até X minutos; T_k é o total de pontos que podem ser atribuídos ao PGV de categoria k , segundo o sistema de pontuação da Tabela 8; σ_{ij} e t_{ij} são o caminho mínimo e o tempo de viagem entre i e j , respectivamente; V_e é a velocidade esperada para ciclistas ao viajarem ao longo do segmento viário e , que depende do gradiente e da direção do fluxo de tráfego na qual o segmento é percorrido para se atingir j ; e m é o número de segmentos da rede.

Tabela 9 - Velocidades de ciclistas sob a influência de diferentes gradientes

Gradiente (%)	Velocidade para subidas – V (km/h)	Velocidade para descidas – V (km/h)
< 3%	24	24
3-5%	16	32
> 5%	8	40

Fonte: Monari, Segantine e Silva (2022, p. 697).

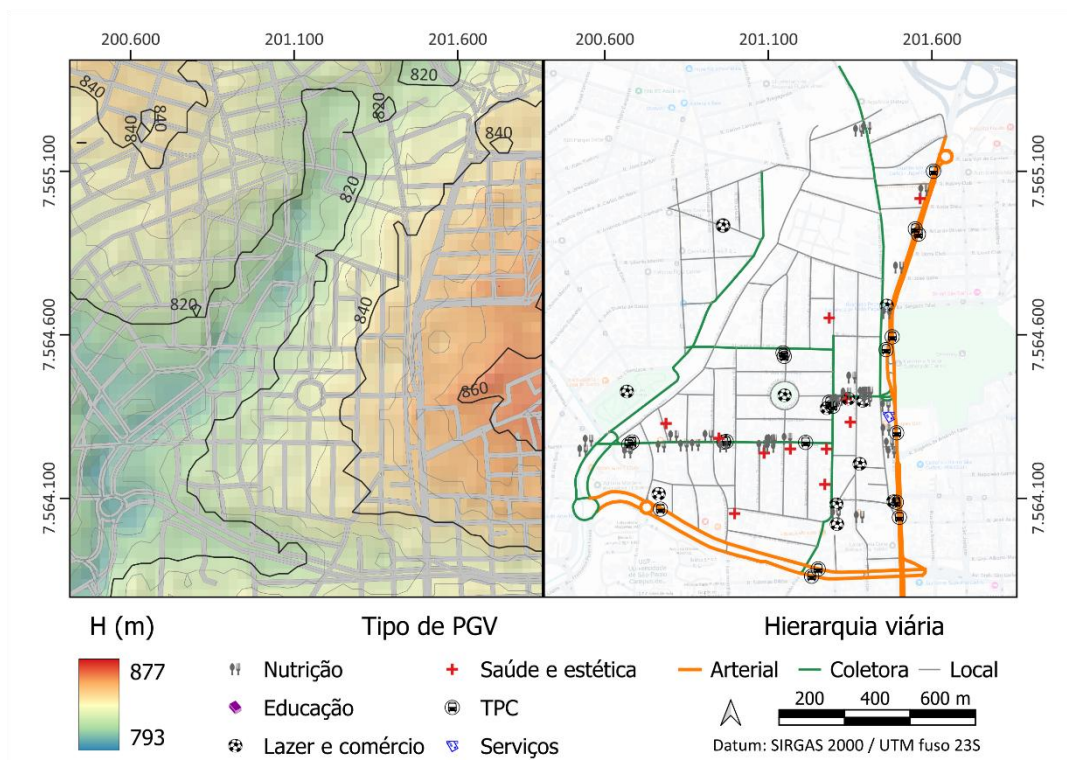
3.7 Estudo de caso

A Figura 1 apresenta os dados do estudo de caso, isto é, a localização do bairro Cidade Jardim, em São Carlos-SP (Brasil); suas condições topográficas do relevo, no mapa à esquerda (INPE, 2008); e os PGVs georreferenciados e categorizados mediante visitas de campo, no mapa à direita. A base cartográfica para criação do grafo representativo do sistema viário local, também mostrado à direita da Figura 1, foi a plataforma de mapeamento colaborativo *OpenStreetMap* (OSM). Já a hierarquização viária é análoga àquela apresentada no Plano de Mobilidade Urbana de São Carlos-SP (Prefeitura Municipal de São Carlos, 2023, p. 15).

O bairro estudado é predominantemente residencial e, segundo o último Censo Demográfico Nacional (IBGE, 2022), sua população é estimada em 3.456 habitantes. Seu terreno é majoritariamente (65%) classificado como suave ondulado (EMBRAPA, 1979), isto é, com declividades entre 3% e 8%, o que incorre em um interessante objeto de estudo para trabalhos voltados ao planejamento ciclovitário. Já com relação à hierarquia viária, o bairro é limitado ao sul e a leste por vias arteriais (Av. Trabalhador São-carlense e Av. São Carlos, respectivamente), além de permeado por algumas vias coletoras, com destaque para a Alameda dos Crisântemos (aquela da Figura 1 que concentra o maior número de PGVs).

Ao todo, foram identificados 77 PGVs condizentes com aqueles de uma XmN no bairro em questão, dos quais 33 são do tipo nutrição; 12, lazer e comércio; 11, saúde e estética; 20, TPC (pontos de ônibus); e apenas 1 relacionado a serviços (agência de correios). Nenhum PGV do tipo educação foi identificado na área de estudo. Além disso, com relação aos PGVs do tipo saúde e estética, não foram encontrados quaisquer centros de Atenção Primária à Saúde (APS) no bairro Cidade Jardim. Por último, os levantamentos de campo que endereçaram os PGVs também foram aproveitados para o levantamento das variáveis previsoras da classificação LTS e do ISU, como ilustra a Figura 2.

Figura 1 – Dados do estudo de caso



Fonte: Adaptado pelos autores de INPE (2008), IBGE (2022) e Prefeitura de São Carlos (2023, p. 15).

Figura 2 – Registro fotográfico dos levantamentos de campo



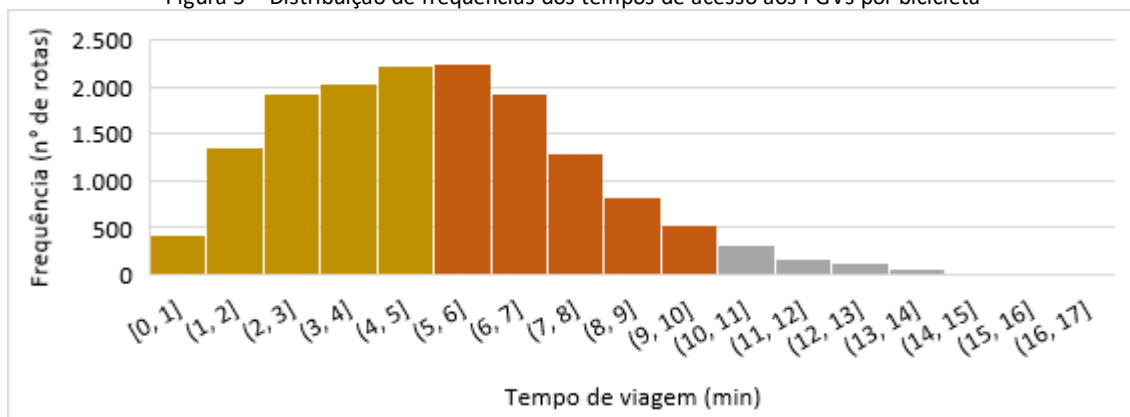
Fonte: Autores (2025).

4 RESULTADOS

As Figuras 3 e 4 resumem os resultados do trabalho, apresentando, nessa ordem: 1) distribuição de frequências dos tempos de acesso aos PGVs por bicicleta; e 2) mapeamento da

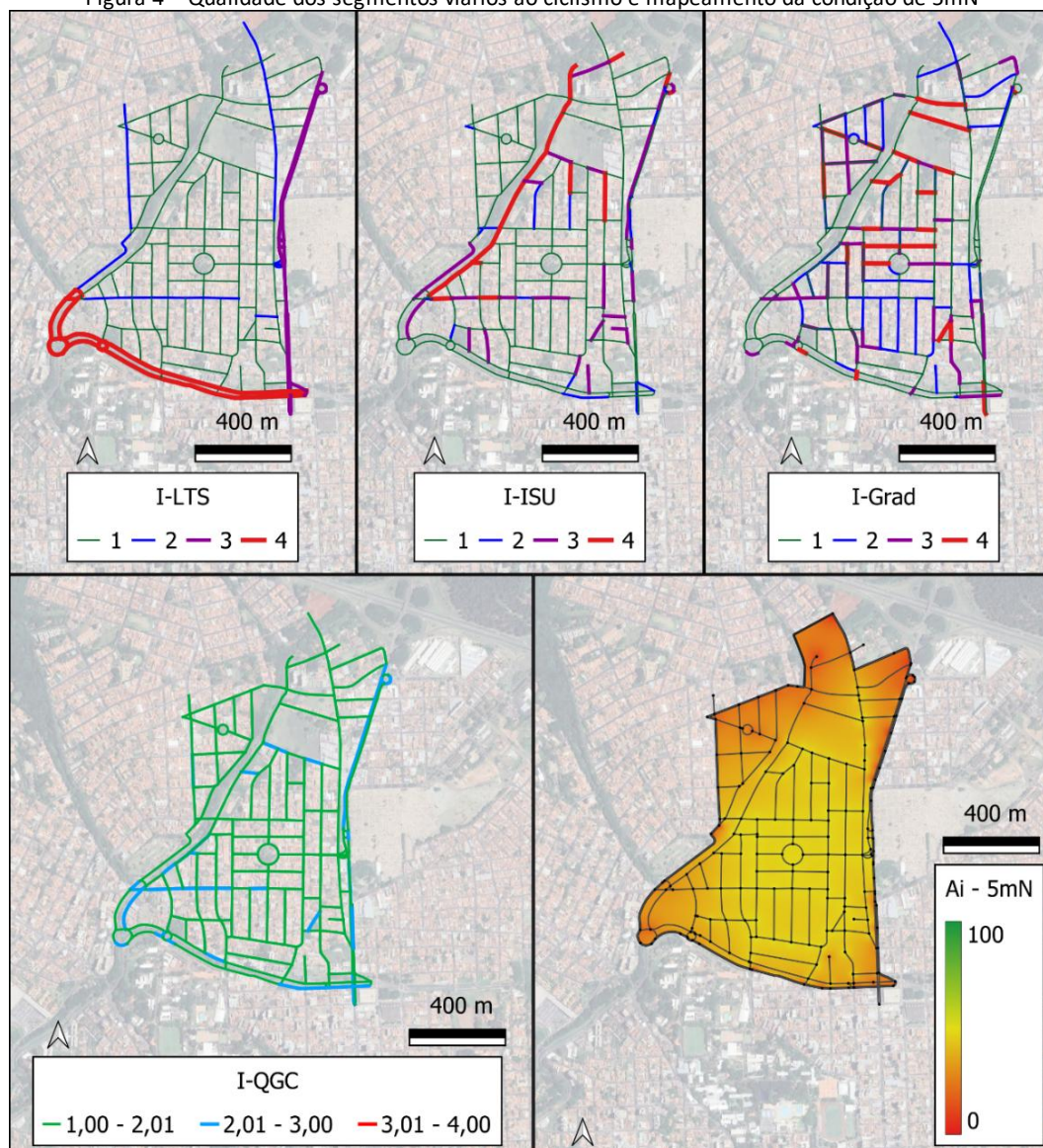
qualidade geométrica e/ou operacional das vias ao ciclismo e da acessibilidade (5mN).

Figura 3 – Distribuição de frequências dos tempos de acesso aos PGVs por bicicleta



Fonte: Autores (2025).

Figura 4 – Qualidade dos segmentos viários ao ciclismo e mapeamento da condição de 5mN



Fonte: Autores (2025).

Ao todo, foram calculadas 15.477 rotas cicláveis na área de estudo (201 nós do grafo [origens] x 77 PGVs [destinos]), via processamento em lote no QGIS, das quais 99,91% são limitadas a 15 minutos (em amarelo, laranja ou cinza, na Figura 3); 95,43% a 10 minutos (em amarelo ou laranja, na Figura 3); e 51,33% a 5 minutos (apenas aquelas em amarelo, na Figura 3). Essa distribuição de frequências, por sua vez, sinaliza para um grande potencial do bairro Cidade Jardim em se tornar uma 15mN ou 10mN sob a ótica do ciclismo, pois, mesmo com trechos viários caracterizados por um I_{QGC} precário (que resultam em desvios sistemáticos das rotas cicláveis com relação às rotas homólogas que minimizam a distância de viagem), o acesso aos PGVs é garantido em, no máximo, 15 minutos de pedalada. Contudo, hoje, tais condições não são atendidas devido à inexistência de algumas categorias de PGVs imprescindíveis a uma XmN, incorrendo em níveis intermediários de acessibilidade, conforme mais bem detalhado a seguir.

Com relação à Figura 4, os mapas superiores apresentam as avaliações individuais das variáveis de influência no uso da bicicleta, e os mapas inferiores apresentam o mapeamento do I_{QGC} e da condição de 5mN na região de estudo, no último caso, não sendo pertinente o mapeamento das demais condições (10mN e 15mN), pois a quase totalidade de rotas limitadas aos correspondentes tempos de viagem incorrem em níveis homogêneos de acessibilidade para todo bairro em questão.

Nota-se que apenas as vias arteriais e um trecho de via coletora (Av. Francisco Pereira Lopes) da área de estudo são classificadas com LTS 3 ou 4, devido aos respectivos limites legais de velocidade, sinalizando para possíveis inconsistências do PlanMob com relação à hierarquia da via coletora em questão. Já as vias coletoras caracterizadas com LTS 2 são aquelas dotadas de *centerlines*. No que tange ao ISU, 49 (16,78%) segmentos viários da Cidade Jardim possuem condições superficiais do pavimento urbano de péssimas a regulares, sendo observados casos extremos de ausência de pavimentação. Já com relação à declividade viária, uma análise mais cuidadosa deve ser feita, pois um mesmo segmento de mão dupla pode ser percorrido em auge ou em declive, incorrendo em diferentes avaliações de sua qualidade geométrica. De qualquer forma, estima-se que 80 (27,40%) segmentos viários possuem gradientes mais íngremes que 5%.

Com relação à qualidade global dos segmentos viários do bairro Cidade Jardim ao ciclismo, a média aritmética das avaliações individuais resulta em valores de I_{QGC} invariavelmente limitados a 3,00, isto é, embora sejam identificados arcos da rede fortemente penalizados na avaliação de algum parâmetro, nenhum segmento demanda intervenções e modificações severas em mais de um dos critérios estudados.

No que diz respeito aos índices de acessibilidade (0 a 100) condizentes com a XmN, os seguintes valores foram observados para o bairro Cidade Jardim: índice homogêneo de 51,25, em toda a área de estudo, para uma 15mN; entre 36,25 e 51,25, para uma 10mN (diferenças imperceptíveis a nível de mapeamento); e 1,25 a 51,25, para uma 5mN. No último caso, como pode ser constatado na Figura 4, nota-se uma maior facilidade de acesso daqueles que residem na região central do bairro; e uma acessibilidade precária nas regiões periféricas, sobretudo na porção norte do bairro Cidade Jardim, o que dialoga com alguns dos resultados de outros trabalhos apresentados na seção introdutória.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou combinar três variáveis de influência no uso da bicicleta – LTS, ISU e declividade viária – em um índice de qualidade de segmentos viários, para posterior aplicação desse índice como critério de avaliação de uma XmN. O estudo de caso, conduzido em um bairro de uma cidade brasileira de porte médio, mostrou a viabilidade de aplicação da abordagem proposta, e permitiu elencar alguns de seus pontos fortes, como a fácil interpretação visual e numérica dos resultados; e a demanda por poucas variáveis de entrada, as quais podem ser facilmente levantadas em campo.

Ainda sobre o estudo de caso, de forma pragmática, os valores de I_{QGC} limitados a 3,00 em todo o bairro estudado refletem em perspectivas otimistas sobre o planejamento ciclovitário da região, mas deve-se ter cautela: nenhuma das variáveis de entrada do método da pesquisa utiliza o fluxo de veículos motorizados para avaliar a qualidade operacional das vias ao ciclismo. Assim, atenta-se para a complementação da abordagem proposta com outros métodos e técnicas que endereçam tal variável, como as próprias versões mais recentes da classificação LTS (Furth; Mekuria; Nixon, 2016).

Por último, pode-se afirmar que o bairro Cidade Jardim apresenta potencial em se tornar uma 15mN, visto que todos os PGVs existentes são acessíveis em até 15 minutos de pedalada. Contudo, nem todos os PGVs necessários a essa condição existem no bairro. Logo, esse pode ser um interessante ponto de partida para que as autoridades municipais planejem a oferta de serviços públicos, como escolas e centros de saúde, visto que, mesmo consolidado em grande parte, o bairro ainda apresenta vazios urbanos não edificados.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil, Processo nº 144499/2023-1). Os autores são membros do Grupo de Pesquisa em Planejamento Urbano Sustentável (GPLUS) do Laboratório de Estudos em Transportes e Trânsito (LETT), localizado no Edifício de Pesquisa Integrada em Engenharia Civil (EPIEC) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar).

REFERÊNCIAS

AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **Guide for the Development of Bicycle Facilities**. 3. ed. Washington D.C.: AASHTO, 1999. 78 p.

ABDELFATTAH, L.; DEPONTE, D.; FOSSA, G. The 15-minute city: interpreting the model to bring out urban resiliencies. **Transportation Research Procedia**, v. 60, p. 330-337, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.043>

ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Relatório Geral 2017**. Brasília, DF, 2020. 125 p. Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacao-de-mobilidade-urbana-da-antp-2017.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AUSTROADS. **Cycling Aspects of Austroads Guides**. 2. ed. Sydney: Austroads Ltd., 2014. 177 p.

BOCCA, A. *et al.* Public space and 15-minute city: A conceptual exploration for the functional reconfiguration of proximity city. **TeMA**, v. 14, n. 3, p. 395-410, 2021. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/8062>

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.

BRASIL. Lei nº 13.724, de 4 de outubro de 2018. Institui o Programa Bicicleta Brasil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 jan. 2018. Seção única, p. 1.

BÜTTNER, B. *et al.* **Mapping of 15-minute City Practices Overview on strategies, policies and implementation in Europe and beyond**. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383658659_Mapping_of_15-minute_City_Practices_Overview_on_strategies_policies_and_implementation_in_Europe_and_beyond. Acesso em: 5 out. 2025.

C40 CITIES CLIMATE LEADERSHIP GROUP. **C40 Mayors' Agenda for a Green and Just Recovery**. 2020. Disponível em: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/C40-Mayors-Agenda-for-a-Green-and-Just-Recovery?language=en_US. Acesso em: 17 dez. 2024.

CHIARADIA, F. *et al.* The 15-Minute City: Na Attempt to Measure Proximity to Urban Services in Rome. **Sustainability**, v. 16, n. 21, p. 9432, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16219432>

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, n. 10. Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

FERRER-ORTIZ, C. *et al.* Barcelona under the 15-minute city lens: Mapping the accessibility and proximity potential based on pedestrian travel times. **Smart Cities**, v. 5, n. 1, p. 146-161, 2022. <https://doi.org/10.3390/smartcities5010010>

FURTH, P. G.; MEKURIA, M. C.; NIXON, H. Network connectivity for low-stress bicycling. **Transportation Research Record**, v. 2587, p. 41-49, 2016. <https://doi.org/10.3141/2587-06>

GAGLIONE, F. *et al.* Urban accessibility in a 15-minute city: a measure in the city of Naples, Italy. **Transportation Research Procedia**, v. 60, p. 378-385, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.049>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico Nacional 2022 [Data set]**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil [Data set]**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 10 jun. 2025.

KAMRUZZAMAN, L. Typologies of 20-minute neighbourhoods, active transport use, and spatial spillovers. **Findings**, 2022. <https://doi.org/10.32866/001c.33158>

KHAVARIAN-GARMSIR, A. R.; SHARIFI, A.; SADEGHI, A. The 15-minute city: Urban planning and design efforts toward creating sustainable neighborhoods. **Cities**, v. 132, p. 104101, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104101>

LU, M.; DIAB, E. 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, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100040>

MCNEIL, N. Bikeability and the 20-min Neighborhood: How Infrastructure and Destinations Influence Bicycle Accessibility. **Transportation Research Record**, v. 2247, p. 53-63, 2011. <https://doi.org/10.3141/2247-07>

MEKURIA, M. C.; FURTH, P. G.; NIXON, H. **Low-Stress Bicycling and Network Connectivity**. Mineta Transportation Institute, Report 11-19. Mineta, 2012. 84 p. Disponível em: <https://nacto.org/wp-content/uploads/1005-low-stress-bicycling-network-connectivity.pdf>. Acesso em: 4 out. 2025.

MIRANDA, H. F. *et al.* Validação de um instrumento para caracterizar níveis de estresse em rotas cicláveis de uma cidade média brasileira. In: 8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 2018, Coimbra (Portugal). **Anais [...]**. PLURIS. Disponível em: [https://repositorio.usp.br/directbitstream/03312618-6975-4f87-a854-84abce75273f/sysno3172527_\[Trab%20evl%20Fr](https://repositorio.usp.br/directbitstream/03312618-6975-4f87-a854-84abce75273f/sysno3172527_[Trab%20evl%20Fr). Acesso em: 04 dez. 2024.

MONARI, M. **Nível de estresse de ciclistas e geoprocessamento de dados abertos combinados para a definição de redes cicloviárias em cidades de pequeno porte**. 2022. 195 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

MONARI, M.; SEGANTINE, P. C. L.; SILVA, I. Avaliação da usabilidade do MDE TOPODATA para mensurar a acessibilidade de ciclistas: um estudo de caso para uma cidade pequena. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 3, p. 691-709, 2022. <https://doi.org/10.14393/rbcv74n3-65117>

MONARI, M. *et al.* 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. <https://doi.org/10.58922/transportes.v32i1.2890>

MORENO, C. *et al.* 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. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>

PREFEITURA DE SÃO CARLOS. **Plano de Mobilidade Urbana de São Carlos**. São Carlos, 2023. Disponível em: <http://mobilidadeurbana.saocarlos.sp.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

RYBARCZYK, G. *et al.* Physiological responses to urban design during bicycling: A naturalistic investigation. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior**, v. 68, p. 79-93, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.12.001>

SANTOS, J. L. J.; SANTOS, L. E. P. F. dos. Planejamento e mobilidade urbana no Brasil: o uso da bicicleta como uma nova maneira de pensar e construir a cidade. **Revista de Direito da Cidade**, v. 14, n. 1, p. 113-137, 2022. <https://doi.org/10.12957/rdc.2022.52895>

TEIXEIRA, J. F. *et al.* Classifying 15-minute Cities: A review of worldwide practices. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 189, p. 104234, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104234>

VALENZUELA, E. A. *et al.* Analyzing the behavior and growth of cycling in four north American cities before, during, and after the COVID-19 pandemic. **Transportation Research Record**, v. 2678, n. 12, p. 420-433, 2024. <https://doi.org/10.1177/03611981231157396>

VILLIBOR, D. F. *et al.* **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 194 p.

WINTERS, M. *et al.* How Far Out the Way Will We Travel? Built Environmental Influences on Route Selection for Bicycle and Car Travel. **Transportation Research Record**, v. 2190, p. 1-10, 2010. <https://doi.org/http://doi.org/10.3141/2190-01>

ZEILE, P. *et al.* Urban Emotions and Cycling Experience—enriching traffic planning for cyclists with human sensor data. **GI_Forum**, v. 1, n. 2013, p. 204-216, 2016. https://doi.org/10.1553/giscience2016_01_s204

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

- **Concepção e Design do Estudo:** Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari.
- **Curadoria de Dados:** Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari.
- **Análise Formal:** Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari.
- **Aquisição de Financiamento:** Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari.
- **Investigação:** Gabriella Mie Hanada Kodama.
- **Metodologia:** Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari.
- **Redação - Rascunho Inicial:** Gabriella Mie Hanada Kodama.
- **Redação - Revisão Crítica:** Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari.
- **Revisão e Edição Final:** Marcelo Monari.
- **Supervisão:** Marcelo Monari.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Gabriella Mie Hanada Kodama e Marcelo Monari, declaramos que o manuscrito intitulado “Level of Traffic Stress, Índice de Serventia Urbano e declividade viária combinados para a avaliação de uma vizinhança de 5, 10 ou 15 minutos”:

1. **Vínculos Financeiros:** Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil, Processo nº 144499/2023-1).
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-