

**Avaliação multicritério da ciclabilidade da rede viária em Montes
Claros/MG**

Rafael Aparecido Pereira Lopes

Mestrando, UNIMONTES, Brasil
rafaaplopes@icloud.com

Narciso Ferreira dos Santos Neto

Professor Doutor, UNIMONTES, Brasil.
narciso.ferreira@unimontes.br

Recebido: 5 de junho de 2024

Aceito: 15 de julho de 2024

Publicado online: 10 de setembro de 2024

RESUMO

Este estudo investigou a infraestrutura cicloviária e a percepção dos ciclistas sobre a mobilidade urbana sustentável em Montes Claros/MG, a partir do uso da bicicleta. A metodologia adotada consistiu na análise do ambiente viário para ciclistas, na aplicação de questionários a especialistas e ciclistas, utilizando uma abordagem multicritério. Os resultados revelaram limitações na infraestrutura, como a falta de ciclovias segregadas. Além disso, os ciclistas expressaram preocupações com a segurança, como o desrespeito dos motoristas e a iluminação insuficiente nas vias. Essas descobertas ressaltam a necessidade de investimentos em infraestrutura cicloviária e políticas públicas voltadas para a segurança e a mobilidade sustentável. Este estudo contribui para o conhecimento sobre a ciclabilidade em Montes Claros/MG, ao desenvolver um procedimento para análise de ciclabilidade que poderá ser utilizado em outros locais. Além disso, fornece percepções valiosas para o planejamento urbano e o incentivo ao uso da bicicleta como meio de transporte sustentável, com potenciais melhorias na mobilidade urbana e na qualidade de vida da população.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclabilidade. Infraestrutura cicloviária. Mobilidade urbana.

1 INTRODUÇÃO

Um trânsito com maior participação dos veículos não motorizados como a bicicleta é amplamente defendido na literatura científica como forma de contribuir para a mobilidade urbana, causa ambiental e saúde pública. Na mobilidade urbana as bicicletas desempenham uma solução eficaz para o congestionamento do tráfego e a escassez de estacionamento, problemas recorrentes nas médias e grandes cidades. Elas exigem um espaço mínimo para sua circulação nas vias, bem como para serem estacionadas. A sustentabilidade ambiental das bicicletas talvez seja um dos principais benefícios promovidos pela disseminação do seu uso, uma vez que as bicicletas produzem zero emissões de gases de efeito estufa e demandam significativamente menos energia para sua produção em comparação com os veículos motorizados. Na saúde pública as bicicletas promovem a atividade física, prática fundamental para pessoas que vivem em áreas urbanas, onde prevalecem estilos de vida sedentários. Apesar desses benefícios, a ampla adoção da bicicleta como meio de transporte urbano ainda é prejudicada por uma série de desafios, incluindo infraestrutura, segurança e aceitação social. Por exemplo, a infraestrutura inadequada para bicicletas e a ausência de ciclovias e estacionamento seguro desencorajam as pessoas de usar bicicletas. Além disso, a percepção de que a bicicleta é um meio de transporte inseguro, especialmente em áreas urbanas movimentadas, desencoraja ainda mais as pessoas de usar este veículo.

Desta forma, justificam-se os estudos aprofundados para a promoção da adoção generalizada de bicicletas em áreas urbanas. Há diversos métodos de implantação de redes cicloviárias em diferentes cidades pelo mundo, utilizando-se dos mais diferentes parâmetros para a tomada de decisão. Este trabalho pretende traçar perspectivas anteriores aos métodos de elaboração das estruturas cicloviárias, ou seja, analisar a ciclabilidade – nível de facilidade do uso da bicicleta como meio de transporte – de determinada localidade. Para analisar a ciclabilidade pretende-se desenvolver um procedimento com base em multicritérios estabelecidos por diferentes autores e levantados em questionário por ciclistas, sendo possível destacar desde já os critérios de perfil topográfico das vias, estabelecidos pela AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials), FHWA (Federal Highway Administration), GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte) e Austroads

(Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities) que avaliam o quanto de inclinação possível uma via pode ter para determinada distância percorrida por bicicleta; critérios de nível de estresse, dado por modelos como o de Sorton e Walsh e Furth, Mekuria e Nixon que observam fatores de estresse para os ciclistas ao utilizarem as vias, como velocidade dos veículos motorizados, volume de veículos, largura da via etc.; critérios de nível de serviço, como o índice de condição da via de Epperson-Davis que estabelece uma equação matemática que resulta em valores de 0 a 3 como excelente, entre 3 a 4 bom, 4 a 5 regular e maior que 5 péssimo, com base em parâmetros específicos da via como volume médio diário de veículos, número de faixas, velocidade máxima permitida, largura de faixa externa e duas variáveis tabeladas. Para estes métodos já estudados por esses autores e os fatores relevantes recolhidos dos ciclistas pretende-se aplicar uma avaliação multicritério para determinar finitos critérios que ampararão um procedimento de análise de ciclabilidade.

Portanto, o Índice de Ciclabilidade ora proposto será elaborado para a cidade de Montes Claros/MG, aplicando-o em centralidades limitadas e estimando a ciclabilidade como forma de especificar a facilidade do uso da bicicleta como meio de transporte naquela localidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi baseada em um estudo descritivo, que abordou tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos. Para elaborar o índice, foram utilizadas duas etapas: a primeira consistiu em realizar um levantamento na literatura sobre ciclabilidade, enquanto a segunda se refere à sequência de procedimentos adotados para a construção do índice.

2.1 Descrição do objeto de estudo

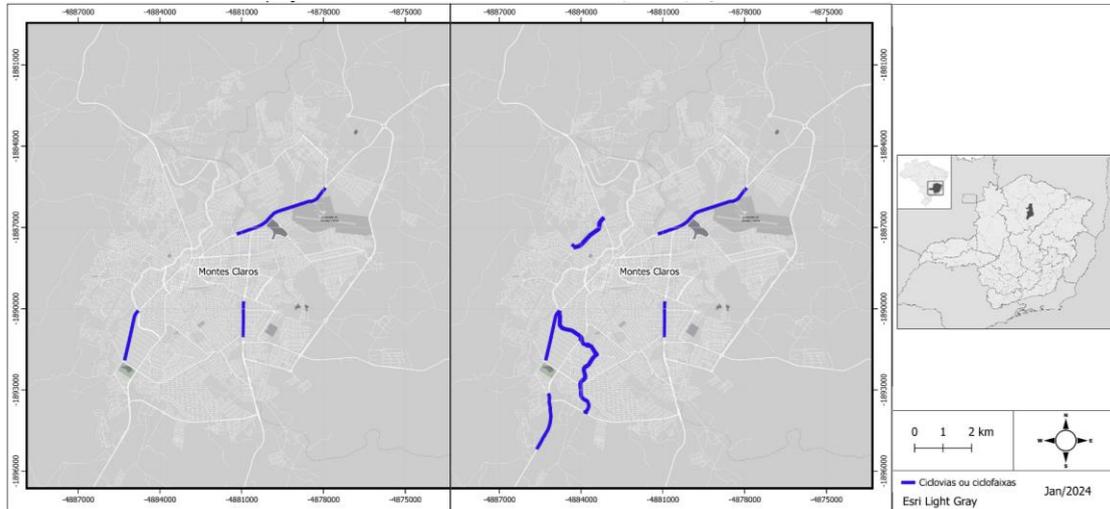
A cidade de Montes Claros/MG é a maior cidade do norte do estado de Minas Gerais, possuindo uma população de 414.240 habitantes (IBGE, 2022), com uma malha viária voltada para carros em detrimento aos outros modos de transportes. Uma Pesquisa de Origem e Destino Domiciliar O/D¹ em Montes Claros revelou a seguinte distribuição de meios de transporte: Carro: 23,1%; Transporte público: 29,2%; Transporte fretado: 1,8%; Escolar: 1,9%; Motocicleta própria e mototáxi: 16,2%; Táxi: 0,3% Bicicleta: 3,9%; A pé: 23,6%. Neste cenário, nota-se a baixa utilização da bicicleta em comparação com outros modais, inclusive com a locomoção a pé, indicando viagens relativamente curtas que poderiam ser feitas através da bicicleta, mas que a falta de um ambiente mais ciclável obriga muitas pessoas a preferirem ir a pé.

Nos últimos anos, o município tem buscado incentivar o uso da bicicleta como uma alternativa de transporte mais sustentável, impulsionado em parte pelo aumento significativo de ciclistas que ocorreu durante a pandemia de COVID-19 nos municípios brasileiros (CAU-RJ, 2022). Isso tem sido notável por meio do Programa MOC + BIKE, que resultou em uma expansão do sistema cicloviário da cidade. Anteriormente, o sistema contava com 9,15 quilômetros de

¹ A Pesquisa Origem e Destino Domiciliar foi realizada em Montes Claros em 2018. Seus resultados constam no documento “Projeto Básico e Minuta do Edital de Concessão do Transporte Coletivo – Montes Claros/MG: Produto 4 – Prognóstico de Demanda”, do Instituto Cidade Viva.

ciclofaixas e ciclovias, e com o programa, esse valor aumentou para 22,65 quilômetros, representando um aumento percentual de aproximadamente 148%.

Figura 1 – Localização das áreas cicláveis antes e depois do projeto MOC + BIKE em Montes Claros/MG.

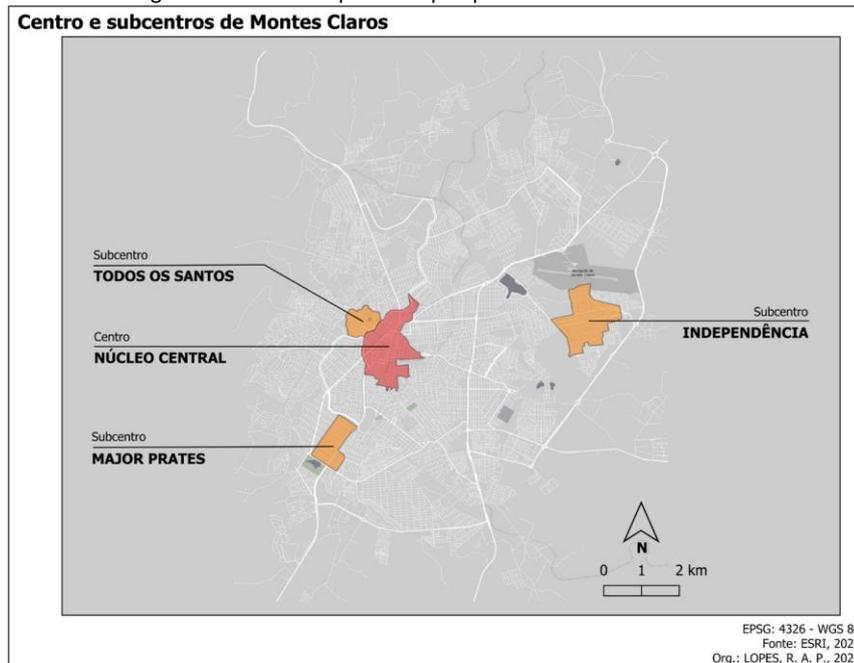


Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora seja um avanço positivo, é importante ressaltar que, em relação à extensão total da cidade, essa expansão ainda é limitada. Ainda há bairros e áreas que carecem de infraestruturas cicloviárias, o que pode dificultar a adesão mais ampla ao uso da bicicleta como meio de transporte. É essencial reconhecer que uma rede cicloviária verdadeiramente abrangente deve abranger toda a extensão da cidade, levando em consideração as necessidades de mobilidade de todos os cidadãos. Embora o Programa MOC + BIKE tenha dado passos na direção certa, é evidente que mais esforços e investimentos serão necessários para transformar a bicicleta em uma opção de transporte viável para uma parcela ainda maior da população.

O recorte espacial da pesquisa envolveu quatro regiões de Montes Claros/MG: Centro, Independência, Major Prates e Todos os Santos, apresentados na Figura 2. As quatro regiões de Montes Claros/MG foram retiradas das regiões de planejamento introduzidas pelo Decreto Municipal Nº 3.393/2016 retirado do Atlas Ambiental de Montes Claros, publicado em 2020.

Figura 2 – Recorte espacial da pesquisa – Centro e subcentros



Fonte: ESRI, 2024

A escolha das regiões Centro, Independência, Major Prates e Todos os Santos se justifica por apresentarem diferentes perfis socioeconômicos, o que as transforma em novas centralidades na cidade. Elas estão entre as regiões mais populosas da cidade. O Centro, por ser uma região central da cidade, concentra tanto comércios e serviços de alto padrão quanto populares, desempenhando um papel crucial no dinamismo urbano. A região do Todos os Santos, por sua vez, é conhecida por abrigar uma classe média tradicional, com imóveis valorizados e boa infraestrutura urbana, contribuindo para o estabelecimento de uma nova centralidade urbana. A região de Independência é marcada pela presença de conjuntos habitacionais populares e pelo perfil mais humilde de seus moradores, o que a torna uma centralidade emergente de grande relevância social. Por fim, a região de Major Prates apresenta uma mistura de bairros residenciais de classe média e baixa, contribuindo para a diversificação das centralidades urbanas na cidade, refletindo a complexidade das dinâmicas socioeconômicas urbanas contemporâneas. Essas quatro regiões não apenas refletem a heterogeneidade socioeconômica da cidade, mas também desempenham papéis cruciais na configuração das novas centralidades urbanas, promovendo um panorama urbano dinâmico e multifacetado.

2.2 Etapa 1: Fundamentação teórico metodológica

Na primeira etapa o levantamento foi realizado por meio de pesquisa em bases de dados eletrônicas, como Scopus, Portal de Periódicos Capes/MEC e Google Acadêmico, utilizando-se palavras-chave relacionadas ao tema do estudo, tais como ciclabilidade, ciclismo urbano, infraestrutura cicloviária, entre outras. Foram selecionados estudos publicados em inglês e português, com foco em avaliação da qualidade das vias urbanas para a prática do ciclismo. Os estudos selecionados foram analisados e utilizados para identificar os principais indicadores de ciclabilidade que deveriam ser considerados no desenvolvimento do índice de

ciclabilidade proposto. Além disso, também foram utilizados para identificar as principais metodologias empregadas na avaliação da qualidade das vias urbanas para a prática do ciclismo.

2.2.1 Ciclabilidade

A ciclabilidade de um local pode ser entendida como a capacidade e conveniência de se alcançar destinos importantes utilizando-se da bicicleta como meio de transporte (OSAMA AHMED & SAYED, 2016), para isso, fatores como conforto, tempo e distância de viagem, atratividade e segurança têm sido amplamente utilizados na avaliação (ARELLANA et al., 2020). O conforto e a segurança estão intimamente ligados ao nível de estresse causado pelo compartilhamento da via com veículos motorizados numa perspectiva de pouca ou nenhuma ciclovia (HEINEN; WEE; MAAT, 2010). Estudos sugerem que o ciclismo pode cobrir facilmente distâncias de até 5 km entre origens e destinos (ODs) (IMT, 2013), sendo ainda competitivo no que tange os tempos de deslocamentos em comparação com outros meios de transportes (KAPUKU et al., 2022). A atratividade para um ciclista, segundo Krenn, Oja e Titze (2015), é a presença de vegetação e água, contribuindo para a proteção dos raios solares, resfriamento e a estética do percurso.

As vias exclusivas para ciclistas são fundamentais na migração de novas pessoas para a utilização da bicicleta como meio de transporte (ZUO; WEI, 2019). A ciclovia e a ciclofaixa são exemplos de vias exclusivas. A ciclovia tem proteção física ao ciclista, enquanto a ciclofaixa possui apenas marcação no pavimento e sinalização. Gestores públicos que estão se preocupando em construir ciclovias estão vendo o crescimento do ciclismo e a diminuição de acidentes (NACTO, 2016).

2.2.2 Métodos de análise de ciclabilidade de rede cicloviárias

Diversos métodos foram criados para estimar a ciclabilidade de vias, as abordagens mais recorrentes serão revisadas e resumidas nessa seção.

(1) Declividade da via

A conectividade da rede cicloviária é importante para estimular as pessoas a escolherem a bicicleta quando planejam um percurso (ZUO; WEI, 2019), porém é fundamental a análise de comprimento de rampa quando se pensa em criar conexões entre ODs pela cidade, de forma a eliminar vias e segmentos críticos para a circulação de bicicletas (ZUO; WEI, 2019). Neste sentido, destacamos quatro critérios de declividade de vias (AASHTO (1999); FHWA (1979); GEIPOT (2001); Austroads (2011)) de três países diferente. A Tabela 1 resume estes critérios classificando em três grupos – desejável, aceitável e não aceitável – conforme o nível de declividade em função da distância a ser percorrida (MAGALHÃES; CAMPOS; BANDEIRA, 2015).

Tabela 1 - Classificação de declividade de vias segundo manuais de projeto de rotas cicláveis

Critério	Declividade em função da distância		
	Desejável	Aceitável	Não aceitável
AASHTO	Até 3,0%	Entre 3,0% e 5,0%	Acima de 5,0% (15-240m)
FHWA	Até 7,0% (0-610m)	Entre 2,0% e 11,0% (0-610m)	Acima de 3,0% a 11,0% (0-610m)
GEIPOT	Até 2,0%	Acima de 2,0% (até 10m)	Acima de 2,0% (até 10m)
Austroroads	Até 3,0%; ou acima (7-200m)	Até 3,0%; ou acima (7-200m)	Entre 4,0% e 12,0% (7-200m)

Fonte: AASHTO (1999); FHWA (1979); GEIPOT (2001); Austroroads (2011) apud Magalhães, Campos e Bandeira (2015).

Apesar das pequenas variações nos critérios adotados por estes órgãos, é importante adotar em primeira instância para eliminar da rede cicloviária aquelas vias que ultrapassam o máximo aceitável ou, pelo menos, adotar medidas de mitigação quando não for possível retirar aquela via da rede. São medidas de mitigação áreas de descanso, elevadores e rampas adaptadas visando melhorar o conforto durante o percurso.

(2) *Sorton e Walsh (1994) e Mekuria, Furth e Nixon (2012)*

O método de Sorton & Walsh é uma extrapolação de estudos dos veículos motorizados relacionando com nível de estresse para ciclista, seguindo uma lógica de que se há problemas para motoristas de veículos motorizados, mais problemas terá para ciclistas. Foi utilizado três parâmetros para classificar de 1 (melhor) a 5 (pior) as vias: volume de tráfego no horário de pico, largura da faixa externa e velocidade dos veículos motorizados. Para validar os níveis de estresse das vias, foi filmado vinte três segmentos diferentes e enviado junto um questionário a 61 ciclistas adultos para extrair indicadores de percepção dos ciclistas das condições de trânsito.

Os resultados demonstraram que diferentes categorias de ciclistas terão uma percepção diferente do nível de estresse para cada parâmetro proposto, podendo ser divididos em: experientes, quando o ciclista andava em ruas arteriais e por pelo menos 30 quilômetros por semana; casuais, quando não andam em vias arteriais, utilizam a calçada, usa a bicicleta para recreação e anda por volta de 10 quilômetros por semana; e ciclistas jovens, entre 10 e 15 anos.

O modelo de Furth, Mekuria e Nixon foi intitulado como Level of Traffic Stress (LTS) e propõe uma classificação das vias de 1, o melhor, a 4, o pior, com base no manual holandês Design Manual for Bicycle Traffic. Da mesma forma do modelo de Sorton e Walsh, os níveis de estresse são diferentes para cada grupo de ciclistas, todavia utilizando a classificação sugerida por Geller (2007): os “fortes e destemidos”, aqueles dispostos em trafegar em qualquer via; os “entusiasmados e confiantes”, não mostram a mesma tolerância em se misturar em vias com tráfego rápido e intenso, porém responde bem em andar em ciclovias ao longo de vias arteriais e ao compartilhamento de vias locais e coletoras com o tráfego; o “interessado, mas preocupado”, correspondendo aqueles que evitam pedalar em tráfegos desconfortáveis, se dando bem apenas em caminhos autônomos e ruas com tráfego pequeno e lento; e, por último, os “de jeito nenhum”, no qual não tem interesse em andar de bicicleta. Os autores consideraram diversos parâmetros para cada tipo de via, como para ciclofaixas, consideraram o número de faixa de tráfego, alcance do meio-fio, limite de velocidade e interrupção de fluxo ao longo de

ciclofaixas. Ainda analisaram vias compartilhadas e cruzamentos não sinalizados, estabelecendo LTS de 1 a 4 para cada critério proposto.

(3) *Índice de Condição da Via (ICV) de Epperson (1994)*

É um modelo matemático proposto por Epperson (1994) que quantifica várias variáveis qualitativas da via em uma equação. O cálculo de ICV é feito por meio da equação a seguir:

$$ICV = \frac{VMD}{f \times 3100} + \frac{V}{48} + \left(\frac{V}{48}\right) + [(4,25 - L) \times 1,635] + \sum FP + \sum FL$$

Sendo:

VMD: volume médio diário (veíc./h);

f: número de faixas de tráfego;

V: velocidade de tráfego permitida (km/h);

L: largura da faixa externa (m); e

FP e FL: fatores relacionados, respectivamente, ao pavimento e à localização com valores tabelados.

A partir da equação tem-se o resultado do ICV pelo qual se aplica a classificação das vias segundo sua qualidade de serviço para o transporte ciclovário, sendo ela de 0 a 3 excelente, 3 a 4 bom, 4 a 5 regular e maior que 5 ruim.

(4) *Nível de serviço para bicicletas de Landis, Vattikuti e Brannick (1997)*

O modelo de Landis, Vattikuti e Brannick (1997) se baseia em uma pesquisa com 150 ciclistas sobre o conforto e a segurança em 30 segmentos viários na cidade de Tampa, Flórida (EUA). A partir dos resultados fizeram um tratamento dos dados, modelaram uma equação do nível de serviço para bicicletas e classificaram os resultados entre níveis de compatibilidade com a bicicleta entre A (extremamente alta) e F (extremamente baixa). A equação proposta é da seguinte forma:

$$BLOS = 0,607 \times \ln\left(\frac{v_{ma}}{N_{th}}\right) + 0,901 \times \ln[S_{Ra} \times (1 + P_{HV_a})] + 6,51 \times P_c - 0,005 \times w_e^2 - 1,883$$

Sendo:

BLOS = Bike Level of Service (Nível de serviço para bicicletas);

v_{ma} = Volume de tráfego direcional em 15 minutos;

N_{th} = Número de faixas de tráfego;

S_{Ra} = Velocidade de tráfego permitida (km/h);

P_{HV_a} = Condição de superfície do pavimento, avaliada sob uma escala de 1 a 5, de acordo com o Highway Performance Monitoring System (HPMS) do FHWA.

P_c = Porcentagem de veículos pesados;

w_e = Largura da faixa externa (m)

2.2.3 Análise multicritério

A escolha do método de análise multicritério para resolução de um problema com várias alternativas envolvendo vários objetivos e critérios é desafiador para o decisor, pois não há um método perfeito ou que pode ser aplicado para qualquer problema (ISHIZAKA; NEMERY,

2013). Desta forma, pode-se classificar os métodos nas seguintes abordagens: (1) abordagens do critério único de síntese; (2) abordagens interativas; e (3) abordagens de subordinação.

Quadro 1 - Métodos de Análise Multicritério

Escola americana, caracterizada por agregar em uma função única várias funções de utilidade	AHP (SAATY, 1980); Teoria da Escolha Social (ARROW, 1963); Teoria da Utilidade Multiatributo (Multi-Attribute Utility Theory, MAUT)
São abordagens em que o decisor interage com o modelo, buscando uma única solução, que esteja mais próximo do ponto ótimo	STEM (BENAYOUN et al., 1971); TRIMAP (CLÍMACO; ANTUNES, 1987); ICW (STEUER, 1977) e (STEUER, 1986); PARETO RACE (KORHONEN; WALLENIUS, 1988).
Escola francesa, caracterizada por valorar um conjunto de alternativas sobre famílias de critérios, construindo-se relações de subordinação não compensatórias entre as alternativas	ELECTRE (ROY, 1968); ELECTRE II (ROY; BERTIER, 1971); ELECTRE III (ROY, 1978); ELECTRE IV (ROY; HUGONNARD, 1981); ELECTRE IS (ROY; SKALKKA, 1985); ELECTRE TRI (MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 1999) e (YU, 1992).

Fonte: Treinta et al. (2014).

A escolha que fizemos neste trabalho foi o método Analytic Hierarchy Process (AHP), pois buscávamos um método flexível e com capacidade de envolver especialistas e interessados que contribuem para uma abordagem mais completa e confiável. Além disso, seguiu-se uma estrutura de método multicritério similar com a proposta por Veloso (2021).

2.3 Etapa 2: Desenvolvimento do Índice de Ciclabilidade para Montes Claros

Nesta fase, foi desenvolvida uma metodologia sequencial composta por três procedimentos interligados: o método de análise multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) fundamentado em questionários aplicados a especialistas e entrevistas com ciclistas; a definição de critérios para a avaliação dos indicadores; e, finalmente, a elaboração de um modelo matemático para o índice de ciclabilidade.

O método de análise multicritério AHP é amplamente utilizado na tomada de decisões em diversas áreas, desde o planejamento estratégico de empresas até a escolha de políticas públicas. O AHP permite que diferentes critérios sejam ponderados e comparados entre si, possibilitando uma escolha mais fundamentada e precisa. De acordo com Saaty (2008), o AHP é um método que “permite que os especialistas ou os tomadores de decisão expressem julgamentos e estimativas sobre a importância relativa dos fatores ou critérios que afetam uma decisão”. Isso torna o AHP uma ferramenta valiosa para a análise e seleção de alternativas complexas, que envolvem múltiplos fatores e variáveis.

Diante do exposto, utilizamos o método AHP a partir da Escala Fundamental de Saaty que consiste em uma série de valores que vão de 1 a 9, cada um com um significado específico em relação à importância relativa dos critérios ou alternativas considerados na análise. O valor 1 representa igual importância, enquanto o valor 9 representa uma diferença muito forte na importância. A escala fundamental de Saaty é fundamental para a utilização do método AHP, pois permite que os decisores comparem e ponderem diferentes critérios e alternativas de forma consistente e objetiva.

2.3.1 Questionário para especialistas

Os critérios estabelecidos para análise foram retirados dos manuais de AASHTO (1999), FHWA (1979), GEIPOT (2001) e Austroads (2011), dos trabalhos de Sorton e Walsh (1994), Mekuria, Furth e Nixon (2012), Epperson (1994) e Landis, Vattikuti e Brannick (1997):

Quadro 2 - Estrutura do questionário dos especialistas

Categoria	Crítérios
Topográficos (T)	rampa (T1)
Nível de estresse (NE)	volume de tráfego (NE1); volume de tráfego pesado (NE2); limite de velocidade (NE3); incidência solar (NE4).
Nível de serviço (NS)	conservação do pavimento (NS1); separação de faixas (NS2); ciclovias (NS3); larguras das faixas (NS4); iluminação (NS5).

Fonte: Organizado pelo Autor.

Com base nesses dez critérios agrupados em três categorias foi elaborado o questionário semiestruturado para os especialistas e enviado de forma online através do Google Forms durante o mês de março de 2023. Os indicadores foram representados por siglas, como visto no Quadro 2, para facilitar a tabulação dos dados.

2.3.2 Questionário para ciclistas

Foi criado um questionário semiestruturado baseado nos seis indicadores mais relevantes identificados pelos especialistas, que tinha como público-alvo os ciclistas que transitam em quatro regiões de Montes Claros/MG: Centro, Independência, Major Prates e Todos os Santos. O propósito desse processo era avaliar a percepção dos ciclistas em relação à importância atribuída por eles aos seis indicadores de maior relevância mencionados pelos especialistas. Desta forma, o questionário constou os seis indicadores selecionados do questionário dos especialistas: rampa, volume de tráfego pesado, volume de tráfego, limite de velocidade, ciclovias e iluminação, e a pergunta convidando aos ciclistas a atribuírem um grau de importância entre 1, menos importante a 5, mais importante.

Foram realizadas entrevistas através de um formulário do Google Forms entre os dias 3 e 15 de abril. Após a coleta dos dados, foram selecionados apenas os participantes que residiam nas áreas de estudo, totalizando 43 respostas distribuídas de acordo com a tabela 2. A utilização de uma ferramenta online para a coleta de dados se mostrou eficiente e prática, possibilitando uma maior abrangência e facilidade de acesso aos participantes.

Tabela 2 - Distribuição de respostas por região

Regiões	População	Respostas	Proporção
Centro	6.904	7	16,28%
Independência	15.071	11	25,58%
Major Prates	18.664	17	39,53%
Todos os Santos	10.532	8	18,60%
Total	51.171	43	100,00%

Fonte: Organizado pelo Autor.

Os dados provenientes desta operação foram coletados e submetidos ao modelo de avaliação multicritério que leva em conta a relevância atribuída pelos ciclistas aos indicadores selecionados. A partir da aplicação do AHP para as entrevistas dos ciclistas nas quatro regiões, podemos definir as ordens de prioridade dos indicadores por região, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Pesos dos indicadores por região.

Indicadores	Centro	Independência	Major Prates	Todos os Santos
Volume de tráfego (NE1)	0,223	0,125	0,220	0,125
Volume de tráfego pesado (NE2)	0,223	0,125	0,220	0,051
Ciclovia (NS3)	0,202	0,233	0,220	0,233
Limite de velocidade (NE3)	0,128	0,233	0,220	0,125
Rampa (T1)	0,112	0,051	0,056	0,233
Iluminação (NS5)	0,112	0,233	0,056	0,233

Fonte: Organizado pelo Autor.

Durante a análise dos dados da pesquisa, constatou-se que as opiniões dos ciclistas variaram de acordo com a área central investigada. No entanto, também se constatou que o critério “Ciclovia” (NS3) manteve sua relevância nas quatro áreas centrais estudadas. Isso possui uma significância importante para a pesquisa, uma vez que estabelece, de forma abrangente, os aspectos que os ciclistas consideram mais relevantes em seus deslocamentos.

Os critérios “Volume de tráfego” (NE1), “Volume de tráfego pesado” (NE2), “Limite de velocidade” (NE3) e “Iluminação” (NS5), se mantiveram com relevância média, alternando entre eles nas quatro regiões. Enquanto o critério “Rampa” (T1) foi identificado como o indicador de menor importância para os ciclistas em relação aos seus deslocamentos. Além disso, em cada uma das áreas centrais investigadas, houve variação nos pesos atribuídos a esses indicadores, o que pode ser explicado pelas características particulares de cada localidade, tais como infraestrutura, padrões de ocupação do solo, localização geográfica dentro da área urbana e nível socioeconômico da população.

2.3.3 Pesquisa de campo

Este procedimento foi realizado com o objetivo de investigar, examinar e avaliar as características espaciais estudadas. Foram empregados registros visuais, como mapas, fotografias e outros elementos relevantes, com o propósito de compreender o ambiente construído e realizar a avaliação dos indicadores.

Para a escolha dos trechos foram estabelecidos parâmetros dentro das quatro regiões: Centro, Independência, Major Prates e Todos os Santos, tal qual era necessário que o trecho escolhido possuísse ao menos uma via arterial, coletora e local, bem como os três usos definidos pela Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município de Montes Claros. Para isso, foi utilizado como norte o estudo feito por Veloso (2021) para estudo do índice de caminhabilidade.

Foi realizada uma avaliação técnica dos indicadores pré-determinados por meio de observação e atribuição de uma pontuação. A metodologia adotada consistiu em atribuir notas de 0 a 3 com base em critérios estabelecidos. No Quadro 3, estão descritos os seis indicadores

avaliados no campo, com seus respectivos critérios de avaliação e pontuação, que variou de 0 a 3.

Quadro 3 - Critérios de pontuação para avaliação técnica dos indicadores

Indicadores	ÓTIMO 3 pontos	BOM 2 pontos	SUFICIENTE 1 ponto	INSUFICIENTE 0 pontos
Rampa (T1)	Inclinação até 3,0% (0-610m), conforme FHWA	Inclinação até 7,0% (0-610m), conforme FHWA	Inclinação até 7,0% a 11,0% (0-610m), conforme FHWA	Inclinação acima de 11,0% (0-610m), conforme FHWA
Volume de tráfego pesado (NE2)	Volume de tráfego de veículos pesados mínimo ou inexistente	Volume de tráfego de veículos pesados moderado e razoavelmente gerenciável	Volume de tráfego de veículos pesados além do ideal, mas com algum nível de conforto e segurança	Volume de tráfego de veículos pesados excessivamente alto
Volume de tráfego (NE1)	Trânsito típico em horário de pico rápido	Trânsito típico em horário de pico moderado	Trânsito típico em horário de pico congestionado	Trânsito típico em horário de pico lento
Limite de velocidade (NE3)	Limite de velocidade máximo de 40 km/h	Limite de velocidade máximo de 50 km/h	Limite de velocidade máximo de 60 km/h	Limite de velocidade acima de 60 km/h
Ciclovia (NS3)	Existe ciclovia em toda via	Existe ciclovia ou ciclofaixa em toda via	Existe ciclovia ou ciclofaixa em parte da via	Não existe ciclovia ou ciclofaixa
Iluminação (NS5)	Há pontos de iluminação dedicados aos ciclistas	Há pontos de iluminação voltados à rua (faixa de circulação de veículos motorizados)	-	Há obstruções de iluminação ocasionadas por árvores ou lâmpadas quebradas

Fonte: Organizado pelo Autor.

Ao demonstrar os critérios utilizados para avaliação dos indicadores em cada área estudada, chegamos ao último passo da metodologia deste trabalho. Nesse último passo, busca-se desenvolver o modelo matemático que será utilizado para calcular o índice de ciclabilidade. O objetivo é testar esse modelo nas quatro centralidades.

2.3.3 Desenvolvimento do modelo matemático do Índice de Ciclabilidade

Para a determinação do índice de ciclabilidade neste estudo, foi essencial estabelecer os pesos dos indicadores e registrar as pontuações atribuídas aos sete indicadores selecionados, utilizando a análise técnica mencionada na seção anterior.

O modelo matemático adotado para calcular o índice de ciclabilidade baseia-se no somatório ponderado das pontuações de cada indicador, levando em consideração seus respectivos pesos. Uma vez que os pesos estão normalizados, ou seja, sua somatória é igual 1, esta equação é uma média ponderada das pontuações e pesos. Portanto, o modelo matemático selecionado para a obtenção do índice de ciclabilidade é definido da seguinte forma:

$$IC = \sum (P_{ind} \times P_c)$$

Sendo:

IC = índice de ciclabilidade;

Pind = pontuação do indicador (de 0 a 3);

Pc = peso do indicador (resultado das matrizes paritárias do AHP).

É importante ressaltar, neste ponto do estudo, que a formulação do modelo matemático mencionado anteriormente incorpora características e elementos específicos do contexto espacial desta pesquisa, ou seja, da cidade de Montes Claros. Além disso, o modelo considera de forma mais precisa as quatro centralidades analisadas, reforçando assim os estudos apresentados nesta dissertação em relação à avaliação da ciclabilidade.

3 RESULTADOS

Com base no índice de ciclabilidade obtido anteriormente para as 16 rotas pesquisadas nas quatro localidades espaciais, constatou-se que esses índices não apresentam uniformidade. Em outras palavras, ao relacionar a pontuação atribuída em campo com o peso de cada indicador, observa-se uma variação no cálculo do índice de ciclabilidade por segmento, mesmo que essa variação ocorra dentro da mesma classificação da normalização dos resultados.

Os resultados derivados da pesquisa evidenciaram que todas as rotas examinadas exibiram índices de ciclabilidade inferiores ao limiar considerado ótimo ou bom, porém apenas duas foram classificadas como insuficientes. A ausência de ciclovias em todas as vias investigadas foi um fator determinante para a baixa pontuação no índice de ciclabilidade em todas as áreas avaliadas. Mediante o levantamento conduzido com os ciclistas, constatou-se que a presença de ciclovias é um dos indicadores mais relevantes, sendo ponderado entre 20% e 23% em todas as localidades centrais examinadas. Por outro lado, o índice de rampas, o qual avalia o grau de inclinação das vias, obteve pontuações satisfatórias em todas as rotas investigadas. Contudo, sua influência no cálculo do índice de ciclabilidade foi limitada, uma vez que o peso atribuído a tal indicador foi inferior a 12% em todas as áreas, exceto em Todos os Santos, onde recebeu uma relevante ponderação de 23,30%. Essa diferença de peso entre os indicadores nas diferentes localidades pode explicar a variação dos resultados e a ausência de pontuações classificadas como boas ou excelentes.

No Centro, uma região caracterizada por uma maior concentração de tráfego e atividades urbanas, os ciclistas atribuíram uma maior importância à segurança, levando em consideração os índices de volume de tráfego e presença de veículos pesados. Essa percepção está relacionada à geometria estreita das vias nessa área, o que pode resultar em situações de maior estresse e risco para os ciclistas. No Major Prates também é observada uma alta concentração de veículos, porém, em contraste com o Centro, as vias apresentam-se mais largas. Nesse contexto, os ciclistas demonstraram uma maior preocupação com o índice de limite de velocidade, levando em consideração a capacidade dessas vias. Além disso, o índice de iluminação recebeu peso significativo nas regiões do Independência e Todos os Santos. No caso do Independência, essa relevância pode ser explicada pelo fato de ser uma região periférica, com presença de alguns terrenos vagos e uma infraestrutura de iluminação ausente ou insatisfatória. A falta de iluminação adequada pode representar um obstáculo para os ciclistas, aumentando os riscos de acidentes e reduzindo a sensação de segurança durante os deslocamentos. Já na região do Todos os Santos, embora possua uma boa infraestrutura em

geral, é caracterizado por uma abundância de árvores em diversos locais. Essa arborização, embora benéfica em vários aspectos, pode resultar em dificuldades relacionadas à iluminação. As árvores podem bloquear a luz das luminárias, criando áreas sombreadas que podem afetar a visibilidade dos ciclistas, especialmente durante a noite. Portanto, a importância atribuída ao índice de iluminação nesse bairro é justificada pela necessidade de superar esses desafios específicos relacionados à arborização.

4 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar a ciclabilidade e desenvolver um índice de facilidade de uso da bicicleta como meio de transporte em Montes Claros/MG. Os resultados obtidos revelaram que as vias urbanas pesquisadas apresentam índices de ciclabilidade abaixo do patamar considerado bom, indicando a necessidade de melhorias para promover a adoção generalizada da bicicleta como meio de transporte na cidade.

A falta de infraestrutura adequada para bicicletas foi identificada como um dos principais desafios para a ampla adoção da bicicleta. A ausência desses elementos desencoraja as pessoas a utilizar a bicicleta como meio de transporte e afeta negativamente a ciclabilidade das vias analisadas.

Os indicadores de ciclabilidade mais relevantes, conforme apontado pelos ciclistas, foram a presença de ciclovias e a iluminação adequada. Esses elementos desempenham um papel crucial na segurança e no conforto dos ciclistas durante os deslocamentos. Além disso, a geometria das vias e a presença de veículos pesados também foram considerados fatores importantes para a percepção dos ciclistas em relação à segurança.

Embora todas as espacialidades analisadas tenham alcançado índices classificados como suficientes, nenhuma delas atingiu um índice considerado bom ou ótimo. Isso ressalta a necessidade de investimentos em infraestrutura e políticas públicas para melhorar as condições das vias urbanas e torná-las mais adequadas ao ciclismo.

Os resultados deste estudo fornecem subsídios importantes para gestores públicos e planejadores urbanos, destacando a importância de priorizar a construção de ciclovias, a melhoria da iluminação e a consideração da segurança dos ciclistas em projetos de mobilidade urbana. Além disso, a abordagem de análise de multicritérios adotada neste estudo, utilizando o método Analytic Hierarchy Process (AHP), pode ser aplicada em outras localidades para avaliar a ciclabilidade e orientar intervenções urbanas voltadas para o uso da bicicleta.

É fundamental ressaltar que a promoção do uso da bicicleta como meio de transporte não se restringe apenas à melhoria da infraestrutura, mas também requer ações educativas e de conscientização para fomentar uma cultura de respeito e compartilhamento das vias entre ciclistas, pedestres e motoristas.

Para pesquisas futuras sugere-se a ampliação do tamanho da amostra, inclusão de diferentes contextos urbanos, realização de comparações com outras metodologias e exploração da relação entre a ciclabilidade e outros indicadores urbanos, como qualidade do ar e saúde pública. Além disso, é importante acompanhar as mudanças nas políticas públicas relacionadas à mobilidade sustentável, a fim de avaliar seu impacto na melhoria da ciclabilidade das cidades.

Em resumo, apesar das limitações mencionadas, a presente pesquisa contribuiu significativamente para o conhecimento sobre a ciclabilidade em Montes Claros/MG. As sugestões para pesquisas futuras visam fortalecer e expandir esses achados, aprimorando ainda mais nossa compreensão da mobilidade urbana sustentável e promovendo a utilização da bicicleta como meio de transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **Guide for the Development of Bicycle Facilities**. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1999.

ARELLANA, J. et al. **Developing an urban bikeability index for different types of cyclists as a tool to prioritise bicycle infrastructure investments**. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 139, p. 310–334, 2020. ISSN 0965-8564. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856420306534>>.

ARROW, K. J. **Social Choice and Individual Values**. New Haven and London: Yale University Press, 1963.

AUSTROADS. **Austrroads Guide to Road Design - Part 6A: Pedestrian and Bicycle Paths**. Sydney: Austroads, 2011.

BENAYOUN, R. et al. **Linear programming with multiple objective functions: Step method (stem)**. *Mathematical Programming*, 1971.

CAU-RJ. **Pandemia faz número de bicicletas nas ruas brasileiras aumentar**. 2022. Disponível em: <<https://www.caurj.gov.br/pandemia-faz-numero-de-bicicletas-nas-ruas-brasileiras-aumentar/>>. Acesso em: 20 Julho de 2023.

CLÍMACO, J.; ANTUNES, C. **Trimap—an interactive tricriteria linear programming package**. *Foundations of Control Engineering*, v. 12, 01 1987.

EPPERSON, B. **Evaluating suitability of roadways for bicycle use: toward a cycling level-of-service standard**. *Transportation Research Record, Transportation Research Board*, n. 1438, p. 9–16, 1994. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/413762>>.

FHWA. **A bikeway criteria digest: The ABCD's of bikeways**. Washington, DC, 1979.

GEIPOT. **Manual de Planejamento Cicloviário**. Brasília, DF, 2001.

GELLER, R. **Four Types of Cyclists**. **Portland, OR**: City of Portland, Office of Transportation, 2007. <<http://www.portlandonline.com/transportation/index.cfm?a=158497&c=44671>>. Acesso em: 20 de março de 2021.

GOEPEL, K. D. **Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (ahp-os)**. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, v. 10, n. 3, 2018. Disponível em: <<https://ijahp.org/index.php/IJAHp/article/view/590>>.

GOOGLE. **Google Earth**. 2023. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>.

HEINEN, E.; WEE, B. van; MAAT, K. **Commuting by bicycle: An overview of the literature**. *Transport Reviews*, Routledge, v. 30, n. 1, p. 59–96, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01441640903187001>>.

IBGE. **Censo Brasileiro de 2022**. 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 Julho de 2023.

IMT. **Promoção da Bicicleta e outros Modos Suaves**. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentosdeReferencia/PlanoNacionalBicicleta/Documents/PPBOMS_Final.pdf>. Acesso em: 10 Dezembro de 2020.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software**. [S. l.]: John Wiley Sons, 2013. ISBN 9781119974079.

KAPUKU, C. et al. **Modeling the competitiveness of a bike-sharing system using bicyclelegs and transit smartcard data**. *Transportation Letters*, Taylor Francis, v. 14, n. 4, p. 347–351, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1758389>>.

KORHONEN, P.; WALLENLIUS, J. **A pareto race**. *Naval Research Logistics (NRL)*, v. 35, n. 6, p. 615–623, 1988. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1520-6750%28198812%2935%3A6%3C615%3A%3AAID-NAV3220350608%3E3.O.CO%3B2-K>>.

KRENN, P. J.; OJA, P.; TITZE, S. Development of a bikeability index to assess the bicycle-friendliness of urban environments. *Open Journal of Civil Engineering*, v. 5, n. 4, p. 451–459, 2015. Disponível em: <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=62520>>.

LANDIS, B. W.; VATTIKUTI, V. R.; BRANNICK, M. **Real-time human perceptions: Toward a bicycle level of service**. *Transportation Research Record*, v. 1578, p. 119–126, 011997.

MAGALHÃES, J. R. L.; CAMPOS, V. B. G.; BANDEIRA, R. A. d. M. Metodologia para identificação de redes de rotas cicláveis em áreas urbanas. *Journal of Transport Literature*, Sociedade Brasileira de Planejamento dos Transportes, v. 9, n. 3, p. 35–39, Jul 2015. ISSN2238-1031. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n3a7>>.

MEKURIA, M. C.; FURTH, P. G.; NIXON, H. **Low-Stress Bicycling and Network Connectivity**. [S. l.], 2012.

MONTES CLAROS/MG. **Decreto nº 3.393, de 17 de maio de 2016**. Montes Claros, MG: [s. n.], 2016. 1-2 p. Diário Oficial do Município de Montes Claros. Acesso em: 16 Março de 2023.

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ. *ELECTRE TRI 2*. 0a: **Methodological guide and user's manual**. Paris: [s. n.], 1999.

NACTO. **Equitable Bike Share Means Building Better Places for People to Ride**. [s. n.], 2016. Disponível em: <https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/07/NACTO_Equitable_Bikeshare_Means_Bike_Lanes.pdf>. Acesso em: 20 Julho de 2021.

ONU. **Mobilizing Sustainable Transport for Development**. [S. l.], 2016. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/12453HLAG-ST%20brochure%20web.pdf>>. Acesso em: 10 Março de 2021.

OSAMA AHMED & SAYED, T. Evaluating the impact of bike network indicators on cyclist safety using macro-level collision prediction models. *Accident; analysis and prevention*, v. 97, p. 28–37, Dec 2016. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27565042/>>.

Prefeitura de Montes Claros. **MOC + BIKE (1 CARRO A MENOS = 10 BIKES AMAIS) - Prefeitura começa a implantar bicicletários em vários pontos da cidade**. 2022. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/kpAK0>>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

ROY, B. **Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)**, Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 1968.

ROY, B. *Electre iii: Algorithme de classement basé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples*. *Cahiers du CERO*, v. 20, n. 1, p. 3–24, 1978.

ROY, B.; BERTIER, P. **La méthode ELECTRE II**. Paris: SEMA-METRA, 1971.

ROY, B.; HUGONNARD, J. C. **Classement des prolongements de lignes de stations en banlieue parisienne**. *Cahiers u LAMSADE*, Paris, 1981.

ROY, B. M.; SKALKA, J. **ELECTRE IS: Aspects méthodologiques et guide d'utilisation**. Paris: [s. n.], 1985.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. [S. l.]: McGraw-Hill, 1980.

SORTON, A.; WALSH, T. Bicycle stress level as a tool to evaluate urban and suburban bicycle compatibility. *Transportation Research Board, TRBs Transportation Resilience Information*, v. 1438, p. 17–24, 1994. ISSN 0361-1981. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/413763>>.

STEUER, R. **An interactive multiple objective linear programming procedure**. TIMS Studies in the Management Sciences, v. 6, p. 225–239, 1977.

STEUER, R. **Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application**. [S. l.]:Wiley, 1986.

TREINTA, F. T. et al. **Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão**. *Production*, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, v. 24, n. 3, p. 508–520, Jul 2014. ISSN 0103-6513. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000078>>.

VELOSO, A. L. C. P. **O pedestre no protagonismo da mobilidade urbana**: as condições de caminhabilidade no espaço urbano de Montes Claros/MG. Dissertação (Mestrado) —Universidade Federal de Minas Gerais e Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2021. Programa de Mestrado Associado UFMG/UNIMONTES em Sociedade, Ambiente e Território (PPGSAT).

YU, W. **ELECTRE TRI – Aspects méthodologiques et guide d’utilisation**. Paris: [s. n.], 1992.

ZUO, T.; WEI, H. **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. ISSN 09658564. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096585641831156X>>.