

Uma metodologia de análise multicritério na identificação de vias potenciais para a implantação de ciclovias em cidades de pequeno e médio porte.

Sheila Elisângela Menini¹, Andressa Rosa Mesquita²; Daniel da Silva Dias³

¹Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa – MG, +55(32)3899-2765, e-mail: sheila.menini@ifsudestemg.edu.br;

²Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Avenida Horácio Macedo, 2030, Bloco H, Sala 106, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ, +55(21)3938-8131, e-mail: andressamesquita@pet.coppe.ufrj.br;

³Secretaria de Transporte e Trânsito de Juiz de Fora – Rua Maria Perpétua, 72/5º andar, Ladeira, Juiz de Fora – MG, +55(32)3690-8231, e-mail: danieldasilvadiasjf@hotmail.com.

RESENHA: A utilização da bicicleta tem se mostrado eficiente para aumentar a mobilidade urbana sustentável. O objetivo principal desse trabalho foi a proposição de um método que auxilie na avaliação da "melhor" rota ciclável utilizando a análise multicritério por geoprocessamento. Como resultados obteve-se orientações de localização e implantação da rota.

PALAVRAS-CHAVES: planejamento de rede ciclovária, análise multicritério, análise de escolha de rota.

1. INTRODUÇÃO

Os graves problemas de mobilidade, como congestionamentos e acessibilidade, enfrentados pela maioria da população nos grandes centros urbanos, vem preocupando cada vez mais profissionais, governos, instituições e a própria população.

A matriz, com ênfase no transporte individual motorizado - o automóvel - está esgotada. Isto é evidente em várias partes do mundo. Assim, a capacidade das vias é sobrecarregada e resultam na saturação do tráfego, poluição do ar, poluição sonora, atrasos e degradação do espaço público.

O aumento do espaço destinado ao tráfego de veículos e a disponibilidade de estacionamentos são, geralmente, apresentados como solução aos problemas de tráfego para automóveis. De tal maneira que o espaço que pertence aos pedestres, ciclistas e transportes públicos sofra uma redução sistemática.

É de senso comum que a solução para o bom funcionamento de uma cidade é um sistema de transporte coletivo eficiente e que utilize, preferencialmente, uma matriz energética limpa. Por outro lado, a utilização de meios de transportes alternativos deve ser pensada, como por exemplo, os modos não motorizados. O modo a pé e as bicicletas, além de representarem uma forma econômica, saudável e ambientalmente correta de locomoção, estimulam uma mudança necessária nos padrões e hábitos da população.

A política de transportes urbanos, em particular a ciclovária, é essencial para estruturar soluções auto-sustentáveis para as áreas urbanas. Além do preço acessível, muitas são as vantagens da bicicleta sobre os modos motorizados. Ela contribui para a melhoria da saúde dos usuários, sem acarretar prejuízo ao meio ambiente; pode ser utilizada como meio de transporte ou instrumento de lazer; não requer combustível e, energeticamente, é mais eficiente que os demais veículos; sua flexibilidade de uso é elevada, pois em situações de congestionamentos, interrupções de tráfego ou acidentes o ciclista encontra meios de prosseguir sua viagem.

O custo para implantação e manutenção da infraestrutura para bicicletas é inferior ao das outras modalidades. Quanto à segurança do usuário, a bicicleta fica em desvantagem em relação aos demais meios de transportes, quando não empregado uma adequada infraestrutura que garanta a bicicleta não só como meio de lazer, mas o de transporte urbano. Entretanto, o ato de pedalar, quando habitual, concede ao ciclista condicionamentos físicos e psicológicos que reduzem a sua insegurança.

O sistema ciclovário é composto basicamente de ciclorrotas, ciclofaixas e ciclovias, além de bicicletários, paraciclos e outros componentes da infraestrutura de uso dos ciclistas.

Ressalvadas as situações especiais, a ideia de tornar inteiramente independente o sistema cicloviário é equivocada, pois devido ao grande número de trajetos em vias de tráfego compartilhado, os ciclistas tendem a utilizá-las.

De acordo com o exposto, é necessário e conveniente ampliar o conceito para incluir as vias cicláveis para conectar diferentes zonas de moradia e interligar diferentes setores urbanos. Exemplos de sucesso da utilização de ciclovias podem ser encontrados em diversas cidades do mundo, tais como: Amsterdã (Holanda), Copenhague (Dinamarca), Bogotá (Colômbia), Curitiba (Brasil), Montreal (Canadá), Portland (Estados Unidos), Basileia (Suíça), Barcelona (Espanha), Pequim (China) e Trondheim (Noruega).

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo analisar por geoprocessamento e discutir os critérios que justificam a localização e implantação de infraestruturas cicloviárias no meio urbano, em cidades de pequeno e médio porte, além de avaliar se a implantação é realmente necessária.

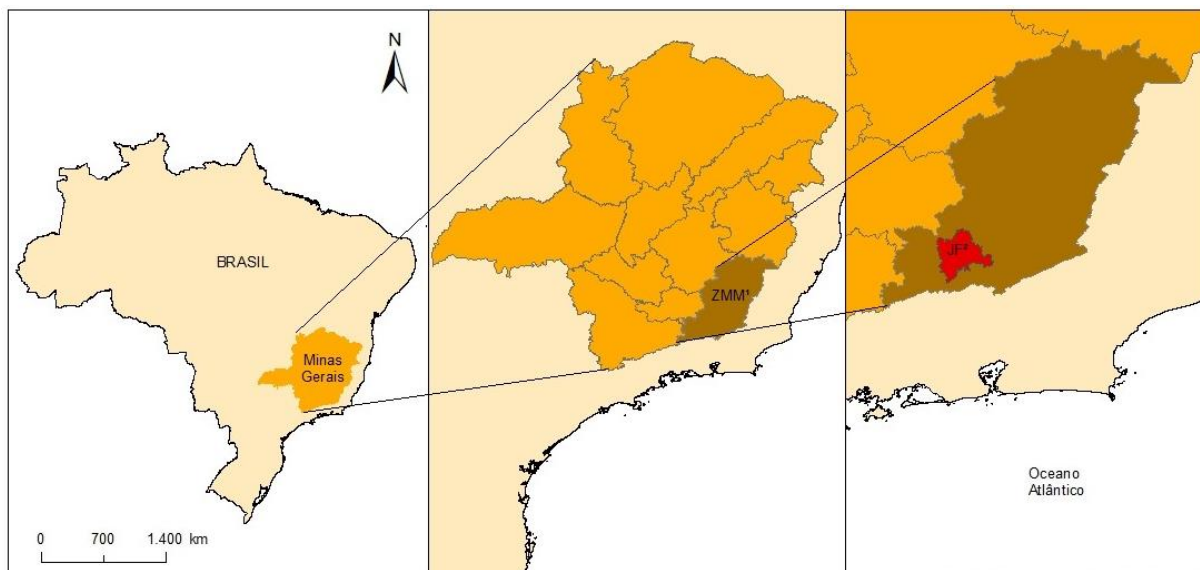
Assim, necessita-se entender quais espaços a bicicleta pode usufruir, onde pode ser implantado uma infraestrutura cicloviária, como as características viárias influem na escolha de uma ou de outra infraestrutura, bem como o nível de segurança de cada um deles. Além disso, para escolher a infraestrutura (ciclovias, ciclofaixa ou tráfego compartilhado) é necessário determinar quais vias de tráfego são adequadas à utilização por bicicletas.

O estudo de caso foi realizado na região do "Eixo do Paraibuna". Local que liga os principais bairros da cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. O Rio Paraibuna é o principal curso de água que corta a mancha urbana, percorrendo a cidade em toda a sua extensão.

Como objetivos secundários pretende-se integrar a bicicleta ao Sistema de Mobilidade Urbana, além de estimular e promover seu uso de forma segura e confortável. Almeja-se, também, que a rede cicloviária atue como importante elemento de reorganização e qualificação do espaço urbano e promova uma melhoria ambiental.

1.2. Justificativa

O município de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, está situado nas coordenadas 21° 45' 51" S e 43° 21' 01" W (Figura 1) e com população de pouco mais de 500 mil habitantes, começa a apresentar os sintomas típicos da saturação viária que têm na questão da mobilidade um dos seus maiores e recorrentes problemas.



1 - (ZMM): Macrorregião da Zona da Mata Mineira
2- (JF): Município de Juiz de Fora

FONTE: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora-MG da PJJ
EXECUÇÃO: Autores
DATA: Agosto, 2019

Figura 1: Mapa Índice de Juiz de Fora

Fonte: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora - MG (JUIZ DE FORA, 2019)

O estudo criterioso das principais vias de penetração e eixos estruturantes do sistema viário da cidade demonstram total viabilidade de introdução do modo ciclovário. Pesquisas apontam a significativa utilização da bicicleta, apesar das condições desfavoráveis ao conforto e a segurança do ciclista pela falta de infraestrutura adequada. A implantação de ciclovias, ciclofaixas ou faixas compartilhadas atenderá às exigências da legislação federal brasileira (BRASIL, 2012) e da legislação municipal (JUIZ DE FORA, 2012).

2. METODOLOGIA

O esquema apresentado na Figura 2 apresenta a metodologia proposta para obtenção de cenários ideais à implantação das rotas cicláveis na cidade de Juiz de Fora/MG. A ferramenta utilizada foi o *software* ArcGis 10.5.

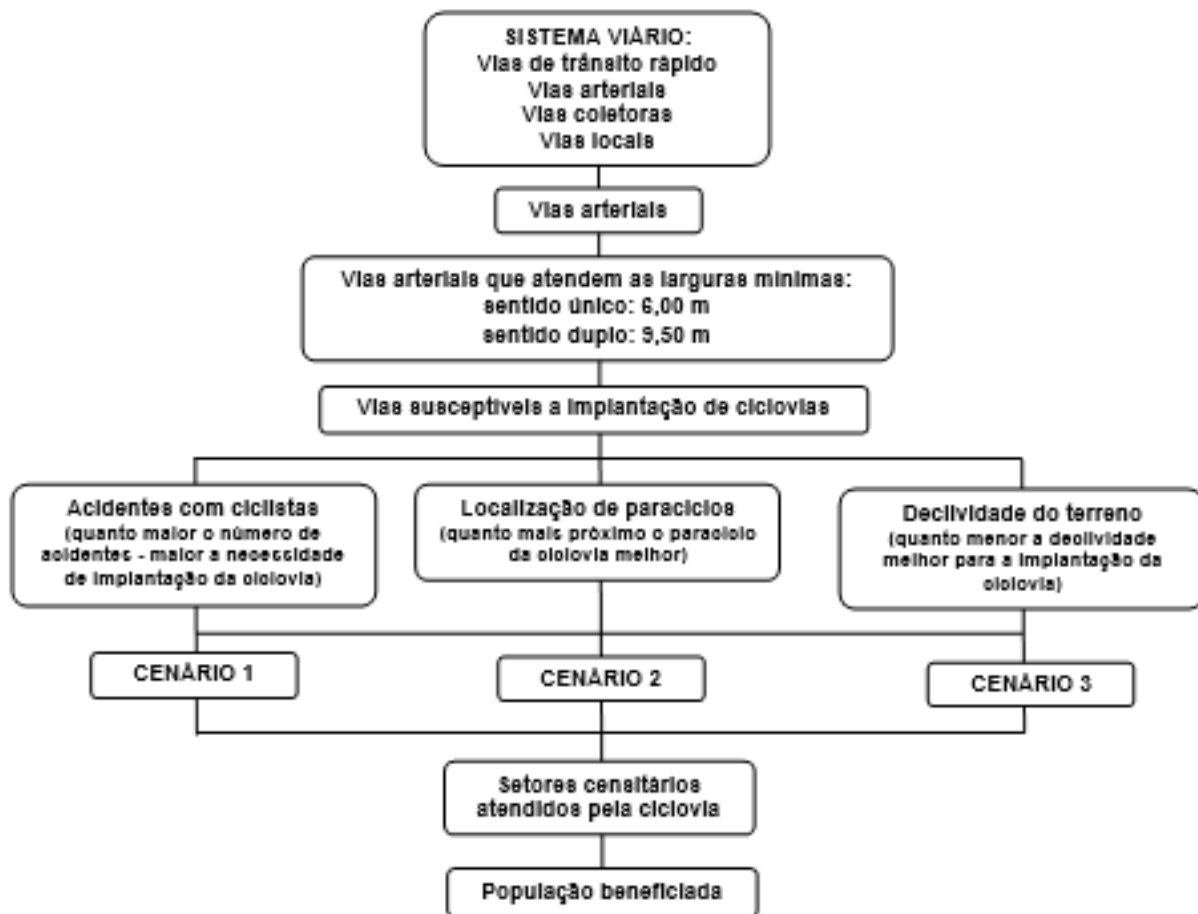


Figura 2: Esquematização da aplicação da metodologia aplicada ao geoprocessamento
Fonte: Autores (2019)

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997), as vias são classificadas em vias de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais. A cidade onde o estudo foi desenvolvido, não possui vias de trânsito rápido (condição típica de cidades médias), suas principais ligações interurbanas se dão através das vias arteriais, sendo definida como "aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade" (BRASIL, 1997), com velocidade limite de 60 km/h. Para essas vias existem restrições com relação a implantação de ciclovias como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Vias arteriais com restrição às bicicletas

CONSEQUÊNCIAS DO USO DA BICICLETA	RECOMENDAÇÕES PARA USO DA BICICLETA
<ul style="list-style-type: none">- Conflitos e acidentes com veículos motorizados, devido muito mais ao volume desses do que a sua velocidade;- Conflitos entre ônibus e pedestres nos pontos de parada;- Conflitos com os automóveis particulares no bordo direito da pista em razão do acesso desses às garagens e aos estacionamentos;- Conflitos nos cruzamentos, em especial em vias de mão dupla, e onde há conversões à esquerda.	<ul style="list-style-type: none">- Criação de ciclofaixa, quando houver disponibilidade de espaço, ou ainda, dotação de faixa da direita de sobrelargura de 1,20m, no máximo, para permitir a circulação de bicicletas no espaço excedente a uma faixa;- Criação de áreas de refúgio para a bicicleta e pedestres, na área de aproximação nos cruzamentos antes da conversão à esquerda.

Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário (BRASIL, 2001)

Dada a sua importância adotou-se, as vias arteriais para estudo da metodologia proposta, por apresentarem maior caixa viária, sendo possível a implantação da ciclovia. Tal escolha implica numa negociação de espaços, visto que, existe um volume acentuado de veículos de passeio, motocicletas, caminhões e ônibus que por elas circulam. Na maioria das vias apresentadas existe a circulação do transporte coletivo e em algumas delas ainda é possível encontrar uma faixa destinada ao estacionamento.

Para este estudo trabalhou-se com a ciclovia bidirecional (Figura 3), pois tem largo uso no Brasil, variando sua adoção de acordo com o porte das cidades brasileiras e normalmente é empregada nos grandes centros urbanos com o objetivo de mobilidade e lazer e, no interior do país, como ciclovia funcional. Adotou-se largura mínima da ciclovia de 2,50m e largura destinada a circulação de veículos de 3,50m por sentido, com largura mínima total de 9,50m (BRASIL, 2001).

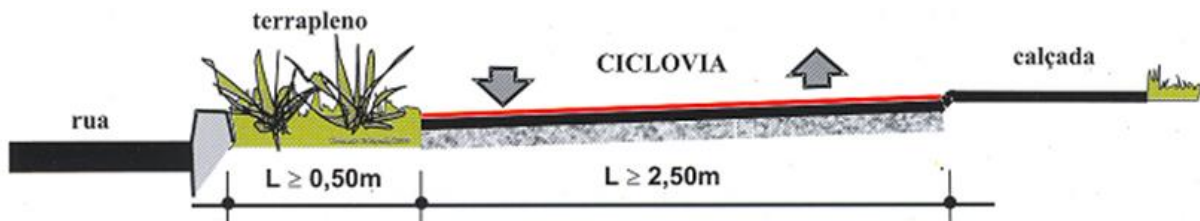
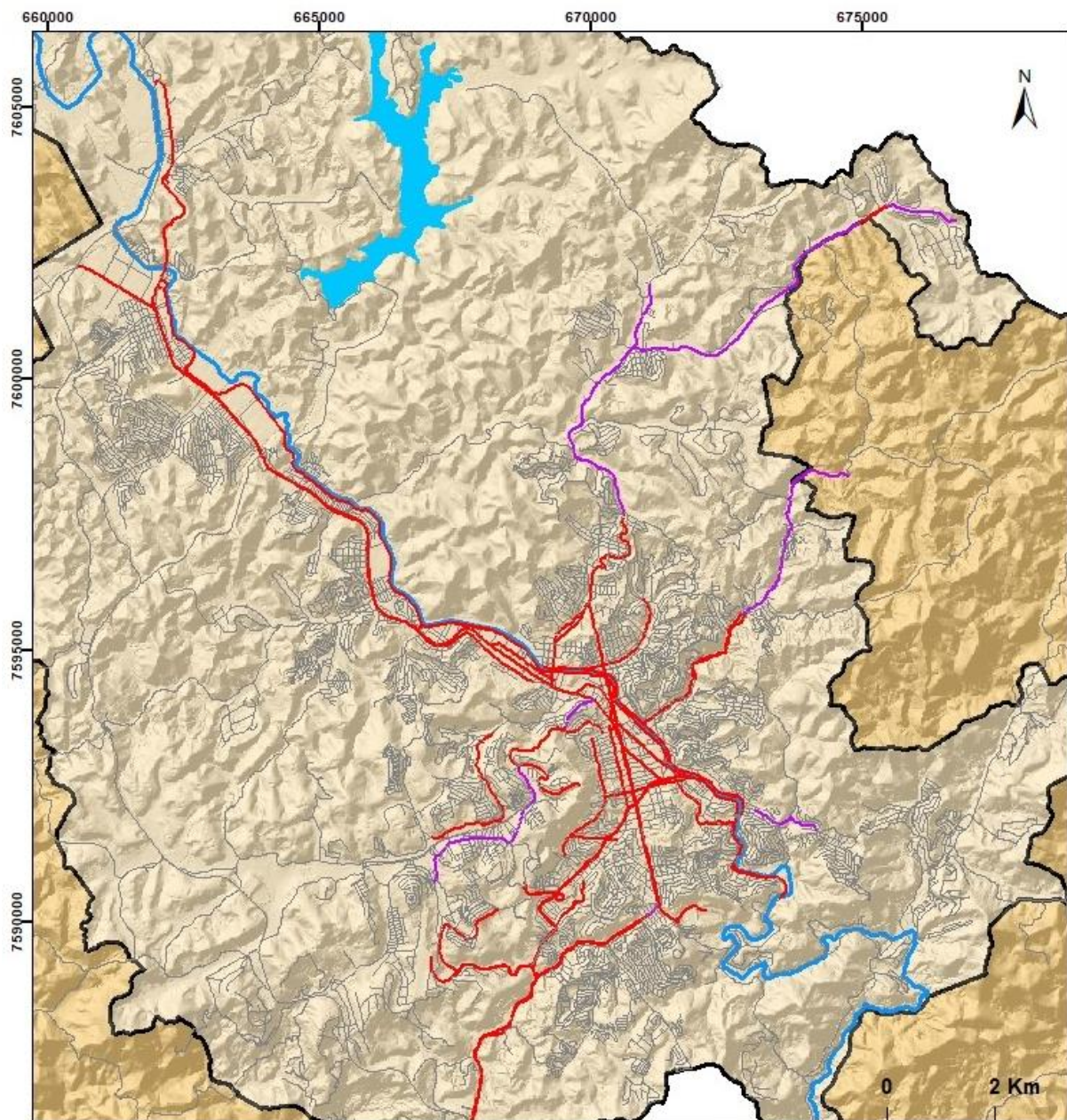


Figura 3: Largura para ciclovia bidirecional

Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário (BRASIL, 2001)

Com a dimensão mínima apontada selecionou-se 36 vias que totalizam 161,4 km, conforme Figura 4. Observa-se que as vias arteriais que atendem esta condicionante, representadas em vermelho, se ramificam em quase todas as direções da mancha urbana e que, também, atingem, consideravelmente, as suas extremidades e nota-se sua predominância no núcleo central da cidade.



Projeção Universal Transversa de Mercator
DATUM SAD-69 Zona 23 Sul

Legenda

- Via arterial com trecho selecionado
- Via arterial com trecho excluído
- Outro tipo viário
- Rio Paraibuna
- Represa João Penido
- Perímetro Urbano
- Perímetro do Município

FONTE: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora-MG da PJF
EXECUÇÃO: Autores
DATA: Agosto, 2019

Figura 4: Mapa de arruamento de Juiz de Fora
Fonte: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora - MG (JUIZ DE FORA, 2019)

Para a seleção das melhores áreas para implantação das ciclovias utilizou-se o módulo *Weighted Overlay* do software ArcGis 10.5 considerando-se os seguintes critérios: declividade, acidentes com ciclistas e localização dos paraciclos.

Os critérios foram adotados por se tratarem de informações disponíveis no município. Atenção especial deve ser concedida às rampas nas cicloviarias, uma vez que o ciclista, por ser propulsor do seu próprio veículo, é sensível a esse tipo de dificuldade. O Manual de Planejamento Cicloviário (BRASIL, 2001), apresenta um gráfico relacionando os desníveis a vencer em função da inclinação da via. O gráfico sugere duas situações, uma para rampas normais e outra para rampas máximas, como mostra a Figura 5.

Os critérios foram adotados por se tratarem de informações disponíveis na base cartográfica municipal da Prefeitura de Juiz de Fora/MG. Atenção especial deve ser concedida às rampas nas cicloviarias, uma vez que o ciclista, por ser propulsor do seu próprio veículo, é sensível a esse tipo de dificuldade, visto também as características geomorfológicas predominantes no município com "presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades e um relevo constituído predominantemente por morros e morrotes" (JUIZ DE FORA, 2004 pg. 213), entretanto, há uma preponderância na localização das vias artérias nos fundos dos vales dos cursos d'água, principalmente no vale do Rio Paraibuna (principal curso d'água e corta a cidade).

O Manual de Planejamento Cicloviário (BRASIL, 2001), apresenta um gráfico relacionando os desníveis a vencer em função da inclinação da via. O gráfico sugere duas situações, uma para rampas normais e outra para rampas máximas, como mostra a Figura 5.

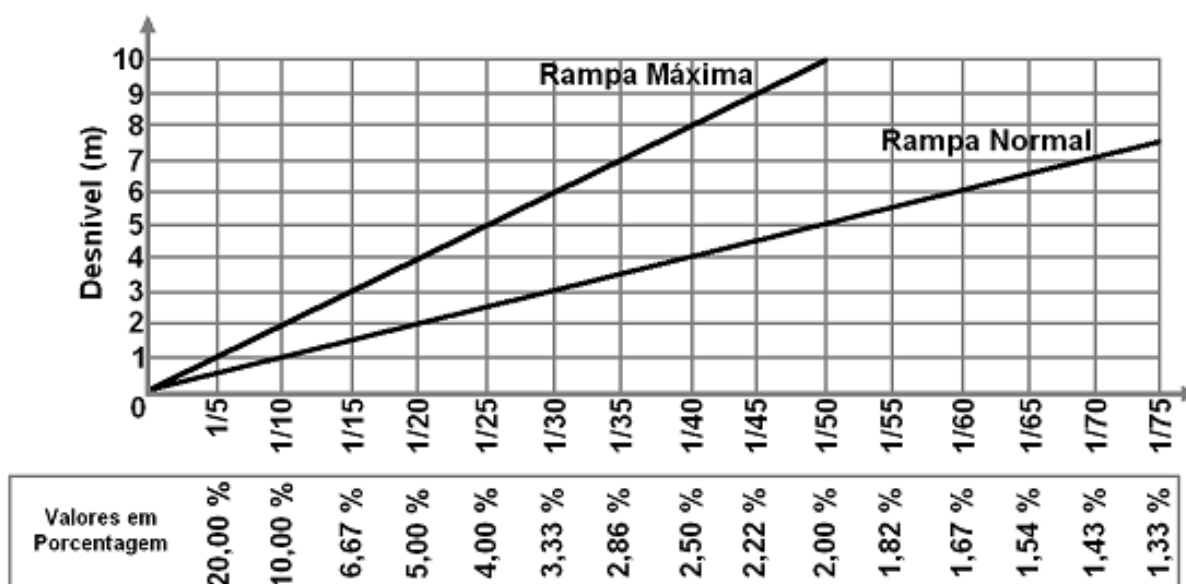
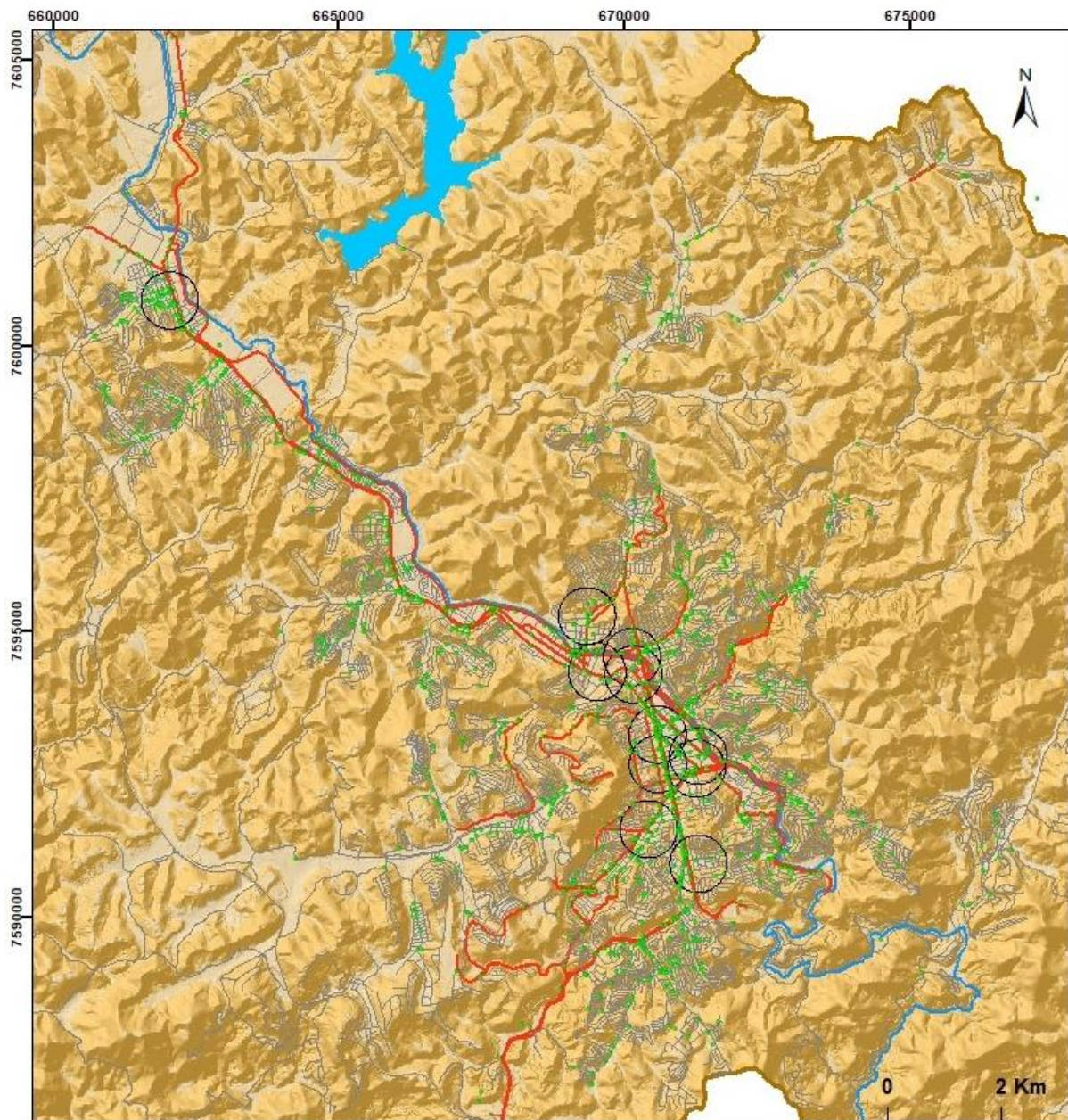


Figura 5: Rampas normais e máximas admissíveis em função do desnível a vencer (BRASIL, 2001)

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, acidentes no trânsito são a segunda maior causa de mortes prematuras em países em desenvolvimento. Nesses países a grande maioria das vítimas do trânsito são pedestres e ciclistas, embora com o aumento das vendas de moto, os motociclistas já estão se tornando a maioria dos acidentados (THE SIGNIFICANCE, 2000). Grande parte dos acidentes envolvendo ciclistas ocorre porque uma das partes envolvidas no acidente não percebeu a presença da outra, ou interpretou de maneira errada sua próxima manobra (ANDERSEN et al., 2012). Além disso, "Acidentes com ciclista ocorrem tanto nas cicloviarias quanto nas vias públicas, principalmente nos cruzamentos." (GONDIM, 2010).

Utilizou-se também como fatores a localização de acidentes envolvendo ciclistas (compreendidos entre os anos de 2010 e 2018) e a localização dos onze paraciclos instalados em espaços públicos na cidade. A presença de paraciclos facilita a utilização da bicicleta pela possibilidade do seu estacionamento em local apropriado. A Figura 6 mostra os três fatores considerados utilizados na análise espacial. Para os paraciclos foram adotados raio de influência de 500m.



Projeção Universal Transversa de Mercator
DATUM SAD-69 Zona 23 Sul

Legenda

- | | |
|--|-----------------------------------|
| Acidentes de trânsito com bicicleta | Perímetro do município |
| Vias arteriais selecionadas | Represa Dr. João Penido |
| Trechos das vias arteriais excluídos e outros tipos de via | Declividade de 0 a 10% |
| Rio Paraibuna | Declividade > 10% |
| | Área de Influência dos Paraciclos |

FONTE: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora-MG da PJF
EXECUÇÃO: Autores
DATA: Agosto, 2019

Figura 6: Fatores utilizados no *Weighted Overlay*

Fonte: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora - MG (JUIZ DE FORA, 2019)

Atribuiu-se valores de peso e influência (Tabela 2) para cada um dos fatores utilizados. Para cada atributo foi arbitrado um valor de 1 a 10, sendo maior o valor quanto maior o potencial

da variável em questão. Para este estudo os pesos foram distribuídos igualmente entre os fatores apresentados.

Tabela 2: Influência e notas para cada fator utilizando a restrição (vias x declividade)

ATRIBUTO	CLASSE	NOTA*	INFLUÊNCIA
Inclinação	0 - 2°	9	34%
	> 2° - 4°	8	
	> 4° - 6°	7	
	> 6° - 8°	6	
	> 8° - 10°	5	
	> 10°	1	
Localização dos acidentes com ciclistas	0 - 50m	9	33%
	> 50m - 250m	8	
	> 250m - 500m	7	
	> 500 m	2	
Localização dos paraciclos	0 - 50m	9	33%
	> 50m - 200m	8	
	> 200m - 400m	6	
	> 400m	1	

Fonte: Autores (2019)

* Valores maiores indicam maiores adequabilidades

3. RESULTADOS

A Tabela 3 retrata os cenários gerados a partir da extração de dados de fatores e restrição das vias arteriais selecionadas anteriormente e verificados setores censitários e população beneficiada com a implantação da ciclovia. Para cada cenário obteve-se o comprimento de ciclovias a ser implantado. Os custos estimados de construção e operação, bem como a fonte de financiamento são determinantes em decidir se alguma infraestrutura será construída e qual delas será construída. Uma vez que os custos estimados não são os primeiros critérios a serem analisados para a localização de uma ciclovia, estes dados também não estarão disponíveis durante a avaliação inicial das alternativas (UNITED STATES, 1979).

Tabela 3: Cenários propostos para a implantação de ciclovias

Cenários	Nota	Setores censitários na área de influência	População beneficiada (nº hab)	% de população beneficiada em relação a população total	Comprimento total das ciclovias (m)	Número de vias a receberem ciclovia
1	≥ 4	55	345.447	66,9%	10.825	19
2	≥ 6	18	122.123	23,7%	9.490	15
3	≥ 8	16	121.654	23,6%	8.111	14

Fonte: Autores (2019).

A Figura 7 mostra os três cenários. A proposta é que todas as rotas cicláveis sejam instaladas em leito de via existente, com pintura contínua. Não foram levados em consideração questões referentes à iluminação especial nem paisagismo, que podem gerar um aumento considerável ao custo de implantação.

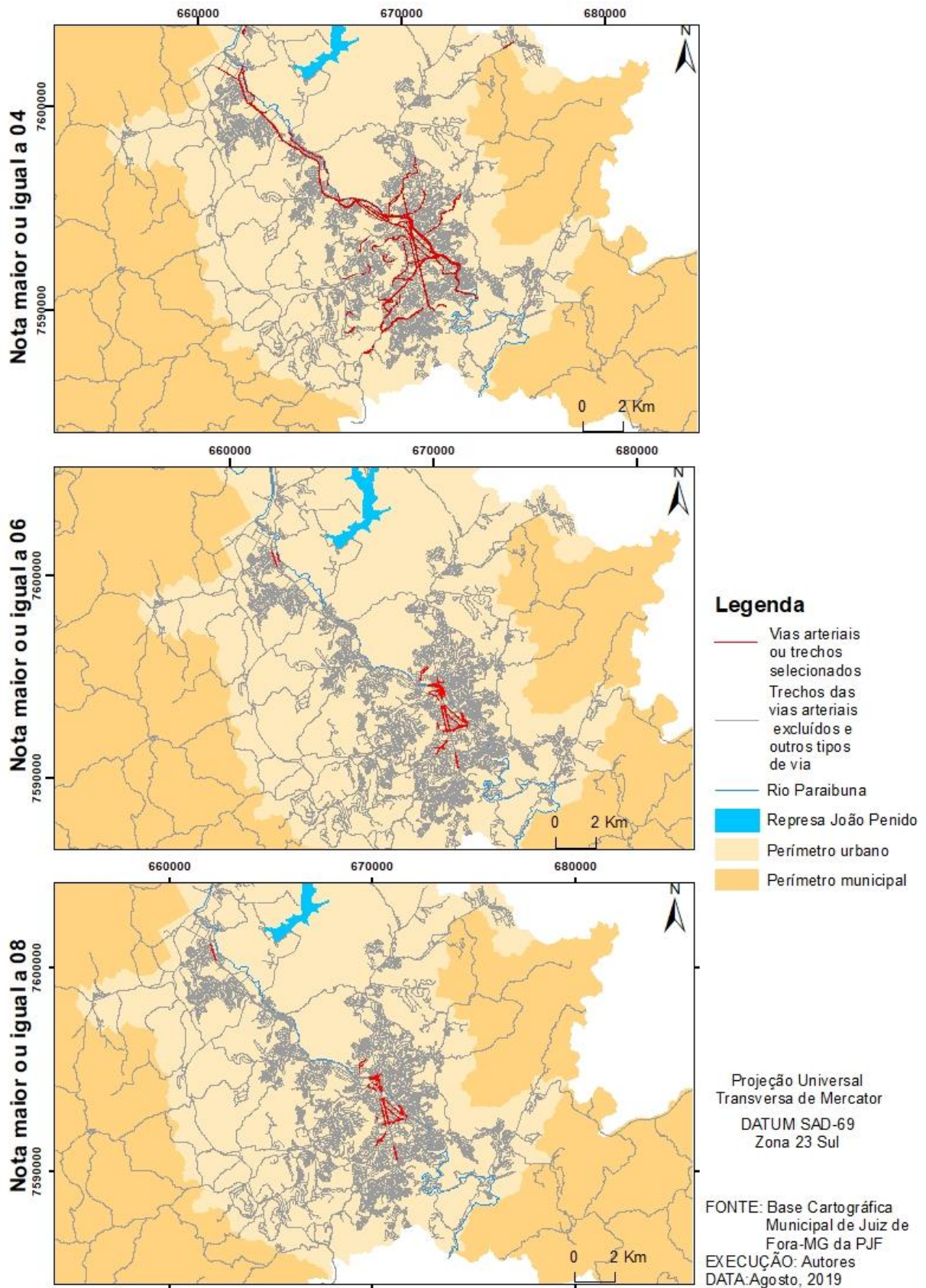


Figura 7: Cenários para implantação de ciclovias
 Fonte: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora - MG (JUIZ DE FORA, 2019)

Apesar do número de vias atendidas por ciclovias e população beneficiada serem menores no Cenário 3, essa foi a simulação que obteve a maior nota. As inclinações das vias analisadas são menores e/ou já existem infraestruturas cicloviárias na região. Além disso, há maiores relatos de acidentes com bicicletas na localidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos cenários apresentados percebe-se que numa mesma via trechos estão caracterizados com pesos diferentes. Cabe então antes de proceder a proposta final para implantação verificar o número de ciclistas que circulam em cada trecho de forma a verificar entre as vias apresentadas quais atenderão de forma mais eficiente as necessidades dos ciclistas. É necessário verificar as condições de conectividade para os trechos encontrados, garantindo uma maior mobilidade ao ciclista ao serem criadas redes cicloviárias. As vias que apresentam maiores índices de acidentes envolvendo ciclistas, devem ser dotadas de espaços totalmente ou parcialmente segregados. O nível de acidentes, além de ser indicativo do nível de segurança viária, também remete a questão da demanda de ciclistas.

Especificamente no caso do Brasil, a implantação de uma ciclovia ou ciclofaixa pode ocorrer sem a presença de uma grande demanda de ciclistas, seja para adequar ou criar uma rede cicloviária ou simplesmente para incentivar o uso da bicicleta, uma vez que quando questionadas as pessoas normalmente dizem que não usam bicicleta por falta de um espaço próprio para circulação. Outro ponto a ser verificado é a disponibilidade de verba para implantação de uma infraestrutura em favor do ciclista.

A metodologia apresentada é simples e de fácil utilização, podendo ser replicada em outras cidades de pequeno e médio porte. No caso de Juiz de Fora ela serviu para nortear quais são os trechos com maior necessidade de implantação.

Finalmente é importante ressaltar que estes critérios atuam apenas como orientação embrionária de localização e implantação de ciclovias, não gerando necessariamente uma resposta definitiva. E, sempre que possível, todos estes critérios devem ser verificados, o que exige uma boa coleta de dados para se obter uma melhor efetividade da utilização dos mesmos. Mas invariavelmente nenhum destes critérios substitui completamente "[...] a criatividade dos projetistas ao combinar técnicas com oportunidades existentes nos espaços urbanos, adequando-os às necessidades da circulação dos ciclistas [...]" (BRASIL, 2007).

AGRADECIMENTOS

4ª Região da Polícia Militar de Juiz de Fora / Minas Gerais, Secretarias de Planejamento e Gestão e de Transporte e Trânsito, da Prefeitura de Juiz de Fora e ONG Mobilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, T. et al. **Collection of cycle concepts 2012**. København: Cycling Embassy of Denmark, 2012. Disponível em: <<http://www.cycling-embassy.dk/wp-content/uploads/2013/12/Collection-of-Cycle-Concepts-2012.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 set. 1997, Seção 1, p. 21203. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm>. Acesso em: 20 abr. 2019.

_____. Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial da União**, Brasília, 04 jan. 2012, Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>. Acessado em: 13 abr. 2019.

_____. Ministério das Cidades. **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade por bicicleta nas cidades**. Brasília: ministério das Cidades, 2007. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/LivroBicicletaBrasil.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

_____. Ministério dos Transportes. **Manual de Planejamento Cicloviário**. Brasília: Ministério dos Transportes, 2001. Disponível em: <https://docs.google.com/file/d/0BxR5Ri6g5X_ZTXVWS3pyVUdPdDA/edit?pli=1>. Acesso em: 01 abr. 2019.

GONDIM, M. F. **Cadernos de Desenhos: ciclovias**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2010. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/01/24%20-%20BRASIL_Caderno%20de%20Desenho_Ciclovias.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal. **Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora – MG**, 2019. Escala: 1:45:000.

_____. Lei Municipal nº 12.726, de 20 de dezembro de 2012 que institui o Plano Diretor Cicloviário Integrado. **Dário Oficial do Município de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, 25 jan. 2013.

_____. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora**. Juiz de Fora: FUNALFA Edições, 2004.

THE SIGNIFICANCE of non-motorised transport for developing countries: strategies for policy development, I-CE interface for cycling expertise. Utrecht: [s. n.], 2000. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/non_motor_i-ce.pdf>. Acesso em 20 abr. 2019.

UNITED STATES. Department of Transportation. **A bikeway criteria digest: the ABCD's of bikeways**. Washington: FHA, 1979. Disponível em: <<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015075346984&view=1up&seq=11>>. Acesso em: 01 abr. 2019.