



The Journal of Transport Literature

www.journal-of-transport-literature.org



Metodologia para identificação de redes de rotas cicláveis em áreas urbanas

Jefferson Ramon Lima Magalhães⁺; Vânia Barcellos Gouvêa Campos; Renata Albergaria de Mello Bandeira
Military Institute of Engineering, Rio de Janeiro, Brazil

Article Info

Keywords:

Transporte cicloviário
Rotas cicláveis
Nível de serviço para
bicicletas
Critério de rampas
Caminho mínimo

Submitted 20 Nov 2014;
received in revised form 20 Jan 2015;
accepted 20 Apr 2015.

Licensed under
Creative Commons
CC-BY 3.0 BR.

Resumo

Este artigo apresenta uma proposta de metodologia para identificação de redes de rotas cicláveis onde as condições de circulação indesejáveis percebidas por usuários de bicicletas são minimizadas. Um modelo matemático baseado em um algoritmo de busca de caminhos é definido para encontrar rotas com melhor nível de serviço para bicicletas (NSB). O Método de Dixon (1996) foi definido para a avaliação do NSB, ao qual uma etapa de análise de declividade de vias foi incorporada através da comparação de cinco critérios (FHWA, 1979; AASHTO, 1999; Road Directorate, 2000; GEIPOT, 2001a; Austroads, 2011). Essa metodologia foi aplicada em Montes Claros, MG, para identificar uma rede cicloviária que interliga cinco pólos geradores de viagens. Neste estudo, as rotas cicláveis mais adequadas foram obtidas através do estudo da rede viária definida pelo critério de declividade de FHWA, embora uma pequena variação do NSB das rotas tenha sido observada quando avaliadas pelos critérios de FHWA, AASHTO e Austroads. Destaca-se que a etapa de avaliação comparativa entre critérios de declividades no modelo permitiu a identificação de rotas similares às utilizadas por usuários de bicicletas do município.

⁺ Corresponding author. Instituto Militar de Engenharia. Praça General Tibúrcio, 80 - Urca. 22290-270. Rio de Janeiro, RJ - Brasil.
E-mail address: jeffersonrilmagalhaes@gmail.com.

Introdução

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta metodológica para avaliação e identificação de redes de rotas cicláveis que minimizem as condições de circulação adversas percebidas por usuários de bicicletas durante deslocamentos entre pares de origem e destino de um sistema viário, considerando aspectos relacionados ao conforto e à segurança em relação ao tráfego veicular e ao conforto físico do usuário. Para esta finalidade, são utilizados os conceitos do método de nível de serviço para bicicletas desenvolvido por Dixon (1996), agregando-se ao método as recomendações de diferentes critérios de verificação da adequabilidade de rampas para a circulação de bicicletas (FHWA, 1979; AASHTO, 1999; Road Directorate, 2000; GEIPOT, 2001a; Austroads, 2011), com a intenção de identificar um conjunto de rotas em um algoritmo de busca de caminhos.

A falta de um sistema viário adequado para a circulação de bicicletas constitui uma barreira ao aumento das taxas de utilização desse modal no Brasil (Ministério das Cidades, 2007; Castro et al., 2013). De acordo com Ministério das Cidades (2007), a escassez de espaços vazios lindeiros às vias urbanas, em virtude de um padrão de uso e ocupação do solo derivado de um processo de urbanização espontâneo e sem planejamento, implica em um número reduzido de possibilidades de inclusão de rotas cicláveis nos espaços viários das cidades brasileiras.

Métodos de nível de serviço para bicicletas (NSB) vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de auxiliar na implantação de sistemas cicloviários mais adequados. Esses métodos (Botma, 1995; Dixon, 1996; Landis et al., 1997; TRB, 2000, 2010; Jensen; Petritsch et al., 2007) avaliam a qualidade de espaços viários para a circulação de bicicletas sob os aspectos de conforto e segurança a partir de um conjunto de variáveis relacionadas às características físicas e operacionais de vias e às condições de circulação percebidas durante os deslocamentos realizados através do modal em questão (Monteiro e Campos, 2011). Para este estudo, o Método de Dixon (1996) foi escolhido por reunir o maior número de variáveis que descrevem a percepção de usuários cativos e não-cativos do modal cicloviário em relação à utilização da bicicleta em cidades brasileiras: largura da faixa de rolamento das vias, velocidade de veículos motorizados, visibilidade e número de interseções (Providelo e Sanches, 2011) e estado de conservação do pavimento (Pezzuto e Sanches, 2004; Kirner e Sanches, 2008; Magalhães e Palhares, 2013). Entretanto, assim como os demais encontrados na literatura, esse método não considera outras variáveis que influenciam o NSB, tais como topografia e sinalização horizontal para bicicletas na via (Asadi-Shekari et al., 2013).

Para superar essa limitação do método de NSB escolhido, este trabalho propõe-se a investigar a influência da topografia no nível de serviço (NS) percebido ao longo de uma rota entre um par de origem e destino específicos para fins de definição de rotas cicláveis. A declividade da via está correlacionada a variáveis que influenciam o NSB de um segmento viário, como distância de visibilidade (AASHTO, 1999; Road Directorate, 2000). Ao desconsiderar esse fator na avaliação do NSB de uma via, a simples aplicação de um método existente resultará na obtenção de NS adequados mesmo em vias com declividades impróprias para a circulação de bicicletas. A existência de diferentes critérios de avaliação da declividade de vias urbanas para o transporte cicloviário (AASHTO, 1999; Austroads, 2011; FHWA, 1979; GEIPOT, 2001a; Road Directorate, 2000) sugere que o NS percebido ao longo de uma mesma rota pode variar em função do critério adotado.

Dessa forma, este trabalho está estruturado em quatro seções. A Seção 1 apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre metodologias de avaliação de redes de rotas cicláveis e a abordagem do Método de Dixon (1996) para definição do nível de serviço. Em seguida, a Seção 2 trata da proposta metodológica para a escolha de rotas para o transporte cicloviário. A Seção 3 traz a aplicação desta metodologia através de um estudo de caso para uma cidade brasileira e discute sobre os resultados dessa aplicação. Enfim, a Seção 4 apresenta as conclusões deste trabalho e implicações para estudos futuros.

1. Revisão da literatura

O Método de Dixon (1996) foi desenvolvido para incorporar medidas de desempenho da infraestrutura viária em relação à circulação de modos não-motorizados em um plano de mobilidade para a redução dos níveis de congestionamento dos principais corredores viários da cidade de Gainesville, nos Estados Unidos. O método é aplicável para vias coletoras e arteriais de áreas urbanas e suburbanas, e parte da premissa de que existe um conjunto de fatores que uma via deve possuir para atrair viagens não-motorizadas. Para o modo cicloviário, o NSB é definido através de um sistema de pontuação de variáveis associadas à utilização da bicicleta, cuja pontuação total (entre zero e 21 pontos) está relacionada à uma escala de NS que varia entre A e F. Essas variáveis estão associadas aos seguintes critérios de avaliação: existência de facilidades para a circulação de bicicletas (até 10 pontos), conflitos de circulação (até 4 pontos), velocidade relativa entre bicicletas e veículos motorizados (até 2 pontos), NS da via para automóveis (até 2 pontos), frequência de problemas de manutenção nas vias (entre -1 e 2 pontos) e existência de programas específicos para o transporte cicloviário (até 1 ponto). Assim, quanto maior for a pontuação da via avaliada nesses critérios, melhor será o NSB da via e as condições de circulação percebidas pelos usuários do modal cicloviário.

Kirner e Sanches (2008) utilizaram o método de Dixon para o desenvolvimento de uma metodologia de definição de rotas cicláveis em cidades brasileiras de porte médio, com aplicação na cidade de São Carlos, SP. Uma rede viária composta por 11 vias (arteriais e paralelas adjacentes) foi definida para a identificação de locais prioritários para a implementação de melhorias para a circulação de bicicletas. Como resultado, os NSB obtidos para todas as vias foram considerados indesejáveis (E e F). Embora a topografia não seja uma restrição à utilização da bicicleta no local, as autoras recomendaram que aplicações futuras da metodologia proposta considerassem o efeito daquele fator na escolha de vias. Desta forma, o presente trabalho busca agregar à metodologia de Dixon a avaliação da adequabilidade de rampas para a circulação de bicicletas, segundo critérios de cinco diferentes critérios (FHWA, 1979; AASHTO, 1999; Road Directorate, 2000; GEIPOT, 2001a; Austroads, 2011), com a finalidade de identificar de um conjunto de rotas em um algoritmo de busca de caminhos.

Outras metodologias de análise de rede de rotas cicláveis encontradas na literatura internacional (Klobucar e Fricker, 2007; Furth e Mekuria, 2013) utilizaram os conceitos de caminho mínimo para a identificação de rotas adequadas sob o aspecto de segurança em relação ao tráfego. Nesta abordagem, os fatores que influenciam a escolha da rota entre um par origem-destino (O-D) de uma rede são expressos matematicamente por um coeficiente de custo de arco atribuído a todos os segmentos de uma rede viária (Cormen et al., 2001). Klobucar e Fricker (2007) definiram o coeficiente de custo como o produto entre o comprimento do segmento viário e o respectivo índice de compatibilidade de via, calculado pelo método BCI (Harkey et al., 1998). Por sua vez, Furth e Mekuria (2013) identificaram rotas com menores níveis de estresse em relação ao tráfego (LTS) através de um coeficiente de custo correspondente ao produto do número de viagens entre um par O-D e um índice de conectividade que seleciona arcos com mesmo LTS (entre quatro níveis) ou menor para o par considerado. Em ambos os métodos, as rotas mais seguras para a circulação de bicicletas não necessariamente correspondem às rotas de menor distância, mas, no caso do método de Furth e Mekuria (2013), essas rotas podem ser muito extensas para garantir a conectividade de uma rede cicloviária. Neste contexto, este estudo diferencia-se dos mencionados acima ao considerar um conjunto mais amplo de variáveis que influenciam a utilização da bicicleta, presentes no Método de Dixon (1996), além da questão da declividade de vias para o transporte cicloviário.

2. Proposta metodológica

A metodologia desenvolvida visa definir uma rede de rotas cicláveis a partir de um conjunto de rotas entre pares de origem e destino nas quais as condições de circulação adversas para os usuários sejam mínimas, considerando os aspectos de conforto e segurança, considerando os conceitos de NSB do Método de Dixon (1996), critérios de conforto em termos de declividade e o conceito de caminho mínimo. Assim, a metodologia compreende as seguintes etapas: i) caracterização do problema de otimização, ii) representação da rede viária, iii) valoração dos arcos e identificação de rotas de caminho mínimo para a definição de uma rede de rotas para bicicletas.

2.1. Caracterização do problema de otimização

A hipótese considerada para o problema é a de que os usuários de bicicleta utilizarão rotas que ofereçam o melhor NSB ao longo do trajeto pretendido. O coeficiente de custo definido é igual ao produto entre um valor representativo de uma escala de nível de serviço (Tabela 1) e o comprimento de arco referente à via analisada. Para uma rede direcionada $G = (N, A)$, com coeficiente de custo c_{ij} associado à cada arco (i, j) pertencente a A , o problema de caminho mínimo que atende ao objetivo proposto pode ser formulado através de um problema de programação linear, de acordo com a Equação 1:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j (\text{NSB}_{ij} d_{ij}) x_{ij} \quad (1)$$

onde:

- NSB_{ij} é o coeficiente associado ao nível de serviço para bicicletas do arco (i, j) ;
- d_{ij} é o comprimento do arco (i, j) ;
- x_{ij} é variável de decisão, sendo igual a 1 se o arco (i, j) pertencer à rota de caminho mínimo, ou 0, caso contrário.

O fator d_{ij} do coeficiente de custo $\text{NSB}_{ij} d_{ij}$ evita que diferenças de comprimentos entre arcos (i, j) de mesmo valor de NSB_{ij} influenciem igualmente na obtenção de rotas de menor caminho. Além disso, os coeficientes NSB_{ij} foram definidos de forma que o menor valor correspondesse ao NS A (situação ideal), e o maior valor, ao NS F (situação indesejável). Os valores de NSB_{ij} , em função da escala de NS, estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes de nível de serviço definidos para o problema de otimização. Fonte: Autores. Adaptado de Dixon (1996).

Pontuação do Método de Dixon (1996)	$>0 \leq 3$	$>3 \leq 7$	$>7 \leq 11$	$>11 \leq 14$	$>14 \leq 17$	$>17 \leq 21$
Nível de serviço da via	A	B	C	D	E	F
NSBij	1	2	3	4	5	6

2.2. Representação da rede viária

A definição da rede viária baseia-se na hierarquização viária da área de estudo, a partir da qual vias arteriais e coletoras devem ser selecionadas para a avaliação do NSB. Além disso, uma etapa de análise da adequabilidade de comprimento de rampas é necessária para eliminar vias ou segmentos viários potencialmente críticos para a circulação de bicicletas. Com esta finalidade, cinco critérios de declividade de vias para o transporte cicloviário (FHWA, 1979; AASHTO, 1999; Road Directorate, 2000; GEIPOT, 2001a; Austroads, 2011) foram identificados em manuais de projetos de rotas cicláveis de quatro países, incluindo o Brasil. Em função da distância a ser percorrida ou do desnível a ser vencido, as declividades são classificadas em três grupos: desejável, aceitável e não-aceitável. A Tabela 2 mostra os intervalos de declividade correspondentes a esses grupos conforme o critério considerado.

Tabela 2 - Classificação de declividade de vias segundo vários manuais de projeto de rotas cicláveis

Fonte: Autores. Adaptado de FHWA (1979), AASHTO (1999), Road Directorate (2000), GEIPOT (2001a) e Austroads (2011).

Critério	Declividade em função do comprimento ou do desnível da rampa		
	Desejável	Aceitável	Não-aceitável
FHWA (1979)	Até 7,0% (0-610m) ¹	Entre 2,0% e 11,0% (0-610m) ¹	Acima de 3,0% a 11,0% (0-610m) ¹
AASHTO (1999)	Até 3,0%	Entre 3,0% e 5,0%	Acima de 5,0% (15-240m) ¹
Road Directorate (2000)	Até 3,0%	Entre 3,0% e 5,0% (50-500m) ¹	Acima de 5,0%
Austroads (2011)	Até 3,0%; ou acima (~7-200m) ¹	Entre 3,0% e 12,0% (~7-200m) ¹	Entre 4,0% e 12,0% (~7-200m) ¹
GEIPOT (2001a)	Até 2,0%	Acima de 2,0% (até 10m) ²	Acima de 2,0% (até 10m) ²

Notas: (1) Intervalo de comprimento de rampa para o qual o critério é válido; (2) Intervalo de desnível altimétrico do terreno

Devido às particularidades de cada critério, recomenda-se a análise da aceitabilidade de segmentos viários com declividade maior que 3,0%. Assim, para os cinco critérios mencionados, aqueles que apresentam comprimentos de rampa acima do valor máximo admissível para a declividade considerada são eliminados da rede viária preliminar.

2.3. Valoração dos arcos e identificação de rotas para definição de rede

Os coeficientes de custo para a valoração dos arcos da rede viária, definida na etapa anterior, são obtidos pelo produto das variáveis NSB_{ij} e d_{ij}. As rotas de caminho mínimo entre nós de origem e destino pré-definidos são encontradas por meio da solução do problema de otimização formulado, considerando uma abordagem do tipo origem-destino para todos os pares. A seção a seguir apresenta a aplicação da metodologia proposta através de um estudo de caso, com o objetivo de identificar uma rede de rotas para bicicletas em uma cidade de porte médio.

3. Estudo de caso: Montes Claros, MG

Montes Claros, com 361.915 habitantes (IBGE, 2010), está localizada na Região Norte do estado de Minas Gerais. De acordo com o Diagnóstico Nacional do Planejamento Cicloviário (GEIPOT, 2001b), o município não é considerado ciclável, ainda que a utilização da bicicleta seja intensa ao longo do dia. Para a aplicação da metodologia proposta, uma região não-servida por infraestrutura cicloviária, que engloba cinco pólos geradores de viagens (PGVs) em um raio de ação de 5,0 km, foi definida para o estudo de rotas. Os PGVs escolhidos foram: Área Central, Rodoviária/Shopping Center, Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES) e os bairros Ibituruna (porção leste) e Major Prates.

3.1. Avaliação de declividades para a definição da rede viária de estudo

Por meio do mapa de hierarquização viária de Montes Claros (Montes Claros, 2008), 29 vias foram identificadas para a composição de uma rede viária preliminar, sendo 22 arteriais, cinco coletoras e duas sem classificação definida, que exercem atualmente função de via arterial ou coletora no sistema viário da área de estudo (segundo observações em campo). As informações sobre os desníveis entre pontos extremos para o cálculo das inclinações médias e os comprimentos de rampa de cada via ou segmento analisado foram obtidas através do Google Earth (Google, 2014). Os resultados das verificações são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da avaliação da aceitabilidade de rampas de vias para a circulação de bicicletas. Fonte: Autores

Localização	Segmento viário analisado			Critério de declividade adotado				
	Declividade (%)	Rampa aproximada (m)	Desnível aproximado (m)	FHWA (1979)	AASHTO (1999)	Road Directorate (2000)	GEIPOT (2001a)	Austroads (2011)
Av. Mestra Fininha (1)	5,15	369	19	-	-	-	-	-
Av. Mestra Fininha (2)	6,12	343	21	-	-	-	-	-
Av. Francisco Gaetani	3,76	558	21	o	o	-	-	o
R. Raul Correa	3,13	128	4	o	o	o	-	o
Av. João Chaves	3,58	447	16	o	o	-	-	o
Av. Cula Mangabeira (1)	3,67	354	13	o	o	-	-	o
Av. Cula Mangabeira (2)	3,52	227	8	o	o	-	-	o
R. Eloi Pereira	3,05	557	17	o	o	-	-	o
Av. Dr. João L. de Almeida	4,13	315	13	-	o	-	-	-
R. Tiradentes	5,56	108	6	o	o	-	-	-

Nota: Legenda: o = Declividade aceitável; - = Declividade não-aceitável ou imprópria

Com exceção dos trechos analisados da Avenida Mestra Fininha, que são considerados inviáveis para a circulação de bicicletas por todos os critérios utilizados, observa-se que os comprimentos de rampa da maioria dos demais segmentos são aceitáveis para a circulação de bicicletas quando analisadas pelos critérios de FHWA (1979), AASHTO (1999) e Austroads (2011). O critério de AASHTO (1999) atestou a aptidão do maior número de segmentos analisados, seguido pelos critérios de FHWA (1979) e Austroads (2011). Por outro lado, o não-atendimento desses critérios por parte dos segmentos

analisados pelos critérios de Road Directorate (2000) e GEIPOT (2001a) inviabilizaram a obtenção de uma rede viária para estudos posteriores.

3.2. Valoração dos arcos: aplicação e resultados do Método de Dixon (1996)

A rede viária escolhida para a aplicação do Método de Dixon foi a obtida pelo critério de rampa de AASHTO (1999), que possui o maior número de arcos com declividades aceitáveis. Além disso, essa rede contém arcos que também atenderam às recomendações de rampa definidas por FHWA (1979) e Austroads (2011), como pode ser visto na Tabela 3. Os resultados identificaram vias com NSB D, E e F. A ocorrência de NSB D é justificada pela existência de vias com largura de faixa de rolamento maior que 3,60 m, que oferecem maior segurança em situações de compartilhamento do uso de vias. O NSB E foi verificado em vias com faixa de rolamento menor que 3,60 m, com NS para automóveis entre B e D e menor número de situações de conflito de circulação entre bicicletas e veículos motorizados. Por sua vez, NSB F são encontrados em vias estreitas com NS para automóveis E ou F, ocorrência significativa de conflitos de circulação e com problemas de manutenção frequentes.

A pontuação obtida pelas vias analisadas foi convertida na medida de nível de serviço para bicicletas NSB_{ij} . Aos arcos da rede foram atribuídos um valor correspondente ao produto entre as variáveis NSB_{ij} e d_{ij} . Contudo, em situações de existência de mais de um nível de serviço associados a um mesmo arco, o peso atribuído a ele foi o somatório total do produto $NSB_{ij}d_{ij}$ de cada segmento de arco, para cada NS identificado.

3.3. Identificação da rede de rotas cicláveis

Nesta etapa, as redes viárias definidas pelos critérios de declividade de FHWA (1979), AASHTO (1999) e Austroads (2011) foram estudadas isoladamente para a identificação das rotas. Dez combinações de rotas entre PGVs, dois a dois, foram definidas para a composição da rede cicloviária proposta, porém oito rotas foram estudadas devido à proximidade entre os PGVs UNIMONTES e Ibituruna, que podem ser acessados pela mesma via.

Ao solucionar o problema de otimização definido na sub-seção 2.1 para cada rede, observou-se que as rotas com NSB mínimo obtidas são bastante similares, com exceção de alguns trechos (1 e 2, indicados na Figura 1). Para efeito de definição da melhor rede de rotas cicláveis, aquela obtida a partir do critério de AASHTO (1999) foi eliminada pelo fato de que a escolha do trecho 1 para minimizar o NSB ao longo da rota UNIMONTES-Rodoviária/Shopping Center inviabilizaria a circulação bidirecional de bicicletas em um trecho com NSB F da rota Major Prates-Área Central. Por sua vez, para as rotas com destino à Área Central e origem nos PGVs Rodoviária/Shopping Center e Major Prates, a rede estudada pelo critério de Austroads (2011) foi descartada pelo fato de o trecho 2 (NSB F e declividade desejável) proporcionar NSB percebido pior ao longo das rotas em questão se comparado ao trecho equivalente (NSB D e declividades de aceitável a desejável) presente nas rotas identificadas através da rede obtida a partir do critério de FHWA (1979). Assim, a melhor rede cicloviária identificada foi aquela definida pelo critério de FHWA (1979), que também é mostrada na Figura 1.

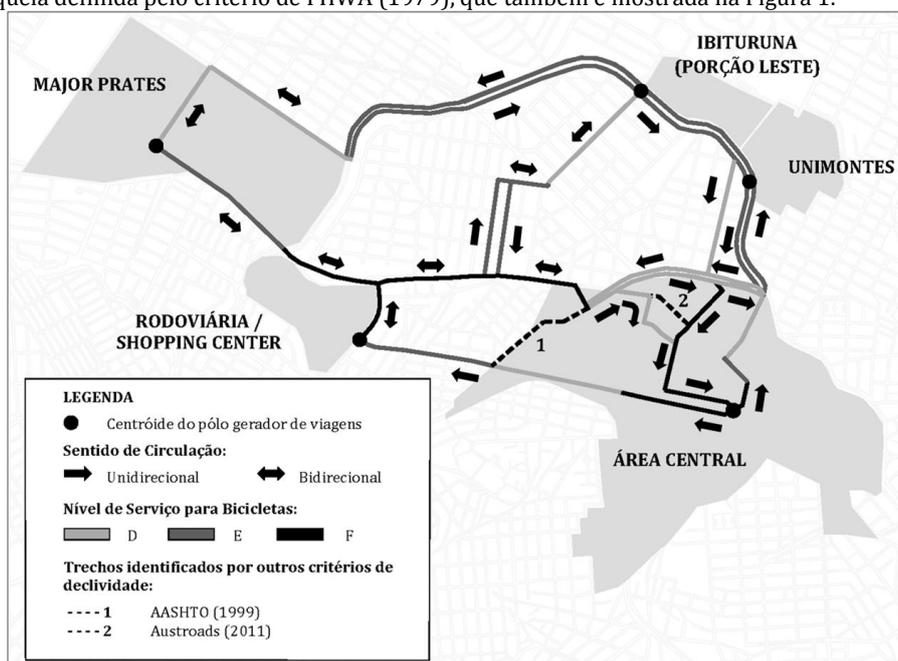


Figura 1 - Rede de rotas para bicicletas identificada a partir do critério de declividade de FHWA (1979). Fonte: Autores.

Conclusão

A proposta metodológica deste trabalho consistiu na aplicação do problema de caminho mínimo para a definição de uma rede cicloviária de condições de circulação adversas mínimas para usuários, a partir do emprego de diferentes critérios de declividade de vias para o transporte cicloviário e do Método de Dixon (1996) para a avaliação do NSB dessas vias. A aplicação dessa metodologia possibilitou a identificação de um traçado de rede cicloviária entre cinco PGVs do município de Montes Claros, MG.

No estudo de caso apresentado, a rede viária obtida pelo critério de avaliação de rampas de FHWA (1979) mostrou-se a mais adequada para a identificação de rotas cicláveis. Entretanto, isso não significa que os demais critérios sejam inadequados para a escolha de vias com topografia adequada à circulação de bicicletas, pois diferenças pouco significativas

em relação ao NSB percebido de duas rotas ocorreram entre as redes obtidas pelos critérios de FHWA (1979), AASHTO (1999) e Austroads (2011).

Em relação aos resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta, observou-se que a inclusão da verificação de declividade de vias para o transporte cicloviário permitiu que as rotas encontradas a partir da solução do problema de otimização fossem próximas às rotas normalmente utilizadas por usuários de bicicleta de Montes Claros, MG, com ocorrência de NSB adequados (D) e inadequados (E e F). Contudo, o NSB de algumas vias, principalmente aquelas que obtiveram pontuação próxima do valor limite entre duas escalas de NS (por exemplo, D e E) podem não refletir a percepção real dos usuários, visto que a avaliação qualitativa do NS para automóveis fornece algum grau de subjetividade.

Por fim, implicações para trabalhos futuros consistem na aplicação desta metodologia em outras cidades brasileiras para avaliar a capacidade do Método de Dixon de identificar NS adequados e inadequados para a circulação de bicicletas em vias urbanas, visando atestar a validade do mesmo para a realidade brasileira. Segundo Dixon (1996), o NSB D é aquele que representa condições mínimas aceitáveis para os usuários do modal cicloviário. Assim, os resultados obtidos por meio desse instrumento de análise e identificação de rotas para bicicletas poderão ser melhorados se utilizados em consonância com planos de mobilidade previstos para as áreas estudadas, contribuindo para a tomada de decisão no processo de planejamento de transportes e para o incentivo do uso compartilhado da bicicleta em vias onde não há ciclovia ou ciclofaixa por meio de sinalização.

Referências

- AASHTO (1999). Guide for the development of bicycle facilities. United States of America: AASHTO, Washington.
- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini M. & Shah, M. Z. (2013). Non-motorised Level of Service: Addressing Challenges in Pedestrian and Bicycle Level of Service. *Transport Reviews*, 33(2), 166-194.
- Austroads (2011). *Austroads Guide to Road Design – Part 6A: Pedestrian and Bicycle Paths*. Sydney: Austroads Ltd.
- Botma, H. (1995). Method to Determine Level of Service for Bicycle Paths and Pedestrian-Bicycle Paths. *Transportation Research Record* 1502, 38-44.
- Castro, C. M. S., Barbosa, H. M. & Oliveira, L. K. (2013). Analysis of the potential integration of cycling with public transport in Belo Horizonte. *Journal of Transport Literature*, 7(2), 46-70.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L. & Stein, C. (2001). *Introduction to Algorithms*. 2. ed. Washington, D. C.: MIT Press.
- Dixon, L. B. (1996). Bicycle and Pedestrian Level of Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems. *Transportation Research Record* 1538, 1-9.
- FHWA - Federal Highway Administration (1979). *A bikeway criteria digest: The ABCD's of bikeways* (Publication No. FHWA-TS-77-201).
- Furth, P. G. & Mekuria, M. C. (2013). Network Connectivity and Low-Stress Bicycling. *Proceedings of the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, Washington D. C., USA.
- GEIPOT (2001a). *Manual de Planejamento Cicloviário*. Brasília: Empresa Brasileira de Transportes e Trânsito.
- GEIPOT (2001b). *Planejamento Cicloviário: Diagnóstico Nacional*. Brasília: Empresa Brasileira de Transportes e Trânsito.
- Google (2014). Google Earth website. <http://earth.google.com/>.
- Harkey, D. L., Reinfurt, D. W. & Knuiman, M. (1998). Development of the bicycle compatibility index. *Transportation Research Record* 1636, 13-20.
- IBGE (2010). *Censo Demográfico de 2010*.
- Jensen, Søren (2007). Pedestrian and Bicyclist Level of Service on Roadway Segments. *Transportation Research Record* 2031, 43-51.
- Kirner, J. & Sanches, S. P. (2008). Method for Establishing Urban Cycling Routes. *Proceedings of the Transportation Research Board 87th Annual Meeting*, Washington, D. C., USA.
- Klobucar, M. S. & Fricker, J. D. (2007). Network Evaluation Tool to Improve Real and Perceived Bicycle Safety. *Transportation Research Record* 2031, 25-33.
- Landis, B. W., Vattikuti, V. R. & Brannick, M. T. (1997). Real-time human perceptions: toward a bicycle level of service. *Transportation Research Record* 1578, 119-126.
- Magalhães, J. R. L. & Palhares, D. A. G. (2013). Utilização do método de preferência declarada para caracterização da demanda pelo transporte cicloviário em Montes Claros/MG. *Anais do XXVII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, Belém*.
- Ministério das Cidades (2007). *Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta - Bicicleta Brasil*. Brasília: Ministério das Cidades.
- Monteiro, F. B. & Campos, V. B. G. (2011). Métodos de avaliação da qualidade dos espaços para ciclistas. *Anais do XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Belo Horizonte, v. 2, pp. 1242-1253.
- Montes Claros (2008). *Mapa Urbano de Montes Claros, MG*.
- Petritsch, T., Landis, B., Huang, H., McLeod, P., Lamb, D., Farah, W. & Guttenplan, M. (2007). Bicycle Level of Service for Arterials. *Transportation Research Record* 2031, 34-42.
- Pezzuto, C. C. & Sanches, S. P. (2004). Identificação dos fatores que influenciam o uso da bicicleta. *Anais do XVIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Florianópolis.
- Providelo, J. K. & Sanches, S. P. (2011). Roadway and traffic characteristics for bicycling. *Transportation*, 38(5), 765-777.
- Road Directorate (2000). *Collection of Cycle Concepts 2000*. Copenhagen: Road Directorate.
- TRB (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, Washington D. C.
- TRB (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board, Washington D. C.

Abstract

This paper presents a proposed methodology for the identification of bicycle route networks in urban areas, in which undesirable traffic conditions perceived by bicyclists are minimized. A mathematic model based on a minimum-path search algorithm is proposed to identify routes with best bicycle level of service (BLOS). Dixon's (1996) Method is defined for BLOS evaluation, to which a gradient evaluation step was included through a comparative analysis of five bikeway gradient criteria (FHWA, 1979; AASHTO, 1999; Road Directorate, 2000; GEIPOT, 2001a; Austroads, 2011). The proposed model was applied in Montes Claros, MG, to identify a bicycle route network that connects five trip generation poles. In this study, the most suitable bicycle routes were obtained through the study of the urban road network defined by FHWA's gradient criteria, although a little variation on the perceived BLOS of the routes has been observed when evaluated by FHWA, AASHTO and Austroads' gradient criteria. It is also noticed that the model's gradient comparative evaluation step in the model allowed the identification of routes similar to the used ones by bicyclists in that municipality.

Key words: bicycle transportation; bicycle routes; bicycle level of service; gradient criteria; shortest path.