

FERRAMENTA MULTICRITÉRIO DE INSPEÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA DE CICLOFAIXAS: ESTUDO DO CASO DE PORTO ALEGRE

Alejandro Ruiz-Padillo^{1,2}
André Luiz Dultra Nascimento da Silva²
Daniela Lichtler Cassel²
Richard Ortiz Menna²
Christine Tessele Nodari²

¹Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul
Laboratório de Mobilidade e Logística (LAMOT)

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia de Produção e Transportes
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

RESUMO

A promoção e o incentivo ao uso da bicicleta têm crescido consideravelmente nas cidades ao redor do mundo. No entanto a percepção da falta de segurança viária associada ao modo ciclovitário ainda se constitui em uma das principais barreiras para o aumento do uso da bicicleta. A adoção de ciclofaixas surge como alternativa para a oferta de um ambiente seguro ao tráfego ciclovitário e, assim, tem papel importante na opção pelo uso da bicicleta como meio de transporte. Nesse contexto, este artigo propõe uma ferramenta de inspeção do nível de segurança de ciclofaixas para servir de apoio na gestão de espaços viários mais seguros através da priorização das principais oportunidades de melhorias de segurança das ciclofaixas avaliadas. A ferramenta foi testada em três ciclofaixas de Porto Alegre e como principais resultados tem-se o ranqueamento das ciclofaixas avaliadas quanto ao seu nível de segurança e a identificação dos aspectos mais deficientes em cada uma das ciclofaixas.

ABSTRACT

The fostering of cycling habits has been growing in cities around the world. However, the perception of lack of road safety associated with cycling is still one of the main barriers to increase bicycle use. Cycle lanes implementation arises as an alternative for providing a safer environment for bicycle traffic, thus, being an important factor on the definition of whether people choose bicycle as a mean of transportation or not. In this context, this article proposes a cycle lane safety level inspection tool to support the management of safer road spaces through the prioritization of opportunities for safety improvements. The tool was tested in three cycle lanes in Porto Alegre and the main results are the ranking of the evaluated cycle lanes in terms of their safety level and the identification of the most deficient aspects in each cycle lane.

1. INTRODUÇÃO

Infraestruturas ciclovitárias vêm sendo cada vez mais adotadas nas cidades ao redor do mundo por contribuírem na redução de emissões de gases efeito estufa, congestionamento, incentivo à atividade física, melhorias à saúde, redução de poluição sonora, maior humanização do ambiente urbano (Holm *et al.*, 2012, OECD, 2013; Götschi *et al.*, 2016) e, principalmente, na oferta de um ambiente seguro ao tráfego de bicicletas (Xu *et al.*, 2016; Madsen e Lahrman, 2017). Assim, estas estruturas tem papel importante na opção pelo uso da bicicleta como meio de transporte, especialmente para usuários iniciantes que tendem a ter mais receio de trafegar em ambiente compartilhado, quando comparados aos ciclistas mais experientes.

Entre estas infraestruturas destacam-se as ciclofaixas, implantadas mediante o aproveitamento de parte do leito da via de tráfego que, através de elementos de demarcação e sinalização, fica destinada ao uso exclusivo de bicicletas (Pulugurta e Takhur, 2015; Madsen e Lahrman, 2017). Os custos mais baixos das ciclofaixas e sua relativa facilidade de provisão, em comparação a estruturas mais robustas fisicamente separadas das faixas de tráfego motorizado, como as ciclovias, têm incentivado a sua adoção (Miranda *et al.*, 2009).

A segurança nas ciclofaixas pode variar bastante de acordo com a sua configuração.

Tradicionalmente posicionadas no bordo direito da pista, tornam ciclistas visíveis ao tráfego motorizado no mesmo sentido, porém é onde eles estão mais sujeitos a interações com pedestres e veículos pesados que trafegam nas faixas lentas à direita. Nos casos onde a ciclofaixa encontra-se entre a calçada e o estacionamento paralelo às faixas de rolamento, os ciclistas tornam-se vulneráveis ao fenômeno de *dooring*, que é quando podem ser atingidos devido à abertura das portas dos veículos estacionados (NACTO, 2014). Alguns desses conflitos podem ser evitados posicionando-se a ciclofaixa nos canteiros centrais, onde, de modo geral, ciclistas ficam sujeitos a menos interrupções e conflitos com outros modos de transporte (Miranda *et al.*, 2009; NACTO, 2014). Conquanto, o acesso à parte central deve ser bem planejado, não sendo recomendado para vias de alto volume de tráfego motorizado, situação na qual o ciclista estaria vulnerável. As ciclofaixas podem ser ainda uni ou bidirecionais, podem formar um binário em ambos os sentidos da via ou podem ser instaladas no contrafluxo de modo a conectar pontos de interesse dos ciclistas. Não há consenso sobre a configuração ideal de ciclofaixa com vistas à segurança viária; a solução mais adequada deve advir de estudos prévios que corroborem a decisão sobre a escolha de um dos tipos existentes.

É crescente o número de estudos sobre segurança cicloviária encontrados na literatura (Botma, 1995; Bacchieri, 2004; Monteiro e Campos, 2011; Segadilha e Sanches, 2014; Schackel e Parkin, 2014; Córdova Junior e Nodari, 2015; Pulgurta e Takhur, 2015; Xu *et al.*, 2016; Madsen e Lahrman, 2017). Tais estudos tratam de diversos fatores importantes relacionados com segurança em ciclovias e ciclofaixas, que devem ser levados em consideração nos projetos de desenvolvimento, manutenção e revitalização de infraestruturas dedicadas à bicicleta.

Nesse contexto de crescente incentivo ao uso da bicicleta e preocupação em prover ambientes seguros ao seu uso, este artigo propõe uma ferramenta de inspeção do nível de segurança de ciclofaixas. A ferramenta foi desenvolvida a partir da identificação de indicadores para os principais atributos importantes à segurança, e a criação de uma estrutura de inspeção. A ferramenta permite uma avaliação comparativa de ciclofaixas e pretende orientar os esforços de provisão e manutenção de ambientes cicloviários mais seguros.

O artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, o referencial teórico apresenta um breve histórico sobre avaliações de segurança cicloviária e principais aspectos neles avaliados. Na seção 3 são apresentados os procedimentos metodológicos do desenvolvimento da ferramenta de avaliação proposta. Na seção 4 são apresentados os resultados obtidos na construção da ferramenta e na seção 5 é apresentada o seu teste em três ciclovias de Porto Alegre. Por fim, a seção 6 apresenta as considerações finais em relação à pesquisa realizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Apesar da promoção e o incentivo ao uso da bicicleta notavelmente crescentes nas últimas décadas, a bicicleta ainda permanece como um fator marginal nas políticas de transporte, com poucas exceções. Isto pode ser decorrente de barreiras sócio-psicológicas, falta de priorização ou da baixa representatividade relativa de ciclistas entre os usuários do sistema de transportes (pedestres, ciclistas e motorizados) (Götschi *et al.*, 2016). A baixa representatividade geralmente decorre da percepção da falta de segurança viária (Teschke *et al.*, 2012; OECD, 2013; Götschi *et al.*, 2016), o que resulta em um ciclo vicioso: a percepção de insegurança desincentiva o crescimento do modo cicloviário e resulta em baixa representatividade, que,

por sua vez, diminui a propensão de investimento em infraestrutura segura para ciclistas.

Os estudos sobre segurança viária – sobretudo aqueles com foco nos modos de transportes ativos – possibilitam identificar e obter um maior entendimento sobre os fatores que influenciam na segurança dos usuários e, por conseguinte, auxiliam na gestão dos projetos de mobilidade voltados aos modos não-motorizados. À medida que se compreende a segurança dos ciclistas em seus deslocamentos através das infraestruturas dedicadas à bicicleta como um serviço provido pelos órgãos gestores de trânsito, as ferramentas de avaliação de segurança tornam-se também valiosos instrumentos de planejamento e gestão do espaço cicloviário (Cândido, 2005; Córdova Junior e Nodari, 2015).

Nos últimos anos, a avaliação de segurança no trânsito passou a utilizar o conceito de “fatores contribuintes” em detrimento da ideia de uma única causa de acidentes. Este conceito busca explicar o acidente como resultado de uma combinação de fatores– relacionados com os três componentes do sistema de trânsito: o usuário, a via e o veículo – que contribuem para a ocorrência do acidente, o que torna o entendimento dos problemas de segurança bastante complexo (Castrillón e Candia, 2003; Naing *et al.*, 2007; Chagas *et al.*, 2012).

Sabendo dessa complexidade, avaliar a segurança não é tarefa fácil, principalmente em sistemas ou segmentos cicloviários. Nos últimos anos, diversos autores têm despendido esforços na intenção de modelar o risco real ao qual ciclistas estão suscetíveis. Neste contexto, o primeiro modelo desenvolvido foi o *Bicycle Safety Index Rating* (BSIR, ou, em português, Índice de Segurança para Bicicletas) (Davis, 1987). O modelo utilizava parâmetros como o volume de tráfego, limites de velocidade, condições de pavimentação, sinalização e uma série de outros fatores geométricos para avaliar a segurança cicloviária em segmentos viários e interseções. A despeito de não incorporar informações acerca de interações entre bicicletas e veículos motorizados ou outros tipos de conflitos, o modelo obteve relativo sucesso e estimulou o surgimento de outros métodos de avaliação e estimativa de riscos para ciclistas.

Desde então, avaliações de segurança cicloviária passaram a ser incorporadas no planejamento das vias, através de diferentes métodos e parâmetros. Uma variação do BSIR, o *Roadway Condition Index* (RCI, ou, em português, Índice de Condição de Rodovia), alterou o peso relativo ao indicador da velocidade máxima permitida para veículos automotores e o peso relativo aos volumes de tráfego (Epperson, 1994). Posteriormente, o RCI serviu como base para criação de outros modelos, como o IHS (*Intersection Hazard Scores*, ou, em português, Pontuações de Perigo de Interseções), o qual incorporou fatores como o número de faixas de rolamento como um dos elementos determinantes para percepção de risco dos ciclistas (Landis, 1994). O desenvolvimento de um modelo para determinar o *Bicycle Level of Service* (BLOS, ou, em português, Nível de Serviço de Bicicletas) foi possível ao incorporar às variáveis do IHS indicadores de condição do pavimento e informações acerca do uso do solo adjacente às vias cicláveis, criando uma escala de avaliação do conforto e segurança para ciclistas que variava de A até F (Landis *et al.*, 1997).

Pesquisadores seguem desenvolvendo novos métodos de avaliação da segurança para ciclistas e aprimorando os modelos a partir da incorporação das mais diversas variáveis, como interações entre ciclistas e motorizados (Hunter *et al.*, 1999), comportamento dos ciclistas (Lawson *et al.*, 2013), características das faixas adjacentes às ciclofaixas (Pulughurta e

Thakor, 2015) e geometria das ciclofaixas (Madsen e Lahrman, 2017). Observa-se ainda a utilização de diferentes meios de obtenção de dados, como através de bancos de dados (Davis, 1987; Epperson, 1994), contagens (Madsen e Lahrman, 2015; Xu *et al.*, 2015) ou através de entrevistas (Harkey *et al.*, 1998; Landis *et al.*, 2003; Noël *et al.*, 2003). Metodologias como estas inspiraram o desenvolvimento de diversos guias práticos de auditoria de segurança cicloviária, como os guias propostos por Norwegian Public Roads Administration (2004), Nabors *et al.*, (2012), Vicroads (2012) e University of California (2014).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento da ferramenta proposta de avaliação de segurança cicloviária foi discriminado em 10 etapas, conforme apresentado na Figura 1.

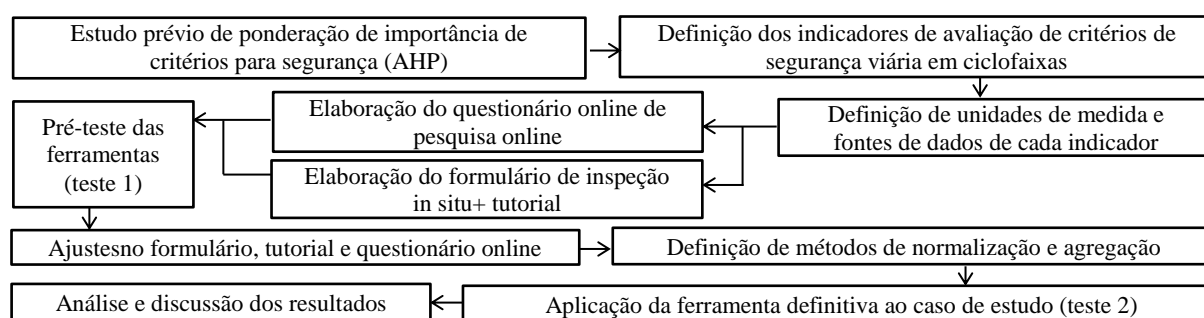


Figura 1: Etapas do estudo

Os aspectos de segurança avaliados pela ferramenta foram determinados a partir de um estudo anterior, que identificou e ponderou a importância dos principais aspectos que influenciam a segurança de ciclistas em ciclofaixas em um contexto brasileiro (Ruiz-Padillo *et al.*, 2016). Os pesos de cada atributo, estruturados em uma hierarquia de critérios e subcritérios, foram definidos através de uma análise multicriterial, mediante o AHP (*Analytic Hierarchy Process*, ou, em português, Processo Analítico Hierárquico), na qual foram consideradas as opiniões de um painel de especialistas que incluiu técnicos, pesquisadores e ciclistas. Esta avaliação quantitativa através de pesos permite medir o desempenho em termos de segurança dos ciclistas nas ciclofaixas, bem como comparar diferentes infraestruturas, facilitando a priorização das medidas a serem tomadas para melhorar a segurança dos ciclistas.

O passo seguinte foi identificar para cada subcritério um indicador, especificando a unidade de medida e a fonte dos dados. A definição dos indicadores buscou traduzir os aspectos mais importantes dos subcritérios, evitando indicadores de difícil obtenção, porém sem prejuízo para a consistência da ferramenta. Também foi tomado o cuidado para que as fontes de dados fossem acessíveis e que as unidades de medida possibilitassem o tratamento numérico dos dados obtidos, para posterior normalização de índices e realização da comparação de resultados.

Em sequência, foram definidos os procedimentos de obtenção dos dados primários (coletados diretamente através de formulários de campo ou pesquisas) além da identificação dos dados secundários (dados já coletados por atores externos) a serem solicitados aos órgãos e agências públicas. Priorizou-se a praticidade na aquisição dos dados secundários, através do acesso aos bancos de dados públicos ou da utilização de ferramentas digitais como o *Google Maps* e *Google Earth*. Nos casos em que a aquisição dos dados secundários fosse dificultada ou apresentasse inconsistências, optou-se pela obtenção de dados primários *in situ* ou através da

aplicação de questionário *online*. Para o formulário de coleta de dados em campo, elaborou-se também um tutorial de aplicação para orientar e instruir o avaliador no preenchimento correto do formulário.

Decidiu-se trabalhar com valores normalizados para possibilitar a agregação dos dados com diferentes unidades de medida e permitir a comparação entre as ciclofaixas consideradas na avaliação. Assim, na etapa seguinte, elegeu-se como método de normalização dos dados o procedimento linear que apresenta cada valor como uma porcentagem do máximo, levando em conta o carácter do critério (de benefício ou de custo), como apresentado na equação 1.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ij}^{máx}} \times 100 \quad (1)$$

onde i são as ciclovias analisadas, j são os subcritérios analisados, r_{ij} são os valores dos indicadores de cada subcritério normalizados (em notação percentual), x_{ij} são os valores obtidos diretamente da avaliação dos indicadores e $x_{ij}^{máx}$ são os valores máximos.

Como técnica de agregação das avaliações de critérios e subcritérios ponderados, foi escolhido o método da soma ponderada. Este método agrega os valores dos diferentes critérios (com seus pesos) em uma única função de utilidade global (Barba-Romero e Pomerol, 2000), a qual pode adquirir um modelo aditivo linear, apresentado na equação 2.

$$y_i = w_{i1} * r_{i1} + w_{i2} * r_{i2} + \dots + w_{in} * r_{in} \quad (2)$$

em que i são as ciclovias analisadas, j são os subcritérios analisados, r_{ij} são os valores dos indicadores de cada subcritério normalizados e w_{ij} os valores dos pesos dos critérios, com n o número de critérios do problema analisado. Ordenando as alternativas (neste caso, as ciclofaixas avaliadas) pelos valores de y , é possível estabelecer um ranking delas e, portanto, uma ordenação em relação à sua segurança.

O último estágio do estudo foi testar a ferramenta proposta. O primeiro teste foi feito por um grupo de controle de avaliadores e ciclistas, externos aos autores do trabalho, com o objetivo de identificar problemas de aplicação das ferramentas e dificuldades de compreensão. A partir do retorno deste teste, o formulário de inspeção em campo, o tutorial de aplicação e o questionário *online* foram aprimorados e adaptados para sua aplicação definitiva. Para teste da versão final, com a finalidade de verificar sua aplicabilidade, aplicou-se a ferramenta em um estudo de caso de três ciclofaixas em operação na cidade de Porto Alegre – RS.

4. RESULTADOS DA ELABORAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA

A Tabela 1 sintetiza os resultados da elaboração da ferramenta proposta para avaliação de ciclofaixas, apresentando os indicadores selecionados, suas respectivas unidades de medida e fonte, bem como os pesos obtidos mediante a técnica AHP em Ruiz-Padillo *et al.* (2016).

Em relação à obtenção dos dados primários, os mesmos são coletados a partir de duas ferramentas principais: o formulário de avaliação de campo e o questionário *online*. O formulário é constituído por uma planilha de avaliação (Figura 2) e um tutorial para utilização da planilha (Figura 3). Na planilha de avaliação constam informações de auxílio ao avaliador, como um croqui da ciclofaixa a ser avaliada – onde devem ser indicados, através de legendas, os trechos que subdividem a ciclofaixa –, breves instruções acerca do preenchimento das colunas – as quais representam os subcritérios avaliados –, dados da avaliação realizada – como data, horário de início e fim da inspeção e condições do tempo no momento da avaliação – e espaço para observações dos avaliadores.

Tabela 1: Indicadores utilizados na ferramenta, fonte de coleta e ponderação relativa.

Aspecto	Critério	Subcritério	Indicador e Unidade de medida	Fonte dos dados	Pesos w_{ij} (%)
Viário-ambientais	Projeto da ciclofaixa	Geometria	Módulo da declividade média ponderada da ciclofaixa	Bases municipais	11,05
		Pavimentação	Tipo de pavimento (1 para materiais ideais e 0 para materiais não recomendados)	Formulário de campo	7,26
		Sinalização	Porcentagem de trechos de ciclofaixa com elementos adequados de sinalização (vertical, horizontal e auxiliar)	Formulário de campo	4,34
		Entorno	Número de elementos fixos no entorno da ciclofaixa que dificultem visibilidade ou gerem conflitos identificados por quilômetro	Formulário de campo	2,84
	Manutenção da via	Estado da superfície	Nota média para o estado da ciclofaixa (com parâmetros definidos no tutorial), ponderada pela extensão dos trechos avaliados	Formulário de campo	6,53
		Obstáculos	Número de elementos temporários na ciclofaixa que dificultem visibilidade ou gerar conflitos identificados por quilômetro	Formulário de campo	7,34
		Iluminação	Postes inadequados por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	2,78
		Drenagem	Número de poças identificadas por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	2,36
	Operação da via	Tráfego de motorizados	Volume de veículos motorizados observados nos 15min de fluxo mais intenso dentro da hora-pico	Registros oficiais e Formulário de campo	2,59
		Velocidades relativas	Diferença entre a velocidade limite da via, definida na sinalização existente ou pela hierarquia da via (no caso de não haver sinalização) e a velocidade dos ciclistas	Registros oficiais e Formulário de campo	8,35
		Veículos pesados	Volume de veículos pesados observados nos 15min de fluxo mais intenso dentro da hora-pico	Registros oficiais e Formulário de campo	2,27
		Risco de conflitos	Número de pontos de conflitos entre usuários da via identificados por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	4,77
	Veículo	Características da bicicleta	Manutenção da bicicleta	Porcentagem de ciclistas que faz manutenção pelo menos 1 vez por ano	Questionário <i>online</i>
Elementos de percepção			Porcentagem de ciclistas que utiliza pelo menos 2 elementos de percepção	Questionário <i>online</i>	2,10
Acessórios de auxílio			Porcentagem de ciclistas que utiliza pelo menos 2 acessórios	Questionário <i>online</i>	0,92
Usuários	Comportamento dos usuários	Comunicação entre usuários	Porcentagem de ciclistas que diz executar procedimentos de comunicação na maioria das vezes	Questionário <i>online</i>	5,43
		EPIs do ciclista	Porcentagem de ciclistas usando capacete em relação ao volume total de ciclistas observados	Questionário <i>online</i> e Formulário de campo	2,92
		Experiência do ciclista	Porcentagem de ciclistas que utiliza a ciclofaixa pelo menos 2 vezes por semana	Questionário <i>online</i>	3,96
		Atitudes dos usuários	Número de multas ao longo da rua da ciclofaixa por quilômetro de ciclofaixa	Registros oficiais	12,05
		Estado psicofísico	Número de estabelecimentos que comercializam bebidas alcólicas no entorno por quilômetro de ciclofaixa	Formulário de campo	7,01

O tutorial é composto por uma série de recomendações e parâmetros acerca do modo como a avaliação das ciclofaixas deve ser realizada. Como exemplo, a Figura 3 ilustra situações que

servem de parâmetro na caracterização do estado de manutenção da ciclofaixa, atributo avaliado pelo subcritério *Estado da Superfície*. Busca-se, através de tal recurso, reduzir a variabilidade interpretativa inerente a critérios com certo grau de subjetividade como este.


CICLOFAIXA		DATA		TEMPO										
MARCO DA GAMA		20/05/2017		Nublado e chuvoso, porém com sol aparecendo ao longo da avaliação										
AVALIADOR		INÍCIO/FIM		BI OU UNIDIRECIONAL										
André e Daniela		13:17:00 até as 15:25		Bidirecional										
CICLOFAIXA				DICAS IMPORTANTES 1) Não hesite em anotar (no espaço reservado no fim da página) qualquer observação fora do comum ou imprevista no formulário. 2) Para os itens que requerem contagem , utilizar marcação do tipo quadrado cortado (exemplo ao lado), onde cada traço corresponde a uma observação . 3) Nos casos em que o atributo não se aplicar ao trecho percorrido, marcar "N.A.".										
				4) Contar cada ciclista transitando no trecho, discriminando aqueles com e sem capacete no espaço abaixo: <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">com capacete: 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">sem capacete: 15</div> </div>										
LEGENDA	Estado da superfície	Pavimento	Sinalização		Velocidade	Obstáculos	Drenagem	Pontos de conflito	Estado psicofísico					
	Marcar com um valor de 1 a 5 (1 mais íntegro e 5 mais fadado), considerando presença de areia e grama	1 - Asfalto/concreto 2 - Intertravado/paralelepípedo/pedra portuguesa	Para cada quadra, verificar todos os atributos, um a um, marcando com "OK" em caso de situação satisfatória ou um "X" caso falha ou inexistente.		Anotar a velocidade indicada nas placas da quadra. Marcar "N.A." caso não exista no trecho.	Contar nº de obstruções permanentes e de obstruções temporárias. Ex.: árvores, placas, contêineres (permanentes), carros estacionados na ciclofaixa, galhos (temporários), etc.	Contar número de poças no trecho da ciclofaixa.	Contar pontos de conflito com outros usuários na ciclofaixa ao longo de cada quadra, desconsiderando início e fim das quadras ou conflitos com semáforo específico. Ex.: saídas de garagem, movimento permitido de veículos, faixas de pedestres, paradas de ônibus, interseção com outros ciclofaixas, acesso a posto de gasolina, etc.	Contar nº de estabelecimentos onde existe consumo de bebidas alcoólicas na quadra (com fachada de frente para ciclofaixa).					
CICLOFAIXA	ESTADO DA SUPERFÍCIE	PAVIMENTO	SINALIZAÇÃO		VELOCIDADE NA VIA	OBSTACULOS		DRENAGEM	CONFLITO	ESTADO PSICOFÍSICO				
	Início Fim Letras	Indicar legenda (1/2/3/4/5)	Indicar legenda (1/2)	Pintura	Tachão	Sinalização horizontal na interseção	Sinalização vertical na interseção	Sinalização de parada de ônibus	VELOCIDADE (km/h nas placas)	PERMANENTES	TEMPORÁRIOS	(nº de poças) (poças no meio da ciclofaixa, poças significativas rentes ao meio-fio)		
1	a-b	3	1	OK	OK	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1	0	1	5	0
2	b-c	3	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	2	0	2	1	0
3	c-d	3	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	3	2	0	6	0
4	d-e	3	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	1	1	1	12	0
5	e-f	2	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	1	1	4	11	3
6	fg	2	1	OK	OK	OK	OK	N.A.	N.A.	3	0	4	4	0

Figura 2: Recorte da planilha de avaliação.



Figura 3: Exemplo de instrução do tutorial, que exemplifica os parâmetros de avaliação.

Outro mecanismo utilizado para aquisição dos dados primários para ferramenta de inspeção é o questionário *online*. No questionário, os respondentes são confrontados com perguntas sobre experiência e hábitos no tráfego cicloviário, como uso de dispositivos auxiliares, realização de manutenção periódica, afinidade com equipamentos de proteção individual e frequência de uso das ciclofaixas a serem avaliadas.

Após a coleta de todos os dados necessários, é possível avaliar as ciclofaixas, bastando inseri-las na planilha de cálculo que irá normalizar, ponderar e agregar os indicadores mediante o método da soma ponderada, produzindo os índices de segurança comparativos entre as ciclofaixas avaliadas. O resultado final da avaliação é uma pontuação, para cada ciclofaixa, que reflete o seu grau de segurança relativo às outras ciclofaixas avaliadas, dentro de uma escala que varia de 0 a 100. Essa pontuação traduz a adequação geral da respectiva ciclofaixa às melhores condições de segurança identificadas em cada indicador dentre todas as ciclofaixas inspeccionadas.

Assim, a ferramenta agrega todos os componentes do sistema de trânsito (usuário, via e

veículo) e abrange diversas fontes de dados, sem comprometer a obtenção e confiabilidade dos resultados. A percepção de segurança dos ciclistas é considerada de maneira indireta, visto que a ponderação de cada atributo –feita no estudo prévio– levou em conta a percepção do painel de especialistas, enquanto os dados sobre os hábitos dos usuários que utilizam as ciclofaixas avaliadas são coletados em questionário *online*. Excepcionalmente, optou-se por não incluir registros históricos nas análises, visto que, no contexto ciclovitário, ocorre em grande grau o subregistro de acidentes ou infrações (AUSTROADS, 2009), o que poderia criar distorções nos resultados.

5. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO PROPOSTA AO CASO DE ESTUDO EM PORTO ALEGRE

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade da ferramenta proposta, foram escolhidas três ciclofaixas de características diferentes na cidade de Porto Alegre - RS, para as quais, sem uma análise profunda e objetiva, seria difícil estabelecer uma ordenação segundo sua segurança. A Tabela 2 e a Figura 4 apresentam a as três infraestruturas analisadas.

Tabela 2: Ciclofaixas selecionadas para o estudo de caso de teste da ferramenta

Ciclofaixa	Extensão	Características locais	Características da ciclofaixa
José do Patrocínio	0,90km	Bairro boêmio próximo ao centro, com grande quantidade de bares e serviços e condições médias de fluxo de tráfego. Rua de sentido único.	Localizada entre calçada esquerda e faixa de estacionamento paralelo, que cria barreira entre ciclistas e automóveis em circulação.
Vasco da Gama	1,27 km	Bairro residencial próximo ao centro com comércios diversificados e volume de tráfego elevado. A rua tem trechos de duas ou três faixas de tráfego em um único sentido.	Localização alterna entre lado esquerdo e direito, com alguns trechos de estacionamento paralelo junto à calçada direita.
Adda Mascarenhas de Moraes	1,25 km	Região de tráfego relativamente tranquilo, mas próxima a avenidas de grande movimentação. Rua com duas faixas por sentido separadas por canteiro central.	Localizada em canteiro central com sentidos separados.

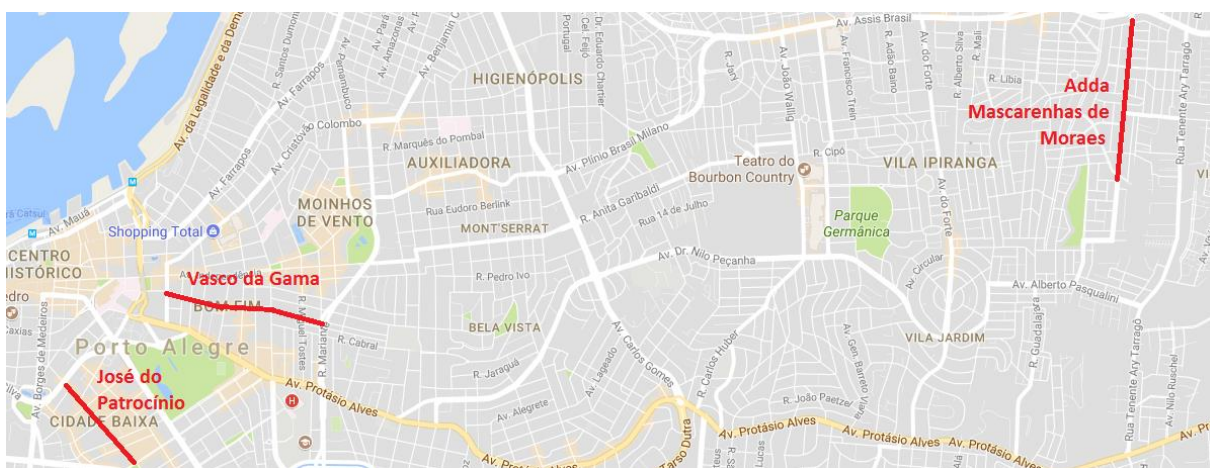


Figura 4: Localização das três ciclofaixas analisadas no estudo em Porto Alegre

A aplicação da ferramenta de inspeção proposta foi realizada nas três ciclofaixas no mês de maio de 2017 com um tempo máximo de preenchimento da planilha de inspeção de campo de duas horas, embora tenha sido necessária mais de uma visita a campo em diferentes situações (de dia, à noite e após período de chuva). Com relação ao questionário *online*, foram

totalizadas 201 respostas válidas ao longo de duas semanas do mês de junho de 2017. Dos respondentes, 32 utilizam a ciclofaixa da Adda Mascarenhas de Moraes, 155 utilizam a ciclofaixa da Vasco da Gama e 176 utilizam a ciclofaixa da José do Patrocínio.

A Tabela 3 contém os dados coletados necessários para a avaliação da ciclofaixas e os valores já normalizados e ponderados de acordo com a metodologia apresentada. Assim, ela permite a comparação das três infraestruturas analisadas desde o ponto de vista da segurança dos ciclistas, para cada subcritério, de cada critério e em geral (através da soma ponderada).

Tabela 3: Dados coletados e normalizados e ponderados dos indicadores no caso de estudo

Aspecto	Critério	Subcritério	Valores coletados			Valores normalizados e ponderados (Eq. 2) (%)					
			José do Patr.	Vasco da Gama	Adda Masc.	José do Patrocínio		Vasco da Gama		Adda Masc.	
Viário-ambientais	Projeto da ciclofaixa	Geometria	0,00471	0,01785	0,02018	11,05	25,49	2,92	15,19	2,58	14,93
		Pavimentação	Asfalto	Asfalto	Asfalto	7,26		7,26		7,26	
		Sinalização	100,00%	100,00%	90,14%	4,34		4,34		3,91	
		Entorno	3,333	14,173	8,000	2,84		0,67		1,18	
	Manutenção da via	Estado da superfície	2,056	2,343	2,396	6,53	14,82	7,44	9,81	7,61	20,09
		Obstáculos	1,111	4,724	0,000	6,61		1,55		7,34	
		Iluminação	4,444	3,937	0,000	0,62		0,71		2,78	
		Drenagem	2,222	22,047	0,000	1,06		0,11		2,36	
	Operação da via	Tráfego de motorizados	277	422	256	2,40	12,16	1,57	10,26	2,59	16,80
		Velocidades relativas	25	25	21,88	7,31		7,31		8,35	
		Veículos pesados	11	19	23	2,27		1,31		1,09	
		Risco de conflitos	26,667	72,000	0,000	0,18		0,07		4,77	
Veículo	Características da bicicleta	Manutenção da bicicleta	81,25%	84,52%	96,88%	2,60	5,11	2,71	5,29	3,10	
		Elementos de percepção	43,75%	45,16%	40,63%	2,03		2,10		1,89	
		Acessórios de auxílio	22,73%	22,58%	43,75%	0,48		0,48		0,92	
Usuários	Comportamento dos usuários	Comunicação entre usuários	65,34%	64,52%	71,88%	4,94	11,67	4,87	14,92	5,43	
		EPIs do ciclista	59,09%	60,65%	75,00%	2,30		2,36		2,92	
		Experiência do ciclista	59,66%	47,10%	25,00%	3,96		3,13		1,66	
		Atitudes dos usuários	875,556	71,654	22,400	0,31		3,77		12,05	
		Estado psicofísico	35,556	7,087	0,800	0,16		0,79		7,01	
SOMA PONDERADA			-	-	-	69,25		53,76		84,81	

É possível observar que a ciclofaixa mais segura, com uma pontuação total de 84,81 de acordo com a ferramenta proposta, é a da rua Adda Mascarenhas. Seu melhor desempenho deu-se especialmente no critério *Comportamento dos usuários*, que acumula boa parte do peso total. Destaca-se, dentro deste critério, a pontuação obtida para o subcritério *Estado Psicofísico* (7,01) em comparação às pontuações da José do Patrocínio e Vasco da Gama (0,16 e 0,79, respectivamente), estas últimas ciclofaixas situadas em bairros mais boêmios da cidade. Esta ciclofaixa resultou também com melhor avaliação de segurança relacionada às

características das bicicletas dos ciclistas que transitam por ela. Finalmente, com relação ao aspecto viário-ambiental, resultou como melhor avaliada a ciclofaixa da rua José do Patrocínio, embora a ciclofaixa da Adda Mascarenhas tenha ficado em segunda posição, pois, ao nível de critérios, foi melhor avaliada nos atributos de *Manutenção da via* e *Operação da via*, enquanto a José do Patrocínio foi melhor no *Projeto da ciclofaixa*.

Dos 20 subcritérios avaliados, a ciclofaixa da Adda Mascarenhas só não foi a melhor avaliada em apenas 6 deles, dos quais 3 (*Geometria*, *Sinalização* e *Entorno*) estão relacionados ao critério de *Projeto da Ciclofaixa*, evidenciando a necessidade de conferir atenção especial a este item nos casos de ciclofaixas próximas ao canteiro central. Outro indicador mal avaliado nesta ciclofaixa foi o de *Veículos pesados*, devido a esta ser, dentre as três ciclofaixas avaliadas, a única que apresenta volume de tráfego significativo deste tipo de veículo. Já a condição de tráfego mais fluido para ciclistas próximos ao canteiro central é evidenciada pela maior pontuação obtida por esta ciclofaixa no indicador de *Risco de conflitos*.

A ciclofaixa considerada menos segura, com uma pontuação geral de 53,76 foi a situada na rua Vasco da Gama, sobretudo devido às suas piores condições de manutenção e de operação da infraestrutura, mas também porque apenas obteve a melhor avaliação em relação às outras duas ciclofaixas nos subcritérios de *Elementos de percepção da bicicleta*, *Pavimentação* e *Sinalização*. A terceira ciclofaixa avaliada, da rua José de Patrocínio, ficou situada em posição intermédia (pontuação total de 69,25) e contou com a melhor avaliação nos subcritérios de *Projeto da ciclofaixa*, bem como nos relativos aos subcritérios de *Veículos pesados* e *Experiência dos ciclistas*.

Desta forma, mediante a aplicação da ferramenta proposta, constata-se que foi possível fazer uma avaliação ampla e objetiva das condições de segurança viária de ciclofaixas bastante diferentes quanto a sua localização e características físicas e operacionais dentro da cidade de Porto Alegre. Sem tal ferramenta torna-se difícil estabelecer, *a priori*, uma ordenação das mesmas segundo o nível de segurança percebido.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente ao desafio de incentivar o uso da bicicleta, e reconhecendo a falta de segurança viária como uma das principais barreiras para a adoção desse modo de transporte, este artigo teve por objetivo a proposição de uma ferramenta de inspeção do nível de segurança de ciclofaixas. Acredita-se que, ao fomentar a provisão de ciclofaixas com elevado nível de segurança é possível atrair mais usuários para o modo cicloviário. Assim pode-se estimular um ciclo virtuoso onde o aumento da segurança das ciclofaixas conduza ao aumento da representatividade do modo cicloviário no sistema de transportes o que poderá acelerar a promoção de mais infraestrutura segura para ciclistas.

Além disso, ao proporcionar maior entendimento sobre o peso dos fatores que influenciam na segurança cicloviária através de índices que consideraram a opinião de ciclistas, gestores e especialistas da área, a ferramenta de inspeção contribui para a redução da disparidade na percepção de segurança entre gestores e usuários e facilita o desenvolvimento e gerenciamento de projetos de infraestrutura destinada à circulação de bicicletas.

A ferramenta proposta foi desenvolvida a partir da seleção de atributos importantes à segurança e de análises multivariadas para priorização dos mesmos. Após identificar

indicadores, suas unidades de medida e as fontes de dados para cada atributo estudado foram definidas as formas de coleta: (i) dados secundários obtidos em mapas e junto ao órgão gestor; (ii) inspeção de campo e (iii) pesquisa com ciclistas através de questionários *online*. As últimas etapas envolveram a definição dos métodos de normalização, ponderação e agregação dos dados e testes da ferramenta.

Os resultados da aplicação da ferramenta proposta a um caso de estudo em Porto Alegre permitiram a avaliação comparativa de três ciclofaixas selecionadas. Foi possível ranquear as ciclofaixas quanto ao nível de segurança ofertado e identificar, para cada ciclofaixa, quais as principais deficiências quanto à segurança. Esta análise ajuda na orientação dos esforços para a melhoria das ciclofaixas estudadas. Considerando que o registro de acidentes ciclovitários é limitado, a ferramenta tem como vantagem não depender desses registros para a identificação das deficiências e priorização das intervenções nas ciclofaixas.

Entre os principais resultados, destaca-se o papel determinante dos atributos relativos à atitude e estado psicofísico dos usuários na priorização da ciclofaixa da rua Adda Mascarenhas como a mais segura entre as avaliadas nesse estudo, assim como suas melhores condições de manutenção da infraestrutura e em relação a risco de conflitos entre usuários. As ciclofaixas da rua José do Patrocínio e Vasco da Gama, com estrutura bidirecional, foram pior avaliadas em relação à segurança.

A ferramenta de inspeção proposta mostrou-se viável de ser usada. De modo geral, os dados a serem coletados referentes aos 20 indicadores são de fácil obtenção, embora exijam esforços de coleta que incluem inspeção durante o período com luz do dia, à noite e também após um período de chuvas. Finalmente, as notas parciais por conjunto de atributos mostrou bom potencial para priorização de intervenções de melhoria, na medida em que as avaliações resultantes de alguns conjuntos de atributos, chamados de critérios, se destacaram nas avaliações. Assim torna-se possível perceber em que critérios concentram-se as deficiências. Futuros trabalhos de inclusão de novos fatores nos indicadores propostos, análise das ciclofaixas por trechos, assim como maiores testes da sua aplicação em casos reais e análise dos resultados com ajuda de outras técnicas permitirão o aperfeiçoamento da ferramenta como instrumento de proposta de intervenções e implantação de infraestruturas ciclovitárias seguras.

Agradecimentos

Os autores agradecem à EPTC pela atenção dada a pesquisa e pelos dados fornecidos; ao grupo de especialistas que participaram desse estudo e ao CNPq pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

- AUSTROADS (2009). *Guide to road safety. Part 6: Road Safety Audit*. Austroads National Office, Australia.
- Bacchieri, G. (2004) *Determinantes e padrões de utilização da bicicleta e acidentes de trânsito sofridos por ciclistas trabalhadores da cidade de Pelotas*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Barba-Romero, S. e J. C. Pomerol (2000) *Multicriterion Decision in Management: principles and practice*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Botma, H. (1995). Method to Determine Level of Service for Bicycle Paths and Pedestrian-Bicycle Paths. *Transportation Research Record*, No. 1502, Transportation Research Board, Washington, DC, United States.
- Cândido, C. J. F. (2005) Service quality strategy implementation: A model and the case of the Algarve hotel industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, v. 16, n. 1, p. 3-14.
- Castrillón, A. D. e J. S. Candia (2003) *Guía para realizar una auditoria de seguridad vial*. Comisión Nacional de Seguridad de Transito, Santiago, Chile.

- Chagas, D. M.; C. T. Nodarie L. A. Lindau (2012) Lista de fatores contribuintes de acidentes de trânsito para pesquisa no Brasil. *XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Joinville.
- Córdova Junior, R. S. e C. T. Nodari (2015). Avaliação do desempenho de ciclofaixas em relação a segurança. *XXIX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Ouro Preto.
- Davis, S.; D. Robertson; E. King; R. Mingo e J. Washington (1987) *Measuring Pedestrian Volumes and Conflicts, Volume II: Accident Prediction Model*. Relatório n. FHWA-RD-88-307, Federal Highway Administration, Washington, DC, Estados Unidos.
- Epperson, B. (1994). *Evaluating suitability of roadways for bicycle use: Toward a cycling level-of-service standard* (No. HS-042 007).
- Götschi, T.; J. Garrard e B. Giles-Corti (2016) Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives. *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 45-71.
- Harkey, D. L.; D. W. Reinfurt; M. Knuiman; J. R. Stewart e A. Sorton (1998) *Development of the Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept*. Relatório n. FHWA-RD-98-072, Federal Highway Administration, Washington, DC, Estados Unidos.
- Holm, A. L.; C. Glümer e F. Diderichsen (2012) Health Impact Assessment of increased cycling to place of work or education in Copenhagen. *BMJ Open*, v. 2, n. 4, e001135.
- Hunter, W. W.; J. R. Stewart J. C. Stutts (1999) Study of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes. Transportation Research Record 1674. Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos.
- Landis, B. W. (1994). Bicycle interaction hazard score: a theoretical model (No. HS-042 006).
- Landis, B. W.; V. R. Vattikuti; R. M. Ottenberg; T. A. Petritsch; M. Guttenplane L. B. Crider (2003) *Safety and human performance*. Transportation Research Board Natl Research Council, Washington.
- Landis, B.; V. Vattikuti M. Brannick (1997) Real-time human perceptions: toward a bicycle level of service. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, (1578), 119-126.
- Lawson, A. R.; V. Pakrashi; B. Ghosh e W. Y. Szeto (2013) *Perceptions of safety of cyclists in Dublin city*. Accident Analysis and Prevention, n. 50, p. 499-511.
- Madsen, T. K. O. e H. Lahrmann (2017) Comparison of five bicycle facility designs in signalized intersections using traffic conflict studies. *Transportation Research Part F* 46 (2017): 438-450.
- Miranda, A. C.; L. L. B. Citadin e E. V. Alves (2009) A importância das ciclofaixas na reinserção da bicicleta no trânsito urbano das grandes cidades. In *17º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, Curitiba.
- Monteiro, F. B. e V. B. G. Campos, (2011). Métodos de avaliação da qualidade dos espaços para ciclistas. *XXV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Belo Horizonte.
- Nabors, D.; E. Goughnor; L. Thomas; W. DeSantis e M. Sawyer (2012) *Bicycle road safety audit guidelines and prompt lists*. FHWA-SA-12-018, Washington, DC, United States.
- NACTO (2014) *Urban Bikeway Design Guide*. 2nd edition. National Association of City Transportation Officials, Washington, DC, Estados Unidos.
- Naing, C.; S. Bayer; P. Van Elslande e K. Fouquet (2007) *Which Factors and Situations for Human Functional Failures? Developing Grids for Accident Causation Analysis*. Traffic Accident Causation in Europe Project.
- Nöel; Nathalie; C. Leclerc e M. Lee-Gosselin (2003) *CRC Index: Compatibility of Roads for Cyclists in Rural and Urban Fringe Areas*. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos.
- Norwegian Public Roads Administration (2004) Cycle path inspections: road safety, accessibility and experience of travel. Norway.
- OECD (2013) *Cycling, Health and Safety*. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Pulugurta, S. S. e V. Thakur (2015). Evaluating the effectiveness of on-street bicycle lane and assessing risk to bicyclists in Charlotte, North Carolina. *Accident Analysis & Prevention* 76 (2015): 34-41.
- Ruiz-Padillo, A.; A. L. D. N. Da Silva; D. L. Cassel; C. T. Nodari (2016) Análise da segurança em ciclofaixas com base na técnica AHP. *XXX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.
- Segadilha, A. B. P. e S. P. Sanches (2014) Fatores que influenciam na escolha das rotas pelos ciclistas. *Revista dos Transportes Públicos*, v. 36, p. 43-36, 2014.
- Shackel, S. C. e J. Parkin (2014), Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtaking accident cyclists. *Accident Analysis & Prevention* 73 (2014): 100-108.
- Teschke, K.; M. A. Harris; C. C. O. Reynolds; M. Winters; S. Babul; M. Chipman; Cusimano; J. R. Brubacher; G. Hunte; S. M. Friedman; M. Monro; H. Shen; L. Vernich e P. A. Crompton (2012) Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: A case-crossover study. *American Journal of Public Health*, v. 102, n. 12, p. 2336-2343.
- University of California (2014) *A technical guide for conducting bicycle safety assessments for California communities*. University of California, Institute of Transportation Studies, Technology Transfer Program. Berkeley
- Victroads (2012) *Shared path audit guidelines*. Road Corporation, Australia.
- Xu, C.; Yang, Y.; Jin, S.; Qu, Z.; e Hou, L. (2016). Potential risk and its influencing factors for separated bicycle paths. *Accident Analysis & Prevention* 87 (2016): 59-67.

Alejandro Ruiz-Padillo (alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br)

André Luiz Dultra Nascimento da Silva (andre.dultra@ufrgs.com)

Daniela Lichtler Cassel (daniela.cassel@gmail.com)

Richard Ortiz Menna (richardomenna@gmail.com)

Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Sistemas de Transportes, Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, Universidade

Federal do Rio Grande do Sul

Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre, RS, Brasil