



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
GESTÃO TERRITORIAL - PPGTG

Igor Gomes Furtado

Contribuição para a avaliação de desempenho de faixas reversíveis:
o caso da operação da rodovia SC-405 em Florianópolis (SC)

Florianópolis

2023

Igor Gomes Furtado

Contribuição para a avaliação de desempenho de faixas reversíveis:
o caso da operação da rodovia SC-405 em Florianópolis (SC)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Arnaldo Debatin Neto, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Furtado, Igor Gomes

Contribuição para a avaliação de desempenho de faixas reversíveis: : o caso da operação da rodovia SC-405 em Florianópolis (SC) / Igor Gomes Furtado ; orientador, Arnaldo Debatin Neto, 2023.

145 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Faixas Reversíveis. I. Neto, Arnaldo Debatin. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Igor Gomes Furtado

Contribuição para a avaliação de desempenho de faixas reversíveis:

o caso da operação da rodovia SC-405 em Florianópolis (SC)

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Lenise Grando Goldner, Dr.(a)

PPGTG/UFSC

Prof. João Carlos Souza, Dr.

PPGTG/UFSC

Prof. Daniel Sergio Presta García, Dr.(a)

DEPROT/UFRGS

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Prof^ª. Ana Maria Benciveni Franzoni, Dra
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação

Prof. Arnaldo Debatin Neto Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Arnaldo Debatin Neto, pelo suporte fornecido no desenvolvimento desta dissertação, incentivando-me e colocando-se sempre à disposição de orientações e aconselhamentos que, sem dúvida alguma, foram essenciais para o desfecho positivo deste.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Lenise Goldner e Prof. João Carlos Souza (PPGTG/UFSC) e Prof. Daniel Garcia (UFRGS), pela disponibilidade e pelos apontamentos durante a sessão de qualificação, determinantes para o desenvolvimento do trabalho.

Aos Sr.s Cel. Alessandro José Machado (Subcomte. Polícia Militar de Santa Catarina), Ricardo Alves da Silva (Comte. Casa Militar da Assembleia Legislativa de Santa Catarina) Cel. e Cel. Adilson Luiz da Silva (Reserva), Eng. Adão Marcos França (Gerente de Planejamento de Infraestrutura e Mobilidade da Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade de Santa Catarina), Gustavo (Gerência de Cartografia e Estatística da Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade de Santa Catarina) e Subtenente Nilsen (Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina) pelo apoio na disponibilização de dados fundamentais para a elaboração do trabalho.

Às amizadas construídas ao longo do programa, regadas a colaborações e discussões técnicas sobre esta fascinante área da engenharia, em especial ao colega Guilherme Peres dos Santos e aos colegas do Grupo de Estudos e Pesquisa em Planejamento Urbano e Mobilidade – GEPLAM.

Ao amigo e eterno Prof. Eduardo Alexandre Krüger pelo encorajamento inicial para a inscrição no programa.

E, principalmente, àqueles que tornaram este sonho possível, me apoiando e incentivando durante os últimos três anos, mesmo nos períodos em que a abdicação de suas companhias se fez necessária para o foco no desenvolvimento da dissertação. Agradeço aos meus pais, Eng. Amaro Furtado Neto e Dona Jane de Fátima Gomes Furtado, meu irmão Lucas Gomes Furtado e minha parceira Mayara Graf.

RESUMO

Em um cenário onde a ocorrência de congestionamentos nos centros urbanos tornou-se comum, estratégias de gestão do tráfego, como a implantação de faixas reversíveis, tornam-se atraentes aos gestores de rodovias. Historicamente, entre as suas principais aplicações constam casos de congestionamentos monodirecionais recorrentes e situações especiais (grandes eventos, execução de obras e emergências). A relativa simplicidade associada às reversíveis quando comparadas a intervenções de caráter definitivo, não devem mascarar as diretrizes técnicas que norteiam todo o processo de implantação desta operação, desde etapas iniciais (planejamento, estudos prévios e projeto), como posteriores (monitoramento e avaliação de desempenho). Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo contribuir com a prática de faixas reversíveis, identificando na literatura as principais informações-chave (abordagens, indicadores, forma de coleta de dados e métodos) utilizadas em estudos de avaliação tanto no meio acadêmico, como na *grey literature*. A extração de tais informações subsidiou a elaboração de fluxogramas para auxílio do processo de avaliação em operações existentes e em fase de planejamento. A aplicação do fluxograma à operação existente na rodovia SC-405, em Florianópolis/SC, direcionou o estudo de caso desenvolvido, que contou com a avaliação de desempenho de tráfego e segurança viária por métodos quantitativos considerando os 3 anos anteriores e posteriores à implantação (2009 a 2015). Como resultados, constatou-se que a implantação da faixa reversível neste segmento rodoviário acarretou o acréscimo de volume de tráfego no local e a redução da maior parte dos indicadores de segurança avaliados. Complementarmente, verificou-se o desequilíbrio percentual de volume de tráfego entre sentidos e o percentual de utilização médio da operação. Os dados utilizados para o desenvolvimento do estudo de caso foram disponibilizados pela Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina e pelo Comando de Polícia Militar Rodoviária de Santa Catarina.

Palavras-chave: Faixas Reversíveis. Avaliação de Desempenho. Gestão de Tráfego. Estudos Observacionais do tipo “Antes e Depois”.

ABSTRACT

In a context where the occurrence of urban congestion has become common, traffic management strategies such as reversible lanes have become attractive to traffic managers. Historically, its main applications include cases of recurrent unidirectional traffic jams and special events (major events, work zones and emergencies). However, despite the relative simplicity often associated with this technique, there are guidelines through the entire implementation process of this kind of operation (planning, design, control, management, and evaluation). Since it has become a popular strategy in Brazil, the evaluation process becomes essential not only in terms of measuring the benefits obtained from existing operations, but also to aid the design of new operations. In this context, this research aims to contribute to the practice of reversible lanes through the identification of key information (approaches, performance measures, data collection and methods) used in evaluation studies both in academic and grey literature. This information subsidized the creation of flowcharts to guide the evaluation process in both existing operations and in the planning phase, which application to the SC-405 highway in Florianópolis, Santa Catarina, led to the case study, which includes the evaluation of traffic road safety performance by quantitative methods (before-and-after observational studies). It was found that the reversible lane on this road segment led to an higher increase in the traffic volume than the expected based on the comparison group and a reduction in most of the safety performance measures. Complementarily, the percentage of unbalanced traffic volume and the average utilization of the reversible lane were also obtained. The data used for the development of the case study were provided by the Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina and the Comando de Polícia Militar Rodoviária de Santa Catarina.

Keywords: Reversible Lanes. Safety Effectiveness Evaluation. Traffic Management. Before-and-After Observational Studies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão modal das viagens urbanas nos Estados Unidos no século XX...	15
Figura 2 – Estratégias e tipos de <i>managed lanes</i>	19
Figura 3 – Zonas típicas das faixas reversíveis	21
Figura 4 – Sinalização indicativa da operação de reversível no Canadá.....	23
Figura 5 – Montagem de operação manual de faixa reversível em São Paulo.....	24
Figura 6 – Fluxograma de procedimento para implantação de reversíveis urbanas. .	26
Figura 7 – Etapas típicas da implantação de uma faixa reversível.....	27
Figura 8 - Esquema básico de sinalização de reversíveis.....	30
Figura 9 – Exemplos de sinalização vertical para faixas reversíveis.	31
Figura 10 - Sinalização horizontal convencional para reversíveis	31
Figura 11 – Elementos de sinalização auxiliar para faixas reversíveis.	32
Figura 12 – Sistema de <i>moveable barriers</i> em operação.	33
Figura 13 – Fluxograma do procedimento usual para implantação de reversíveis no Brasil.....	37
Figura 14 – Faixa reversível em Blumenau (SC).....	38
Figura 15 – Síntese do modelo de estudo observacional do tipo “antes e depois” <i>simple/naive</i>	42
Figura 16 – Síntese da abordagem <i>with comparison group</i>	43
Figura 17 – Síntese do método Empirical Bayes	44
Figura 18 – Síntese do método Cross-Sectional.....	45
Figura 19 – Etapas da revisão bibliográfica conduzida.....	47
Figura 20 – Faixa reversível disponível (a) e indisponível (b) em zona de obras viárias em Frankfurt (Alemanha).	57
Figura 21 – Faixa reversível central em Dearborn, Michigan.....	59
Figura 22 – <i>HOT Lane</i> no Minnesota (Estados Unidos).....	64
Figura 23 – Ilustração da operação denominada <i>The Katy Freeway Managed Lanes</i>	68
Figura 24 – Sumarização das abordagens contidas nos estudos de avaliação identificados.	74
Figura 25 – Sumarização das formas de coleta de dados identificadas na literatura.	76
Figura 26 – Sumarização dos métodos de avaliação identificados na literatura.	77

Figura 27 – Relevância das abordagens em estudos de avaliação de desempenho de faixas reversíveis:	79
Figura 28 – Fluxograma da avaliação de desempenho de reversíveis em planejamento.	83
Figura 29 – Fluxograma da avaliação de desempenho de faixas reversíveis existentes.	85
Figura 30 – Representação da aplicação do fluxograma para a operação da SC-405.	87
Figura 31 - Etapas da pesquisa.	88
Figura 32 – Delimitação da extensão da faixa reversível dentro do trecho da rodovia SC-405.	91
Figura 33 – Câmera de monitoramento sob gestão da Polícia Militar de Santa Catarina.	92
Figura 34 – Localização das câmeras utilizadas para contagem de tráfego.	95
Figura 35 – Ilustração da delimitação do plano de referência para contagem veicular.	96
Figura 36 – Localização do trecho rodoviário objeto de estudo (“405ESC0005”/SRE21)	104
Figura 37 – Faixa reversível na rodovia SC-405, em Florianópolis (SC).	105
Figura 38 – Operacionalização do processo de reversão na reversível da SC-405.	106
Figura 39 – Sinalização vertical indicando o início da faixa reversível na SC-405.	107
Figura 40 – Pórtico com sinalização semafórica e vertical na faixa reversível da SC-405.	108
Figura 41 – Sinalização auxiliar para delimitação de <i>buffer zone</i> na SC-405.	109
Figura 42: Travessia elevada de pedestres em faixa reversível na SC-405.	110
Figura 43 – Canalização do tráfego na faixa reversível a partir de suas vias de origem.	112
Figura 44 – Desequilíbrio médio entre sentidos conforme o período do dia na reversível da SC-405.	114
Figura 45 – Verificação de escassez de rotas alternativas à rodovia SC-405 em 2012.	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Guia para seleção de estudos observacionais para avaliação de desempenho.	46
Quadro 2 - Síntese do corpo bibliográfico utilizado	51
Quadro 3 – Matriz de sumarização das publicações, conforme as categorias de análise.	71
Quadro 4 – Critérios utilizados para a delimitação do grupo de comparação.....	94
Quadro 5 - Variáveis utilizadas na avaliação “antes e depois com grupo de comparação” para segurança.	100
Quadro 6 – Síntese da seleção do grupo de comparação.	138
Quadro 7 – Diferenciação de termos semelhantes.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição do corpo bibliográfico conforme o ano, tipo e base de dados da publicação.	70
Tabela 2 – Distribuição do corpo bibliográfico conforme país de origem e objeto da publicação.	70
Tabela 3 – Percentual médio de utilização da faixa reversível da SC-405.	113
Tabela 4 - Percentual médio de desequilíbrio entre sentidos na reversível da SC-405	114
Tabela 5 – Variação do tráfego anual estimado para segmento do grupo de comparação.....	115
Tabela 6 – Efeito gerado pela faixa reversível no volume de tráfego a partir do grupo de comparação.	115
Tabela 7 - Efeito gerado pela faixa reversível no volume de tráfego a partir do segmento 406ESC0005.	117
Tabela 8 – Síntese dos resultados obtidos na avaliação de desempenho de tráfego.	117
Tabela 9 – Média das variações (V_{AC}) de cada indicador no grupo de comparação.	118
Tabela 10 - Efeito positivo gerado pela reversível da SC-405 em indicadores de segurança	119

Tabela 11 - Efeito negativo gerado pela reversível da SC-405 em indicadores de segurança	119
Tabela 12 - Cálculo do coeficiente de ajuste linear para variação do volume de tráfego.	120
Tabela 13 - Efeito gerado pela faixa reversível nos indicadores de acidentes com incorporação do coeficiente de ajuste de tráfego.....	121
Tabela 14 – Efeito gerado pela faixa reversível da SC-405 na quantidade de vítimas fatais.	122
Tabela 15 – Verificação do efeito de tendência geral em acidentes na malha estadual em Florianópolis (SC).	123

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral.....	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
1.2	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	11
1.3	METODOLOGIA CIENTÍFICA.....	12
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	REVISAO BIBLIOGRÁFICA NARRATIVA	14
2.1.1	A ascensão do modo rodoviário.....	14
2.1.1.1	<i>Panorama histórico</i>	<i>15</i>
2.1.1.2	<i>Estratégias de gestão do tráfego urbano.....</i>	<i>18</i>
2.1.2	Faixas Reversíveis.....	19
2.1.2.1	<i>História e Conceitos básicos</i>	<i>19</i>
2.1.2.2	<i>Características Físicas e Temporais</i>	<i>20</i>
2.1.2.3	<i>Variações e Aplicações.....</i>	<i>23</i>
2.1.2.4	<i>Diretrizes e Recomendações Técnicas.....</i>	<i>25</i>
2.1.2.5	<i>Faixas Reversíveis no Brasil</i>	<i>36</i>
2.1.3	Estudos de Avaliação de Desempenho	39
2.1.3.1	<i>Estudos Observacionais.....</i>	<i>40</i>
2.2	REVISÃO SISTEMÁTICA	46
2.2.1	Planejamento.....	47
2.2.1.1	<i>Objetivo.....</i>	<i>47</i>
2.2.1.2	<i>Questão de pesquisa</i>	<i>48</i>
2.2.1.3	<i>Escopo.....</i>	<i>48</i>
2.2.1.4	<i>Estratégias de busca</i>	<i>48</i>

2.2.1.5	<i>Strings de busca</i>	49
2.2.1.6	<i>Datas da publicação</i>	49
2.2.1.7	<i>Processo de seleção preliminar</i>	50
2.2.1.8	<i>Processo de seleção final</i>	50
2.2.2	Execução	50
2.2.3	Seleção	50
2.2.3.1	<i>Compilação de Dados</i>	51
2.2.3.2	<i>Exposição dos resultados</i>	52
2.2.3.2.1	Publicações com avaliação de faixas reversíveis.....	52
2.2.3.2.2	Publicações com avaliação de <i>managed lanes</i> (demais estratégias)	64
2.2.3.3	<i>Sumarização e análise dos dados</i>	69
2.2.3.3.1	Análise preliminar	69
2.2.3.3.2	Análise principal.....	71
3	FLUXOGRAMA PARA AVALIAÇÃO DE FAIXAS REVERSÍVEIS	78
3.1	DISCUSSÃO	78
3.1.1	Informações-Chave: Abordagens, indicadores, coleta de dados e métodos ...	78
3.2	CONCEPÇÃO DO FLUXOGRAMA	82
3.2.1	Aplicação do fluxograma para operações existentes: faixa reversível da SC-405	86
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	88
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	89
4.2	FLUXOGRAMA PARA AVALIAÇÃO DE FAIXAS REVERSÍVEIS	89
4.3	ESTUDO DE CASO	89
4.3.1	Resumo	90
4.3.2	Coleta de Dados	90
4.3.3	Seleção do grupo de controle	93
4.3.4	Avaliação da Operação da SC-405	94

4.3.4.1	<i>Tráfego</i>	95
4.3.4.2	<i>Segurança</i>	99
4.3.4.3	<i>Confounding factors</i>	102
5	ESTUDO DE CASO: FAIXA REVERSÍVEL NA SC-405, EM FLORIANÓPOLIS (SC)	104
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO	104
5.1.1	Características Físicas e Temporais	105
5.1.2	Considerações Complementares	109
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
5.2.1	Seleção do Grupo de Comparação	111
5.2.2	Avaliação de Desempenho em Tráfego	111
5.2.3	Avaliação de Desempenho em Segurança	118
6	CONCLUSÕES	123
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	125
	REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica do tráfego urbano sofreu importantes alterações com o passar dos anos. Movimentos migratórios, evoluções tecnológicas e políticas de transporte e de expansão urbana impactaram na forma com que as interações urbanas se desenvolvem nas cidades. Como resultado, vivemos em centros urbanos onde a ocorrência de congestionamentos e, conseqüentemente, o prejuízo causado por suas externalidades, como acidentes, poluição veicular e o impacto na qualidade de vida dos cidadãos, tornou-se algo rotineiro. Embora as discussões sobre mobilidade sustentável, que fomentam a promoção de alterações estruturais como a priorização dos modos ativos, do transporte coletivo, da mobilidade elétrica e da mobilidade segura, tenham atingido patamares talvez inéditos, estas costumam enfrentar resistência junto ao padrão de mobilidade já consolidado, obstaculizando a ruptura do modelo em vigor. Este cenário abre espaço para a adoção de ações de caráter temporário e/ou complementar, embasadas em estratégias que possam ser implantadas de forma célere e menos onerosa aos cofres públicos.

Neste contexto, enquadram-se algumas estratégias de gestão do tráfego urbano que, em linhas gerais, buscam a otimização da eficiência operacional da infraestrutura viária existente, em alternativa à expansão viária. Entre as estratégias tradicionalmente utilizadas estão as faixas reversíveis, que vem sendo utilizadas nos Estados Unidos desde o início do século passado, de forma individual ou associadas à outras estratégias, formando o conceito de *managed lanes*. Por se aproveitar do sistema viário existente e utilizar-se, em alguns casos, de elementos básicos e presentes no cotidiano dos órgãos de gestão de tráfego, as faixas reversíveis tendem a ser encaradas como operações simples. Contudo, a concepção inadequada de uma operação pode acarretar prejuízos significativos à sua eficiência, não apenas sob a óptica de tráfego, mas também quanto a segurança viária, aspectos econômicos e até mesmo ambientais, podendo culminar, inclusive, com o prejuízo de sua aceitação perante a opinião pública.

Em que pese a limitada quantidade de publicações sobre o tema até o final do século passado, alguns manuais técnicos foram desenvolvidos desde então, abordando diretrizes técnicas sobre o tema. Nestes, é comum identificar alguns pontos em comum, como a recomendação de realizações de ações prévias e posteriores à implantação das reversíveis. Em um escopo prévio, tem-se a realização de estudos cujo diagnóstico indique, de fato, a necessidade de se implantar tal operação, tais como levantamento e coleta de dados, mapeamento de alternativas e ações complementares, identificação de aspectos locais, entre

outros, A partir da definição pela sua implantação, a elaboração dos projetos de todas as disciplinas viárias pertinentes (geometria, sinalização, elementos de proteção e segurança, entre outras) faz-se necessária, bem como o planejamento de sua operacionalização, *in loco*. A clara comunicação aos usuários, especialmente ao se tratar de operações inéditas, torna-se essencial para um desempenho adequado. Com a implantação e, conseqüentemente, o início da operação, inicia-se também o processo de monitoração, acompanhando o andamento da operação. Por fim, a avaliação da operação visa atestar se a implementação da operação atingiu o resultado desejado.

Na prática nacional, não é comum observar-se a adoção de tais etapas, já que em muitos casos a implementação destas operações se deu de forma empírica, pautada em decisões particulares dos gestores de tráfego baseadas em suas experiências pessoais. Especialmente em tais casos, o processo de avaliação torna-se ainda mais importante para verificar o desempenho desempenhada pelas reversíveis. Não por acaso, estudos de avaliação de desempenho de faixas reversíveis têm sido desenvolvidos, especialmente nos Estados Unidos. Além de parâmetros de tráfego, abordagens complementares avaliando indicadores de segurança viária e, até mesmo, econômicas e ambientais foram realizadas. De forma contrária, publicações desta natureza não são comumente identificadas no Brasil, apesar de haver operações existentes em capitais brasileiras, como São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Florianópolis, Brasília e Natal.

Neste contexto, a presente pesquisa visa contribuir com a prática de tais operações no cenário nacional, fomentando o embasamento científico na gestão de operações de faixas reversíveis, em especial, durante a etapa de avaliação, tendo em vista a quantidade expressiva de operações existentes no país, em contraponto à escassez de publicações sobre este assunto. Para tal, uma revisão bibliográfica sobre o tema foi realizada visando identificar as principais informações-chaves (abordagens, indicadores, formas de coleta de dados e métodos) utilizadas em estudos desta natureza. Os achados da revisão foram sumarizados, subsidiando a elaboração de fluxogramas visando o auxílio na delimitação do formato de avaliação a ser realizado. Em seguida, desenvolveu-se um estudo de caso sobre a operação existente na rodovia SC-405, em Florianópolis (SC), efetuando-se a avaliação de tráfego e segurança da operação, com base nos conhecimentos extraídos das etapas anteriores da pesquisa.

Assim, foram elaborados os objetivos, geral e específicos, conforme a sequência desse estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é de contribuir com a avaliação de faixas reversíveis no país, através da identificação e organização de informações-chave para este processo, com aplicação em um estudo de caso.

De modo a possibilitar o alcance do objetivo geral, elencou-se os seguintes objetivos específicos:

1.1.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar o tráfego urbano, suas externalidades e estratégias para sua gestão;
- Identificar as principais abordagens, indicadores, forma de coleta de dados e métodos (informações-chaves) utilizados em estudos de avaliação de desempenho em faixas reversíveis e demais estratégias de *managed lanes*;
- Elaborar um fluxograma para auxiliar a delimitação das informações-chave em avaliações de desempenho de faixas reversíveis existentes e em fase de planejamento;
- Avaliar, através de um estudo de caso, o desempenho da operação existente na rodovia SC-405 em Florianópolis.

1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

A quantidade de faixas reversíveis atualmente em vigor no Brasil ultrapassa a quantidade de 40 operações, que vêm sendo implantadas desde a década de 80 no país. Apesar do número expressivo, grande parte destas não contou, em sua concepção, com etapas adequadas de planejamento, projeto ou estudos prévios, acarretando a falta de padrão destas operações. De forma semelhante, após a sua implantação, estas não costumam passar por processos contínuos de avaliação ou monitoramento de desempenho na sua gestão. A escassez de publicações nacionais sobre o tema pode ser observada tanto no meio acadêmico, como por parte dos órgãos responsáveis por sua gestão, corroborando-se, assim, o entendimento apontado

por Machado (2012) de que a prática nacional tende a apoiar-se no conhecimento empírico, através das observações cotidianas e decisões pessoais dos gestores de tráfego. Cabe destacar que, apesar de sua origem estadunidense, tal estratégia costuma ser particularmente popular em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde geralmente há a dificuldade em equiparar a disponibilidade de recursos ao aumento da demanda, bem como a ausência de planejamento de longo prazo. Assim, é habitual deparar-se, no país, com novas propostas para implantações de faixas reversíveis.

Em Florianópolis (SC), a configuração da malha rodoviária existente associada à geografia do município, seu histórico de ocupação demográfica e, ainda, às restrições ambientais, fazem o município figurar frequentemente entre os municípios com piores indicadores de mobilidade urbana no país e no mundo (PEREIRA, 2018). Tais características obstaculizam ações para expansão viária, tornando o município um potencial candidato para implantação de estratégias de gestão do tráfego. Não por acaso, o seu Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PLAMUS), desenvolvido entre 2014 e 2015, propõe a implementação de 4 reversíveis, além de manter a operação existente na rodovia SC-405. Neste sentido, a avaliação realizada no estudo de caso desta pesquisa, além de verificar o desempenho da faixa reversível objeto do estudo, poderá auxiliar na concepção das operações futuras no município, bem como ser utilizada como referência para a avaliação de outras operações no país, em especial àquelas que contam com configuração viária semelhante (Blumenau/SC e Porto Alegre/RS, por exemplo). Neste contexto, destaca-se não ter sido encontrada uma publicação que reúna e discuta as principais formas de se realizar avaliações de faixas reversíveis.

Assim, de forma geral, a presente pesquisa espera contribuir com o processo de avaliação de operações de faixas reversíveis no Brasil, fomentando o conhecimento científico por meio da compilação e organização das informações-chave (abordagem, indicadores, forma de coleta de dados e métodos) utilizados na literatura e nos órgãos responsáveis por sua gestão.

1.3 METODOLOGIA CIENTÍFICA

De acordo com Prodanov e Freitas (2013) as formas tradicionais de classificação das pesquisas dizem respeito a sua natureza, objetivos e procedimentos. Neste sentido, a presente pesquisa classifica-se da seguinte maneira:

- Natureza: Pesquisa aplicada, pois “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos.” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 51);
- Objetivos: Pesquisa descritiva, pois “tal pesquisa observa, registra, analisa e ordena dados, sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador. Procura descobrir a frequência com que um fato ocorre, sua natureza, suas características, causas, relações com outros fatos. Assim, para coletar tais dados, utiliza-se de técnicas específicas, dentre as quais se destacam a entrevista, o formulário, o questionário, o teste e a observação.” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 52);
- Procedimentos técnicos: Pesquisa bibliográfica, “quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa.” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 54), bem como Estudo de caso, que “consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa. É um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, entendido como uma categoria de investigação que tem como objeto o estudo de uma unidade de forma aprofundada, podendo tratar-se de um sujeito, de um grupo de pessoas, de uma comunidade etc.” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 60).

Ainda, tendo em vista que a pesquisa quantitativa utiliza-se da linguagem matemática para formular as causas de um fenômeno e a relação entre suas variáveis, bem como que o resultado obtido pode ser quantificado, classifica-se a presente pesquisa como quantitativa (FONSECA, 2002).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A partir desta introdução, o presente trabalho divide-se em outros 5 capítulos. Inicialmente, no capítulo 2, o embasamento técnico para o desenvolvimento do trabalho é

apresentado através da revisão bibliográfica, que se subdivide em revisão narrativa e revisão sistemática. A primeira, reúne conceitos fundamentais, na avaliação do autor, para a compreensão do trabalho, tais como: a contextualização acerca da ascensão do modo rodoviário e suas consequências, bem como os principais conceitos acerca de faixas reversíveis. Já na revisão sistemática, aprofunda-se no processo de avaliação de operações de faixas reversíveis (e outras estratégias de gestão de tráfego). Nesta etapa serão identificadas as principais formas de avaliação deste tipo de operação realizados na literatura. Em seguida, o capítulo 3 analisa e promove reflexões acerca dos estudos de avaliação identificados na revisão sistemática, bem como delimita quais destes serão aplicados no estudo de caso. O capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos que serão utilizados para o estudo de caso na faixa reversível existente em Florianópolis (SC). Na sequência, tem-se a execução do estudo de caso, contando com a caracterização da via e a sua avaliação de desempenho sob as abordagens de segurança e tráfego. Por fim, o capítulo 6 encerra a pesquisa com as conclusões tomadas, considerações finais, limitação do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NARRATIVA

Segundo Cordeiro et al. (2007), a revisão narrativa possui um viés generalista, não exigindo um protocolo definido para o seu desenvolvimento e ficando a seleção das publicações ao critério arbitrário do autor.

Assim, esta revisão narrativa foi efetuada nas áreas apresentadas a seguir, visando munir o autor de conhecimentos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa:

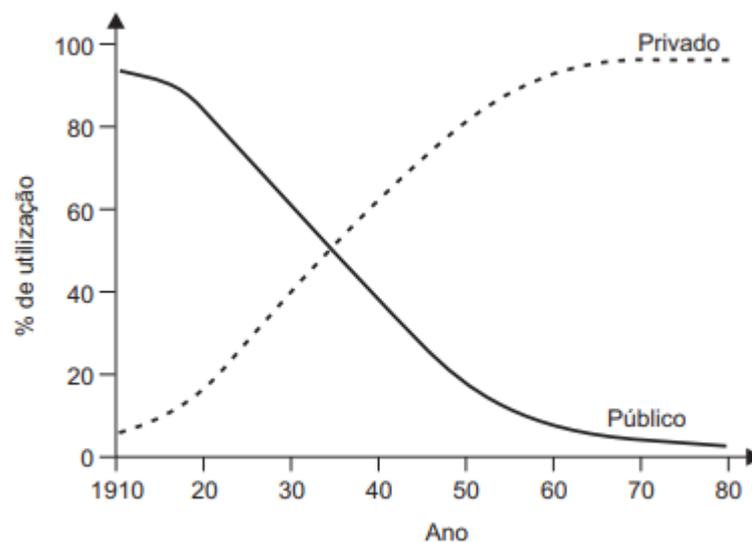
- A ascensão do modo rodoviário, suas consequências, em especial o congestionamento, e estratégias para sua gestão (subitem 2.1.1);
- Faixas reversíveis, definições e principais conceitos (subitem 2.1.2);
- Estudos de avaliação de desempenho: modelos de estudos observacionais do tipo “antes e depois” (*before-and-after*) (subitem 2.1.3).

2.1.1 A ascensão do modo rodoviário

2.1.1.1 Panorama histórico

No século XX, a ascensão do automóvel nos países desenvolvidos foi responsável pela inversão do modo de transporte associado às viagens urbanas, que, até então, eram realizadas predominantemente pelo transporte coletivo (FERRAZ; TORRES, 2004). Nos Estados Unidos, por exemplo, a intensificação da produção da indústria automobilística levou à tal inversão ainda na primeira metade do século, conforme apresentado na Figura 1:

Figura 1 – Divisão modal das viagens urbanas nos Estados Unidos no século XX.



Fonte: Gray e Hoel (1992) apud Ferraz e Torres (2004).

Além da massificação da produção do automóvel e, conseqüentemente, da redução do preço de venda praticado, entre as razões comumente apontadas para ocorrência deste fenômeno estão também a inerente flexibilidade deste meio de transporte (autonomia do condutor na hora da partida e na rota a ser realizada), o conforto mesmo em condições atmosféricas desfavoráveis e o status adquirido com a sua posse. A alteração no modo de viagem impactou na orientação da expansão urbana e de uso do solo, afinal, o modo de transporte está diretamente associado à localização, tamanho e características das cidades, direcionando os hábitos de seus cidadãos. Historicamente, o crescimento urbano esteve atrelado a dois principais limitadores: a capacidade de abastecimento de bens e a distância máxima de deslocamento para a realização das atividades cotidianas. Assim, o surgimento de novos modais de transporte, que possibilitaram deslocamentos maiores, permitiram o crescimento espacial das cidades (FERRAZ; TORRES, 2004). O aprimoramento dos sistemas de transporte promove

a acessibilidade às áreas no entorno, tornando-as mais atrativas ao desenvolvimento e, portanto, acarretam demandas ainda maiores. Assim, cria-se um dilema: a ampliação de capacidade invariavelmente leva ao incremento da demanda de viagens (ROESS et al., 2011).

Nesta transformação, as cidades passaram de um modelo de mobilidade baseada no transporte público e elétrico (bondes elétricos), para outro dependente da utilização de combustíveis fósseis (VASCONCELLOS et al., 2011). Especificamente, a intensificação do uso do automóvel provocou, através de uma expansão urbana não planejada e da descentralização das atividades, o espraiamento urbano, culminando com cidades com baixas densidades de ocupação. Conseqüentemente, tem-se a eficiência operacional e econômica tanto da infraestrutura viária, como da oferta de serviços públicos prejudicada. O reflexo de tal cenário pode ser observado atualmente, com a incidência de problemas urbanos associados ao crescimento do uso do automóvel, como os congestionamentos, acidentes, poluição atmosférica, obstáculos econômicos para realização de investimentos, problemas sociais, entre outros (FERRAZ; TORRES, 2004). Neste contexto insere-se, também, grande parte das cidades brasileiras, onde o modelo de mobilidade urbana orientou-se pela e para a utilização do transporte individual, sendo suas conseqüências, como a escassez de espaço físico e recursos, observadas cotidianamente (BRASIL, 2008).

Em síntese, os congestionamentos estão associados ao excesso de veículos em uma seção da via em um determinado período, resultando em velocidades inferiores àquelas que seriam praticadas em condições normais de tráfego (fluxo livre) (CAMSYS, 2005).

Ainda segundo CamSys (2005), os congestionamentos são ocasionados por 7 causas raízes:

- Gargalos físicos (capacidade): capacidade é a quantidade de tráfego suportada por um determinado segmento rodoviário. A capacidade é determinada por alguns fatores, como quantidade e largura das faixas e acostamentos, traçado da rodovia (curvas verticais e horizontais) e o afunilamento, entrelaçamento dos movimentos em interseções;
- Incidentes no tráfego: eventos que interferem no fluxo normal do tráfego criando bloqueios físicos nas faixas, tais como acidentes;
- Segmentos com obras: execução de serviços que resultam na alteração do ambiente normal da rodovia. Tais alterações incluem a redução na quantidade ou largura de faixas ou acostamentos, remanejamento de faixas e até mesmo a paralização da via;

- Condições meteorológicas: condições climáticas podem levar a alterações no comportamento dos condutores, impactando o padrão de tráfego;
- Dispositivos de controle de tráfego: a existência de dispositivos, como semáforos calibrados de forma inadequada e passagem de nível (travessia ferroviária) podem contribuir com a ocorrência de congestionamentos e o impacto no tempo de viagem;
- Eventos especiais: caso específico de flutuação da demanda onde o tráfego no entorno do evento será radicalmente diferente do padrão, causando o sobrecarregamento do sistema;
- Flutuações cotidianas: a variação cotidiana da demanda faz com que em alguns dias haja mais tráfego do que outros, o que, considerando a capacidade fixa do sistema, resulta na variabilidade do tempo de viagem.

Roess et al. (2011) destaca que as correntes de tráfego são compostas por veículos e condutores individuais interagindo não apenas uns com os outros, mas também com os elementos físicos da rodovia, bem como o ambiente ao seu entorno. Por haver variação tanto no comportamento dos condutores, como nas características dos veículos, cada indivíduo que compõe a corrente de tráfego comporta-se de forma singular, mesmo sob circunstâncias semelhantes. Assim, inevitavelmente existe um fator de variabilidade associado ao tráfego, diferentemente do comportamento de outros sistemas, como o fluxo de água em um sistema canalizado, cujo comportamento será pautado de acordo com as leis da hidráulica.

Diante de tal cenário, Asaithambi et al. (2021) defendem que a mitigação do congestionamento deve ser um fator prioritário para os profissionais de tráfego e de planejamento urbano, tendo em vista a sua contribuição para a ocorrência de acidentes, o aumento da poluição ambiental e do consumo de combustível. Além disso, Dey et al. (2011) relacionam o aumento dos congestionamentos aos impactos sociais, afetando a qualidade de vida da população. Acerca das formas de se mensurar os efeitos causados pelos congestionamentos, o *Federal Highway Administration (FHWA*, divisão rodoviária do departamento de transportes dos Estados Unidos) argumenta que o indicador utilizado para medir o congestionamento deve ser o tempo de viagem, pois é o que representa de forma mais adequada a forma com que o congestionamento impacta os usuários (CAMSYS, 2005).

Assim, medidas para aliviar o congestionamento são constantemente buscadas pelos profissionais do setor.

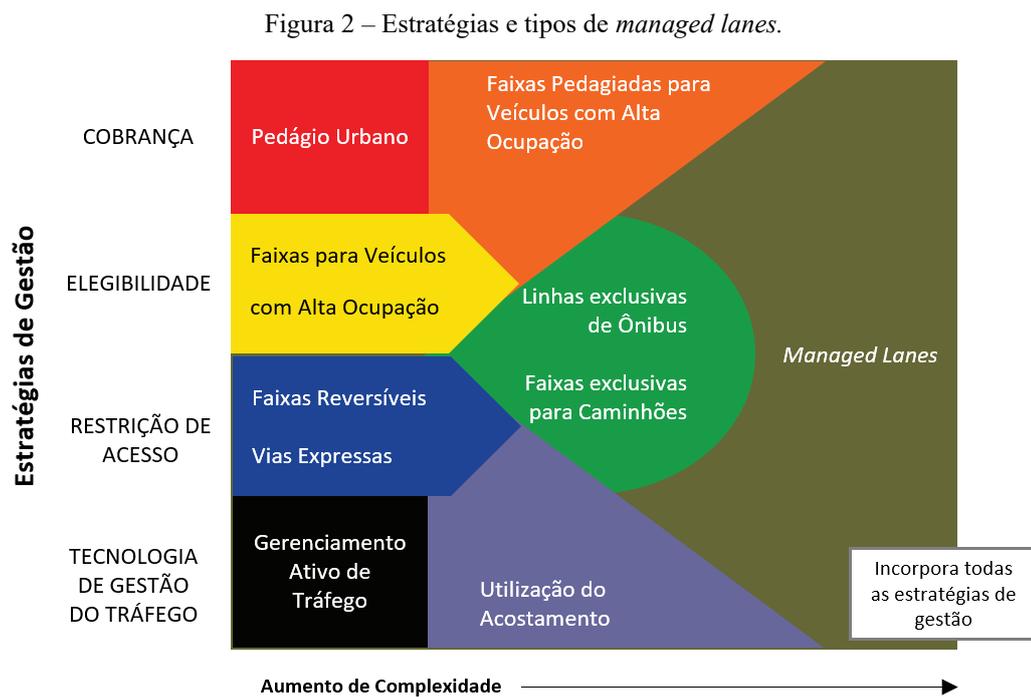
2.1.1.2 Estratégias de gestão do tráfego urbano

Camsys (2005) afirma que as estratégias desenvolvidas para o tratamento de congestionamentos enquadram-se em três categorias gerais: expansão da capacidade da rodovia, o incentivo à alteração no padrão de viagens e a otimização da infraestrutura existente. Historicamente, a solução adotada para a mitigação de congestionamentos foi a expansão da oferta de capacidade viária, através da ampliação da infraestrutura existente. Nos últimos anos, contudo, incentivadas por questões ambientais, as agências de transporte rodoviário estão sendo demandadas à prover outros tipos de soluções, pautadas em tecnologia e estratégias de gestão (TREPANIER ET AL., 2011). Especialmente em se tratando de viagens recorrentes com movimento pendular (como por exemplo, o deslocamento “casa-trabalho”), Guebert (2010) afirma que a construção de vias com capacidade suficiente para atender a demanda do período de pico é vista como inviável devido ao custo, à disponibilidade de espaço físico e por afastar-se dos objetivos ambientais e de mobilidade sustentável. Por outro lado, a alteração no padrão de viagens, incentivando a mobilidade ativa e o transporte público, demandam intervenções estruturais e frequentemente enfrentam obstáculos do ponto de vista financeiro, regulatório e até mesmo cultural.

Assim, uma alternativa viável de se aprimorar índices de mobilidade, em caráter temporário e complementar, é a aplicação do conceito de *managed lanes*, que envolve a adoção de estratégias para otimizar a eficiência operacional da infraestrutura existente, eliminando ou postergando a necessidade de expansão viária. A filosofia empregada é que, com a utilização de sistemas inteligentes de transporte (ITS), pode-se atender a demanda variável de tráfego através de operações dinâmicas (GUEBERT, 2010).

Fitzpatrick et al. (2016) afirmam que apesar de haver registros antigos da aplicação de algumas destas estratégias, o termo *managed lanes* não foi comumente aplicado até o final da década de 90. A necessidade da aplicação destas estratégias nos Estados Unidos surgiu com o crescimento do tráfego nas rodovias interestaduais americanas, que começou a se estender até as regiões metropolitanas na década de 60, culminando com o surgimento de congestionamentos urbanos recorrentes. Mesmo que em alguns casos ainda se tenha optado pela expansão rodoviária, em outros foram desenvolvidas ações para otimizar a infraestrutura

existente. De forma geral, as estratégias (ver Figura 2) estabelecem algum tipo de critério para utilização da via, como por exemplo a restrição à tipos de veículos (*High-Occupancy Vehicle Lanes*, *Buslanes* e *Trucklanes*), controle de acesso mediante a cobrança de pedágios (*High-Occupancy Toll Lanes*), liberação da via mediante critérios específicos (*Hard Shoulder Runing*, faixas reversíveis) e podem ser utilizadas em conjunto, sendo, as faixas reversíveis, uma estratégia central de várias propostas de *managed lanes* (GUEBERT, 2010).



Fonte: Adaptado de Fitzpatrick et al. (2016)

2.1.2 Faixas Reversíveis

2.1.2.1 História e Conceitos básicos

Um dos primeiros registros de utilização de faixas reversíveis data de 1928, em Los Angeles (Estados Unidos), com uma configuração urbana denominada *off-center lane* (DORSEY, 1948). Na metade do século XX, entre as décadas de 40 e 60, a implantação de faixas reversíveis em vias arteriais urbanas aumentou significativamente nos Estados Unidos, enquanto na década seguinte, a sua utilização foi observada também em rodovias de longo curso, pontes e túneis, expandindo para outras localidades, como Europa e Oceania. Desde então, a técnica tem sido amplamente utilizada em conjunto com outras estratégias de *managed*

lanes, como *High-Occupancy Vehicle lanes* e *buslanes* (FITZPATRICK et al., 2016). Além disso, também tem sido utilizada em situações especiais (trechos em obras, eventos esportivos ou musicais) e eventos não planejados, como rotas de fuga em caso de desastres naturais (PALETI et al., 2014). Em síntese, faixas reversíveis são operações em que a direção do fluxo de tráfego em uma ou mais faixas é revertida para o sentido oposto por um determinado período, para expandir temporariamente a capacidade viária em um dos sentidos. Para tal, aproveita-se da capacidade inutilizada no sentido com menor tráfego, transferindo-a para o sentido de maior tráfego (GUEBERT, 2010). Na prática, aumenta-se a capacidade direcional da rodovia para acomodar o pico da demanda de tráfego em um sentido, sem demandar novas intervenções na geometria da via, utilizando, em sua operação, o auxílio de dispositivos de sinalização e controle (ASAITHAMBI et al., 2021).

Contudo, sua aparente simplicidade oculta alguns requisitos operacionais complexos. As faixas reversíveis demandam esforços consideráveis em seu planejamento e frequentemente requerem um plano de gestão especial, bem como estratégias para manter a operação eficiente e segura. Surpreendentemente, apesar da sua longa história e dispersão global, poucos estudos de avaliação de seu desempenho foram conduzidos. Além disso, há também um limitado número de publicações que forneçam diretrizes e/ou recomendações técnicas para o seu desenvolvimento e gestão (planejamento, projeto, operação, monitoramento e avaliação). Assim, a maior parte das reversíveis foram desenvolvidas e geridas com base, principalmente, na experiência dos profissionais envolvidos e na observação empírica. Tais circunstâncias resultaram na falta de padrão das operações (WOLSHON; LAMBERT, 2004). Neste contexto, é comum observar-se na literatura diversas terminologias com utilizações similares, mas que podem guardar entre si algumas diferenças pontuais de acordo com as suas características (Ver Anexo A).

2.1.2.2 Características Físicas e Temporais

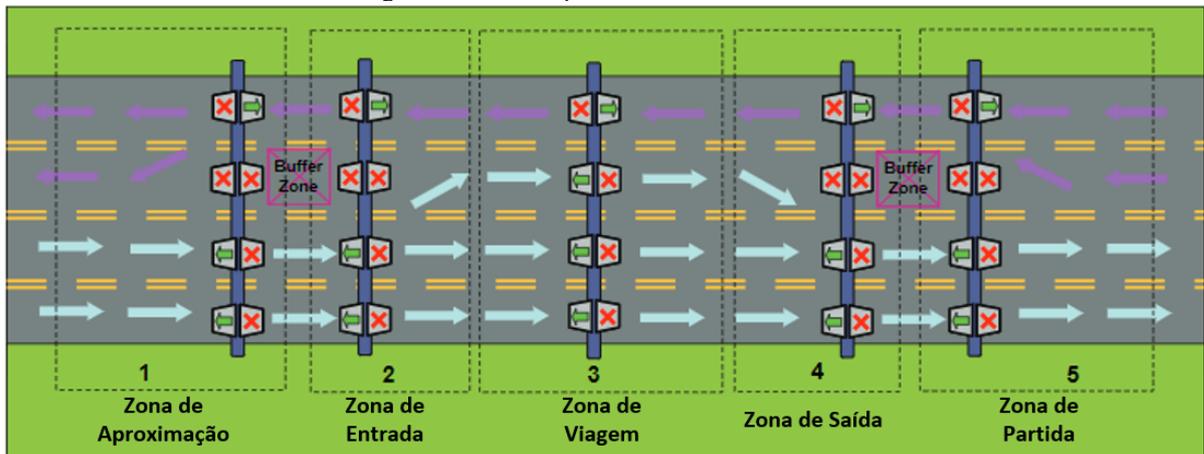
As operações de faixas reversíveis possuem características físicas e temporais particulares. Segundo Guebert (2010), do ponto de vista das características físicas, os principais elementos de uma via com operação de reversíveis compõe:

- Características geométricas da via: extensão total, seção transversal, alinhamento vertical e horizontal, pontos de acesso, zonas de transição de entrada e saída, número de faixas, faixas adjacentes, interseções, estacionamentos, faixas de pedestre;

- Dispositivos de controle de tráfego: sinalização semafórica, sinalização vertical, sinalização horizontal, painéis de mensagens variáveis fixos ou móveis e dispositivos auxiliares;
- Elementos de proteção e segurança: barreiras, cones, dispositivos de canalização e direcionamento do tráfego;
- Iluminação viária.

Longitudinalmente, as faixas reversíveis são geralmente segmentadas em cinco zonas, que constituem, espacialmente, seções onde ocorrem a alteração na movimentação dos usuários (Figura 3), a saber:

Figura 3 – Zonas típicas das faixas reversíveis



Fonte: Guebert (2010).

A Zona de Aproximação (*Approach Zone*) é a seção da via onde os usuários devem ser informados da presença de faixas reversíveis, bem como de eventuais critérios para a sua utilização, como o número de ocupantes no veículo, tipo de veículo, existência de pedágio ou não, entre outros. Em seguida, a Zona de Entrada (*Entry Zone*) é o ponto em que o usuário deve decidir se acessará a faixa reversível ou se seguirá na faixa convencional. Esta área é tipicamente caracterizada por movimentos divergentes e, conseqüentemente, tende a ser uma zona de maior potencial de conflitos entre veículos. Neste sentido, para minimizar tal situação, é comum adotar-se uma *buffer zone*, que consiste em uma seção onde há a proibição do tráfego em ambos os sentidos. Então, segue-se à Zona de Viagem (*Travel Zone*), que corresponde a área da reversível aonde o processo de reversão da via encontra-se já estabelecido e a capacidade do sentido de maior fluxo é expandida com a agregação das faixas revertidas. Dependendo do nível de controle de acesso à via, os usuários têm a possibilidade de entrar e

sair da faixa reversível enquanto transitam nesta zona ou não. Informações acerca de quais faixas encontram-se aptas ao uso, bem como seus eventuais critérios de utilização devem ser periodicamente fornecidas aos usuários. Considerando-se que as faixas adjacentes podem encontrar-se abertas ao tráfego no sentido oposto, tem-se, nesta zona, um fator de segurança crítico, que pode levar a colisões frontais caso os usuários não sejam capazes de interpretar adequadamente a operação. Na sequência, tem-se a Zona de Saída (*Exit Zone*), que corresponde à área de transição onde o tráfego da faixa reversível é reintegrado ao tráfego comum. Nesta zona, deve-se haver dispositivos de sinalização que indiquem aos usuários o fim da faixa reversível e o retorno à corrente de tráfego geral. Esta zona é tipicamente caracterizada por movimentos convergentes, e, assim como na Zona de Entrada, um maior potencial de conflitos. Novamente, uma *buffer zone* pode ser considerada para atenuar este efeito. Por fim, chega-se à Zona de Partida (*Departure Zone*), equivalente ao ponto final de uma faixa reversível, onde a oferta de faixas adicionais é encerrada e o tráfego deve retomar o padrão normal de fluxo (LATHROP, 1972). Um aspecto importante sobre esta zona é verificar se o tráfego será comportado pelas faixas convencionais ou se há necessidade da extensão da ampliação de oferta de capacidade, do contrário, este ponto poderá se tornar um gargalo (GUEBERT, 2010).

Ainda segundo Guebert (2010), quanto a sua temporalidade (frequência e duração), as operações de reversíveis podem ser implantadas nas seguintes formas: em um período definido (iniciam e encerram na mesma faixa horária ou dia da semana); de forma pontual (planejada especificamente para determinados eventos); e de forma contingencial (em resposta à eventos não planejados). Com relação à sua operacionalização (*start* da operação/reversão), as reversíveis podem ter um tempo de operação fixo, começando e terminando no mesmo horário (geralmente em dias úteis, conforme a Figura 4), algumas reversíveis são iniciadas de forma manual, sendo operacionalizadas em campo pelo julgamento pessoal dos agentes de trânsito conforme as condições de tráfego do momento, ou ainda, podem ser automatizadas, iniciadas quando um determinado critério pré-estabelecido é atingido (volume de tráfego, relação volume/capacidade, extensão de fila, entre outros). Neste caso, além de ser necessário a existência de meios para aferição de tais parâmetros, salienta-se a importância do correto dimensionamento destes para que não ocorra a operacionalização da reversível por apenas um curto período correspondente à um pico de demanda pontual.

Figura 4 – Sinalização indicativa da operação de reversível no Canadá.



Fonte: Guebert et al. (2010).

Um aspecto temporal crítico, do ponto de vista da segurança da operação, é o período da reversão de fluxo da via. O período de transição é um período de vulnerabilidade para todos os sistemas de faixas reversíveis, independentemente do tipo. Sob a óptica do tráfego, esta transição deve ocorrer da forma mais rápida possível, porém, considerando a segurança viária, ela deve ocorrer em um período suficientemente longo para que os usuários observem, interpretem e respondam ao movimento de reversão das faixas de forma adequada. Ainda, este período deve permitir que os usuários deixem as faixas reversíveis, antes que estas sejam abertas ao sentido oposto. Neste sentido, em seu dimensionamento, é comum adotar um tempo de reversão igual ao tempo necessário para percorrer toda a extensão da faixa reversível, considerando a velocidade diretriz da via e, nos casos existentes, de um ciclo semafórico completo (GUEBERT, 2010).

2.1.2.3 Variações e Aplicações

Na literatura, é comum observar dois principais tipos de aplicações de reversíveis: operações temporárias e permanentes. As primeiras costumam ser informais, demandando a

recolocação manual dos elementos divisórios por agentes em campo (Figura 5). Geralmente, são utilizadas quando existe uma demanda específica que aumenta a relação volume/capacidade de tráfego em um determinado sentido, como por exemplo, quando há o bloqueio parcial da via devido a acidentes, em eventos especiais (esportivos, musicais), e operações de evacuações de emergência (GUEBERT, 2010).

Figura 5 – Montagem de operação manual de faixa reversível em São Paulo.



Fonte CET-SP (2012).

Já as operações permanentes são comumente observadas em duas configurações: fisicamente segregadas, ou *off-centre*. Ambas se destinam onde há, recorrentemente, o desequilíbrio direcional de fluxos, sendo o caso mais típico, o movimento pendular cotidiano entre bairros e o centro de cidades. As operações fisicamente segregadas são utilizadas para controlar o acesso oriundo das faixas de tráfego convencionais, onde o ingresso é realizado mediante o cumprimento de alguma condição especial, como *High Occupancy Vehicles lanes* (exclusiva para veículos com alta capacidade de transporte, geralmente transporte público e caronas) ou *High Occupancy Toll lanes* (conceito da *HOV Lane* com o acréscimo da permissão do ingresso de veículos individuais mediante o pagamento de tarifa), estratégias comuns nos Estados Unidos. Já as aplicações *off-centre* apropriam-se da reversão de faixas sem a utilização de elementos físicos para segregação. Geralmente, operam em horários específicos, com

duração pré-determinada, apesar de haver variações em que a operação se baseia em critérios de tráfego ao invés de critérios temporais (GUEBERT, 2010).

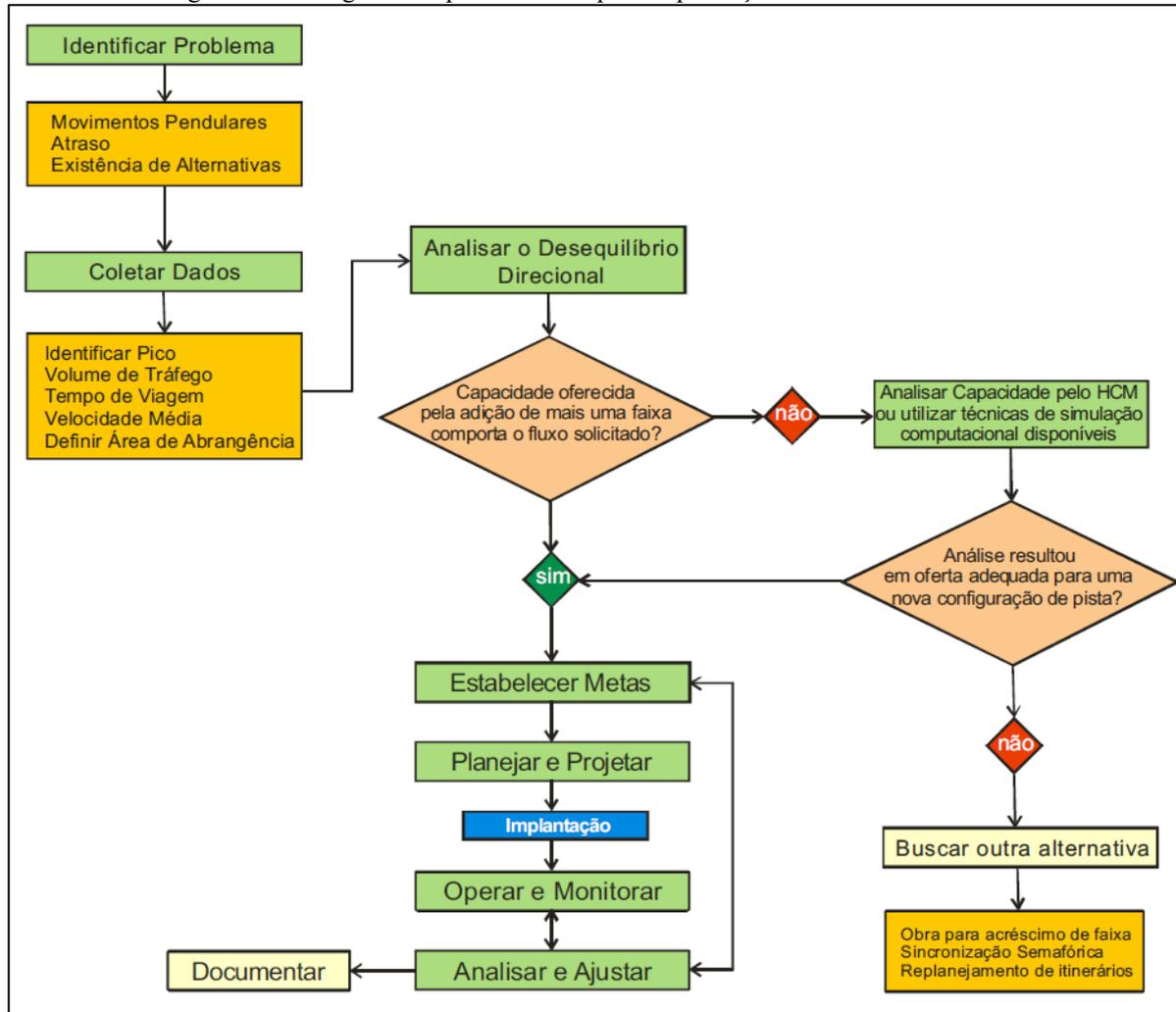
2.1.2.4 Diretrizes e Recomendações Técnicas

Na literatura, é possível observar algumas publicações que fornecem diretrizes ou recomendações técnicas sobre o tema de forma geral ou abordando especificamente algum componente. Lathrop (1972) levantou os sistemas de sinalização e controle utilizados pelos órgãos rodoviários americanos, à época, em operações de reversíveis. Wolshon e Lambert (2004) realizaram a síntese da prática estadunidense de faixas reversíveis a partir da compilação dos resultados obtidos em questionário enviado às agências rodoviárias estaduais que gerem tais operação no país. Em abordagem semelhante, Trepanier et al. (2011) visitaram diversos órgãos rodoviários do país, visando identificar as melhores práticas de estratégias de otimização de tráfego em rodovias, incluindo faixas reversíveis. Guebert (2010), embora também apresente aspectos práticos observados no Canadá, fornece orientações gerais sobre o desenvolvimento de faixas reversíveis, envolvendo desde etapas prévias à implantação, até recomendações de ações posteriores. Em versões recentes do *Green Book*, o manual de projeto geométrico de rodovias da *American Association of State Highway and Transportation Officials*, pode-se observar algumas considerações para o projeto de reversíveis em vias urbanas e rodovias (AASHTO, 2018). Além disso, a utilização de faixas reversíveis como uma estratégia associada à outras estratégias, no conceito de *managed lanes*, é observada em guias específicos sobre o tema, como Kuhn et al. (2017) e Fitzpatrick et al. (2016). Visando a padronização destas operações no Brasil, Machado (2012) elaborou um procedimento (cujo fluxograma pode ser observado na Figura 6) para implantação de faixas reversíveis em vias urbanas, contemplando diversas etapas.

Contudo, observa-se que apesar da ampla utilização de faixas reversíveis ao longo do tempo, não se identificava com frequência, até o início deste século, a existência de publicações com este objetivo, resultando na falta de padronização das operações. Neste sentido, Guebert (2010) destaca que a falta de uniformidade nas operações de reversíveis impactaram tanto no desempenho operacional e de segurança do sistema, como na sua compreensão por parte do usuário. Grande parte dos custos decorrentes e benefícios obtidos não tem sido documentados, e não há um padrão quanto aos indicadores aplicáveis e *benchmarks* em nenhuma das etapas

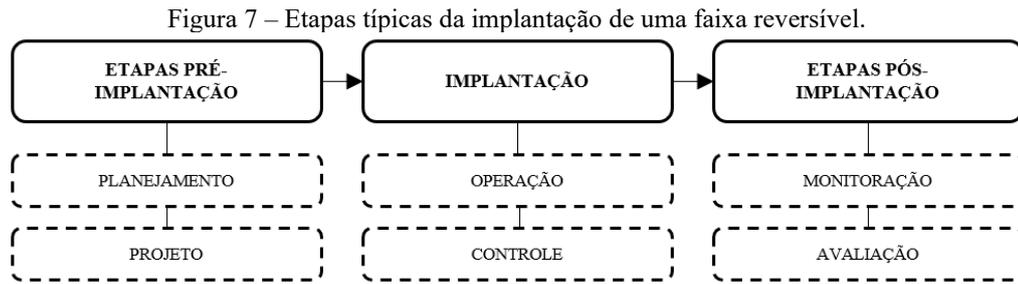
do seu desenvolvimento. Coletivamente, esta lacuna de conhecimento pode ter contribuído para operações com eficiência reduzida, menor segurança e desperdício de recursos.

Figura 6 – Fluxograma de procedimento para implantação de reversíveis urbanas.



Fonte: Machado (2012).

De forma geral, pode-se dividir o desenvolvimento de uma operação de faixa reversível em 3 períodos: etapas prévias à implantação, envolvendo aspectos de planejamento e projeto; a etapa referente a implantação em si; e por fim, a etapa posterior à consolidação da operação, contemplando a monitoração da operação e sua avaliação, conforme exposto na Figura 7 (WOLSHON; LAMBERT, 2004; GUEBERT, 2010):



Fonte: Autor (2023).

Cabe aqui uma distinção entre a etapa de avaliação que ocorre após a implantação da operação, associada à análise de seu desempenho, e aquela realizada durante o planejamento, quando se seleciona, entre as alternativas existentes, a intervenção que será implementada. Na literatura, observou-se que esta última esteve associada, em mais oportunidades, à utilização do termo *assessment*, enquanto a palavra *evaluation* era mais vista em estudos de avaliação de desempenho.

2.1.2.4.1 Etapas pré-implantação (Planejamento e Projeto)

O processo tradicional de planejamento de transporte envolve: a identificação e definição do problema; o estabelecimento dos objetivos e indicadores de desempenho do projeto; a verificação das condições e restrições existentes, e a avaliação das alternativas para a determinação daquela mais adequada à necessidade observada. Tem-se então, na alternativa selecionada, o desenvolvimento de um projeto funcional e uma estratégia operacional, sendo esta novamente avaliada antes do detalhamento final do projeto e sua efetiva implantação. A opção por uma faixa reversível como alternativa segue, de forma geral, o mesmo processo, porém requer a consideração de alguns fatores particulares (GUEBERT, 2010). Segundo Kuhn et al. (2005), os objetivos dos projetos de *managed lanes* devem ser: mensuráveis e quantificáveis; considerar o desempenho do sistema sob diversos aspectos (não apenas local), incluindo a perspectiva dos usuários; não ser limitados pela disponibilidade de dados.

Ao longo do tempo, diversas técnicas foram utilizadas na implementação de faixas reversíveis, resultando no emprego de diferentes níveis de esforços em sua execução. A dimensão e a formalização do esforço empregado tem sido função de algumas características da operação, como a frequência, duração e tipos de uso. De um lado, observa-se a etapa de planejamento conduzida para grandes operações permanentes, como em rodovias, pontes e túneis. Nestes casos, geralmente tem-se a análise custo/benefício de diversas alternativas,

verificação do impacto da operação nos demais sistemas de transporte, bem como no comportamento do tráfego local e da região. Do outro, estão as práticas informais associadas a operações de curto prazo, com caráter temporário. É comum observar o planejamento deste tipo de operação ser concebido por agentes policiais com pouco ou nenhum envolvimento de técnicos do setor. Além disso, em se tratando de operações temporárias, existem poucos esforços de projeto, geralmente resumindo-se a um projeto dos dispositivos de sinalização e posicionamento dos agentes de campo. Diferentemente do processo tradicional, o planejamento de atividades que demonstrem a necessidade e a utilização de faixas reversíveis tem sido consideravelmente menos formal, com decisões tomadas após a constatação da impossibilidade de expansão do sistema viário (WOLSHON; LAMBERT, 2004).

Entre os principais aspectos a serem considerados no planejamento e projeto de faixas reversíveis, Guebert (2010) destaca os seguintes: tráfego (critérios para implantação, atribuição de faixas, restrições de movimentos), segurança (facilitação da interpretação da operação por condutores e pedestres, zonas de transição adequadas, minimização do risco de colisões), ambiental (estimação da redução de emissão de poluentes e consumo de combustível), políticas de uso (restrição da operação à determinada classe de veículos, elaboração de plano de operação), social (aceitação pública de usuários e comércio adjacente) e econômico (previsão de custos e potenciais benefícios).

De forma geral, é possível observar algumas diretrizes básicas para a implantação de reversíveis, como: um acentuado desequilíbrio direcional de tráfego (entre 60 e 75% no sentido de maior volume) durante o horário de pico; tal desequilíbrio ocorrer de forma recorrente e previsível; redução significativa da velocidade média no trecho; manter, ao menos, 2 faixas abertas ao tráfego no sentido de menor fluxo (com exceção de operações de reversão total); a implantação em caráter complementar, em conjunto com outras ações (AASHTO, 2018; ITE, 2009). Ainda, ITE (2009) destaca a importância da realização de estudos prévios que demonstrem a ausência de uma via paralela (afastando a possibilidade de implantação de outras intervenções, como por exemplo sistema em binários), bem como um maior percentual de usuários com movimentos pendulares característicos (percorrendo a totalidade da via sem paradas ou conversões).

Sob a óptica de segurança, Wolshon e Lambert (2004) afirmam que a preocupação em faixas reversíveis implantadas em rodovias de longo curso tende a ser menor do que em vias urbanas devido a tendência de se haver maior controle no ingresso de veículos neste tipo de operação. Soma-se a isso a redução no fluxo de pedestres, que representa outro aspecto crítico

do ponto de vista de segurança em operações urbanas. Assim, Guebert (2010) propõe algumas condições recomendáveis para que faixas reversíveis em vias arteriais sejam implantadas de forma segura: baixo volume de movimentos entre as faixas reversíveis e as vias laterais; disponibilidade de espaço para implantação de zonas de transição adequadas; ações para minimização de colisões frontais; ações para facilitar a interpretação da operação por parte do usuário; e a promoção da segurança dos pedestres. Para se aumentar o entendimento e a aceitação do público, ações educacionais são recomendadas, especialmente em locais onde estão sendo implantadas as primeiras operações de reversíveis.

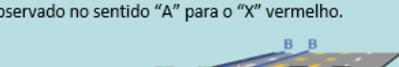
Especificamente quanto ao projeto, os parâmetros geométricos adotados (tais como raio de giro, distância de visibilidade, entre outros) para faixas reversíveis tem sido semelhante aos de vias convencionais, embora isto se explique parcialmente pelo fato de muitas operações terem sido implantadas em vias já existentes. Um dos aspectos em que alterações podem ser observadas é a seção transversal. Considerando a reversão do sentido de tráfego, deve-se projetar elementos de segurança para ambos os sentidos. Além disso, a largura destinada às faixas deve prever a implantação de elementos utilizados para a separação de fluxos, como cones, balizadores e barreiras rígidas, do contrário, tem-se materializado um dos principais problemas em se implantar uma faixa reversível em uma via existente. Embora em alguns casos tente-se manter a largura original das faixas, é comum a implementação de faixas reversíveis ser espacialmente viabilizada pela supressão de áreas laterais (acostamentos, estacionamentos e canteiros), com posterior dimensionamento das demarcações viárias, tornando as faixas mais estreitas. Ainda, destaca-se a importância do dimensionamento adequado das zonas de transição, pois por estarem localizadas no início e no final da operação, ditam a capacidade de todo o segmento. Em havendo algum tipo de obstáculo que limite o ingresso na operação, esta não receberá todo o volume de tráfego existente. Da mesma forma, em havendo obstáculos na porção final da operação, tem-se a criação de um gargalo, culminando com a ocorrência de congestionamentos no interior da operação (WOLSHON; LAMBERT, 2004).

2.1.2.4.2 Implantação (Operação e controle)

Devido a própria natureza das faixas reversíveis, os dispositivos de sinalização e os elementos de segurança cumprem função primordial para uma operação segura. Além de conduzir os veículos na entrada, saída e ao longo das reversíveis, estes dispositivos são utilizados para prover informações fundamentais, como por exemplo, informar quando a

operação se encontra vigente, bem como quais faixas estão aptas para ingresso. Basicamente, existem 5 técnicas pelas quais se controlam operações de faixas reversíveis: placas alocadas no meio-fio (*curb-mounted signs*); placas aéreas; sinalização semafórica; demarcações viárias e elementos portáteis. A forma com que tais elementos foram implantados variou consideravelmente ao longo do tempo, passando de dispositivos tradicionais, utilizados em situações convencionais, para dispositivos mais complexos. No entanto, a sinalização semafórica aérea, dotada de símbolos específicos indicando a disponibilidade de faixas, tem sido a mais adotada (WOLSHON; LAMBERT, 2004). A referida sinalização semafórica compreende semáforos, geralmente alocados em pórticos, e indica qual faixa está, de fato, disponível para circulação. O semáforo é composto por um foco com símbolo “X” na cor vermelha e por um foco na cor verde com uma seta orientada para baixo (CONTRAN, 2014). Na Figura 8, Guebert (2010) demonstra o esquema básico da sinalização semafórica em operação de reversíveis.

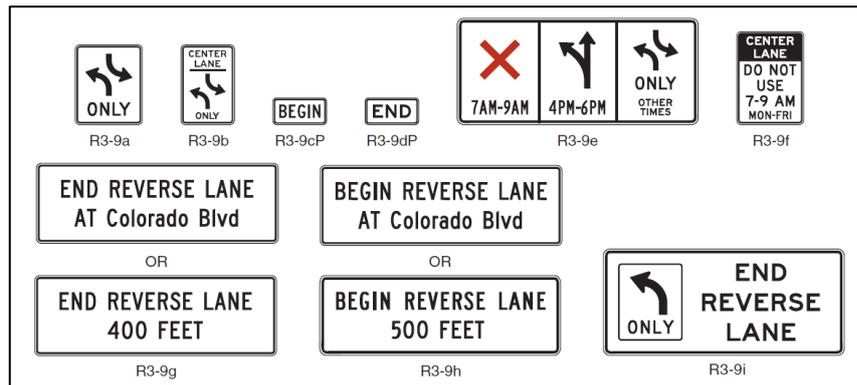
Figura 8 - Esquema básico de sinalização de reversíveis

ETAPA	INDICAÇÃO NO SENTIDO A	INDICAÇÃO NO SENTIDO B
<p>1. A faixa reversível opera no sentido “A”. O sentido “B” observa um “X” na cor vermelha, enquanto o sentido “A” observa uma seta na cor verde.</p> 		
<p>2a. Inicia o processo de reversão. O sinal altera o símbolo observado no sentido “A” para o “X” vermelho.</p> 		
<p>2b. O sinal indica o “X” na cor vermelha para ambos os sentidos.</p> 		
<p>3. A faixa reversível permite o tráfego no sentido “B”. O sinal indica o símbolo com a seta na cor verde para o tráfego no sentido “B”.</p> 		
<p>4. Inicia-se novamente o processo de reversão. O final indica o “X” na cor vermelha para o sentido “B”, interrompendo o tráfego em ambos os sentidos. Na sequência, tem-se a etapa 1 novamente.</p> 		

Fonte: Adaptado de Guebert (2010).

Complementando a sinalização semafórica, a sinalização vertical compreende placas que informam as características específicas da operação, como o seu início e fim, a quantidade de faixas, o seu horário de funcionamento e eventuais critérios para a sua utilização. Por este motivo, compreendem tanto caracteres textuais, como símbolos (Figura 9).

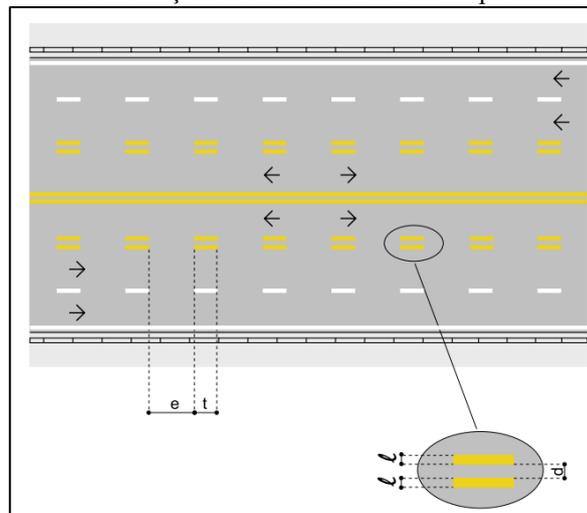
Figura 9 – Exemplos de sinalização vertical para faixas reversíveis.



Fonte: FHWA (2012).

De acordo com Wolshon e Lambert (2004), a sinalização horizontal em faixas reversíveis corresponde ao elemento mais universal, embora também sejam encontradas algumas variações. Tanto o manual de sinalização viária brasileiro, em CONTRAN (2007), quanto o dos Estados Unidos, em FHWA (2012), recomendam a demarcação de faixas reversíveis por meio de duas linhas seccionadas na cor amarela, conforme a Figura 10:

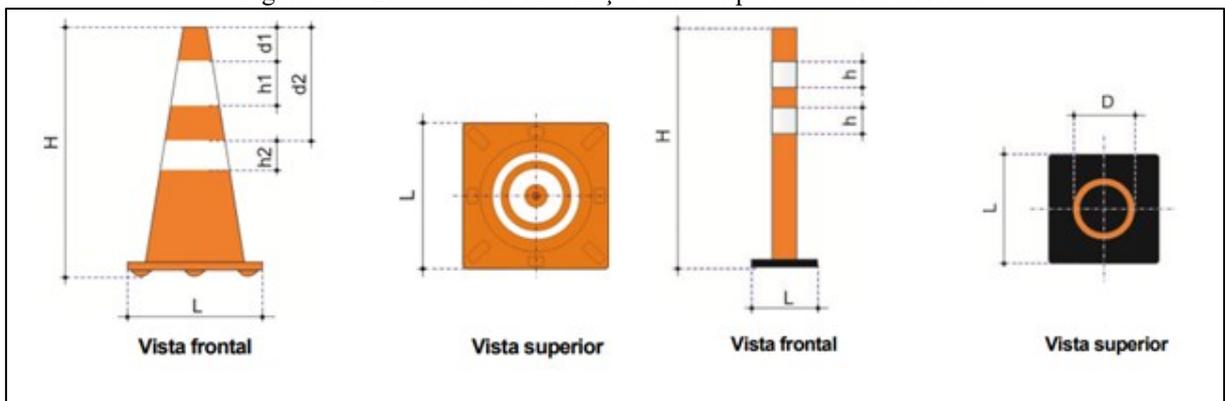
Figura 10 - Sinalização horizontal convencional para reversíveis



Fonte: CONTRAN (2007).

Diversos outros elementos podem ser encontrados em operações de reversíveis. Dispositivos como barreiras plásticas são utilizadas para alertar os condutores, especialmente em zonas com obras, enquanto cones e balizadores possuem função canalizadora, destacando as delimitações da via (FHWA, 2012). No entanto, a maioria das operações utiliza-se de elementos genéricos, comumente aplicados em vias convencionais. Machado (2012) afirma que a prática nacional tende a adotar elementos simples para a separação de fluxos, como cones e balizadores (Figura 11). Inclusive, a utilização de tais elementos em operações de reversíveis encontra-se descrita em CONTRAN (2021), onde expõe-se sua função canalizadora de tráfego. No entanto, Link (1975) apud Wolshon e Lambert (2004) destaca que tais elementos tem pouca capacidade de evitar movimentos não permitidos

Figura 11 – Elementos de sinalização auxiliar para faixas reversíveis.



Fonte: CONTRAN (2021).

De forma contrária, Wolshon e Lambert (2004) reportam que, na prática estadunidense, a utilização de cones, balizadores e efetivo policial está associada às operações simples e temporárias. Já em operações contínuas, tende-se a utilizar elementos mais complexos, como barreiras nas entradas, painéis de mensagem variáveis e dispositivos semafóricos automatizados. Neste sentido, um sistema específico que passou a ganhar popularidade em operações de reversíveis no início do século é o *movable barrier system* (Figura 12). A sua aparência é semelhante à dos elementos convencionais, porém, a automatização em sua operacionalização reduz significativamente o tempo do processo de reversão (GUEBERT, 2010). O sistema é composto por dois componentes principais: uma série de blocos de concreto interconectados que formam a barreira divisora e um veículo capaz de transferir tais blocos lateralmente entre as faixas. Os blocos são conectados por dobradiças de

ação, formando uma barreira contínua, enquanto o veículo opera em velocidades de até cinco milhas por hora (BAIN, 2001).

Figura 12 – Sistema de *moveable barriers* em operação.



Fonte: Lindsay (s. a.)

Por fim, outra forma de controle bastante utilizada na operacionalização de reversíveis é a ação humana. Nos Estados Unidos, esta prática está associada a operações de curta duração, como em eventos especiais, casos em que há a tendência de não ser financeiramente viável a implantação de dispositivos permanentes. Os agentes de campo tendem a ser posicionados nos pontos iniciais e finais das operações, orientando o tráfego nas faixas disponíveis, tendo, inclusive, a possibilidade de distribuir a demanda nas faixas de forma balanceada, conforme avaliação.

2.1.2.4.3 Etapas posteriores à implantação (Monitoração e Avaliação)

A monitoração de desempenho refere-se ao processo contínuo de reunir dados acerca da operação. Esta etapa desempenha um papel fundamental, pois municia os gestores da operação com diversas informações que podem, inclusive, evidenciar a necessidade de ajustes. Apesar da necessidade de se monitorar a operação ao longo de toda a sua vida útil, especial

atenção deve ser dada à monitoração e avaliação no primeiro ano de vigência da operação, onde o público em geral formará suas conclusões acerca da operação (FITZPATRICK et al., 2016).

Já a avaliação de desempenho é essencial para justificar e otimizar operações de faixas reversíveis. Afinal, embora os seus benefícios se mostrem consistentes ao longo da história, a forma com que os profissionais do ramo, a sociedade e os usuários têm encarado estas operações tem variado (WOLSHON; LAMBERT, 2004). No entanto, pode-se observar na literatura que os estudos realizados têm se limitado a avaliações locais, não sendo identificada a aplicação de um método comum. A definição dos métodos, indicadores e dos dados necessários para uma avaliação adequada são vitais para a monitoração e avaliação de desempenho destes sistemas, e devem refletir as motivações pelas quais as operações foram implementadas (GUEBERT, 2010). Quanto aos indicadores de desempenho, Kuhn et al. (2005) afirmam que estes devem ser: limitados, para evitar o sobrecarregamento de recursos dos órgãos responsáveis pela coleta de dados; simples e claros para serem transmitidos para a sociedade, mas que ao mesmo tempo consigam incorporar o detalhamento necessário para subsidiar o aprimoramento da operação; facilmente coletados, de forma automática ou manual, e que a manipulação e o processamento de dados seja mínima; sensíveis às variações, podendo capturar as mudanças observadas; adequados em termos temporais, espaciais e de complexidade, de acordo com as necessidades dos tomadores de decisão.

Considerando que o princípio básico da implantação de uma reversível é o aumento da capacidade direcional da rodovia durante determinados períodos para atender a demanda sem a necessidade de expandir o viário, é natural que os indicadores mais utilizados em avaliações de reversíveis sejam relacionados ao tráfego, sendo o tempo de viagem e o volume de tráfego os principais, embora também se observem indicadores de segurança e meio ambiente (WOLSHON; LAMBERT, 2004; GUEBERT, 2010). Os indicadores de desempenho de tráfego descrevem a habilidade de uma rodovia prover mobilidade aos seus usuários. Em *managed lanes*, o tráfego é a abordagem mais utilizada para avaliação de desempenho e seus indicadores incluem: volume, velocidade, nível de serviço e tempo de viagem. Estas, são associadas à indicadores de segurança. (FITZPATRICK et al., 2016).

Neste sentido, apesar das preocupações com a segurança nestas operações, a literatura mostra poucas publicações avaliando o efeito das reversíveis na segurança, como por exemplo, o seu impacto na segurança de pedestres. Embora mais provável em operações urbanas, casos em que pedestres e ciclistas não consigam interpretar adequadamente o sentido em que a operação se encontra vigente podem acarretar atropelamentos. Isto se dá principalmente em

operações onde ocorre a reversão total do viário. Conseqüentemente, a faixa adjacente ao passeio pode estar operando em qualquer um dos sentidos, de acordo com o período do dia (WOLSHON; LAMBERT, 2004). Além disso, Dey et al. (2011) destacam o fato de, em muitos casos, a operação demandar a ausência de canteiros ou refúgios para a travessia de pedestres. Assim, a quantidade de atropelamentos pode ser um outro indicador interessante para se avaliar o desempenho de segurança viária de operações de faixas reversíveis (GUEBERT, 2010).

Acerca dos estudos conduzidos sobre o tema, Manuel (2019) afirma que estes podem ser divididos em dois grandes subgrupos. O primeiro abrange estudos que abordam o aspecto ergonômico de um ou mais componentes específicos associados à operação de reversíveis (geralmente, dispositivos de sinalização), através da utilização de simuladores de direção. O outro, contempla estudos observacionais que avaliam a segurança viária com base em indicadores de desempenho, como por exemplo, a frequência de colisões. Geralmente, os estudos observacionais desenvolvidos têm sido do tipo *before-and-after* ou *cross-sectional*, sendo que os resultados obtidos ao longo do tempo variaram entre a redução, a manutenção e o aumento da quantidade de acidentes, não se chegando a conclusões definitivas. No entanto, de forma geral, aparenta-se haver mais estudos indicando o aumento de colisões. Neste sentido, Guebert (2010) destaca que em virtude de haver a possibilidade de a ocorrência de acidentes não ser um evento frequente, a depender do segmento avaliado, faz-se necessária a consideração de longos períodos de avaliação (ao menos 3 anos após a implantação)

Entre os aspectos negativos frequentemente associados à sua utilização está o aumento da ocorrência de colisões e o sentimento de confusão advindo da má interpretação ou não familiaridade dos usuários com a operação (WOLSHON; LAMBERT, 2004). Os tipos de colisões geralmente associados a operações de reversíveis envolvem movimentos de conversões à esquerda (MARKOVETZ, 1995 apud GUEBERT, 2010). Isto é corroborado por Bretherton e Elhaj (1996) apud Guebert (2010), que afirmam que estes movimentos são os maiores causadores de conflitos em faixas reversíveis. Assim, o número de colisões envolvendo a conversão à esquerda de veículos pode ser um bom indicador do desempenho de segurança de faixas reversíveis. Não por acaso, uma prática bastante comum em reversíveis é a proibição de conversões à esquerda, que, além da motivação de segurança, pode ser benéfica também do ponto de vista operacional. Afinal, elimina-se o tempo aguardado pelos usuários para realizar as conversões, que tendem a retardar o tráfego e prejudicar uma das principais razões para a implantação de faixas reversíveis, a redução de congestionamentos (GUEBERT, 2010).

Além do resultado obtido na avaliação em si, Bahar (2010) destaca que estudos “antes e depois” podem gerar Fatores Modificadores de Acidentes (*crash modification factors*, fatores que expressam a o efeito na segurança causado por uma intervenção viária). Guebert (2010) afirmam que não foram observados na literatura Fatores Modificadores de Acidentes tratando do impacto na quantidade de acidentes promovido pela implantação de uma faixa reversível.

Segundo Paleti et al. (2014), nos Estados Unidos, uma das explicações para as agências serem relutantes à implantação de faixas reversíveis é a crença popular de que ela pode ser confusa também aos condutores. Considerando as suas especificidades, torna-se natural que no início de uma operação exista uma quantidade significativa de usuários não familiarizados. Isto resulta em um padrão inicial de confusão e aversão, por parte dos motoristas, mas que geralmente tende a mudar para aceitação e entusiasmo, a partir do momento em que o usuário percebe os benefícios do aumento da capacidade viária, e consequente redução do congestionamento e tempo de viagem. Neste sentido, Guebert (2010) destaca que as operações contínuas tendem a aumentar a aceitação e o entendimento dos usuários, tendo em vista que estes detém a informação do horário em que a operação estará em vigor com antecedência. Em avaliações econômicas, tende-se a efetuar avaliações de custo/benefício, sendo os custos divididos em custo de implantação, manutenção e operacional, enquanto os benefícios são aqueles advindos dos resultados obtidos com a operação (redução do tempo de viagem, quantidade de acidentes, consumo de combustível, entre outros) (WOLSHON; LAMBERT, 2004).

2.1.2.5 Faixas Reversíveis no Brasil

No Brasil, Machado (2012) associa o aumento de operações de reversíveis ao aumento da frota de veículos nas cidades brasileiras já que, em sua maioria, tais operações têm como objetivo o alívio de congestionamentos recorrentes. Contudo, por mais que as práticas adotadas se pautem na experiência internacional, algumas características do cenário brasileiro, especialmente a configuração da infraestrutura viária disponível, tornam as operações nacionais particulares.

Na cidade do Rio de Janeiro, onde a estratégia é utilizada, ao menos, desde a década de 80, existem 13 operações vigentes (SOUZA et al., 2019). Já na cidade de São Paulo, as operações (que envolvem, inclusive, faixas reversíveis exclusivas para ônibus) totalizam aproximadamente 40km de extensão (SÃO PAULO, 2021). Além disso, Queiroz (2016) aponta

a existência de operações urbanas em Blumenau (SC), Teresina (PI) e Recife (PE), além de operações não urbanas em Brasília (DF-095) e no sistema Anchieta-Imigrantes, no estado de São Paulo. Na região Sul do país, em Porto Alegre (RS), ao menos duas operações foram implantadas nos últimos anos (PORTO ALEGRE, 2020 e 2021), enquanto em Florianópolis (SC), além da reversível existente na rodovia SC-405, no sul da Ilha de Santa Catarina, outras quatro operações foram propostas no Plano de Mobilidade Urbana da Grande Florianópolis (PLAMUS, 2014a). Uma das propostas é a implantação de reversíveis nas pontes que ligam a parte continental do município à ilha, estratégia que já foi utilizada no passado, na segunda metade do século XX, embora não se tenha registros de tal aplicação.

Apesar da quantidade expressiva de operações nos municípios de São Paulo e Rio de Janeiro, Souza et al. (2019) reportam que, em consulta aos órgãos responsáveis pela gestão destas operações nestes municípios, não localizou-se um procedimento para avaliação da necessidade de implantação de reversíveis ou para seu monitoramento. Além disso, destacam a carência de publicações nacionais sobre o tema em meio acadêmico, que poderiam, por exemplo, apurar os resultados obtidos com as operações já implantadas no país. Assim, na prática nacional, a implantação de faixas reversíveis tende a ocorrer de forma simplificada, sem o cumprimento de etapas prévias, como a coleta de dados, a fim de se subsidiar a tomada de decisão para a implantação da operação (ver Figura 13).

Figura 13 – Fluxograma do procedimento usual para implantação de reversíveis no Brasil.



Fonte: Machado (2012).

Tal abordagem prejudica o retorno esperado, bem como resulta em ajustes frequentes na operação, obstaculizando a adequada compreensão desta por parte dos usuários. Além disso,

não se costuma registrar o cenário anterior à implementação da reversível ou estimar os efeitos esperados com a operação, prejudicando a realização de avaliações posteriores. Tais práticas evidenciam um comportamento respaldado em ações empíricas, carentes de elementos técnicos para auxiliar o processo de tomada de decisão (MACHADO, 2012).

Especificamente nas reversíveis da região Sul (Porto Alegre, Florianópolis e Blumenau), pode-se observar um padrão na configuração de tais operações. Ao menos 4 de suas operações são compostas por três faixas, sendo a central reversível e a das extremidades convencionais, resultando em uma configuração que pode ser denominada 1:1:1, conforme observado na Figura 14.

Figura 14 – Faixa reversível em Blumenau (SC).



Fonte: Blumenau (2021).

Considerando que grande parte do sistema rodoviário nacional é composto por rodovias em pista simples, esta configuração pode ser obtida com a supressão de estacionamentos ou acostamentos laterais, criando-se o espaço necessário para a implantação da reversível central. Cabe destacar que, apesar da prática de substituir áreas laterais por uma reversível central ser descrita em Wolshon e Lambert (2004) e Guebert (2010), a realidade do sistema viário estadunidense e canadense, em termos de quantidade de faixas, é consideravelmente diferente. Assim, na configuração brasileira, não se atende uma das recomendações técnicas mais difundidas sobre o tema: a de se manter, ao menos, duas faixas

abertas ao tráfego no sentido menos carregado. Conseqüentemente, a ocorrência de eventos que demandem a paralização da via neste sentido pode comprometer o desempenho da operação. O registro da adoção desta exata configuração é verificado em Longfoot (1984), com sua utilização em diversas pontes rodoviárias australianas, sendo a ocorrência de longas filas um evento frequente.

2.1.3 Estudos de Avaliação de Desempenho

No contexto de segurança viária, AASHTO (2010) afirma que a avaliação de desempenho ou eficácia é o processo de estimar quantitativamente o quanto uma ação afeta a frequência ou a severidade de acidentes. Tal estimativa se mostra uma informação relevante para subsidiar decisões, como o desenvolvimento de políticas no âmbito da segurança viária. Estas avaliações podem envolver a análise de diferentes tipos de indicadores de desempenho, como a redução na quantidade ou severidade, bem como a alteração na proporção dos tipos dos acidentes. Ainda, em uma abordagem econômica, pode-se efetuar a comparação entre os benefícios obtidos e os custos necessários para implantação de determinada intervenção. Neste item, os modelos de estudos observacionais existentes serão discutidos sob a óptica de segurança viária, embora a lógica aplicada seja a mesma para qualquer indicador.

De forma geral, existem três tipos de estudos utilizados para a avaliação de desempenho: estudos observacionais do tipo “antes e depois” (*before-and-after*); estudos observacionais do tipo *cross-sectional*; e estudos experimentais do tipo “antes e depois” (*before-and-after*). Estudos experimentais são estudos implementados em um contexto controlado, como em um laboratório. Nestes casos, existe a possibilidade de se projetar um experimento exatamente no formato necessário para que seja possível identificar-se uma questão específica. Por outro lado, em estudos observacionais, os parâmetros estudados não podem ser integralmente controlados pelos pesquisadores. Neste sentido, estudos de segurança viária tendem-se a enquadrar-se como estudos observacionais pela dificuldade de se projetar, em um ambiente totalmente controlado, um experimento para determinar a quantidade de acidentes, tendo em vista a sua natureza aleatória. Os parâmetros que podem influenciar as variáveis em segurança viária não serão necessariamente constantes nos períodos antes e depois da ação a ser estudada. Por exemplo, em qualquer sistema pode haver a variação, ao longo do tempo, do volume de tráfego, aspectos operacionais, condições climáticas, entre outros (ITE, 2009). Estudos observacionais baseiam-se nas inferências realizadas a partir da observação dos

dados dos tratamentos implantados com a finalidade de aprimorar o sistema rodoviário (ou seja, tratamentos que não foram implementados especificamente para que possam ser avaliados). Em contraste, estudos experimentais consideram tratamentos que foram implementados especificamente para que a sua eficácia possa ser avaliada. Nestes, os locais devem ser aleatoriamente selecionados como o grupo que receberá o tratamento, ou como grupo de comparação (que não receberá o tratamento). Assim, a diferença na frequência de acidentes entre os grupos é diretamente atribuída ao tratamento. Estudos observacionais são muito mais comuns em segurança viária do que estudos experimentais, pois os pesquisadores tendem a relutar em utilizar uma seleção aleatória aos grupos que receberão o tratamento (AASHTO, 2010).

2.1.3.1 Estudos Observacionais

De forma geral, os estudos observacionais em segurança viária podem ser de dois tipos, estudos “antes e depois” e estudos *cross-sectional*. Na primeira abordagem, faz-se necessário identificar se os dados não estão sendo impactados por outras variáveis e fatores como, por exemplo, a alteração nas características do tráfego. Neste caso, deve-se visar a mitigação dos efeitos não associados à ação, de fato, executada. O método baseia-se na comparação de valores médios do indicador estudado em um período anterior e posterior à ação objeto de estudo, sendo fundamental que este período seja suficientemente longo para obtenção de confiança estatística (FERRAZ et al., 2012). Especificamente em segurança viária, AASHTO (2010) define os estudos do tipo “antes e depois” como a avaliação de tratamentos de segurança viária obtida pela comparação da frequência ou severidade de acidentes antes e após a implementação de tal medida. Contudo, destaca que a avaliação é mais complexa do que simplesmente comparar os dados de acidentes antes e depois do tratamento, pois devem ser realizadas considerações acerca do que teria ocorrido caso o local estudado não tivesse recebido o tratamento em questão. Muitos fatores que podem afetar a frequência de acidentes são passíveis de variação ao longo do tempo, como o volume de tráfego, as condições climáticas e o comportamento do motorista. Além disso, fenômenos como a regressão a média e tendências de longo prazo também podem afetar a frequência de acidentes tanto no local de tratamento como em locais não tratados. Por esta razão, a maioria das avaliações realizadas utilizam dados de ambos os locais tratados e não tratados. Esta informação pode ser obtida diretamente da

coleta de dados, ou utilizando Modelos de Previsão de Acidentes (MPA) para locais com características geométricas e padrões de tráfego semelhantes.

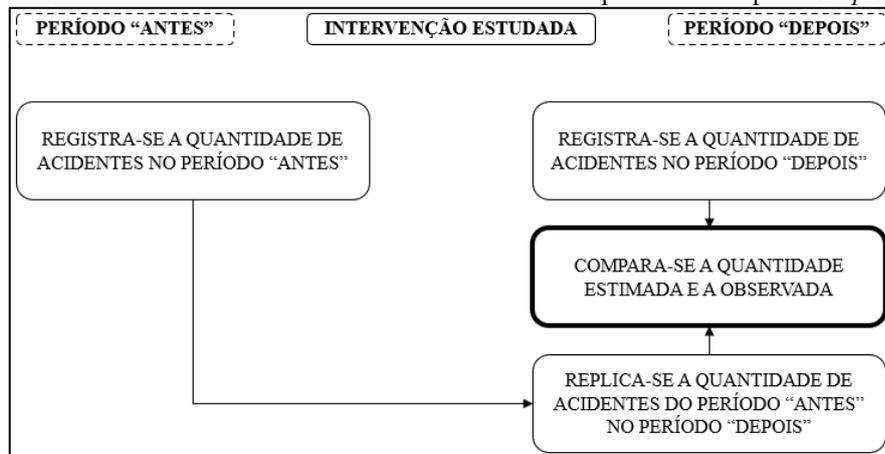
Neste tipo de estudo observacional, uma “variável de confusão” (*confounding factor*) é qualquer variável que afeta a quantidade de acidentes e cujos efeitos, se não estimados, podem incorporar-se aos efeitos da variável que está sendo avaliada (ELVIK, 2002). Segundo Hauer (1997) apud Elvik (2002), entre as variáveis que são comumente consideradas como *confounding factors* em estudos observacionais do tipo *before-and-after* em segurança viária são: regressão à média, tendências de longo prazo, alterações no volume de tráfego, bem como outros eventos que tenham ocorrido simultaneamente ao tratamento estudado. As duas principais abordagens para controlar tais variáveis são: estimar os seus efeitos estatisticamente ou utilizar um grupo de comparação, sendo utilizadas, em alguns casos, ambas. Geralmente, presume-se que um grupo de comparação é capaz de controlar todos os *confounding factors* cujos efeitos não podem ser estimados de forma direta. Porém, nem sempre é claro qual estes fatores devem ser controlados utilizando um grupo de comparação e quais devem ser estimados estatisticamente.

A seguir, serão elencados os principais modelos de estudos observacionais dos tipos “antes e depois” e *cross-sectional*.

2.1.3.1.1 Modelos de estudos observacionais do tipo “antes e depois”

De acordo com ITE (2009), os principais modelos de estudos do tipo “antes e depois” são: simples (ou *naive*); com grupo de comparação (*yoked-comparison* ou *with group comparison*) e *before-and-after with empirical Bayes approach*, modelo denominado no Brasil como “comparação da tendência ao longo do tempo” por Ferraz et al. (2012). O estudo do tipo *naive* é a técnica mais simples dentre as listadas. Neste modelo, a contagem de acidentes no período anterior à implantação do objeto de estudo é utilizada como referência para a quantidade de acidentes no período posterior, assumindo que, caso a ação não tivesse sido realizada, a contagem deveria manter-se constante (ver Figura 15). A variação na contagem de acidentes é considerada efeito da ação realizada, sendo ignorados eventuais efeitos de outros fatores. Logo, esta técnica é incapaz de separar o efeito da ação realizada dos efeitos gerados por outras variáveis não previstas e, portanto, a aplicação desta técnica no mundo real não é recomendada (ITE, 2009).

Figura 15 – Síntese do modelo de estudo observacional do tipo “antes e depois” *simple/naive*



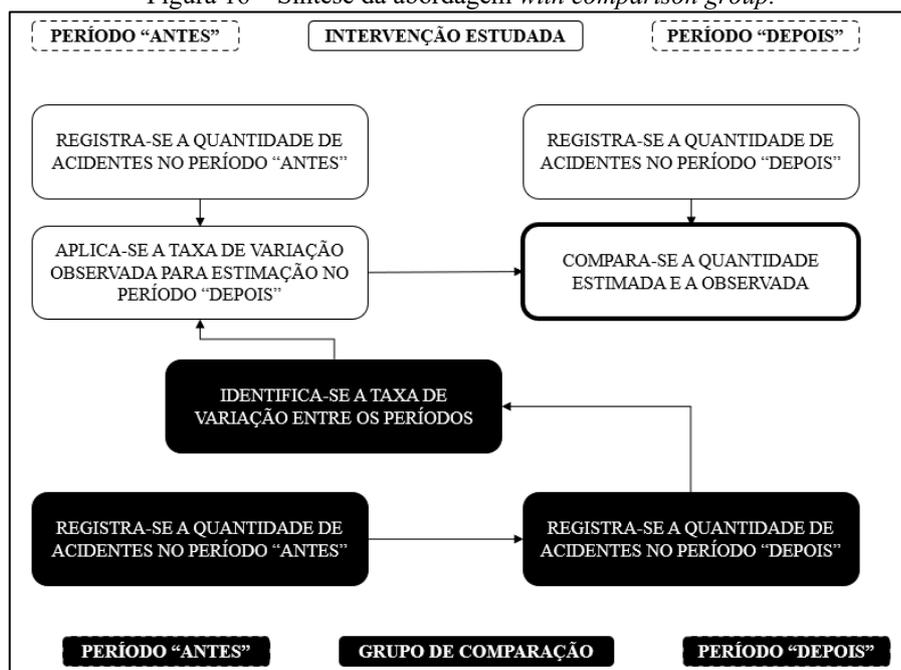
Fonte: Autor (2023).

No estudo do tipo *before-and-after with Yoked comparison*, um grupo de locais similares é selecionado de forma que haja uma correspondência individual para cada par formado por um membro do grupo de comparação e um membro do grupo de tratamento. Isto requer a similaridade de ambos os grupos e que o local de comparação não sofra alterações durante o período estudado. Nesta técnica, espera-se que os fatores não controlados afetem o objeto estudado da mesma forma que o afetam o grupo de tratamento. Assim, estabelece-se uma regra de proporcionalidade entre a variação na quantidade de acidentes do período “antes” e o período “depois” para ambos os grupos analisados. A frequência de acidentes em cada local de tratamento no período anterior é multiplicada pela taxa de acidentes (obtida a partir da razão entre “depois” e “antes” no grupo de comparação) para prever o número de acidentes no período posterior do local de tratamento sem a ação. Então, compara-se esta previsão com os valores, de fato, observados. Apesar de possuir maiores fundamentos teóricos do que o primeiro método apresentado, ele ainda possui alguns problemas: faz uso de apenas um local de comparação, sendo possível obter-se estimativas distintas quando outros locais de comparação são utilizados, consequentemente, os resultados obtidos tornam-se variáveis e com intervalos de confiança relativamente amplos; é incapaz de se sobrepôr ao fenômeno conhecido como a regressão à média, que ocorre quando existe viés na escolha do local de tratamento, como por exemplo, baseado em uma alta taxa de acidentes, gerando uma tendência natural de redução de acidentes no momento posterior, mesmo sem a aplicação de nenhum tratamento (ITE, 2009).

De forma semelhante, a lógica do estudo *before-and-after with comparison group* (sintetizada na Figura 16) é a mesma utilizada na técnica anterior. Contudo, nesta abordagem, não se necessita de uma correspondência em nível “um para um” entre os membros do grupo

de tratamento e do grupo de comparação, facilitando a seleção de elementos para comparação. A filosofia é que quanto maior for o grupo de comparação, melhor a avaliação desde que haja similaridade entre os grupos. Assim, apesar de eliminar-se o primeiro problema enfrentado pela abordagem apresentada acima, ainda não é capaz de absorver o efeito da regressão à média (ITE, 2009). Seu principal benefício é que os efeitos gerados por ações não previstas impactam na acidentalidade de ambos os grupos tratados e de comparação (FERRAZ et al., 2012). Quanto a regra para seleção do grupo de comparação, AASHTO (2010) afirma que estes tendem a ser locais comparáveis aos grupos de tratamento em tráfego, geometria e outras características. Contudo, Hauer (1997) apud AASHTO (2010) indica que o requisito para grupos de comparação no que diz respeito a tais características é secundária, sendo a comparação entre suas frequências de acidentes ao longo do tempo um fator prioritário. Harwood et al. (2002) utilizaram tanto critérios qualitativos e quantitativos para a escolha dos locais de comparação, considerando a similaridade entre ambos os locais sob aspectos como: proximidade geográfica; localização (rural/urbana); características geométricas; volume de tráfego; e características específicas pertinentes ao objeto estudado (tipo de interseção, dispositivos de sinalização, entre outros). Já Griffin e Flowers (1996) propõem um teste de compatibilidade quantitativo, buscando a similaridade na variação da quantidade de acidentes entre os locais de tratamento e de comparação durante o período estudado, através do teste de Chi-Quadrado.

Figura 16 – Síntese da abordagem *with comparison group*.

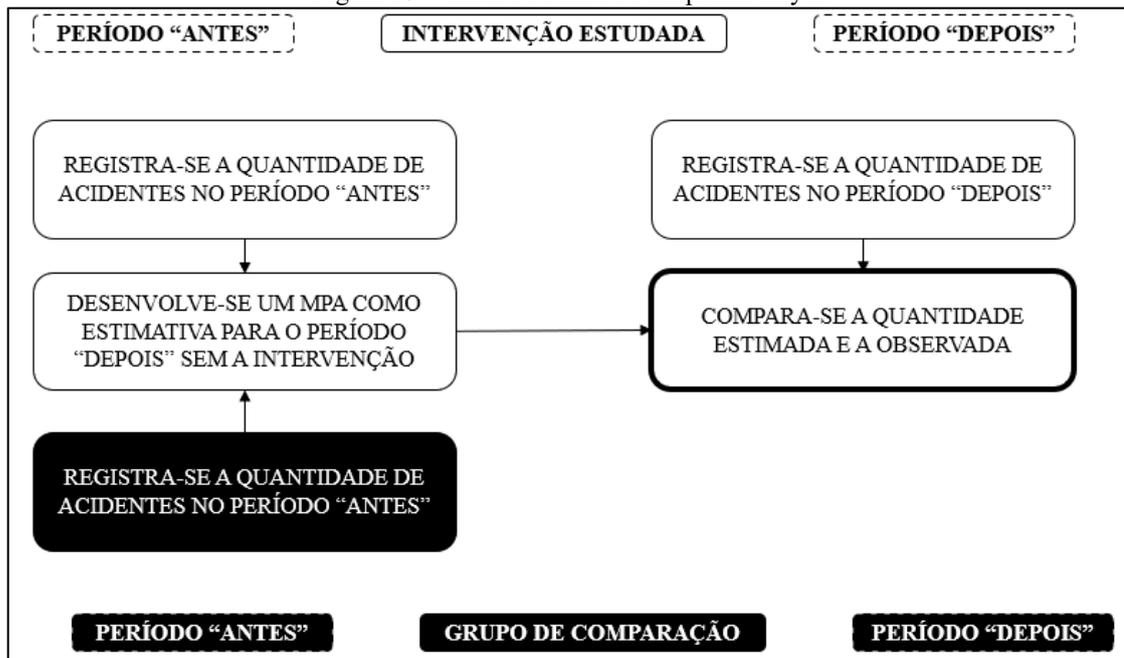


Fonte: Autor (2023).

Para considerar adequadamente o efeito da regressão à média, a abordagem *before-and-after with bayes approach* é utilizada (ver Figura 17). Ela envolve técnicas estatísticas para determinar o peso que se deve dar a cada variável na estimação da quantidade de acidentes do grupo de tratamento, como Modelos de Previsão de Acidentes (MPA). Os MPAs são modelos de regressão que explicam a relação entre a frequência de acidentes e variáveis exploratórias, como por exemplo o volume de tráfego. Nesta abordagem, a frequência de acidentes no período posterior, caso o tratamento não tivesse sido realizado, é estimado utilizando modelos desenvolvidos a partir de dados de acidentes do grupo de referência, observados no período anterior. O grupo de referência é similar ao grupo de comparação introduzido em outros métodos e, conseqüentemente, consiste em locais similares que não tenham sofrido alterações entre os períodos “antes” e “depois” (ITE, 2009).

Tal método utiliza-se da estatística bayesiana, que pode ser definida como um método estatístico de análise cujo princípio de inferência estatística difere-se da estatística clássica (ou frequentista), tendo em vista que agrega as informações previamente conhecidas do local ou de outros locais. Em outras palavras, o conhecimento anterior é formalmente incorporado para que se obtenha a melhor estimativa (AASHTO, 2010). Contudo, Ferraz et al. (2012) afirma que é comum aceitar-se as conclusões baseadas nos valores médios, desde que utilizado um período temporal de análise satisfatório.

Figura 17 – Síntese do método Empirical Bayes

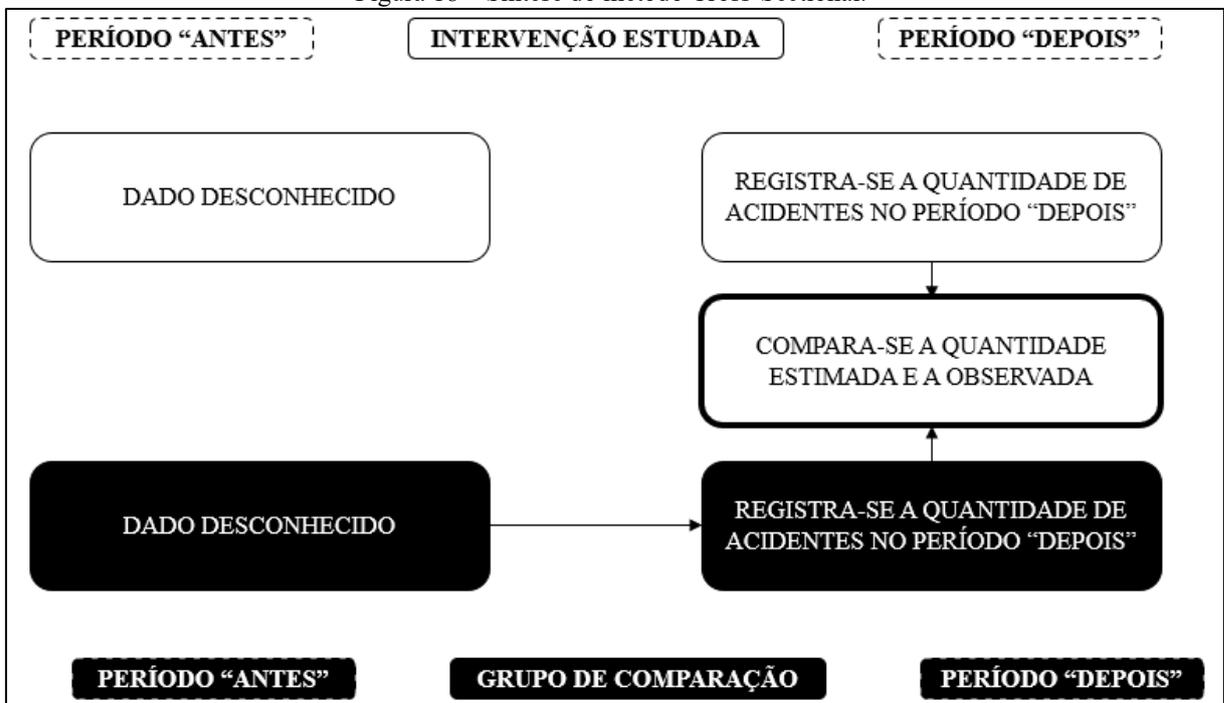


Fonte: Autor (2023).

2.1.3.1.2 Considerações complementares

Por fim, existem situações em que uma avaliação do tipo *before-and-after* não é viável, por exemplo em casos que não se possui a informação da data em que foi realizada a intervenção (logo, não se consegue determinar os períodos “antes” e “depois”), ou quando dados do período anterior à implantação do tratamento não estão disponíveis. Nestes casos, um estudo observacional do tipo *cross-sectional* pode ser aplicado. Por exemplo, caso se deseje comparar o desempenho de segurança de interseções com e sem faixas de conversão à direita e não existem exemplos de locais onde a conversão de uma configuração para a outra ocorreu, pode-se conduzir um estudo do tipo *cross-sectional* comparando ambos os locais, sendo a diferença na quantidade de acidentes atribuída à presença do elemento estudado. Contudo, existem dois aspectos negativos nesta abordagem: não há uma forma adequada de se compensar eventuais efeitos de regressão à média decorrente do procedimento de seleção do local e é difícil de se estimar relações de causa e efeito. Logo, não se tem claro se os resultados observados são decorrentes, de fato, do tratamento implantado ou devido a outras variáveis (AASHTO, 2010). A síntese do método pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 – Síntese do método Cross-Sectional.



Fonte: Autor (2023).

Tendo em vista as particularidades e dados necessários para a realização dos métodos de estudos observacionais supracitados, AASHTO (2010) apresenta um guia para a seleção do método adequado, de acordo com as informações existentes e a análise que se deseja realizar (Quadro 2):

Quadro 1 - Guia para seleção de estudos observacionais para avaliação de desempenho.

Indicador	Disponibilidade de dados					Método indicado
	Local de Tratamento		Local de Comparação			
	Dados do período "antes"	Dados do período "depois"	Dados do período "antes"	Dados do período "depois"	MPA	
Frequência de acidentes	X	X			X	<i>Before-and-after with Empirical Bayes</i>
	X	X	X	X		<i>Before-and-after with Empirical Bayes ou Before-and-after with comparison group</i>
		X		X		<i>Cross-sectional</i>
Proporção de um tipo de acidente	X	X				<i>Before-and-after with shift in proportions</i>

Fonte: Adaptado de AASHTO (2010)

É importante salientar que os estudos de avaliação de desempenho podem compreender tanto um grupo de tratamento (contemplando diversos locais onde a intervenção a ser estudada ocorreu), como apenas um local. Em Griffin e Flowers (1996), por exemplo, apresenta-se a abordagem *simple before-and-after* tanto com um local de estudo, como com diversos (*multiple*). Da mesma forma, a metodologia *before-and-after with yoked-comparison* também é apresentada em ambas as variações. Nos casos em que se utilizam diversos locais estudados, obtêm-se uma maior confiança estatística, afinal, a amostra estudada é maior, porém, nem sempre se tem à disposição mais de um local com a intervenção que se deseja estudar.

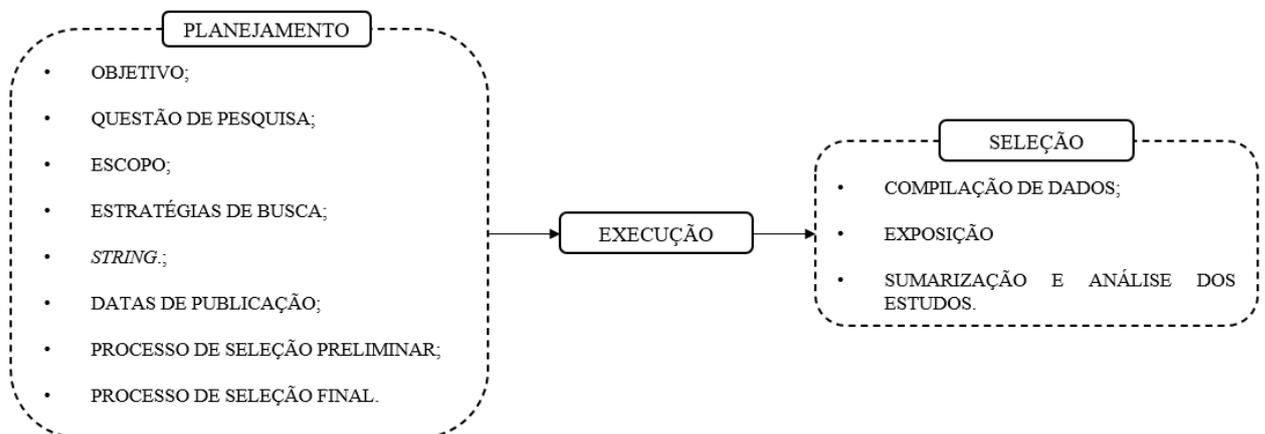
2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA

Considerando-se os objetivos desta pesquisa, entende-se como oportuna a realização de uma revisão sistemática sobre a etapa de avaliação de faixas reversíveis, especialmente devido à amplitude do conjunto de publicações que podem ser identificadas através de sucessivas buscas. Além disso, cabe destacar que tais publicações já passaram por algum tipo

de avaliação para serem publicadas, resguardando seu rigor científico e qualidade. O produto de uma revisão sistemática é justamente o corpo bibliográfico formado a partir dos resultados obtidos com a realização do protocolo de pesquisa, estando em plena aderência ao objetivo específico de identificar os métodos e indicadores utilizados para avaliação de faixas reversíveis.

A presente revisão sistemática baseou-se em uma adaptação da metodologia apresentada em Bueno (2020), que a segregava em três etapas: planejamento, execução e seleção. Neste trabalho, incorporou-se à etapa de seleção a atividade de “exposição” das publicações, conforme a Figura 19:

Figura 19 – Etapas da revisão bibliográfica conduzida.



Fonte: Autor (2022).

2.2.1 Planejamento

O planejamento da revisão sistemática passou pela definição de 8 itens, que serão elencados a seguir. O protocolo completo desta revisão sistemática encontra-se no Apêndice A.

2.2.1.1 Objetivo

A presente revisão sistemática teve como objetivo reunir os estudos de avaliação de faixas reversíveis e outras estratégias de gestão do tráfego urbano desenvolvidos internacionalmente e nacionalmente, ao longo da história da técnica, tanto no meio acadêmico, como na *grey literature*, visando a identificação das abordagens, métodos, indicadores e a forma de coleta de dados utilizados.

2.2.1.2 *Questão de pesquisa*

Alinhado ao objetivo elencado, formulou-se a seguinte questão: como tem sido desenvolvidos os estudos de avaliação de faixas reversíveis e/ou *managed lanes*?

2.2.1.3 *Escopo*

Nesta fase, foram delimitadas as categorias de análise, correspondendo as informações-chaves a serem identificadas, extraídas e analisadas das publicações:

- **Abordagem:** diz respeito ao aspecto sob o qual está sendo realizada a avaliação, sendo as mais comuns: abordagem de tráfego, segurança, econômica, ambiental e social. A abordagem deve refletir a motivação que originou a implantação da operação;
- **Método:** trata-se da metodologia ou técnica utilizada para efetuar o processo da avaliação em si. Deve contemplar as fórmulas de cálculo utilizados, bem como eventuais ferramentas necessárias;
- **Indicadores:** corresponde às variáveis utilizadas pelos autores durante a avaliação para medir o desempenho da operação, devendo estar alinhados aos objetivos e a abordagem.
- **Coleta de dados:** a forma pelo qual os autores coletaram os dados necessário para a realização da avaliação.

2.2.1.4 *Estratégias de busca*

No âmbito acadêmico, utilizou-se as seguintes bases de dados: Periódicos da CAPES, Scopus, *Science Direct*, *Web of Science*, Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações, *Network Digital Library of Theses and Dissertations* e *Open Access Theses and Dissertations*. Considerando o pioneirismo e a popularização das faixas reversíveis nos Estados Unidos, utilizou-se o portal de estudos de transporte *TRID (Transportation Research International Documentation)*, que contempla em seu acervo publicações diversas, inclusive *reports* técnicos de agências especializadas americanas, formando a denominada *grey literature*.

Além disso, foi realizado consulta junto alguns dos órgãos responsáveis por operações de reversíveis no Brasil (Companhia de Engenharia de Tráfego “CET” de São Paulo e Rio de

Janeiro, Empresa Pública de Transportes e Circulação “EPTC” de Porto Alegre, Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade “SIE” de Santa Catarina, Prefeitura de Blumenau e Prefeitura de Natal) acerca de documentos referentes às operações sob sua gestão. Por se tratar de um tema pouco explorado no Brasil, a busca foi conduzida principalmente em inglês, com o termo principal e alguns de seus sinônimos, mas também contemplou termos em português e espanhol. Além disso, optou-se por incluir um termo genérico que contempla diversas estratégias de gestão do tráfego, visando o aumento da amplitude da pesquisa. Por fim, quando possíveis, alguns mecanismos tradicionais de buscas foram adotados, como a utilização do caractere “*” para contemplar as variações dos termos, a restrição à posição das palavras-chave nos principais elementos da publicação, entre outros.

2.2.1.5 Strings de busca

Nesta fase, foram elencados os termos e suas combinações utilizados no processo de busca, destacados a seguir:

- Palavras-chave em inglês: reversible lanes; convertible lanes; tidal lanes; managed lanes; evaluation.
- Palavras-chave em português: faixas reversíveis.
- Palavras-chave em espanhol: *carriles reversibles*.
- Combinação de termos: (reversible lanes OR convertible lanes OR tidal lanes OR managed lanes AND evaluation); (faixas reversíveis); (carriles reversibles).

2.2.1.6 Datas da publicação

Tendo em vista o objetivo de reunir as formas de avaliação efetuadas em faixas reversíveis de forma geral, não foi estipulada restrição temporal quanto a data das publicações a serem selecionadas.

2.2.1.7 Processo de seleção preliminar

Inicialmente, procedeu-se com a remoção das publicações duplicadas (recuperadas em mais de uma base de dados), as não disponíveis no meio digital ou que não tivessem sido desenvolvidas nos idiomas definidos (inglês, espanhol e português). Em seguida, conclui-se a fase de seleção preliminar das publicações mediante a leitura de seus resumos, ficando à critério da análise crítica do autor a sua aderência ao objetivo da pesquisa ou não.

2.2.1.8 Processo de seleção final

Após o primeiro processo de seleção, baseado no resumo da publicação, deu-se sequência à fase final de seleção, a partir da leitura integral das publicações. De forma geral, a publicação deveria conter algum tipo de avaliação de desempenho (etapa posterior à implantação) de uma ou mais operações de faixa reversível ou demais estratégias de *managed lanes*.

2.2.2 Execução

A execução da revisão sistemática se deu entre os meses de setembro de 2022 e fevereiro de 2023, onde, de forma geral, executou-se a busca com os termos associados às faixas reversíveis (principais, sinônimos e outras idiomas) nos campos principais, como títulos, resumos ou *keywords*, e o termo referente à etapa de avaliação em quaisquer campos. Na busca em língua portuguesa e espanhola, considerando a quantidade reduzida de publicações, foram executadas buscas apenas com os termos principais (associados às operações) e sem restrições quanto à sua posição na publicação.

A bibliografia recuperada foi incorporada ao programa de gerenciamento de publicações Mendeley®, para organização do corpo bibliográfico e sua análise e verificação quanto a aderência à pesquisa.

2.2.3 Seleção

A etapa de seleção compreende três fases: a compilação das publicações, exposição daquelas selecionadas e a sumarização e análise dos resultados identificados nestas.

2.2.3.1 Compilação de Dados

A seleção das publicações foi orientada pelas premissas definidas durante a etapa de Planejamento da pesquisa, resultando na recuperação de 162 publicações. Efetuando-se a seleção preliminar (remoção de duplicadas, não disponíveis digitalmente, idiomas além dos pré-estabelecidos e análise do resumo) obteve-se 99 publicações. Nestas, efetuou-se a seleção final, através da verificação quanto à realização de avaliação de operações, com posterior leitura integral das publicações remanescentes, obtendo-se o corpo bibliográfico final de 13 publicações. Assim, observa-se que o corpo bibliográfico final representa apenas 8%, aproximadamente, da recuperação inicial obtida. Constatou-se que a utilização do termo *evaluation* era também associada à avaliação em um contexto de viabilidade, na etapa de planejamento (pré-implantação), embora em pesquisas prévias tivesse sido observada a maior utilização do termo *assessment* em tais casos. Tais estudos correspondiam, por exemplo, ao processo de avaliação entre alternativas mediante a utilização de simulação (de tráfego ou direção), ou à avaliação de modelos desenvolvidos considerando a característica dinâmica destas operações (*dynamic reversible lane control*, *dynamic lane assignment*, *dynamic pricing*, entre outros). Ainda, foram encontrados estudos que, apesar de abordar a etapa de avaliação de operações no contexto desejado de avaliação de desempenho (pós-implantação), não contemplavam a sua aplicação em um estudo de caso real, conseqüentemente, não atendendo ao escopo da pesquisa. A compilação do corpo bibliográfico final encontra-se expressa no Quadro 2:

Quadro 2 - Síntese do corpo bibliográfico utilizado

Título	Autor	Ano de Publicação	País de Origem	Base de Dados	Tipo de Publicação	Objeto Avaliado
Avaliação antes/depois: faixa reversível Av. Giovanni Gronchi e Av. Morumbi	CET-SP	1997	Brasil	Biblioteca CET-SP	Report	Faixa reversível
Empirical study on reversible lane in Beijing	Wang, Wang e Zhang	2015	China	WOS	Anais	Faixa reversível
Evaluation of reversible lanes (Nicholasville Road; Lexington, Kentucky)	Agent e Clark	1980	Estados Unidos	Per. CAPES/TRID	Report	Faixa reversível
Evaluation of first year of operation, I-45 contraflow lane, Houston	McCasland	1981	Estados Unidos	TRID	Report	Faixa Reversível

Título	Autor	Ano de Publicação	País de Origem	Base de Dados	Tipo de Publicação	Objeto Avaliado
Katy Freeway: an evaluation of a second-generation managed lanes project	Goodin et al.	2013	Estados Unidos	TRID	Report	<i>HOT Lane</i>
I-394 MnPASS Express Lane performance evaluation	Buckeye	2011	Estados Unidos	Per. CAPES	Journal	<i>HOT Lane</i>
Pesquisa "faixas reversíveis": motoristas e pedestres	CET-SP	1995	Brasil	Biblioteca CET-SP	Report	Faixa reversível
Procedimentos para implantação de faixas reversíveis urbanas	Machado	2012	Brasil	BDTD	Dissertação	Faixa reversível
Relevance of travel time reliability indicators: a managed lanes case study	Bhourri, Aron e Kauppila	2012	França	ScienceDirect	Anais	<i>HSR</i>
Reversible center-lane traffic system: directional and left-turn usage	DeRose	1966	Estados Unidos	TRID	Journal	Faixa reversível
Reversible lane operation for arterial roadways: the Washington, DC, USA experience	Dey, Ma e Aden	2011	Estados Unidos	TRID	Journal	Faixa reversível
Safety performance of High-Occupancy-Vehicle (HOV) Facilities: evaluation of HOV lane configurations in California	Jang et al.	2009	Estados Unidos	Per. CAPES	Anais	<i>HOV Lane</i>
Traffic flow at a freeway work zone with reversible median lane	Waleczek et al.	2016	Alemanha	ScienceDirect/Scopus	Journal	Faixa reversível

Fonte: Autor (2023).

2.2.3.2 Exposição dos resultados

A presente etapa corresponde à exposição do conteúdo das publicações selecionadas na revisão sistemática. Estas foram resumidas e agrupadas em dois grupos, de acordo com o objeto avaliado (faixas reversíveis ou *managed lanes*, contemplando outras estratégias de gestão de tráfego).

2.2.3.2.1 Publicações com avaliação de faixas reversíveis

Agent e Clark (1980) efetuaram uma extensa avaliação de uma via arterial na cidade de Lexington (Kentucky, Estados Unidos), cujo trecho reversível possui 4,2km de extensão. A

configuração padrão da via é 2:1:2 (duas faixas por sentido, além de uma faixa que opera em ambos os sentidos, utilizada para conversões à esquerda), convertendo-se em 3:1:1 durante os períodos de operação da reversível. O processo de avaliação contemplou variáveis de tráfego (distribuição por sentido, volume, tempo de viagem e parada, velocidade, impacto nos arredores), de segurança (acidentes, severidade, conflitos de tráfego), ambientais (consumo de combustível, poluição sonora e do ar) e econômicas (análise custo/benefício), segregadas por sentido em cada pico. A coleta de dados contou com a utilização de um tacógrafo acoplado à um veículo teste, percorrendo a via diversas vezes antes e após a implantação da reversível (para velocidade e tempo de viagem), além de contagens de tráfego (volume e distribuição veicular) e de conflitos, banco de dados de acidentes, gravações (poluição sonora) e dados paramétricos (custos referenciais, taxas de emissão veicular). Estes, aliados à dados geométricos da via, alimentaram o programa computacional denominado *Runcost*, desenvolvido pelo *Federal Highway Administration*, cujos resultados subsidiaram as análises efetuadas. Ainda, no período “depois”, além do horário real da operação vigente (7h as 9h e 16h as 18h), foi avaliada a alteração da duração da operação no pico da tarde, reduzindo e estendendo em 30 minutos a operação (16h às 17h30 e 16h às 18h30).

Do ponto de vista de volume de tráfego, avaliou-se a distribuição do tráfego por sentido antes e após a implantação da reversível, durante o pico da manhã e da tarde. Em ambos os casos, observou-se o aumento do desequilíbrio de tráfego entre sentidos. Neste aspecto, em que pese o Volume Diário Médio anual (VDMa) ter se mantido semelhante entre os períodos “antes” e “depois”, especificamente durante os períodos de pico (período de vigência da operação), observou-se o aumento do volume no sentido carregado e a redução de volume no sentido menos solicitado. A maior variação positiva ocorreu no pico da manhã, entre 7h e 7h30, perfazendo 36%, enquanto a maior redução, de 45%, ocorreu entre 8h30 e 9h. Assim, restou evidenciado que a operação acarretou o aumento de viagens no sentido mais solicitado, na redução de viagens no sentido menos carregado e, conseqüentemente, no aumento do desequilíbrio de tráfego entre sentidos.

Amostras da coleção de dados obtidos a partir dos veículos-teste acoplados com tacógrafos foram extraídas para avaliação de diversas variáveis temporais. De forma geral, dividiu-se as corridas efetuadas em períodos de 30 minutos dentro dos horários de pico (antes e depois da implantação). Calculou-se tanto o tempo total de viagem por veículo, como a variação do tempo de viagem entre períodos “antes” e “depois” por veículo (média aritmética). Em seguida, multiplicou-se tais dados pelo volume de tráfego no período, estimando-se o tempo

de viagem total (considerando todos os veículos) em ambos os períodos, e, conseqüentemente, a variação no tempo de viagem total para todos os veículos. O mesmo princípio foi utilizado para calcular, ainda, a variação tanto na quantidade de paradas por veículo, como no tempo de parada destes. Os resultados indicaram, de forma geral, reduções dos tempos e paradas no sentido carregado durante o pico da manhã (em magnitude superior aos aumentos no sentido contrário), ocorrendo o oposto durante o pico da tarde (reduções nos tempos e paradas do sentido carregado, porém em magnitude inferior aos aumentos do sentido contrário).

A lógica da comparação *before-and-after* foi também utilizada para a análise de acidentes, onde coletou-se a quantidade total de acidentes, bem como aqueles ocorridos apenas nos horários de pico, durante o período de um ano antes e um ano depois da instalação da reversível. Um aumento de 11% tanto na quantidade absoluta de acidentes, como na quantidade de acidentes durante a vigência da reversível foi identificada, o que pode indicar que a operação não foi a responsável por tal aumento. A mesma análise foi efetuada quanto a severidade, tipo e localização dos acidentes, bem como o local da residência do condutor envolvido no acidente, a fim de se comparar a dificuldade na interpretação da operação entre locais e visitantes.

A utilização do *software Runcost* forneceu também uma análise econômica da operação, através de uma análise de custo/benefício. Os custos computados compreenderam o custo de implantação e manutenção do sistema, bem como o custo devido ao aumento da quantidade de acidentes, enquanto os benefícios contemplaram o ganho financeiro oriundo da redução do tempo das viagens e de operação dos veículos (consumo de combustível, por exemplo). A razão entre ambos, custos e benefícios, do cenário correspondente a duração da operação na época foi de U\$ 6,90 (custo anual de U\$ 47.000,00, contra ganho financeiro anual de U\$ 328.640,00), sendo o principal responsável o benefício obtido com a redução no tempo de viagem dos usuários.

Outro dado coletado com o auxílio do tacógrafo foi a velocidade média desempenhada no segmento reversível, cuja comparação “antes” e “depois” aponto o aumento da velocidade média durante os picos no sentido carregado e a redução no sentido contrário. Uma validação acerca de uma orientação que indica a implantação de reversíveis quando se constata uma redução de, ao menos, 25% na velocidade média da via entre os períodos de pico (condição de congestionamento) e entropicos (condição normal) foi realizada, sendo constatada a redução de, aproximadamente 42% no pico da manhã e 28% no pico da tarde. Ainda, utilizou-se a velocidade média para estimar o nível de serviço, observando-se o nível “F” para o sentido mais carregado em ambos os períodos de pico, e “C” para o sentido menos carregado.

Para a avaliação do número de conflitos de tráfego, foram efetuadas contagens em seis cruzamentos semaforizados. Nestas, a quantidade de conflitos em ambas as aproximações da via foi computada. Houve uma leve redução da quantidade total de conflitos após a implantação, devido a redução dos conflitos referentes a congestionamentos, porém o autor informa que a metodologia utilizada considera apenas um conflito por faixa durante a fase verde do semáforo, o que limitou a quantidade de conflitos no período “depois” (durante a operação, há apenas uma faixa no sentido menos carregado).

Do ponto de vista ambiental, foram avaliados o consumo de combustível, poluição sonora e do ar. Considerando um valor referencial de consumo de combustível por veículo (fornecido pelo *Runcost*) e o volume de tráfego nos períodos “antes” e “depois”, estimou-se o consumo total de combustível em ambos os períodos, resultando em um pequeno aumento (refletindo o pequeno aumento de VDMA observado). De forma semelhante, utilizando-se de dados referenciais (taxa de emissões por veículo) existentes no *software*, bem como dos dados de velocidade, quantidade de paradas e tempo de parada oriundos do tacógrafo e ainda, do volume obtido nas contagens de tráfego, pôde-se estimar a emissão de poluentes por veículo (óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono). Os resultados indicaram uma redução na quantidade de poluentes emitidos por ano, sendo este valor equivalente a, aproximadamente, 34 toneladas. Para a avaliação da poluição sonora, foram realizadas gravações em 4 pontos da via, antes e após a implantação da operação, no mesmo horário, totalizando 8 medições de 10 minutos. Avaliou-se o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e o nível de ruído excedido em 10% do tempo de coleta (L_{10}) e, em ambos os casos, não houve variação significativa.

Por fim, o efeito da reversível nas ruas adjacentes foi avaliado, uma vez que o desempenho da operação é diretamente impactado pela migração dos usuários (de e para) às ruas paralelas. Neste sentido, o veículo-teste acoplado com tacógrafo percorreu duas vias arteriais paralelas à via com trecho reversível, antes e após a sua implementação, sendo parte das variáveis (tempo de viagem, velocidade, nível de serviço, custos) avaliadas. De forma geral, verificou-se o aumento na velocidade média e a redução no tempo de viagem, e conseqüentemente, do custo em uma delas (*Harrodsburg Road*), enquanto na *Tates Creek Pike* não foram constatadas variações significativas. Os veículos-teste percorreram, ainda, 2 rotas transversais à via reversível a fim de verificar eventuais alterações nos padrões de viagem destas rotas, o que não ocorreu. Cabe destacar que esta via foi selecionada pelo *Federal Highway Administration* (Órgão responsável pelas rodovias norte-americanas) como um projeto para

demonstrar o potencial de se aumentar a capacidade viária em rodovias existentes, sendo o estudo financiado por verbas federais, o que explica a sua extensa abrangência.

Dey et al. (2011) avaliam a Av. Connecticut, uma das 9 vias arteriais com reversíveis em Washington, D.C. (Estados Unidos), que totalizam cerca de 17 quilômetros com este tipo de operação na cidade. A sua configuração original é de 3 faixas por sentido (3:3), convertidas para 4:2 durante a vigência da operação nos horários de pico. A avaliação abordou aspectos de tráfego (capacidade viária) e segurança (acidentes, invasões e efetividade da sinalização).

Do ponto de vista de capacidade viária, foram realizadas contagens de tráfego no segmento reversível, verificando-se um Fator de Hora Pico (FHP) de 0,10, o que indica a concentração do volume de tráfego em um período específico da contagem. Além disso, avaliando-se a distribuição do tráfego entre sentidos, constatou-se que o mais carregado constitui 70% do volume total de tráfego na via. Ambos os valores estão aderentes à valores frequentemente utilizados como referência sobre o tema.

Na avaliação de segurança, utilizaram-se de um banco de dados de acidente para coletar o histórico de colisões em algumas reversíveis da cidade (*17th Street NW, Canal Road, 16th Street NW e Pennsylvania Avenue SE*) e correlacioná-los ao período de vigência destas operações, verificando-se que entre 18 e 30% dos acidentes ocorreram nos horários de funcionamento da reversível. Considerando que, no mesmo período, estas vias carregam entre 30 e 35% do volume de tráfego total, interpreta-se não haver impactos das operações na segurança das vias. Aprofundando-se a análise, selecionou-se o histórico de acidentes dos últimos seis anos da via estudada (*Connectic Avenue*) e de duas vias semelhantes (função, extensão, FHP), mas que não possuem segmentos reversíveis (*Wisconsin Avenue e Massachusetts Avenue*). Ao compararem-se os dados, verifica-se que a via com faixa reversível possui uma maior quantidade tanto de acidentes total como apenas durante o horário de pico, mesmo quando se realiza a normalização pelo volume de tráfego em cada uma. Por exemplo, a *Connecticut Avenue* possui, aproximadamente, o triplo do número de acidentes do que a *Massachusetts Avenue*, embora ela carregue apenas 40% a mais de tráfego. Analisando especificamente os tipos de acidentes, a via com reversível possui maior percentual de colisões frontais e laterais (frequentemente associadas a faixas reversíveis) do que as vias do grupo de comparação, bem como do que a média do Distrito de Columbia. O estudo contou, também, com uma avaliação específica para atestar a efetividade da sinalização existente ao longo do segmento reversível, através da verificação de violações ou invasões (veículos trafegando no sentido contrário ao permitido pela sinalização) durante o primeiro horário de vigência da

operação em ambos os períodos de pico. Foram identificados pontos (*Military Road*, na primeira hora do pico da tarde) em que até 6,7% dos usuários invadiam o sentido contrário. Por fim, os autores correlacionaram o percentual de utilização da faixa reversível (em relação às faixas convencionais adjacentes), obtido através de gravações em vídeo, com a taxa de violações. Constatou-se que no período de pico da tarde, quando as taxas de violação eram maiores, a taxa de utilização da reversível era menor, ocorrendo o oposto durante o pico da manhã, o que indica que os condutores estavam cientes dos padrões de comportamento dos demais usuários.

Waleczek et al. (2016) avaliaram a utilização de uma faixa reversível central em um segmento rodoviário em obras, conectando as cidades de Frankfurt e Wuerzburg (Alemanha). Em sua configuração normal, a rodovia opera com três faixas por sentido (3:3), além do uso temporário do acostamento (*HSR*). Durante a execução de serviços de pavimentação, implantou-se um canteiro de obras de 7km de comprimento no centro da pista, realocando-se as faixas provisoriamente para uma configuração com três faixas por sentido e uma faixa reversível central (3:1:3), conforme a Figura 20:

Figura 20 – Faixa reversível disponível (a) e indisponível (b) em zona de obras viárias em Frankfurt (Alemanha).



Fonte: Waleczek et al. (2016)

A operação contou com um estudo dos efeitos da operação no fluxo de tráfego, utilizando-se de dados de gravações em vídeo, radares e laços indutivos, bem como na segurança viária, utilizando-se de dados de acidentes registrados anteriormente e durante a operação e ainda, econômica, através de custos referenciais.

Objetivando avaliar o comportamento dos usuários em relação a faixa reversível, primeiramente, por meio das imagens oriundas das gravações, foram contados os movimentos de conversão entre a faixa reversível e suas faixas adjacentes durante 5 horas do período de pico, conforme a distância do início da operação. Esta informação impacta o desempenho da operação tanto no aspecto de tráfego, como de segurança. Como resultado, os autores aferiram

uma maior concentração de conversões nos segmentos mais próximos ao início da operação. Em seguida, foram comparados os dados de volume e velocidade (obtidos com a instalação de radares em um viaduto transversal à rodovia) na faixa reversível e em uma faixa convencional adjacente, operando no sentido contrário, a fim de observar se um eventual sentimento de desconfiança por parte dos usuários impactaria no padrão de utilização da reversível. Os dados obtidos com os radares revelaram um fluxo máximo de 1500 veículos por hora na faixa reversível (o que se mostrou comparável à faixa convencional). Por outro lado, mais de 90% das medições de velocidade na faixa reversível foram inferiores ao limite de velocidade da via (80 km/h). Embora os autores não tenham explicitado esta medida para a via de comparação, pode-se visualizar em um dos gráficos apresentados que, na média, a velocidade praticada na reversível foi inferior àquela na via convencional.

Para a avaliação de segurança, os autores coletaram dados de acidentes de 19 meses antes da implantação do início da operação e compararam com o período de vigência do canteiro de obras. Considerando a diferença entre os períodos, a comparação se deu pela taxa de acidentes (medida em acidentes por veículo por quilômetro), bem os custos de tais acidentes (dados referenciais). Primeiramente, os autores verificaram que os dados coletados no período de referência (anteriormente à operação) eram, de fato, comparáveis aos reportados em outras rodovias alemãs. Então, após a comparação com o período de vigência da operação, observou-se um aumento de 3 a 4 vezes na taxa de acidentes, o que, de acordo com os autores, é um valor comumente observado em segmentos viários em obras. Em uma análise posterior, foi identificado uma diferença significativa entre a taxa de acidentes durante períodos com e sem congestionamentos no início da seção com obras (neste estudo, considerado quando a velocidade praticada era inferior a 70km/h), sendo esta diferença de, aproximadamente, 3 vezes maior quando da ocorrência de congestionamentos. Por fim, avaliou-se a distribuição espacial dos acidentes, observou-se um agrupamento de acidentes no início da operação, em ambos os sentidos, mas segundo os autores, trata-se novamente de algo frequentemente observado em seções com obras, independentemente da configuração viária. Em análise detalhada dos relatórios policiais, constatou-se que apenas 10% dos acidentes ocorridos poderiam ser associados à faixa reversível.

Por fim, os autores efetuaram, ainda, uma avaliação econômica, atestando o benefício obtido com a implantação da faixa reversível central. Por meio da comparação da configuração viária utilizada com uma configuração convencional (sem a utilização da faixa reversível, resultando na perda de uma faixa por sentido durante o período de obras), o indicador utilizado

foi o custo do tempo perdido pelos condutores. Utilizando-se de um *software* de macrossimulação dos *inputs* de tráfego e capacidade teórica estimada, estimou-se um benefício de, aproximadamente, 6 milhões de euros em um ano.

Em DeRose (1966) a avaliação de uma faixa reversível central, implantada na porção urbana de uma rodovia federal em Dearborn, Michigan, foi realizada. Neste segmento, a configuração da rodovia consistia em 3 faixas (com 3 metros de largura cada) por sentido, desprovida de canteiro central. Algumas condições operacionais do segmento envolviam a proibição do estacionamento durante o período de pico no sentido de maior volume e a permissão dos movimentos de conversões à esquerda, com exceção daquelas em interseções semaforizadas. Contudo, fora identificado pelo Departamento de Rodovias Estaduais do Michigan (*Michigan Department of State Highways*) uma taxa de acidentes maior do que a média na região, além da ocorrência recorrente de congestionamentos. Assim, tomou-se a decisão de reduzir a quantidade de faixas e alargá-las, reconfigurando o sistema viário para 5 faixas (com 3,65 metros de largura cada) dedicadas ao tráfego, tendo sido promovida a proibição de estacionamento. Na faixa central, foi estabelecida uma operação de faixa reversível com períodos definidos (6h as 9h no sentido Oeste-Leste e 15h as 18h no Leste-Oeste), sendo esta utilizada para conversões à esquerda no período remanescente. A alteração da via pode ser observada na Figura 21:

Figura 21 – Faixa reversível central em Dearborn, Michigan.



Fonte: DeRose (1966).

A avaliação efetuada pelo autor se restringiu ao período de vigência da reversível (horários de pico) e contemplou, entre outros aspectos específicos, os seguintes indicadores: volume de tráfego, tempo de viagem, velocidade e acidentes. Para subsidiar a avaliação de tráfego, foram realizadas contagens veiculares (de 24 horas, a cada 15 minutos) em três datas distintas, nos 5 pontos de contagem definidos. Estas, consistiam no período anterior (14/08/1963) e posterior (02/10/1963, e novamente entre 25 e 27/01/1965) à implantação (a segunda contagem no período posterior se deu em virtude de modificações efetuadas no sistema de sinalização da via). A base de comparação utilizada pelo autor considerou os 15, 60 e 120 minutos mais carregados nos três períodos, sendo constatado, de forma geral, um leve aumento no volume de tráfego (máximo de 12,1%). Ainda quanto ao volume, uma análise interessante efetuada pelo autor diz respeito ao tempo necessário, nos períodos “depois”, para a passagem do tráfego equivalente ao pico de 2 horas no período “antes”, dando uma medida do ganho de capacidade obtida com a operação. Com exceção de uma contagem (terceiro ponto, primeiro período “depois”, sentido Leste-Oeste), as demais verificações indicaram a redução do tempo (mínimo de 1 hora e 34 minutos).

Os tempos de viagem foram coletados com veículos teste, novamente, em três períodos: agosto de 1963 para o período anterior à operação, dezembro de 1963 e março de 1964 para o período posterior. Embora não mencionado pelo autor, infere-se que a coleta do dado de velocidade tenha se dado a partir de um tacógrafo. A comparação do tempo médio de viagem entre os períodos indicou a redução de tempo de viagem durante os horários de pico (até 20%). De forma semelhante, comparou-se a velocidade média desempenhada, sendo observado o seu aumento em até 23,8%.

A avaliação de acidentes contemplou o último ano anterior à implantação, bem como os dois primeiros anos posteriores (novamente, em função das intervenções realizadas no primeiro ano da operação). Foram comparadas a quantidade total de acidentes, bem como a sua distribuição por tipo, tanto no horário de pico, como no período sem a operacionalização da reversível. A quantidade total de acidentes passou de 345 no período anterior para 279 no segundo ano após a implantação (redução de aproximadamente 20%), enquanto restringindo-se à apenas os horários de pico, não se verificou alteração significativa. Algo que deve-se destacar é que um dos motivos para a implantação da operação no local foi a alta taxa de acidentes, em comparação à média da região, logo, a redução da quantidade total de acidentes pode ter sido influenciada por um efeito não computado de regressão à média.

Por fim, o autor efetua ainda avaliação complementar quanto ao controle das conversões à esquerda (a fim de se verificar a efetividade da sinalização específica implantada), bem como a análise da disponibilidade de estacionamentos na região, tendo em vista a sua proibição após a implantação da reversível.

Em CET-SP (1995), a Companhia de Engenharia de Tráfego do município, após ter constatado a dificuldade de compreensão de operações de reversíveis por motoristas e pedestres, realizou entrevistas com usuários (condutores e pedestres). Os condutores foram entrevistados em 5 diferentes vias com reversíveis, conforme a sua parada no semáforo, enquanto os pedestres foram abordados aleatoriamente junto à 3 pontos de travessias. As informações foram coletadas por meio de formulários estruturados e pré-testados, sendo realizada a distinção entre os usuários frequentes ou esporádicos e contemplando um total de 625 condutores e 382 pedestres. Entre os questionamentos presentes nos formulários, constavam: frequência de viagens na via, opinião sobre o trânsito após implantação da reversível, opinião sobre o horário de funcionamento da operação e opinião sobre a implantação em outros locais para os condutores; frequência de travessia na via, opinião sobre a travessia na via e um espaço para sugestões dos pedestres.

De forma geral, verificou-se que a operação era mais bem avaliada pelos condutores (de 54,2% a 87,4% dos condutores frequentes afirmando a melhora do tráfego após a implantação da reversível) do que pelos pedestres (23% a 67,2% dos pedestres frequentes afirmando a melhora na travessia). As respostas quanto ao horário de funcionamento das operações, por parte dos condutores, foram variadas entre a sua prorrogação e manutenção. Observou-se, no entanto, que apenas a minoria respondeu pela redução do horário. De forma semelhante, apesar de os entrevistados se mostrarem divididos quanto a implantação de reversíveis em outros locais, em apenas um dos cinco pontos de entrevista foi registrada uma maior parcela de condutores opinando em desfavor da implantação de novas operações.

Ainda, a CET-SP (1997) efetuou a avaliação de duas operações implantadas em vias urbanas em São Paulo (Av. Giovanni Gronchi e Av. Morumbi), em 03/03/1997. Ambas são operacionalizadas apenas durante o período de pico da manhã (6h30 as 9h30) e correspondem a reversão de uma faixa originalmente alocada para o sentido centro – bairro, resultando em 3 faixas em direção ao centro, e apenas 1 no sentido contrário.

Foram avaliados três indicadores (tempo de viagem, volume de tráfego e comprimento de fila), sendo efetuadas dois tipos de comparação “antes e depois”: a média dos dados coletados em ambos os períodos e a comparação do mesmo dia da semana antes e após a

implantação da operação. O período anterior à implantação contemplou quatro dias (19, 20, 21 e 24/02/1997) e o posterior, dois dias (04 e 05/03/1997).

A coleta do tempo de viagem foi realizada com um veículo-teste, com o motorista contabilizando o tempo decorrido na viagem em cada segmento pré-estabelecido da via. Para o volume de tráfego, foram efetuadas contagens classificatórias manuais *in loco* de 15 em 15 minutos, entre as 7h e às 10h. Por fim, a extensão de fila foi contabilizada pela maior fila existente, a cada 5 minutos, por faixa, a cada ciclo semafórico.

Como resultados, os autores identificaram a redução média de 20% e 12% do tempo de viagem no sentido favorecido, frente ao aumento de 63% e 124% no sentido revertido para as operações das Av. Giovani Gronchi e Morumbi, respectivamente. Quanto ao volume de tráfego, observou-se aumento significativo apenas na operação da Av. Morumbi (83%) e, para a extensão de fila, os resultados variaram entre o aumento de 9% na operação da Av. Giovani Gronchi, enquanto na Av. Morumbi, identificou-se a redução de 34% no sentido favorecido, frente ao expressivo aumento de 331% no sentido prejudicado. Por fim, os autores informaram que a comparação “antes e depois” se utilizando do mesmo dia da semana levou a resultados semelhantes.

No trabalho desenvolvido por Machado (2012), criou-se um procedimento para a implantação de reversíveis urbanas no Brasil, baseado na literatura, contemplando etapas prévias e posteriores à implantação. Ainda na parte de planejamento, o autor menciona a importância de se estabelecer uma meta, que será utilizada como referência do benefício esperado após o início da operação. A aplicação do procedimento se dá por meio do estudo de caso de uma reversível na cidade do Rio de Janeiro, localizada na Rua Humaitá (configuração de reversível em 4:2).

Na etapa de avaliação, o autor recorre a dados do tempo de viagem antes e após a implantação da operação, de autoria da Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET/RJ). Além da avaliação da operação no sentido da via favorecido pela reversão, esta foi efetuada, também, em outros dois grupos (sentido desfavorecido e via paralela). Como resultados, identificou-se a redução de 5 minutos e 45 segundos no tempo de viagem, correspondendo a um aumento da velocidade média de 9,78km/h no sentido principal. Já no sentido contrário e na via paralela, identificou-se o aumento no tempo de viagem de 45 segundos e 3 minutos e 20 segundos, respectivamente. Complementarmente, em investigação de campo, o autor realizou contagens de tráfego a fim de se aferir o desequilíbrio direcional da via, indicando a proporção de 55% – 45%. Por fim, ao multiplicar-se o volume de tráfego de

cada movimento pela variação no tempo médio de viagem, estimou-se o ganho ou atraso total observado para cada grupo.

Wang et al. (2015) avaliaram uma faixa reversível urbana existente em Pequim, na China. A operação possui extensão de 2,3km e, em sua configuração original, conta com 2 faixas por sentido (2:2), alternando-se, durante a operação, para uma via com 3 faixas em um sentido e uma via com 1 faixa no outro (3:1). Foram realizadas contagens de tráfego e estabelecidos os fatores de hora-pico na operação existente em ambos os sentidos da via durante o período da manhã (entre 8h e 9h) e da tarde (18h a 19h), sendo tais dados utilizados para calcular o desequilíbrio direcional do tráfego (45 – 55 % no pico da manhã e 66 – 34 % no pico da tarde), bem como modelar a operação existente em um *software* de microssimulação de tráfego. Em seguida, os autores utilizaram-se do simulador para comparar a situação modelada (após a implantação), com a situação anterior (pré-implantação da reversível), sendo reportado o aumento de 23,5% na capacidade, 7,5% na velocidade média e a redução de 15,25% no atraso por veículo no sentido favorecido pela reversão. Cumpre esclarecer que a publicação não traz informações quanto à calibração e validação do modelo simulado, tampouco sobre a existência de um modelo adequado à realidade anterior à implantação da reversível. Assim, não se identifica com clareza a forma com que foram obtidos os dados anteriores à operação utilizados na comparação “antes e depois”.

McCasland (1981) apresenta a avaliação de uma operação de *contraflow lane*, com extensão de aproximadamente 15,3km, implantada no centro da rodovia *I-45 North Freeway* em Houston (Estados Unidos), suprimindo uma das faixas de tráfego do sentido menos carregado. Esta, possui restrição de acesso à ônibus e vans (enquadrando-se como uma *High-Occupancy Vehicle Lane*) e opera durante os horários de pico.

A avaliação baseia-se no monitoramento dos dados da operação ao longo de seus primeiros 12 meses, bem como da comparação, em alguns casos, entre períodos “antes e depois” da implantação da operação, contemplando as abordagens de tráfego (utilização da operação, tempo de viagem, nível de serviço, rotas alternativas), econômica (custo operacional), ambiental (consumo de combustível, emissão veicular) e de segurança (acidentes, quantidade de violações, panes).

Entre suas principais conclusões estão: o aumento da utilização da operação ao longo dos primeiros 12 meses; a redução do tempo total de viagem para os usuários no corredor (844 horas de usuários por dia, que corresponde a uma redução 1197 no sentido da *contraflow lane*

e um aumento de 353 no sentido contrário); redução de custos operacionais de veículos de 394 mil dólares por ano, bem como de consumo de combustível e emissão de poluentes

2.2.3.2.2 Publicações com avaliação de *managed lanes* (demais estratégias)

Buckeye (2012) avaliou uma *High Occupancy Toll (HOT) Lane* que fora convertida de uma *High Occupancy Vehicle (HOV) Lane* com desempenho abaixo do esperado. A via possui cerca de 13 quilômetros de extensão, com 3 faixas por sentido, sendo 1 delas pedagiada e as outras 2 de tráfego convencional. A estratégia foi a de permitir que veículos com apenas um ocupante, utilizem a via segregada mediante o pagamento de uma tarifa dinâmica (preço variável de acordo com a demanda, conforme Figura 22, além de manter a utilização gratuita por veículos com alta ocupação.

Figura 22 – *HOT Lane* no Minnesota (Estados Unidos).



Fonte: Buckeye (2011).

A avaliação foi realizada sob três abordagens principais: o desempenho da via (confiabilidade da velocidade, tempo de viagem e volume de tráfego), a operação do pedágio (número de transações, instalações de *tags* e geração de renda), e de satisfação dos usuários (valor atribuído pelos usuários à operação e identificação de problemas). Destaca-se que a avaliação da operação do pedágio, por se tratar de componente específico da estratégia de *HOT Lanes*, não tendo relação com a operação de reversíveis, não será abordada.

Do ponto de vista de tráfego, foi estabelecida, no planejamento da operação, a meta de se manter nível de serviço não inferior a “C” na via pedagiada, o que corresponde à velocidade média dos veículos de, aproximadamente, 85km/h. Verificando-se esta variável durante o pico da manhã, constatou-se velocidade média de 100km/h, aproximadamente, enquanto nas faixas convencionais, a velocidade média observada foi de 83km/h, aproximadamente. Além da velocidade média, outra variável avaliada foi o tempo de viagem médio. Foi observado que a viagem na via pedagiada é, em média, de 3 a 4 minutos mais curta em comparação as faixas convencionais. Contudo, considerando a variabilidade ocasionada por eventos (condições climáticas e acidentes, por exemplo), este valor pode chegar a 11 minutos, aproximadamente. Ainda, comparou-se a quantidade de veículos, por tipo, e de pessoas transportadas em 2004, o último ano antes da conversão e em 2010. Observou-se um aumento de, aproximadamente, 48% e 25% na quantidade total de veículos e pessoas transportadas, respectivamente. Embora a quantidade de veículos fornecendo caronas tenha diminuído em 17%, o autor informa que se tratou de um fenômeno nacional e que este percentual foi inferior ao observado em uma rodovia utilizada como ponto de controle.

Quanto à satisfação do cliente, a avaliação foi feita através de uma pesquisa *online*, contando com perguntas acerca da experiência dos usuários no que diz respeito ao valor cobrado e o desempenho da via. Como incentivo à participação da pesquisa, os usuários que a completassem eram premiados com um desconto de U\$10,00 no pedágio. Embora a pesquisa também se refira a condições específicas de *HOT Lanes*, a utilização desta ferramenta para a avaliação de reversíveis é uma possibilidade. Assim, os resultados obtidos indicaram, de forma geral, satisfação quanto à operação, com mais de 90% dos usuários concordarem sobre estarem satisfeitos com suas experiências, e 80% concordarem que a operação está condizente com o valor pago para sua utilização. Outra vertente da pesquisa instigou os usuários a citarem quais são os melhores e piores aspectos da sua experiência na operação. Entre os aspectos positivos, o mais citado foi a redução do tempo de viagem (63%), enquanto entre os negativos, o valor pago e o fato usuários entrarem nas vias em locais não permitidos tiveram votação significativa (22% cada).

Em uma abordagem um pouco distinta, Bhourri et al. (2012), visando trazer o conceito da qualidade do serviço prestado, estudam a utilização de indicadores de confiabilidade na avaliação de *managed lanes*, através de um estudo de caso em uma operação de abertura do acostamento ao tráfego (*Hard Shoulder Running*) em Paris, na França. O segmento viário avaliado consiste no entrelaçamento gerado com a união de 2 rodovias, com 2 e 3 faixas de

tráfego respectivamente, convergindo para uma seção com 4 faixas convencionais. Em 2005, iniciou-se a operação de abertura da faixa do acostamento mediante o atingimento de critérios pré-estabelecidos, visando o acréscimo da capacidade viária, em adição às 4 faixas convencionais.

Através de laços indutivos (3 no sentido leste e 4 no sentido oeste), os autores coletaram dados do tempo de viagem nos anos 2000 a 2002 (antes do início da operação) e 2006 (após o início da operação). Para cada período de 6 minutos com coleta de dados no ano de 2006, foi associado um par correspondente nos anos anteriores, tendo os autores, nesta publicação, considerado apenas os pares de dados de 2002 e 2006 do sentido leste (53574 pares). Os indicadores de confiabilidade utilizados na avaliação foram o Tempo de Viagem, o Tempo Extra (*Buffer Index*, correspondente ao tempo adicional que deve ser acrescido pelo usuário ao tempo médio de viagem para chegar ao seu destino com 95% de confiança, computado pela diferença entre o 95º percentil e o tempo médio de viagem), o Tempo Planejado (*Planning Time Index*, correspondente ao tempo total necessário que deve ser planejado pelo usuário para se chegar no destino com 95% de confiança, computado pela razão entre o 95º percentil e o tempo de viagem em fluxo livre), além de duas características da distribuição dos dados coletados (Assimetria e Amplitude). Comparando-se os períodos de vigência da operação com seus correspondentes no período anterior à operação, foi constatado uma redução geral dos indicadores (5 a 35%). Uma consideração importante levantada pelos autores é que houve, em 2003, uma campanha nacional de segurança viária no país, estimulando a redução da velocidade praticada, o que poderia impactar no resultado da comparação entre os períodos “antes” e “depois” (*confounding factor*).

Jang et al. (2009) compararam dois tipos de *HOV Lanes* (acesso contínuo e limitado), a fim de se verificar a relação destas configurações com a segurança das operações. Para tal, foram coletados dados do sistema *Traffic Accident Surveillance and Analysis System (TASAS)* entre os anos de 1999 e 2003, em 8 corredores viários totalizando, aproximadamente, 1320 quilômetros deste tipo de operações em rodovias na Califórnia (Estados Unidos). Considerando que as *HOV Lanes* de acesso contínuo operam apenas durante o horário de pico (segunda a sexta-feira, entre 5h e 9h e 15h as 19h), a coleta de dados para comparação se limitou a este período.

Os autores esclarecem que a seleção dos locais utilizados na análise foi realizada com base na recomendação do órgão rodoviário estadual, tendo em vista a similaridade do tráfego, informações geométricas detalhadas e disponibilidade do volume de tráfego por faixa. O

principal indicador utilizado foi a taxa de colisões (correspondente a quantidade total de colisões durante o horário de pico, dividida pelo produto entre volume de tráfego do período e a extensão do segmento viário), segregando-o em acidentes com danos apenas materiais (*Property Damaged Only*) e acidentes com vítimas (fatais e não fatais), tanto para a *HOV Lane*, como para a sua faixa adjacente. A taxa de colisões foi então associada à dados geométricos (largura do acostamento e largura total da pista) e espaciais (análise dos pontos com maior concentração de acidentes, análise de acidentes nos pontos de ingresso e saída).

Após a realização de um teste estatístico, verificou-se que apenas a diferença entre a taxa de colisões nas faixas adjacentes de operações com acesso contínuo e restrito não eram estatisticamente significativas, com 95% de confiança. Em resumo, verificou-se que as operações com acesso limitado demonstram maiores taxas de colisões com e sem vítimas do que aquelas com acesso contínuo. Nas faixas adjacentes, a taxa de colisões sem vítimas foi menor nas operações de acesso contínuo, enquanto a taxa com vítimas foi maior (embora não estatisticamente significante). Na associação aos elementos geométricos, observou-se a diminuição da taxa de colisões conforme o aumento da largura do acostamento em ambas as configurações avaliadas. De forma semelhante observou-se, em ambos os casos, que o aumento da largura total da via (compreendendo o acostamento, a faixa e o *buffer*) está associado à redução da taxa de colisões. Do ponto de vista espacial, observou-se a concordância do pico de concentração de acidentes em *HOV Lanes* de acesso contínuo e a sua faixa adjacente, indicando que a causa da ocorrência destes acidentes influencia a faixa adjacente, não ocorrendo o mesmo para as operações de acesso limitado. Por fim, não se constatou relação entre a taxa de colisões nos pontos de ingresso e saída da operação e a sua proximidade com acessos.

Curiosamente, em Goodin et al. (2013) o objeto avaliado é a evolução da operação apresentada em Mccasland (1981). Diversas operações americanas passaram de *HOV Lanes* para *High-Occupancy Toll Lanes*, passando a permitir o ingresso de veículos individuais mediante ao pagamento de tarifa. Esta extensa avaliação abordou desde aspectos convencionais, como tráfego e segurança, até aspectos particulares deste tipo de operação (cobrança e tarifação) e aspectos específicos (utilização de recursos humanos, regulação, manutenção, entre outros). Do ponto de vista de tráfego, os indicadores avaliados foram volume de tráfego, tempo de viagem e utilização de transporte público (considerando tratar-se de uma operação com certa prioridade ao transporte público), enquanto em segurança, considerou-se, principalmente, a quantidade de acidentes total, por tipo de acidente e a severidade destes.

De forma geral, a avaliação baseia-se em um estudo do tipo “antes e depois”, sendo o período de implantação compreendido como o ano de 2009, onde a operação foi convertida em uma *HOT Lane*. Contudo, os autores destacam que, neste processo, diversas alterações ocorreram. Além da implantação do sistema de tarifação, houve alteração no critério para considerar veículos com alta ocupação (redução de 3 para 2 usuários, no mínimo), no elemento de separação entre a operação e as faixas convencionais (de barreira rígida para demarcações viárias com balizadores, ou *pylon buffer*) e até mesmo na quantidade de faixas dentro da *managed lane*, passando de 1 faixa reversível para 2 faixas dedicadas por sentido (conforme Figura 23). Assim, em alguns casos, foram efetuadas comparações apenas no período “depois” entre as *managed lanes* e as faixas convencionais.

Figura 23 – Ilustração da operação denominada *The Katy Freeway Managed Lanes*.



Fonte: Goodin et al. (2013)

Quanto à forma de coleta de dados, a operação conta, em seu programa de monitoração, com contagens trimestrais manuais e automatizadas (laços indutores) desde 1984, fornecendo o volume de tráfego. As contagens manuais são realizadas durante os horários de pico, enquanto as automáticas efetuam a contagem durante 7 dias. Já os dados relativos aos tempos de viagem são coletados a partir da tecnologia *Automated Vehicle Identifier (AVI)*, comumente empregada em rodovias pedagiadas com a utilização de *tags*). Foram instalados antenas e leitores de *AVI* ao longo da rodovia, permitindo a identificação do tempo em que o veículo passou pelo local. Estas informações alimentam um *software* central que calcula o

tempo de viagem e velocidade média no segmento. Por fim, informações relativas à segurança da operação, como os dados de acidentes (total, vítimas fatais, tipos de acidente, entre outros), foram obtidas em banco de dados dos órgãos responsáveis pela operação.

Como resultados, os autores identificaram um aumento expressivo (aproximadamente 100%) no volume de tráfego médio diário após o início de operação da *HOT Lane*, sendo justamente os usuários das *Toll Lane* os principais responsáveis por tal aumento, enquanto o tempo de viagem médio em ambos os períodos de pico se mostrou menor na *HOT Lane* em comparação às faixas convencionais (5 minutos no pico da manhã e 14 minutos no período da tarde). Do ponto de vista dos acidentes, observou-se uma redução da quantidade de acidentes no corredor como um todo, sendo mantidos os padrões de acidentes (proporção entre os tipos). Quando comparadas apenas as operações especiais (antiga *HOV Lane* e atual *HOT Lane*), observou-se a manutenção da frequência e padrão de acidentes, apesar de todas as variações geométricas e operacionais que ocorreram ao longo do processo. Neste sentido, os autores efetuaram a normalização da quantidade de acidentes pelo volume de tráfego, mas registraram alguns outros fatores que podem impactar a avaliação (*confounding factors*): alteração no procedimento e informações registradas no boletim de acidentes e políticas nacionais de redução de severidade de acidentes.

2.2.3.3 Sumarização e análise dos dados

Nesta fase, as publicações selecionadas foram sumarizadas e analisadas. Preliminarmente, foram efetuadas análises de cunho bibliométrico junto ao corpo bibliográfico final, a fim de se identificar a distribuição temporal, geográfica, o tipo de publicação, base de dados de origem e estratégia objeto da publicação. Em seguida, realizou-se a análise principal, onde foram extraídas as informações necessárias para o atendimento ao objetivo e questão da pesquisa, referentes a forma com que os estudos de avaliação de faixas reversíveis e demais operações foram realizados.

2.2.3.3.1 Análise preliminar

Primeiramente, quanto ao ano de publicação, base de dados de origem e tipo de publicação, o corpo bibliográfico final encontra-se distribuído da seguinte forma (Tabela 1):

Tabela 1 – Distribuição do corpo bibliográfico conforme o ano, tipo e base de dados da publicação.

Ano/ Base de Dados (Tipo de Publicação)	BDTD		CAPES		Science Direct	Scopus	TRID		WOS	Biblioteca CET-SP
	Dissertação	Anais	Journal	Anais	Journal	Journal	Report	Anais	Report	
1966	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2009	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2012	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2016	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Total n (%)	1 (7,7%)	2 (15,4%)		1 (7,7%)	1 (7,7%)	5 (38,5%)	1 (7,7%)	2 (15,3%)		

Fonte: Autor (2023).

Assim, observa-se que a base de dados com maior quantidade de publicações recuperadas e incorporadas à bibliografia final foi a *TRID*, com aproximadamente 38,5%. Isto se explica pela predominância de publicações do tipo *reports* (38,5%) realizados por órgãos rodoviários, indicando que, mesmo em nível internacional, existe um percentual importante de *grey literature* em relação às publicações estritamente acadêmicas. O ano das publicações contempladas na pesquisa variou entre 1966 e 2016, sendo a década entre os anos 2011 e 2020 aquela com maior quantidade de publicações (53,8%). Além disso, considerando a inclusão do termo *managed lane* nas buscas, segregou-se as publicações quanto ao objeto estudado (faixas reversíveis ou demais estratégias de *managed lanes*), bem como o seu país de origem, resultando na distribuição expressa na Tabela 2:

Tabela 2 – Distribuição do corpo bibliográfico conforme país de origem e objeto da publicação.

País de Origem/Objeto	Faixa Reversível	Total	<i>Managed Lane</i>		
			<i>HOV Lane</i>	<i>HOT Lane</i>	<i>HSR</i>
Alemanha	1	0	0	0	0
Brasil	3	0	0	0	0
China	1	0	0	0	0
Estados Unidos	3	4	2	2	0
França	0	1	0	0	1
Total n (%)	8 (61,5%)	5 (38,5%)	1	2	1

Fonte: Autor (2023).

A quantidade de publicações referentes a operações de faixas reversíveis perfaz 61,5% do total, sendo que, dentre as demais estratégias de *managed lanes*, aquelas identificadas com maior frequência foram as *HOV* e *HOT lanes*. Conforme esperado pelo pioneirismo nestes tipos de estratégia, o Estados Unidos foi o país com a maior quantidade de publicações em ambos os casos (faixas reversíveis e demais tipos de *managed lanes*).

2.2.3.3.2 Análise principal

Embasado nos conhecimentos obtidos na revisão narrativa sobre o tema e conforme definido no escopo da pesquisa, foram consideradas 4 categorias de análise correspondentes à “forma” de avaliação, a saber: abordagem; indicadores; método e forma de coleta de dados. Tais informações foram extraídas do corpo bibliográfico final recuperado, resultando na matriz de sumarização indicada no Quadro 3.

Quadro 3 – Matriz de sumarização das publicações, conforme as categorias de análise.

Publicação	Resumo	Abordagem	Indicador (Macro)	Método	Coleta de Dados
Agent e Clark (1980)	Avaliação de faixa reversível em via arterial no Kentucky (Estados Unidos)	Tráfego, Segurança, Econômica e Ambiental	Distribuição de Tráfego, Volume de Tráfego, Tempo de Viagem, Quantidade de Paradas, Tempo de Parada, Quantidade de Acidentes, Severidade, Tipo de Acidente, Localização do Acidente, Residência do Condutor, Custo/Benefício, Velocidade Média, Nível de Serviço, Número de Conflitos, Consumo de Combustível, Emissão de Poluentes, Poluição Sonora, Efeito nas Adjacências	Comparação antes e depois	Veículo-teste com tacógrafo, contagem de tráfego, contagem de conflitos, banco de dados de acidentes, dados paramétricos, gravação sonora, <i>software Runcost</i>

Publicação	Resumo	Abordagem	Indicador (Macro)	Método	Coleta de Dados
Bhouri, Aron e Kauppila (2012)	Avaliação da utilização de acostamento (<i>HSR</i>) na França	Tráfego (Confiabilidade)	Tempo de Viagem Médio, <i>Buffer Index</i> , <i>Planning Time Index</i> , Assimetria e Amplitude da distribuição	Comparação antes e depois	Contagem de tráfego (laços indutivos)
Buckeye (2011)	Avaliação de uma <i>HOT Lane</i> convertida a partir de uma <i>HOV Lane</i> em Minnessota (Estados Unidos)	Tráfego e satisfação do cliente	Velocidade média, tempo de viagem, valor atribuído e aspectos positivos e negativos	Comparação com vias adjacentes, comparação com vias de controle, comparação antes e depois	Pesquisa <i>online</i>
CET-SP (1995)	Entrevista com condutores e pedestres em operações de reversíveis em São Paulo.	Tráfego e Segurança	Opinião quanto à melhora do tráfego e travessia após a implantação, duração da operação, novas implantações	Entrevistas presenciais com condutores e pedestres	Formulários estruturados e pré-testados
CET-SP (1997)	Avaliação de faixa reversível urbana nas avenidas Morumbi e Giovanni Gronchi, em São Paulo..	Tráfego	Tempo de viagem, volume de tráfego, extensão de fila	Comparação antes e depois	Veículo-teste, contagem de tráfego, contagem de fila
DeRose (1966)	Avaliação de uma faixa reversível central no Michigan (Estados Unidos)	Tráfego e Segurança	Volume de Tráfego, tempo para passagem de volume equivalente, tempo médio de viagem, velocidade média, quantidade total de acidentes, quantidade de acidentes no horário de pico, tipos de acidentes	Comparação antes e depois	Contagem de tráfego, banco de dados de acidentes
Dey, Ma e Aden (2011)	Avaliação de faixas reversíveis urbanas Washington, DC (Estados Unidos)	Tráfego e segurança	FHP, distribuição direcional do tráfego, percentual de utilização da faixa, quantidade de acidentes, tipos de acidentes, quantidade e taxa de violações	Comparação com vias de controle, comparação com normalização, avaliação de dados posteriores	Contagem de tráfego, banco de dados de acidentes, gravações em vídeo

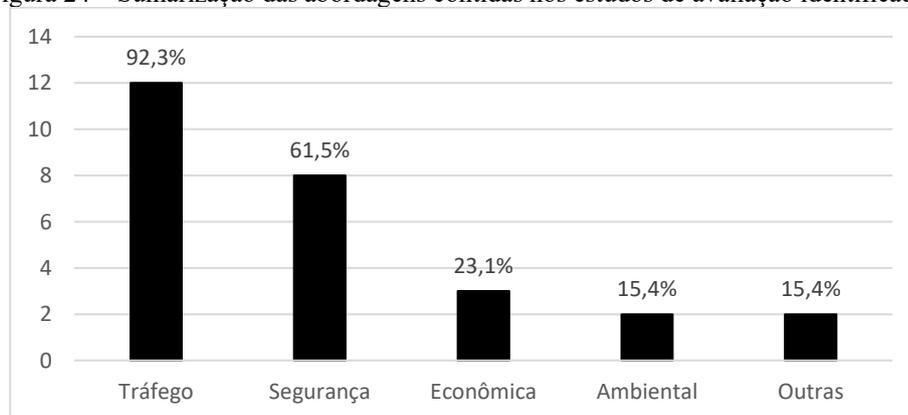
Publicação	Resumo	Abordagem	Indicador (Macro)	Método	Coleta de Dados
Goodin et al. (2013)	Avaliação da conversão de uma <i>HOV Lane</i> em uma <i>HOT Lane</i> em uma rodovia no Texas (Estados Unidos)	Tráfego, Segurança, Sistema de cobrança e tarifação, manutenção, uso de recursos humanos, utilização do transporte público	Volume de tráfego, tempo de viagem, velocidade, distribuição do tráfego em faixas, quantidade de acidentes, severidade	Comparação antes e depois, comparação com vias adjacentes, questionários	Contagem de tráfego manual e automatizada, sistema <i>AVI</i> , banco de dados de acidentes
Jang et al. (2009)	Comparação da segurança viária entre <i>HOV Lanes</i> com acesso contínuo e restrito na Califórnia (Estados Unidos).	Segurança	Taxa de Colisões, Associação à variáveis geométricas e espaciais	Comparação com teste de significância, associação à variáveis geométricas e distribuição espacial	Banco de dados de acidentes, acesso a informações de tráfego e geométricas
Machado (2012)	Avaliação de faixa reversíveis urbana no Rio de Janeiro.	Tráfego	tempo médio de viagem, desequilíbrio direcional de tráfego	Comparação antes e depois	Estudos anteriores (veículo teste), contagem de tráfego
McCasland (1981)	Avaliação do primeiro ano de operação de uma <i>HOV Lane</i> operando em faixa reversível com segregação (<i>contraflow lane</i>) no Texas (Estados Unidos)	Tráfego, Segurança, Ambiental e Econômica	Utilização da operação, tempo de viagem, quantidade de pessoas transportadas, nível de serviço, rotas alternativas, custo operacional, consumo de combustível, emissão de poluentes, quantidade de acidentes, tipo específico de acidentes, quantidade de violações	Monitoração do primeiro ano de operação, comparação antes e depois	Contagem de tráfego, questionário, pesquisa de ocupação de veículos, dados paramétricos
Waleczek et al. (2016)	Avaliação da implantação de uma faixa reversível central em um segmento viário em obras na Alemanha.	Tráfego, Segurança e Econômica	Quantidade de conversões, fluxo de tráfego, velocidade 90°, taxa de acidentes, distribuição espacial de acidentes, custo de acidentes, custo do tempo de viagem perdido	Comparação com vias adjacentes, comparação antes e depois	Gravações em vídeo, radares, laços indutivos, banco de dados de acidentes, dados paramétricos, macrossimulação

Publicação	Resumo	Abordagem	Indicador (Macro)	Método	Coleta de Dados
Wang, Wang e Zhang (2015)	Caracterização e avaliação de uma via urbana em Pequim utilizando contagem de tráfego e microsimulação	Tráfego	Volume de tráfego; velocidade média; atraso médio unitário	Comparação antes e depois (dados "antes" simulados)	Contagem de tráfego, microsimulação

Fonte: Autor (2023).

Quanto a abordagem, pode-se observar a predominância de estudos de avaliação de desempenho de tráfego e segurança viária. Com exceção de Jang et al. (2009), as demais publicações contemplaram algum tipo de avaliação de tráfego (92,3%), estando aderente ao que tende a ser o objetivo principal destes tipos de operações: a redução do congestionamento. Em seguida, observou-se um expressivo número de publicações abordando a avaliação de segurança viária (61,5%). Apesar de dificilmente o aprimoramento da segurança estar atrelado a um objetivo principal deste tipo de estratégia de gestão de tráfego, isto se explica devido a algumas operações (como as faixas reversíveis) possuírem, historicamente, a reputação de aumentar a quantidade ou severidade dos acidentes, conforme visto durante a revisão bibliográfica narrativa. Por fim, alguns estudos contemplaram, ainda, avaliações econômicas, ambientais e sob outras abordagens (como satisfação do cliente, questões operacionais e especificidades do tipo de operação avaliado). Cabe destacar que tais abordagens correspondiam a avaliações em caráter complementar, não sendo observado nenhuma publicação contemplando, exclusivamente, tais abordagens. A sumarização das avaliações realizadas na bibliografia recuperada, quanto a abordagem, encontra-se expressa na Figura 24:

Figura 24 – Sumarização das abordagens contidas nos estudos de avaliação identificados.



Fonte: Autor (2023).

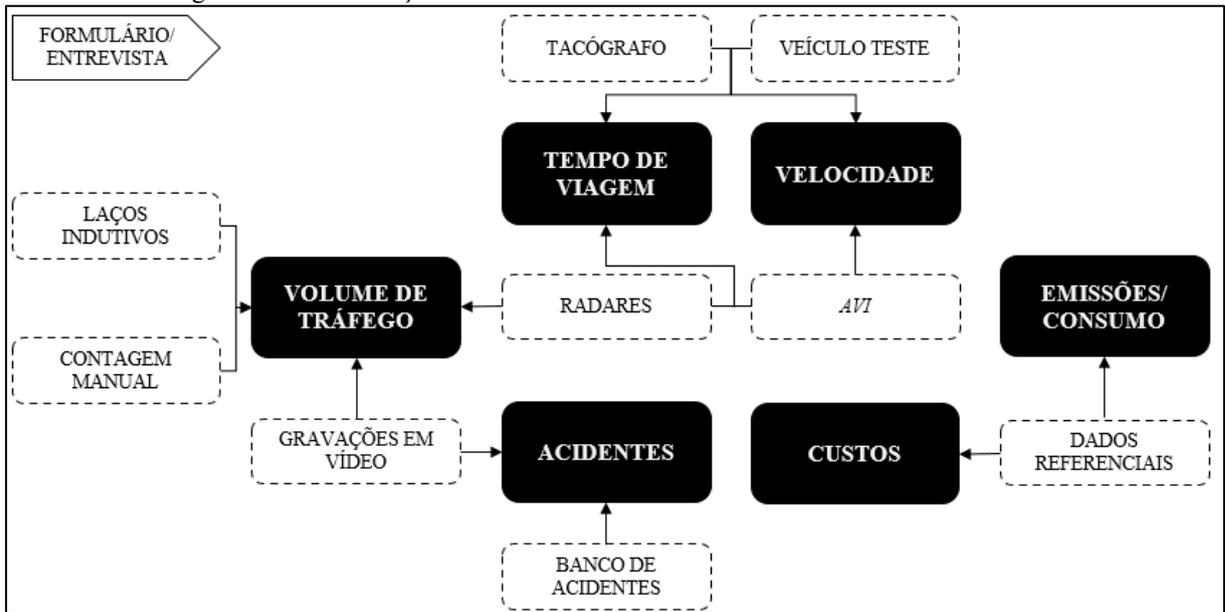
No que tange aos indicadores utilizados nas avaliações de desempenho selecionadas na literatura, pode-se identificar alguns indicadores gerais, sendo encontrados diversas variantes destes conforme a disponibilidade dos dados utilizados pelos autores ou o foco desejado na investigação. Assim, os principais indicadores identificados nos estudos de avaliação, de acordo com a abordagem foram:

- Tráfego: volume de tráfego, tempo de viagem, velocidade, nível de serviço, tempo de atraso, extensão de fila, percentual de utilização da faixa reversível, efeito da operação em rotas paralelas ou em faixas adjacentes;
- Segurança: quantidade total de acidentes, quantidade de tipos específicos de acidentes, severidade dos acidentes, quantidade de conflitos ou violações, localização espacial dos acidentes;
- Econômica: custo de operação, custo de implantação, custo horário médio (horas perdidas), custo de acidentes, custo de combustível;
- Ambiental: consumo de combustível, emissão de poluentes veiculares (hidrocarbonetos, CO₂, NO_x), poluição sonora;

Cabe destacar que a lista supracitada não é exaustiva, sendo vários destes macros indicadores subdivididos em variantes específicas. Como exemplo, pode-se citar delimitações temporais (volume de veículos durante o período de contagem, quantidade de acidentes durante a vigência da operação, percentual de utilização da reversível durante o horário de pico, entre outros) e medidas de estatística descritiva (tempo médio de viagem, 85º percentil da velocidade operacional, média da quantidade de acidentes ponderada pelo volume de tráfego). Além disso, foram identificados estudos de avaliação envolvendo variáveis qualitativas correspondendo à percepção do usuário quanto ao desempenho geral da operação, sob a abordagem de tráfego e segurança (redução do tempo de viagem e melhora para a travessia de pedestres, por exemplo).

Considerando que, por vezes, a disponibilidade de dados age como fator limitante ao desenvolvimento das pesquisas, buscou-se identificar nas publicações a forma de coleta dos dados utilizados nas avaliações, embora em algumas publicações tal aspecto não fosse mencionado. Na Figura 25 estão ilustradas algumas das formas de coleta identificadas com maior frequência, associadas aos seus respectivos dados coletados:

Figura 25 – Sumarização das formas de coleta de dados identificadas na literatura.



Fonte: Autor (2023).

Em virtude do amplo período contemplado nota-se a diversidade, em termos de tecnologia e complexidade, nas formas de coleta de dados utilizadas nos estudos. Do ponto de vista dos dados de tráfego, foram identificados desde a utilização de tacógrafos mecânicos e contagens manuais, até o emprego de sistemas eletrônicos dotados de *softwares*, como a tecnologia *AVI*, possibilitando o fornecimento, em tempo real, de uma grande quantidade de dados. Já a coleta de dados de acidentes, de forma geral, resume-se à consulta ao banco de dados de acidentes do órgão responsável pela operação. Naturalmente, passou-se de registros e arquivos físicos com uma menor variedade de dados, à bancos de dados digitais com informações mais precisas. Por fim, para os dados referentes a custos e questões ambientais, como taxa de emissão de poluentes e consumo de combustível, tendem a ser utilizados valores referenciais encontrados na literatura (por exemplo, o custo médio por acidente, o consumo médio de combustível de determinado veículo).

Finalmente, quanto ao método de avaliação utilizado, identificou-se a predominância de avaliações quantitativas sobre as qualitativas. Apenas em CET-SP (1995) o estudo foi desenvolvido com uma avaliação exclusivamente qualitativa, por meio de entrevista com condutores e pedestres. Dentre as quantitativas, verificou-se que a grande maioria (aproximadamente 77%) se utilizou de alguma variação do estudo observacional do tipo “antes e depois” (*before-and-after*, em inglês). Estas, foram encontradas no formato denominado “simples” ou *naive* e com grupo de comparação (previamente comentados no item 2.2.1.1),

comparando indicadores da abordagem de tráfego, segurança e ambiental entre um período anterior à implantação da operação avaliada e outro posterior.

Em algumas publicações, como em Dey, Ma e Aden (2011), realizou-se comparações apenas com dados posteriores a implantação, enquanto em Jang et al. (2009), a comparação visava a diferenciação entre dois tipos de *HOV lanes*, não demandando dados anteriores à implantação. Especificamente em avaliações de segurança, Goodin et al. (2013), Waleczek et al. (2016) e, novamente, Jang et al. (2009), aproveitando-se da incorporação da informação das coordenadas geográficas do local dos acidentes nos bancos de dados, efetuaram uma avaliação espacial da localização dos acidentes ao longo da operação, a fim de se identificar eventuais pontos críticos. Por fim, Agent e Clark (1980), efetuaram uma avaliação econômica de custo/benefício, listando os custos necessários à implantação e operação da manutenção e comparando-os com os benefícios obtidos (mensurados através dos dados referenciais de redução das horas de atraso, consumo de combustível, entre outros). A sumarização dos métodos utilizados pode ser observada na Figura 26:

Figura 26 – Sumarização dos métodos de avaliação identificados na literatura.



Fonte: Autor (2023).

A partir das informações extraídas nesta revisão sistemática, especialmente quanto a forma de avaliação de desempenho de faixas reversíveis realizadas no corpo bibliográfico selecionado, propõe-se, no próximo capítulo, a elaboração de um fluxograma para auxiliar o processo de avaliação de operações existentes.

3 FLUXOGRAMA PARA AVALIAÇÃO DE FAIXAS REVERSÍVEIS

Neste capítulo, os conceitos acerca da etapa de avaliação de desempenho em operações de faixas reversíveis abordados até então neste trabalho serão discutidos, formulando recomendações gerais para tal processo.

Em seguida, especialmente a partir das informações coletadas durante a revisão sistemática, será proposto um fluxograma para auxiliar a execução desta etapa, contemplando os seguintes itens:

- a) abordagem;
- b) indicadores;
- c) forma de coleta dos dados;
- d) método.

3.1 DISCUSSÃO

3.1.1 Informações-Chave: Abordagens, indicadores, coleta de dados e métodos

Um consenso comum entre diversos autores é que a abordagem com a qual será realizada a avaliação da operação deve estar diretamente atrelada ao objetivo pelo qual esta foi implantada (GUEBERT, 2010; WOLSHON; LAMBERT, 2004; FITZPATRICK et al., 2016). Na prática, porém, nem sempre este objetivo encontra-se expressamente definido. No entanto, ressaltados em casos específicos, apesar de outras abordagens serem identificadas na literatura (segurança viária, ambiental, econômica, por exemplo), tem-se nítido que a origem das faixas reversíveis está associada a aspectos de tráfego, principalmente como um esforço para se mitigar a existência de congestionamentos recorrentes. Especificamente no que tange a segurança viária, observou-se, através da revisão de literatura, que houve casos em que estas foram as responsáveis pelo aumento da quantidade ou severidade de acidentes, sendo fundamental, portanto, a sua presença em estudos de avaliação.

Quanto as abordagens ambiental e econômica, estas desempenham um papel relevante e devem, sem dúvida, ser consideradas ao longo do processo de implantação de faixas reversíveis (na etapa de planejamento, por exemplo). Contudo, especificamente na etapa de avaliação de desempenho, observa-se que os benefícios citados são mensurados a partir de valores referenciais, sendo consequência do êxito da operação do ponto de vista de tráfego ou

segurança. Logo, se a operação, de fato, aprimorou o desempenho de tráfego ou de segurança, poderão ser mensurados benefícios sob as abordagens ambiental (redução do consumo de combustível em virtude da redução do tempo de parada) e econômica (redução do custo de acidentes), por exemplo. Salienta-se, quanto à abordagem econômica, alguns casos específicos onde esta abordagem pode ter algum objetivo atrelado, como em *HOT Lanes*. No entanto, de forma geral, pode-se separar as abordagens com que podem ser conduzidas os estudos de avaliação de desempenho, quanto à sua relevância (Figura 27):

Figura 27 – Relevância das abordagens em estudos de avaliação de desempenho de faixas reversíveis:



Fonte: Autor (2023).

Outro ponto comum, abordado por autores sobre o desempenho destas operações, é a importância de se estipular uma meta numérica, correspondendo ao valor “alvo” que se pretende atingir com a implantação da operação em termos de desempenho. Ao longo da revisão sistemática, observou-se tal prática sendo mencionada durante a etapa de avaliação em algumas publicações, como Buckeye (2012) e Machado (2012). Nestes casos, a meta estipulada atua como referência no processo de avaliação, fornecendo um contexto quanto ao desempenho esperado e subsidiando eventuais decisões com maior assertividade. Naturalmente, a meta deve também estar atrelada aos objetivos da operação e, portanto, deve ser definida ainda na etapa de planejamento. Além disso, ela será responsável por denotar o indicador a ser utilizado.

Justamente por refletir os objetivos particulares e as especificidades de cada operação, observa-se, na literatura, uma certa diversidade quanto ao indicador a ser utilizado em cada abordagem. Além disso, alguns fatores como a disponibilidade de dados, limitação de coleta e a própria vigência da operação acarretam variações temporais ou estatísticas dos indicadores “gerais”, resultando em indicadores específicos (por exemplo, volume de tráfego horário, tempo médio de viagem e quantidade de acidentes durante o horário de pico).

De forma geral, no que tange aos indicadores ligados à avaliação de desempenho sob a abordagem de tráfego identifica-se, na literatura, a predominância de dois indicadores gerais: o volume de tráfego, que em levantamento realizado por Wolshon e Lambert (2004) havia sido identificado como o indicador mais utilizado pelos órgãos rodoviários nos Estados Unidos (especialmente delimitado quanto ao período, hora ou 15 minutos de pico); e o tempo de viagem, mencionado em publicações como CamSys (2005) e Bhourri, Aron e Kauppila (2012) como sendo o indicador que melhor representa o impacto sentido pelos usuários. Além destes, são encontrados indicadores referentes à velocidade, nível de serviço, extensão de filas, tempo de parada, entre outros. Cabe destacar que a maioria dos estudos contemplou a avaliação não apenas da faixa que recebeu a operação, mas também o sentido prejudicado, abordando o corredor como um todo, havendo, inclusive, casos em que a verificação foi expandida até as vias paralelas/adjacentes. Outro indicador relevante do ponto de vista gerencial é o percentual de utilização da operação, que fornece uma informação fundamental, podendo justificar um desempenho abaixo do esperado. Por exemplo, pode-se verificar o aumento no tempo de viagem após a implantação da operação, ainda que o volume de tráfego tenha se mantido o mesmo, ocasionado pela baixa adesão dos usuários à operação.

Quanto à abordagem de segurança, torna-se lógica a opção pela mensuração de desempenho a partir de indicadores associados à quantidade de acidentes. A variação dos indicadores utilizados em publicações identificadas na literatura está associada às características dos acidentes, como a consideração de tipos específicos, severidade, distribuição espacial, bem como eventuais delimitações temporais (quantidade de acidentes durante o período de pico ou durante o horário de vigência da operação). Em menor frequência, foram consideradas a quantidade de conflitos de tráfego ou violações de trânsito. Na abordagem ambiental identificou-se indicadores referentes ao consumo de combustível e à emissão de poluentes dos veículos, bem como a poluição sonora oriunda do tráfego, enquanto na econômica consideraram-se os custos vinculados às reversíveis (implantação e manutenção), bem como eventuais benefícios obtidos com a operação (redução dos custos de acidentes, da hora perdida pelos usuários, entre outros). Assim, em operações com objetivos convencionais, como a mitigação de congestionamentos, entende-se que a utilização de indicadores “gerais” como o volume de tráfego, o tempo de viagem, o percentual de utilização e a quantidade de acidentes são capazes de subsidiar decisões pautadas na avaliação de desempenho.

Contudo, além do objetivo, um fator prático que pode limitar a seleção do indicador a ser utilizado é a disponibilidade de dados. Autores como Kuhn et al. (2005) e Fitzpatrick et al.

(2016) destacam a necessidade de os indicadores serem limitados em quantidade e facilmente coletáveis, a fim de não sobrecarregar os recursos dos órgãos responsáveis pela gestão das operações. Naturalmente, há que se diferenciar a magnitude dos recursos empregados em um estudo de avaliação de desempenho no âmbito profissional, conduzido por órgãos responsáveis pelas operações, e um estudo estritamente acadêmico. No primeiro, por vezes há a possibilidade de implantar-se dispositivos para obtenção dos dados necessários para subsidiar a avaliação, enquanto o segundo tende a utilizar-se de consulta a dados existentes. Neste contexto, identificar a forma com que foram coletados os dados utilizados nas publicações recuperadas na revisão sistemática mostra-se relevante para a etapa, especialmente considerando a escassez de publicações e dados sobre o tema no Brasil.

A partir de tais publicações e conforme previamente exposto na Figura 25 (p. 76) tem-se claro que alguns dados, como o volume de tráfego e a quantidade de acidentes, são mais fáceis de obter do que outros, como o tempo de viagem. Em estudos mais simples, o volume de tráfego pode ser obtido por meio de contagens manuais *in loco*, enquanto nos estudos mais robustos, pode-se utilizar de contadores automáticos. Há, ainda, a possibilidade de efetuar a contagem de veículos de forma remota a partir de gravações em vídeo. Já a medição do tempo de viagem tende a demandar uma maior quantidade de recursos, como a utilização de um veículo teste ou o emprego de sistemas *ITS*. No que tange a obtenção de dados de acidentes, observou-se a tendência de coleta por meio de consulta à banco de dados de acidentes rodoviários já existentes, não sendo comum a geração destes dados de forma específica para o estudo.

No que se refere ao método utilizado, outra forma de se obter informações relativas ao desempenho da operação é a realização de questionários e/ou entrevistas junto aos usuários (evidentemente, a informação coletada é qualitativa). Na literatura, verificou-se tanto a realização de entrevistas presenciais, abordando condutores no tempo de parada do semáforo e pedestres junto às travessias, como formulários eletrônicos disponibilizados de forma *online*. Considerando o cenário da prática nacional de implantação de faixas reversíveis descrito em Machado (2012), cujas operações tenderam a ser pautadas no conhecimento empírico e da prática cotidiana, a realização de entrevistas/questionários torna-se um método viável de se avaliar o desempenho da operação a partir da perspectiva do usuário. Afinal, sem o planejamento prévio, dificilmente haverá um histórico da coleta dos dados necessários para realização de estudos do tipo “antes e depois”, embora estes tenham sido os métodos identificados com maior frequência na bibliografia. Cabe destacar que este método pode

contemplar tanto a abordagem de tráfego (“você percebe a redução no tempo da sua viagem após a implantação da operação”) como de segurança (“você percebe o aumento da quantidade de acidentes após a implantação da operação?”). Por outro lado, este método tende a tornar-se menos preciso com o aumento do tempo decorrido desde a implantação da operação.

De fato, o estudo observacional do tipo “antes e depois” (*before-and-after*), foi o método identificado com maior frequência nos estudos de avaliação de desempenho recuperados na literatura. Apesar dos estudos encontrados resumiram-se às versões simples/*naive* e com grupo de comparação (ver Item 2.2.1.1), estes foram utilizados em praticamente todas as abordagens (tráfego, segurança, ambiental e econômica) e envolveram diversos indicadores. Para tal, faz-se necessário a coleta dos dados avaliados tanto em períodos anteriores à implantação da operação, como em períodos posteriores. Embora a literatura indique a coleta de dados por um período suficientemente longo para absorver eventuais efeitos temporais, como aqueles devido as sazonalidades, foram identificadas publicações em que o período contemplado foi de apenas alguns dias. Além disso, quanto à realização de controle dos denominados *confounding factors*, foi observada, em alguns casos, a normalização de variáveis (geralmente a normalização da quantidade de acidentes pelo volume de tráfego) e a verificação de tendências gerais (existência de programas de redução de acidentes). Não foram identificados, nos casos de estudos com grupos de comparação, os critérios utilizados para a seleção de tais grupos.

Por fim, outro método utilizado especificamente para a abordagem de segurança foi a avaliação espacial dos acidentes ocorridos. Utilizando-se da localização dos acidentes (geralmente, a partir de suas coordenadas), pode-se identificar eventuais segmentos críticos que reúnam uma maior quantidade de acidentes ao longo da extensão da operação. Ressalta-se, no entanto, que este método demanda informações com alto grau de precisão para subsidiar eventuais análises.

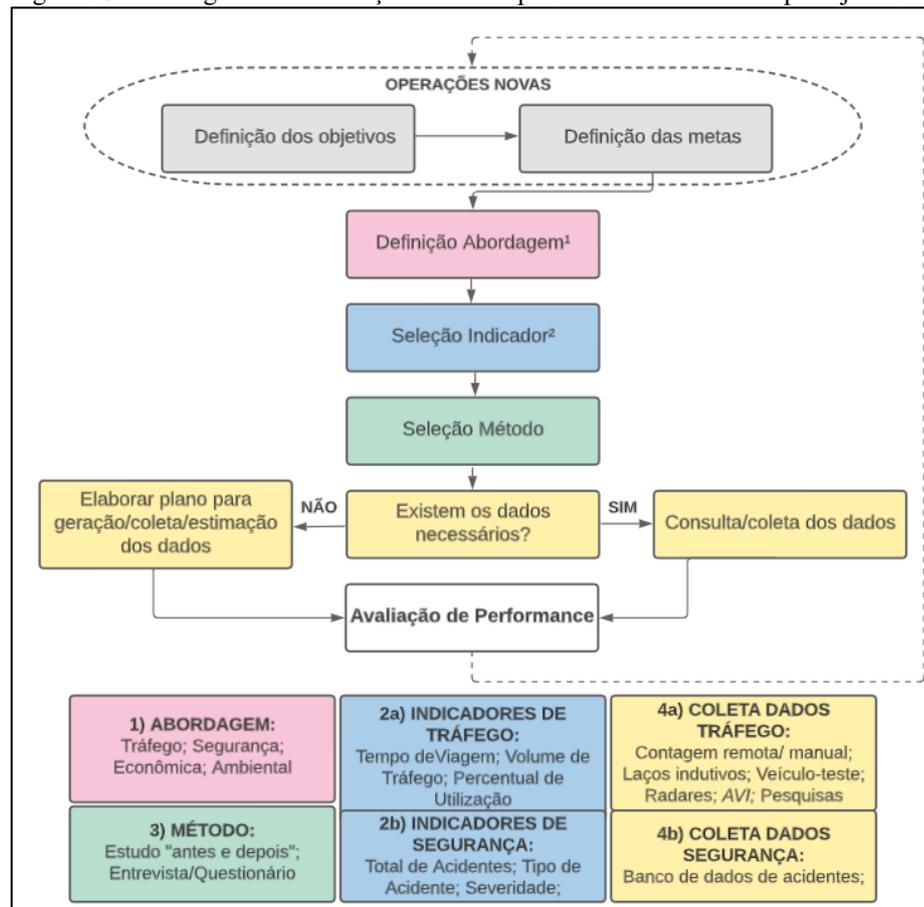
3.2 CONCEPÇÃO DO FLUXOGRAMA

Em um contexto ideal, a concepção de novas operações de faixas reversíveis passa por um procedimento contemplando etapas pré-implantação (associadas a estudos, planejamento e projeto), a implantação em si e etapas pós-implantação (envolvendo a monitoração e avaliação da operação), conforme previamente apresentado (ver Figura 7, p. 27). Contudo, verificou-se na literatura que tal situação não foi, durante muito tempo, observada na prática. Machado

(2012) apresentou o procedimento usualmente praticado no Brasil (Ver Figura 13, p. 37). Assim, observa-se duas situações distintas para a realização da avaliação de desempenho: a concepção de novas operações e as operações existentes.

Na primeira, considerando-se a realização das etapas pré-implantação, tem-se a definição dos objetivos e metas da operação, havendo um direcionamento natural da avaliação de desempenho a ser realizada após a sua implantação. Afinal, esta avaliação é justamente a mensuração do seu desempenho frente à expectativa (no caso, as metas estipuladas), atestando-se o seu sucesso ou não (frente aos objetivos previamente definidos). Assim, pode-se definir previamente a abordagem, os indicadores e o método que serão utilizados quando da realização da avaliação de desempenho. De posse destas informações, deve-se verificar a existência dos dados necessários e, em caso negativo, elaborar um plano para a coleta ou a geração de tais dados. Assim, pode-se representar o fluxo para a avaliação de desempenho em operações em fase de planejamento conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 – Fluxograma da avaliação de desempenho de reversíveis em planejamento.



Fonte: Autor (2023).

Contudo, existem os casos de operações existentes e que, conforme observado na literatura, não costumaram ser precedidas de adequadas etapas pré-implantação. Ainda assim, é desejável a avaliação de desempenho destas operações, especialmente em um cenário aonde novas operações continuam a ser propostas. Cabe destacar, no entanto, que o processo tende a ser limitado, especialmente em virtude da disponibilidade de dados. Apesar de, na maioria destes casos, não ter havido uma etapa com a definição dos objetivos e metas, todas as operações foram implantadas por alguma motivação. Esta deve ser a base para a avaliação a ser realizada, que pautará a sequência do procedimento. No entanto, caso tenha-se claro o objetivo previamente definido, este será o ponto inicial da avaliação.

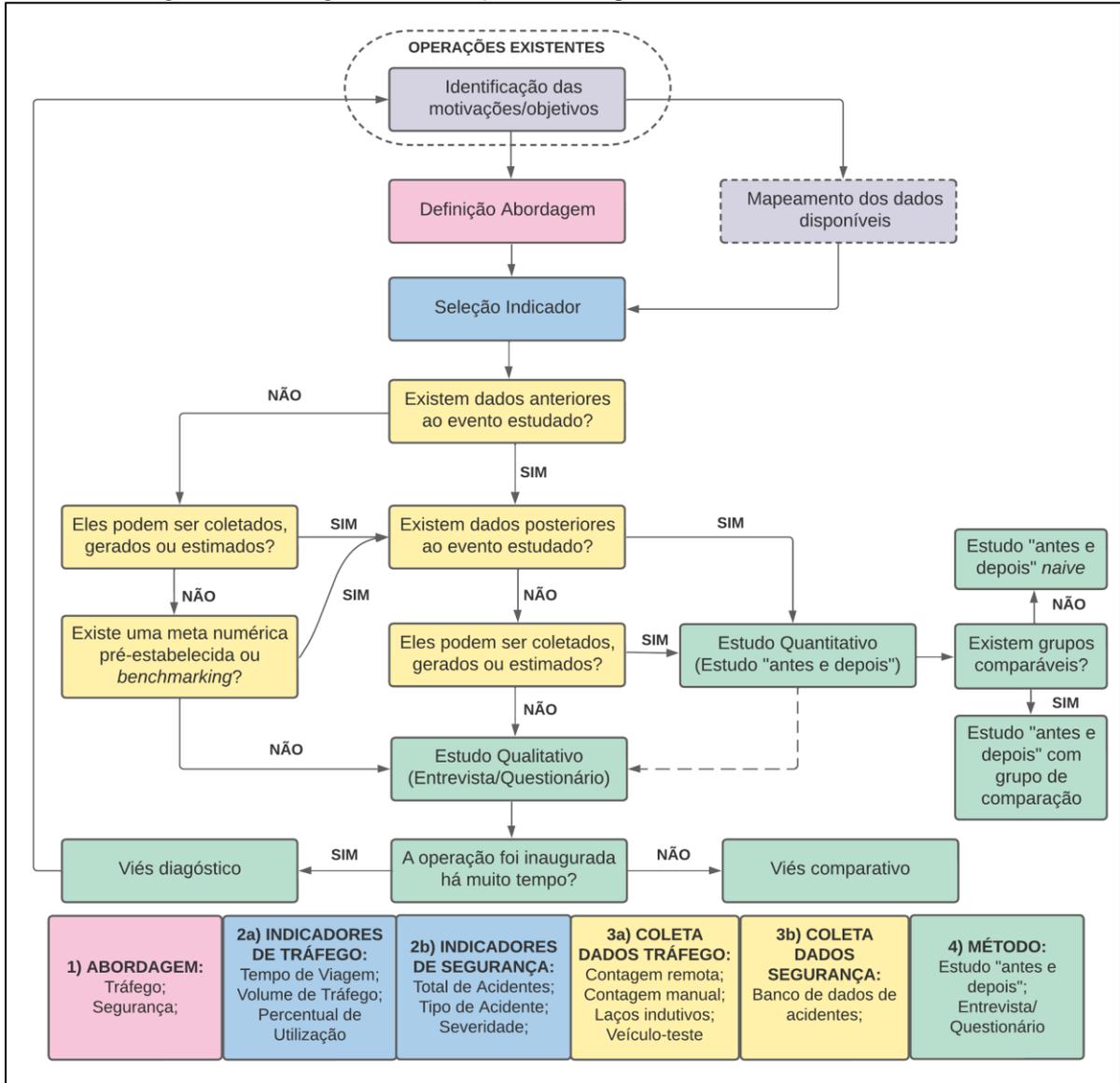
Assim, como no fluxograma ilustrado na Figura 28, a sequência se dá com a definição da abordagem e a seleção dos indicadores que serão utilizados (com base nas motivações/objetivos indicados, bem como no mapeamento prévio dos dados existentes). A diferença se dá pela inversão da ordem entre o método de avaliação utilizado e a forma de coleta dos dados necessários. Afinal, diferentemente de operações planejadas, onde pode-se gerar os dados desejados com maior facilidade, os estudos em operações existentes podem ser limitados à disponibilidade de dados existentes, especialmente no que tange a dados referentes à situação anterior à implantação da operação. Neste sentido, o fluxograma proposto faz questionamentos quanto a existência e possibilidade de obtenção dos dados que subsidiarão a avaliação:

- Possibilidade de coleta de dados em ambos os períodos de referência (antes e após a implantação da operação): avaliação quantitativa pelo método de estudo comparativo do tipo “antes e depois”. Nos casos em que existem grupos comparáveis (sob critérios quantitativos ou qualitativos, conforme identificado na literatura), sugere-se a incorporação de um grupo de comparação;
- Impossibilidade de coleta de dados em ambos os períodos de referência: avaliação qualitativa por meio de entrevistas e questionários. Nos casos em que a operação tenha sido implantada há bastante tempo (mais de 5 anos, por exemplo), sugere-se a adoção de um viés diagnóstico na avaliação, em detrimento de um viés comparativo. Este viés pode, inclusive, auxiliar a identificação das motivações da operação.

Especificamente no caso de possibilidade de coleta de dados apenas no período posterior, em que pese as particularidades de cada operação, abre-se a possibilidade de consulta

a metas pré-estabelecidas ou *benchmarks*, embora não se tenha identificado referências na literatura para a maior parte dos indicadores. A Figura 29 ilustra um fluxograma proposto para operações existentes.

Figura 29 – Fluxograma da avaliação de desempenho de faixas reversíveis existentes.



Fonte: Autor (2023).

Cabe destacar que o objetivo de ambos os fluxogramas foi auxiliar, de forma simples e objetiva, a definição de algumas informações-chave para a realização de estudos de avaliação de desempenho em faixas reversíveis, quais sejam: abordagem, indicadores, forma de coleta de dados e método.

Nas caixas dispostas na parte inferior, foram elencadas alternativas identificadas na literatura, correlacionando-se com a sua atividade correspondente do fluxograma de forma gráfica. Assim, destaca-se que outras informações relevantes para o desenvolvimento de estudos de avaliação de desempenho não se encontram contempladas nos fluxogramas propostos, como a consideração de *confounding factors*, critérios utilizados para definição do grupo de comparação, estruturação dos formulários para entrevistas, entre outros.

A seguir, o fluxograma para operações existentes será aplicado à faixa reversível da rodovia SC-405, em Florianópolis (SC), auxiliando a delimitação da avaliação de desempenho a ser realizada no estudo de caso desta pesquisa.

3.2.1 Aplicação do fluxograma para operações existentes: faixa reversível da SC-405

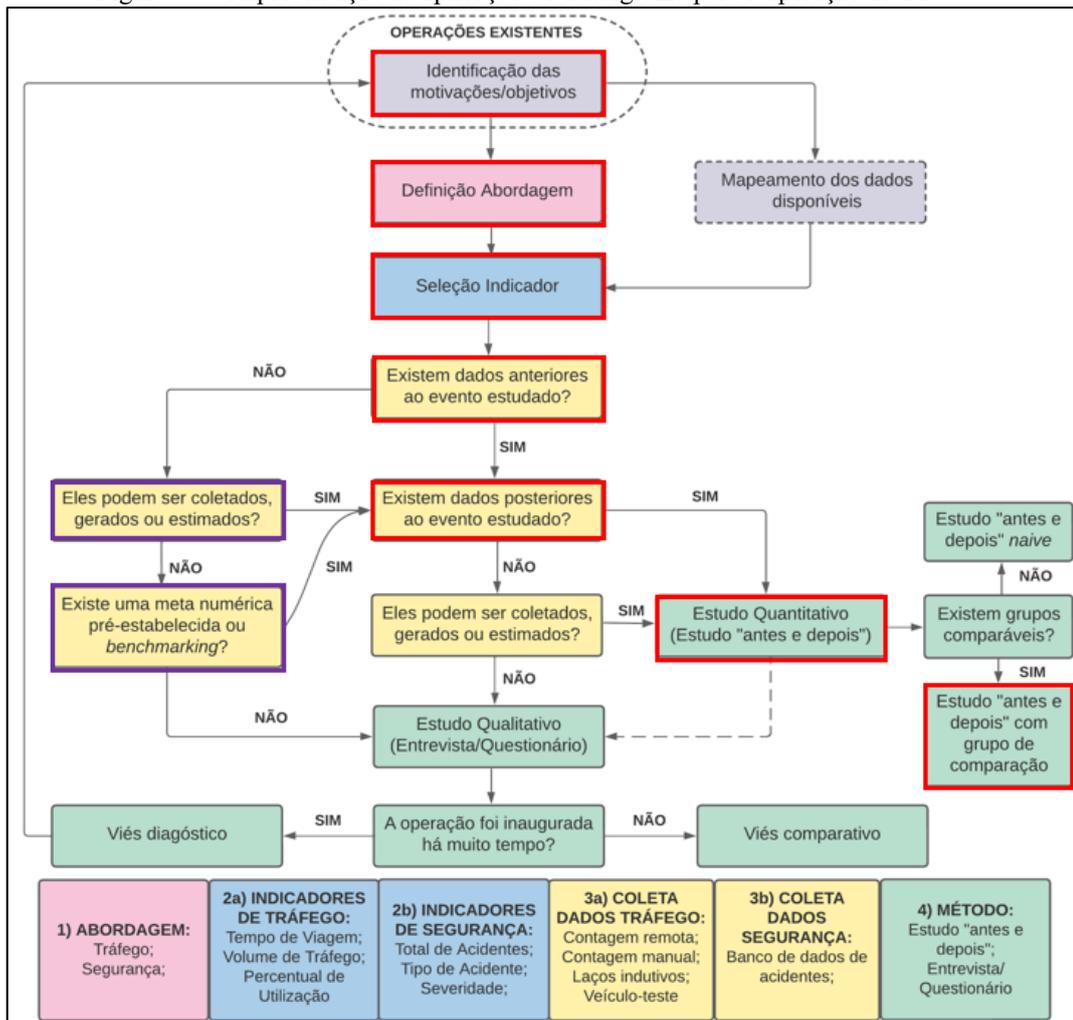
Tendo em vista tratar-se de operação existente, buscou-se identificar as motivações que levaram a implantação da operação. De acordo com o PLAMUS (2014a), a região do “Trevo da Seta” (entroncamento entre a rodovia SC-405 e a rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva “Via Expressa Sul”), visando a redução de congestionamentos no horário de pico, passou por uma grande transformação na década passada, com desapropriações, construção de um viaduto e a implantação de uma faixa reversível central na SC-405. Além disso, o PLAMUS (2014b) afirma que mesmo com o acréscimo da reversível, a via ainda opera acima de sua capacidade. Logo, resta claro que, assim como a grande parte das operações recuperadas na bibliografia, o emprego da operação está associado a questões de tráfego, em especial a ocorrência de congestionamentos durante os horários de pico.

Como parte da revisão sistemática desenvolvida no Item 2.3, o órgão responsável pela operação foi consultado quanto à existência de dados sobre a operação (estudos, projetos, *reports*, entre outros) correspondendo à etapa de mapeamento prévio de dados existentes. Em retorno, a Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina “SIE-SC”, forneceu a média anual do volume de tráfego diário (TMD) e o banco de dados de acidentes rodoviários (quantidade total de acidentes, vítimas fatais, localização dos acidentes, entre outros). A disponibilidade de tais dados acarretou a inclusão da abordagem de segurança viária neste estudo, corroborada pelo histórico associado às faixas reversíveis observado na literatura, bem como publicações indicando um eventual prejuízo na segurança após a implantação da operação na SC-405 (FLORIANÓPOLIS, 2021). A abrangência temporal dos dados fornecidos pela SIE-SC (volume de tráfego e dados de acidentes) contemplam tanto o período prévio à

implantação, em 2012, como posterior, possibilitando, assim, a utilização do método “antes e depois”.

De forma semelhante, diante da disponibilidade de tais dados para demais segmentos rodoviários, será efetuado o estudo observacional do tipo “antes e depois” com grupo de comparação. Especificamente, para os indicadores percentuais (desequilíbrio de tráfego entre sentidos e percentual de utilização da faixa reversível), o caminho trilhado é diferente, pois obteve-se dados posteriores à implantação que serão comparados a valores de referências. Esquemáticamente, o caminho trilhado ao longo do fluxograma encontra-se ilustrado na Figura 30, representado por um contorno de cor vermelha na avaliação sob as abordagens de segurança e volume de tráfego, e de cor roxa para os demais indicadores utilizados sob a abordagem de tráfego.

Figura 30 – Representação da aplicação do fluxograma para a operação da SC-405.

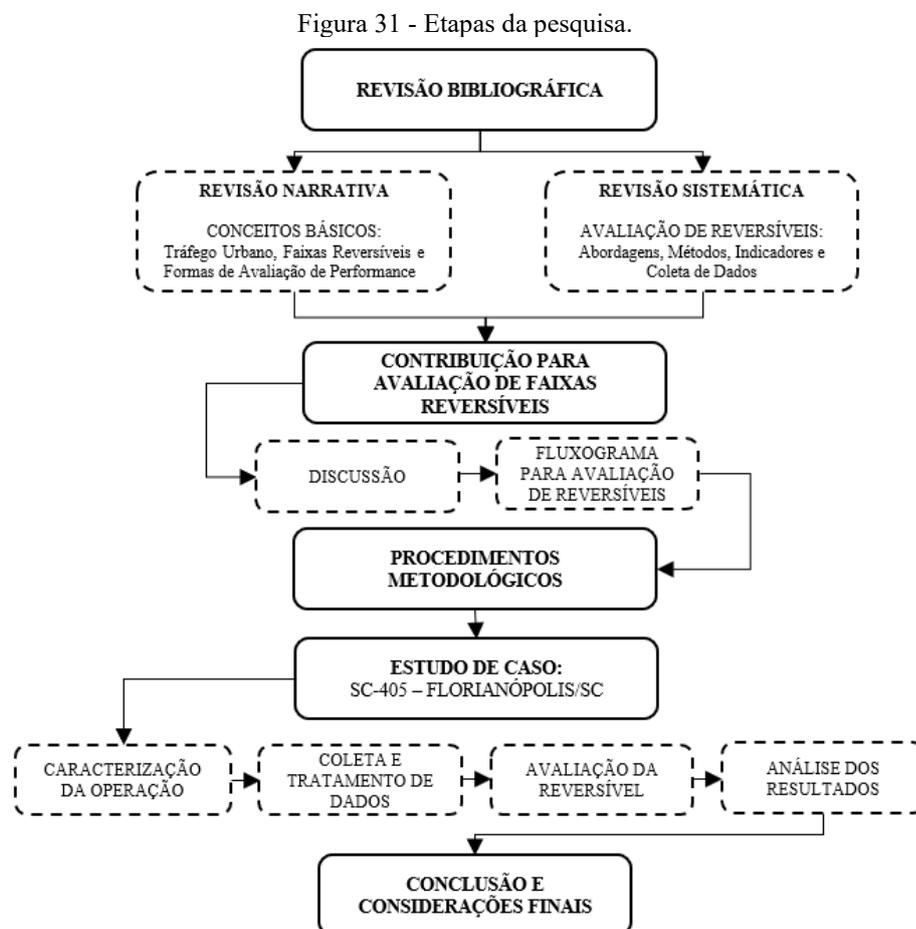


Fonte: Autor (2023).

Complementarmente observou-se, em ida a campo, a existência de sistemas de monitoramento sob gestão da Polícia Militar do Estado de Santa Catarina. Considerando que as gravações em vídeo possibilitam a coleta de diversos dados, como volume de tráfego, consultou-se o órgão quanto à cessão de imagens. Por questões tecnológicas, foi alinhado o fornecimento de gravações recentes, contemplando a duração de 1 hora dos períodos de pico da manhã, pico da tarde e entropicos do dia 15/03/2023, das 3 câmeras existentes no trecho da reversível. Neste contexto, optou-se por efetuar a contagem de tráfego remota para constatação do percentual de utilização da operação. As especificidades da avaliação realizada no estudo de caso não constantes no fluxograma serão abordadas no próximo capítulo.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente capítulo contempla os procedimentos necessários para a execução das atividades que compõe as etapas desta pesquisa, descritos na Figura 31:



Fonte: Autor (2023).

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica desta pesquisa subdividiu-se na realização de uma revisão narrativa e uma revisão sistemática. A primeira teve como principal objetivo o levantamento de conceitos fundamentais sobre os temas abordados na pesquisa, apresentando um breve panorama histórico do tráfego urbano, seu desenvolvimento até o cenário atual, com a recorrência de congestionamentos - sua externalidade principal -, e estratégias de gestão utilizadas para sua mitigação. Então, aprofundou-se nos principais tópicos acerca de faixas reversíveis, desde o seu desenvolvimento histórico, suas características básicas e aplicações, o cenário da prática nacional e como são divididas as etapas para sua implantação. Por fim, elencou-se alguns dos principais métodos de avaliação de desempenho utilizados em estudos de transportes. Já a revisão sistemática, baseada na metodologia de Bueno (2020), buscou identificar as principais abordagens, indicadores, formas de coleta de dados e métodos utilizados globalmente, tanto no meio acadêmico como na *grey literature*, para a etapa de avaliação de desempenho de faixas reversíveis e *managed lanes*, formando um panorama das avaliações já realizadas neste meio.

4.2 FLUXOGRAMA PARA AVALIAÇÃO DE FAIXAS REVERSÍVEIS

Os resultados encontrados na revisão bibliográfica foram comentados e discutidos, sendo observadas e formuladas constatações gerais acerca da prática de estudos de avaliação de desempenho em faixas reversíveis, em especial quanto às informações-chave extraídas das publicações recuperadas na revisão sistemática, quais sejam: abordagem, indicadores, forma de coleta de dados e método. Tais informações subsidiaram a elaboração de dois fluxogramas para o direcionamento quanto à forma de avaliação de faixas reversíveis novas (em fase de planejamento) e existentes, envolvendo os aspectos supracitados (abordagem, método, indicadores, coleta de dados). Ambos os fluxogramas foram elaborados com o *software Lucidchart®*, disponível gratuitamente para este fim. Em seguida, a aplicação do fluxograma para operações existentes auxiliou a delimitação da forma de avaliação a ser utilizada no objeto do estudo de caso, a faixa reversível da rodovia SC-405, em Florianópolis, Santa Catarina.

4.3 ESTUDO DE CASO

4.3.1 Resumo

O estudo de caso desenvolvido nesta pesquisa tem como objetivo a avaliação do desempenho da operação de faixa reversível em Florianópolis (SC), na rodovia SC-405. Para tal, foi aplicado o fluxograma para operações existentes proposto (Figura 29, p. 85), sendo delimitadas as abordagens (tráfego e segurança), indicadores (volume de tráfego, percentual de utilização, quantidade de acidentes, quantidade de vítimas, distribuição de acidentes), forma de coleta de dados (contagem de tráfego, banco de dados de acidentes) e método (estudo observacional do tipo “antes e depois” *naive* e com grupo de comparação) utilizados na avaliação.

4.3.2 Coleta de Dados

Durante a realização da revisão bibliográfica sistemática, os órgãos responsáveis por algumas das operações existentes no Brasil foram consultados quanto a existência de dados e documentos sobre as operações. Em retorno, a Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina (SIE/SC), por meio da Gerência de Planejamento de Infraestrutura, Logística e Mobilidade (GPINF/SIE-SC) encaminhou os relatórios do Sistema Rodoviário Estadual de Santa Catarina, que consiste em um relatório anual elaborado pela SIE-SC de acordo com o Roteiro Básico para Sistemas Rodoviários Estaduais do Departamento Nacional de Transportes e Infraestrutura (DNIT) contendo informações acerca da malha rodoviária estadual. Os dados disponíveis nestes relatórios, entre eles o Tráfego Médio Diário (TMD), encontram-se segregados pelos segmentos viários de acordo com o Plano Rodoviário Estadual. Cabe destacar que tais dados são originados do modelo “CUBE_PDR/SC”, desenvolvido em 2008 para o antigo Departamento de Infraestrutura de Santa Catarina/DEINFRA efetuar análises e previsões da demanda de transporte no estado (SANTA CATARINA, 2008; SANTA CATARINA, 2013).

Além disso, por meio da Gerência de Cartografia e Estatística (GECAR/SIE-SC), recebeu-se planilha eletrônica, exportada a partir do banco de dados de acidentes rodoviários da SIE-SC, contendo as seguintes informações: ano do acidente, posto rodoviário, código do posto rodoviário, número do boletim de ocorrência, localização (rodovia), localização (km), data do acidente, hora do acidente, quantidade de vítimas fatais, quantidade de feridos leves e graves, quantidade de ilesos, quantidade de veículos envolvidos, quantidade

de faixas de rolamento, tipo de pista, largura da pista, condição da sinalização horizontal, condição da sinalização vertical, condição da pista, zoneamento do local, condição técnica (tangente ou curva), condição de luminosidade, perfil longitudinal, descrição do acidente, localização (latitude e longitude). Cabe destacar que tais dados podem ser consultados de forma *online*, em versão reduzida, no endereço eletrônico da SIE-SC. Considerando que a implantação da reversível se deu em 2012, delimitou-se o período de 3 anos antes (2009 – 2011) e 3 anos após (2013 – 2015) o início da operação como sendo o período de análise (a ser contemplado na avaliação do tipo “antes e depois”), conforme identificado na literatura como sendo suficientemente longo para absorver os efeitos de alguns *confounding factors*, como eventuais sazonalidades e a tendência de regressão à média. Além disso, excluiu-se o ano de 2012, correspondente ao ano de implantação da operação, que tende a ser afetado por uma alta na quantidade de acidentes devido ao caráter de novidade associado

A faixa reversível da SC-405 encontra-se localizada dentro do segmento do Plano Rodoviário Estadual denominado como “ENTR. SC-401 (TREVO DA SETA) – ENTR. ACESSO RIO TAVARES”, apesar de haver uma pequena diferença nos marcos de início e fim do segmento rodoviário em questão, conforme PRE, e da operação em si (representada pela linha tracejada na Figura 32).

Figura 32 – Delimitação da extensão da faixa reversível dentro do trecho da rodovia SC-405.



Fonte: Autor (2023), a partir de imagens do *GOOGLE EARTH*.

Além destes dados referentes ao trecho supracitado, onde localiza-se a operação, tais dados foram solicitados também para outros segmentos de rodovias estaduais de Florianópolis, para sua incorporação como grupo de comparação. Os critérios utilizados para a seleção destes locais serão apresentados em item específico (item 4.3.3).

Após a identificação de três câmeras de monitoramento no trecho da faixa reversível em visita *in loco* (Figura 33), consultou-se, via Sistema Eletrônico de Ouvidoria do Estado de Santa Catarina, setores da Polícia Militar de Santa Catarina e a Secretaria de Estado de Segurança Pública de Santa Catarina, a possibilidade de cessão da gravação dos vídeos de tais dispositivos.

Figura 33 – Câmera de monitoramento sob gestão da Polícia Militar de Santa Catarina.



Fonte: Autor (2022).

Por questões tecnológicas, foi alinhada a cessão de gravações com uma duração limitada: uma hora no horário de pico de manhã (07h30 as 08h30), 1h no período “entrepicos” (15h as 16h) e 1h no horário de pico da tarde (17h30 as 18h30) do dia 15 de março de 2023, quarta-feira, para os três dispositivos existentes no segmento da reversível. Tais gravações possibilitam a verificação do percentual de utilização da operação durante e fora dos horários de pico, bem como em ambas as configurações da reversível (quando ao sentido da reversão), além da constatação do percentual de desequilíbrio direcional do tráfego, cujo valor referencial costuma ser encontrado com frequência em publicações sobre o tema. A verificação de tais

indicadores se dará pela contagem de veículos durante as gravações para cada dispositivo, resultando em percentuais médios.

Cabe aqui destacar algumas limitações dos dados utilizados. O volume de tráfego fornecido pela SIE-SC contempla todo o corredor, não possibilitando a sua segregação por sentido para uma eventual análise referente ao sentido beneficiado/prejudicado pelo processo de reversão. Por outro lado, embora a operação da SC-405 não possua delimitação quanto ao horário de reversão da operação, por se tratar de uma operação contínua, todos os acidentes registrados ocorreram durante a vigência da operação, muito embora não se possa identificar o sentido da reversão no momento do acidente. Ainda quanto à limitação dos dados de acidentes, há que se mencionar algumas questões bastante discutidas em estudos de segurança viária, como as eventuais falhas humanas no processo de registro destes acidentes e a falta de padronização da forma de preenchimento das informações.

Por fim, no que tange as gravações de vídeo obtidas, embora tenha-se tentado incorporar a variação diária do tráfego por meio da contagem tanto nos períodos de pico como no “entrepicos”, bem como a opção por um dia tradicionalmente menos afetado pela variação semanal (como segundas, sextas, sábados e domingos), as contagens foram extraídas de apenas um dia de gravação.

4.3.3 Seleção do grupo de controle

A seleção das rodovias que integraram o grupo de controle utilizado neste estudo se deu com base em alguns critérios, visando a delimitação de rodovias com características similares à da rodovia objeto do estudo. Na literatura, autores recomendam a utilização tanto de critérios quantitativos, como Hauer (1997) apud AASHTO (2010) e Griffin e Flowers (1996), como também qualitativos, como Harwood et al. (2002) e AASHTO (2010). Considerando que os dados a serem utilizados no estudo foram obtidos a partir de consulta junto à SIE-SC, necessitava-se de uma definição prévia das rodovias cujos dados seriam solicitados antes de se poder avaliar eventuais similaridades quantitativas. Assim, a delimitação das rodovias que formaram o grupo de controle se deu por meio de critérios qualitativos, conforme o Quadro 4.

Com o auxílio do Mapa Rodoviário *online* da SIE-SC, disponibilizado de forma gratuita em seu endereço eletrônico, inicialmente foram identificadas as rodovias sob gestão estadual cujos limites encontram-se dentro da Ilha de Santa Catarina, porção insular do

município de Florianópolis, e onde situa-se a faixa reversível objeto de estudo. Em seguida, foram descartados os segmentos rodoviários com mais de uma faixa por sentido e, inicialmente, selecionados apenas aqueles enquadrados como “rodovia estadual de ligação” (mesma classificação do segmento objeto de estudo, conforme o Plano Rodoviário Estadual). Contudo, após identificação (com auxílio da ferramenta *Google Street View*®) de diferenças significativas das características entre o trecho objeto de estudo e os demais segmentos classificados como “rodovia estadual de ligação”, optou-se por remover tal critério. Assim, os 16 segmentos rodoviários de pista simples restantes passaram pelo senso crítico do autor e foram avaliados, por meio da ferramenta supracitada, quanto a alguns parâmetros técnicos, tais como: pavimentação (tipo de revestimento), ocupação (existência de comércios e residências no entorno), geometria (existência de acessos e ruas laterais), entre outros.

Quadro 4 – Critérios utilizados para a delimitação do grupo de comparação.

Critério	Delimitador
Jurisdição	Estado de Santa Catarina
Proximidade Geográfica	Município de Florianópolis (Ilha de Santa Catarina)
Geometria	Pista Simples
<i>Classificação da Rodovia - Suprimida</i>	<i>Rodovia estadual de ligação</i>
Avaliação do Autor (parâmetros técnicos)	Pavimentação, acessos, ruas laterais, tipo de ocupações, entre outros.

Fonte: Autor (2023).

A síntese desta etapa do processo de seleção (a partir do critério “Proximidade Geográfica”) encontra-se no Apêndice B, que resultou na composição com os seguintes segmentos rodoviários, conforme o Plano Rodoviário Estadual de Santa Catarina: rodovia SC-405 (“ENTR. ACESSO RIO TAVARES – ENTR. ACESSO CAMPECHE”; “ENTR. ACESSO CAMPECHE – ENTR. SC-401” e “ENTR. SC-401 – ENTR. SC-406 TREVO DO ERASMO”); rodovia SC-406 (“ENTR. SC-405 TREVO DO ERASMO – MORRO DAS PEDRAS”, “SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO - ENTR. P/ BARRA DA LAGOA” e “INGLESES DO RIO VERMELHO (ENTR. SC-403) - SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO”).

4.3.4 Avaliação da Operação da SC-405

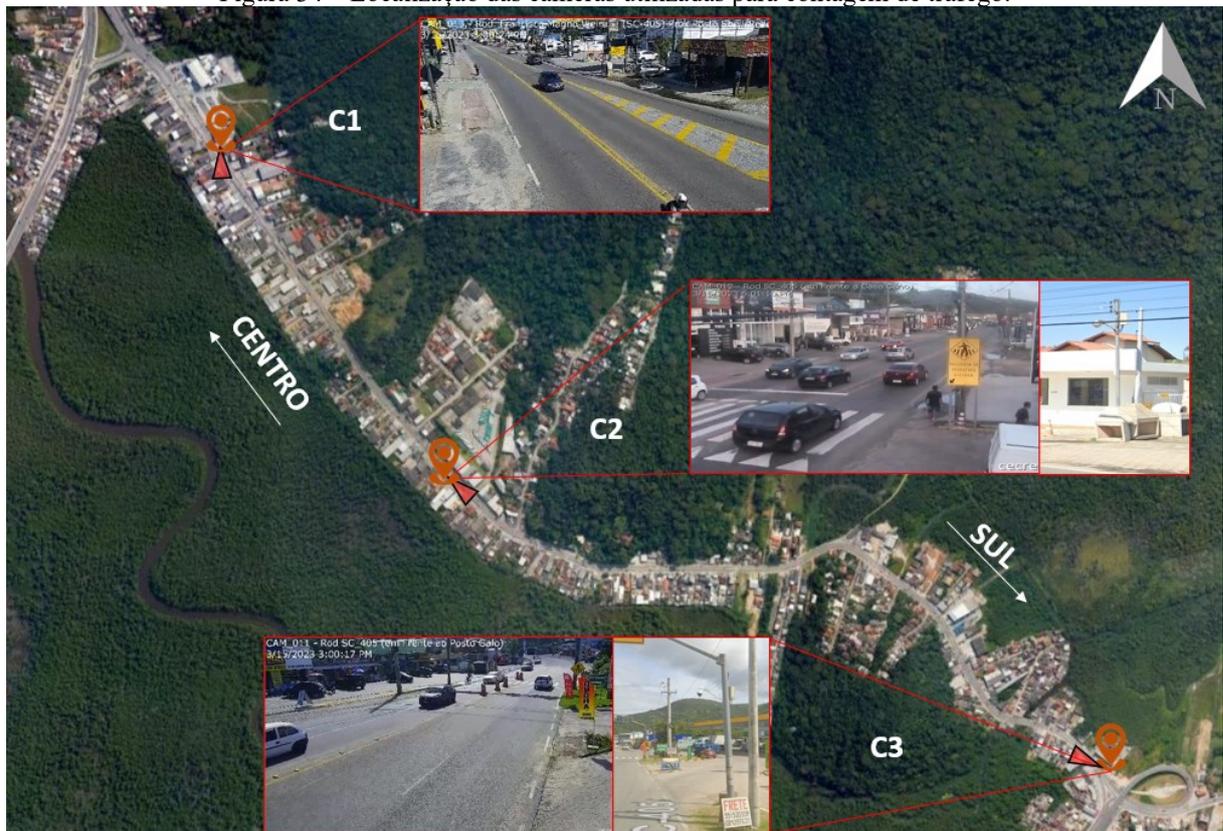
Neste item, serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados para os estudos de avaliação de desempenho efetuados.

4.3.4.1 Tráfego

A avaliação sob a abordagem de tráfego compreende a avaliação de três indicadores: volume de tráfego, percentual de utilização da faixa reversível e o desequilíbrio direcional de volume entre sentidos. Conforme descrito no Item 4.3.2, a coleta de tais dados se deu de duas formas. O percentual de utilização da reversível foi viabilizado a partir da cessão de gravações de câmeras de monitoramento existentes no segmento da reversível, sendo fornecido durante 3 intervalos de 1 hora (7h30 a 8h30, 15h a 16h e 17h30 a 18h30) para o dia de 15/03/2023. Já o volume de tráfego foi obtido junto à GPINF/SIE-SC por meio de seus Relatórios do Sistema Rodoviário Estadual de Santa Catarina, tendo sido obtido ao longo de todo o período estudado (2007 a 2017).

A Figura 34 indica a localização das câmeras instaladas junto ao segmento onde está localizada a faixa reversível na SC-405:

Figura 34 – Localização das câmeras utilizadas para contagem de tráfego.



Fonte: Autor (2023).

A obtenção do percentual se deu com base na contagem de veículos no sentido no qual operava a faixa reversível, tanto na faixa reversível, como na faixa convencional. Devido à funcionalidade de rotação das câmeras, para o processo de contagem fez-se necessário a delimitação de uma das visadas da câmera, bem como o descarte do volume de motocicletas, já que a grande maioria trafegava justamente entre a faixa reversível e a faixa de rolamento. Assim, fixou-se um plano imaginário de referência, sendo considerado na contagem os veículos que passassem por tal plano, conforme exemplificado na Figura 35:

Figura 35 – Ilustração da delimitação do plano de referência para contagem veicular.



Fonte: Autor (2023).

A razão entre as contagens indica o percentual de utilização da reversível. Este procedimento foi efetuado nos três intervalos de contagem, para as três câmeras existentes, conforme Equação 1:

$$P = \left(\frac{V_{FR}}{V_T} \right) \quad (1)$$

Onde:

- P: Percentual de utilização da faixa reversível;
- V_{FR} : Quantidade de veículos utilizando a faixa reversível;
- V_T : Quantidade total de veículos no sentido de operação da reversível;

Como o período de contagem contemplou ambos os períodos de pico, bem como o “entrepicos”, foi possível a realização deste cálculo para ambos os sentidos de operação da reversível. Assim, efetuou-se a média aritmética dos percentuais de utilização (P) obtidos para cada período de contagem (pico da manhã, “entrepicos” e pico da tarde), pelo sentido de operação da reversível, por câmara, e ainda, a média aritmética geral.

Em seguida, efetuou-se a contagem do volume no contrafluxo, nos mesmos moldes descritos anteriormente, a fim de se calcular o desequilíbrio do volume entre sentidos. O cálculo efetuado pode ser observado na Equação 2:

$$D_{vp} = \left(\frac{V_{fr} + V_{fc}}{V_{fr} + V_{fc} + V_{cf}} \right) \quad (2)$$

Onde:

- D_{VP} : Desequilíbrio, em percentual, do volume em ambos os sentidos;
- V_{FR} : Volume de tráfego contado na faixa reversível no sentido principal;
- V_{FC} : Volume de tráfego contado na faixa convencional no sentido principal;
- V_{CF} : Volume de tráfego contado na faixa convencional no contrafluxo;

Já para a avaliação do volume de tráfego, a metodologia proposta consiste em um estudo observacional do tipo “antes e depois com grupo de comparação” (*before-and-after with comparison group*) simplificado, conforme apresentado em ITE (2009). Considerando que o dado obtido junto à SIE-SC consiste na média anual do volume diário (e não o volume de veículos total no ano), efetuou-se a multiplicação deste dado por 365 (dias), estimando-se o tráfego anual. De forma geral, o método consiste na realização de comparações “antes e depois” simples, conforme a Equação 3, em cada uma das rodovias que compõe o grupo de comparação.

$$V_{vc} = \left(\frac{V_{dc}}{V_{ac}} \right) - 1 \quad (3)$$

Onde:

V_{VC} : Variação dos volumes de tráfego registrados entre os períodos “antes” e “depois” nos segmentos do grupo de comparação;

- V_{DC} : Volume de tráfego registrado no período “depois” nos segmentos do grupo de comparação;

- V_{AC} : Volume de tráfego registrado no período “antes” nos segmentos do grupo de comparação;

Na sequência, efetua-se a média aritmética entre as variações de volume registradas nos segmentos do grupo de comparação (V_{vc}), obtendo-se a variação de volume média esperada em segmentos rodoviários com características semelhantes às do segmento que recebeu a faixa reversível, porém que não receberam tal intervenção (grupo de comparação). Assim, procede-se com cálculo do volume de tráfego esperado para o segmento com faixa reversível caso a operação não houvesse sido implantada. Para tal, multiplica-se o volume registrado no período “antes” no segmento objeto de estudo pela variação média de volume obtida no grupo de comparação, conforme a Equação 4:

$$V_{de} = V_{at} * V_{vc} \quad (4)$$

Onde:

- V_{DE} : Volume no período “depois” esperado para o segmento com reversível, caso este não tivesse recebido a operação;

- V_{AT} : Volume de tráfego registrado no período “antes” no segmento da reversível;

- V_{VC} : Variação dos volumes de tráfego registrados entre os períodos “antes” e “depois” nos segmentos do grupo de comparação;

Por fim, a razão entre o volume de fato registrado (V_{dt}) no período “depois” do segmento com a faixa reversível e o volume de tráfego no período “depois” estimado a partir do grupo de comparação (V_{de}) exprime, de acordo com o método, o efeito causado pela implantação da faixa reversível no volume de tráfego do segmento com a operação (θ), conforme a Equação 5:

$$\theta = \frac{V_{dt}}{V_{de}} \quad (5)$$

Onde:

- θ : Efeito causado pela implantação da faixa reversível no volume de tráfego do segmento com a operação;
- V_{DT} : Volume no período “depois” registrado no segmento com reversível;
- V_{DE} : Volume no período “depois” esperado para o segmento com reversível, caso este não tivesse recebido a operação;

Tal razão (θ) pode ainda ser expressa em termos do efeito gerado pela intervenção estudada no volume de tráfego (E_V), utilizando-se a Equação 6:

$$E_V = 100 * (\theta - 1) \quad (6)$$

Onde:

- E_V : Efeito da intervenção no volume de tráfego;
- θ : Razão entre o volume de tráfego registrado e estimado no período “depois” no local da reversível;

4.3.4.2 *Segurança*

A avaliação sob a abordagem de segurança compreende a avaliação de nove indicadores: quantidade total de acidentes, quantidade de acidentes com fatalidades e quantidade de vítimas fatais (severidade), quantidade de tipos específicos de acidentes (abalroamento, atropelamento, choque, colisão, saída de pista, tombamento). Conforme descrito no Item 4.3.2, a coleta de tais dados se deu de em consulta junto à GECAR/SIE-SC, sendo obtidos os dados referentes aos indicadores supracitados para todo o período estudado (2007 a 2017).

O método utilizado será novamente o estudo observacional “antes e depois com grupo de comparação”. Entre as premissas adotadas tem-se o período estudado, que compreende 3 anos antes e após a implantação da operação de faixa reversível objeto de estudo, implantada em 2012. Conforme Ferraz et al. (2012), períodos maiores que 3 anos podem ser considerados suficientemente longos para se mostrares estatisticamente confiáveis. Assim, o período “antes” contemplou o período entre 2007 e 2011, enquanto o período “depois” abrangeu de 2013 a 2017, sendo o ano de 2012 descartado.

Especificamente, o procedimento é semelhante ao apresentado em Harwood et al. (2002) para o cálculo da eficácia, possuindo também alguns refinamentos, como a incorporação de um coeficiente linear de ajuste para variação de volume de tráfego (ver item . As variáveis que serão utilizadas neste método encontram-se apresentadas no Quadro 5:

Quadro 5 - Variáveis utilizadas na avaliação “antes e depois com grupo de comparação” para segurança.

Local de Tratamento		Grupo de Comparação		Qtde. estimada de acidentes no período "depois" sem a reversível	Eficácia observada	
Qtde. acidentes no período "antes"	Qtde. acidentes no período "depois"	Qtde. acidentes no período "antes"	Qtde. acidentes no período "depois"		Odds ratio	Alteração em porcentagem
A _{TA}	A _{TD}	A _{CA}	A _{CD}	A _{DE}	θ	E

Fonte: Adaptado de Harwood (2002).

De forma geral, o processo é o mesmo apresentado para a avaliação do volume de tráfego, sendo agora o indicador substituídos pelos relacionados à segurança viária. Além disso, considerando o impacto do volume de tráfego na geração de acidentes, esta variável será incorporada à avaliação por meio de um coeficiente de ajuste de tráfego.

O processo inicia-se, assim como previamente apresentado para a avaliação de tráfego, o cálculo da variação observada entre os períodos “antes” e “depois”, adaptado agora aos indicadores de segurança (Equação 7). Para simplificação, será utilizado o termo “quantidade de acidentes” para a descrição das variáveis, porém o procedimento repete-se para todos os indicadores utilizados:

$$V_{AC} = \left(\frac{A_{cd}}{A_{ca}} \right) - 1 \quad (7)$$

Onde:

-V_{AC}: Variação da quantidade de acidentes registrados entre os períodos “antes” e “depois” nos segmentos do grupo de comparação;

- A_{CA}: Quantidade de acidentes registrados no período “depois” nos segmentos do grupo de comparação;

- A_{CD}: Quantidade de acidentes registrados no período “antes” nos segmentos do grupo de comparação;

A quantidade de acidentes no período “depois” estimada para o segmento de reversível, caso este não houvesse sido implantado (A_{DE}), é obtida a partir da multiplicação entre a quantidade de acidentes observadas no local de tratamento no período “antes” (A_{TA}) e a média aritmética das razões entre as quantidades de acidentes observadas em ambos os períodos no local de comparação (A_{CD} e A_{CA}), conforme a Equação 8:

$$A_{DE} = A_{TA} * \left[\sum \left(\frac{A_{CD}}{A_{CA}} \right) \right] / n \quad (8)$$

Onde:

- A_{DE} : Quantidade de acidentes esperados no período “depois”, caso a faixa reversível não tivesse sido implantada;
- A_{TA} : Quantidade de acidentes registrados no período “Antes” no local de tratamento;
- A_{CD} : Quantidade de acidentes registrados no período “Depois” no local de comparação;
- A_{CA} : Quantidade de acidentes registrados no período “Antes” no local de comparação;
- n : Quantidade de segmentos compondo o grupo de comparação

Assim, a quantidade estimada de acidentes no período posterior para o local de tratamento (A_{DE}) deve ser comparada àquela de fato, observada (A_{TD}), sendo a razão entre elas denominada de θ (Equação 9). Logo, quando o valor de θ é menor do que 1 identifica-se a redução na frequência de acidentes, sendo possível que esta tenha causado um impacto positivo (a favor da segurança). De forma contrária, quando esta razão é maior do que 1, tem-se o aumento da frequência de acidentes no local com a implantação do objeto estudado, podendo-se inferir que o tratamento não teve o efeito esperado.

$$\theta = \frac{A_{TD}}{A_{DE}} \quad (9)$$

Onde:

- θ : Razão entre a quantidade de acidentes registrada e esperada no período “Depois” no local de tratamento;

- A_{TD} : Quantidade de acidentes registrados no período “Depois” no local de tratamento;

- A_{DE} : Quantidade de acidentes registrados no período “Depois” no local de comparação;

Tal razão (θ) pode ainda ser expressa em termos do efeito gerado pela intervenção estudada na frequência de acidentes (E_A), utilizando-se a Equação 10:

$$Ea = 100 * (\theta - 1) \quad (10)$$

Onde:

- E_A : Efeito da intervenção na frequência de acidentes;

- θ : Razão entre a quantidade de acidentes registrada e esperada no período “Depois” no local de tratamento;

4.3.4.3 Confounding factors

Conforme apresentado na revisão bibliográfica, existem diversos fatores que podem impactar a quantidade de acidentes entre os períodos “antes” e “depois”, além da intervenção estudada. Neste sentido, Harwood et al. (2002) apresentam um ajuste (Equação 11) para quando se conhece a variação no volume de tráfego entre os períodos estudados:

$$A_j = \frac{V_{td}/V_{ta}}{V_{cd}/V_{ca}} \quad (11)$$

Onde:

- A_j : Ajuste para variação no volume de tráfego entre períodos estudados;

- V_{TD} : Volume de tráfego no período “depois” no local de tratamento;

- V_{TA} : Volume de tráfego no período “antes” no local de tratamento;

- V_{CD} : Volume de tráfego no período “depois” no local de comparação;

- V_{CA} : Volume de tráfego no período “antes” no local de comparação;

Para consideração da variação do volume de tráfego entre os períodos estudados, deve-se aplicar o ajuste (A_j) calculado a partir da quantidade de acidentes estimada para o período

“depois”, caso não houvesse a implantação da reversível, incorporando-o a Equação 9, cujo resultado é apresentado na Equação 12:

$$\theta = \frac{Atd}{Ade * Aj} \quad (12)$$

Onde:

- θ : Razão entre a quantidade de acidentes registrada e esperada no período “Depois” no local de tratamento;
- A_{TD} : Quantidade de acidentes registrados no período “Depois” no local de tratamento;
- A_{DE} : Quantidade de acidentes esperados no período “depois”, caso a faixa reversível não tivesse sido implantada;
- A_J : Ajuste para variação no volume de tráfego entre períodos estudados;

Em virtude dos dados de volume de tráfego obtidos junto à SIE-SC corresponderem ao volume diário médio ao longo do ano, estes serão multiplicados pela quantidade de dias no ano para se obter o volume médio do ano. Em seguida, tais volumes médios anuais serão somados, formando o volume médio total nos períodos “antes e depois”, a fim de se executar a Equação 11.

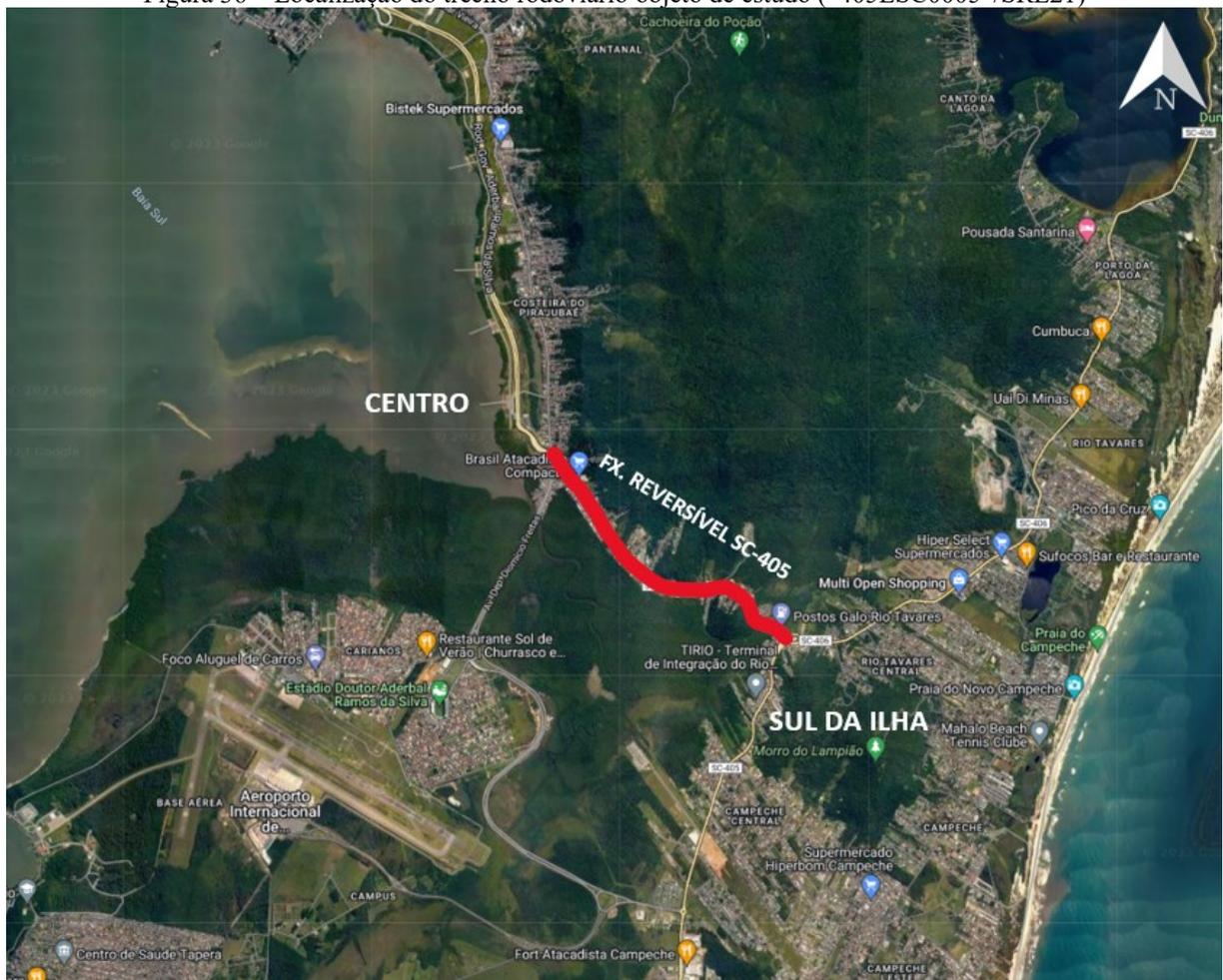
Outro *confounding factor* comum em estudos de avaliação de desempenho em segurança viária é a “tendência de longo prazo”. Este fenômeno ocorre quando a eventual variação da acidentalidade está associada a um evento completamente alheio à intervenção estudada. Para fazer esta verificação, serão computados os dados relativos aos indicadores para todas as rodovias estaduais localizadas no município de Florianópolis, a fim de se identificar eventuais tendências gerais. Já o efeito da regressão à média, embora frequentemente listada como um dos principais entraves em estudos desta natureza, leva-se em consideração, além do período analisado (3 anos antes e 3 anos após a intervenção), que o presente trabalho tem como objeto de estudo uma operação de reversível (cujo principal objetivo está associado a questões de tráfego, e não à redução na quantidade de acidentes), não se tratando, provavelmente, de uma via com dados altos em relação à média.

5 ESTUDO DE CASO: FAIXA REVERSÍVEL NA SC-405, EM FLORIANÓPOLIS (SC)

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO

A faixa reversível objeto deste estudo de caso é a operação vigente em parte da rodovia estadual de ligação denominada SC-405, localizada na parte sul da Ilha de Santa Catarina em Florianópolis (SC), destacada na Figura 36. O trecho rodoviário (405ESC0005) possui início na “Entrada à SC-401 (Trevo da Seta)” e fim na “Entrada de Acesso ao Rio Tavares”, com uma extensão de 2,85km, conforme o mapa rodoviário estadual, dos quais aproximadamente 2,5km contam com a operação (SANTA CATARINA, 2013).

Figura 36 – Localização do trecho rodoviário objeto de estudo (“405ESC0005”/SRE21)



Fonte: Adaptado de SIE (2023).

Uma visita em campo foi realizada para, com base nos conceitos abordados durante a revisão bibliográfica, identificar as principais características da operação. A visita foi realizada a pé, no período da tarde do dia 17/10/2022, quando a reversível estava operando no sentido norte (Campeche – Centro), onde aproveitou-se para efetuar o registro fotográfico de seus principais componentes.

5.1.1 Características Físicas e Temporais

A operação consiste em uma faixa reversível central, localizada entre duas faixas convencionais, sendo uma para cada sentido (1:1:1). Não há a presença de acostamentos ou estacionamentos nas laterais (foi justamente a remoção dos estacionamentos laterais que possibilitou a implantação da reversível central) e o segmento é caracterizado por uma quantidade significativa de acessos precários aos comércios lindeiros e servidões transversais (Figura 37):

Figura 37 – Faixa reversível na rodovia SC-405, em Florianópolis (SC).

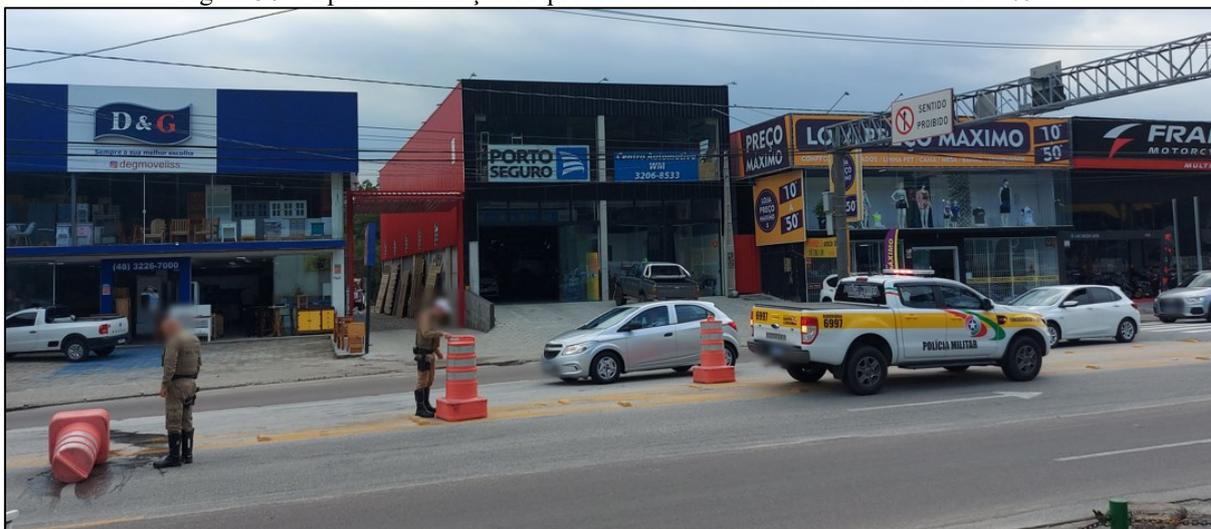


Fonte: Autor (2022).

Considerando as classificações gerais identificadas na literatura, verificou-se algumas particularidades desta operação. Caracteriza-se como uma operação permanente, tendo em vista que não é ativada apenas em situações especiais (para eventos específicos, por exemplo). Pelo contrário, a operação está sempre vigente, variando apenas o sentido atendido pela reversão (2:1 ou 1:2). Considerando que não existe segregação entre o fluxo na reversível e aquele proveniente das faixas adjacentes, pode-se enquadrar esta reversível como do tipo *off-centre*. Contudo, apesar de sua característica permanente, a sua frequência não é pré-estabelecida em um período fixo, e sim operacionalizada (neste caso, executando o processo de reversão) de forma manual por agentes em campo (Figura 38). Conforme observado *in loco*, dois agentes de campo percorrem a reversível em um veículo, estacionando, a cada sinalização semafórica, para promover a alteração remota do sinal luminoso exposto, indicando a reversão do sentido da operação.

Considerando que a reversão costuma ocorrer nos mesmos períodos (sentido Campeche – Centro no pico da manhã e Centro – Campeche no pico da tarde durante os dias de semana, com o oposto ocorrendo durante o fim de semana para atender a ida da população às praias do sul da Ilha), porém não há a formalização de tal delimitação.

Figura 38 – Operacionalização do processo de reversão na reversível da SC-405.



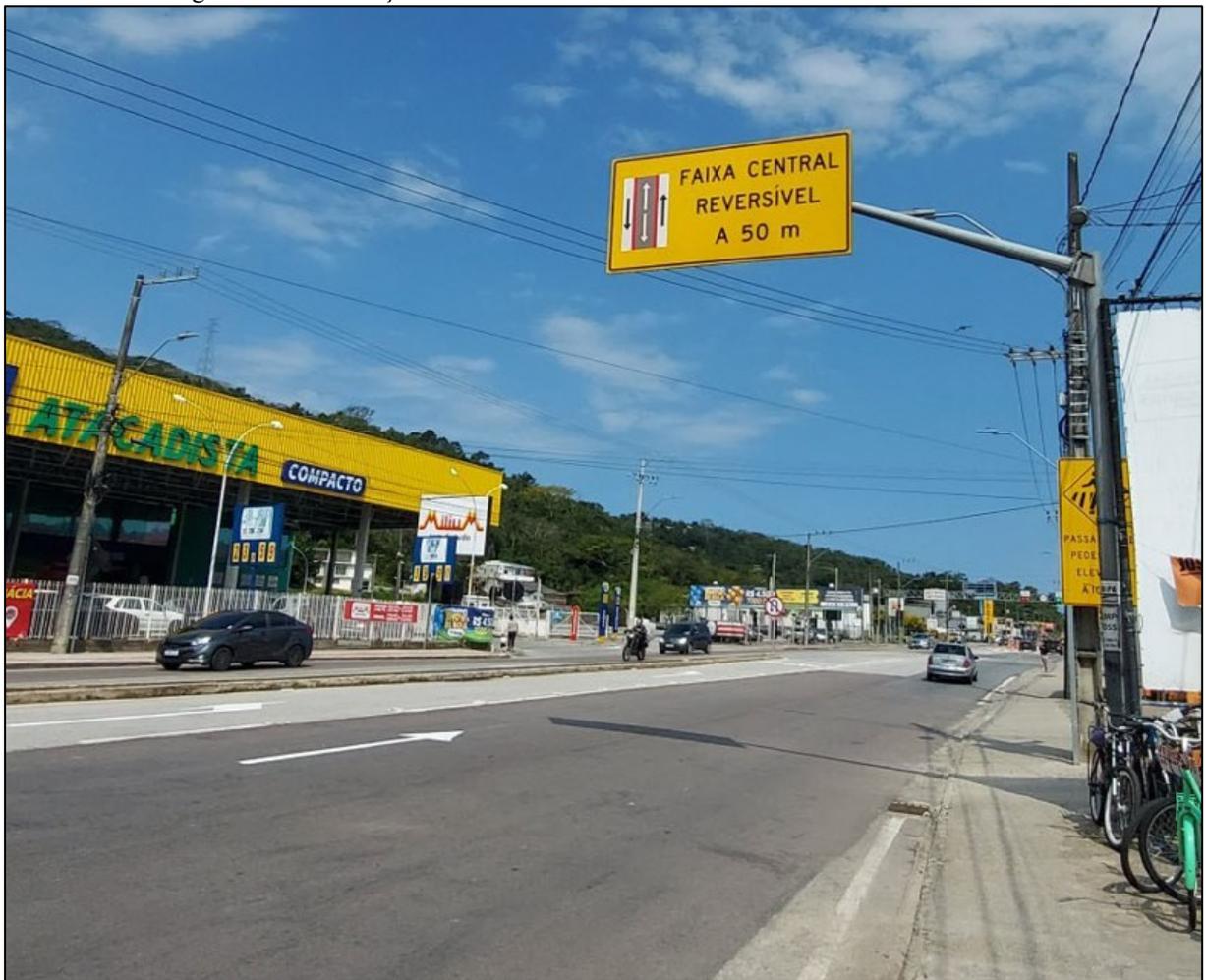
Fonte: Autor (2022).

O conjunto de sinalização adotado ao longo do trecho consiste em sinalização horizontal, vertical, semafórica e auxiliar. O manual de sinalização do CONTRAN prevê a utilização de linha dupla seccionada na cor amarela entre faixas reversíveis e faixas convencionais e a linha contínua simples na cor amarela delimitando os fluxos opostos (ver

Figura 10, p. 31). Em campo, observou-se a pintura de linhas duplas contínuas na cor amarela delimitando os bordos da faixa reversível, e o padrão frequentemente observado para linhas de bordo (linha branca contínua) nos bordos externos. Além disso, tachas refletivas bidirecionais foram implantadas, em ambos os bordos da reversível, ao longo de toda a sua extensão.

De forma geral, o esquema de sinalização vertical e semaforizado observado em campo, específico para a operação, é composto por 3 placas, além do semáforo. O início da operação é indicado por placa específica, informando a distância restante para a reversível (Figura 39).

Figura 39 – Sinalização vertical indicando o início da faixa reversível na SC-405.



Fonte: Autor (2022).

Em seguida, no local de início da operação, de fato, observa-se o primeiro pórtico semaforizado indicando quais faixas encontram-se liberadas ao tráfego. Seguindo o padrão identificado na literatura, a disponibilidade da faixa é indicada por uma seta na cor verde, enquanto a indisponibilidade pela letra “X” na cor vermelha (ver Figura 40). Neste caso, a

estrutura foi aproveitada, ainda, para indicação da velocidade diretriz (60 km/h), bem como da alocação de uma placa indicando, de forma estática, a faixa que se encontra sempre indisponível ao tráfego naquele sentido. Cabe destacar que estes elementos são implantados em ambas as faces do pórtico, sendo a sinalização adequada conforme o sentido. Ao longo da operação, foram identificados 5 pórticos semaforizados, resultando na existência de uma estrutura a cada 500 metros, em média, considerando a extensão da operação. Por fim, a necessidade de atenção quanto aos semáforos é reforçada aos usuários por meio de sinalização vertical implantada alguns metros antes dos pórticos

Figura 40 – Pórtico com sinalização semafórica e vertical na faixa reversível da SC-405.



Fonte: Autor (2022).

Em termos de sinalização auxiliar, observa-se, através da Figura 41, a presença de cilindros canalizadores de tráfego (popularmente chamados de “supercones”) em ambas as

extremidades da via, delimitando, em conjunto com a sinalização horizontal “zebrada” na cor amarela, as *buffer zones* de início e fim da reversível.

Figura 41 – Sinalização auxiliar para delimitação de *buffer zone* na SC-405.



Fonte: Autor (2022).

5.1.2 Considerações complementares

Em primeira análise, observa-se que o segmento rodoviário em questão desempenha uma função de conexão entre a região central do município e bairros do sul, como Rio Tavares e Campeche, sendo classificado como uma rodovia estadual de ligação. Além disso, o trecho não possui cruzamentos ou retornos, simplificando a implantação da operação, tendo em vista a não ocorrência de movimentos de conversões à esquerda (identificado na literatura como uma movimentação problemática para reversíveis, aumentando o risco de colisão com o fluxo contrário). Contudo, apesar de sua classificação, a via possui algumas características urbanas, com a presença de diversos comércios instalados e servidões residenciais assentadas junto à rodovia, acarretando a movimentação significativa de pedestres e ciclistas. A entrada e saída destes locais é realizada de forma frequente, causando perturbações ao tráfego e à segurança

viária, potencializadas devido a precária geometria de tais acessos. Neste sentido, embora se tenha a proibição de estacionamentos e retornos ao longo do trecho, tais movimentos ainda podem ser observados na prática.

Além disso, 8 faixas de pedestres foram identificadas ao longo da operação. Embora parte destas sejam constituídas em travessias elevadas, induzindo a redução da velocidade dos veículos e evidenciando a travessia de pedestres no local, o fato de o período de vigência da operação em cada sentido não constar devidamente indicado (por meio de sinalização vertical, por exemplo), pode levar a interpretações errôneas da operação por parte dos pedestres, acarretando atropelamentos. Ainda, cabe destacar que no período da visita, as travessias encontravam-se devidamente sinalizadas, conforme Figura 42.

Figura 42: Travessia elevada de pedestres em faixa reversível na SC-405.



Fonte: o Autor (2022).

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2.1 Seleção do Grupo de Comparação

O processo de seleção dos segmentos rodoviários utilizados como grupo de comparação para as avaliações de desempenho pertinentes se deu conforme descrito no item 4.3.3. Contudo, após o recebimento dos dados de volume de tráfego, verificou-se haver dados no período anterior à implantação (antes de 2012) em apenas um destes segmentos (“INGLESES DO RIO VERMELHO ENTR. SC-403 - SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO”). Os demais são originários de alterações da malha viária por decretos do Plano Rodoviário Estadual, podendo ser identificados apenas em relatórios do Sistema Rodoviário Estadual mais recentes. Nestes casos, utilizou-se de uma informação constante em tais relatórios que corresponde à identificação dos trechos, denominada “código do trecho”. A partir da coleta desta informação nos relatórios recentes, efetuou-se uma busca retroativa visando os segmentos viários que deram origem aos selecionados para composição do grupo de comparação. Tal busca possibilitou a identificação dos dados de volume de um segmento para todo o período desejado (“SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO - ENTR. P/ BARRA DA LAGOA”), de outro a partir de 2008 (“ENTR. ACESSO CAMPECHE - ENTR. SC-401”) e ainda, outro a partir de 2009 (“ENTR. ACESSO RIO TAVARES - ENTR. ACESSO CAMPECHE”). Logo, além do segmento cujas informações de tráfego já constavam inicialmente nos relatórios, obteve-se dados de mais três segmentos mediante a delimitação do período avaliado para três anos antes e após a intervenção (2009 – 2015).

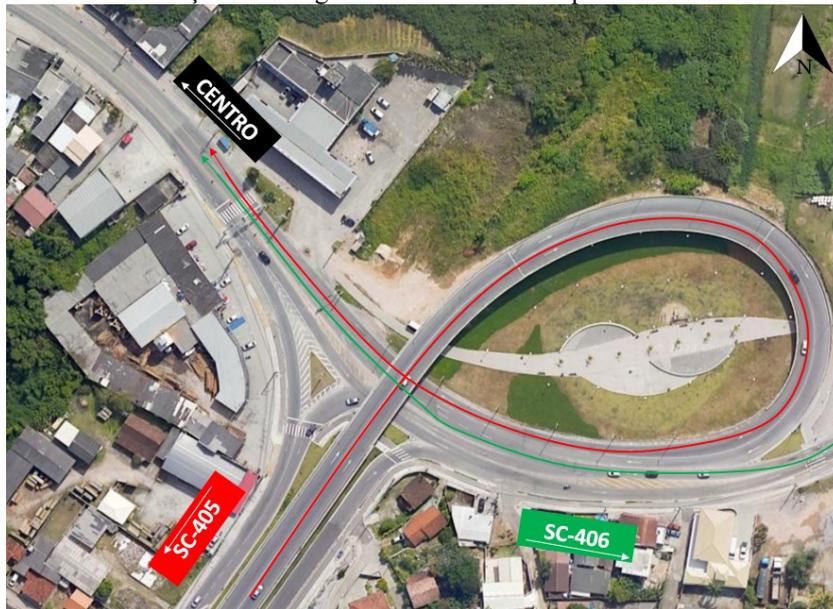
Já para os dados de acidentes isto não ocorreu, tendo em vista que havia dados para o período de interesse (três anos “antes e depois” a implantação da faixa reversível, descartando o ano de 2012) para todos os segmentos. Todavia, para a realização dos cálculos descritos no item 4.3.4.2, faz-se necessário a ocorrência de ao menos 1 acidente em ambos os períodos (“antes e depois”), o que ocorreu, para o indicador da quantidade de vítimas fatais, em apenas um segmento, além do segmento da reversível.

5.2.2 Avaliação de Desempenho em Tráfego

Através de contagens de tráfego efetuadas com o auxílio de gravações de vídeo, calculou-se dois indicadores com caráter complementar que podem subsidiar análises acerca do

desempenho de faixas reversíveis: o percentual de utilização da faixa reversível (em comparação à faixa convencional adjacente) e o percentual de desequilíbrio de volume entre os sentidos de tráfego (fluxo e contrafluxo). O percentual de utilização médio (média aritmética entre todos os períodos câmeras utilizadas) foi de aproximadamente 50% (49,61%). Tal resultado sinaliza não haver subutilização da faixa reversível por eventual aversão à operação por parte dos usuários (o que ocorreria em caso de percentual significativamente inferior a 50%), indicando de forma simplificada que, a cada dois veículos trafegando no sentido de vigência da operação, um trafegará pela faixa reversível e outro pela faixa convencional. Delimitando-se tal indicador pelo período analisado, verifica-se um maior percentual de utilização durante o horário de pico da tarde (56,46%), enquanto apenas 47,65% dos veículos utilizaram a reversível no período, em teoria, de menor demanda. Conforme previamente apresentado na Figura 34 (p. 95), três câmeras encontram-se dispostas ao longo da extensão da reversível, sendo a “C1” localizada no início (ponto mais ao norte, entroncamento com a rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva), a “C2” próximo ao centro e a “C3” ao final da operação (entroncamento com a rodovia SC-406). Assim, a segregação dos dados por câmera reflete a situação da operação em ambas as suas extremidades e na sua porção central. Delimitando-se tal dado pela câmera utilizada para as contagens, observa-se um menor percentual na câmera “C3” (45,14%) devido à um movimento natural de canalização de tráfego das vias de origem, conforme exemplificado na Figura 43 para o cenário do pico da manhã:

Figura 43 – Canalização do tráfego na faixa reversível a partir de suas vias de origem.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2023).

A síntese dos percentuais de utilização da reversível calculados encontra-se disposta na Tabela 3:

Tabela 3 – Percentual médio de utilização da faixa reversível da SC-405.

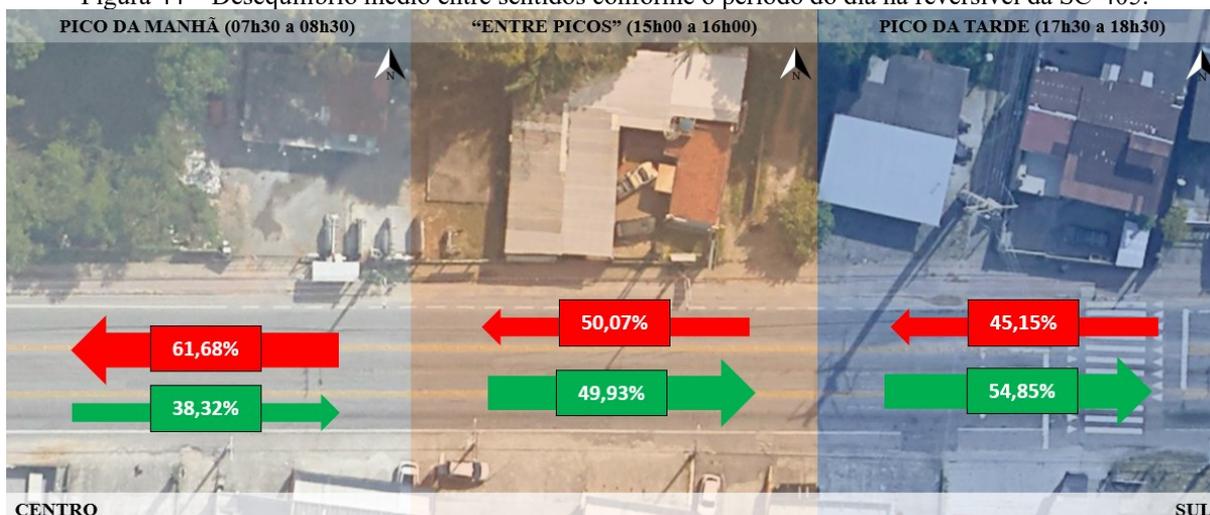
Pico Manhã	Entrepicos	Pico Tarde	C1	C2	C3	Geral
50,40%	47,65%	56,46%	50,67%	53,03%	45,14%	49,61%

Fonte: Autor (2023).

Outro indicador obtido a partir das contagens efetuadas com as gravações em vídeo foi o desequilíbrio do volume de tráfego entre sentidos. Na literatura, é comum identificar valores de referência entre 65% e 70% de desequilíbrio para justificar a implantação de uma faixa reversível. A ideia é que tal desequilíbrio seja significativo ao ponto de suprimir-se uma faixa do sentido menos carregado e revertê-la ao sentido mais solicitado. No caso da operação estudada, a implantação se deu com base na supressão dos estacionamentos laterais, possibilitando a inclusão de uma nova faixa reversível central. De todo modo, aferir o desequilíbrio na reversível já em vigor pode subsidiar uma eventual alteração da sua vigência.

O percentual de desequilíbrio médio entre sentidos foi de 56,02%, situando-se um pouco abaixo dos valores encontrados na literatura como referência. Entre os períodos avaliados, calculou-se o maior desequilíbrio durante o pico da manhã (61,68%) e o menor durante o período “entrepicos” (49,93%), enquanto no pico da tarde obteve-se 54,85%. Assim, verifica-se haver, de fato, um maior volume de tráfego no sentido para o qual opera a reversível durante os horários de pico. Embora no “entrepicos” este percentual tenha ficado ligeiramente abaixo de 50% (o que indica haver uma quantidade um pouco maior de veículos trafegando no contrafluxo da reversível), destaca-se que na configuração desta faixa reversível (1:1:1) necessariamente haverá um sentido com 2 faixas de rolamento e outro com apenas 1. Desta forma, tal percentual não indica a necessidade da reversão do sentido neste período. Cabe destacar que, durante o período avaliado (15h às 16h), a operação já se encontrava na configuração que vigoraria durante o pico da tarde (sentido Centro – Bairros). Na Figura 44, está ilustrado o percentual de desequilíbrio calculado, conforme o período do dia avaliado.

Figura 44 – Desequilíbrio médio entre sentidos conforme o período do dia na reversível da SC-405.



Fonte: Autor (2023).

Ao delimitar-se por câmera, verifica-se que em todos os locais o percentual se mostrou superior à 54%, variando de 54,14% (“C1”) a 57,86% (“C3”). A síntese dos percentuais de desequilíbrio de volume de tráfego entre sentidos calculados encontra-se disposta na Tabela 4:

Tabela 4 - Percentual médio de desequilíbrio entre sentidos na reversível da SC-405

Pico Manhã	Entrepicos	Pico Tarde	C1	C2	C3	Geral
61,68%	49,93%	54,85%	54,14%	57,86%	56,07%	56,02%

Fonte: Autor (2023).

Em seguida, procedeu-se com a avaliação do volume de tráfego por meio do método “antes e depois com grupo de comparação”. Inicialmente, compilou-se os dados fornecidos para a identificação dos segmentos do grupo de comparação previamente definido (item 5.2.1) para os quais haveria os dados desejados no período de interesse. Em tal verificação, foi possível identificar que em dois dos segmentos selecionados para o grupo de comparação (“ENTR.SC-401 - ENTR. SC-406 TREVO DO ERASMO” e “ENTR. SC-405 TREVO DO ERASMO - MORRO DAS PEDRAS”) mesmo com a busca retroativa pelo código do trecho correspondente, a disponibilidade de dados limitava-se ao período posterior à implantação. Assim, tais segmentos foram descartados para a avaliação de volume de tráfego do grupo de comparação. Então, procedeu-se com a coleta e manipulação dos dados dos demais segmentos do grupo de comparação, bem como do segmento onde situa-se a reversível. Considerando que o dado recebido diz respeito à previsão da média diária de tráfego por ano, bem como a necessidade do agrupamento destes dados em ambos os períodos de avaliação, efetuou-se a

multiplicação dos volumes médios diários pela quantidade de dias de cada ano, estimando-se o volume total de veículos para cada ano em cada segmento. Por fim, os volumes foram agrupados, para cada segmento, nos períodos “antes” (2009 a 2011) e “depois” (2013 a 2015), possibilitando os cálculos descritos no item 4.3.4.1. Para tal, inicia-se com o cálculo da variação do volume entre os períodos considerados para cada segmento, e a aferição da média aritmética entre estes, conforme Tabela 5:

Tabela 5 – Variação do tráfego anual estimado para segmento do grupo de comparação.

Segmento	Volume "antes" (Vac)	Volume "depois" (Vdc)	Variação (Vvc)	Variação Média
406ESC0005	5.530.115	5.929.425	7,22%	
<i>405ESC0010</i>	<i>15.542.430</i>	<i>25.777.030</i>	<i>65,85%</i>	39,90%
<i>405ESC0015</i>	<i>8.048.615</i>	<i>15.199.695</i>	<i>88,85%</i>	
<i>406ESC0006</i>	<i>6.071.410</i>	<i>5.929.425</i>	<i>-2,34%</i>	

Fonte: Autor (2023).

De imediato, nota-se uma significativa variação entre os dados, havendo dois segmentos com aumentos significativos de volume no período, um com aumento moderado e outro com leve redução. Cabe destacar que os segmentos denominados “405ESC0010”, “405ESC0015” e “406ESC0006” correspondem aos dados onde fez-se necessária a consideração retroativa de seus segmentos de origem (representados em itálico na tabela). Na sequência, utilizando-se da variação média do volume obtida no grupo de comparação, estima-se o volume de tráfego esperado no segmento com a faixa reversível caso esta não houvesse sido implantada (V_{DE}), através da multiplicação da referida variação pelo volume registrado no período “antes” do segmento com reversível (V_{AT}). A razão entre o volume estimado e o volume real (θ) sinaliza a diferença da variação de volume no segmento onde foi implantada a faixa reversível, frente à variação média observada no grupo de comparação, que pode também ser expressa em termos do efeito gerado pela implantação da faixa reversível (E_v), conforme Tabela 6:

Tabela 6 – Efeito gerado pela faixa reversível no volume de tráfego a partir do grupo de comparação.

Segmento	Volume "antes" (Vat)	Volume "depois" estimado (Vde)	Volume "depois" real (Vdt)	Razão entre volumes "depois" (θ)	Efeito da intervenção (E_v)
405ESC0005	32.220.375	45.074.698	43.283.525	0,9603	-3,97%

Fonte: Autor (2023).

Em outras palavras, os resultados demonstrados na Tabela 6 indicam que, por mais que se tenha aferido um aumento no volume de tráfego de 34,34% (razão entre “ V_{DT} ” e “ V_{AT} ”) no segmento onde foi implantada a faixa reversível, este aumento foi inferior ao aumento médio observado no grupo de comparação (39,90%), que materializa justamente o aumento que se esperava no segmento estudado caso não houvesse sido implantada a operação de faixa reversível. Assim, o estudo indica que o efeito da implantação da faixa reversível no segmento avaliado é de uma redução de 3,97% frente à variação de volume de tráfego esperada. Naturalmente, isto não vai de encontro à expectativa da operação, tendo em vista que o benefício da faixa reversível é justamente ampliar a oferta viária no local em um trecho que, em teoria, estava saturado e motivou a adoção desta estratégia.

Todavia, cabe destacar alguns pontos. A partir da constatação de uma lacuna no dado de volume de tráfego para o período anterior à implantação da operação nos segmentos selecionados para o grupo de comparação, optou-se por, a partir da identificação destes dados em relatórios recentes, utilizar-se do seu código para pesquisar os dados de volume em relatórios anteriores. A título de exemplificação, o segmento hoje denominado no Plano Rodoviário Estadual como “ENTR. ACESSO RIO TAVARES - ENTR. ACESSO CAMPECHE” só passou a constar com tal nomenclatura nos relatórios a partir de 2012, embora houvesse dados disponíveis em segmentos associados ao seu código (405ESC0010) desde 2009. Neste período, o segmento denominava-se “ENTR. ACESSO RIO TAVARES - ENTR. ACESSO TAPERA” e contava com 1,4 quilômetros de extensão a mais do que atualmente. Logo, os segmentos onde tal premissa foi adotada, podem ter sofrido alterações geométricas, motivando a sua alteração nos decretos do Sistema Rodoviário Estadual. Neste contexto, acrescentam-se os conceitos identificados na literatura quanto aos critérios utilizados para selecionar o grupo de comparação. De forma geral, observou-se a adoção de critérios quantitativos e/ou qualitativos. Nesta pesquisa, devido à necessidade de solicitação de dados aos órgãos competentes, foram adotados critérios qualitativos, já que estes poderiam ser avaliados previamente pelo autor. De fato, em termos quantitativos (volume de tráfego) foi observado a heterogeneidade do grupo, refletida, por exemplo, pela variação do volume de tráfego (V_{VC}) exposta previamente na Tabela 5.

Diante do exposto, prosseguiu-se com uma avaliação complementar nos mesmos moldes, porém reduzindo o grupo de comparação ao único segmento cujos dados encontravam-se disponíveis durante todo o período desejado (“INGLESES DO RIO VERMELHO ENTR. SC-403 - SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO”, código 406ESC0005), em um modelo de estudo

do tipo “antes e depois” denominado na literatura como *yoked-comparison*. A lógica é a mesma utilizada no “antes e depois com grupo de comparação”, porém associa-se um único par entre o objeto da intervenção e o de controle. Conforme exposto na Tabela 5, a variação de volume neste segmento durante o período avaliado foi de 7,22%. Repetindo-se os cálculos que resultaram nas informações demonstradas na Tabela 7, obtém-se o seguinte:

Tabela 7 - Efeito gerado pela faixa reversível no volume de tráfego a partir do segmento 406ESC0005.

Segmento	Volume "antes" (Vat)	Volume "depois" estimado (Vde)	Volume "depois" real (Vdt)	Razão entre volumes "depois" (θ)	Efeito da intervenção (Ev)
405ESC0005	32.220.375	34.546.894	43.283.525	1,2529	25,29%

Fonte: Autor (2023).

Neste cenário, verifica-se que o volume real registrado no segmento da faixa reversível é 125% maior do que o esperado, considerando a variação de volume ocorrida em segmento comparável (405ESC0005), indicando que a implantação da faixa reversível na SC-405 aumentou em 25,29% a variação do volume esperado, caso esta não tivesse sido implantada. Assim, percebe-se a importância da delimitação do grupo de comparação para estudos observacionais desta natureza.

Um assunto comumente encontrado na literatura como sendo um *confounding factor* a ser considerado é o efeito da migração do tráfego para rotas paralelas após a execução de alguma intervenção na rodovia estudada. Em se tratando de faixas reversíveis, este efeito pode ser associado, principalmente, para o volume de tráfego do sentido que teve uma de suas faixas revertidas, onde ocorre a redução da capacidade viária. Contudo, especificamente para este estudo, pode-se verificar a escassez de rotas alternativas ao trecho da rodovia SC-405 com a faixa reversível durante o período estudado (Figura 47, Anexo B). Apenas recentemente este cenário foi alterado após as intervenções no acesso do Aeroporto Hercílio Luz pela rodovia SC-401, criando uma comunicação, especificamente, entre a região central o sul da Ilha de Santa Catarina. Assim, a síntese dos resultados obtidos a partir da avaliação de desempenho de tráfego é exposta na Tabela 8:

Tabela 8 – Síntese dos resultados obtidos na avaliação de desempenho de tráfego.

Percentual de utilização médio (Pm)	Desequilíbrio Médio (Dvpm)	Efeito da Intervenção 1 (Ev)	Efeito da Intervenção 2 (Ev)
49,61%	56,02%	-3,97%	25,29%

Fonte: Autor (2023)

5.2.3 Avaliação de Desempenho em Segurança

Diferentemente do dado de volume de tráfego, os dados relativos aos acidentes encontravam-se disponíveis para todas as rodovias durante todo o período desejado. A informação da localização dos acidentes viabiliza a sua separação conforme as delimitações atuais. Assim, todos os segmentos previamente selecionados incorporaram, de fato, o grupo de comparação. Contudo, não foi registrada a ocorrência de alguns tipos específicos de acidentes em todos os segmentos, sendo estes tipos de acidentes descartados da avaliação. Portanto, delimitou-se os seguintes indicadores a serem utilizados na avaliação de segurança: quantidade total de acidentes, quantidade de tipos específicos de acidentes (abalroamentos, atropelamentos, choques, colisões e saídas de pista) e quantidade de vítimas fatais, sendo este último tratado de forma separada.

Inicialmente, conforme exposto no item 5.2.1 foram computados os dados referentes aos indicadores supracitados para ambos os períodos de análise (A_{CA} e A_{CD}), sendo a razão entre estes (V_{AC}) correspondente à variação observada no período. Estas, bem como a sua média aritmética, que corresponde a variação observada nestes segmentos para cada indicador (exceto a quantidade de vítimas fatais), encontram-se expostas na Tabela 9:

Tabela 9 – Média das variações (V_{AC}) de cada indicador no grupo de comparação.

Segmento	Total			Abalr.			Atrop.			Choque			Colisão			Saída		
	A_{CA}	A_{CD}	V_{AC}															
405ESC010	174	177	1,02	85	87	1,02	9	10	1,11	34	14	0,41	32	58	1,81	6	4	0,67
405ESC015	197	237	1,20	108	131	1,21	4	11	2,75	11	5	0,45	55	73	1,33	17	10	0,59
405ESC020	139	154	1,11	53	71	1,34	7	5	0,71	10	8	0,80	41	47	1,15	17	10	0,59
406ESC030	56	46	0,82	17	19	1,12	2	2	1,00	1	1	1,00	17	8	0,47	14	12	0,86
406ESC006	44	42	0,95	14	21	1,50	2	2	1,00	8	5	0,63	16	10	0,63	3	3	1,00
406ESC005	222	239	1,08	94	123	1,31	15	12	0,80	9	9	1,00	75	77	1,03	16	6	0,38
Média Grupo			1,03			1,25			1,23			0,72			1,07			0,68

Fonte: Autor (2023).

A média das variações dos indicadores no grupo de comparação é multiplicada pelos dados registrados no período anterior a implantação (A_{TA}) no segmento da faixa reversível, estimando-se o valor esperado no período posterior (A_{DE}) partindo-se do pressuposto que caso a reversível não fosse implantada o segmento se comportaria de forma similar ao grupo de comparação. Estes valores são então comparados aos valores, de fato, registrados no segmento da reversível (A_{TD}), calculando-se a razão entre ambos (θ), bem como o efeito causado nos

indicadores pela implantação da faixa reversível na rodovia SC-405 (E_A). Dos seis indicadores avaliados, observou-se um aumento do dado real frente ao estimado ($\theta > 1$) em quatro dos indicadores (total, abalroamentos, choques e saídas de pista), conforme Tabela 10:

Tabela 10 - Efeito positivo gerado pela reversível da SC-405 em indicadores de segurança

Total				Abalroamentos				Choques				Saídas de pista			
ADE	ATD	θ	E_A	ADE	ATD	θ	E_A	ADE	ATD	θ	E_A	ADE	ATD	θ	E_A
668,55	715	1,07	6,95%	307,59	325	1,06	5,66%	41,48	43	1,04	3,66%	15,62	28	1,79	79,24%

Fonte: Autor (2023).

Nestes, observa-se um efeito positivo de 6,95% na quantidade total de acidentes. Em outras palavras, no segmento com a faixa reversível, ocorreu um aumento na quantidade de acidentes total, 6,95% maior do que o esperado para este segmento caso a faixa reversível não houvesse sido implantada, e o segmento se comportasse de forma similar aos demais segmentos do grupo de comparação. Entre os tipos de acidente, verifica-se um efeito expressivo para os acidentes do tipo saída de pista (79,24%), enquanto nos demais tipos (abalroamentos e choques) observa-se um efeito de leve magnitude (5,66% e 3,66%, respectivamente). Além destes, constatou-se um efeito negativo (ou seja, ocorreu uma variação de dados menor no segmento com a reversível do que a média dos segmentos do grupo de comparação) nos dados de atropelamentos e colisões (Tabela 11):

Tabela 11 - Efeito negativo gerado pela reversível da SC-405 em indicadores de segurança

Atropelamentos				Colisões			
ADE	ATD	θ	E_A	ADE	ATD	θ	E_A
34,42	25	0,73	-27,36%	295,85	274	0,93	-7,39%

Fonte: Autor (2023).

Na prática, a variação de tais indicadores no segmento avaliado foi inferior ao esperado, com base nas variações médias dos grupos de comparação. Curiosamente, dois dos indicadores frequentemente associados às faixas reversíveis na bibliografia consultada sobre o tema eram justamente atropelamentos (relacionados à interpretação da operação pelos usuários, especialmente usuários não acostumados) e colisões frontais (especialmente em reversíveis urbanas, onde tende-se a não ter segregação física entre fluxos). Estes resultados chamam ainda mais atenção ao considerar-se que, em levantamento de campo, constatou-se que a faixa reversível da SC-405 não dispõe de sinalização vertical informando o horário das reversões de sentido, embora aparente ocorrer em horários semelhantes, e que o município recebe uma

quantidade expressiva de turistas, especialmente na temporada de verão. Por outro lado, ainda durante o levantamento de campo, observou-se a existência de travessias elevadas e sinalização vertical junto às faixas de pedestres (ver Figura 42, p. 110), o que pode estar mitigando eventuais incidentes. Quanto as colisões, cabe destacar que as faixas reversíveis são historicamente associadas a eventos de colisões frontais devido à própria concepção destas operações. Além disso, em alguns casos, cita-se o aumento na quantidade de colisões laterais devido a movimentos de conversões inoportunos. Neste contexto, é importante destacar que o dado avaliado está agrupado, contemplando todos os tipos de colisões, podendo o resultado ser outro ao delimitar-se, exclusivamente, colisões frontais e/ou laterais.

Faz-se importante destacar que, conforme observado na avaliação de tráfego, houve um aumento de 34,34% no volume de tráfego do trecho avaliado durante o período de análise, embora discuta-se quanto ao efeito positivo ou negativo, de acordo com os segmentos utilizados como comparação. Neste sentido, para incorporar esta variação do volume de tráfego na avaliação de acidentes, procedeu-se com a utilização de um coeficiente de ajuste linear proposto em Harwood et al. (2002). Em virtude do exposto no item 5.2.2 quanto às adaptações necessárias para a coleta de dados de volume de tráfego nos relatórios do Sistema Rodoviário Estadual, tal ajuste foi considerado em uma nova avaliação, contendo como segmento de controle apenas aquele que continha os dados de volume de tráfego para todo o período desejado (código “406ESC0005”). A razão entre a variação de volume em ambos os segmentos considerados no período resulta no coeficiente de ajuste (A_J), conforme Tabela 12:

Tabela 12 - Cálculo do coeficiente de ajuste linear para variação do volume de tráfego.

Segmento	Volume "Antes" (V_A)	Volume "Depois" (V_D)	V_D/V_A	Coef. Ajuste (A_J)
405ESC0005	32.220.375	43.283.525	1,34336	1,2529
406ESC0005	5.530.115	5.929.425	1,07221	

Fonte: Autor (2023).

Este é incorporado ao cálculo provocando o incremento do dado estimado para o período posterior no trecho estudado (A_{DE}). A consideração deste ajuste, conforme descrito no item 4.3.4.3 e a consequente alteração do grupo de comparação, influencia de forma significativa os resultados, acarretando um efeito negativo para todos os indicadores, com exceção das saídas de pista, conforme a Tabela 13:

Tabela 13 - Efeito gerado pela faixa reversível nos indicadores de acidentes com incorporação do coeficiente de ajuste de tráfego.

Total		Abalr.		Choque		Atrop.		Colisão		Saída	
θ	E_A										
0,82	-18,32%	0,81	-19,41%	0,59	-40,83%	0,89	-10,92%	0,77	-23,10%	2,59	159,11%

Fonte: Autor (2023).

A inversão de cenários nos indicadores de abalroamentos e choques se justifica, além da alteração do grupo de comparação, pela diferença de magnitude da variação do volume de tráfego entre os segmentos: enquanto no segmento da reversível houve um aumento de 34,34%, no segmento de controle (“406ESC0005”) o aumento foi de apenas 7,22%. O reflexo disto é observado no coeficiente de ajuste (A_J), que majora o valor esperado para o segmento estudado caso não houvesse a implantação da reversível em mais de 25% ($A_J = 1,2529$). A variação da quantidade de abalroamentos observada entre os períodos avaliados no segmento de controle foi de 30,8%. Considerando que foram registrados 246 abalroamentos no período “antes” do segmento com reversível (A_{TA}), a expectativa de abalroamentos no período “depois” em um cenário sem a implantação da reversível (A_{DE}) seria de aproximadamente 321 abalroamentos ($A_{TA} \times 30,8\%$). Contudo, a variação de 30,8% na quantidade de abalroamentos observada no grupo de controle durante o período avaliado sofreu influência de uma variação de tráfego neste mesmo período de apenas 7,22%, enquanto no segmento com reversível a variação de tráfego observada no período foi de 34,34% (o que se entende que influenciará em maior magnitude a quantidade de abalroamentos no segmento avaliado), devendo ser majorada, portanto, a estimativa ($A_{DE} \times A_J$) para aproximadamente 403 abalroamentos. Sendo a quantidade de abalroamentos observado no segmento da reversível no período posterior igual a 325 (A_{TD}), verifica-se que esta seria superior a estimativa inicial ($A_{DE} = 321$), porém é significativamente inferior à estimativa ajustada ($A_{DE} \times A_J = 403$). O mesmo cenário é observado para o indicador de choques. Em resumo, a incorporação do coeficiente de ajuste de tráfego no cálculo do efeito causado nos indicadores de segurança pela implantação da faixa reversível acarreta a efeitos negativos (menor variação de indicadores no segmento avaliado frente ao esperado) para todos os indicadores avaliados, com exceção das saídas de pista, inferindo-se que a implantação da faixa reversível não contribuiu para a piora do desempenho de segurança do segmento.

Outro indicador utilizado na avaliação foi a quantidade de vítimas fatais, a fim de se verificar o nível de severidade dos acidentes. Uma limitação deste método de avaliação (estudo observacional do tipo “antes e depois”) é o fato de não poder haver, em nenhum dos períodos avaliados, a não ocorrência do dado avaliado. Neste sentido, em 5 dos 6 segmentos selecionados

para formação do grupo de comparação não foram registrados acidentes com vítimas fatais no período “antes” ou “depois” da implantação da reversível. O único segmento em que houve registro em ambos, além do próprio segmento da reversível, foi o denominado “ENTR. ACESSO CAMPECHE - ENTR. SC-401” (código “405ESC0015”). Assim, para este indicador, a avaliação foi efetuada apenas com este segmento como comparação. Como para este segmento foi adotada a premissa da busca retroativa do dado de volume de tráfego, a avaliação deste indicador não contou com o coeficiente de ajuste de tráfego. Os resultados estão na Tabela 14:

Tabela 14 – Efeito gerado pela faixa reversível da SC-405 na quantidade de vítimas fatais.

Segmento	A_{CA}	A_{CD}	A_{CD}/A_{CA}	A_{TA}	A_{DE}	A_{TD}	θ	E_A
405ESC0015	1	1	1	-	-	-	5,00	500%
405ESC0005	-	-	-	1	1	5		

Fonte: Autor (2023).

Na prática, observa-se que houve 1 fatalidade em ambos os períodos do segmento de controle (A_{CA} e A_{CD}) e, portanto, esperava-se, no período posterior do segmento com reversível (A_{DE}), a manutenção da quantidade observada no período “antes”. Todavia, foram registradas 5 vítimas fatais no período posterior (A_{TD}), frente à apenas 1 no período “antes” (A_{TA}), o que corresponde à uma variação 500% maior do que o esperado. Tal resultado sobressai-se, considerando os resultados obtidos nas demais avaliações de segurança, especialmente a partir da mensuração de efeitos negativos de indicadores como atropelamentos e colisões, especialmente ao incorporar-se o coeficiente de ajuste de volume de tráfego. Cabe destacar que caso o volume de tráfego coletado, conforme exposto previamente para este segmento, fosse utilizado para calcular o coeficiente de ajuste para este indicador, o efeito seria ainda maior, afinal a variação do volume de tráfego no segmento de controle foi maior do que o observado no segmento da reversível. Naturalmente, deve-se ponderar que se trata de uma quantidade reduzida de ocorrências.

Por fim, apesar de não ter sido incorporado nos cálculos realizados, considerando a frequente citação como um *confounding factor* relevante na literatura, computou-se os dados referentes a todos os acidentes rodoviários registrados na malha estadual situada no município de Florianópolis em ambos os períodos avaliados (2009 a 2011 e 2013 a 2015) e calculou-se a variação de cada um dos indicadores considerados nesta avaliação, obtendo-se, em termos de referencial, o exposto na Tabela 15:

Tabela 15 – Verificação do efeito de tendência geral em acidentes na malha estadual em Florianópolis (SC).

Abalr.	Atrop.	Choque	Colisão	Saída de Pista	Total	Vítimas Fatais
-18,92%	-16,17%	-31,99%	-21,78%	-30,98%	-22,29%	-17,91%

Fonte: Autor (2023).

Observa-se haver uma tendência de redução geral nos indicadores de acidentes na malha rodoviária estadual situada nos limites do município de Florianópolis, embora foi observado o aumento de alguns destes indicadores, tanto no segmento avaliado (abalroamentos, saídas de pista, quantidade total de acidentes e quantidade de vítimas fatais), quanto nos segmentos que formaram o grupo de comparação.

6 CONCLUSÕES

A implantação de faixas reversíveis é uma estratégia frequentemente adotada para a mitigação de alguns tipos de eventos onde faz-se necessário a ampliação da capacidade viária por um determinado período, como em congestionamentos cotidianos. Contudo, apesar de tratar-se de uma técnica globalmente difundida e utilizada desde o início do século XX, o histórico da sua utilização demonstra, até os dias atuais, uma lacuna entre as diretrizes técnicas e a aplicação prática em todas as suas etapas (prévias e posteriores à implantação), inclusive a etapa de avaliação de desempenho.

A partir da revisão bibliográfica sistemática efetuada, foi possível extrair as informações-chave (abordagem, indicadores, forma de coleta de dados e método) utilizadas em estudos de avaliação de desempenho de reversíveis e *managed lanes* desenvolvidos no âmbito acadêmico e na *grey literature*, onde observou-se a predominância de avaliações desenvolvidas sob as abordagens de tráfego e segurança viária, pautadas em indicadores de volume de tráfego, tempo de viagem e quantidade de acidentes, com dados coletados a partir de diversas técnicas e realizadas tanto por métodos quantitativos (estudos observacionais do tipo “antes e depois”), quanto métodos qualitativos (entrevistas). A sumarização e o ordenamento lógico destas informações-chaves embasaram a elaborações dos fluxogramas propostos.

A aplicação do fluxograma, aliado à consulta aos órgãos responsáveis, direcionou a realização do estudo de caso proposto nesta pesquisa: uma avaliação de desempenho da faixa reversível localizada na rodovia SC-405, em Florianópolis, sob as abordagens de tráfego e segurança viária. A avaliação de tráfego contemplou os indicadores de percentual de utilização da faixa reversível e desequilíbrio direcional entre sentidos, cujos dados foram obtidos a partir

de contagens de tráfego por gravações em vídeo, bem como um estudo observacional do tipo “antes e depois com grupo de comparação” do indicador de volume de tráfego, cujos dados foram obtidos a partir de relatórios do Sistema Rodoviário Estadual fornecidos pela SIE-SC. Em relação ao primeiro, constatou-se não haver subutilização da faixa reversível, sendo aferido um percentual médio de utilização de 49,61%. Quanto ao desequilíbrio de tráfego entre sentidos, no montante de 56,02%, este se mostrou abaixo de valores de referência encontrados na literatura (entre 65 e 70%). Neste caso, entendeu-se limitada a influência do fenômeno de migração do tráfego devido à ausência de rotas alternativas à época do período avaliado. Em relação aos dados de volume de tráfego, entendeu-se como uma abordagem adequada para a interpretação dos resultados obtidos a seguinte: os indicadores de percentual de utilização da faixa reversível e desequilíbrio direcional foram coletados a partir de contagem de tráfego específica, portanto não sofreram qualquer tipo de influência; para a avaliação do volume de tráfego, entendeu-se mais adequada a consideração do cálculo envolvendo apenas o segmento “406ESC0005”, em que já havia os dados de volume de tráfego para todo o período desejado nos relatórios disponibilizados pela SIE-SC. Assim, o efeito gerado no volume de tráfego pela implantação da faixa reversível é positivo e perfaz 25,29% (embora registre-se a ressalva de que o grupo de comparação utilizado para tal limitou-se a um único segmento).

O mesmo entendimento se aplica à avaliação de segurança quanto à aplicação do coeficiente de ajuste de tráfego, onde observam-se efeitos negativos (com exceção dos acidentes do tipo saída de pista). Novamente, faz-se a observação quanto à utilização de um único segmento no grupo de comparação. Um aspecto a ser destacado e que justifica a replicação e o aprimoramento do processo no contexto de um plano de monitoração e avaliação de desempenho desta operação é o fato de a tendência geral nas rodovias estaduais inseridas no município de Florianópolis indicar a redução para todos os indicadores avaliados, em contraponto ao observado no segmento que dispõe da faixa reversível, onde foi observado o aumento da quantidade total de acidentes, abalroamentos, saídas de pista e vítimas fatais no segmento que dispõe da faixa reversível.

Assim, do ponto de vista dos parâmetros analisados, o segmento estudado apresentou um incremento ao volume de tráfego junto ao grupo de comparação, indicando o atendimento ao principal objetivo desta estratégia de tráfego, sem prejuízo à segurança viária, cujos indicadores se mostraram majoritariamente favoráveis junto ao grupo de comparação. Em que pese as considerações necessárias para a realização do estudo de caso, entende-se que os

fluxogramas apresentados podem servir de apoio para a avaliação de desempenho de operações existentes e novas implantações.

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o planejamento desta pesquisa, já se sabia da limitada disponibilidade de dados de tráfego disponível em relação ao objeto estudado, especialmente eventuais dados anteriores à implantação desta operação, em 2012. Contudo, considerando a relevância da abordagem de tráfego para estudos desta natureza, tendo sido identificado na revisão bibliográfica tratar-se da principal motivação associada à implantação de faixas reversíveis, optou-se por incluir tal abordagem. O dado de volume de tráfego contido nos relatórios obtidos junto à SIE-SC corresponde à uma estimativa gerada por um modelo de previsão de demanda, constituindo uma estimativa do tráfego médio diário para todo o corredor, não havendo classificação do volume entre sentidos, variável a ser utilizada idealmente. Ainda, o programa de instalação das câmeras cujas gravações em vídeo poderiam subsidiar a geração deste dado teve início em 2012, não contemplando, portanto, o período anterior à implementação da faixa reversível. Além disso, por se tratar de dispositivos com tecnologia basculante, a coleta de dados não proporcionais (como os indicadores percentuais utilizados neste trabalho) poderia ser prejudicada. A forma para coleta de dados relativos ao tempo de viagem identificados na literatura envolveu, ou o emprego de dispositivos *ITS*, ou a utilização de um veículo teste. Em ambos os casos, faz-se necessário a coleta durante o período anterior à intervenção. Assim, não se viabilizou a obtenção deste indicador, observado com frequência em estudos de desempenho desta natureza e que, na opinião do autor, se mostra o mais adequado para mensurar o desempenho deste tipo de operação sob a abordagem de tráfego, sendo recomendada a sua utilização em casos possíveis de coleta. Quanto à avaliação de desempenho sob a abordagem de segurança, verificou-se na bibliografia que, apesar de não se tratar de um fator de motivação para a implantação de faixas reversíveis, ela se mostra extremamente importante do ponto de vista operacional. Neste sentido, torna-se interessante a maior disponibilidade de dados referentes à segurança viária. Percebeu-se, também, a necessidade de buscar um padrão nos procedimentos de registro de acidentes.

Do ponto de vista metodológico, verificou-se a predominância de métodos quantitativos, em especial variações dos modelos de estudos observacionais do tipo “antes e

depois”. Em modelos que adotem um grupo de comparação, a delimitação dos critérios a serem utilizados para a formação do grupo de comparação é fundamental. No presente trabalho, foram adotados critérios qualitativos e, de forma geral, não foi observada homogeneidade nos indicadores avaliados. Assim, recomenda-se a adoção de critérios quantitativos em estudos futuros, embora para tal, faça-se necessário o acesso prévio aos dados avaliados. Outro ponto de destaque no que tange a este método de avaliação é a consideração de *confounding factors*. Nas publicações recuperadas durante a revisão sistemática, foram observadas poucas menções a tais fatores, apesar de as diretrizes técnicas sobre o tema explicitarem a sua importância. Na presente pesquisa, buscou-se incorporar o efeito da variação do volume de tráfego na ocorrência de acidentes através do coeficiente de ajuste de tráfego (AJ) proposto em Harwood et al. (2002), apesar da necessidade de adaptações do dado de volume de tráfego conforme exposto ao longo do trabalho. Além disso, em se tratando de referencial, obteve-se a variação para todos os indicadores de segurança em rodovias estaduais situadas em Florianópolis durante o período avaliado, correspondendo ao efeito denominado como “tendências de longo prazo”. Entendeu-se não ser necessário a incorporação dos efeitos de “migração do tráfego a rotas alternativas”, pois no período avaliado não havia rota paralela exequível, e do efeito de “regressão à média” pois, conforme verificado na bibliografia, a motivação da implantação de faixas reversíveis está mais associada a aspectos de tráfego, em detrimento de questões de segurança, o que seria diferente de uma intervenção estritamente motivada para fins de segurança, que tende a ocorrer em segmentos com altos índices de acidentes.

Ainda quanto a estudos do tipo “antes e depois”, uma consideração importante a ser feita diz respeito à alteração geométrica que ocorreu no segmento estudado quando da implantação da faixa reversível, passando de uma rodovia de pista simples com estacionamentos em ambos os sentidos para uma rodovia com três faixas de rolamento (sendo a central reversível) desprovida de estacionamentos. Neste caso, é nítido que a característica física do segmento avaliado é distinta entre os períodos “antes e depois”. Contudo, destaca-se que tal configuração, além de ter sido mencionada como uma configuração adotada em operações australianas em Longfoot (1984), tem sido replicada em operações recentemente implantadas em outros municípios da região Sul do País, como em Porto Alegre (RS) e Blumenau (SC). A utilização deste método de avaliação para situações onde ocorreu a alteração da característica física da rodovia, especificamente em faixas reversíveis, pode ser observada em DeRose (1966), além de avaliações de outras estratégias (*diet roads*, por exemplo). Neste sentido, Bahar (2010) informa que a realização de estudos “antes e depois” podem vir a gerar,

inclusive, Fatores Modificadores de Acidentes (*crash modification factors*) a serem aplicados em Modelos de Previsão de Acidentes (MPA). Assim, na visão do autor, a realização da avaliação de desempenho em tais circunstâncias torna-se mais relevante.

Não obstante, recomenda-se a realização de avaliações de faixas reversíveis também por meio de metodologias qualitativas, como entrevistas. O grande diferencial é a possibilidade da geração de dados que transmitam a perspectiva direta dos usuários, não dependendo da disponibilidade de dados, embora em operações mais antigas o tempo decorrido possa prejudicar a capacidade de avaliação comparativa dos usuários.

REFERÊNCIAS

AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS). **Highway Safety Manual**. 1º ed. Washington, 2010.

_____. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets: The Green Book**. 7º ed. 2018.

AGENT, K. R.; CLARK, J. D. **Evaluation of Reversible Lanes (Nicholasville Road; Lexington, Kentucky)**. Lexington, 1980. Disponível em: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1800&context=ktc_researchreports. Acesso em: 13 abr. 2023.

ASAITHAMBI, Gowri; KANAGARAJ, Venkatesan; KASHYAP, Madhuri. **Reversible Lanes: Guidelines, Operation and Control, Research Directions**. Londres: Elsevier, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780081026724/international-encyclopedia-of-transportation>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BHOURI, N.; ARON, M.; KAUPPILA, J. Relevance of Travel Time Reliability Indicators: A Managed Lanes Case Study. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 54, October, p. 450–459, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812042255?via%3Dihub>. Acesso em 13 abr. 2023.

BAHAR, G. **Methodology for the Development and Inclusion of Crash Modification Factors in the First Edition of the Highway Safety Manual**. Washington, 2010. Disponível em: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec142.pdf>. Acesso em 13 abr. 2023.

BAIN, R. Moveable barrier technology – the key to the dynamic highway ? **Traffic Engineering & Control**, n. 10, p. 340–343, 2001. Disponível em: <http://www.robbain.com/Moveable%20Barrier.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BHOURI, N.; ARON, M.; KAUPPILA, J. Relevance of Travel Time Reliability Indicators: A Managed Lanes Case Study. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 54, October, p. 450–459, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812042255?via%3Dihub>. Acesso em 13 abr. 2023.

BLUMENAU (PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU). **Faixa reversível da Rua General Osório será ativada nesta quarta-feira a partir das 6h30**, 2021. Disponível em: [https://www.blumenau.sc.gov.br/secretarias/secretaria-de-desenvolvimento-urbano/seplan/faixa-reversaivel-da-rua-general-osaorio-seraa-ativada-nesta-quarta-feira-a-partir-das-6h3069#:~:text=Excepcionalmente%20nesta%20quarta%2C%20data%20de,Municipal%20de%20Trânsito%20\(GMT\)](https://www.blumenau.sc.gov.br/secretarias/secretaria-de-desenvolvimento-urbano/seplan/faixa-reversaivel-da-rua-general-osaorio-seraa-ativada-nesta-quarta-feira-a-partir-das-6h3069#:~:text=Excepcionalmente%20nesta%20quarta%2C%20data%20de,Municipal%20de%20Trânsito%20(GMT)). Acesso em: 13 abr. 2023.

BRASIL (SECRETARIA NACIONAL DE TRANSPORTE E DA MOBILIDADE URBANA). **Manual de BRT Bus Rapid Transit: Guia de Planejamento**. Brasília, 2008. Disponível em:

<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/ManualBRT.pdf>. Acesso em 13 abr. 2023.

BUCKEYE, K. R. Performance evaluation of I-394 MnPASS express lanes in Minnesota. **Transportation Research Record**, n. 2278, p. 153–162, 2012. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2278-17?journalCode=trra>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BUENO, R. V. **O uso do BPM no mapeamento de processos nas organizações: uma revisão sistemática da literatura**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão e Organização do Conhecimento. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <<http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

CAMBRIDGE SYSTEMATICS (CAMSYS). **Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation**. Cambridge, 2005. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/20656>. Acesso em: 13 abr. 2023.

CET-SP. **Avaliação Antes/Depois: Faixa Reversível Av. Giovanni Gronchi e Av. Morumbi**. São Paulo, 1997. Disponível em: http://biblioteca.unicet.cetsp.com.br/sophia_web/. Acesso em 13 abr. 2023.

_____. **Pesquisa “Faixa Reversível” Motoristas e Pedestres CET-SP.pdf**. São Paulo, 1995. Disponível em: http://biblioteca.unicet.cetsp.com.br/sophia_web/. Acesso em 13 abr. 2023.

_____. **Planejamento de Tráfego de Eventos Especiais** (Boletim Técnico nº 54). São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/178165/bt54.pdf>. Acesso em 13 abr. 2023.

CONTRAN (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Vol. IV: Sinalização Horizontal**. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/senatran/manuais-brasileiros-de-sinalizacao-de-transito>. Acesso em: 13 abr. 2023.

_____. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Vol. V: Sinalização Semafórica**. Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/senatran/manuais-brasileiros-de-sinalizacao-de-transito>. Acesso em: 13 abr. 2023.

CORDEIRO, A. M.; DE OLIVEIRA, G. M.; RENTERÍA, J. M.; GUIMARÃES, C. A. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. **Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes**, v. 34, n. 6, p. 428–431, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcbc/a/CC6NRNtP3dKLgLPwcmV6Gf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 abr. 2023.

DEROSE, F. **Reversible Center-Lane Traffic System- Directional and Left-Turn Usage**. Highway Research Record, v. 151, p. 1–17, 1966. Disponível em: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1966/151/151-001.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

DEY, S.; MA, J.; ADEN, Y. Reversible lane operation for arterial roadways: The Washington, D, USA experience. **ITE Journal**, v. 81, n. 5, p. 26–35, 2011. Disponível em: https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/reversible_lane_operation_for_arterial_roadways-dc_soumya.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.

DORSEY, R. T. The Use of the Off- Center Lane Movement in Los Angeles. **Traffic Quarterly**, v. 2, n. 1, 1948. Disponível em: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015021322899&view=1up&seq=331>. Acesso em: 13 abr. 2023.

ELVIK, R. The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures. **Accident Analysis & Prevention**, v. 34, n. 5, p. 631–635, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12214957/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FERRAZ, A. C. “COCA” P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2º ed. São Carlos: RiMa, 2004.

FERRAZ, C.; RAIA JR., A.; BEZERRA, B.; BASTOS, T.; RODRIGUES, K. **Segurança Viária**. São Carlos, 2012. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/pt-BR/informacoes/noticias/172-consulte-a-versao-completa-do-livro-seguranca-viaria>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FHWA (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION). **Manual on Uniform Traffic Control Devices: for Streets and Highways**. 2012. Disponível em: <https://highways.dot.gov/safety/pedestrian-bicyclist/safety-tools/pg-433-446-manual-uniform-traffic-control-devices-mutcd>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FITZPATRICK, K.; BREWER, M. A.; CHRYSLER, S.; et al. **Guidelines for Implementing Managed Lanes (NCHRP Research Report 835)**. Washington, 2016. Disponível em: <https://www.trb.org/NCHRP/Blurbs/175082.aspx>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FLORIANÓPOLIS (CÂMARA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS). **Frente Parlamentar de Segurança Pública Municipal discute ações de conscientização no trânsito para diminuir o número de pessoas internadas**, 2021. Disponível em: <https://www.cmf.sc.gov.br/imprensa/noticias/Noticias/1/0/112>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FONSECA, J. J. S. DA. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2002. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

GOODIN, G.; BENZ, R.; BURRIS, M.; BREWER, M.; WOOD, N. **Katy Freeway: An Evaluation of a Second-Generation Managed Lanes Project**. , v. 7, n. 2, 2013. Disponível em: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/20485/dot_20485_DS1.pdf?>. Acesso em 13 abr. 2023.

GRIFFIN, L. I.; FLOWERS, R. J. **A Discussion of Six Procedures for Evaluating Highway Safety Projects (FHWA-RD-96)**. College Station, 1996. Disponível em: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/TTI-1996-ID4036.pdf>. Acesso em 13 abr.

2023.

GUEBERT, A. A. **Guidelines for the Planning, Design, Operation and Evaluation of Reversible Lane Systems**. Ottawa, 2010. Disponível em: <https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/site/doc/Bookstore/ptm-reverse-finalpub.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

GUEBERT, A. A.; CARROL, D.; WESTON, B.; KINNECOM, D. **Reversible Lanes in Utah - Adding Efficiency Safely**. Halifax, 2010. Disponível em: <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2010/docs/j4/guebert%20.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

HARWOOD, D. W.; BAUER, K. M.; POTTS, I. B.; et al. **Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes (FHWA-RD-02-089)**. Kansas City, 2002. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/02089/02089.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

ITE (INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS). **BEFORE-AND-AFTER STUDY: Technical Brief**. Ottawa, 2009. Disponível em: <https://www.itecanada.org/about-ite-canada/technical-liaison-committee/tlc-projects/using-observational-before-after-studies-to-evaluate-road-safety-project/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

ITE (INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS). **Traffic Engineering Handbook**. Washington, 2009. Disponível em: <https://nacto.org/wp-content/uploads/2012/06/ITE-2009.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

JANG, K.; CHUNG, K.; RAGLAND, D.; CHAN, C.-Y. Safety Performance of High-Occupancy Vehicle (HOV) Facilities : TRB 2009 Annual Meeting. **TRB 2009 Annual Meeting**. p.17, 2009. UC Berkeley. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/1cm7z3rd>. Acesso em: 13 abr. 2023.

KUHN, B.; BALKE, K.; WOOD, N. **Active Traffic Management (ATM) Implementation and Operations Guide (FHWA-HOP-17-056)**. College Station, 2017. Disponível em: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop17056/index.htm>. Acesso em: 13 abr. 2023.

KUHN, B.; GOODIN, G.; BALLARD, A.; et al. **Managed Lanes Handbook**. College Station, 2005. Disponível em: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/0-4160-24.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

LATHROP, W. H. Reversible Roadway Controls. **Traffic quarterly**, v. 26, n. 1, p. 133–147, 1972.

LINDSAY. **Moveable Barrier**: the road zipper system for managed lanes. Rio Vista, s. a. Disponível em: <https://www.lindsay.com/usca/en/infrastructure/brands/road-zipper/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

LONGFOOT, J. E. CONTROL SYSTEM FOR THREE LANE TIDAL FLOW BRIDGES. ARRB CONFERENCE. **ARRB CONFERENCE** . v. 12, p.155–166, 1984. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/211615>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MACHADO, C. L. **Procedimentos Para Implantação De Faixas Reversíveis Urbanas**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/ChristianoLimaMachado.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.

MANUEL, A. **Traffic safety meta-analysis of reversible lanes**. Dissertação (Mestrado) - Graduate Program in Civil Engineering. University of Calgary. Calgary, 2019. Disponível em: <https://prism.ucalgary.ca/server/api/core/bitstreams/aa0ee523-ae67-4557-9d87-c22bbafc5620/content>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MCCASLAND, W. R. **Evaluation of the First Year of Operation, I-45 Contraflow Lane, Houston 7**. 1981. Disponível em: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/205-9.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PALETI, C.; PEETA, S.; SINHA, K. C. **Identifying Strategies to Improve Lane Use Management in Indiana (FHWA/IN/JTRP-2014/09)**. Indianapolis, 2014. Disponível em: <https://docs.lib.purdue.edu/jtrp/1558/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PEREIRA, J. R. **Deslocamento rodoviário ilha-continente na grande Florianópolis: um modelo computacional baseado em agentes**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Economia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/194192>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PORTO ALEGRE (Prefeitura Municipal de Porto Alegre). **EPTC suspende faixas reversíveis na Glória e na Lomba do Pinheiro**, 2020. Disponível em: [https://www.prefeitura.poa.br/eptc/noticias/eptc-suspende-faixas-reversiveis-na-gloria-e-na-lomba-do-pinheiro#:~:text=EPTC%20suspende%20faixas%20reversíveis%20na%20Glória%20e%20na%20Lomba%20do%20Pinheiro,-23%2F03%2F2020&text=As%20faixas%20reversíveis%20na%20avenida,Transporte%20e%20Circulação%20\(EPTC\)](https://www.prefeitura.poa.br/eptc/noticias/eptc-suspende-faixas-reversiveis-na-gloria-e-na-lomba-do-pinheiro#:~:text=EPTC%20suspende%20faixas%20reversíveis%20na%20Glória%20e%20na%20Lomba%20do%20Pinheiro,-23%2F03%2F2020&text=As%20faixas%20reversíveis%20na%20avenida,Transporte%20e%20Circulação%20(EPTC)). Acesso em: 13 abr. 2023.

_____. **Operação de faixa reversível é retomada na Oscar Pereira**, 2021. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/eptc/noticias/operacao-de-faixa-reversivel-e-retomada-na-oscar-pereira#:~:text=A%20partir%20desta%20quinta-feira,manhã%2C%20na%20avenida%20Oscar%20Pereira>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2a ed. Novo Hamburgo, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

QUEIROZ, J. B. D. S. **Avaliação da Usabilidade Da Sinalização De Controle De Faixas Reversíveis Utilizando Um Simulador De Direção**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Design. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21528>. Acesso em: 13 abr. 2023.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; MCSHANE, W. R. **Traffic engineering**. 4a ed. Upper Saddle River, 2011.

SANTA CATARINA (SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE DE SANTA CATARINA). **Sistema Rodoviário do Estado de Santa Catarina**, 2013.

SÃO PAULO, (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO). **Pesquisa “Faixa Reversível” Motoristas e Pedestres (1995) CET-SP.pdf**. São Paulo, 1995.

SANTA CATARINA. Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (**PLAMUS**): Produto 9.1 - Diagnóstico Desenvolvimento Urbano, Institucional e Gestão. Florianópolis, 2014a.

_____. Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (**PLAMUS**): Produto 9.2 - Diagnóstico da Oferta e Demanda de Transporte. Florianópolis, 2014b.

SANTA CATARINA (DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA). **Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina**: Vol. 3 - 1. Síntese do Estudo, 2008. Disponível em: https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/plano-rodoviario/Volume_III.1_Sintese_do_Plano_Diretor_Rodoviario.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.

SÃO PAULO (SECRETARIA MUNICIPAL DE MOBILIDADE E TRÂNSITO). **O que são faixas reversíveis?**, 2021. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/consultas/seguranca-e-mobilidade/o-que-sao-faixas-reversiveis.aspx#:~:text=Faixas%20reversíveis%20reativadas%20em%2023%2F08%2F2021&text=O%20que%20é%20faixa%20reversível,de%20maior%20demanda%20de%20tráfego>. Acesso em: 13 abr. 2023.

SOUZA, L. A. P. DE; BALTAR, M. L. DE B.; RIBEIRO, P. C. M.; MACHADO, C. L. Proposta de Procedimento para Implantação de Faixas Reversíveis em Vias Urbanas. **33o Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET** . p.3822–3833, 2019. Balneário Camboriú.

TREPANIER, T.; JONES, G.; DEMIDOVICH, M.; et al. **Best Practices In Maximizing Traffic Flow On Existing Highway Facilities (NCHRP Project 20-68A, Scan 08-02)**. 2011. Disponível em: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-68A_08-02.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.

VASCONCELLOS, E. A. DE; CARVALHO, C. H. R. DE; PEREIRA, R. H. M. Textos para discussão CEPAL-IPEA, 34 - **Transporte e mobilidade urbana**. , p. 74, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1373/1/TD_1552.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

WALECZEK, H.; GEISTEFELDT, J.; CINDRIC-MIDDENDORF, D.; RIEGELHUTH, G. Traffic Flow at a Freeway Work Zone with Reversible Median Lane. **Transportation Research Procedia**, v. 15, p. 257–266, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.06.022>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

WANG, X.; WANG, Y. .; ZHANG, M. . Empirical Study on Reversible Lane in Beijing.

Proceedings of the International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications, v. 18, n. Cisia, p. 444–447, 2015. Disponível em: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/cisia-15/22554>. Acesso em: 13 abr. 2023.

WOLSHON, B.; LAMBERT, L. **Convertible Roadways and Lanes (NCHRP Synthesis 340)**. Washington, 2004. Disponível em: <https://nap.nationalacademies.org/read/23331/chapter/1>. Acesso em: 13 abr. 2023.

APÊNDICE A – Protocolo da Revisão Sistemática

Objetivo

Reunir os estudos de avaliação de faixas reversíveis e outras estratégias de gestão do tráfego urbano desenvolvidos internacionalmente e nacionalmente, ao longo da história da técnica, tanto no meio acadêmico, como na *grey literature*, visando a identificação das informações-chaves (abordagens, métodos, indicadores e a forma de coleta de dados utilizados).

Formulação de Questão de Pesquisa

Como tem sido desenvolvidos os estudos de avaliação de faixas reversíveis e/ou *managed lanes*?

Escopo e aspectos considerados na pesquisa:

Abordagem: diz respeito ao aspecto sob o qual está sendo realizada a avaliação, sendo as mais comuns: abordagem de tráfego, segurança, econômica, ambiental e social. A abordagem deve refletir a motivação que originou a implantação da operação;

Método: trata-se da metodologia ou técnica utilizada para efetuar o processo da avaliação em si. Deve contemplar as fórmulas de cálculo utilizados, bem como eventuais ferramentas necessárias;

Indicadores: corresponde às variáveis utilizadas pelos autores durante a avaliação para medir o desempenho da operação, devendo estar alinhados aos objetivos e a abordagem.

Coleta de dados: a forma pelo qual os autores coletaram os dados necessário para a realização da avaliação.

Estratégias para busca e seleção de estudos primários

As estratégias de busca foram estabelecidas com os seguintes parâmetros:

Fontes de busca:

Base de Dados: Periódicos da CAPES, Scopus, *Science Direct*, *Web of Science*, Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações, *Network Digital Library of Theses and Dissertations*, *Open Access Theses and Dissertations* e *TRID (Transportation Research International Documentation)*.

Consulta à órgãos responsáveis por operações de reversíveis no Brasil (Companhia de Engenharia de Tráfego “CET” de São Paulo e Rio de Janeiro, Empresa Pública de Transportes e Circulação “EPTC” de Porto Alegre, Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade “SIE” de Santa Catarina, Prefeitura de Blumenau e Prefeitura de Natal).

Idiomas

Publicações em inglês, português ou espanhol.

Palavras-chave

Lista de palavras-chave em inglês:

Reversible lanes; convertible lanes; tidal lanes; managed lanes; evaluation

Lista de palavras-chave em português:

Faixas reversíveis

Lista de palavras-chave em espanhol:

Carriles reversibles

Combinação dos termos:

Evaluation AND (reversible lanes OR convertible lanes OR tidal lanes OR managed lanes);

Data de publicação: não foi estipulada restrição temporal quanto a data das publicações a serem selecionadas.

Critérios para Seleção dos Estudos

Critérios de Inclusão:

Disponibilidade;

Leitura do resumo;

Leitura completa.

Critérios de exclusão

1. Publicações científicas não redigidas nos idiomas definidos;
2. Publicações duplicadas;
3. Publicações não disponíveis de forma gratuita;

4. Publicações sem a execução de algum tipo de avaliação de desempenho de faixas reversíveis ou outras estratégias de *managed lanes*.

Síntese dos Resultados

Os documentos serão descartados ou incluídos segundo os critérios previamente descritos e organizados para realizar a sumarização dos achados.

APÊNDICE B – Síntese da seleção do grupo de comparação

Quadro 6 – Síntese da seleção do grupo de comparação.

Rodovia	Segmento (conforme PRE)	Fotografia	Resultado	Critério
TIC-01 (Ponte Hercílio Luz)	-		Descartado	Geometria (Pista Simples)
TIC-02 (Ponte Colombo Salles)	-		Descartado	Geometria (Pista Simples)
TIC-03 (Ponte Pedro Ivo Campos)	-		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	INÍCIO TÚNEL DEP. ANTONIETA DE BARROS - ENTR. TREVO DA SETA		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	ENTR. TREVO DA SETA - ENTR. ACESSO ESTÁDIO DA RESSACADA/CARIANOS		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	ENTR. ACESSO ESTÁDIO DA RESSACADA/CARIANOS - ENTR. ACESSO AEROPORTO HERCÍLIO LUZ		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	ENTR. ACESSO AEROPORTO HERCÍLIO LUZ - ENTR. SC-405		Descartado	Geometria (Pista Simples)

Rodovia	Segmento (conforme PRE)	Fotografia	Resultado	Critério
ACESSO AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ	ENTR. SC-401 - ENTR. ACESSO TAPERA		Descartado	Geometria (Pista Simples)
ACESSO AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ	ENTR. ACESSO TAPERA - AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada)
ACESSO FLORIANÓPOLIS (TAPERA)	ENTR. ACESSO AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ - TAPERA		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada)
SC-405	ENTR. ACESSO RIO TAVARES - ENTR. ACESSO CAMPECHE		Incluído	-
SC-405	ENTR. ACESSO CAMPECHE - ENTR. SC-401		Incluído	-
SC-405	ENTR. SC-401 - ENTR. SC-406 (TREVO DO ERASMO)		Incluído	-
SC-406	LAGOA DA CONCEIÇÃO (RUA VEREADOR OSNI ORTIGA ENTR. AV. DAS RENDEIRAS) - RIO TAVARES		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada, acive acentuado)

Rodovia	Segmento (conforme PRE)	Fotografia	Resultado	Critério
SC-406	ENTR. SC-405 (TREVO DO ERASMO) - MORRO DAS PEDRAS		Incluído	-
SC-406	MORRO DAS PEDRAS - PANTANO SUL		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada)
SC-404	ENTR. SC-401 (ITACORUBI) - LAGOA DA CONCEIÇÃO (ENTR. RUA LAURINDO JANUÁRIO DA SILVA)		Descartado	Avaliação do Autor (abundância de acessos e ruas laterais)
SC-401	ENTR. ACESSO SANTO ANTÔNIO DE LISBOA - ENTR. SC-404 (P/ LAGOA DA CONCEIÇÃO)		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	ENTR. SC-402 (PARA JURERÉ) - ENTR. ACESSO SANTO ANTÔNIO DE LISBOA		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	ENTR. SC-403 (PARA INGLESES DO RIO VERMELHO) - ENTR. SC-402 (PARA JURERÉ)		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-401	CANASVIEIRAS - ENTR. SC-403 (PARA INGLESES DO RIO VERMELHO)		Descartado	Geometria (Pista Simples)

Rodovia	Segmento (conforme PRE)	Fotografia	Resultado	Critério
SC-402	ENTR. SC-401 (P/ CANASVIEIRAS) - ENTR. SC-400 (P/ BALNEÁRIO DANIELA)		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada)
SC-402	ENTR. SC-400 (P/ BALNEÁRIO DANIELA) - JURERÊ (ENTR. AVENIDA DOS DOURADOS)		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada)
SC-400	ENTR. SC-402 (P/ JURERÊ) - BALNEÁRIO DANIELA (ENTR. RUA DAS PAINEIRAS)		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada)
SC-403	ENTR. SC-401 (P/ CANASVIEIRAS) - KM 4,8		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-403	INGLESES DO RIO VERMELHO - ENTR. SC-406 (P/ SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO)		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-403	ENTR. SC-406 (P/ SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO) - INGLESES DO RIO VERMELHO		Descartado	Geometria (Pista Simples)
SC-406	BARRA DA LAGOA - ENTR. ACESSO PRAIA DA JOAQUINA		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada, aclive acentuado)

Rodovia	Segmento (conforme PRE)	Fotografia	Resultado	Critério
SC-406	ENTR. P/ BARRA DA LAGOA - BARRA DA LAGOA		Descartado	Avaliação do Autor (área desocupada, aclave acentuado)
SC-406	SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO - ENTR. P/ BARRA DA LAGOA		Incluído	-
SC-406	INGLESES DO RIO VERMELHO (ENTR. SC-403) - SÃO JOÃO DO RIO VERMELHO		Incluído	-

Fonte: Autor (2023).

ANEXO A – Glossário

Quadro 7 – Diferenciação de termos semelhantes.

<i>Managed Lanes</i>	Englobam uma variedade de estratégias, como por exemplo faixas específicas para veículos de alta capacidade, vias pedagiadas e faixas reversíveis.
<i>Convertible Lanes/Operations</i>	São rodovias em que alguma operação de tráfego é iniciada de forma regular, como a restrição ou permissão de determinado movimento, ingresso de veículos, permissão para estacionamento, cobrança, entre outros. Incluem acostamentos e faixas de rolamento convencionais.
<i>Reversible Lanes</i>	Engloba diversas aplicações, porém, é um tipo específico de <i>convertible lane</i> , onde o fluxo em uma faixa é permitido em sentidos contrários, a depender do período em operação.
<i>Tidal Lanes/Operations</i>	É utilizado como sinônimo de <i>reversible lanes</i> , especialmente na Europa e Austrália.
<i>Contraflow Lanes/Operations</i>	É um tipo específico de faixa reversível (quando o fluxo é separado por elementos físicos fixo, geralmente em rodovias). A distinção se dá pelo fato de operações reversíveis convencionais (não <i>contraflow</i>) serem mais complexas de se administrar, tendo em vista a sua ocorrência geralmente se dar em meios urbanos.

Fonte: Adaptado de Guebert (2010).

ANEXO B – Verificação da ausência de rotas alternativas

Figura 45 – Verificação de escassez de rotas alternativas à rodovia SC-405 em 2012.



Fonte: Adaptado de *Google Maps* (2023).