

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Guilherme Affonso Puglia

**ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE FAIXA DE ALTA
OCUPAÇÃO ATRAVÉS DE SOFTWARE DE SIMULAÇÃO**

Porto Alegre
Dezembro de 2016

GUILHERME AFFONSO PUGLIA

**ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE FAIXA DE ALTA
OCUPAÇÃO ATRAVÉS DE SOFTWARE DE SIMULAÇÃO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Helena Beatriz Bettella Cybis
Coorientador: Felipe Caleffi

Porto Alegre
Dezembro de 2016

GUILHERME AFFONSO PUGLIA

**ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE FAIXA DE ALTA
OCUPAÇÃO ATRAVÉS DE SOFTWARE DE SIMULAÇÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação (COMGRAD) da Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Dezembro de 2016

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis
Doutora pela University of Leeds
Orientadora

Prof. Felipe Caleffi
Mestre pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Coorientador

Profa. Ana Margarita Larrañaga Uriarte
Dra. pelo PPGE/UFGRS
Relatora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis
(UFGRS)
Doutora pela University of Leeds

Prof. Felipe Caleffi
(UFGRS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Keli Mallmann
(CONCEPA)
Engenheira Civil pela Universidade Federal
de Santa Maria

Profa. Ana Margarita Larrañaga Uriarte
(UFGRS)
Dra. pelo PPGE/UFGRS

RESUMO

O gerenciamento de tráfego visa obter um melhor aproveitamento da infraestrutura de transporte, mitigando problemas recorrentes nas grandes cidades e arredores, com um investimento relativamente pequeno. Várias técnicas já fazem parte da rotina dos condutores nos Estados Unidos e na Europa, porém no Brasil ainda são poucos os exemplos. Este trabalho propõe a adoção de uma destas técnicas de gerenciamento de tráfego, as faixas exclusivas para veículos com alta ocupação, em um trecho da rodovia BR-290/RS, a Freeway. Para isto, lançou-se mão do recurso de simulação computacional, com o uso do programa VISSIM. Após as análises iniciais, onde se procurou informações sobre o uso típico dos veículos que utilizam a rodovia no trecho escolhido, através do levantamento da distribuição da taxa de ocupação, foi proposta a transformação de uma das faixas da rodovia em uma faixa exclusiva para veículos com 3 ou mais ocupantes, visando-se analisar os impactos desta medida nos tempos de viagem e velocidade média de ambos os grupos de veículos: tanto os que trafegariam pela faixa exclusiva quanto os demais. Procurou-se ponderar os resultados obtidos através do número de pessoas transportadas em vez da quantidade de veículos, buscando estender as vantagens ao maior número de usuários possível. As análises mostraram que, em um primeiro momento, apesar de uma quantidade significativa de usuários ser beneficiada, este benefício não se mostra maior que o prejuízo causado à outra parcela dos usuários. No entanto, infere-se que a iniciativa é capaz de gerar mudanças no comportamento dos usuários que resultem em maiores benefícios num cenário futuro.

Palavras-chave: Gerenciamento de tráfego. Faixa de alta ocupação. Simulação de tráfego.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Faixa reversível em ponte em Vancouver	13
Figura 2 – Uso temporário do acostamento	14
Figura 3 – Limite de velocidade variável	15
Figura 4 – Faixa de alta ocupação segregada	18
Figura 5 – Faixa HOV em fluxo concorrente	19
Figura 6 – Faixa de alta ocupação em contrafluxo	20
Figura 7 – Índice de ocupação dos veículos	26
Figura 8 - Simulação para tempos de viagem	27
Figura 9 - Simulação para velocidade média	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Veículos e pessoas transportadas	30
Tabela 2 – Cálculo da média ponderada	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	8
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	8
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	8
2.2.1 Objetivo Principal	8
2.2.2 Objetivos Secundários	8
2.3 PRESSUPOSTO	9
2.4 PREMISA	9
2.5 DELIMITAÇÕES	9
2.6 LIMITAÇÕES	9
2.7 DELINEAMENTO	9
3 GERENCIAMENTO DE FAIXAS	11
3.1 FAIXAS REVERSÍVEIS	12
3.2 USO TEMPORÁRIO DO ACOSTAMENTO	13
3.3 FAIXAS COM RESTRIÇÃO / USO EXCLUSIVO	14
3.4 LIMITE DE VELOCIDADE VARIÁVEL	15
4 FAIXAS PARA VEÍCULOS DE ALTA OCUPAÇÃO	16
4.1 TIPOS DE IMPLEMENTAÇÃO	17
4.1.1 Segregadas	17
4.1.2 Fluxo Concorrente	18
4.1.3 Contrafluxo	19
4.2 FAIXAS PEDAGIADAS	21
5 METODOLOGIA	23
5.1 ESCOLHA DO TRECHO E SENTIDO	23
5.2 ESCOLHA DO SOFTWARE E PREPARAÇÃO DO MODELO	24
5.3 COLETA DE DADOS	24
5.4 PARÂMETROS E CENÁRIOS ANALISADOS	25
6 RESULTADOS	26
6.1 DISTRIBUIÇÃO DOS ÍNDICES DE OCUPAÇÃO	26
6.2 TEMPO DE VIAGEM E VELOCIDADE MÉDIA	27
7 DISCUSSÃO	29
8 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Problemas de trânsito têm sido enfrentados na quase totalidade das grandes cidades brasileiras. Porto Alegre, assim como muitos outros municípios, sofre diariamente com congestionamentos. Devido a um momento de aquecimento da economia e facilidades para a aquisição de veículos novos, nos últimos 10 anos foi registrado um salto expressivo no número de veículos registrados nos dois municípios: 40% em Porto Alegre e 85% em Gravataí (DETRAN-RS, 2016). A rodovia BR-290/RS, também conhecida como Freeway, é a principal via que conecta a capital ao município de Gravataí, na região metropolitana, e apresenta lentidão nos horários de pico da manhã e da tarde no referido trecho, evidenciando um grande volume de deslocamentos diários entre as duas cidades.

Observando-se o ritmo do crescimento da taxa de motorização e a rapidez com que os congestionamentos se intensificam, pode-se inferir que a construção de faixas adicionais ou novas rodovias para acomodar a demanda crescente não é uma alternativa viável. Para resolver este problema, agências de trânsito em alguns países europeus e nos Estados Unidos vêm utilizando um conjunto de estratégias que permitem diminuir a necessidade de intervenções físicas, aumentando a eficiência da infraestrutura existente através de ações operacionais. A essa estratégia dá-se o nome de gerenciamento de faixas.

Em uma iniciativa pioneira no Brasil, a empresa Triunfo Concepa, que administra a BR-290/RS, implementou em 2013 uma estratégia de gerenciamento de faixas, permitindo o uso temporário do acostamento em um trecho de aproximadamente 25 km nas ocasiões de pico de demanda. Análises feitas por Caleffi *et al.* (2015) documentam o sucesso da iniciativa, que foi repetida em outro trecho da rodovia em 2016.

Visando melhorar as condições de tráfego no trecho interurbano da rodovia, entre as cidades de Porto Alegre e Gravataí, este trabalho avalia os prováveis impactos da implementação de outra técnica de gerenciamento de faixas: as faixas para veículos de alta ocupação. Adequada para situações de congestionamento diário em regiões interurbanas, a técnica se mostra eficiente em várias aplicações nos Estados Unidos e na Europa, mas ainda é inédita no Brasil. Através de simulação, analisa-se a viabilidade do uso da técnica na região em estudo, considerando-se o perfil de uso da rodovia.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa é: quais benefícios podem ser obtidos a partir da implementação de uma faixa exclusiva para veículos de alta ocupação na rodovia BR-290/RS?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é avaliar, através de simulação de tráfego, se a implementação de uma faixa exclusiva para veículos de alta ocupação na rodovia BR-290 é benéfica aos usuários.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) identificação de estudos e manuais técnicos voltados à implementação de faixas exclusivas para veículos de alta ocupação;
- b) descrição da metodologia utilizada para a simulação de tráfego utilizada;
- c) identificação do impacto da implementação de uma faixa para veículos de alta ocupação:
 - no tempo de viagem dos veículos que utilizam a faixa exclusiva;
 - no tempo de viagem dos veículos que utilizam as faixas de uso geral.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressupostos:

- a) os dados de nível de ocupação dos veículos coletados visualmente refletem uma amostragem representativa quanto à real distribuição de número de ocupantes por veículo na rodovia;
- b) o trecho modelado da rodovia no simulador e a sua calibração são realistas e coerentes, gerando resultados válidos.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem como premissa o consenso de que a construção de infraestrutura viária suficiente para minimizar congestionamentos em horários de pico nas regiões urbanas não é economicamente viável, sugerindo como opção para o problema a implementação de faixas exclusivas para veículos de alta ocupação.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à pesquisa de técnicas de gerenciamento de faixas e diretrizes para implementação de faixas para veículos de alta ocupação, além do estudo, através do uso de software de simulação de tráfego, de um trecho da BR-290, buscando estipular o impacto nos tempos de viagem dos veículos que utilizam a faixa exclusiva e dos que utilizam as faixas de uso geral.

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a simular o trecho da BR-290 compreendido entre a estação rodoviária de Porto Alegre e o acesso à cidade de Gravataí. A coleta manual dados limita-se ao controle visual do nível de ocupação dos veículos na praça de pedágio de Gravataí.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas a seguir, descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) escolha do trecho da rodovia e do software a ser utilizado;
- c) coleta de dados no local;

- d) coleta de dados no banco de dados da concessionária responsável pela rodovia;
- e) realização de testes no simulador;
- f) análise dos resultados;
- g) considerações finais.

A pesquisa bibliográfica foi realizada na parte inicial do trabalho visando a busca por informações técnicas que justificassem a utilização da técnica estudada, além de exemplos bem sucedidos da sua implementação. Dentre as fontes pesquisadas, pode-se citar artigos acadêmicos e manuais de agências de trânsito internacionais.

A escolha do trecho da rodovia a ser estudado se deu de modo a direcionar o estudo a um trecho interurbano, garantindo as condições que sugerem a implantação de uma faixa exclusiva para veículos de alta ocupação.

A coleta manual de dados foi realizada na praça de pedágio de Gravataí, através de inspeção visual para determinar o número de ocupantes de cada veículo. A coleta no banco de dados da concessionária que administra a rodovia, por sua vez, refere-se à obtenção de volumes diários de veículos.

A simulação no software inicia-se pela preparação do modelo através do desenho geométrico da via e abastecimento do mesmo com os dados coletados. Os testes foram realizados para um cenário de uma faixa exclusiva para veículos de alta ocupação ser implementada no trecho estudado.

Os resultados obtidos pela simulação foram analisados buscando estipular o impacto nos tempos de viagem e velocidades médias uma vez implementada a faixa exclusiva, levando em conta o benefício gerado para comunidade de usuários. Por fim, foram feitas considerações finais com base nas análises realizadas.

3 GERENCIAMENTO DE FAIXAS

Há um crescente consenso de que a realização de obras de ampliação que garantam boas condições de tráfego em rodovias nos horários de pico não é uma alternativa viável em zonas urbanas devido a fatores como custo, impactos na vizinhança e preocupações ambientais (KUHN *et al.*, 2004). Ao longo das últimas décadas têm-se desenvolvido técnicas de gerenciamento de faixas que procuram maximizar a eficiência das rodovias sem a necessidade de ampliação física.

Segundo Washington State Department of Transportation (2007), o gerenciamento de faixas tem por objetivo reduzir congestionamentos, implantando uma gestão mais eficiente das faixas disponíveis, através de mudanças na operação da rodovia. As ações concentram-se principalmente em aumentar temporariamente a capacidade nos horários e direções de pico, ou em eleger grupos que tenham prioridade, aos quais se aloca uma faixa dedicada. Alguns exemplos, a serem melhor detalhados ao longo do capítulo, incluem a permissão do uso do acostamento ou a inversão de sentido das faixas, além da implementação de faixas exclusivas.

O resultado que pode ser alcançado através do gerenciamento de faixas é, em geral, uma melhor condição operacional da rodovia, que fica explicitada em parâmetros como redução de congestionamentos, rendimento otimizado, além de ser percebido pelo usuário através de maior confiabilidade e economia no tempo de viagem (FWHA, 2011).

As estratégias para gerenciar faixas tipicamente recaem em três categorias, discriminadas a seguir (FWHA, 2011):

- elegibilidade: destina faixas exclusivas a determinados grupos de usuários.
 - restrições por número de ocupantes dos veículos;
 - restrições por tipo de veículo (Ex.: ônibus, vans, táxis);
- controle de Acesso: restringe o acesso para melhorar as condições de trânsito em determinada faixa.
 - faixas expressas com acesso limitado;
 - faixas no contrafluxo;
 - faixas reversíveis;
- cobrança: gerencia a demanda através de tarifas.
 - tarifação por Congestionamento;

- pedágio eletrônico de taxa fixa ou variável;

A partir do ponto de vista de operação, as técnicas de gerenciamento podem ser divididas em dois grandes grupos: (i) gerenciamento tradicional de faixas, que utiliza estratégias fixas e predeterminadas, ou (ii) gerenciamento ativo de faixas, que utiliza Sistemas de Transporte Inteligente (ITS, do inglês *Intelligent Transportation System*), com operações automáticas que respondem a mudanças nas condições de tráfego em tempo real (KISHORE, 2011). FWHA (2011) traz alguns exemplos de como se pode combinar técnicas de gerenciamento de faixas e sistemas ITS:

- utilização de sinalização aérea dinâmica, informando aos motoristas quando é permitido o uso de uma faixa reversível;
- empregar restrição de acesso e separação de faixas para mitigar os possíveis riscos decorrentes da diferença de velocidade comumente associado ao gerenciamento de faixas;
- aumentar o nível de automatização dos sistemas de monitoramento, fiscalização e resposta a acidentes para garantir confiabilidade do tempo de viagem e segurança das operações;
- implementação de tarifas variáveis através de pedágio eletrônico, em função da demanda, para utilização mais eficiente da capacidade das faixas segregadas.

A seguir, serão exploradas algumas técnicas já consolidadas de gerenciamento de faixas e, no próximo capítulo, será mais bem detalhada a técnica das faixas para veículos de alta ocupação, que constitui o tema central deste trabalho. É importante ressaltar que tais técnicas se complementam e usualmente são implementadas em conjunto.

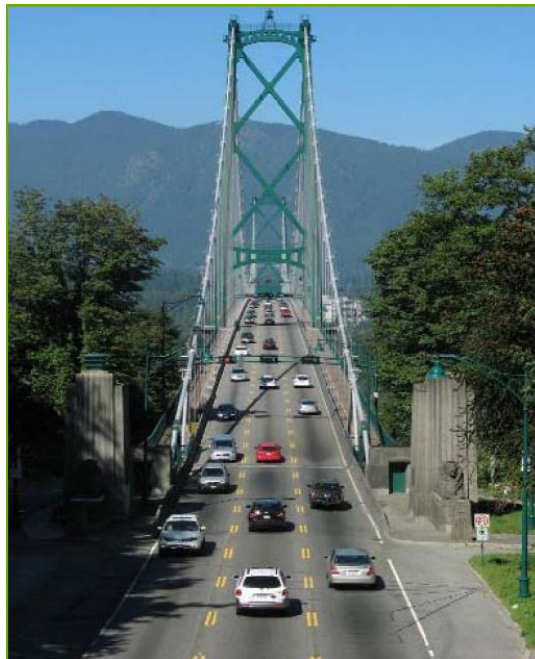
3.1 FAIXAS REVERSÍVEIS

Quando se utiliza esta técnica, a direção do fluxo de veículos é invertida por algum período de tempo. Deste modo, suprime-se uma faixa no sentido que apresenta menor fluxo de veículos, adicionando-se outra na direção oposta, aumentando a capacidade da rodovia no sentido em que há maior demanda. O Institute of Transportation Engineers (1999) classificou a técnica como potencialmente um dos métodos mais efetivos de aumento de capacidade em rodovias existentes.

No entanto, apesar de ser um conceito relativamente simples, a implantação e operação de faixas reversíveis envolve certa complexidade. É necessário um projeto bem elaborado e um esforço considerável de informação e educação aos usuários, principalmente durante a fase de implementação. O principal questionamento concerne a segurança durante a operação, razão pela qual, segundo Kishore (2011), faixas reversíveis são raramente encontradas em países menos desenvolvidos, apesar dos benefícios que podem proporcionar.

A figura 1 traz um exemplo de aplicação de faixas reversíveis em Vancouver, no Canadá. A faixa central tem seu sentido invertido dependendo das condições do tráfego. A marcação utilizada é a dupla faixa tracejada amarela, padrão na maioria dos sistemas em uso no mundo.

Figura 1 – Faixa reversível em ponte em Vancouver



(fonte: GUEBERT *et al.*, 2010)

3.2 USO TEMPORÁRIO DO ACOSTAMENTO

O acostamento é uma área de superfície adicional de uma rodovia, adjacente às faixas de rolamento, que serve para um grande número de propósitos, tais como um refúgio de emergência, um espaço para realizar manobras defensivas ou como uma faixa extra temporária durante serviços de manutenção (CHASE e AVINERI, 2008). O uso temporário

do acostamento como faixa de rolagem teve origem em várias cidades dos Estados Unidos no final dos anos 1960, usualmente nos horários e direções de pico. Tal prática proporciona uma faixa adicional à pista, sem a necessidade de alargar a rodovia, permitindo o uso do acostamento esquerdo ou direito em condições especiais (SISIOPIKU *et al.*, 2009).

A implementação da técnica requer a instalação de sinalização dinâmica que informe ao motorista que o segmento de acostamento está disponível para o uso. Outras técnicas de gerenciamento de tráfego tipicamente são utilizadas em conjunto com o uso do acostamento, como, por exemplo, a harmonização de velocidade. Na prática, se reduz a velocidade dos veículos durante o uso do acostamento, aliando um ganho maior de capacidade com um risco menor de acidentes (SISIOPIKU *et al.*, 2009; UNGEMAH e KUHN, 2009).

Na figura 2 pode-se observar um exemplo de uso temporário do acostamento na Holanda, com sinalização dinâmica indicando o uso permitido.

Figura 2 – Uso temporário do acostamento



(fonte: UNGEMAH e KUHN, 2009)

3.3 FAIXAS COM RESTRIÇÃO / USO EXCLUSIVO

Faixas restritas são uma estratégia de gerenciamento que limita certos tipos de veículos em faixas específicas, sendo mais comum a restrição ao tráfego de caminhões. Grandes quantidades de caminhões, tanto em rodovias quanto em áreas urbanas, diminuem a

velocidade, conforto e a comodidade das viagens dos demais motoristas. Já a estratégia de faixas exclusivas fornece faixas adicionais para determinados veículos, normalmente designados por classes, sendo escolhidas para essa estratégia geralmente ônibus e caminhões (KUHN, 2002; KUHN *et al.*, 2005).

3.4 LIMITE DE VELOCIDADE VARIÁVEL

Também chamada de harmonização de velocidade, a técnica consiste em gerenciar as velocidades permitidas em determinados trechos da rodovia, regulando constantemente o limite baseado nas condições de tráfego a jusante (SISIOPIKU *et al.*, 2009). O sistema é projetado para prevenir a propagação rápida das ondas de choque causadas por gargalos, reduzindo-se gradualmente a velocidade do fluxo de veículos a montante dos mesmos. Deste modo, retarda-se o ponto de parada do fluxo, onde começam os congestionamentos. Velocidades mais uniformes ainda têm o benefício de aumentar a confiabilidade do tempo de viagem e, em última análise, aumentar o rendimento da rodovia. Além disso, ainda é constatada a redução no número e severidade de acidentes (BUCKEYE, 2012).

Na figura 3 percebe-se a aplicação de velocidade variável na Inglaterra, com a utilização de sinalização aérea dinâmica.

Figura 3 – Limite de velocidade variável



(fonte: CHASE e AVINERI, 2008)

4 FAIXAS PARA VEÍCULOS DE ALTA OCUPAÇÃO

As faixas para veículos de alta ocupação (HOV, do inglês *high-occupance vehicle*) são a estratégia de gerenciamento de faixas mais bem documentada. O tratamento prioritário para veículos com número elevado de ocupantes se provou uma das alternativas mais flexíveis e de menor relação custo/benefício para aumentar a capacidade de mover pessoas em rodovias congestionadas. Trata-se de faixas separadas do tráfego comum, restritas a veículos com uma ocupação específica, que podem incluir vans, ônibus ou carona solidária. Na maioria dos locais onde a iniciativa foi implementada, é exigido que veículos possuam dois ou mais ocupantes (2+) para que possam utilizar a faixa, sendo que em alguns casos são exigidos até 3 ocupantes (3+) nos horários de pico (FHWA, 2011; KUHN, 2002).

Oferecendo uma faixa para veículos com múltiplos ocupantes, a técnica enfatiza a movimentação de pessoas no lugar da movimentação de veículos. Esta abordagem funciona apenas quando o nível de serviço na faixa HOV é preservado e resulta em redução nos tempos de viagem, encorajando a carona solidária. Para tornar isso possível, a faixa dedicada deve ser gerenciada de modo que não haja congestionamentos (CHARLOTTE REGION, 2007).

Dentre os objetivos pretendidos com a implementação dessa técnica encontram-se (CHARLOTTE REGION, 2007; KUHN, 2002; KUHN *et al.*, 2005):

- reduzir tempo de viagem;
- aumentar confiabilidade do tempo de viagem;
- aumentar a quantidade de pessoas que a rodovia consegue transportar;
- promover carona solidária;
- reduzir o número de veículos nos horários de pico;
- melhorar a qualidade do ar;
- não impactar a operação das outras faixas;
- ter apoio da opinião pública.

Sugere-se que a implementação de uma faixa para veículos de alta ocupação apenas faz sentido quando (CHARLOTTE REGION, 2007):

- as faixas de uso geral enfrentam congestionamento em horário de pico;
- existe demanda para justificar uma faixa dedicada;

- a redução no tempo de viagem é suficiente para induzir motoristas individuais a migrarem para a carona solidária.

Uma possível limitação da técnica é o impacto nas faixas de uso comum, o que pode gerar uma rejeição do público (STOCKTON *et al.*, 2000). Um programa de divulgação e educação é essencial para o sucesso deste tipo de projeto, pois melhorando a imagem da iniciativa aos olhos dos usuários, a utilização da faixa dedicada tende a aumentar. A falta de estudo técnico consistente somada à falta de educação pública pode levar a problemas na implementação (TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE *et al.*, 1998).

Outro fator que se faz necessário para o êxito deste tipo de projeto é a fiscalização, que tem como objetivo garantir que apenas os veículos elegíveis utilizem a faixa, além de manter um ambiente seguro. Fiscalização visível e efetiva mantém o propósito das faixas dedicadas e pode promover a aceitação pública (KUHN *et al.*, 2005).

4.1 TIPOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Tradicionalmente, faixas para veículos de alta ocupação podem ser implantadas de três formas diferentes: no contrafluxo, em fluxo concorrente e segregadas.

4.1.1 Segregadas

Nesta aplicação, as faixas dedicadas são separadas das de uso comum por uma barreira de concreto ou uma larga área pintada, o que confere à estrutura a característica de ter o acesso limitado (TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE *et al.*, 1998). Na maioria dos casos, as faixas segregadas operam no regime reversível, técnica apresentada no capítulo anterior, o que é apropriado nos casos de demanda direcional elevada com sentidos opostos nos picos da manhã e da tarde. Por razões de segurança, as faixas operadas em regime reversível em rodovias são separadas por barreiras e controladas por uma combinação de monitoramento remoto e presencial (CHARLOTTE REGION, 2007).

As potenciais vantagens da separação das faixas dedicadas incluem aumento de performance e facilidade de fiscalização. Dentre as desvantagens encontra-se maior custo de implementação, necessidade de uma equipe no local para assegurar a correta abertura e

fechamento das faixas, maior necessidade de intervenção rápida em caso de acidentes, além de maior dificuldade de acesso aos veículos de socorro (CHARLOTTE REGION, 2007).

Na figura 4 tem-se um exemplo de faixa de alta ocupação separada por barreira de concreto.

Figura 4 – Faixa de alta ocupação segregada



(fonte: CHARLOTTE REGION, 2007)

4.1.2 Fluxo Concorrente

As faixas HOV implantadas em fluxo concorrente fluem na mesma direção que o resto do tráfego, e não são fisicamente separadas das outras faixas. O local mais usual para instalação é à esquerda, junto ao divisor central (KUHN *et al.*, 2005; TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE *et al.*, 1998). No entanto, há casos em que a faixa segregada é utilizada por ônibus, que precisam acessar o acostamento para realizar paradas. Nestes casos, é apropriado que se instale a faixa dedicada à direita, evitando que os coletivos precisem cruzar as faixas de uso comum para acessá-la. Para que essa escolha seja segura é essencial que ambos os volumes de ônibus e os volumes de entrada e saída da rodovia através das rampas de acesso sejam baixos (CHARLOTTE REGION, 2007).

Deve-se optar pela instalação de faixas HOV em fluxo concorrente nos casos em que o fluxo é balanceado, havendo congestionamentos substanciais em ambas as direções. Suas vantagens compreendem custo-efetividade, uma vez que poucas modificações são necessárias, além de

sua rápida implementação. Alguns efeitos indesejados também podem ser notados, podendo-se citar (CHARLOTTE REGION, 2007):

- menor performance em relação às faixas segregadas devido ao atrito com as faixas de uso comum;
- grande possibilidade de que um acidente em qualquer das faixas afete ambos os tráfegos;
- dificuldade de fiscalização devido à ausência de barreiras;
- risco maior de acidentes devido à diferença de velocidade entre as faixas.

Na figura 5, o exemplo é da Virgínia, nos Estados Unidos. Nas faixas dedicadas percebe-se a sinalização em forma de losango, também chamado de diamante, padrão adotado para faixas HOV em vários sistemas no mundo.

Figura 5 – Faixa HOV em fluxo concorrente



(fonte: FHWA, 2011)

4.1.3 Contrafluxo

Neste caso, uma faixa da direção que está sendo menos utilizada tem seu sentido invertido. A faixa da esquerda da direção de menor fluxo normalmente é a utilizada, e deve ser separada do fluxo contrário por algum tipo de barreira móvel ou tratamento físico (STOCKTON *et al.*, 2000).

Sua utilização ocorre apenas nos horários de pico, sendo a faixa retornada ao uso do tráfego comum no seu sentido original nos outros momentos. Esta estratégia requer condições únicas para ser executada, tais como locais seguros para os veículos cruzarem o divisor central da rodovia para entrar e sair da faixa, espaço para armazenar os equipamentos de barreira móvel, além do comprometimento de operações diárias de uma equipe para mover a barreira, o que torna a técnica pouco utilizada devido ao alto custo de operação (CHARLOTTE REGION, 2007).

A aplicação da faixa dedicada no contrafluxo só deve ser considerada quando o tráfego é altamente direcional, sendo que as condições de trânsito na direção de menor volume não devem ser prejudicadas, além de seu uso ser possível apenas em locais onde não há necessidade de acesso intermediário. Dentre suas vantagens está a facilidade de fiscalização, uma vez que o acesso é controlado. (CHARLOTTE REGION, 2007).

Na figura 6 tem-se um exemplo desta técnica aplicada em Houston, nos Estados Unidos.

Figura 6 – Faixa de alta ocupação em contrafluxo



(fonte: KUHN *et al.*, 2005)

4.2 FAIXAS PEDAGIADAS

Infelizmente, as faixas HOV nem sempre proporcionam as vantagens esperadas. Há ocasiões em que a estrutura opera com veículos além ou aquém da quantidade ideal, gerando potenciais problemas. A síndrome da faixa vazia, um termo popular para a condição em que a faixa dedicada é subutilizada, é uma preocupação comum, assim como congestionamento da faixa dedicada nos horários de pico. Encontrar o ponto de equilíbrio para a operação é um desafio para todos os operadores.

Agências de trânsito, procurando mitigar estes problemas de performance, muitas vezes consideram a implementação de faixas pedagiadas (CHANG *et al.*, 2008). Aplicar cobrança na faixa HOV pode solucionar tanto a baixa quanto a alta demanda. Nos casos em que a faixa dedicada é subutilizada, cria-se a possibilidade de que veículos não elegíveis a utilizam mediante pagamento, enquanto que, nos casos de congestionamento, a cobrança desestimula seu uso. A essa estratégia se dá o nome de HOT (do inglês *High Occupancy Toll*) (CHARLOTTE REGION, 2007).

As principais ideias por trás da cobrança pelo uso da faixa são (i) a venda da capacidade ociosa, de modo que veículos que não se enquadrem nas restrições estabelecidas possam pagar pela vantagem do uso e (ii) tarifação do congestionamento, reconhecendo que a economia no tempo de viagem tem valores diferentes para cada indivíduo.

Em geral, algumas recomendações para o uso desta técnica são (KUHN, 2002; CHARLOTTE REGION, 2007; UNGEMAH e KUHN, 2009):

- faixas HOT devem ser incorporadas onde já existam faixas HOV;
- deve haver congestionamentos recorrentes para que motoristas estejam dispostos a pagar um pedágio para utilizar a faixa HOT;
- deve haver capacidade extra suficiente para ser vendida ou tráfego além da capacidade para ser suprimido pela cobrança;
- faixas HOT não devem suprimir uma faixa de uso comum para serem criadas.

Um fator chave para o sucesso das faixas HOT é gerenciar o número de veículos de modo a maximizar o uso da faixa sem exceder a capacidade e criar congestionamentos. Uma tarifa fixa, que não se altere dependendo do tipo de usuário e do horário do dia, embora seja mais simples operacionalmente, não desencoraja viagens no horário de pico e pode não ser um

mecanismo adequado de alívio de congestionamento. Uma maneira de realizar esse controle é através do uso de preços dinâmicos. Variações na tarifa podem ocorrer em intervalos tão curtos quanto 5 min, aumentando-se o preço conforme aumentam os níveis de congestionamento. Com o aumento da tarifa, o número de motoristas dispostos a pagar diminui, o que gerencia a demanda (KUHN, 2002).

Existem algumas preocupações a respeito da cobrança no que se refere à sua legalidade, equidade e aceitação do público (KUHN, 2002). A percepção da técnica é ainda mais prejudicada em regiões onde a cobrança não é comum. É preciso que haja o entendimento, tanto dos usuários quanto dos gestores, de que a cobrança desempenha um papel de gerenciamento de tráfego, visando regular a demanda em uma infraestrutura finita, em contraponto à sua utilização apenas como uma fonte de receita (CHARLOTTE REGION, 2007).

Apesar de demandar esforço de reeducação e certa mudança de mentalidade nos motoristas particulares, os benefícios decorridos da implantação de faixas HOV superam as suas dificuldades de implantação. Mesmo já tendo sido implantadas com sucesso em outros países, a técnica é inédita no Brasil, evidenciando a necessidade de estudos que avaliem a sua viabilidade adaptação à realidade Brasileira.

5 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida conforme o delineamento anteriormente apresentado, e a seguir serão detalhadas a metodologia e as escolhas feitas em cada etapa.

5.1 ESCOLHA DO TRECHO E SENTIDO

Para a criação do modelo e posterior simulação foi necessário primeiramente determinar o trecho da rodovia BR-290/RS a ser estudado. Foi escolhido o trecho entre as cidades de Porto Alegre e Gravataí, devido ao fato de a técnica de faixas exclusivas para veículos de alta ocupação ser indicada para zonas urbanas, uma vez que procura estimular a carona solidária e o uso compartilhado dos veículos entre funcionários de uma mesma empresa, por exemplo. No trecho escolhido percebe-se a presença de um grande volume de tráfego de veículos vindos de Gravataí em direção a Porto Alegre no pico da manhã, enquanto o mesmo fluxo é percebido no sentido contrário no pico da tarde, indicando assim uma rotina de deslocamentos diários entre as cidades, tornando o trecho apto a receber a iniciativa proposta.

Para fins de simulação, procurando reduzir-se a complexidade do modelo a ser criado, escolheu-se um trecho que se inicia após o acesso da BR-116, encerrando-se antes da praça de pedágio de Gravataí, totalizando 13 km de extensão. Também optou-se pelo sentido Porto Alegre – Gravataí, para que a vantagem gerada para os usuários da faixa exclusiva se revertesse em benefícios concretos. O veículo que se dirige a Porto Alegre pela manhã frequentemente encontra más condições de trânsito na chegada à cidade pela BR-290, sendo assim, um eventual usuário que tivesse o benefício de utilizar uma faixa exclusiva para acessar a cidade não teria essa vantagem convertida em um ganho de tempo real no seu percurso. Optando-se pelo sentido oposto, usuários que utilizam a faixa exclusiva encontram a BR-290 com boas condições de tráfego após a praça de pedágio, gerando assim a vantagem de um menor tempo de viagem.

Para o sentido escolhido, o momento de maior fluxo de veículos ocorre no fim da tarde. Através de análise de dados obtidos com contadores de veículos instalados na rodovia, determinou-se que o volume máximo ocorre por volta das 18 horas em dias úteis. Por esse motivo, optou-se por se adotar esse cenário para a simulação.

5.2 ESCOLHA DO SOFTWARE E PREPARAÇÃO DO MODELO

Para a realização da simulação se optou por um software de simulação de tráfego disponível no Laboratório de Sistema de Transportes chamado VISSIM, produzido por uma empresa alemã. O software simula a interação entre veículos e é uma ferramenta poderosa para analisar como mudanças na via afetam o comportamento do fluxo de veículos. Por se tratar de um software alemão, por definição as simulações representam o comportamento típico das rodovias europeias. Para a realização deste trabalho utilizou-se a calibração do programa feita previamente pelo doutorando Felipe Caleffi (CALEFFI, 2016), coorientador deste trabalho, durante seu mestrado e doutorado no mesmo laboratório.

Utilizando-se como base a já mencionada calibração, desenhou-se no simulador a malha viária correspondente ao trecho estudado. Foram criados dois modelos, um deles representando como a rodovia está configurada atualmente: com quatro faixas de uso geral, sem nenhuma restrição quanto ao número de ocupantes dos veículos. Em um outro modelo, foi representado o cenário a ser estudado, dedicando-se uma das faixas, a mais à esquerda, exclusivamente para veículos de alta ocupação.

5.3 COLETA DE DADOS

Um dado essencial para realizar-se considerações sobre a implantação de uma faixa de alta ocupação é a distribuição dos índices de ocupação dos veículos que trafegam da rodovia. É preciso saber quantos veículos circulam com duas, três ou mais pessoas para se determinar quais veículos são elegíveis a utilizar a faixa exclusiva. A partir do perfil de ocupação típico dos veículos que utilizam a rodovia no horário estudado se definiu os parâmetros da simulação.

Para obtenção desta informação entrou-se em contato com a concessionária Triunfo Concepa, administradora da rodovia. Dentre as opções disponíveis para o levantamento de dados optou-se por utilizar imagens das câmeras da praça de pedágio de Gravataí. Foi escolhida a cancela de número 5 da referida praça, pois a câmera instalada no local para a contagem de eixos dos veículos possui uma boa visão do interior dos mesmos.

Para cada veículo pagante, o sistema da concessionária registra três imagens consecutivas, as quais foram analisadas a fim de determinar a quantidade de ocupantes em cada caso. Para

representar o perfil característico do horário em estudo, optou-se por realizar o levantamento durante dias úteis, começando às 18 horas e persistindo até o limite de visibilidade, uma vez que o interior dos veículos fica pouco iluminado sem a luz solar. Foram analisadas as imagens de 9 dias úteis diferentes, de terças a quintas-feiras, excluindo-se vésperas de feriados. Foram analisados apenas veículos de passeio, excluindo-se caminhões, ônibus e motocicletas. Ao todo foram analisadas imagens de 253 veículos.

5.4 PARÂMETROS E CENÁRIOS ANALISADOS

A fim de compreender os impactos que uma faixa de alta ocupação teria nas condições de tráfego da rodovia foram elaborados dois cenários, um representando a situação atual e outro com a faixa exclusiva em operação. Foi escolhido um volume de 6000 veículos por hora, representando o volume que atualmente trafega no trecho no horário analisado. A composição deste tráfego respeita a distribuição real observada na rodovia, contendo 97% de veículos leves, 0,7% de ônibus, 1,1% de caminhões e 1,2% de motocicletas. No cenário 1, representando a situação atual, a única restrição de tráfego configurada foi que veículos pesados utilizassem a faixa mais à direita, destinada a eles, como acontece atualmente. No cenário 2, representando a faixa exclusiva em operação, apenas a veículos leves e ônibus foi permitido o uso da faixa mais à esquerda, enquanto a mesma distribuição de veículos do cenário 1 trafegava pelas demais três faixas. A priori não se sabia qual a porcentagem dos 6000 veículos que ingressam na rodovia a cada hora utilizaria a faixa exclusiva e, por esse motivo, esta variável só pode ser determinada após o levantamento de dados sobre a distribuição do índice de ocupação na rodovia. Para a análise optou-se por uma simulação que representasse sete horas consecutivas de operação da rodovia. Os parâmetros escolhidos para comparação entre os dois cenários foram tempo de viagem e velocidade média.

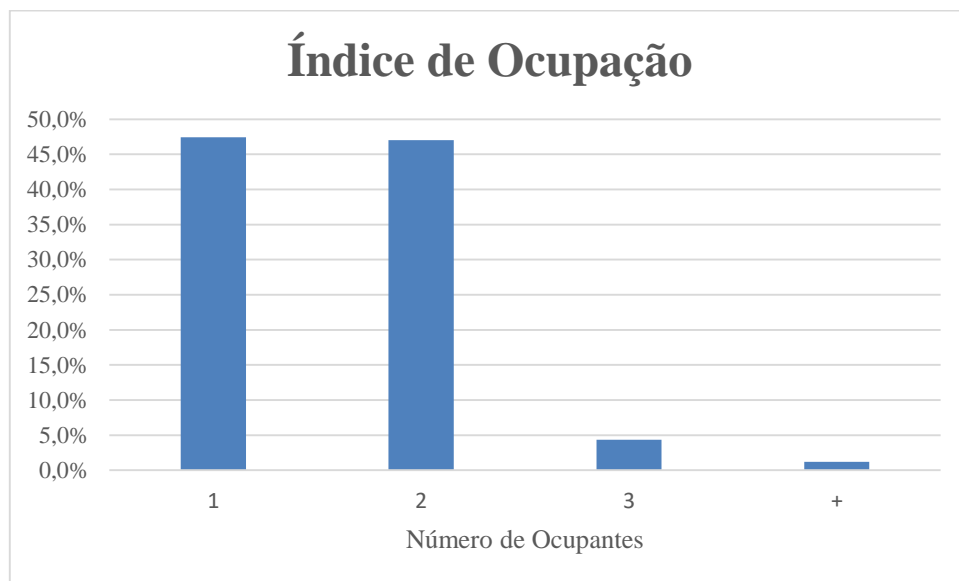
6 RESULTADOS

Uma vez realizada a coleta de dados foi possível definir todos os parâmetros necessários para a determinação dos cenários analisados. A seguir são explicitados os resultados obtidos a partir da referida coleta e posterior simulação computacional dos cenários.

6.1 DISTRIBUIÇÃO DOS ÍNDICES DE OCUPAÇÃO

Na amostra de 253 veículos analisada observou-se que a grande maioria dos veículos de passeio trafegam com um ou dois passageiros, com ambos os casos apresentando o mesmo percentual em relação ao total de veículos: 47,5%. Um pequeno volume de veículos apresentou 3 passageiros (4%) ou mais (1%), como percebe-se na figura 7.

Figura 7 – Índice de ocupação dos veículos



(fonte: elaborado pelo autor)

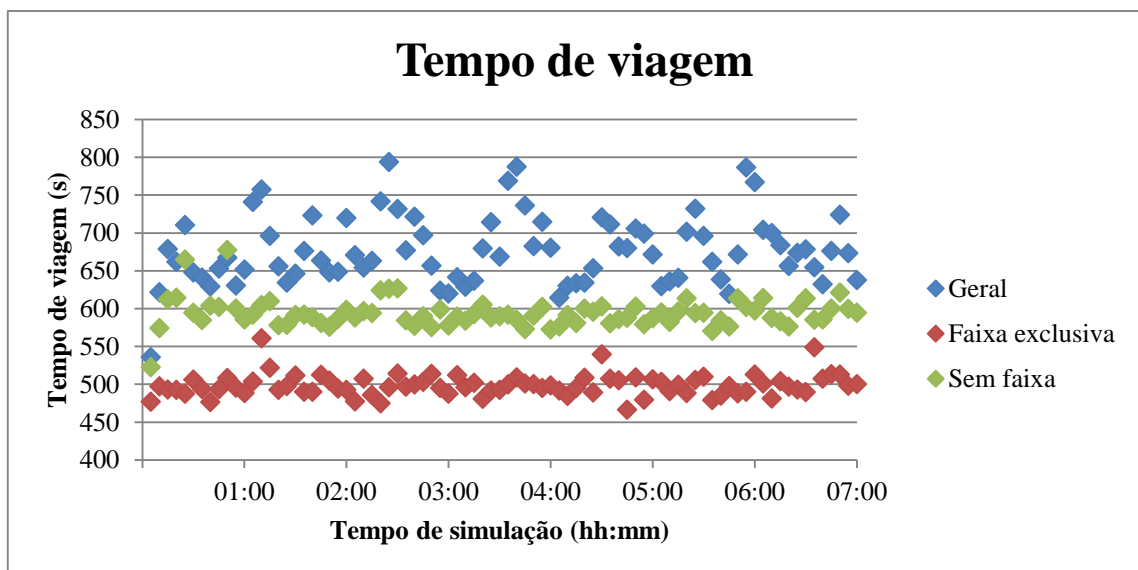
A partir destes resultados, foi possível determinar quais veículos seriam elegíveis a utilizar a faixa exclusiva. Não é razoável, para a distribuição encontrada, que se permita que veículos com 2 ocupantes também sejam beneficiados, uma vez que isso resultaria em mais de 52% dos veículos disputando uma única das 4 faixas disponíveis. Por esse motivo, determinou-se que somente seria permitido o uso da faixa exclusiva a veículos de passeio com três ou mais ocupantes, além de ônibus. Deste modo, foi determinado que 5% dos 6000 veículos por hora

que ingressassem na rodovia utilizariam a faixa exclusiva, enquanto aos outros 95% estariam destinadas as outras três faixas de uso geral.

6.2 TEMPO DE VIAGEM E VELOCIDADE MÉDIA

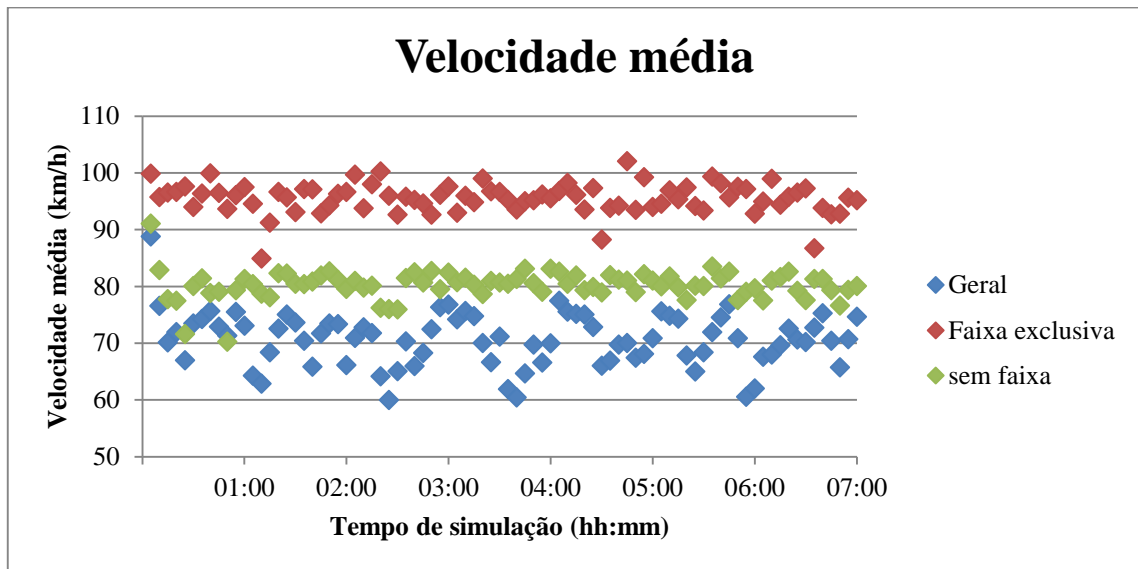
Para ambos os cenários foram analisados tempos de viagem e velocidade média dos veículos. Tais resultados são apresentados nas figuras 8 e 9. Para ambas as variáveis são apresentadas três séries de resultados. Os dados para os veículos do cenário 1 estão representados pela série “sem faixa” e mostram o comportamento do fluxo de veículos observado atualmente na rodovia. Os dados referentes ao cenário 2 se dividem em duas séries: “faixa exclusiva” representando o comportamento dos veículos que trafegaram pela faixa de alta ocupação e “geral” representando os veículos não elegíveis, aos quais foram destinadas as três faixas de uso geral. Para as análises, os dados foram agregados em intervalos de 5 minutos.

Figura 8 – Simulação para tempos de viagem



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 9 – Simulação para velocidade média



(fonte: elaborado pelo autor)

Para os veículos do cenário 1, pode-se observar um tempo de viagem que se mantém constante em torno de 600 segundos durante as sete horas de simulação, o que corresponde a uma velocidade média de aproximadamente 80 km/h para se percorrer os 13 km do trecho.

Por outro lado, é possível observar os impactos da implantação da faixa nos resultados correspondentes ao cenário 2. Percebe-se uma melhora significativa nas condições de tráfego para os veículos que utilizaram a faixa de alta ocupação: os tempos de viagem são reduzidos para valores que se mantêm constantes em torno de 500 s, o que corresponde a uma velocidade média de aproximadamente 95 km/h.

No entanto, as vantagens obtidas pelos veículos da faixa exclusiva resultam em impactos negativos no comportamento do fluxo de veículos das faixas de uso geral. Percebe-se um grande aumento nos tempos de viagem deste grupo, acompanhado de uma substancial diminuição na confiabilidade, uma vez que os valores assumem uma grande dispersão, chegando a alcançar picos de 800 s ao longo das 7 horas de simulação. O comportamento cíclico observado é condizente com o que se observa em rodovias com alto volume de veículos. Tal fato resulta em uma também significativa piora nas velocidades médias dos veículos, que nos piores momentos assumem valores próximos aos 60 km/h.

7 DISCUSSÃO

As estratégias que privilegiam veículos com uma alta taxa de ocupação visam gerar uma diminuição no tempo médio de viagem das pessoas, e não dos veículos. O objetivo é que o benefício gerado, mesmo para um pequeno grupo de veículos, atinja um grande volume de pessoas, de modo que a vantagem gerada seja justificável em face dos prejuízos aos outros veículos com um menor número de ocupantes. Deste modo, é preciso avaliar, no cenário simulado, as vantagens e prejuízos gerados para os dois grupos de veículos.

Este trabalho propõe uma média dos tempos de viagens dos veículos pertencentes aos dois grupos, ponderada pelo número de pessoas transportadas. Em média, os veículos no cenário 1 levam 591 s para percorrer o trecho. No cenário 2, os tempos são de 500 s para os veículos da faixa exclusiva e 678 s para os demais. Calculou-se então a média ponderada dos tempos de viagem do cenário 2 a fim de compará-la com a do cenário 1. Pela rodovia trafegaram 40.615 veículos ao longo da simulação, sendo apenas 2.055 destes pela faixa exclusiva. A fim de determinar a quantidade de pessoas transportada por cada faixa, foi necessário compor a distribuição dos tipos de veículos e taxas de ocupação em cada grupo.

Na faixa exclusiva trafegariam ônibus e veículos de passeio com três ou mais pessoas. Considerou-se que os ônibus correspondem ao volume de 0,7% do tráfego total, ou seja, 284 veículos. Para os demais veículos que utilizaram a faixa exclusiva, adotou-se a proporção encontrada no levantamento de dados entre veículos com três e com mais de três ocupantes. Deste modo, foram considerados 1391 veículos com três ocupantes e 380 com uma ocupação de 4,1 pessoas. Para os ônibus considerou-se uma ocupação de 50 passageiros por veículo. Com os valores adotados obteve-se um volume de 19.945 pessoas transportadas pela faixa exclusiva.

Nas demais faixas trafegariam os demais veículos leves, além dos veículos pesados e motocicletas. Para fins de cálculo, os dois últimos foram desprezados. Deste modo, adotou-se a mesma proporção encontrada no levantamento de dados entre veículos com um ou dois ocupantes, chegando-se na quantidade de 19.199 veículos com dois ocupantes e 19.361 veículos com apenas um. Com estes valores obteve-se um volume de 57.759 pessoas transportadas pelas faixas de uso geral. Um resumo dos dados apresentados pode ser encontrado na tabela 1.

É possível observar, então, que os 5% dos veículos que trafegam pela faixa exclusiva são responsáveis por transportar mais de 25% das pessoas. No entanto, ao efetuarmos a média ponderada dos tempos de viagem encontramos um tempo médio de 632 s para o cenário 2, contra a média de 591 s do cenário 1, demonstrando que, para as condições atuais de uso da rodovia, a implantação de uma faixa de alta ocupação para 3 ou mais passageiros resultaria em uma piora do tempo médio de viagem geral, ainda que uma boa parcela dos usuários seja beneficiada. Na tabela 2 são apresentados os valores utilizados para o cálculo da média ponderada.

Tabela 1 – Veículos e pessoas transportadas

Quantidade de veículos				Pessoas transportadas					
HOV			Geral		HOV			Geral	
Ônibus	Ocupantes		Ocupantes		Ônibus	Ocupantes		Ocupantes	
	mais	3	2	1		mais	3	2	1
284	380	1.391	19.199	19.361	14.215	1.556	4.174	38.399	19.361
2.055			38.560		19.945			57.760	

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 2 – Cálculo da média ponderada

	HOV	Geral
Pessoas Transportadas	19945	57760
Tempo	500	678
Média ponderada	632	

(fonte: elaborado pelo autor)

8 CONCLUSÃO

Estratégias de gerenciamento de tráfego têm por objetivo melhorar as condições de circulação de veículos com intervenções que gerem um melhor aproveitamento da infraestrutura. Idealmente, o resultado da intervenção deve gerar um benefício para a totalidade da população que utiliza a via. Após analisar-se os dados obtidos com a simulação, constatou-se que, para o cenário atual, no trecho estudado da BR-290, caso fosse implantada uma faixa para veículos com alta ocupação de três ou mais pessoas, isso não ocorreria.

É importante ressaltar que, uma vez em funcionamento a faixa exclusiva, nas condições determinadas neste estudo, os 5% do total de veículos que nela trafegariam seriam responsáveis por transportar 25% das pessoas. Porém, as mudanças decorrentes da implantação implicariam em um impacto positivo de um tempo de viagem 16% menor para os veículos elegíveis, ao custo de um impacto negativo de um tempo de viagem 14% maior para os veículos nas faixas de uso geral. À primeira vista esse resultado pode parecer benéfico de maneira geral, mas não se pode esquecer que os impactos negativos, ainda que um pouco menores do que os positivos, ainda atingem 75% da população. Deste modo, ao calcular-se a média ponderada para todos os usuários, o resultado é um aumento de 6% no tempo de viagem.

No entanto, o que se observa nos locais onde a técnica foi implantada com sucesso é um estímulo ao compartilhamento de veículos e caronas solidárias. É importante ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho refletem as consequências imediatas da implantação, levando-se em consideração o perfil atual de uso dos veículos. É plausível supor que este comportamento não continue inalterado após a implantação da faixa exclusiva, e que se observe um aumento na taxa média de ocupação dos veículos e na procura por ônibus, uma vez que fique claro a vantagem obtida com isso. Neste cenário hipotético é possível que os benefícios superem os impactos negativos. Em outra análise, também é plausível supor que o volume de veículos que trafegam pela rodovia aumente no futuro, piorando as condições de tráfego atuais. Neste caso, também pode-se inferir que a implantação da faixa exclusiva possa gerar um benefício maior em comparação com o cenário anterior, sendo possível então que os benefícios superem os impactos negativos. Ambos os cenários são passíveis de estudo em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- BUCKEYE, K. R. Innovations on Managed Lanes in Minnesota. **Public Works Management & Policy**, 2012.
- CALEFFI, F. *et al.* Gerenciamento Ativo de Tráfego: Avaliação das Condições Operacionais em Trecho de Uso do Acostamento como Faixa de Tráfego. **9º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões**, Brasília, set. 2015.
- CALEFFI, F. *et al.* Analysis of an Active Traffic Management System Proposed for a Brazilian Highway. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, abr. 2016.
- CHANG, M. *et al.* A Review of HOV Lane Performance and Policy Options in the United States. **Federal Highway Administration Report nº FHWA-HOP-09-029**, 2008.
- CHARLOTTE REGION. Experiences with Managed Lanes. **Technical Memorandum Task 1.1**, 2007.
- CHASE, P; AVINERI, E. Maximizing Motorway Capacity through Hard Shoulder Running: UK Perspective. **The Open Transportation Journal**, 2008.
- DETRAN-RS. **Frota do RS**. Disponível em: <<http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/27453/frota-do-rs>>. Acesso em: 28 mai.
- FHWA. Freeway Management and Operations Handbook Managed Lanes - Section 8. **Federal Highway Agency, USA**, 2011.
- GASKELL, A *et al.* Hardshoulder Monitoring System for Active Traffic Management. **The Institution of Electrical Engineers**, 2004.
- GUEBERT, A. A. *et al.* Reversible Lanes in Utah - Adding Efficiency Safely. **Annual Conference of the Transportation Association of Canada**, Halifax, 2010.
- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. **Traffic Engineering Handbook**. 5ª ed. Englewood Cliffs: 1999.
- KISHORE, R. Reversible Lanes: State of implementation on a Global Level, 2011.
- KUHN, B. Current State-of-The-Practice for Managed Lanes. **Annual Report of Progress: Operating Freeways with Managed Lanes, Report nº. 4160-2, Year 1**, 2002.
- KUHN, B. *et al.* Year 4 Annual Report of Progress: Operating Freeways with Managed Lanes. **Texas Transportation Institute Report nº 0-4160-19**, Austin, set. 2004.
- KUHN, B. *et al.* Managed Lanes Handbook. **Texas Transportation Institute Report nº 0-4160-24**, Austin, out. 2005.
- LIU, Ying-shun; WANG, Xue-hui; LIANG, Xian-deng. Conversion Mechanism of Reversible Lane System under Urban Tidal Flow Condition. **ICCTP 2011**, Reston, 2011.

SISIOPIKU, Virginia P.; SULLIVAN, Andrew; FADEL, Germin. Implementing Active Traffic Management Strategies in the U.S.. **UTCA Report n° 08206**, Birmingham, set. 2004.

STOCKTON, W. *et al.* The A B C's of HOV: the Texas Experience. **Texas Transportation Institute Report n° 1353-I**, fev. 2000.

TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE *et al.* HOV Systems Manual. **Transportation Research Board NCHRP Report 414**, 1998.

UNGEMAH, David; KUHN, Beverly. Special Use of Shoulders for Managed Lanes. **Texas Transportation Institute**, 2009.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Managed Lanes White Paper. **I-405 Congestion Relief and Bus Rapid Transit Projects**, 2007.

WOLSHON, Brian; LAMBERT, Laurence. Planning and Operational Practices for Reversible Roadways. **ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)**, ago. 2006.