



O USO DA MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO NA SEGURANÇA VIÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Rogério Lemos Ribeiro
Carlos Magno da Silva Oliveira
Alex Heriberto Rojas Alvarado
Paulo Cesar Marques da Silva
Michelle Andrade
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO

A simulação de tráfego é uma ferramenta indispensável para estudar seus efeitos antes da implantação de um projeto viário. Os acidentes de trânsito podem afetar o fluxo e segurança dos usuários devido as interações espaço temporal que acontecem no tráfego. Os microsimuladores de tráfego possuem a vantagem de viabilizar experimentos em um ambiente virtual, evitando exposição dos usuários a situações de risco. Este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de microsimuladores de tráfego na segurança viária. Os resultados mostram a importância de entender os acidentes através da microsimulação revelando o impacto que os congestionamentos podem provocar em um cenário de risco. Ao final, conclui-se que a microsimulação das condições operacionais que geram conflitos no tráfego pode permitir a adoção de uma abordagem mais eficaz na gestão da segurança viária.

Palavras-chave: microsimulação de tráfego, segurança viária, fluxo de tráfego, comportamento dos motoristas.

ABSTRACT

Traffic simulation is an indispensable tool to study its effects before implementing a road project. Traffic accidents can affect the flow and safety of users due to the temporal space interactions that happen in traffic. Traffic microsimulators have the advantage of planning experiments in a virtual environment, avoiding exposure of users to risk situations. This article aims to present a systematic review of the literature on the use of traffic microsimulators in road safety. The results show the importance of understanding accidents through micro-simulation, revealing the impact that congestion can cause in a risk scenario. Finally, it is concluded that the microsimulation of operational conditions that generate conflicts in the traffic can allow the adoption of a more effective approach, reducing the need for observations and promoting diagnoses on road safety.

Keywords: traffic microsimulation, road safety, traffic flow, driver behavior.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2017), as lesões causadas pelos acidentes de tráfego são as principais causas de mortes por traumatismo no mundo. Um milhão, duzentas e cinquenta mil pessoas morrem e cinquenta milhões ficam feridas em acidente automobilístico a cada ano. Países como a Holanda, Dinamarca, Suíça, Grã-Bretanha, Canadá, Japão, Austrália, Nova Zelândia e os Estados Unidos incluíram como parte fundamental do seu planejamento de cidade a Engenharia de Tráfego (Almeida, 2004; Chaves, 2017). Esta área da engenharia busca a solução de uma gama variada de problemas relacionados com os veículos, infraestruturas e usuários do sistema que não dependem apenas de fatores físicos, mas frequentemente incluem o comportamento humano do motorista e do pedestre, e suas inter-relações com a complexidade do ambiente, afetando a segurança viária (Roess *et al.*, 2011).

Autores como Gettman e Head (2003) mostraram que, para uma melhor compreensão e análises dessas relações, a engenharia de tráfego utiliza ferramentas de simulação, de forma a verificar como o uso de novas tecnologias voltadas para a otimização do desempenho operacional dos sistemas viários acaba melhorando a segurança dos usuários e o melhor aproveitamento da



infraestrutura viária para deslocamentos motorizados e não motorizados. Porém, estas ferramentas trabalham com pressupostos e limitações que, em certos casos, não conseguem representar a realidade que o modelador deseja (Vilarinho e Tavares, 2012). Por exemplo, suas aplicações têm sido limitadas a cenários sem colisões. Isso ocorre porque os microssimuladores existentes usam modelos que estão limitados à emulação do comportamento normal do motorista, o que exclui, na modelagem, a infração de regras de trânsito e acidentes. Os modelos convencionalmente empregado não conseguem representar as complexidades do comportamento individual nesses casos (Xin *et al.*, 2008). Assim, representar em um modelo matemático o efeito do comportamento dos motoristas em casos de acidentes de trânsito torna-se um desafio na engenharia de tráfego.

O objetivo principal deste artigo é apresentar uma revisão sistemática da literatura científica sobre o uso de microssimuladores de tráfego na segurança viária com o intuito de mostrar o estágio atual do conhecimento nessa área. Por fim, são feitas considerações acerca das possibilidades de utilização da simulação de tráfego na segurança viária e são propostas diretrizes para a realização de pesquisas para aplicação de plataformas de simulação que possam potencializar o uso da ferramenta em estudos de segurança viária.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para identificar estudos desenvolvidos até o momento e identificar lacunas sobre o uso da microssimulação na segurança viária, utilizou-se, como ferramenta metodológica a revisão sistemática da literatura (RSL).

A revisão de literatura relevante é uma característica essencial de todo projeto acadêmico. A elaboração de estudos bibliométricos busca examinar quantitativamente um conjunto de informações acerca de um grupo de artigos e documentos selecionados sobre determinado assunto (COSTA, 2010). Segundo Guedes e Borschiver (2005), a análise bibliométrica contribui com a criação e gestão de conhecimentos, possibilitando explorá-los e gerar relacionamentos entre eles. A realização de pesquisas que identifiquem a exploração de trabalhos científicos com a temática do uso de simuladores de tráfego na segurança viária se faz necessário para que se possam diagnosticar quais lacunas carecem de atenção e desenvolvimentos futuros.

Tranfield *et al.* (2003) ressalta que essa metodologia difere das tradicionais revisões narrativas por adotar um processo replicável, científico e transparente, que garante rigor, integridade e qualidade dos resultados, proporcionando um caminho passível de auditoria sobre as decisões, autores, os procedimentos adotados e as conclusões obtidas. Para a sua aplicação, o método sugerido por Soni e Kodali (2011) é a sequência de passos de pesquisa:

- a) Passo 1: definição do problema de pesquisa claro, objetivo e conciso;
- b) Passo 2: definição da estratégia de pesquisa, mediante a escolha das bases de dados, do período de pesquisa e dos termos de busca;
- c) Passo 3: definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos;
- d) Passo 4: seleção dos artigos (Passo 2) e critérios de inclusão e exclusão (Passo 3).

A Tabela 1 mostra a aplicação da metodologia nesse estudo.



Tabela 1: Aplicação da metodologia de Revisão Sistemática da Literatura

Passo	Descrição	Finalidade
Definição da questão de pesquisa	Qual é o panorama da literatura nacional e internacional sobre o uso da microssimulação na segurança viária?	O estágio atual do conhecimento relacionado à aplicação de microssimulador na segurança viária.
Definição da Estratégia de Pesquisa	Horizonte temporal: 2007 a 2017	Abranger o recente período de publicações até o corrente ano, em bases de dados tradicionais e identificar publicações relacionadas, mediante a duas palavras clássicas sobre o tema.
	Base de pesquisa: SCOPUS e Science Direct, Revista Transportes, Anais Anpet, bibliotecas digitais de teses e dissertações.	
	Identificação de estudos: busca de trabalhos publicados sobre o tema (no título, palavras chave e resumo), por meio de combinações dos termos de busca: <i>road safety</i> , <i>traffic safety</i> ; <i>traffic simulator</i> , <i>microsimulator</i> .	
Definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos	Critérios de exclusão: todos os trabalhos que não sejam artigos científicos; trabalhos repetidos.	Limpeza da base de dados, eliminando trabalhos repetidos e não classificados como artigo.
	Critérios de inclusão: todos os artigos científicos que atendam aos requisitos da definição da estratégia de pesquisa.	Identificar estudos que abordem aplicações da microssimulação na segurança viária.
Seleção dos artigos	Critérios de seleção: Artigos científicos que atendam totalmente ao objetivo do trabalho, ou seja, que possuam aplicação da microssimulação na segurança viária.	Selecionar artigos que abordem o uso da microssimulação na segurança viária.
Análise dos artigos selecionados	Elementos para análise: Relação de artigos publicados por revista; evolução das publicações por ano; evolução das publicações por país; análise espacial abordada; quanto ao objeto; e, análise de estudos que tratem de microssimulação aplicação à segurança viária.	Ampliar a compreensão sobre a temática, mediante a uma análise da literatura internacional.
Apresentação dos resultados	Resultado: apresentação de artigo científico.	Apresentar os resultados, destacando as lacunas e pesquisas futuras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação de tráfego tem seu início na engenharia de transportes em meados dos anos 1980, quando o uso de programas computacionais se popularizou pela eficiência mostrada no tratamento de dados (Cunto, 2008; Cunto e Loureiro, 2011). Com a evolução constante dos processadores, o uso dos simuladores começou a ganhar campo nas pesquisas acadêmicas, pelas vantagens que apresentaram no controle das características físicas e operacionais, as mesmas que permitiram sua aplicabilidade em estudos de segurança viária (Archer, 2005; Barceló *et al.*, 2003; Cunto, 2008).

Segundo Rivera (2005) a simulação de tráfego pode ser classificada em três tipos, cada uma delas consoante com os objetivos que se pretendem atingir:

- Simulação Macroscópica: descreve entidades, suas atividades e interações com um nível baixo de detalhe.
- Simulação Mesoscópica: representa entidades com um alto nível de detalhe e descreve interações e atividades com um detalhamento superior ao obtido na macroscópica.
- Simulação Microscópica: considera as entidades, suas atividades e interações de forma altamente detalhada.

Várias são as vantagens encontradas na literatura acerca do uso destas ferramentas. Dentre as principais vantagens destaca-se a flexibilidade que possuem para comparar diferentes cenários (Vilarinho e Tavares, 2012). Por outro lado, Gregoriades *et al.* (2010) afirmam que uma das



questões mais importantes na gestão da segurança viária é a falta de métodos confiáveis para prever a probabilidade de acidentes. No entanto, para os referidos autores, a simulação de tráfego viário auxilia na validação dos requisitos de segurança dos projetos rodoviários.

3.1. O emprego da microssimulação de tráfego na segurança viária

De forma geral, observa-se que publicações que abordam o tema de microssimulação e segurança viária vêm crescendo nos últimos anos. Observa-se um incremento da produção no último ano de 2016, com 21 publicações nessa temática. Os anos anteriores mostram um crescimento sucessivo, sendo que nos últimos 10 anos, apenas os anos 2008, 2012, 2014 e 2015 registraram uma produção inferior ao ano que o antecede.

Nessa revisão foram observados vários trabalhos envolvendo as temáticas de segurança viária, simuladores de tráfego e microssimulação. No entanto, vários desses estudos possuíam uma abrangência muito ampla no assunto, razão pela qual utilizou-se as seguintes palavras-chave e operadores: “road safety” OR “traffic safety” OR “highway safety” AND “traffic simulator” OR “traffic simulation” OR “microsimulator”. Os operadores *Booleanos* (AND e OR) foram utilizados para restringir a pesquisa bibliográfica no objetivo definido.

As buscas foram realizadas nas bases digitais das bibliotecas universitárias e nos anais dos principais congressos brasileiros relacionados com esta temática. No período analisado e com o uso das palavras-chave mencionadas, foram localizados 152 artigos publicados em periódicos internacionais e nacionais, 2 dissertações e 1 tese. Das publicações encontradas, 72,3 % são difundidas em periódicos especializados da engenharia e o restante em áreas como as ciências sociais, medicina, meio ambiente, computação. Os principais países que publicaram na temática foram China, Estados Unidos, Alemanha e Austrália, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Publicações por países

País	Nº de Publicações
China	37
Estados Unidos	34
Alemanha	19
Austrália	14
Japão	10
Canada	7
Itália	7
Holanda	7
Coreia do Sul	6
Suécia	6

Fonte: Scopus (2017)

Observou-se que esses países registram suas publicações preferencialmente, nos periódicos “*Accident Analysis and Prevention*”, “*Advanced in Transportation Studies*” e “*Transportation Research Record*”.

3.2. Estudos Selecionados

Para selecionar os artigos para leitura foi realizada uma nova classificação de elegibilidade. Esta classificação foi baseada em vários parâmetros, tais como: artigos que foram revisados por pares, artigos publicados na área de engenharia e horizonte temporal de 10 anos. Após a classificação foram selecionados 53 artigos para revisão, os quais compuseram a base teórica para o presente estudo de RSL.



3.3. Discussão dos resultados

Em se tratando dos resultados obtidos na revisão da literatura, foi constatado um equilíbrio e hegemonia de pesquisas relacionadas com o tema nos últimos 10 anos. No âmbito do uso de microssimuladores de tráfego na segurança viária, as universidades européias, chinesas e americanas, historicamente, lideram a produção científica. No período da revisão realizada, destacam-se a universidade alemã *Technische Universität München*, com 8 publicações, a *Shanghai Jiaotong University* (China), com 6 publicações, e as *Delft University of Technology* (Holanda) e *RMTI University* (Austrália), ambas com 5 publicações cada.

O Brasil não figura em posições de destaque quando comparado a outros países, no entanto, é possível identificar a presença crescente de produções acadêmicas nesta temática. Artigos resultantes de pesquisas produzidas por autores como Cunto (2008), Cunto e Loureiro (2011), Junior *et al.* (2011) e Sousa (2012), são pioneiros, no Brasil. Suas pesquisas são de grande relevância sobretudo na investigação e emprego de *softwares* como o Vissum, CORSIM e TWOPAS. Os resultados obtidos são encorajadores para a realização de simulação em cenários onde a segurança viária é a principal motivação. A seguir, é apresentada uma síntese dos resultados encontrados na revisão realizada.

4. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os simuladores de tráfego apresentam grandes vantagens no planejamento tático e operacional. Segundo Sousa (2012) as análises produzidas pelos simuladores no desempenho da segurança viária permitem avaliar uma série de cenários possíveis em um ambiente virtual evitando assim gastos de recursos econômicos com a implantação de uma determinada ação. As análises indicadas por Sousa (2012) e efetuadas pelos simuladores de tráfego estão baseadas em indicadores do tipo *proxy* de segurança, que por sua vez tomam como base as análises de problemas de tráfego junto com indicadores de base contínua de segurança com o objetivo de representar uma rede simulada de veículos dentro de um espaço temporal de interação (Archer, 2005; Gettman e Head, 2003; Huguenin *et al.*, 2005; Hydén, 1987). Na concepção dos autores, a segurança viária ganha relevância e os conflitos de tráfego passam a ser vistos como um fenômeno espaço-temporal das interações veiculares que acontecem no tráfego, deixando de ser uma simples medida estática que relaciona acidentes fatais produzidos numa determinada rodovia. Nesse sentido a segurança viária adiciona um novo conceito baseado na relação espaço-temporal que leva refletir sobre como o risco das interações culminam em acidentes (Cunto, 2008; Cunto e Loureiro, 2011).

4.1 Efeito do comportamento dos motoristas nos acidentes e no fluxo do tráfego

A literatura mostra uma série de pesquisas realizadas em diversos países em que o uso de microssimuladores de tráfego têm auxiliado o planejamento. Ozbay *et al.* (2008), por exemplo, afirmam que o avanço das técnicas de conflito de trânsito, combinado com a microssimulação, oferecem uma forma potencialmente inovadora de conduzir a avaliação da segurança dos sistemas de trânsito, mesmo antes que as melhorias de segurança sejam implementadas. Essa conclusão é compartilhada por Archer e Young (2010), que indicaram que o desenvolvimento de modelagem de simulação de tráfego realizada de forma sistemática, partindo da coleta de dados, calibração e validação do modelo, para estudar o impacto das medidas de segurança de uma forma rigorosa e transparente, está se tornando cada vez mais viável à medida que os modelos melhoram a compreensão do comportamento dos condutores.

Umedu *et al.* (2010) analisaram o comportamento de condutores que violam o limite de



velocidade permitida, conforme o desempenho do protocolo de detecção de veículos perigosos (DVDP), usando um simulador que executa simulação de tráfego, levando em conta modelos de pista e velocidades reais, posição e erros de localização. Os resultados da simulação revelaram que a probabilidade de detecção do DVDP é superior a 80% quando a densidade do veículo está acima de 40 veículos/min. Quando a densidade do veículo é baixa, a implantação de pontos de retransmissão pode ajudar a melhorar ainda mais a probabilidade de detecção.

Van Driel e Van Arem (2010) conduziram um estudo que procurou conhecer o impacto do assistente de congestionamento sobre a eficiência e a segurança do tráfego. O assistente de congestionamento é um sistema no qual um suporte para pedal do veículo é acionado em casos de congestionamento. Os autores utilizaram uma ferramenta de simulação de fluxo de tráfego denominada *Modeller ITS* com o objetivo de estudar o efeito do congestionamento causado em casos de estreitamento de pista, usando medições de fluxo de tráfego em um segmento de uma estrada holandesa. Como resultado, os experimentos de simulação, em diferentes taxas de penetração e configurações do assistente de congestionamento, mostraram que, em situações de operação do tipo “ande e pare”, o uso do assistente de congestionamento leva a uma diminuição de até 30% no tempo de viagem em comparação com o uso constante do acelerador numa faixa de tráfego em condições normais (medidas em função do tempo de viagem), apresentando menores acelerações acentuadas e desacelerações bruscas, o que implica maior segurança no trânsito e conforto do motorista.

Os motoristas que possuem comportamentos de risco no trânsito estão envolvidos, efetivamente, na maioria dos acidentes. Habtemichael e De Picado-Santos (2013) analisaram as tipologias de motoristas em comportamentos de risco, os erros comuns de condução de “alto risco” (velocidade, não manter distância de segurança entre veículos, mudança abrupta de faixa e condução perigosa), suas consequências de segurança e o uso de dispositivos tecnológicos para sua detecção e correção. Foi proposto limitar o grau de condução da liberdade dos condutores de “alto risco” e os seus benefícios na segurança, bem como nas operações de trânsito. Isso incluiu o uso obrigatório de dispositivos ITS (*Intelligent Transportation Systems*) que diminuam as decisões de condução dos motoristas, como por exemplo limitar a velocidade e mudanças bruscas de faixas de rolamento. Foi realizada a simulação de tráfego com o modelo microscópico VISSIM em várias proporções de motoristas de “alto risco” (4%, 8% e 12%). A avaliação dos benefícios de segurança foi realizada utilizando a técnica de conflitos de veículos simulados e a redução do tempo de viagem foi utilizada para quantificar os benefícios operacionais. As conclusões implicam que limitar a liberdade dos condutores de alto risco resultou em uma redução de acidentes em 12%, 21% e 27% respectivamente, nas condições de tráfego congestionadas; 9%, 13% e 18% em condições de tráfego ligeiramente congestionadas e 9%, 10% e 17% em condições de tráfego não congestionadas. Além disso, os indicadores de desempenho *proxy* de segurança mostraram que houve uma redução nos níveis de gravidade do acidente. Os benefícios operacionais representaram economias de quase 1% no tempo de viagem para todas as proporções de motoristas de “alto risco” considerados. O estudo concluiu que limitar a liberdade dos condutores de alto risco tem benefícios operacionais e de segurança.

Rong *et al.* (2011), por sua vez, desenvolveram um método integrado de simuladores de condução e de tráfego para investigar os efeitos do comportamento de condução sobre o fluxo viário, com a classificação desses em três categorias: agressivo, conservador e moderado. Os *softwares* usados para a simulação foram o ARTEMIS, VISSIM, PARAMICS e AIMSUN. Foram ajustados os parâmetros de comportamento de condução dos três tipos de condutores



para modelos de simulação de tráfego utilizando os dados experimentais recolhidos num simulador de condução sendo que os efeitos do comportamento de condução sobre o fluxo de tráfego foram analisados por técnicas de simulação de tráfego. Os resultados mostraram que os condutores agressivos têm menos estabilidade, afetando negativamente o fluxo de tráfego.

Quando da ocorrência de semaforização em rodovias, a geometria é, em geral, representada por uma via principal e uma via secundária, em que os volumes de pedestres são baixos. Essas interseções geralmente mostram longos tempos de verde para os veículos da via principal, dificultando a passagem de pedestres, independentemente do volume de pedestres e veículos.

A fim de resolver esse problema, Lee *et al.* (2013) avaliaram os efeitos detalhados da introdução de sinais semi-atuados e botões de pedestres usando um modelo de simulação de tráfego microscópico calibrado, o VISSIM. A pesquisa avaliou três cenários, incluindo i) controle semafórico por tempo fixo em uso em um local de teste selecionado (cenário 1), ii) controle semafórico semi-atuado (cenário 2) e iii) controle semafórico semi-atuado acoplado com botoeira para pedestres (cenário 3). A partir da simulação para diversas condições de tráfego, os três cenários resultaram um nível semelhante de atrasos médios em toda a rede. Em comparação com o cenário 1, o cenário 2 mostrou melhorias de 2,7% no atraso. Além disso, em comparação com o cenário 1, o cenário 3 mostrou melhorias de 13,0% em média. Finalmente, o cenário 3 mostrou melhorias de 10,5% em relação ao cenário 2. Em termos de segurança do tráfego, o cenário 1 mostrou a menor frequência de conflitos de tráfego.

4.1.1 Simulação do comportamento dos motoristas em diferentes tipos de veículos

No estudo de Siuhi e Kaseko (2016) foram utilizados veículos mistos nos modelos “*car following*”. Foram estimados modelos para respostas de aceleração e desaceleração através de três diferentes combinações de tipos de veículos: automóvel seguindo automóvel, automóvel seguindo caminhão, e caminhão seguindo automóvel. Os resultados indicaram que o comportamento dos motoristas foi significativamente diferente entre os diferentes pares de veículos. Além disso, a magnitude dos parâmetros estimados depende do tipo de veículo a ser conduzido e/ou seguido. Esse resultado pode ajudar os profissionais de transporte a melhorar os modelos de simulação de tráfego utilizados para avaliar o impacto de diferentes estratégias de segurança e desempenho de rodovias. Além disso, as estimativas de atraso de tempo de resposta dos motoristas podem ser usadas para calcular os parâmetros de projetos importantes, como distância de visibilidade de parada em curvas horizontais e verticais.

Separar os veículos mistos podem reduzir os conflitos de trânsito e melhorar a segurança viária. Isto foi constatado por Chun *et al.* (2014) onde, em uma abordagem experimental de modelagem de simulação de tráfego microscópico, exploraram os efeitos de segurança rodoviária quando da implementação de pistas de ônibus em um corredor rodoviário na Austrália. Os modelos compararam os padrões de conflito de trânsito de três configurações de tráfego: tráfego misto, faixa exclusiva de ônibus adaptada e nova faixa exclusiva para ônibus. Para cada configuração, o desempenho de segurança do corredor rodoviário, incluindo abordagens de interseção e locais de parada de ônibus, foi medido com dois indicadores de desempenho de segurança: taxa de desaceleração para evitar acidente e índice de potencial de colisão. Os resultados mostraram que as faixas exclusivas de ônibus reduziram as ocorrências de conflito nas proximidades de interseção e locais de parada de ônibus, apontando ainda reduções de colisão traseira e lateral.



4.2. Simulação do tráfego e comunicação

A descrição matemática e a simulação computacional da interação dinâmica de veículos têm sido discutidos no que tange à segurança de tráfego, sobretudo para o desenvolvimento de pistas segmentadas (Wang *et al.*, 2010). Essa ideia foi compartilhada por Biddlestone *et al.* (2012) que indicaram que algumas normas de segurança viária foram projetadas para facilitar a comunicação inter-veicular com o objetivo de reduzir acidentes de trânsito. Os autores indicaram que a concepção de simuladores de tráfego pode ser utilizada para validar modelos. O *Velocity Limiting System* (VLS) é um sistema capaz de gerenciar as mudanças no limite de velocidade em uma seção de rodovia sob variadas condições de tráfego, com o objetivo de homogeneizar o fluxo do tráfego, melhorar a segurança e/ou reduzir o estresse do motorista. Hellinga e Mandelzys (2011) utilizaram um modelo de simulação para avaliar a sensibilidade dos impactos de segurança e os impactos operacionais de um sistema VLS para o condutor. Foram projetados diversos cenários para medir o nível de conformidade do condutor utilizando o simulador de tráfego microscópico PARAMICS. Os resultados indicaram que os impactos do VLS são muito sensíveis ao nível de conformidade do condutor, onde a segurança está positivamente correlacionada com o nível de complacência e, negativamente com o tempo de viagem no trecho considerado.

Schönhof *et al.* (2006) introduziram um sistema de informação de trânsito em rodovias por meio de comunicação inter-veicular. Através das simulações foi verificado que os algoritmos para reconhecimento de trechos de congestionamento, transmissão de mensagens e processamento preveem de forma confiável a existência e localização de pontos de congestionamentos. Os resultados mostram que esses sistemas de comunicação inter-veicular podem melhorar a segurança e a capacidade rodoviária. Nessa mesma linha, Henclewood e Hall (2009) destacam que um dos avanços necessários para os simuladores é a representação da dinâmica do veículo na simulação de tráfego de modo que os efeitos de estratégias melhoradas de direção e cooperação entre motoristas possam ser examinados detalhadamente. Os modelos atuais de veículos dinâmicos não são adequados para uma simulação de tráfego que envolve grandes volumes veiculares. Reforça ainda que o desenvolvimento das tecnologias de comunicação interveiculares têm motivado muitas aplicações inovadoras visando a melhoria da segurança viária.

A simulação de tráfego também pode ser empregada para avaliar o uso de equipamentos de apoio à condução veicular. Hegeman *et al.* (2009) realizaram estudo de microssimulação de tráfego usando o modelo de simulação RutSIM para o caso de emprego de assistente de ultrapassagem em rodovias de duas faixas de trânsito. Os resultados indicam que o assistente de ultrapassagem pode proporcionar benefícios de segurança em termos de aumento do tempo médio de colisão durante manobras de ultrapassagem.

Com vistas a estimar o efeito do *Adaptive Cruise Control* ou controle de velocidade adaptativo (ACC) na segurança e fluxo de tráfego, Pauwelussen e Feenstra (2010) realizaram ensaios para o desenvolvimento de um modelo de simulação de tráfego, onde participantes foram observados por um tempo determinado. Os condutores desativaram o ACC pressionando o pedal do freio, diminuindo a distância a distância de segurança. A retomada do ACC, ativando o sistema ou soltando o acelerador depois de ultrapassar o veículo, resultou em uma maior distância entre os veículos. Os condutores normalmente desativam o controle de velocidade para realizar as ultrapassagens. Esse comportamento também foi verificado por Okamura *et al.* (2011), onde um sistema de apoio à condução usando uma simulação de tráfego microscópica foi modificada



adicionando a função de processo de resposta perceptiva, a fim de avaliar o sistema de controle de velocidade adaptativo (ACC) e *Automated Platoon System* ou sistema automatizado de pelotão (APS) para veículos de grande porte em uma via expressa urbana. Foi possível observar que o uso do ACC tende a minimizar as situações de risco diminuindo também a taxa de fluxo de tráfego. Já o uso do APS também atua reduzindo as situações de risco, porém, aumenta a taxa de fluxo de tráfego.

Com o objetivo de estudar a relação entre as condições de tráfego e o risco experimentado pelos condutores num fluxo veicular, a aplicação do modelo microscópico de risco baseado na percepção do indivíduo considera os acidentes de forma endógena através da lógica de mudança de faixa e fornece um indicador da segurança relativo da via. Talebpour *et al.* (2012) avaliaram seis cenários rodoviários com diferentes níveis de risco. Os resultados mostram a importância de entender os acidentes através da simulação revelando o impacto que os congestionamentos podem ter em um cenário de risco. Para Astarita *et al.* (2012), a reprodução através da simulação do comportamento do condutor, sob diferentes condições de fluxo e geometria, pode identificar um perigo potencial de acidente e permitir adotar medidas apropriadas em pontos específicos da via. O modelo microscópico permite estimar o desempenho da segurança viária através de uma série de indicadores (Taxa de desaceleração para evitar colisão, Tempo de colisão, Proporção de distância de parada), representando interações em tempo real entre diferentes pares de veículos. Os autores utilizaram o modelo microscópico TRITONE, em que avaliaram a validade de uma estrutura microscópica para identificar as interações potencialmente inseguras do movimento dos veículos com base no protocolo de comportamento dos motoristas, fornecendo um vínculo entre indicadores de desempenho de segurança simulados e interações de veículos de alto risco observadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A imprevisibilidade dos acidentes de trânsito, de uma maneira geral, está relacionada também à incipiência de técnicas para avaliar o desempenho da segurança viária que pode ser superada com o uso de microssimuladores de tráfego. Esse trabalho propôs revisar a literatura atual referente ao uso de simuladores na segurança viária para uma melhor compreensão do potencial de utilização dessas ferramentas para esse propósito. Com a revisão realizada foi possível identificar diferentes abordagens bem como lacunas que abrem oportunidades para pesquisas futuras, sobretudo em modelos de simulação que viabilizem a adequada representação comportamental dos usuários do sistema viário.

Os microssimuladores atualmente disponíveis não foram concebidos para modelar a ocorrência de acidentes de trânsito. Todavia, a simulação computacional das condições operacionais que geram conflitos no tráfego pode permitir a adoção de uma abordagem mais eficaz, reduzindo a necessidade de observações e viabilizando realizar o diagnóstico da segurança viária. Essa conclusão está embasada na crítica conceitual aqui realizada dos trabalhos analisados, na qual se constata o desenvolvimento do uso de simulação na segurança viária, o que propicia a obtenção de maneira econômica e eficiente das informações necessárias à sua determinação enquanto ferramenta confiável e oportuna de pesquisa nessa área.

Os resultados mostram ainda a importância de entender os acidentes de trânsito através da simulação, revelando o impacto que os congestionamentos podem ter em um cenário de risco. A revisão detalhada da literatura identificou os *softwares* VISSIM, PARAMICS, TRITONE, AIMSUN, CORSIM e TWOPAS, como as ferramentas de microssimulação mais utilizadas em



pesquisas voltadas à segurança viária. Nesses estudos diferentes cenários de tráfego e diferentes modelos de simulação puderam ser avaliados. Assim, os simuladores mostram-se como uma importante ferramenta para validar soluções de segurança viária antes da sua aplicação.

Estudos voltados ao uso de dispositivos de apoio à condução tais como ACC e APS, buscam reduzir a influência do fator humano na ocorrência de acidentes e aumentar a capacidade das vias. Os resultados dessas pesquisas sugerem um elevado potencial da simulação especialmente nos casos em que procura representar o comportamento individual dos motoristas.

Em resumo, a revisão da literatura permitiu observar uma série abordagens e oportunidades na utilização de simuladores de tráfego na segurança viária. Destaca-se que os simuladores permitem representar a dinâmica dos diferentes componentes de uma rede em diferentes cenários, trazendo desde informações da geometria da via até informações complexas relacionadas com o comportamento humano e o impacto de diferentes cenários no fluxo viário e segurança do tráfego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. R. S. (2004). Análise das condições de aplicabilidade de medidas de acalmia de tráfego. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- ARCHER, J. (2005) Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections. Tese de Doutorado, Department of Infrastructure. Royal Institute of Technology, Sweden.
- ARCHER, J., E YOUNG, W. (2010) Signal Treatments to Reduce the Likelihood of Heavy Vehicle Crashes at Intersections: Microsimulation Modeling Approach. *Journal of Transportation Engineering*, 136(7), 632–639. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000125
- ASTARITA, V., GUIDO, G., VITALE, A., e GIOFRÉ, V. (2012) A new microsimulation model for the evaluation of traffic safety performances. *European Transport - Trasporti Europei*, (51), 1–16. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.817
- BARCELÓ, J., A. DUMONT, L. MONTERO, J. PERARNAU e A. TORDAY (2003) Safety indicators for microsimulation-based assessments. In *Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., USA.
- BIDDLESTONE, S., MEMBER, S., REDMILL, K., e MEMBER, S. (2012) An Integrated 802 . 11p WAVE DSRC and Vehicle Urban (LOS and NLOS) Propagation Models. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(4), 1–11.
- CHAVES, F. C. (2017) Avaliação do desempenho de medidas de acalmia de tráfego através de micro simulação de tráfego. Dissertação de mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação. Instituto Politécnico de Viseu. Portugal.
- CHUN, K., GOH, K., CURRIE, G., SARVI, M., e LOGAN, D. (2014) Investigating the Road Safety Impacts of Bus Priority Using Experimental Micro-Simulation Modelling. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*. January 12-16, Washington, D.C., 50(2402), 1–16. doi:10.3141/2402-02
- COSTA, H. G. (2010) Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. *Revista da FAE*, v. 13, n. 1, p. 115-126.
- CUNTO, F. J. C. (2008) Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation. Tese de Doutorado, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Ontário, Canadá.
- CUNTO, F. J. C. e C. F. G. LOUREIRO (2011) O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. *Revista Transportes*.
- GETTMAN, D. e L. HEAD (2003) Surrogate safety measures from traffic simulation models. *Federal Highway Administration* ‘report RD-03-050. McLean, VA, USA.
- GREGORIADES, A., SUTCLIFFE, A., PAPAGEORGIOU, G., e LOUVIERIS, P. (2010) Human-Centred Safety Analysis of Prospective Road Designs. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 40(2), 236–250.
- GUEDES, V. L.S.; BORSCHIVER, S. (2005) Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação



- e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. Encontro Nacional de Ciência da Informação, v. 6, p. 1-18, 2005.
- HABTEMICHAEL, F. G., e DE PICADO-SANTOS, L. (2013) The impact of high-risk drivers and benefits of limiting their driving degree of freedom. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 305–315. doi:10.1016/j.aap.2013.05.013
- HEGEMAN, G., TAPANI, A., e HOOGENDOORN, S. (2009) Overtaking assistant assessment using traffic simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(6), 617–630. doi:10.1016/j.trc.2009.04.010
- HELLINGA, B., e MANDELZYS, M. (2011) Impact of Driver Compliance on the Safety and Operational Impacts of Freeway Variable Speed Limit Systems. *Journal of Transportation Engineering*, 137(4), 260–268. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000214
- HENCLEWOOD, D., e HALL, M. (2009) A dynamic interactive vehicle model for modelling traffic beyond the microscopic level. *International Journal of Vehicle Information and Communication Systems*, X(Xxxx). doi:http://dx.doi.org/10.1504/IJVIC.2009.027745
- HUGUENIN, F., A. TORDAY e A. G. DUMONT (2005) Evaluation of traffic safety using microsimulation. In *Proceeding of the 5th Swiss Transport Research Conference*.
- HYDÉN, C. (1987) The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish traffic conflicts technique. *Bulletin 70*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.
- LEE, C. K., YUN, I., CHOI, J. H., KO, S. JIN, e KIM, J. Y. (2013) Evaluation of semi-actuated signals and pedestrian push buttons using a microscopic traffic simulation model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(7), 1749–1760. doi:10.1007/s12205-013-0040-7
- OKAMURA, M., A. FUKUDA, H. MORITA, H. SUZUKI, e M. NAKAZAWA, (2011) Impact Evaluation of a Driving Support System on Road Safety and Simulation. On: 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14-16, 2011, Indianapolis, USA.
- OZBAY, K., YANG, H., BARTIN, B., e MUDIGONDA, S. (2008) Derivation and Validation of New Simulation-Based Surrogate Safety Measure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2083, 105–113. doi:10.3141/2083-12.
- PAUWELUSSEN, J., e FEENSTRA, P. J. (2010) Driver behavior analysis during ACC activation and deactivation in a real traffic environment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(2), 329–338. doi:10.1109/TITS.2010.2043099
- RIVERA, R. G. (2005) Calibración del Microsimulador AIMSUN para flujo ininterrumpido en la ciudad de Concepción. Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de Ingeniero Civil. UNIVERSIDAD DEL Bío-Bío. Chile.
- ROESS, R. P., PRASSAS, E. S., & MCSHANE, W. R. (2011). *Traffic engineering*. (4th ed.) Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
- RONG, J., MAO, K., e MA, J. (2011) Effects of Individual Differences on Driving Behavior and Traffic Flow Characteristics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2248, 1–9. doi:10.3141/2248-01.
- SCHÖNHOF, M., TREIBER, M., KESTING, A., e HELBING, D. (2006) Autonomous detection and anticipation of jam fronts from messages propagated by inter-vehicle communication., 3–12. doi:10.3141/1999-01.
- SIUHI, S., e KASEKO, M. (2016) Incorporating vehicle mix in stimulus-response car-following models. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(3), 226–235. doi:10.1016/j.jtte.2016.05.002.
- SONI, G. E R. KODALI (2011). A CRITICAL ANALYSIS OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT CONTENT IN EMPIRICAL RESEARCH. *BUSINESS PROCESS MANAGEMENT JOURNAL*, V. 17, N. 2, P. 238-266. DOI: 10.1108/14637151111122338.
- SOUSA, J. Q. (2012). Modelagem microscópica aplicada na avaliação do desempenho da segurança viária em interseções urbanas. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Fortaleza.
- TALEBPOUR, A., MAHMASSANI, H. S., e HAMDAR, S. H. (2012) Safety First Microsimulation Approach to Assessing Congestion Effects on Risk Experienced by Drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2316, 106–113. doi:10.3141/2316-12.
- TRANFIELD, D.; D. DENYER e P. SMART (2003). Toward a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, n. 14, p.207-222. DOI: 10.1111/1467-8551.00375.
- UMEDU, T., ISU, K., HIGASHINO, T., e TOH, C. K. (2010) An intervehicular-communication protocol for distributed detection of dangerous vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(2), 627–637. doi:10.1109/TVT.2009.2035041.
- VAN DRIEL, C. J. G., e VAN AREM, B. (2010) The Impact of a Congestion Assistant on Traffic Flow Efficiency



- and Safety in Congested Traffic Caused by a Lane Drop. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 14(4), 197–208. doi:10.1080/15472450.2010.516226.
- VILARINHO, C., & TAVARES, J. P. (2012). Traffic Model Calibration: A Sensitivity Analysis. In *Proceedings of EWGT2012: 15th meeting of the EURO working group on transportation*.
- WANG, W.-H., DING, C.-X., FENG, G.-D., e JIANG, X.-B. (2010) Simulation modelling of longitudinal safety spacing in inter-vehicles dynamics interactions. *Journal of Beijing Institute of Technology (English Edition)*, 19(SUPPL. 2), 55–60.
- WHO (2017) Number of road traffic death in 2010. Disponível em: <http://www.who.int/gho/road_safety/mortality/traffic_deaths_number/en/> Acesso em: junho de 2017.
- XIN, W., HOURDOS, J., MICHALOPOULOS, P., e DAVIS, G. (2008) The Less-Than-Perfect Driver: A Model of Collision-Inclusive Car-Following Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2088, 126–137. doi:10.3141/2088-14

Rogério Lemos Ribeiro (rogerio.ribeiro@ufu.br)
Carlos Magno da Silva Oliveira (carlosmagno.oliveira@uol.com.br)
Alex Heriberto Rojas Alvarado (alessi1985@hotmail.com)
Paulo Cesar Marques da Silva (pcmsilva@unb.br)
Michelle Andrade (michelleandrade@unb.br)
Laboratório de Transporte e Tráfego - LTT
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes