

## **A APLICAÇÃO DE *SOFTWARES* DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO NA EVACUAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA**

Glauber Roger Neves (CEETEPS) 7glaub@gmail.com  
Antonio Cesar Galhardi (CEETEPS) galhardi.antoniocesar@gmail.com  
Giovani Bulgarelli Zago (CEETEPS) giovani.zago@cpspos.sp.gov.br

### **Resumo**

Os Sistemas Inteligentes de Transporte se utilizam do uso de tecnologia de informação para realizar gerenciamento e controle de tráfego. Entre eles, os *softwares* simuladores de trânsito são ferramentas úteis no controle do tráfego urbano e rodoviário. Este artigo analisa a produção bibliográfica publicada na literatura com o intuito de identificar as abordagens dos estudos e os principais aspectos inerentes à utilização de simuladores de tráfego na evacuação de áreas de risco.

**Palavras-Chaves:** Simuladores de tráfego, evacuação de áreas de risco.

### **1. Introdução**

Catástrofes naturais ou provocadas pelo homem podem afetar áreas povoadas e pôr em perigo as vidas humanas que ali ocupam. Diante deste fato, é necessário evacuar as áreas afetadas e mover a população para abrigos seguros. O planejamento de evacuação é muitas vezes suportado por ferramentas modernas, como modelos de evacuação que permitem a avaliação de parâmetros como o tempo de evacuação e as rotas mais seguras que conduzem para as zonas de proteção.

Todavia, materializar experimentos de evacuação é um processo extremamente difícil. Os custos de manter testes práticos não podem ser facilmente estimados e os dados experimentais são difíceis de ser captados, fazendo com que a simulação da evacuação por *software* de computador tenha se tornado comum nos últimos anos (SHI *et al.*, 2009).

Mediante tais argumentos, este trabalho tem como objetivo analisar a produção bibliográfica publicada na literatura com o intuito de identificar as abordagens dos estudos e os principais aspectos inerentes à utilização de simuladores de tráfego na evacuação de áreas de risco. Para isso foram selecionados quinze artigos em que houve algum estudo de caso utilizando simuladores de tráfego para modelar situações de abandono emergencial de áreas.

## 2. Referencial Teórico

Para um melhor entendimento dos principais conceitos relacionados a este trabalho foi realizada uma revisão teórica da literatura abordando temas como evacuações e simuladores de tráfego.

Desastres naturais ou causados pelo homem colocam as populações em risco em todo o planeta. É papel dos gestores de emergência planejar esse risco, desenvolvendo estratégias para aliviar danos e proteger vidas. Quando a prevenção não é possível, uma gestão estratégica de emergência é a melhor alternativa. Embora locais de abrigo ofereçam uma opção de proteção as pessoas, em muitas situações, uma evacuação é a única técnica de gerenciamento de emergência disponível para garantir segurança das comunidades (VANLANDEGEN e CHEN, 2012).

Os simuladores são de grande utilidade para os responsáveis pela engenharia de tráfego, pois podem prever o resultado de um sistema real, processado a diversas situações, sem necessitar que o evento ocorra para se obter as respostas de comportamento do fluxo de tráfego. Para a construção de uma simulação, é necessário entender como o trânsito funciona, se comporta e evolui (BARCELÓ, 2010).

De acordo com Gramani (2010), o deslocamento de fluxos pode ser representado por três diferentes classificações:

- a) Escala Microscópica, onde todos os veículos são avaliados individualmente. O posicionamento e a velocidade de cada automóvel definem o estado do sistema. A modelagem referente a esta abordagem, é realizada por meio de um sistema de equações diferenciais ordinárias representando as leis da mecânica newtoniana. A solução desse sistema providencia a descrição das circunstâncias do fluxo nas vias de tráfego;
- b) Escala Macroscópica, onde o comportamento dos veículos é comparado ao fluxo de um fluido, descartando totalmente a escala microscópica. Neste modelo o estado do sistema é retratado por quantidades médias localmente calculadas, a densidade, o momento linear e a energia cinética dos automóveis. Os modelos referentes a esta escala são baseados no fundamento de hidrodinâmica de fluidos e são reproduzidos por sistemas de equações diferenciais;
- c) Escala Mesoscópica, onde a identificação do posicionamento e da velocidade dos automóveis é realizada por uma distribuição apropriada de probabilidade sobre o

estado microscópico considerado como uma variável aleatória. Os modelos matemáticos concernentes a esta escala são baseados em equações íntegro-diferenciais similares a equação de Boltzmann.

Em geral todos os modelos apresentam vantagens e desvantagens em seu uso. No Quadro 1 são apresentados os principais *softwares* simuladores de tráfego utilizados na atualidade, suas classificações quanto ao modelo de fluxo e também traz a informação sobre o desenvolvedor do produto.

Quadro 1 - Principais *softwares* simuladores de tráfego

Modelo	Software	Desenvolvedor / País
Microscópico	<b>AimSum</b>	Universitat Politécnica de Catalunya en Barcelona / Espanha
	<b>CorSim</b>	Federal Highway Administration / Eua
	<b>Integration</b>	Queens University, Transport Research Group / Canadá
	<b>MatSim</b>	ETH Zurich / Suíça
	<b>MitSim</b>	Massachusetts Institute of Technology / Eua
	<b>Paramics</b>	The Edinburgh Parallel Computing Centre and Quadstone Ltd. / Reino Unido
	<b>SimTraffic</b>	Trafficware, The Traffic Signal Software Company / Eua
	<b>Sumo</b>	German Aerospace Center (DLR) / Alemanha
	<b>TranSims</b>	Los Alamos National Laboratory / Eua
	<b>TransModeler</b>	Caliper Corporation / Eua
	<b>VisSim</b>	PTV Planung Transport Verkehr AG / Alemanha
Macroscópico	<b>Autos</b>	Georgia Tech Research Institute / Eua
	<b>Corflo</b>	Federal Highway Administration / Eua
	<b>Metanet</b>	Technical University of Munich / Alemanha
	<b>Transyt-7F</b>	Federal Highway Administration / Eua
	<b>Texas</b>	University of Texas / Eua
Mesoscópico	<b>Cube Avenue</b>	Citilabs / Eua
	<b>DynaMit</b>	Massachusetts Institute of Technology / Eua
	<b>DynaNemo</b>	Innovative Concepts / Eua
	<b>DynaSmart-P</b>	University of Texas at Austin / Eua

Fonte: Os Autores

### 3. Método

Este estudo analisou como alguns autores têm tratado o assunto deste artigo, ou seja, trata-se de um trabalho de base bibliográfica, que não utilizou fontes primárias de investigação.

Para a pesquisa dos artigos, foram realizadas buscas por meio do Portal de Periódicos Capes, nas bases ScienceDirect (Elsevier), Wiley, IEEE Journals, ISI Web of Science, Scopus e Emerald. Como termos de busca foram utilizadas as seguintes palavras concomitantemente: “evacuation” e os “nomes dos *softwares*” descritos no Quadro 1, um por vez. Também,

adicionalmente aos nomes dos *softwares*, o termo “Orems” foi pesquisado por se tratar de um *software* importante com relação a evacuações de emergência. Os termos foram buscados nas categorias título, resumo e palavras-chave para o período dos anos 2000 a 2017. Esta busca foi realizada durante o mês de janeiro de 2017.

Com base nos resultados obtidos com cada termo, foram excluídos os trabalhos duplicados e depois foi realizada uma análise individual de cada título e resumo para avaliar a adequação, ou não, de cada artigo à nossa pesquisa. Em relação à abrangência da amostra, foi restrita apenas ao estudo de artigos nos quais apresentaram um estudo de caso utilizando os *softwares* de simulação de tráfego de acordo com a temática desta pesquisa.

A grande incidência de estudos nesta área se dá apenas a partir do ano de 2010. Apesar disso, o período selecionado produziu uma amostra bastante significativa, pois após o filtro inicial foram encontrados 48 artigos. Destes, selecionamos 15 trabalhos e estes envolvem estudos de diferentes *softwares* e autores e também tratam do assunto de diversas perspectivas. No Quadro 2, é mostrado os artigos selecionados bem como seus autores e ano de publicação.

Quadro 2 – Artigos selecionados

	Título	Autores (Ano)
1	Simulation-based evaluation of evacuation effectiveness using driving behavior sensitivity analysis	Kostovasilis e Antoniou (2017)
2	Development of evacuation models for moderate seismic zones: A case study of Montreal	Tamima e Chouinard (2016)
3	Transit-based emergency evacuation with transit signal priority in sudden-onset disaster	Lin e Gong (2016)
4	An agent-based modeling system for travel demand simulation for hurricane evacuation	Yin <i>et al.</i> (2014)
5	Application of microscopic simulation of traffic flows in developing evacuation plans for inhabitants	Novacko <i>et al.</i> (2014)
6	Evacuation plan of an industrial zone: Case study of a chemical accident in Aliaga, Turkey and the comparison of two different simulation softwares	Onelcin <i>et al.</i> (2014)
7	An emergency evacuation planning model for special needs populations using public transit systems	Kaisar <i>et al.</i> (2012)
8	Microsimulation of large-scale evacuations utilizing metrorail transit	Vanlandegen e Chen (2012)
9	Using Crowdsourced Geodata for Agent-Based Indoor Evacuation Simulations	Goetz e Zipf (2012)
10	A microscopic simulation of evacuation model considering car-following behavior under flood	Mingwei <i>et al.</i> (2010)
11	Evacuation plan of the city of Almere: simulating the Impact of driving behavior on evacuation clearance time	Tu <i>et al.</i> (2010)
12	Simulating large-scale evacuation scenarios in commercial shopping districts-methodologies and case study	Rossetti e Ni (2010)
13	The representation and implementation of time-dependent inundation in large-scale microscopic evacuation simulations	Lämmel <i>et al.</i> (2010)
14	Emergency evacuation planning and preparedness of transit facilities: traffic simulation modeling	Elminity <i>et al.</i> (2007)
15	Global Optimization of Emergency Evacuation Assignments	Han <i>et al.</i> (2006)

Fonte: Os Autores

#### 4. Análise das publicações

Nesta seção serão apresentadas as discussões acerca dos artigos selecionados. O Quadro 3 exibe as principais características dos estudos.

Quadro 3 – Características dos artigos selecionados

	Autores (Ano)	Software	Fenômeno hipotético	Local de estudo	Objeto de estudo
1	Kostovasili e Antoniou (2017)	Aimsun	Atividade vulcânica	Ilha de Santorini / Grécia	Relação entre comportamento de condutores e eficácia da evacuação
2	Tamima e Chouinard (2016)	Orems	Terremoto	Montreal / Canadá	Estimar as necessidades de abrigo e as rotas de evacuação
3	Lin e Gong (2016)	Paramics	Desastre de início súbito	Xangai / China	Prioridade de semáforos durante evacuação
4	Yin <i>et al.</i> (2014)	Transims	Furacão	Miami-Dade / Eua	Comportamentos de tomada de decisão
5	Novacko <i>et al.</i> (2014)	Vissim	Acidente nuclear	Zagreb / Croácia	Preparação para evacuação
6	Onelcin <i>et al.</i> (2014)	Cube Avenue / Matsim	Acidente químico	Izmir / Turquia	Comparar resultados de evacuação de dois <i>softwares</i>
7	Kaisar <i>et al.</i> (2012)	Aimsun	-	Washington / Eua	Evacuação de pessoas com necessidades especiais
8	Vanlandegen e Chen (2012)	Vissim	Ataque terrorista	Washington / Eua	Evacuação de pedestres via Metrô
9	Goetz e Zipf (2012)	Matsim	-	-	Uso de <i>crowdsourcing</i> e geodados para evacuação de interiores
10	Mingwei <i>et al.</i> (2010)	Aimsun	Enchente	Ilhas Japonesas / Japão	Comportamento <i>car-following</i>
11	Tu <i>et al.</i> (2010)	Paramics	Enchente	Almere / Holanda	Impacto do comportamento de condutores na remoção da evacuação
12	Rossetti e Ni (2010)	Paramics	-	Arkansas / Eua	Evacuação de estacionamentos
13	Lämmel <i>et al.</i> (2010)	Matsim	Tsunami	Pandang / Indonésia	Evacuação larga escala de pedestres
14	Elminity <i>et al.</i> (2007)	Vissim	Desastre natural ou causado pelo	Orlando / Eua	Estudar o efeito da evacuação na rede de tráfego
15	Han <i>et al.</i> (2006)	Dynasmart-P	-	Tennessee / Eua	Evacuação com o conceito de destino único

Fonte: Os Autores

O artigo de Kostovasili e Antoniou (2017), fornece um estudo analítico da eficácia da evacuação de acordo com o comportamento dos condutores. O objetivo foi investigar como a agressividade dos condutores afetavam a eficácia da evacuação. Para concretizar a modelagem computacional foi adotado o simulador AIMSUN e os parâmetros de comportamento do condutor foram determinados mediante análise de sensibilidade. Para a configuração dos dados geográficos utilizou-se aspectos da região da Ilha de Santorini, na Grécia. Os resultados da análise de sensibilidade sugerem que o tempo de evacuação pode ser significativamente reduzido apenas pela inversão dos caminhos mais congestionados. Além disso, evidenciou-se que o uso de uma frota de ônibus permitiria que muitas mais pessoas

evacuassem a zona de perigo em tempo hábil, adicionando apenas um aumento no tempo mínimo de evacuação.

O trabalho de Tamima e Chouinard (2016), teve por objetivo desenvolver uma metodologia multidisciplinar para estimar as necessidades de abrigo e as rotas de evacuação no caso de um grande terremoto em uma região de atividade sísmica moderada que nunca experimentou tal evento recentemente. A metodologia é demonstrada para a cidade de Montreal, no Canadá, que está localizada em uma região sísmica moderadamente ativa. O *software* OREMS simulou o comportamento do tráfego durante as evacuações de emergência e identificou as ligações de evacuação com potencial congestionamento de tráfego. A procura de abrigo foi estimada pelo modelo de escolha binária discreta baseado numa pesquisa cuidadosamente concebida utilizando práticas desenvolvidas por sismólogos, engenheiros e urbanistas. Os resultados do modelo de escolha foram comparados aos obtidos com a metodologia HAZUS, que subestima as necessidades de abrigo. Noutro resultado, o desempenho do tráfego das rodovias foi melhor do que nas estradas arteriais nas áreas altamente vulneráveis.

O estudo de Lin e Gong (2016), apresentou métodos de prioridade de semáforos de trânsito para uma evacuação baseada em um desastre de início súbito. A prioridade dos semáforos foi determinada por: estimativa do tempo de chegada do veículo em trânsito, estimativa do tempo de dissipação do veículo em fila, estimativa do estado do semáforo, otimização do semáforo e a coordenação do semáforo arterial para o veículo de trânsito na rota de evacuação. Os métodos propostos foram testados na plataforma PARAMICS. Para avaliar e comparar o desempenho da prioridade do semáforo, foram testados três cenários. O estudo emprega uma rua na cidade de Xangai como rota de evacuação na plataforma de simulação. Os resultados indicaram que os métodos do estudo podem reduzir os tempos de viagem dos veículos de trânsito ao longo de uma rota de evacuação, melhorar o desvio padrão do tempo de viagem e diminuir o atraso médio de uma intersecção sinalizada.

O artigo de Yin *et al.* (2014), aborda um modelo de simulação de evacuação de área atingida por furacões. O sistema adotado utiliza modelos econométricos e estatísticos para representar as viagens e comportamentos de tomada de decisão ao longo do processo de evacuação. O sistema considera seis decisões típicas de evacuação: evacuação ou permanência, escolha do tipo de abrigo, escolha do destino, escolha do modo para evacuação, escolha do uso de veículo e escolha do tempo para a partida. Além disso, o modelo considera também as atividades de preparação pré-evacuação usando uma abordagem baseada em atividades. Como

ferramenta de simulação empregou-se o *software* TRANSIMS e os parâmetros de viagens foram estimados para a área de Miami-Dade para um furacão hipotético de categoria 4.

No trabalho de Novacko *et al.* (2014), são apresentadas as possibilidades de implementar ferramentas de microssimulação de tráfego para desenvolver planos de evacuação. O documento fornece com detalhes as características básicas da simulação microscópica de fluxos de tráfego, bem como exemplos de sua implementação. Como exemplo, utiliza a evacuação da população através do nó de Jankomir, na cidade de Zagreb, na Croácia. A evacuação foi realizada com três cenários em circunstâncias de maior ou menor demanda de transporte. Fez-se uso *software* VISSIM em um caso de evacuação de habitantes.

Na pesquisa de Onelcin *et al.* (2014), foram realizadas simulações de evacuação para Aliaga, uma zona industrial de Izmir, na Turquia. O cenário foi baseado em uma explosão na fábrica de acrilonitrila ( $C_3H_3N$ ). Uma zona de risco foi determinada considerando as características da acrilonitrila, a velocidade e direção do vento. Os simuladores mesoscópico CUBE AVENUE e o microscópico MATSIM foram aplicados para estudo de caso. Segundo os autores, o objetivo de se utilizar dois *softwares* de simulação foi comparar as estimativas de tempo de evacuação e obter resultados confiáveis de simulações de evacuação. Os cálculos demonstraram que os tempos de evacuação das zonas de riscos apresentaram resultados semelhantes nos dois *softwares*. Em apenas uma zona de risco o CUBE AVENUE calculou valores menores de tempo, identificado no artigo como resultado da diferença dos *softwares* quanto à distribuição dos veículos.

O estudo de Kaiser *et al.* (2012), focou nas populações com alguma necessidade especial tais como pessoas com deficiência física, idosos, não falantes do idioma local, pessoas sem veículos e turistas. O principal objetivo do artigo foi avaliar os diferentes procedimentos de evacuação para cidadãos com necessidades especiais utilizando os sistemas de transporte público. O estudo abordou qual seria a melhor localização de paradas de ônibus para populações especiais em uma eventual evacuação. A metodologia proposta foi aplicada a um estudo de caso para avaliar os efeitos no local utilizando-se o *software* AIMSUN e representou o centro de Washington como área de estudo. Ao final, os resultados indicaram os melhores cenários para um menor atraso nas viagens e tempos de paragem. Adicionalmente, um modelo de otimização de programação linear foi desenvolvido para encontrar os locais ótimos para as paradas de ônibus durante a evacuação.

O artigo de Vanlandegen e Chen (2012), combinou análise de rede baseada em GIS com técnicas de microssimulação e desenvolveu um quadro para simular evacuações usando

sistemas ferroviários. Aplicando o quadro hipotético de um ataque terrorista sobre o Pentágono, este estudo investigou o desempenho do metrô na área metropolitana de Washington para evacuações. Foi realizada uma análise de rede para estimar o número de corredores em associação com cada linha e estação de metrô. Utilizando o *software* VISSIM, este estudo integrou um modelo pedestre com um modelo de trânsito ferroviário para avaliar o desempenho dos trens nas evacuações. Os resultados da simulação sugeriram que se o potencial do trânsito ferroviário for efetivamente utilizado, poderia ser um recurso muito útil durante uma evacuação em larga escala. Este estudo também demonstrou o grande potencial e flexibilidade das técnicas de microsimulação para avaliar cenários e estratégias complexas de evacuação.

De acordo com os autores Goetz e Zipf (2012), o uso de *crowdsourcing* e geodados têm provado ser uma rica e importante fonte de dados para simulações e análises ambientais. Também servem para visualização de fenômenos espaciais. Com o crescente tamanho e complexidade dos edifícios, como universidades e hotéis, há também uma crescente demanda por informações sobre os espaços interiores. Neste trabalho, buscou-se utilizar o *crowdsourcing* e geodados para locais internos com rotas complexas. Foi investigado se os dados disponíveis podem ser utilizados para realizar simulações de evacuação de interiores de edifícios com o MATSIM. O artigo discute os dados relacionados à simulação de geração automática e fornece resultados experimentais para dois cenários diferentes de evacuação.

Na pesquisa de Mingwei *et al.* (2010), foi apresentado um modelo de evacuação utilizando-se do *software* AIMSUN considerando o comportamento *car-following* (interação entre veículos) em uma situação de inundação da via. O modelo *car-following* tem como conceito base a relação entre o estímulo e a resposta, ou seja, cada condutor controla a velocidade de seu automóvel em função do estímulo que recebe do veículo que está a sua frente. Os autores formularam uma relação entre a velocidade dos veículos e a profundidade da água em um ponto inundado. Utilizou-se representativamente de propriedades dinâmicas dos veículos e de dados reais de chuvas ocorridas em ilhas japonesas. O artigo também trouxe a comparação de diferentes comportamentos dos motoristas diante de uma situação de enchente. Os resultados indicaram que a inundação afetou significativamente a evacuação, dificultando o trânsito dos veículos.

No trabalho de Tu *et al.* (2010), uma estrutura de simulação S-PARAMICS em uma condição de evacuação foi criada para avaliar o impacto das variações no comportamento de condução no tempo de remoção da evacuação. Utilizou-se um mapa da cidade de Almere, na Holanda,



para parametrizar as áreas de evacuação. Esta cidade, originalmente, desenvolveu um plano de evacuação em caso de emergência de uma inundação, mas assume um comportamento de condução normal dos evacuados. Os resultados mostraram que os aumentos na taxa de aceleração e na velocidade máxima não têm um impacto significativo sobre o tempo de remoção da evacuação. Verificou-se também que uma redução tanto no percurso médio como no intervalo mínimo diminui significativamente o tempo de evacuação.

O estudo de Rossetti e Ni (2010), trata do processo de como as pessoas se evacuam de estacionamentos até chegar a áreas seguras, abordando desde o ponto em que ocorre a emergência e até como a evacuação afeta o tráfego. O artigo apresenta métodos baseados no *software* PARAMICS para modelagem de evacuações em grande escala no contexto de um estudo de caso envolvendo a evacuação de um estacionamento dentro de um *shopping center*. Utilizou-se hipoteticamente a região ao redor do Arkansas Mall, nos Estados Unidos. Foi construído e validado um modelo básico para tráfego de fundo, para representar as condições reais de trânsito. Seis cenários de evacuação foram desenvolvidos e explorados em experimentos de simulação, variando tanto os fatores envolvendo a taxa de ocupação dos estacionamentos e também os níveis de tráfego. Os indicadores de desempenho dos veículos que tentaram evacuar as áreas foram capturados em termos de um perfil de risco de evacuação envolvendo os lotes de estacionamento mais problemáticos e as áreas onde se prevê a ocorrência de gargalos de trânsito.

A pesquisa de Lämmel *et al.* (2010), utilizou-se de uma plataforma de simulação de pedestres para evacuações em larga escala, aplicando o *software* MATSIM. O programa é implementado como uma simulação de sistemas multiagentes, onde cada agente tenta otimizar seu plano individual de evacuação de forma iterativa. As simulações concentraram-se em dois tipos de comportamentos dos pedestres: um aonde cada pessoa segue o caminho mais curto para uma área segura, e outro onde um equilíbrio de Nash é alcançado. Ambos os comportamentos podem ser considerados como *benchmarks*: O primeiro, onde as pessoas são racionais sobre a sua escolha de caminho, mas desconhecem os efeitos do congestionamento. O segundo como uma solução que poderia ser alcançada por treinamento, assumindo que as pessoas seguem a solução de treinamento em situação real. O estudo de caso utilizou como exemplo a cidade indonésia de Padang.

O trabalho de Elminity *et al.* (2007), focou num possível desastre natural ou causado pelo homem que ameaçaria a maior garagem de ônibus de transporte público localizada na cidade de Orlando, Flórida. O *software* VISSIM foi selecionado para avaliar o plano atual e planos

alternativos para a evacuação do trânsito durante a situação de emergência. Diferentes estratégias foram simuladas para estudar o efeito da evacuação na rede de tráfego circundante, bem como para ajudar a empresa de trânsito local a avaliar seu plano de evacuação e considerar diferentes possibilidades sem o risco e o custo prático de evacuação. Nove cenários de evacuação foram simulados e analisados para alcançar a melhor estratégia de evacuação para a garagem de ônibus. As estratégias de evacuação avaliadas incluem desvio de tráfego, otimização de semáforos, restrição de acesso a locais, diferentes destinos e evacuação de pedestres. O atraso total da rede para cada cenário foi comparado com o caso base, e os resultados indicam que a evacuação dos pedestres foi melhor do que o uso de ônibus. O redirecionamento de tráfego também poderia potencialmente reduzir os atrasos e o tempo de remoção da evacuação.

No estudo de Han *et al.* (2006), apresentou-se um trabalho para a otimização simultânea da distribuição e atribuição de evacuação e tráfego. Com base no conceito de evacuação de um destino, obtiveram o destino ideal e a atribuição de rota resolvendo um problema de atribuição de tráfego de destino único em uma representação de rede modificada. Para o estudo de caso, simulou-se uma operação de evacuação usando o *software* DYNASMART-P para o condado de Knox, no Tennessee. Foi utilizada as duas principais rodovias interestaduais como áreas de estudo. Para a modelagem, evacuou-se todos os habitantes, simulando duas configurações de rede e se comparou a eficácia. Também foi implementado uma otimização simultânea do tráfego de evacuação. Com base no conceito de destino único de evacuação, pode-se obter tanto o destino ótimo e as melhores rotas com uma rede modificada. O modelo de um destino produziu uma melhoria substancial em relação à abordagem convencional, com o tempo de evacuação total reduzido em mais de 60%.

## **5. Considerações Finais**

Com esta revisão da bibliografia é possível observar que, a aplicação de simuladores de tráfego na evacuação de áreas de risco é um tema bastante atual, pois a grande incidência de estudos nesta área se dá apenas a partir do ano de 2010.

Dentre as pesquisas analisadas, conforme apresentado no Quadro 3, verificou-se que o AIMSUN, MATSIM, PARAMICS e VISSIM foram os simuladores de maior ocorrência nos estudos de caso. Quanto aos desastres hipotéticos simulados, constatou-se que fenômenos naturais tais como inundações, atividades vulcânicas, furacões e terremotos são os eventos

mais abordados. Com referência às áreas geográficas modeladas nos *softwares*, os Estados Unidos apresentaram maior número de estudos, porém, outros países da Europa e Ásia também tiveram suas colaborações. Percebeu-se que diferentes métodos e abordagens, vindas de contribuições de diversos campos do conhecimento, permitiram a construção dos estudos de caso nos trabalhos. Evidenciou-se trabalhos focando na evacuação tanto de pedestres como de veículos. Algumas pesquisas buscaram respostas de como comportamento dos agentes influencia no abandono de áreas. A pesquisa de Onelcin *et al.* (2014) comparou dois simuladores diferentes em um mesmo ambiente problemático. Outro estudo a ser destacado é o elaborado por Lin e Gong (2016), que estudou as prioridades dos semáforos em intersecções de trânsito.

Todos os trabalhos analisados apontaram que as estratégias de evacuação de área são de grande importância em uma atividade gerencial dos responsáveis pelo tráfego. O uso de um *software* simulador de tráfego possibilita criar um sistema virtual a fim de avaliar os parâmetros e viabilidade do modelo estudado. O seu uso é uma tendência, devido a sua rapidez e eficácia, pois nos dias atuais, não é viável a execução de um projeto sem a certeza de seus benefícios.

## REFERÊNCIAS

BARCELÓ, Jaume. Fundamentals of Traffic Simulation, volume 145 of International Series in **Operations Research & Management Science**. Car-following: a historical review, 2010.

ELMITINY, Noor; RAMASAMY, Shankar; RADWAN, Essam. Emergency evacuation planning and preparedness of transit facilities: traffic simulation modeling. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, n. 1992, p. 121-126, 2007.

GOETZ, Marcus; ZIPF, Alexander. Using crowdsourced geodata for agent-based indoor evacuation simulations. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 1, n. 2, p. 186-208, 2012.

GRAMANI, Liliana M. Descrições microscópica, macroscópica e cinética do fluxo de tráfego veicular. **Notas em Matemática Aplicada**, 89. 2010.

HAN, Lee D.; YUAN, Fang; CHIN, Shih-Miao; HWANG, Holing. Global optimization of emergency evacuation assignments. **Interfaces**, v. 36, n. 6, p. 502-513, 2006.

KAISAR, Evangelos I.; HESS, Linda; PORTAL PALOMO, Alicia Benazir. An emergency evacuation planning model for special needs populations using public transit systems. **Journal of Public Transportation**, v. 15, n. 2, p. 3, 2012.

KOSTOVASILI, Margarita; ANTONIOU, Constantinos. Simulation-based evaluation of evacuation effectiveness using driving behavior sensitivity analysis. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 70, p. 135-148, 2017.

LÄMMEL, Gregor; GREETHER, Dominik; NAGEL, Kai. The representation and implementation of time-dependent inundation in large-scale microscopic evacuation simulations. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 18, n. 1, p. 84-98, 2010.

LIN, Ciyun; GONG, Bowen. Transit-Based Emergency Evacuation with Transit Signal Priority in Sudden-Onset Disaster. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2016, 2016.

MINGWEI, Liu; HIRAI, Takahiro; KAJITA, Yoshikata; SUMI, Tomonori. A Microscopic Simulation of Evacuation Model Considering Car-Following Behavior under Flood. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 8, p. 1-15, 2010.

NOVACKO, Luka; MANDZUKA, Sadko; PETROVIC, Marjana. Application of Microscopic Simulation of Traffic Flows in Developing Evacuation Plans for Inhabitants. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 8, n. 7, 2014.

ONELCIN, Pelin; MUTLU, Mehmet Metin; ALVER, Yalcin. Evacuation plan of an industrial zone: Case study of a chemical accident in Aliaga, Turkey and the comparison of two different simulation softwares. **Safety science**, v. 60, p. 123-130, 2013.

ROSSETTI, Manuel D.; NI, Qingbiao. Simulating large-scale evacuation scenarios in commercial shopping districts-methodologies and case study. In: Simulation Conference (WSC), **Proceedings of the 2010 Winter**. IEEE, 2010. p. 3494-3505.

SHI, Long; XIE, Qiyuan; CHENG, Xudong; ZHANG, Ruifang. Developing a database for emergency evacuation model. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1724-1729, 2009.

TAMIMA, Umma; CHOUINARD, Luc. Development of evacuation models for moderate seismic zones: A case study of Montreal. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 16, p. 167-179, 2016.

TU, Huizhao; TAMMINGA, Guus; DROLENGA, Hans; BERG, Wouter V. D. Evacuation plan of the city of Almere: simulating the impact of driving behavior on evacuation clearance time. **Procedia Engineering**, v. 3, p. 67-75, 2010.

VANLANDEGEN, Luke; CHEN, Xuwei. Microsimulation of large-scale evacuations utilizing metrorail transit. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 787-797, 2012.

YIN, Weihao; MURRAY-TUITE, Pamela; UKKUSURI, Satish V.; GLADWIN, Hugh. An agent-based modeling system for travel demand simulation for hurricane evacuation. **Transportation research part C: emerging technologies**, v. 42, p. 44-59, 2014.