



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



Campus São Mateus

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

## MICROSSIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE ROTATÓRIAS: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

### *MICROSIMULATION FOR ROUNDABOUTS ANALYSIS: A BIBLIOMETRIC STUDY*

Ana Beatriz de Britto Porto<sup>1\*</sup> & Victor Hugo Souza de Abreu<sup>2</sup>

<sup>1 2</sup> Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030, 101, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>1</sup> [anab.porto@pet.coppe.ufrj.br](mailto:anab.porto@pet.coppe.ufrj.br) <sup>2</sup> [victor@pet.coppe.ufrj.br](mailto:victor@pet.coppe.ufrj.br)

#### ARTIGO INFO.

Recebido em: 21.12.2019

Aprovado em: 23.03.2020

Disponibilizado em: 05.04.2020

#### PALAVRAS-CHAVE:

Microssimulação; Rotatórias; Revisão Bibliométrica.

#### KEYWORDS:

Microsimulation; Roundabouts; Bibliometric Review.

\*Autor Correspondente: Porto, A. B. B.

#### RESUMO

A microssimulação de tráfego tornou-se uma importante estratégia para verificação de propostas de melhorias viárias, pois possibilita representar ou modelar seu comportamento e as interações dos elementos de um sistema para fornecer uma avaliação prévia do seu desempenho. Em relação à análise de rotatórias, essa realidade não é diferente. Muitos estudos utilizam microssimuladores de tráfego para avaliar a implantação de novas rotatórias, bem como indicar propostas de melhorias nas já existentes. Nesse sentido, este artigo busca, por meio de um estudo bibliométrico, coletar e reunir estudos que utilizam microssimuladores para análise do desempenho de rotatórias. Os resultados indicam que o assunto continua em expansão, que o VISSIM se destaca como principal microssimulador e que esses estudos podem ser divididos em oito grandes áreas de aplicação.

#### ABSTRACT

The traffic microsimulation has become an important strategy to road improvement proposals verification, since it allow to represent or shape its behaviors and the interactions of the elements of a system, providing a previous performance analysis. In relation to roundabout analysis, it is not a different reality. Many studies use traffic microsimulators in order to rate new roundabouts implementation, as well as suggest improvement proposals on the already existent ones. Thus, the paper aims, through a bibliometric research, to collect and gather studies which use microsimulators to analyses roundabouts performance. The results indicate that the subject keep expanding, that VISSIM distinguishes itself as a the main microsimulator, and that these studies can be divided into eight big areas of application.



## 1. INTRODUÇÃO

A simulação computacional é uma tecnologia comprovadamente eficiente para analisar dados estocásticos e sistemas dinâmicos (Gagnon, et al., 2008). Assim, a aplicação da simulação para tomada de decisão nos sistemas de transportes é bastante reconhecida e muitas vezes de fácil aplicação.

Nesse sentido, a simulação de tráfego configura-se como uma estratégia útil para o sistema inteligente de transportes (Owen, et al., 2010) ao indicar como possíveis modificações viárias podem acarretar melhorias no fluxo de tráfego. Segundo Portugal (2005), seu objetivo principal é representar ou modelar o comportamento do tráfego e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho.

Esse tipo de simulação pode ser dividido em três categorias:

- Macrossimulação: trata o fluxo de tráfego como um fluido, tendo a individualidade do veículo desprezada (tais como TRANSCAD e EMME/2);
- Mesossimulação: trata os veículos como pelotões e procuram explicar deformações destes pelotões (tais como CONTRAN e SATURN); e
- Microsimulação: trata o veículo de forma individualizada, tendo cada um seu comportamento próprio (tais como VISSIM e AIMSUN).

Os microsimuladores de tráfego são mais apropriados para representação de muitos sistemas dinâmicos que exigem uma modelagem do processo de tráfego, por causa do seu nível de detalhe na representação dinâmica do tráfego (Burghout & Wahlstedt, 2007). Um exemplo de aplicação em transportes em que se aconselha a utilização de microsimuladores é a simulação de rotatórias (Portugal, 2005).

Isso porque a microsimulação de tráfego se apresenta como uma poderosa ferramenta para simulação de novos *designs* de rotatórias, assim como um auxílio em diagnóstico das rotatórias em geral, aferindo seus parâmetros como nível de serviço, pontos de conflito e velocidade média, para que tomadores de decisão possam analisar seus benefícios e limitações.

O desenvolvimento de modelos de microsimulação para apoiar decisões relativas à configuração de rotatórias tem sido objeto de crescente interesse nas últimas décadas. Entretanto, a seleção de artigos que dão embasamento adequado à realização de pesquisas científicas sobre o assunto se tornou muito complexa. Isso porque nem tudo o que é abordado na literatura é de igual rigor (Ngai & Wat, 2002), apenas a literatura de qualidade estimula estudos adicionais de investigação e proporciona a validação da teoria original proposta pelo estudo (Barnes, 2005).

Diante deste contexto, este artigo objetiva verificar, na base dados *Web of Science*, que apresenta um alcance e cobertura satisfatórios, quais são os artigos relevantes e diretamente aplicáveis à utilização da microsimulação para análise de rotatórias. Para isso realiza-se uma revisão com abordagem bibliométrica sobre o assunto em que é verificado desde a evolução no número de publicações e citações ao longo dos anos ano até as principais áreas de aplicação.



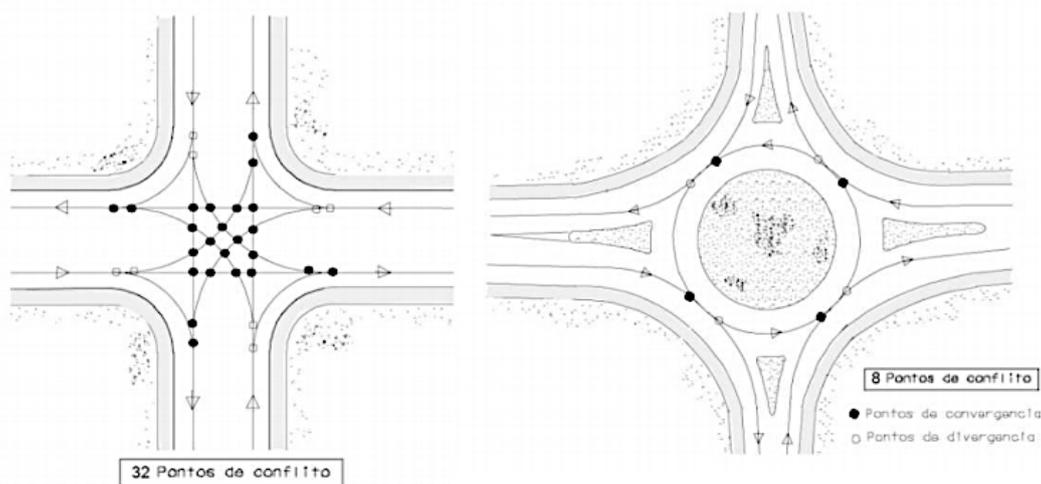
Para alcançar seus objetivos, este estudo está estruturado da seguinte forma. A Seção 1 apresenta a contextualização do assunto, o problema e os objetivos da pesquisa. A Seção 2 trata das rotatórias e da microsimulação de tráfego. A Seção 3 apresenta e descreve o procedimento metodológico. A Seção 4 apresenta e discute os resultados. Finalmente, a Seção 5 contém as considerações finais.

## 2. AS ROTATÓRIAS E A MICROSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

A segurança e fluidez de tráfego são dois dos principais aspectos que precisam ser considerados no desenvolvimento de um sistema viário urbano, principalmente em cruzamentos, que apresentam diversos pontos de conflito de tráfego. Dessa forma, quando o fluxo de tráfego em cruzamentos é intenso, tem-se como uma solução viável a implantação de rotatórias tais como as convencionais e as modernas (Neris, 2014). Nesse sentido, a Figura 1 tem como objetivo mostrar como a implantação de rotatórias impacta na redução dos pontos de conflitos em cruzamentos.

As rotatórias convencionais têm como característica a interação entre os fluxos de tráfego que entram, circulam e saem da rotatória, baseados em movimentos entrelaçados. Por conta destes entrelaçamentos, constroem-se vias conectoras tangenciando o anel da rotatória. Os pontos de conflito existentes nessas rotatórias, apesar de serem menores que em cruzamentos, tem como efeito a possibilidade de ocorrência de acidentes, impactando diretamente na segurança viária (Fortuijn, 2003).

Figura 1. Pontos de Conflitos em Cruzamentos e Rotatórias.

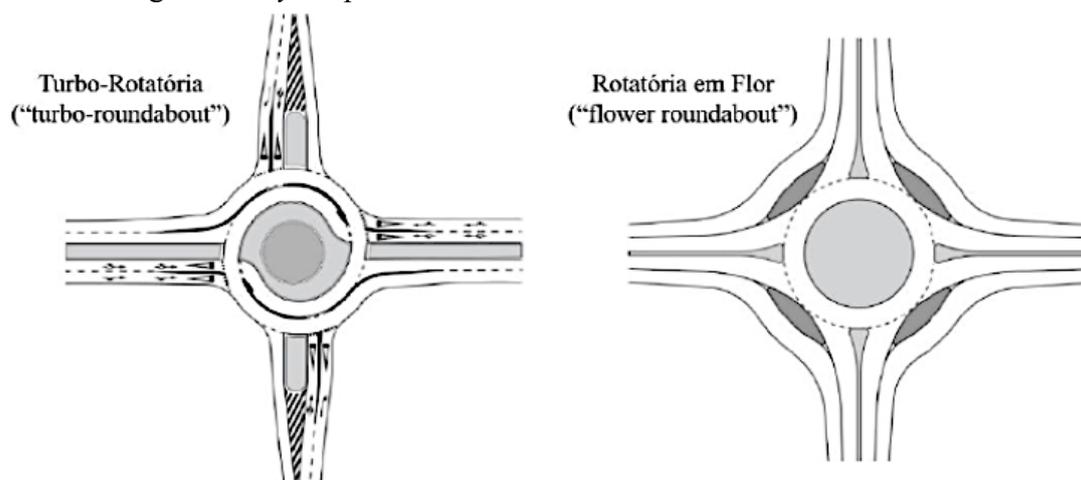


Fonte: Silva & Seco (2004).

Dessa forma, viu-se a necessidade de mudanças na arquitetura das rotatórias convencionais (Giuffrè, et al., 2017). Nesse sentido, aumentou-se o interesse pela implantação de rotatórias modernas por serem um método efetivo e seguro de controle de interseção (Gagnon, et al., 2008). Rotatórias modernas tais como as Turbo, em Flor e *Target*, baseiam seus fluxos de tráfego em baixas velocidades, tendo suas vias de acesso perpendiculares a via de circulação da rotatória, permitindo assim maior segurança de tráfego e menor congestionamento. A Figura 2 apresenta o *layout* padrão de duas dessas rotatórias.



Figura 2. *Layout* padrão da Turbo-Rotatória e da Rotatória em Flor.



Fonte: Adaptado de Tollazzi & Rencelj (2014).

A fim de avaliar os melhores *designs* de rotatórias para implantação ou substituição em uma rede viária, os tomadores de decisão, nas últimas décadas, têm feito uso da simulação computacional, mais especificamente da microsimulação de tráfego (Portugal, 2005). Isso porque a microsimulação é normalmente aplicada em um alto nível de detalhes na representação dinâmica do tráfego em comparação a outras técnicas e outros tipos de simulação. Portanto, planejadores de transporte que utilizam a microsimulação de tráfego podem obter resultados mais precisos e detalhados, que mostram efeitos adicionais de variações de dados de entrada, permitindo assim uma avaliação prévia do seu desempenho, sem realizar interrupções viárias para realização dos testes (Gagnon, et al., 2008).

Nesse sentido, diversos estudos têm utilizado microsimuladores de tráfego tais como VISSIM, AIMSUN, SIDRA, AUTOMOD, CARSIM etc. para apoiar aos tomadores de decisão em aplicações diretamente relacionadas às rotatórias. Dessa forma, este estudo busca identificá-los por meio do protocolo de revisão descrito na Seção 3 e realizar análises bibliométricas sobre eles, conforme exposto na Seção 4.

### 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este artigo adota uma abordagem bibliométrica para mapeamento dos principais estudos sobre microsimulação de tráfego em rotatórias. Nesse sentido, com o objetivo de investigar as publicações sobre assunto, a base de dados *Web of Science* foi escolhida para realização das buscas, por ser a mais equilibrada em termos de alcance e cobertura (Chen, 2010). Por meio da *Web of Science* estão disponíveis ferramentas para análise de citações, referências, índice *h*, permitindo assim que sejam realizadas análises bibliométricas precisas sobre os mais variados assuntos. Além disso, cobre aproximadamente 12.000 periódicos.

A partir da escolha da base de dados, definiram-se as estratégias de pesquisa. Portanto, os termos utilizados, critérios de inclusão e qualificação, bem como os detalhes para a busca e extração do banco de dados são apresentados na Tabela 1. Destaca-se que, na Tabela 1, TS = Tópico, que significa as palavras que serão pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.



Tabela 1. Descrição das estratégias de pesquisa.

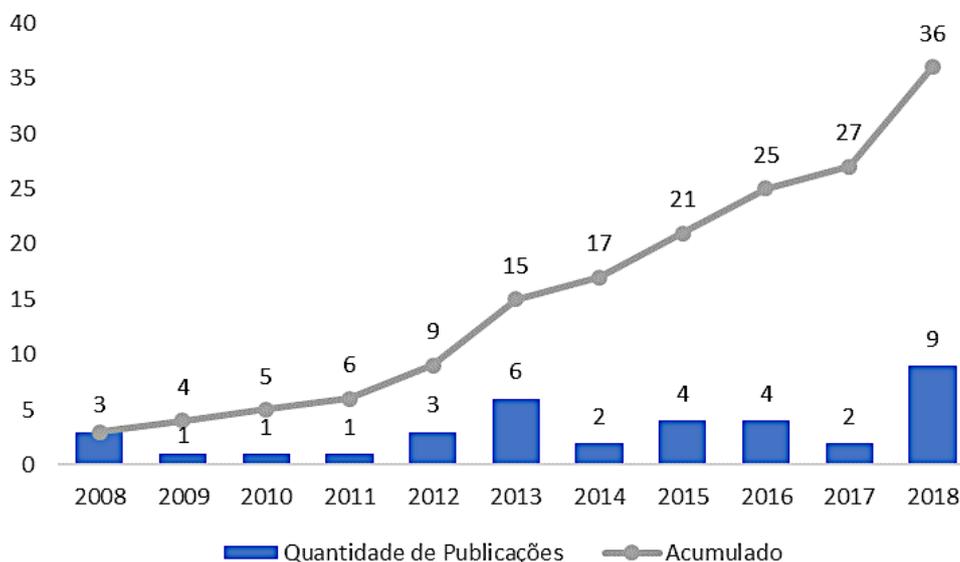
Critério	Descrição
Tópico	TS= (“microsimulation” AND “roundabout”)
Base de Dados	Web of Science
Indexes	SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI
Inclusão	(I) Tempo de cobertura: todos os anos da base de dados (1945 – 2019); (II) Enquadramento com o objetivo proposto; (III) Fator de impacto do periódico; e (IV) Tipos de documentos: somente artigos.
Qualificação	(I) A pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica bem fundamentada? (II) O estudo apresenta inovação técnica? (III) As contribuições são discutidas? (IV) As limitações são explicitamente declaradas? e (V) Os resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos?
Data da Procura	7 de maio de 2019, as 09:00h

#### 4. RESULTADOS

A partir da busca realizada no banco de dados *Web of Science*, foi possível verificar que apenas 36 publicações estavam aptas a serem incluídas no repositório de pesquisa, ou seja, atendiam aos critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade).

A Figura 3 apresenta a evolução das publicações sobre o assunto em estudo. Essa análise é importante para avaliar se o assunto está defasado ou se continua em expansão com novas oportunidades de estudos.

Figura 3. Evolução das publicações sobre o assunto em estudo.



Com a Figura 3, verifica-se que a primeira publicação foi registrada em 2008 e que o interesse pela temática continua em avanço, com ápice em 2018. Além disso, a inclinação da curva acumulada representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos.

Em relação aos principais autores, a Tabela 2 apresenta aqueles com maior volume de publicação. Essa análise permite que sejam criados alertas de publicações dos autores que mais publicam estudos sobre o assunto, de modo a atualizar constantemente esse repositório.



Tabela 2. Principais autores sobre o assunto.

<b>Autores</b>	<b>P</b>	<b>Índice <i>h</i></b>
GIUFFRE, O.	14%	5
GRANA, A.	14%	5
ROUPHAIL, N. M.	11%	20
SFERLAZZA, A.	11%	11
TOLLAZZI, T.	11%	7
TUMMINELLO, M. L.	11%	2
GIUFFRE, T.	8%	5
IŠTOKA OTKOVIĆ, I.	8%	4
SCHROEDER, B. J.	8%	10
SRAML, M.	8%	14
TRUBIA, S.	8%	2
AL-GHANDOUR, M.	8%	2
CANALE, A.	6%	2
SALAMATI, K.	6%	6
SCHROEDER, B.	8%	10

Salienta-se que, na Tabela 2, P (Publicações) refere-se ao percentual de artigos publicados pelo autor sobre a área de interesse investigada (ou seja, percentual do número de publicações do autor sobre o assunto dividido pelo número de publicações totais incluídas no repositório de pesquisa) e o valor de índice *h* é baseado em uma lista de publicações classificadas em ordem decrescente pela contagem de número de citações. Um índice *h* significa que existem *h* artigos em que cada um foi citado pelo menos *h* vezes. O índice *h* é baseado na abrangência dos anos de sua assinatura do produto e do tempo estipulado selecionado. Os itens fonte que não fazem parte da assinatura não são fatorados no cálculo.

A Tabela 2 mostra que os autores que mais publicam estudos relacionados ao tema são Giuffre, O. e Grana, A., com 14% das publicações cada, mas que nenhuma grande superioridade de publicações por um certo autor é identificada. Entretanto, ao se considerar o índice *h*, nota-se que os autores mais relevantes cientificamente entre os analisados são Roupail, N. M., com índice igual a 20, e Sraml, M., com índice igual a 14. Destaca-se ainda que no repositório da pesquisa são listados 94 autores dentre as 36 publicações.

Faz-se também necessário identificar os periódicos que mais publicam estudos sobre o assunto, bem como o fator de impacto de cada um deles. Isso permite que pesquisadores direcionem seus esforços de publicação para periódicos que se interessam diretamente pelo assunto estudado. Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta os periódicos com maior volume de publicação.

Tabela 3. Principais periódicos sobre o assunto.

<b>Periódicos de Publicação</b>	<b>P</b>	<b>FI</b>
Transportation Research Record	36%	0,695
Expert Systems with Applications	5%	3,768
Journal of Advanced Transportation	5%	1,102
Journal of Transportation Engineering ASCE	5%	0,863
Promet Traffic Transportation	5%	0,456
Sustainability	5%	2,075



Salienta-se que, na Tabela 3, P (Publicações) refere-se a percentagem de artigos publicados no periódico sobre a área de interesse investigada e FI representa o Fator de Impacto de cada periódico. Os valores apresentados na Coluna FI correspondem ao ano de 2017.

Com a Tabela 3, nota-se que o periódico que mais se interessa pelo assunto é o *Transportation Research Record*, com 36% das publicações. Além disso, ao ordenar os periódicos por fator de impacto, tem-se que o *Expert Systems with Applications*, o *Sustainability* e o *Journal of Advanced Transportation* são os mais relevantes.

Também é interessante avaliar os principais países de origem dos autores dos artigos incluídos no repositório de pesquisa. Isso permite mostrar quais são os países que mais desenvolvem pesquisas sobre o assunto, bem como demonstrar carência de investimentos em pesquisas sobre aquele assunto em outros. Dessa forma, os países com maior volume de publicações se encontram identificados na Tabela 4 em que P (Publicações) refere-se a percentagem de artigos publicados por país sobre a área de interesse investigada. Destaca-se que um mesmo artigo pode ser desenvolvido por autores de diversos países, dessa forma, o somatório das percentagens não é necessariamente igual a 100%.

Tabela 4. Principais países sobre o assunto.

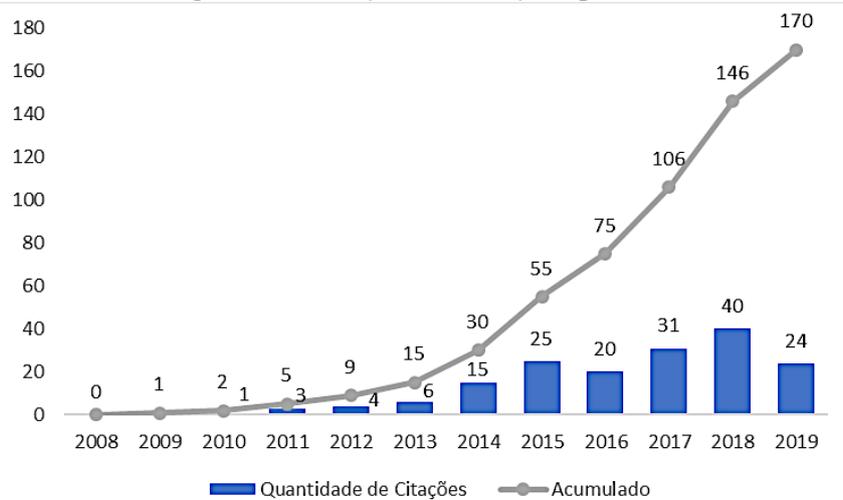
Países	P
EUA	36%
Itália	33%
Eslovênia	17%
Croácia	11%
Canadá	8%
Portugal	6%

Com a Tabela 4, nota-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: EUA, com 36% das publicações, Itália, com 33% das publicações, e Eslovênia, com 17% das publicações. Destaca-se que entre os seis países que mais publicam sobre o assunto, quatro são europeus (Itália, Eslovênia, Croácia e Portugal) e dois são pertencentes à América do Norte (Estados Unidos e Canadá). Cabe ressaltar que, aplicando a metodologia descrita na Seção 3, não foi encontrado artigos brasileiros sobre microsimulação em rotatória no repositório em análise, demonstrando assim a carência de pesquisas relacionadas ao assunto no país.

Outra análise importante refere-se ao número de citações por ano, conforme apresentado na Figura 4. Essa análise, assim como a evolução das publicações ao longo dos anos, permite identificar o crescimento de interesse sobre o assunto ao longo dos anos. Nela, observa-se que o número de citações vem oscilando com o passar dos anos, tendo seu ápice no ano de 2018, com 40 citações. Destaca-se ainda que ao todo foram identificadas 170 citações.



Figura 4. Evolução das citações por ano.



Ainda sobre o número de citações, a Tabela 5 lista as cinco publicações mais citadas na base de dados, com número de citações igual ou maior que 10. Essa estratégia serve para indicar quais são os estudos que são referências mundiais sobre o assunto.

Tabela 5. Artigos mais citados sobre o assunto.

Título	Referência	Periódico	Citações	MCA
Turbo Roundabouts Estimation of Capacity	Fortuijn (2009)	Transportation Research Record	28	2,55
Calibration of microsimulation traffic model using neural network approach	Ištoka Otković, et al., (2013)	Expert Systems with Applications	17	2,43
Microscale traffic simulation and emission estimation in a heavily trafficked roundabout in Madrid (Spain)	Quaassdorff, et al., (2016)	Science of The Total Environment	13	3,25
Effect of Pedestrian Impedance on Vehicular Capacity at Multilane Roundabouts with Consideration of Crossing Treatments	Schroeder, et al., (2012)	Transportation Research Record	10	1,25
Calibration Potential of Common Analytical and Microsimulation Roundabout Models New England Case Study	Gagnon, et al., (2008)	Transportation Research Record	10	0,83

Com a Tabela 5, nota-se que os artigos mais citados são Fortuijn (2009), com 28 citações, Ištoka Otković, et al., (2013), como 17 citações, e Quaassdorff, et al., (2016), com 13 citações. Esses mesmos três artigos apresentam maior média de citações por ano (MCA) com destaque para Quaassdorff, et al., (2016), com 3,25 citações por ano.

Os artigos do repositório de pesquisa foram ainda separados por microsimulador utilizado para analisar as rotatórias em estudo, conforme pode ser observado na Tabela 6, em que P (Publicações) refere-se a percentual de artigos publicados por microsimulador sobre a área de interesse investigada. Isso permite direcionar esforços de aprendizagem de pesquisadores. Nela, nota-se que o microsimulador mais utilizado foi o VISSIM, com 47% do total de publicações, seguido do AIMSUN, com 17% das publicações, e o SIDRA com 5% do total de publicações.



Tabela 6. Principais microsimuladores aplicados para avaliar rotatórias.

<b>Microsimulador</b>	<b>P</b>
VISSIM	47%
AIMSUN	17%
SIDRA	5%
AUTOMOD	2%
CARSIM	2%
RODEL	2%
PARAMICS	2%
SMTRAFFIC	2%
TORUS	2%

Considerou-se pertinente ainda avaliar os estudos por área de aplicação, de modo a identificar as principais abordagens de análises em artigos que aplicam a microsimulação para avaliação de rotatórias, bem como direcionar novos estudos sobre o assunto. Dessa forma, identificam-se oito grandes áreas (Tabela 7), em que P (Publicações) refere-se a percentagem de artigos publicados por microsimulador.

Tabela 7. Principais áreas sobre o assunto.

<b>Área de Aplicação</b>	<b>P<sup>(1)</sup></b>
Comparação entre Alternativas Viárias	22%
Conflito entre Veículos e Pedestres	14%
Comparação entre Modelos de Conflito	14%
Análise de Parâmetros	14%
Segurança Viária	11%
Validação e Calibração de Parâmetros	8%
Emissão de Poluentes Atmosféricos	2%
Equivalência Carro de Passageiro	2%

Conforme nota-se pela Tabela 7 as áreas com maior volume de publicações são: (i) Comparação entre Alternativas Viárias, com 22% das publicações; e (ii) Conflito entre Veículos e Pedestres, Comparação entre Modelos de Conflito e Análise de Parâmetros, com 14% das publicações cada. A descrição de cada uma das áreas apresentadas na Tabela 7 é dada conforme segue:

- **Comparação entre Alternativas Viárias:** apresentam-se estudos sobre a implementação de rotatórias em locais que anteriormente havia cruzamentos, como também a renovação de rotatórias convencionais para modelos mais seguros tais como a Rotatória Turbo. Hallmark, et al. (2010), por exemplo, propuseram a implementação de uma rotatória em substituição a um cruzamento, ao longo do corredor semaforizado já existente, com auxílio do microsimulador de tráfego VISSIM. O estudo buscou quantificar os impactos do fluxo de tráfego como a média do tempo de viagem, os atrasos e os tempos de parada, em cada ponto de conflito dentro do corredor. Os resultados mostram que a implementação da rotatória não acarretaria modificações profundas no fluxo de tráfego, no estudo de caso analisado.
- **Conflito entre Veículos e Pedestres:** incorporam-se estudos relacionados ao impacto de faixas de pedestres em entradas de rotatórias e em alguns estudos são quantificados atrasos e tamanho de fila por conta disto. Também há estudos sobre o comportamento do motorista frente a decisão de ‘dar a passagem’ ao pedestre e em quais pontos este comportamento é mais permitido. Schroeder, et al., (2012), por exemplo, analisam o impacto no tráfego de veículos provocado pela impedância dos pedestres em uma rotatória de faixas múltiplas. Para isso, utilizam o VISSIM para criar cenários em que se altera o tipo de controle, variando de vias sem



sinalização a vias com semáforo HAWK (*High – Intensity Activated Crosswalk*), e o volume de pedestre, de 0 a 300 pedestres por hora, a fim de quantificar atrasos e tamanho de fila gerados. Os resultados confirmam que a impedância dos pedestres é mais grave com maior fluxo de pedestres e que a variação do controle do tráfego em relação impedância do pedestre é mínimo em rotatórias congestionadas. Também mostra que o tratamento PHP (*Pedestrian Hybrid Beacon*), com a utilização do semáforo HAWK oferece meios mais consistentes sobre a interação entre pedestre e veículos.

- **Comparação entre Modelos de conflito:** agrupam-se estudos referentes à comparação de modelos de análise de conflito de tráfego, bem como a comparação de modelos de simulação de conflito frente a modelos analíticos. Al-Gandhour, et al., (2012), por exemplo, apresentam cinco modelos de previsão de conflito, baseado em zonas, e simulados em rotatórias de pista única com e sem faixa de rodagem a partir do VISSIM. Os conflitos foram estimados em função da área de aproximação da entrada da rotatória, da sua circulação e da faixa de rodagem. Os resultados confirmaram que os conflitos em zonas de conversão são mais frequentes do que em zonas de aproximação da entrada da rotatória e que a instalação de uma pista de rodagem de fluxo livre reduz a ocorrência de conflito.
- **Análise de Parâmetros:** associam-se pesquisas relacionados à análise de parâmetros, tendo estudos que abordam sobre o parâmetro de capacidade, outros sobre velocidade, aceleração e comportamento do motorista e desempenho do tráfego. Também inclui a melhor escolha de parâmetros que influenciam no processo de modelagem. Fortuijn (2009), por exemplo, apresenta um modelo de capacidade, alinhando a calibragem com abordagem de aceitação de brechas (*gap acceptance*, em inglês) e pseudo-conflitos. Este modelo foi simulado no VISSIM e concluiu-se que ele é adequado para mensurar a capacidade de rotatórias de uma e duas pistas, que os pseudo-conflitos devem ser levados em consideração nessas análises e que a Rotatória Turbo tem a capacidade maior do que uma rotatória de pista dupla por conta de sua melhor divisão de vias.
- **Segurança Viária:** agrupam-se estudos sobre a avaliação da segurança de tráfego em rotatórias, desempenho de veículos autônomos em rotatórias e validação de modelo de previsão de acidentes. Giuffrè, et al., (2017), por exemplo, utilizam o VISSIM para avaliar questões de segurança e de operação de novos *layouts* de rotatórias (Turbo, em Flor e *Target*) em rodovias europeias. A simulação de operações de tráfego em novos *layouts*, a partir do mesmo fluxo de tráfego e mesma relação volume/capacidade, é realizada para obtenção de medidas de desempenho, na qual os valores de tempo de colisão geram indicadores de segurança. Como resultados obtêm-se que *layouts* mais recentes devem ser considerados quando se trata de um melhor custo benefício e que a Rotatória Turbo tem o melhor desempenho de segurança.
- **Validação e Calibração de Parâmetros:** incorporam-se estudos que abordam sobre a calibração e validação de microsimuladores, utilizando abordagem tais como redes neurais e de algoritmos genéticos, bem como calibrações em comum entre modelos analíticos e de microsimulação. Ištoka Otković, et al., (2013), por exemplo, utilizam da abordagem de redes neurais para previsão de indicadores de tráfego, como tempo de viagem e tamanho de fila, e estes são utilizados como calibração para o modelo de microsimulação da rotatória urbana que



foi simulada. Este modelo calibrado e validado é, então, comparado com dados obtidos em campo. Esta comparação traz como resultado uma visão do desempenho de procedimento de calibração.

- **Emissão de Poluentes Atmosféricos:** apresentam-se estudos que buscam quantificar emissões de poluentes a partir de simulações computacionais e métodos de controle que reduzem este problema. Quassdorff, et al., (2016), por exemplo, utilizaram os softwares: (i) VISSIM para simular e traçar seus perfis de velocidade/tempo; e (ii) ENVIVER, que utiliza os dados de saída do VISSIM como dados de entrada, para quantificar as emissões de óxido de nitrogênio e de partículas sólidas suspensas de 10 micrômetros de diâmetro. Os resultados mostram que microsimuladores, por oferecer uma visão detalhada dos fluxos de tráfego, são uma boa base para o cálculo de emissão em cenários alternativos. Também mostraram que os padrões de desaceleração, seguidos de aceleração, fazem com que aumente o fator de emissões. Estas são claramente relacionadas ao volume de tráfego, ainda que o cenário máximo de emissões não corresponde ao maior fluxo, devido ao congestionamento e variações horárias na composição da frota.

- **Equivalência Carro de Passageiro:** agrupam-se estudos que buscam analisar o *Passenger Car Equivalent* (PCE) que é uma métrica usada na engenharia de transporte para avaliar a taxa de fluxo de tráfego em uma rodovia. PCE consiste no impacto que um modo de transporte tem sobre variáveis de tráfego, como velocidade ou volume, se comparado a um único carro. Giuffre, et al., (2016), por exemplo, estimam o PCE para veículos pesados em Rotatórias Turbo, sendo apresentado neste trabalho a metodologia desenvolvida para obtenção desta estimativa. A escolha da Rotatória Turbo deu-se por ser uma rotatória que impõe restrições, devido a sua geometria, às trajetórias veiculares e por consequência, veículos pesados teriam condições desfavoráveis em relações a outros.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo realizar um levantamento bibliométrico, na base de dados *Web of Science*, de artigos que utilizam microsimuladores de tráfego para auxiliar os tomadores de decisão de transportes sobre aplicações relativas às rotatórias.

Os resultados mostram que o assunto continua em expansão com ápice no número de publicações e citações em 2018. Nota-se ainda que: o microsimulador VISSIM é o mais utilizado para análise de rotatórias; importantes periódicos científicos publicam estudos sobre o assunto; e os países que mais se destacam nessas publicações são os EUA, Itália e Eslovênia, que juntos apresentam mais de 80% dos artigos incluídos no repositório de pesquisa.

Além disso, foi possível identificar oito grandes áreas de aplicação que são: Comparação entre Alternativas Viárias; Conflito entre Veículos e Pedestres; Comparação entre Modelos de Conflitos; Análise de Parâmetros; Segurança Viária; Validação e Calibração de Parâmetros; Emissão de Poluentes Atmosféricos; e Equivalência Carro de Passageiro.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros é sugerido a análise bibliométrica de outras bases. Isso porque este estudo utilizou apenas um banco de dados (*Web of Science*), não considerando publicações contidas em outras bases como *Science Direct*, *Scielo* e *Scopus*. Entretanto, cabe



mencionar, mais uma vez, que a base de dados escolhida para essa pesquisa apresenta alcance e cobertura satisfatórios, englobando uma grande quantidade de *indexes*. Além disso, podem ser realizadas estudos específicos para cada uma das áreas de aplicação aqui estabelecidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Ghandour, M., Schroeder, B., Rasdorf, W., & Williams, B. (2012). Delay Analysis of Single-Lane Roundabout with a Slip Lane under Varying Exit Types, Experimental Balanced Traffic Volumes, and Pedestrians, Using Microsimulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2312 (1), 76–85.

Barnes, S. J. (2005). Assessing the value of IS journals. *Communications of the ACM*, 48 (1), 110–112.

Burghout, W., & Wahlstedt, J. (2007). Hybrid Traffic Simulation with Adaptive Signal Control. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 191-197.

Chen, X. (2010). The Declining Value of Subscription-based Abstracting and Indexing Services in the New Knowledge Dissemination Era. *Serials Review*, 36 (2), 79–85.

Fortuijn, L. G. H. (2003). Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety. Annual Meeting 2003 of the Institute of Transportation Engineers (ITE), Seattle, USA.

Fortuijn, L. G. H. (2009). Turbo Roundabouts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2130 (1), 83–92.

Gagnon, C., Sadek, A. W., Touchette, A., & Smith, M. (2008). Calibration Potential of Common Analytical and Microsimulation Roundabout Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2071,77–86.

Giuffrè, O., Granà, A., Marino, S., & Galatioto, F. (2016). Microsimulation-Based Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles Driving Turbo-Roundabouts. *Transport*, 31 (2), 295–303.

Giuffrè, T., Trubia, S., Canale, A., & Persaud, B. (2017). Using Microsimulation to Evaluate Safety and Operational Implications of Newer Roundabout Layouts for European Road Networks. *Sustainability*, 9 (11), 2084.

Hallmark, S. L., Fitzsimmons, E. J., Isebrands, H. N., & Giese, K. L. (2010). Roundabouts in Signalized Corridors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2182, 139–147.

Ištoka Otković, I., Tollazzi, T., & Šraml, M. (2013). Calibration of microsimulation traffic model using neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 40 (15), 5965–5974.

Neris, D. F. (2014). Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Ngai, E. W. T., & Wat, F. K. T. (2012). A literature Review and Classification of Electronic Commerce Research. *Information e Management*, 39 (5), 415–429.

Owen, L. E., & Zhang, Y. (2000). Traffic Flow Simulation Using CORSIM, 2000 Winter Simulation Conference, USA.

Portugal, L. S. (2005). Simulação De Tráfego: Conceitos E Técnicas De Modelagem, Rio de Janeiro: Interciência.



Citação (APA): Porto, A.B. de B., & Abreu, V. H. S. de. (2020). Microsimulação para análise de rotatórias: um estudo bibliométrico. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(1), 130-142.

Quaassdorff, C., Borge, R., Pérez, J., Lumbreras, J., de La Paz, D., & de Andrés, J. M. (2016). Microscale traffic simulation and emission estimation in a heavily trafficked roundabout in Madrid (Spain). *Science of The Total Environment*, 566-567, 416–427.

Schroeder, B., Roupail, N. M., Salamati, K., & Bugg, Z. (2012). Effect of Pedestrian Impedance on Vehicular Capacity at Multilane Roundabouts with Consideration of Crossing Treatments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2312(1), 14–24.

Silva, A. M. C. B., & Seco, A. J. M. (2004). Dimensionamento de Rotundas. Documento de trabalho. Faculdade de Ciencia e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra.

Tollazzi, T., & Rencelj, M. (2014). Modern and alternative types of roundabouts—state of the art. In: 9<sup>th</sup> International Conference on Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania.

---

