



## CONECTIVIDADE VEICULAR PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES: UMA BREVE REVISÃO

<sup>1</sup> Marcus Vinícius Ivo da Silva (UFRB / Senai Cimatec) – [mvisilva@ufrb.edu.br](mailto:mvisilva@ufrb.edu.br); <sup>2</sup> Lílian Lefol Nani Guarieiro (Senai Cimatec) – [lilian.guarieiro@fieb.org.br](mailto:lilian.guarieiro@fieb.org.br); <sup>3</sup> Paulo Renato Câmara da Silva (UFBA) – [paulocamera1@gmail.com](mailto:paulocamera1@gmail.com); <sup>4</sup> Rafael Barbosa Mendes (Senai Cimatec) – [rafaelqsb@gmail.com](mailto:rafaelqsb@gmail.com)

**Resumo:** Veículos conectados podem representar uma inovação para a sociedade e um potencial para acelerar a redução de poluentes nas vias de tráfego de grandes cidades. Este estudo teve por objetivo revisar a literatura sobre veículos conectados e emissões. Na metodologia, foi realizada uma revisão da literatura utilizando buscadores e bases de dados: Google Acadêmico, ScienceDirect, SAE Mobilus, com os descritores: “*connected vehicle*” e *emissions*. Nos resultados, mais de 1400 documentos foram filtrados e, após rastreamento dos títulos e dos conteúdos, chegou-se a oito trabalhos. Pode-se concluir que os métodos mais precisos para estimar o potencial do veículo conectado na mitigação de emissões combinam simulações virtuais com experimentos laboratoriais e de campo.

**Palavras-Chaves:** veículos conectados; emissões; revisão.

## VEHICLE CONNECTIVITY FOR EMISSION REDUCTION: A BRIEF REVIEW

**Abstract:** Connected vehicles can represent a breakthrough for society and a potential to accelerate the reduction of pollutants in major city traffic routes. This study aimed to review the literature on connected vehicles and emissions. In the methodology, a literature review was performed using search engines and databases: Google Academic, ScienceDirect, SAE Mobilus, with the descriptors: "connected vehicle" and emissions. In the results, more than 1400 documents were filtered and, after screening of titles and content, eight papers were included. It can be concluded that more accurate methods for estimating the potential of the connected vehicle in emissions mitigation combine virtual simulations and laboratory and field experiments.

**Keywords:** connected vehicles; emissions; review.



## 1. INTRODUÇÃO

Cenário comum nos grandes centros urbanos, o número crescente de veículos para o transporte de cargas e passageiros traz consigo o aumento de emissões de poluentes atmosféricos pela intensificação de congestionamentos, gerando problemas ao meio ambiente e à saúde humana pela exposição a concentrações elevadas desses poluentes [1-3]. Devido à queima incompleta de combustível, os veículos são fontes significativas de poluição, que impactam na qualidade do ar urbano, e lançam diretamente na atmosfera (poluentes primários) óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e enxofre ( $\text{SO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos, ácidos orgânicos e material particulado [3-5], prejudiciais à saúde de todos que trabalham e vivem nesses locais. “Consequentemente, os agentes que atuam em um sistema de transportes (como o poder público, iniciativa privada e usuários) anseiam por práticas que mitiguem tais impactos” [2] e, para isso, será necessário repensar os veículos e o ato de dirigir. Considerando esse contexto, objetivou-se revisar a literatura sobre a interação de veículos conectados e emissões.

## 2. METODOLOGIA

Definiu-se, neste estudo, um protocolo de busca visando responder à seguinte questão: a adoção do veículo conectado pode ser efetiva na redução de emissões em grandes centros urbanos? Pelo foco da questão, veículos conectados e emissões foram determinados como descritores. No entanto, a pesquisa foi realizada em etapas. A primeira etapa ocorreu na base de dados Google Acadêmico, com a *string* de busca (“*connected vehicle*” OR “*connected vehicles*”) AND (“veículo conectado” OR “veículos conectados”), para encontrar publicações com essas palavras somente no título, excluídas patentes e citações. Na sequência, utilizando as bases de dados, ScienceDirect e SAE Mobilus e a *string* (“*connected vehicle*” OR “*connected vehicles*”), pesquisou-se publicações na língua inglesa com essas palavras no título. No intuito de determinar o conjunto de publicações que estudaram a relação entre veículos conectados e emissões, a pesquisa foi refinada adicionando outro descritor – *emissions*. Assim, realizou-se nova busca no Google Acadêmico, ScienceDirect e SAE Mobilus, com a *string* (“*connected vehicle*” OR “*connected vehicles*”) AND (“*emission*” OR “*emissions*”).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registrados os números de publicações em cada uma das plataformas, separando-os por ano de publicação para observar a evolução do número de publicações no tempo, em escala logarítmica (Figura 1). O Google Acadêmico retornou números de publicação anual, pelo menos, uma ordem superior,



comparados aos das outras bases consultadas, como se pôde observar na Figura 1, e crescentes há mais de uma década. A série de dados anual do ScienceDirect mostrou crescimento similar somente a partir de 2015. O SAE Mobilus recuperou 16 artigos até a data pesquisada com números que não superam uma dezena anualmente. Cabe destacar também, nos resultados do Google Acadêmico, neste levantamento, a obra mais antiga datada de 1998. Não foram encontrados trabalhos publicados entre 2001 e 2005. No total, as buscas resultaram em mais de 1400 resultados, distribuídos em um período de 20 anos de desenvolvimento dessa tecnologia para o transporte de pessoas e cargas.

Figura 1. Evolução no tempo do número de publicações anuais sobre veículos conectados.

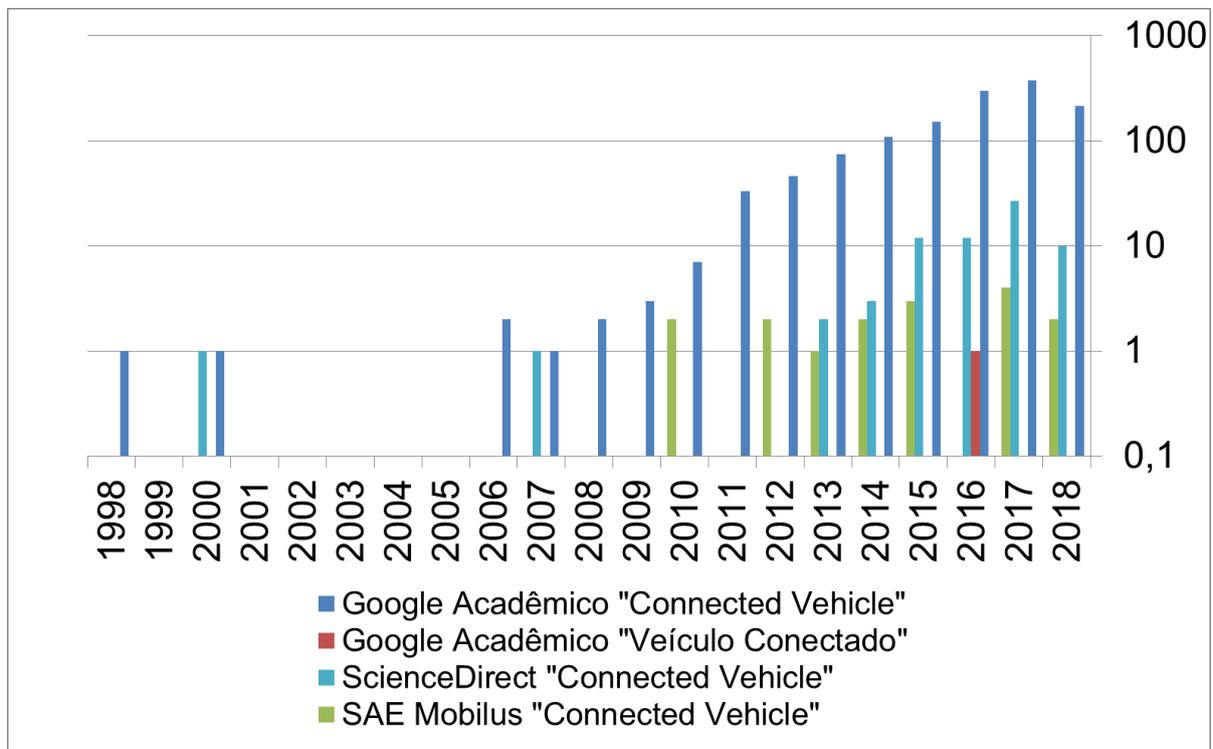


Tabela 1. Número de publicações anuais pesquisados sobre veículos conectados e emissões nas bases Google Acadêmico, ScienceDirect e SAE Mobilus no dia 23/07/2018.

BASE / ANO	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
<b>Google Acadêmico</b>	3	0	2	0	0	1	0	0	0
<b>ScienceDirect</b>	0	2	2	0	0	0	0	0	0
<b>SAE Mobilus</b>	0	1	1	0	0	0	0	0	1



A Tabela 1 reuniu resultados do protocolo de busca em número de publicações anuais sobre veículos conectados e emissões nas bases Google Acadêmico, ScienceDirect e SAE Mobilus. A combinação dos dois descritores: "connected vehicle" e emissions reduziu o total de mais de 1400 artigos a 13.

A Tabela 2 apresentou os números das etapas de busca e seleção dos trabalhos. Identificou-se uma duplicata entre os 13, que foi excluída dos resultados do Google Acadêmico, por se tratar de publicação de periódico da base ScienceDirect, O rastreamento dos títulos permitiu ainda identificar dois artigos de evento que não tratavam do tema. Em seguida, realizou-se a análise do conteúdo e dois artigos de periódicos foram excluídos por não terem em seu foco o veículo conectado e emissões. Assim, restaram oito publicações.

Tabela 2. Resultados de busca e seleção de publicações sobre veículos conectados e emissões nas bases Google Acadêmico, ScienceDirect e SAE Mobilus no dia 23/07/2018.

ETAPA / BASE	Google Acadêmico	ScienceDirect	SAE Mobilus	Total
<b>Resultantes de busca</b>	6	4	3	13
<b>Duplicados</b>	-1	0	0	-1
<b>Excluídos pelo título</b>	-2	0	0	-2
<b>Excluídos pelo texto</b>	0	-1	-1	-2
<b>Incluídos na seleção</b>	3	3	2	8

A Tabela 3 foi organizada em seis colunas e resume as principais informações dos trabalhos selecionados no tema emissões e veículos conectados:

Eilbert *et al.* (2018) [6] propuseram e testaram uma modelagem estruturada em três camadas para avaliar CAVs de 1ª geração e compararam os resultados de emissões e consumo de combustível ao modelo carro 99 de Wiedemann no VISSIM. A afiliação dos autores é o *U.S. Department of Transportation, Volpe National Transportation Systems Center*, em Cambridge, MA, EUA.

Wei *et al.* (2018) [7] apresentaram os resultados de um teste em simulador de direção em rodovia na busca do mecanismo causa e efeito da influência de informações no motorista e nos sistemas de um veículo conectado, comparados aos dados de um estudo de prova de conceito de uma conjunção de via expressa na área de Cincinnati (Ohio, EUA). O prof. Heng Wei é afiliado ao *Advanced Research on Transportation Engineering and Systems (ART-EngineS) Laboratory*, da Universidade de Cincinnati, Ohio, EUA.



Jeong, Oh e Lee (2013) [8] observaram o comportamento responsivo do motorista a mensagens de advertência e as consequências em emissões veiculares e congestionamento de tráfego, através de um experimento de campo e de outro virtual. Com o experimento de campo, mediram valores de emissões e estabeleceram padrões de condução afetada e não afetada pelas mensagens de advertência. Na parte virtual, simularam tais padrões com os programas VISSIM e MOVES. Atualmente, Eunbi Jeong é afiliado ao *Korea Railroad Research Institute*.

Nobe *et al.* (2010) [9] revisaram estudos de casos reais de tecnologias implantadas no Japão (*Dynamic Route Guidance (DRG)* e *Eco Drive Advice (EDA)*, combinação de tecnologias proposta no programa CARWINGS) e na China (frota táxis com DRG), na busca de responder como veículos conectados realizavam redução de consumo de combustível e de emissão de CO<sub>2</sub>. Atualmente, Tsuguo Nobe é afiliado à *Intel Corporation* no Japão.

Zulkefli *et al.* (2017) [10] adotaram um sistema Hardware-in-the-Loop (HiLS) para avaliações de métodos de otimização de energia que combinam informações de tráfego. Especificamente, testaram um esquema “motor+dino”-in-the-loop integrado via internet ao micro simulador de tráfego VISSIM. Dessa forma, o consumo de combustível e as emissões de veículos autônomos e conectados puderam ser avaliados em experimento laboratorial e os testes de campo evitados, desafiadores por questões técnicas e de segurança. O professor Mohd Azrin Mohd Zulkefli é afiliado à Universidade de Minnesota, em Minneapolis, MN, EUA.

Chandra e Camal (2016) [11] investigaram se acelerações e desacelerações frequentes de veículos em alças de acesso levariam a um aumento nas emissões e no consumo de combustível. Para isso, simularam computacionalmente um exemplo de rampa da rodovia Interestadual 405 em Long Beach (Califórnia, EUA) para três condições de tráfego: fluxo livre, período de transição e congestionamento da hora do rush. Concluíram que o benefício da tecnologia do veículo conectado foi marginal nas três condições no que se referiu à redução de emissões. O prof. Shailesh Chandra é afiliado à Universidade do Estado da Califórnia, em Long Beach, EUA.

Saunier *et al.* (2018) [12] relataram a revisão de estudos de caso sobre impactos dos veículos conectados nas emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e a proposta de um método para transferir os resultados para o contexto da ilha de Montreal. Os autores são afiliados ao Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation (CIRRELT), em Montreal, Quebec, Canadá.

Liu (2016) [13] defendeu, em sua tese, uma abordagem integrada para avaliar o impacto do veículo conectado no comportamento individual do motorista e, conseqüentemente, na operação, segurança e emissões do tráfego. Buscou identificar as relações causa-e-efeito e medir a eficácia de mobilidade, segurança e ambientais (MOEs). Para isso, determinou as funcionalidades dos sistemas de um veículo conectado através de revisão da literatura e as adicionou à modelagem do tráfego. Além disso, incorporou modelos de comportamento à modelagem microscópica do veículo. Os resultados da simulação integrada foram comparados a dados reais de operação do veículo. Hao Liu faz parte do grupo de pesquisa do prof. Heng Wei, na Universidade de Cincinnati, Ohio, EUA.

Tabela 3. Comparativos dos trabalhos incluídos na seleção.

Referência	Objeto	Intervenção	Comparação	Resultados	Tipo de Estudo
EILBERT <i>et al.</i> (2018) [6]	CACC (1 <sup>a</sup> geração de CAVs)	Modelagem estruturada em três camadas	Carro seguidor 99 Wiedemann padrão	impacto nas emissões e energia	MIXIC (CACC)+ Vissim (tráfego)+ MoVES(emissão)
WEI <i>et al.</i> , (2018) [7]	Impacto sist VC FCW, SPD-HARM, FMAS	Integração de modelos de mobilidade	Junção de via expressa, Cincinnati, Ohio	Tempo de colisão, emissão e fluxo	Testbed p/ intergerar modelos de mobilidade
JEONG; OH; LEE (2013) [8]	Comportamento responsivo do motorista	Entrega de mensagens de advertência	Padrão de emissões com e sem mensagens	Redução de emissões e congestionamentos	Ensaio de campo e virtual (VISSIM e MOVES)
NOBE. <i>et al.</i> (2010) [9]	Consumo e CO <sub>2</sub> em VCs	Análise CARWINGS (jp) e táxis DRG (cn)	Dynamic Route Guidance e Eco Drive Advice	Como VC reduz consumo e CO <sub>2</sub>	Estudos de casos (Japão e China)
ZULKEFLI <i>et al.</i> (2017) [10]	Otimizar energia c/ informações de tráfego	"Motor+dino" como HiLS	Testes de cam-polo (técnicas e segurança)	HiLS p/ avaliar métodos de otimizar energia	HiLS integrado via internet VISSIM
CHANDRA; CAMAL (2016) [11]	Emissões em acelerações e desacelerações	Simulação de rampa à I-405 Long Beach	3 condições de tráfego	Redução desprezível p/ 3 condições	Simulação computacional
SAUNIER <i>et al.</i> (2018) [12]	Impactos de VCs em emissões de GEEs	Método de transferir resultados a outro contexto	Principais estudos na literatura	Resultados para a ilha de Montreal, Canadá	Revisão de estudos de casos
LIU (2016) [13]	VC afetando comportamento, fluxo e emissões	Abordagem funcionalidades+ comportamento	Trajetória+ registro FCW+ comportamento	Causa-e-efeito identificado e medidas MOEs.	Mod. fluxo c/ VC+ mod. micro c/ comportamento



## 4. CONCLUSÃO

Esta breve revisão reuniu publicações que abordaram conceitos, modelos, métodos experimentais, uso de simuladores e estudos de caso para responder se a adoção do veículo conectado pode ser efetiva na redução de emissões. A análise dos trabalhos descreveu o uso combinado de modelos de simulação para o comportamento do condutor, para a trajetória do veículo no tráfego e para inventariar as emissões, em cenários distintos, comparando a disponibilidade de informação ao condutor e aos sistemas do veículo com o veículo convencional. Esta revisão permitiu identificar quais são os métodos de experimentação mais precisos relatados na literatura. Dos oito trabalhos selecionados, três combinaram técnicas virtuais de simulação com experimentos laboratoriais e de campo (*hardware/human-in-the-loop*). Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver uma simulação *hardware-in-the-loop* para verificar a efetividade da conectividade veicular na redução de emissões um cenário de corredor de tráfego urbano.

## Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro da FAPESB (processo n. BOL0713/2016) e da CAPES.

## 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup> POLICARPO, Nara Angélica *et al.* Road vehicle emission inventory of a Brazilian metropolitan area and insights for other emerging economies. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 58, p. 172-185, 2018.

<sup>2</sup> OLIVEIRA, Cíntia Machado de *et al.* Alternativas sustentáveis para veículos utilizados na última milha do transporte urbano de carga: uma revisão bibliográfica sistemática. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 181-205, 2018.

<sup>3</sup> WANG, Xing. **Characterizing on-road vehicular emissions and their impacts on near-roadway air pollution**. 2011. Ph.D. Thesis (of Mechanical Engineering) – Cornell University, EUA.

<sup>4</sup> GUARIEIRO, Lilian LN; VASCONCELLOS, Pérola C.; SOLCI, Maria Cristina. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.



<sup>5</sup> ROY, D. *et al.* **Research needs and evaluation of air pollution problems associated with vehicular emissions: summary of final report.** Technical Report for Louisiana Transportation Research Center, nov.1992.

<sup>6</sup> EILBERT, Andrew *et al.* A framework for evaluating energy and emissions impacts of connected and automated vehicles through traffic microsimulations. 2018 **Transportation Research Board.** Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/1497138>>. Acesso em: 23.jul 2018.

<sup>7</sup> WEI, Heng *et al.* Modeling Connected Vehicle Impacts on Traffic Mobility, Safety, and Emission. In: **International Conference on Transportation and Development.** 2018. p. 44.

<sup>8</sup> JEONG, Eunbi; OH, Cheol; LEE, Gunwoo. Emissions evaluation of intervehicle safety warning information systems for moving hazards under connected-vehicle environments. 2013. **Transportation Research Board.** Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/1241451>>. Acesso em: 23.jul 2018.

<sup>9</sup> NOBE, Tsuguo. Connected Vehicle Accelerates Green Driving. **SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems**, v. 3, n. 2010-01-2315. p. 68-75, 2010.

<sup>10</sup> ZULKEFLI, Mohd Azrin Mohd *et al.* Hardware-in-the-loop testbed for evaluating connected vehicle applications. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 78, p. 50-62, 2017.

<sup>11</sup> CHANDRA, Shailesh; CAMAL, Francisco. A simulation-based evaluation of connected vehicle technology for emissions and fuel consumption. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 296-303, 2016.

<sup>12</sup> SAUNIER, Nicolas *et al.* Evaluating the impacts of connected vehicles on ghg emissions: how to transfer the results from the literature. 2018. **Transportation Research Board.** Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/1508775>>. Acesso em: 23.jul 2018.

<sup>13</sup> LIU, Hao. **Synthesis of quantified impact of connected vehicles on traffic mobility, safety, and emission:** methodology and simulated effect for freeway facilities. 2016. PhD Thesis - University of Cincinnati, USA.