

ANÁLISE DO IMPACTO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS EM RODOVIAS PAULISTAS ATRAVÉS DE FATORES DE EQUIVALÊNCIA

Renan Favero

José Reynaldo A. Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Esta pesquisa de mestrado tem como objetivo avaliar os impactos dos veículos autônomos em relação ao desempenho do tráfego, na corrente de fluxo de uma rodovia no Brasil. Neste trabalho são modelados veículos autônomos no *software Vissim* utilizando o modelo de Wiedemann 99 calibrado (Dah et al., 2018) e um modelo externo de direção próprio. Um trecho de uma rodovia do estado de São Paulo é modelado e simulado com diferentes taxas de veículos autônomos na composição da frota dos cenários. Para obter dados mais próximos a realidades, parâmetros de veículos convencionais (Bethonico, 2016) e veículos pesados (Carvalho e Setti, 2018) são inseridos. O experimento é replicado variando as soluções encontradas por Bethonico (2016) para os veículos convencionais e por diferentes sementes. A partir dos dados das simulações, obtiveram-se os gráficos fluxo-velocidade e fluxo-densidade dos diversos cenários. Por fim, o modelo de Van Aerde e Rakha (1995) será calibrado e juntamente com o cálculo do fator de equivalência veicular será estimado o impacto dos VAs na operação da rodovia.

1. OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo geral desta pesquisa de mestrado é avaliar os impactos no fluxo de veículos quando os carros autônomos estiverem transitando nas rodovias junto com veículos convencionais. Nesse sentido, busca-se analisar a influência dos carros autônomos em relação à capacidade e nível de serviço em termos de um fator de equivalência, para ser incluído no procedimento de avaliação do nível de serviço do HCM, o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2016). Para atingir esse objetivo serão utilizadas simulações de tráfego em um trecho de uma rodovia de São Paulo. Diferentes porcentagens de veículos autônomos serão inseridos na corrente de fluxo para investigar os possíveis impactos. Nesta pesquisa serão utilizados três tipos de veículos autônomos com parâmetros comportamentais calibrados para o modelo de *car-following* Wiedemann 99 e um modelo próprio de veículo autônomo codificado como uma extensão ao Vissim.

2. REVISÃO PRELIMINAR DA LITERATURA

Os carros autônomos estão em fase projeto e desenvolvimento em diversos países, e por isso têm atraído um crescente número de pesquisas nas últimas décadas (Karlsson e Pettersson, 2015). Também conhecidos por *automated vehicles* (AV), os veículos autônomos podem mudar as características atuais de operação do tráfego. Isso se deve ao fato de que esses veículos possuem a capacidade de manter um espaçamento seguro, proporcionar um fluxo eficiente e por fim operar autonomamente, sem requerer a atenção de um motorista, o que pode causar redução de colisões e uma maior capacidade viária (Bierstedt et al., 2014).

De acordo com Calvert et al. (2017), a transição para a composição de uma frota de veículos autônomos será gradual, assim como a automação dos próprios veículos. Os níveis de automação são descritos, de acordo com a (NTSA, 2019) em cinco classes, desde sem nenhuma automação (Nível 0) até automação total (Nível 5). Veículos totalmente autônomos ainda não estão disponíveis no mercado, contudo, há previsões de que carros com alguns sistemas de controle já estarão a venda nos próximos anos. Empresas como a Volvo, GM, Mercedes-Bens, Audi e BMW buscam vender carros com níveis 3 e 4 de automação, a partir de 2020 (Bierstedt et al., 2014) e

veículos com nível 5 estarão disponíveis após 2025 (NTSA, 2019)

Conforme (Chen e Englund, 2016), estima-se que os carros autônomos em comparação com os veículos tradicionais irão apresentar grandes vantagens, que não se devem apenas à autonomia, mas também à conectividade, a qual permitirá cooperação entre os veículos e a infra-estrutura de tráfego via comunicações, conhecida como *Vehicle to Infrastructure interaction* (V2I).

Além da tecnologia de comunicação com a infraestrutura, os novos avanços em sistemas de transportes inteligentes, *Intelligent Transportation System* (ITS), permitiram equipar veículos com sensores avançados que fornecem informações ambientais muito mais detalhadas, e permitem uma percepção mais rica do ambiente local. Essas informações são, dessa forma, compartilhadas entre veículos através de redes, por meio das quais os veículos comunicam-se entre si, essa tecnologia é conhecida como veículo-veículo, (*Vehicle to Vehicle communication* - V2V). Juntamente com a tecnologia V2I, a V2V permite a percepção ambiental global de veículos e de outros usuários da estrada, dentro e fora da linha de visão. Além disso, o intercâmbio de informações em tempo real permite a conexão e cooperação entre os usuários da via, infraestrutura e centros de controle (Chen e Englund, 2016).

Para investigar a influência dos AV no fluxo de tráfego, alguns pesquisadores (Stanek et al., 2018; Morando et al., 2017; Sanusi et al., 2019) alteraram os parâmetros do modelo de *car following* Wiedemann 99 no Vissim. Essas pesquisas tinham como objetivo simular o comportamento de direção de carros conectados e autônomos com base nos valores encontrados na literatura. Embora essas adaptações sejam capazes de obter valores dos parâmetros para representar o comportamento de AV, esta abordagem pode não ser a mais adequada, uma vez que o modelo foi concebido para representar o comportamento humano. A fim de superar essa possível limitação, outros pesquisadores (Makridis et al., 2018; Melson et al., 2018; Shi et al., 2019) codificaram novos modelos de *car-following* para AV, através de extensões nos simuladores—como, por exemplo, *Application Programming Interface* (API) e *Component Object Model* (COM).

Ainda que exista uma grande quantidade de estudos sobre AV e CAV, poucos buscaram compreender seus impactos no nível de serviço, como estimado pelo procedimento do HCM *Highway Capacity Manual* (TRB, 2016). A fim de suprir esta lacuna, este trabalho pretende estudar o impacto dos veículos autônomos através de um fator de equivalência, calculado a partir de resultados de simulações com o VISSIM, usando diferentes modelos de *car-following* para AV. Além disso, esse trabalho se diferencia dos demais por utilizar uma versão do VISSIM recalibrada para representar correntes de tráfego e caminhões típicos de rodovias do estado de São Paulo.

3. MÉTODO

O método proposto para realização desta pesquisa apresenta nove etapas principais: (1) Revisão da literatura; (2) Obtenção dos parâmetros do modelo de Wiedemann 99 calibrados para as rodovias paulistas; (3) Escolha e elaboração de um modelo externo para representação do comportamento de veículos autônomos; (4) Criação da rede no simulador Vissim; (5) Planejamento dos experimentos de simulação e criação dos cenários; (6) Condução dos experimentos de simulação; (7) Análise de dados produzidos pelo simulador e tratamento do banco de dados; (8) Comparação dos métodos de simulação de veículo autônomo; e (9) Cálculo do fator de equivalência dos veículos autônomos. Nas subseções a seguir, são discutidos brevemente alguns dos aspectos

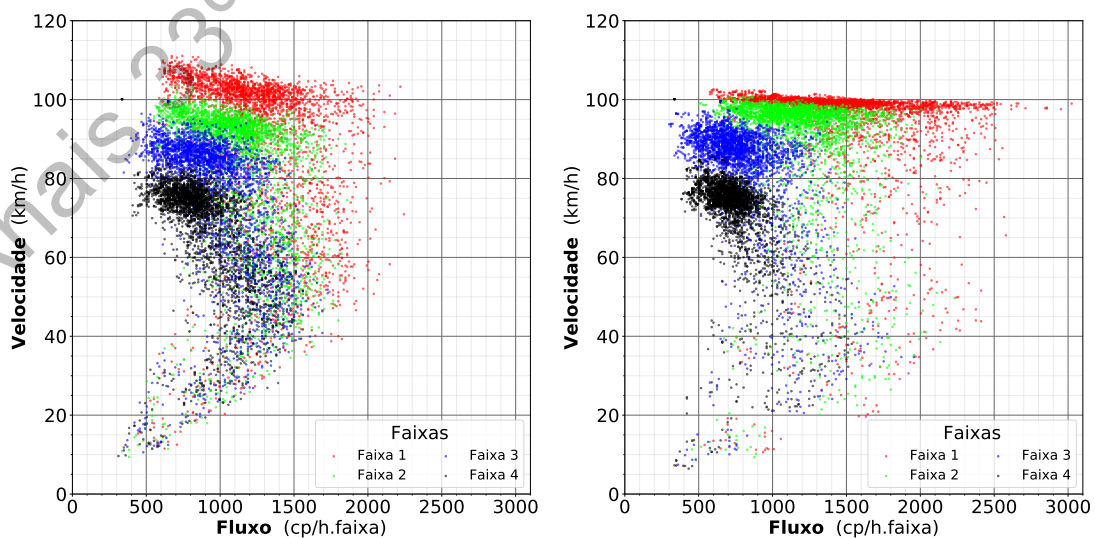
importantes do projeto proposto.

3.1. Preparação do simulador

Para este estudo, utilizou-se a versão 11 do microssimulador Vissim (PTV, 2019), que possui ferramentas predefinidas para a simulação de VA. O cenário base foi extraído de um estudo anterior (Bethonico, 2016), que serviu para calibração dos parâmetros de comportamento dos veículos convencionais no Vissim. O trecho da rodovia para a simulação tem uma extensão de 2,7 km e localiza-se na região metropolitana de São Paulo. As curvas verticais e horizontais desse trecho foram extraídas a partir de coordenadas de GPS e inseridas no *software* a fim de compor a rede do experimento (Bethonico, 2016). Os parâmetros para o modelo de desempenho de veículos pesados do Vissim para caminhões brasileiros foram obtidos de um estudo anterior (Carvalho e Setti, 2018).

A inserção dos veículos na rede foi realizada conforme dados obtidos dos sensores de 6 dias típicos de observações, com intervalos de 5 minutos. Os veículos foram inseridos por faixa para possibilitar que as velocidades de desejo estejam de acordo com as calibradas por Bethonico (2016). Antes de entrarem diretamente na rede de estudo, os veículos percorrem um trecho de aproximadamente 2 km. Esse segmento de rodovia tem a finalidade de comportar possíveis congestionamentos na rede durante as simulações e permite que os veículos alcancem o trecho em estudo de forma estável. O congestionamento é provocado pela inserção, na rede, de redutores de velocidade que provocam congestionamentos e, em decorrência disso, criam ondas de choques na corrente de tráfego. Com isso, é possível simular o fluxo nos regimes livre e congestionado.

Para obter os dados necessários para o estudo, foram usados sensores automáticos de tráfego instalados nos links rede que correspondem à mesma posição dos sensores instalados na rodovia. Estes sensores gravam a velocidade de cada veículo, classe, tempo de entrada e saída do sensor. Os dados foram agregados em períodos de 5 minutos para análises posteriores. Serão usadas dez replicações de cada cenário simulado, baseadas no método proposto por Bessa Júnior e Setti (2010) e usando os resultados da calibração com algoritmo genético realizada por Bethonico (2016).



(a) Cenário base com veículos convencionais (b) Cenário com 75 % de veículos autônomos *all knowing*

Figura 1: Resultados preliminares das simulações

3.2. Modelos de veículos

Uma análise preliminar sugere que os modelos de veículos que melhor representam as condições locais são os seguintes:

Veículos convencionais: Os carros e caminhões não autônomos usam parâmetros calibrados num estudo anterior (Bethonico, 2016). Os parâmetros do modelo de Wiedemann 99 calibrados foram: *Observed Vehicles Minimum headway*, *Safety distance reduction factor*, *Maximum deceleration for cooperativa braking* e *To slower lane if collision time above*.

Veículos pesados: Além dos parâmetros comportamentais de Wiedemann 99 que são similares aos dos automóveis, os veículos pesados são simulados com os seguintes parâmetros de desempenho ajustados para as condições locais: a aceleração desejada, distribuição de pesos e potências dos caminhões (Carvalho e Setti, 2018).

VA Wiedemann 99: Esse modelo de AV é representado através de parâmetros do modelo Wiedemann 99, recalibrados no projeto CoExist (Sukennik, 2018) e de três tipos: *cautious*, *normal* e *all knowing*. O modelo *cautious* sempre se mantém nos limites de velocidade da rodovia e adota comportamentos mais seguros, como maiores distâncias entre veículos. O modelo *normal* tem comportamento similar ao humano, mas com capacidade de medir a distância e velocidade dos veículos próximos. *All knowing* possui percepção e predição maior do ambiente e por isso pode manter menores distâncias entre veículos, nesse modelo um comportamento cooperativo é esperado, mas ainda não modelado no Vissim.

VA modelo externo: O Vissim permite, através da *DLL external driver model*, a codificação de um novo algoritmo de comportamento do motorista, que pode ser aplicado apenas a uma certa classe veicular. Com esse modelo, a cada *time step* o Vissim se comunica com o DLL e determina o comportamento do veículo com base nas características e coordenadas dos veículos ao seu entorno (PTV, 2019). A principal vantagem desse modelo é não ter parâmetros fixos, ser personalizável e a principal restrição é que informações sobre regras de prioridade e áreas de conflitos não são processadas pela DLL (Sukennik, 2018).

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Na Figura 1 pode-se observar que, no cenário com 75% da frota dos carros veículos autônomos, o maior fluxo observado é de 3100 veic/h.faixa. Isso corrobora um aumento de aproximadamente 40 % em relação ao maior fluxo que a rodovia proporcionou para veículos convencionais.

As próximas etapas do trabalho consistem: (1) desenvolver do modelo próprio (DLL); (2) comparar os modelos de AV aplicados; (3) calcular o fator de impacto veicular.

Agradecimentos O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bessa Júnior, J. E. e J. R. Setti (2010). Produção de dados de tráfego sintéticos através de algoritmo genético e simulação microscópica. *Transportes* 18(3), 13–24.
- Bethonico, F. C. (2016). *Calibração de simuladores microscópicos de tráfego através de medidas macroscópicas*. Ph. D. thesis, Universidade de São Paulo.
- Bierstedt, J., A. Gooze, C. Gray, J. Peterman, L. Raykin, e J. Walters (2014). Next-generation vehicles effects of on travel demand & highway capacity. Technical report, Fehr e Peers, Estados Unidos.

- Calvert, S. C., W. J. Schakel, e J. W. van Lint (2017). Will automated vehicles negatively impact traffic flow? *Journal of Advanced Transportation* 2017, 17.
- Carvalho, L. G. S. e J. R. Setti (2018). Calibração do modelo de desempenho de caminhões do Vissim usando dados de GPS embarcado. In *32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*, Gramado, pp. 12.
- Chen, L. e C. Englund (2016). Cooperative Intersection Management: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17(2), 570–586.
- Dah, A., C. Fléchon, P. Sukennik, e C. Walther (2018). Microscopic Simulation and Impact Assessment of the Coexistence of Automated and Conventional Vehicles in European Cities. In *European Transport Conference 2018*, pp. 1–13.
- Karlsson, I. M. e I. Pettersson (2015). Setting the stage for autonomous cars: a pilot study of future autonomous driving experiences. *IET Intelligent Transport Systems* 9(7), 694–701.
- Makridis, M., K. Mattas, B. Ciuffo, M. A. Raposo, T. Toledo, e C. Thiel (2018). Connected and automated vehicles on a freeway scenario. Effect on traffic congestion and network capacity. In *7th Transport Research Arena*, Vienna, pp. 13. TRA.
- Melson, C. L., M. W. Levin, B. E. Hammit, e S. D. Boyles (2018). Dynamic traffic assignment of cooperative adaptive cruise control. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 90, 114–133.
- Morando, M. M., L. T. Truong, e H. L. Vu (2017). Investigating safety impacts of autonomous vehicles using traffic micro-simulation. In *Australasian Transport Research Forum*, Auckland, New Zealand. ATRF.
- NTSA (2019). Automated Vehicles for Safety.
- PTV (2019). Vissim 11 - User Manual. Technical report, Karlsruhe.
- Sanusi, F. B., J. O. Sobanjo, E. E. Ozguven, T. Sando, e Y. AbdelRazig (2019). Measuring impacts of connected and autonomous vehicles on freeway work zones. In *Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington. TRB.
- Shi, Y., Q. He, e Z. Huang (2019). Capacity Analysis and Cooperative Lane Changing for Connected and Automated Vehicles: Entropy-Based Assessment Method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Stanek, D., E. Huang, R. T. Milam, e Y. A. Wang (2018). Measuring Autonomous Vehicle Impacts on Congested Networks Using Simulation. In *Annual Meeting of Transportation Research Board*, Volume 728, Washington, pp. 1–7. TRB.
- Sukennik, P. (2018). Micro-simulation guide for automated vehicles. Technical Report 723201, PTV, European Union.
- TRB (2016). Highway Capacity Manual. Technical report, TRB, Washington.
- Van Aerde, M. e H. Rakha (1995). Multivariate calibration of single regime speed-flow-density relationships. In *Vehicle Navigation and Information Systems (VNIS)*, Ontario, pp. 334–341. Queens University.