

Simulação de controle de semáforos inteligentes utilizando agentes com comunicação direta

Diego Pinheiro da Silva¹, Gustavo Luís Schaab¹, Antonio Augusto Alves¹, Sandro José Rigo¹, Marta Rosecler Bez²

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos

²Universidade Feevale

diegopinheiro@feevale, Gustavo.schaab@outlook.com,
antonioaugusto@edu.unisinos.br, rigo@unisinos.br,
martabez@gmail.com

Abstract. *The growth in vehicle volume has become inevitable to meet human needs. However, it results in consequences, such as mental illness and stress, caused by the long period of locomotion and stressful moments in traffic, thus affecting drivers' health and quality of life. This research aims to simulate three scenarios for the control of urban traffic through the data collected in the Open Data New York site: with the current traffic signal programming, with intelligent traffic lights using agents without direct communication and, as the main focus, the experiment of intelligent traffic lights Using agents with direct communication. With this, it is sought to reduce, through traffic lights with direct communication, the number of traffic jams in daily life, as well as the problems caused to drivers, pedestrians, infrastructure and the environment they cause.*

Resumo. *O crescimento do volume de veículos tornou-se inevitável para cumprir com as necessidades humanas. Todavia, acaba resultando em consequências, como doenças mentais e estresse, proporcionadas pelo longo período obtido nas locomoções e momentos estressantes ocorridos no trânsito, afetando assim a saúde e a qualidade de vida dos motoristas. Esta pesquisa visa simular, através dos dados coletados no site Open Data New York, três cenários para o controle de tráfego urbano: com a programação semaforica atual, com semáforos inteligentes utilizando agentes sem comunicação direta e, como foco principal, o experimento de semáforos inteligentes utilizando agentes com comunicação direta. Com isso, busca-se diminuir, através dos semáforos com comunicação direta, a quantidade de engarrafamentos existentes no dia-a-dia, bem como os problemas causados aos condutores, pedestres, infraestrutura e meio ambiente que os mesmos causam.*

1. Introdução

Nos dias atuais, o rápido crescimento da população urbana faz com que aumente o número de veículos nas grandes metrópoles, causando assim problemas de tráfego para condutores, pedestres, infraestrutura e, principalmente, para o meio ambiente [Ahmad et al. 2009]. Isso torna-se prejudicial quanto ao fluxo de veículos, visto que gera

engarrafamentos, lentidão e prolonga-se a duração em que os motoristas ficam nos veículos dia-a-dia, aumentando também a quantidade dos mesmos nas ruas. Da mesma forma, cresce o volume de poluição sonora e do ar. Pesquisas apontam que a causa disso refere-se por conta que a população urbana cresce a um grau elevado quando comparado a capacidade das vias de tráfego (vide impacto dos apartamentos) [Levinson 2012].

O crescimento do volume de veículos tornou-se inevitável para cumprir com as necessidades humanas. Todavia, acaba resultando em consequências, como doenças mentais e estresse, proporcionadas pelo longo período obtido nas locomoções e momentos estressantes ocorridos no trânsito, afetando assim a saúde e a qualidade de vida dos motoristas [Kondro 2010]. Além disso, o tráfego de veículos é o principal emissor de poluentes nas grandes metrópoles. O maior índice de emissão de poluentes ocorre em engarrafamentos, onde verificou-se que a emissão ocorre no momento em que os veículos estão parados e após arrancam, o que ocorre frequentemente nessa situação [Tiwary 2011].

Os Agentes são tomadores de decisão, conduzindo suas execuções de modo que consideram apropriado para cumprir seu propósito. Já os multiagentes, são um conjunto de diversos agentes que comunicam-se entre si para cumprir suas funções próprias e compartilhadas. Considerando que há limites na capacidade operacional e no conhecimento dos agentes, eles necessitam se comunicar para conquistar seus objetivos [Khosravifar 2013]. Sendo assim, Ahmad (2009) afirma que é inevitável o gerenciamento de semáforos, visto que os controladores tradicionais mudam de maneira contínua, calculando o período do ciclo conforme a carga média de tráfego, não levando em conta a atividade natural do trânsito e aumentando os problemas de engarrafamento e emissão de poluentes no meio-ambiente.

O objetivo dessa pesquisa é simular, através dos dados coletados no site *Open Data New York*, três cenários para o controle de tráfego urbano: com a programação semafórica atual, com semáforos inteligentes utilizando agentes sem comunicação direta e, como foco principal, o experimento de semáforos inteligentes utilizando agentes com comunicação direta. Com isso, busca-se diminuir, através dos semáforos com comunicação direta, a quantidade de engarrafamentos existentes no dia-a-dia, bem como os problemas causados aos condutores, pedestres, infraestrutura e meio ambiente que os mesmos causam. Para a simulação, foi utilizado o software *Simulation Of Urban Mobility* (SUMO) integrado com a linguagem de programação Phyton.

No capítulo 2 será abordada a problemática da pesquisa. A metodologia, estruturação da modelagem e os experimentos de simulação são ilustrados no capítulo três. Os resultados são descritos no capítulo 4. Este artigo é finalizado com as considerações finais deste trabalho no capítulo cinco.

2. Problema Abordado

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), estima-se um crescimento de aproximadamente 140% em 20 anos na frota de veículos [DENATRAN 2017]. Isso deve-se ao fato de que a população urbana cresce rapidamente, particularmente nos centros urbanos de países em desenvolvimento. Além do mais, não

apenas o crescimento populacional, mas o volume de cidadãos que usam os próprios veículos como meio de locomoção aumentou a índices elevados, mediante que os que usufruem do transporte público, crescem apenas a um nível moderado [Dessbesell 2015].

O aumento da quantidade de transportes junto ao crescimento da população faz com que rapidamente a infraestrutura de veículos fique saturada, agravando-se por causa do período necessário para a realização de novas construções de vias urbana. Dessa forma, a frota de veículos é prejudicada, causando constantes congestionamentos, demora e crescendo a quantidade de tempo que os cidadãos ficam dentro dos transportes no dia-a-dia [Dessbesell 2015]. Por causa desse crescimento, também surgem outros problemas que atingem o trânsito, sendo eles: a falta de coordenação dos semáforos entre os cruzamentos, desvios de tráfego, segurança dos condutores, dentre outros. Isso atinge gravemente a economia quando vista como um todo. Para a análise, alguns aspectos devem ser observados, como a classificação do fluxo de tráfego (interrompido e ininterrupto), tipos de cruzamento (cruzamentos em nível e cruzamentos em desnível), circulação nas vias (circulação de sentido único e circulação de sentido duplo) e tipo de sinalização (advertência e regulamentação) [Barceló 2004]. Na próxima sessão, será relatada a metodologia utilizada e a estrutura do simulador.

3. Metodologia

Para realizar a simulação, foi utilizada a ferramenta SUMO, integrado com o Java OpenStreetMap Editor para a geração dos mapas da malha rodoviária, a linguagem de programação Python para o desenvolvimento dos agentes e o TraCI (*Traffic Control Interface*) para realizar a integração do Python com o SUMO. Na simulação, não serão considerados os fatores externos do trânsito, como: o humor dos motoristas, clima (chuva, neblina, calor, etc.) ou eventos especiais (manifestações, jogos de futebol, maratonas, etc.).

O SUMO é um simulador de tráfego urbano, criado pelo Centro Aeroespacial Alemão (DLR) em 2001, que onde busca ajudar os pesquisadores de trânsito com um software que tenha baixo custo de memória, fácil aplicabilidade, rapidez nas simulações e capacidade de integrar-se com linguagens de programação. O software é capaz de reproduzir semáforos simples ou com programação semafórica, avenidas com inúmeras faixas, introduzir mapas de outras fontes e também transportes públicos, veículos de passeio e pedestres com movimentos em espaço contínuo e tempo discreto. [Behrisch et. al. 2011]. A figura 1 ilustra a estrutura do SUMO utilizado para este trabalho.

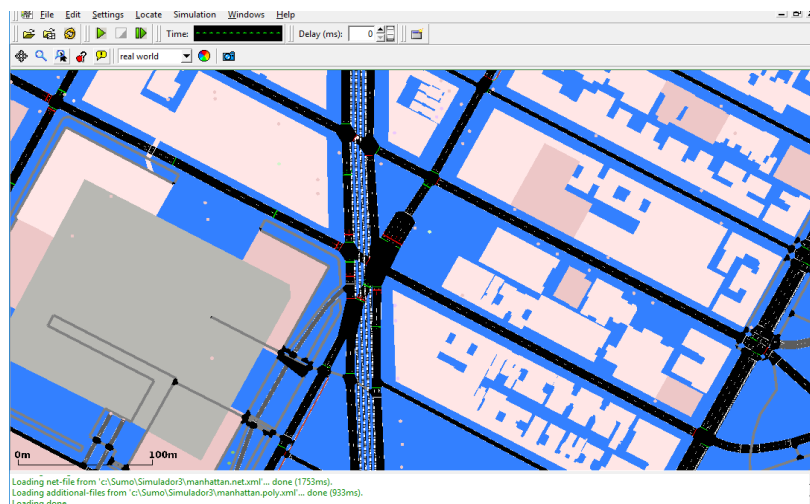


Figura 1. Representação do SUMO.

Fonte: pelos autores.

Behrisch (2011) separa as etapas de simulação do tráfego no SUMO em:

1. A criação da estrutura do tráfego, como os semáforos, as avenidas, as direções proibidas e permitidas e os limites de velocidade das vias;
2. A modelagem do tráfego, onde é escolhida a quantidade e o tipo de tráfego;
3. A simulação, onde os itens descritos anteriormente são combinados.

O OpenStreetMap é um mapa mundial editável, que está a disposição gratuitamente para os usuários que desejam usá-lo e distribuí-lo. O projeto é atualizado tanto por uma fundação, como por uma grande quantidade de voluntários no mundo inteiro. O mapa possui uma malha viária real com várias informações sobre as estradas, limites de velocidade, sinalizações, etc. O relato dos dados é feito de forma precisa e detalhadamente, fazendo com que o projeto seja utilizado até mesmo por sistemas de *Global Positioning System* (GPS) (OpenStreetMap 2017]. A área do mapa no OpenStreetMap escolhida para a simulação é ilustrada na figura 2.

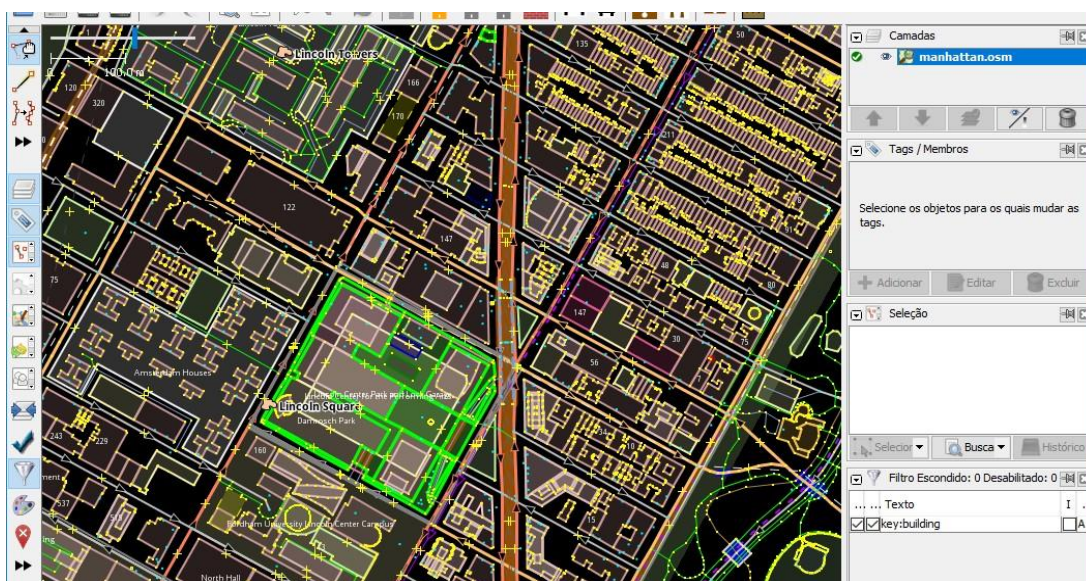


Figura 2. Área do mapa no OpenStreetMap escolhida para a simulação.

Fonte: pelos autores.

O TraCI (Traffic Control Interface) é uma biblioteca desenvolvida em Python que permite interagir com o SUMO de maneira intuitiva durante o tempo de execução da simulação. Ele permite obter valores de objetos simulados, como semáforos, veículos e detectores, e manipular o seu comportamento para interferir no tráfego simulado. Através dessa ferramenta, foram criados os agentes e a maneira como eles alteravam o comportamento dos semáforos. Na figura 3 é ilustrado um exemplo de código utilizado para fazer a integração entre o TraCI e o SUMO.

```
while traci.simulation.getMinExpectedNumber() > 0:
    traci.simulationStep()

    if traci.multientryexit.getLastStepVehicleNumber("2") > 1:
        lista2 = traci.multientryexit.getLastStepVehicleIDs("2") + lista2
    if traci.multientryexit.getLastStepVehicleNumber("18") > 1:
        lista18 = traci.multientryexit.getLastStepVehicleIDs("18") + lista18

    agente2.acao(traci.trafficlights.getPhase(idCruzamento2), lista2, lista18)
    if agente2.limparListas:
        lista2 = []
        lista18 = []
```

Figura 3. Exemplo de código utilizando o TraCI.

Fonte: pelos autores.

Em determinados cruzamentos escolhidos pelos autores, serão incluídos detectores de fluxo para a contagem do número de veículos que estão passando em cada direção. Esses detectores são chamados no Sumo de *Multi Entry Exit Detectors*, onde existe um detector de entrada, para incluir o veículo em uma lista quando ele passar, e outro detector de saída, para remover o veículo quando ele sair. Com isso, em cada via do cruzamento, existe uma lista com os veículos presentes em determinado momento. A partir dessas listas, o algoritmo irá trabalhar para determinar qual via é a mais movimentada. Na Figura 4 é apresentado como o TraCI interage com esses detectores e passa a informação das listas para os agentes.

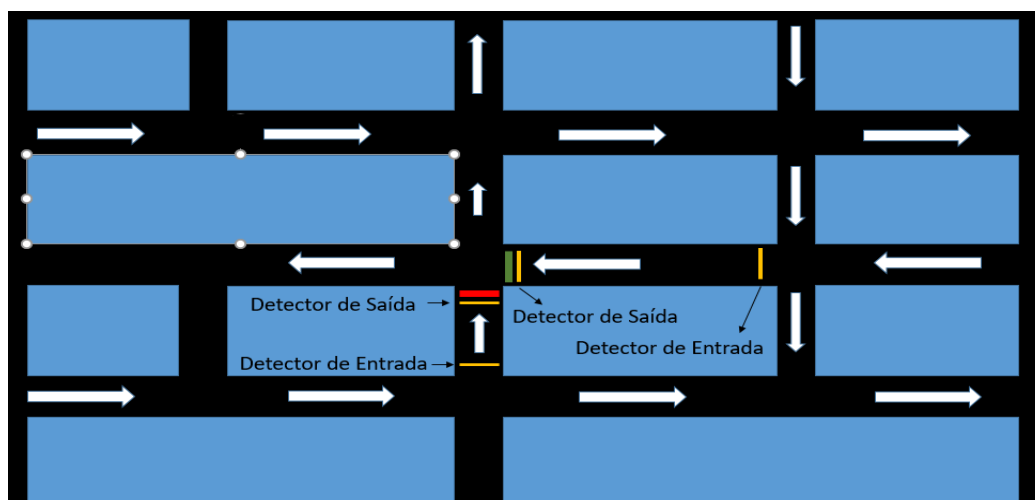


Figura 4. Exemplo de interação do TraCI com os detectores.

Fonte: pelos autores.

Neste trabalho, será analisado principalmente a comunicação direta entre os multiagentes, o foco desta pesquisa. Foi criado um algoritmo que diferencia o multiagente dos demais. A figura 4 é a representação gráfica de um cruzamento com os semáforos e com os detectores do tipo *Multi Entry Exit*. A figura 5 ilustra um diagrama do modelo criado para a representação de um semáforo com comunicação direta.

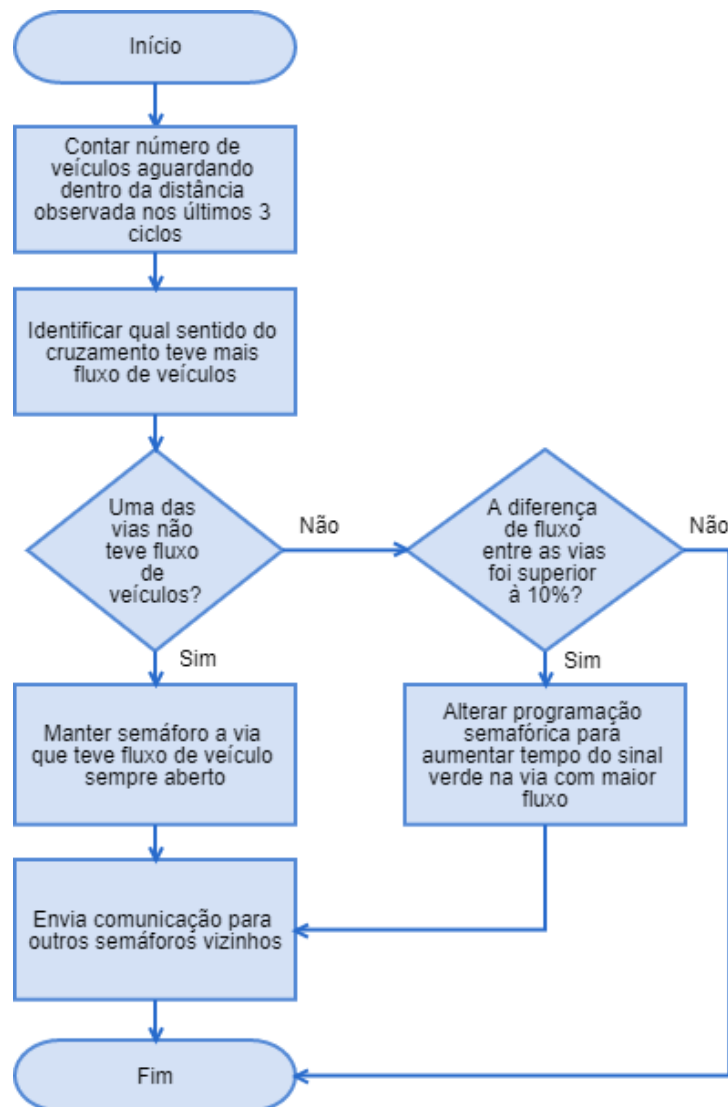


Figura 5. Diagrama do modelo de multiagentes com comunicação.

Fonte: pelos autores.

Foram coletados os dados do site *Open Data New York* para obter o volume de tráfego de determinados semáforos de Manhattan - Nova York em um estipulado período. Conseguiu-se encontrar as informações de: cruzamento, número de veículos por faixa horária e por tipo de veículo. Para a definição da arquitetura do modelo, foram encadados distritos de partida e chegada dos veículos, a matriz de origem e destino, a

geração das rotas, viagens e arquivos de log com cada viagem executada. A figura 6 ilustra as áreas (distritos) escolhidas para a simulação no mapa de Manhattan.

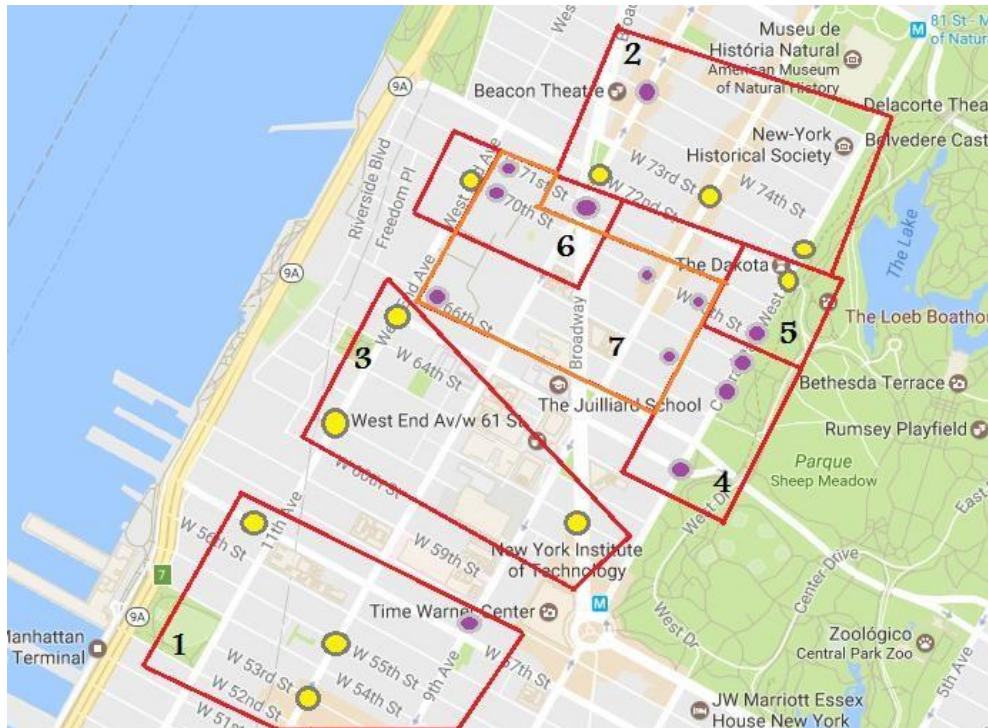


Figura 6. Áreas escolhidas para a simulação.

Fonte: pelos autores.

No mapa, foram representados os pontos de origem dos veículos com um círculo amarelo, o ponto de destino com um círculo roxo e a separação dos distritos através das linhas vermelhas, bem como a sua numeração. A linha laranja foi inserida para diferenciar os distritos 6 e 7. Os distritos foram criados para que pudesse ser simulado o tráfego das ruas Columbus Avenue e Amsterdam Avenue, pois os pontos de origem e destino passam, pelo menos uma vez, em uma das ruas. A tabela 1 apresenta a quantidade de veículos que partiram do ponto de origem para o ponto de destino.

		DESTINO						
		1	2	3	4	5	6	7
ORIGEM	1	0	720	0	200	0	0	600
	2	1400	0	0	204	0	0	0
	3	0	50	0	200	0	0	150
	4	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	200	0
	6	0	0	0	0	200	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 1. Quantidade de veículos partindo até o ponto de destino.

Fonte: pelos autores.

Para o experimento, foram efetuadas simulações de tráfego com diferentes cenários: com a programação semafórica, com a utilização dos agentes sem comunicação direta e com a utilização dos agentes com comunicação direta. Para a validação, foi calculado o tempo médio dos deslocamentos dos veículos e realizado um comparativo entre as simulações e o volume de tráfego atualmente. Foram simulados nos três cenários um total de 3.924 viagens, somando uma distância total de 5.570m, com média de 1.419m. Os resultados destes cenários serão exibidos na próxima sessão.

4. Resultados

Após a construção do simulador, foram estruturados três cenários para o uso das simulações. No primeiro cenário os semáforos são testados sem o uso de agentes; no segundo cenário são utilizados semáforos com agentes, mas sem comunicação direta, por fim, é simulado um cenário com o uso de agentes capazes de se comunicar entre si. Para realizar a comparação dos resultados, foram levados em consideração os dados de: tempo total das viagens, número de viagens, tempo médio (em segundos), tempo médio (em minutos), distância total percorrida (em metros), distância média percorrida (em metros) e distância média percorrida (em quilômetros). Os resultados da comparação são exibidos na Tabela 2.

	Sem Agentes	Com Agentes Sem Comunicação	Com Agentes Com Comunicação
Tempo Total Viagens (seg)	2.243.224	1.498.295	1.476.742
Numero Viagens	3.924	3.924	3.924
Tempo médio (seg)	572	382	376,34
Tempo médio (min)	9,53	6,36	6,27
Distância Total (m)	5.570.602	5.570.602	5.570.602
Distância média (m)	1419,62	1419,62	1419,62
Distância média (km)	1,42	1,42	1,42
Tempo total simulação	2:00h	1:36h	1:36h

Tabela 2. Comparativo de resultados na utilização de semáforos inteligentes.

Fonte: pelos autores.

Conforme mostra na tabela, quando utilizado um semáforo com agentes sem comunicação direta, é possível diminuir em até 33% do tempo médio/total que os veículos passam na estrada, experimento já realizado por Dessbesell (2015), onde obteve os mesmos resultados. Na simulação de agentes com comunicação direta, foram obtidos resultados semelhantes ao sem comunicação, porém, diminuindo em até 35% o tempo médio/total, garantindo que, mesmo minimamente, os agentes com comunicação direta apresentam-se com o melhor desempenho, fazendo com que seja a melhor solução para a diminuição dos engarrafamentos no tráfego urbano. A diferença do desempenho dos resultados é apresentado no gráfico da Figura 7.

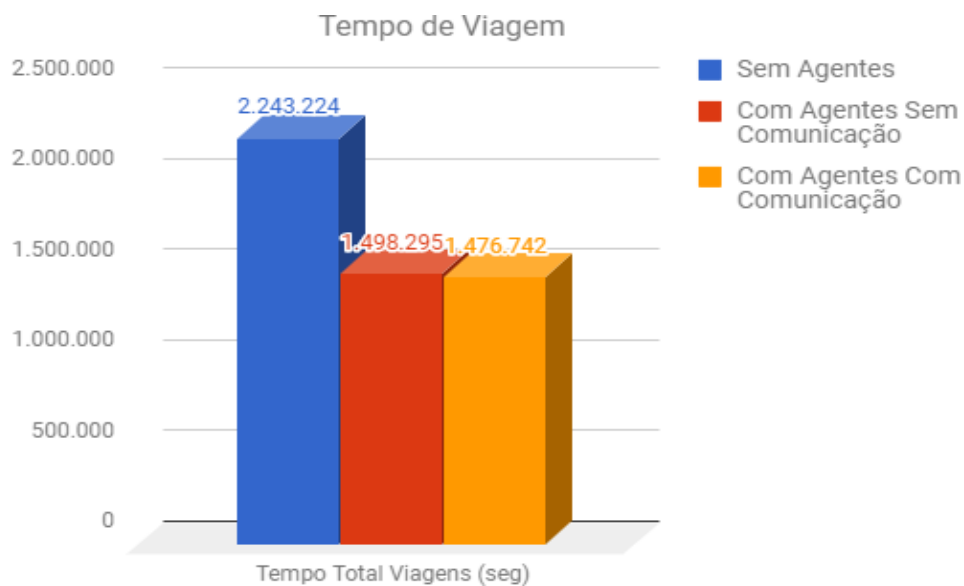


Figura 7. Gráfico do tempo de viagem.

Fonte: pelos autores.

A redução no tempo de viagem foi possível através do gerenciamento dos semáforos, visto que os agentes com e sem comunicação potencializaram o tráfego de veículos. Através do crescimento do tráfego, automaticamente diminuiu-se o período em que os veículos ficavam parados e, com menos paradas, menor será a quantidade de congestionamento. Os resultados atingidos foram significativos, visto que diminuíram o tempo de viagem dos veículos na área simulada, reduzindo em média de 3.17 minutos quando utilizados agentes sem comunicação e 3.26 minutos quando usados os agentes com comunicação. As conclusões desta pesquisa serão apresentadas na próxima sessão.

5. Conclusão

Este trabalho obteve êxito em sua proposta, que visava testar a eficiência de semáforos inteligentes através de uma simulação computacional. Através do uso de agentes para o controle do fluxo urbano, obteve-se uma redução no tempo de viagem em até 35% comparado com a programação semaforica atual sem agentes. Isto representa uma redução não apenas no tempo de viagem, mas também no tempo de funcionamento dos motores dos veículos, ocasionando a redução da emissão de poluentes e da exposição dos motoristas a condições de estresse, afetando positivamente a economia e a sociedade, colaborando assim para uma melhora nas condições ambientais, sociais e econômicas do planeta. É possível chegar a esta conclusão verificando que, em ambas as simulações, o número de viagens, as distâncias e a quantidade de veículos foram os mesmos e o tempo das viagens foram reduzidos.

A pesquisa mostra-se viável através da simulação computacional. Porém, a implantação de tal sistema no “mundo real” depende da construção dos *hardwares* necessários (radares, sensores, *displays*, etc) e de um *software* para o controle dos dispositivos, atrelando sua implementação a condições que possibilitem um baixo investimento, mas que, ao mesmo tempo, permita uma implementação de alta qualidade.

Como trabalhos futuros, pode-se estender a simulação a cidades da região de Porto Alegre, bem como a utilização de agentes a outros elementos. Pode-se, por exemplo, conduzir um estudo experimental para a utilização de agentes aplicado a placas de sinalização inteligentes, para que possam ser capazes de se adaptar às condições do trânsito. Dessbesell (2015) apresenta exemplos futuros de placas e controladores de velocidade capazes de gerenciar as velocidades máximas de uma via de acordo com o seu fluxo de veículos; placas capazes de sugerir a melhor rota para um destino; sinalização adaptativa para permitir retornos e conversões e até mesmo liberar ou não uma área para estacionamento.

Referências

- Ahmad, M.S., Turky, A.M. and Yusoff, M.Z. (2009) “The Use of Genetic Algorithm for Traffic Light and Pedestrian Crossing Control”, Malaysia.
- Barceló, J., Casas, J. Methodological notes on the calibration and validation of Microscopic Traffic Simulation Models. Transportation Research Board 2004 Annual Meeting, Janeiro de 2004, Washington D.C.
- Behrisch M.; Bieker L.; Erdmann J.; Krajzewicz D. (2011) “SUMO – Simulation of Urban MObility”, http://www.sumo.sourceforge.net/pdf/simul_2011_3_40_50150.pdf, April.
- DENATRAN – “Departamento Nacional de Trânsito” (2017), <http://denatran.gov.br>, jun.
- Dessbesell, Gilberto Jr; Frozza, Rejane; Molz, Rolf Fredi. Simulação de controle adaptativo de tráfego urbano por meio de sistema multiagentes e com base em dados reais. Revista Brasileira de Computação Aplicada, 2015.
- Khosravifar, B. et al. Agent-based game-theoretic model for collaborative web services: Decision making analysis. Expert Systems with Applications, Web, v. Vol. 40, n. 8, p. 3207–3219, 2013.
- Kondro, W. Big city blues: health disparities within the world's largest urban centres. Canadian Medical Association Journal, Ottawa, v. 182, n. 17, p. 1838-1839, 2010.
- Levinson, D. Network structure and city size. Plos One, Web, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2012.
- OpenStreetMap. OpenStreetMap, 2017. Disponível em: <<http://wiki.openstreetmap.org>>. Acesso em: 13 junho 2017.
- Tiwary, A. et al. Air flow and concentration fields at urban road intersections for improved understanding of personal exposure. Environment International, Web, v. 37, n. 5, p. 1005–1018, 2011.