

# Gerenciamento de Tráfego Urbano em uma Cidade Inteligente baseado em Agentes Autônomos e Descentralizados \*

Gleifer V. Alves<sup>1</sup>, André P. Borges<sup>1</sup>, Paulo Leitão<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Ponta Grossa – PR – Brasil

<sup>2</sup>Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI)  
Instituto Politécnico de Bragança (IPB)  
Bragança – Portugal

{gleifer, apborges}@utfpr.edu.br, pleitao@ipb.pt


**Abstract.** *Here we present the proposal of a model based on autonomous agents to represent the urban traffic management in a smart city. In our model we consider decentralised agents which should perceive the environment (e.g. at road junctions), from these perceptions the agents should be able to communicate, cooperate and coordinate each other actions to autonomously decide how to handle urban traffic issues. The issues considered in our approach may range from a simple parking space (in on-street parking) that is blocked, to a complete disruption of an urban road because of a car crash. With our proposed model, we aim to run urban simulations within the agents using tools (e.g. SUMO) to assess the impact of our model in the urban traffic flow and management.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma proposta de um modelo baseado em agentes autônomos para representar o gerenciamento de tráfego urbano em uma cidade inteligente. É considerado um modelo de agentes descentralizados que devem perceber alterações no ambiente em que estão situados (e.g. em cruzamentos em vias urbanas), a partir das percepções obtidas, os agentes devem procurar comunicar, cooperar e coordenar entre si ações para atingir uma decisão (autônoma) e solucionar respectivos problemas. Os problemas considerados em nossa abordagem podem variar deste uma simples interdição de uma vaga de estacionamento (externo), até o bloqueio (total) de uma via urbana devido a um acidente de trânsito. Almeja-se por meio deste modelo executar simulações urbanas dos agentes usando ferramentas (e.g. SUMO) para avaliar o impacto do modelo no fluxo e gerenciamento de tráfego urbano.*

## 1. Introdução

A utilização de técnicas computacionais para explorar soluções para Cidades Inteligentes tem sido amplamente aplicada em problemas envolvendo tráfego urbano. As soluções

---

\*  O trabalho Gerenciamento de Tráfego Urbano em uma Cidade Inteligente baseado em Agentes Autônomos e Descentralizados de Gleifer Vaz Alves, André Pinz Borges, Paulo Leitão está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

correspondem ao uso de mecanismos de inteligência, de processamento de imagens, sistemas embarcados, sensores, agentes inteligentes, entre outros [Batty et al. 2012]. O foco das soluções está nas diferentes ramificações de uma Cidade Inteligente, como Mobilidade, Transportes, Economia, Meio-Ambiente, Saúde, entre outras [Koster et al. 2014]. Observa-se que o uso de técnicas computacionais em cenários de Cidades Inteligentes almeja utilizar de forma eficiente os recursos disponíveis, tentando solucionar problemas existentes nos ambientes urbanos.

No quesito Mobilidade e Transportes, as alternativas buscam gerenciar e resolver problemas relacionados a alocação de recursos (e.g. vagas em estacionamentos), fluxo de trânsito em vias, pontos de recarga para veículos elétricos, etc. Especificamente, destaca-se o problema de gerenciamento de tráfego urbano, o qual está associado a um recente convênio entre a UTFPR e o DETRAN-PR. Neste convênio buscam-se soluções diversas para temas no contexto de Cidades Inteligentes.

Uma das questões a serem desenvolvidas diz respeito ao gerenciamento de tráfego em vias urbanas visando a soluções de problemas, como vias bloqueadas, otimizar fluxo de vias, entre outros; de forma a lidar com situações inesperadas que podem ocorrer a qualquer momento em um cenário tão dinâmico. Cenário esse que pode ser adequadamente representado por meio de uma modelagem baseada em agentes. Agentes inteligentes permitem a representação dos componentes existentes em cenários de tráfego urbano, considerando suas respectivas características dinâmicas.

Dito isso, este artigo apresenta uma proposta (inicial) para usar soluções baseadas em agentes autônomos e descentralizados no problema de gerenciamento de tráfego urbano. Aqui entende-se como gerenciamento de tráfego, a verificação e solução de problemas existentes no fluxo de trânsito em vias urbanas. Por exemplo, caso uma determinada via esteja bloqueada: como fazer para desviar o fluxo de veículos (de forma autônoma e eficiente), e assim evitar problemas no tráfego? Como fazer para buscar a otimização do fluxo das vias?

Por meio deste trabalho (inicial) será desenvolvido um projeto de pesquisa, o qual almeja as seguintes contribuições: **i.** conceber uma modelagem (de cenários de tráfego urbano) baseada em agentes descentralizados e autônomos; **ii.** desenvolver técnicas de cooperação e coordenação de agentes aplicadas aos cenários do problema; **iii.** simular as técnicas desenvolvidas em ferramentas de simulação urbana, fazendo uso de dados reais, para poder avaliar a possibilidade de aplicação das soluções desenvolvidas.

O restante deste artigo apresenta uma breve revisão de alguns trabalhos relacionados ao gerenciamento de tráfego. Após, um modelo (simples) é definido, em conjunto com a ilustração de um possível cenário de aplicação. Ao final, algumas considerações e possibilidades de implantação do trabalho são discutidas.

## **2. Gerenciamento de Tráfego Urbano**

Existem diferentes abordagens para lidar com o gerenciamento de tráfego urbano. Alguns trabalhos objetivam soluções para desenvolver semáforos inteligentes e assim otimizar o fluxo em vias; outros buscam soluções para intersecções de trânsito de forma geral, procurando lidar com conflitos ou ainda evitar colisões de veículos. Algumas abordagens consideram somente veículos autônomos ou veículos com motoristas humanos, ou

ainda ambos os casos. Ainda existem trabalhos com o foco nas simulações urbanas para evidenciar a aplicação de técnicas em cenários reais de trânsito.

Nesta seção são brevemente descritos alguns desses trabalhos, sendo que ao final da seção igualmente são mencionados trabalhos com o foco em Estacionamentos Inteligentes, que de certa forma estão relacionados com a proposta deste artigo, devido ao uso de agentes na solução de disputa por recursos em um cenário de Cidade Inteligente.

Em [Dresner and Stone 2008], os autores apresentam uma solução (que até hoje é referência na comunidade científica de agentes) para gerenciamento de intersecções baseada em multi-agentes. A solução apresenta um mecanismo para coordenação de Veículos Autônomos nas intersecções urbanas. Mas, também considera veículos com motoristas humanos e ainda veículos de emergência. Este trabalho procura lidar com incidentes, evitar colisões entre veículos e simular o comportamento dos veículos. Na modelagem do sistema, tanto os motoristas como as intersecções são considerados agentes no SMA. Os autores apresentam um protocolo e um algoritmo para gerenciamento das intersecções. Ainda existe o papel de um gerente da intersecção que deve estabelecer uma comunicação com os agentes motoristas para aplicar a respectiva política de gerenciamento das intersecções e lidar com as requisições dos diversos agentes motoristas.

Em [Chen and Englund 2016], os autores apresentam uma revisão da literatura a respeito do gerenciamento de intersecções de trânsito, onde são analisadas as principais técnicas e soluções pesquisadas envolvendo intersecções sinalizadas e não-sinalizadas. Métodos cooperativos, incluindo horários e reservas de espaço, planejamento de trajetória e semáforos virtuais, são discutidos pelos autores. Métodos de prevenção de colisão entre veículos e de veículos com pedestres, também são abordados. Além disso, é apresentada uma introdução aos principais projetos relacionados ao gerenciamento de intersecções.

Por sua vez, [Carlino et al. 2013] explora a possibilidade de utilizar leilões em cada intersecção para determinar a ordem em que os motoristas executam movimentos conflitantes. Embora este esquema seja inviável para motoristas humanos, veículos autônomos são capazes de fazer manobras de forma rápida e sem problemas em nome de passageiros humanos. Especificamente, o artigo investiga a aplicação de leilões de veículos autônomos em cruzamentos tradicionais usando sinais de parada e sinais de trânsito, bem como protocolos de reserva autônomos. O artigo também aborda a questão da equidade, com uma proposta benevolente do agente do sistema para manter um tempo de viagem razoável para motoristas com orçamentos baixos.

O trabalho de [Guériau 2019] por sua vez visa organizar o fluxo de veículos usando um Sistema Multiagente baseado na física newtoniana. Neste trabalho, o veículo é considerado um agente físico com comportamento pessoal dividido em três camadas: percepção baseada em sensor, decisão baseada em simulação física e aplicação auxiliada por robótica embarcada.

O artigo [Wang et al. 2019] apresenta um sistema de simulação on-line de controle de tráfego urbano rodoviário, chamado SD-UTCS. O sistema permite realizar a construção e simulação de vários tipos de cenários de tráfego, porém sem mencionar o uso de agentes inteligentes.

Analizando os trabalhos destacados anteriormente a respeito do gerenciamento de intersecções de trânsito é possível observar que boa parte das abordagens não considera o

gerenciamento dos recursos do tráfego urbano, como cruzamentos, veículos, sinalizações, entre outros, de maneira integrada. Além disso, os autores não deixam claro a relação existente entre os agentes e os recursos e ambiente de atuação dos agentes, se há mecanismos de coordenação e cooperação do uso de recursos e auto-organização dos agentes. Possivelmente a exceção está no trabalho de [Dresner and Stone 2008], onde os autores descrevem um protocolo para gerenciamento da intersecção. Este trabalho poderá servir como uma referência para desenvolver aspectos do projeto a ser desenvolvido a partir da proposta deste artigo.

Em termos de abordagens que apresentam uso de ferramentas de simulação e agentes é possível citar os trabalhos de [Blank Born 2015] e [Junior et al. 2015]. Ambos trabalhos fazem a utilização do simulador SUMO [Krajzewicz et al. 2012] com modelos baseados em agentes para problemas de tráfego urbano. O trabalho de [Blank Born 2015] utilizou como estudo de caso a cidade de Rio Grande-RS, ao passo que o trabalho de [Junior et al. 2015] utilizou a cidade Porto Alegre-RS como cenário de aplicação. Isso evidencia a aplicação de agentes e SUMO em cenários reais, o que ilustra a viabilidade de aplicação da ferramenta SUMO na sequência do projeto apresentado neste artigo.

Cabe destacar que estes dois trabalhos mencionados têm o objetivo de melhorar a programação dos semáforos nas vias urbanas. Na proposta descrita neste artigo, objetiva-se utilizar técnicas de cooperação e coordenação entre agentes para atingir uma solução descentralizada e autônoma para situações emergenciais que podem ocorrer em vias urbanas, o que necessariamente não está associado a programação de semáforos, mas pode sim englobar outros componentes de cenários de tráfego urbano, como vias bloqueadas, alterações em sentidos de vias, etc.

Em relação à gerência de estacionamentos inteligentes é possível citar alguns trabalhos realizados pelos autores deste artigo, onde agentes e Sistemas Multi-Agentes (SMA) são empregados para implementar e simular negociação de vagas em estacionamentos inteligentes, visando obter as melhores taxas de ocupação dos recursos, i.e. as vagas de estacionamento. Em [Castro et al. 2017], os autores apresentam o uso de SMA e negociação entre agentes, baseada no grau de confiança dos agentes. Em [Ducheiko et al. 2018], os autores descrevem a implementação de um mecanismo de negociação descentralizada entre agentes. Ainda, em [Alves et al. 2019], tem-se a descrição de um mecanismo de negociação entre agentes, baseado em leilões. Por fim, em [Sakurada et al. 2019] os autores propõem uma arquitetura ciber-física para implantar agentes embarcados em estacionamentos inteligentes.

Além destes trabalhos, ainda cita-se o artigo desenvolvido por [Barriga et al. 2019] apresenta uma revisão da literatura sobre tecnologias empregadas em Estacionamentos Inteligentes. Os autores identificam os tipos mais utilizados de cada componente das arquiteturas de Estacionamentos Inteligente (sensores, protocolos de comunicação e soluções de software) e destacam as tendências de uso, além de analisar vários trabalhos cujo foco está no desenvolvimento de softwares para Estacionamentos Inteligente.

Os resultados mencionados pelos trabalhos relacionados bem como as pesquisas realizadas com Estacionamentos inteligentes possuem como ênfase soluções que empregam agentes e SMAs. Com isso é possível vislumbrar a extensão do projeto dentro

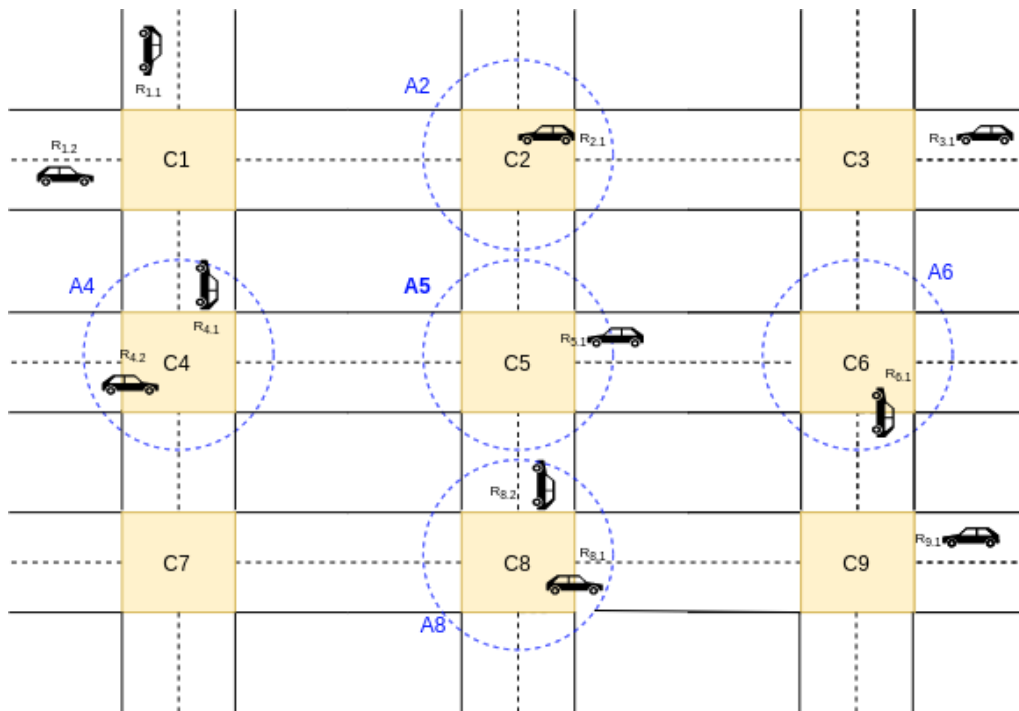


Figure 1. Modelo Geral e Relação de Vizinhança

da ramificação de Mobilidade e Transportes, de forma que agora as soluções de esta-  
cionamentos possam ser estendidas para lidar com a problemática existente no tráfego  
urbano de Cidades Inteligentes.

### 3. Modelo Proposto

O modelo apresentado neste artigo tem como base um cenário simples de trânsito urbano. Tem-se como ambiente uma Cidade Inteligente ( $CI$ ) composta por  $i$  cruzamentos urbanos ( $C_i$ ), onde cada  $C_i$  deve ter um agente ( $A_i$ ); cada  $A_i$  tem um **raio de ação**, definido aqui pela região de atuação do respectivo agente, sendo composto por vias urbanas, nas quais estão dispostos  $N$  artefatos, ou recursos ( $R_n$ ), conforme ilustra a Figura 1, onde, por exemplo, em  $C_8$  há o agente  $A_8$  e dois recursos (veículos que trafegam nas vias):  $R_{8,1}$  e  $R_{8,2}$ .

Cada agente  $A_i$  é situado em um respectivo cruzamento  $C_i$  e tem um raio de ação único e de sua responsabilidade. Ainda, na Figura 1, é possível observar a noção de **vizinhança** usada neste trabalho. O agente  $A_5$  possui quatro vizinhos, um em cada direção: norte ( $A_2$ ), sul ( $A_8$ ), leste ( $A_6$ ) e oeste ( $A_4$ ).

Os agentes existentes na  $CI$  seguirão a arquitetura para implementação de agentes racionais BDI (*Belief, Desire, Intention*) e devem ter as seguintes capacidades: percepção, comunicação (descentralizada), negociação e decisão (autônoma). Em linhas gerais, um agente tem suas percepções obtidas dos artefatos (ou recursos) que estão situados em seu raio de ação. A partir de uma dada percepção, o agente  $A_4$  pode iniciar uma troca de mensagens com o agente  $A_5$ , por exemplo, desde que eles sejam agentes vizinhos.  $A_4$  e  $A_5$  podem negociar para gerenciar algum problema de tráfego em seus respectivos cruzamentos ( $C_4$ ,  $C_5$ ). Ao final da comunicação e negociação,  $A_4$  deve tomar uma decisão

e solucionar um dado problema. Imagine que  $A_5$  identificou um mal funcionamento no semáforo localizado no raio de ação de  $A_5$ , agora  $A_5$  precisa comunicar para  $A_4$  que o fluxo de veículos não pode ser direcionado para o raio de ação de  $A_5$ .  $A_4$  deve tomar uma decisão (e.g. desviar o fluxo para via secundária) e comunicar ao  $A_5$  o que foi alterado no gerenciamento da via urbana.

No ambiente considerado neste trabalho serão considerados como artefatos os seguintes elementos de uma *CI*: veículos, via urbana, vagas externas de estacionamento, semáforo, faixa de pedestres, placas de sinalização.

Nas subseções que seguem o protocolo de comunicação entre os agentes é apresentado, seguido de um exemplo de aplicação.

### 3.1. Protocolo de Comunicação

Os agentes devem comunicar-se por meio de um protocolo, no qual a especificação a seguir é utilizada, apenas quando existe algum problema a ser reportado por um dado agente (dentro do raio de ação dele).

`<ag-dest;tipo-problema;localização;lista-recursos;"msg">`

onde,

- `ag-dest` identifica o agente que deve receber a mensagem;
- `tipo-problema` informa qual das seguintes três classes pertence o problema reportado:
  - verde*: representa situações simples de tráfego, por exemplo uma vaga externa de estacionamento que esteja interditada, que não exigem uma alteração na via urbana, é apenas uma notificação.
  - amarela*: indica problemas intermediários de tráfego urbano que podem exigir alguma forma de alteração na via urbana. Exemplo: semáforo não está funcionando.
  - vermelha*: representa situação grave em uma via urbana, onde certamente é necessário uma alteração na via urbana. Exemplo: ocorreu um acidente e faz-se necessário interditar por completo a via urbana.
- `localização` determina em qual cruzamento o problema está localizado;
- `lista-recursos` define a lista de artefatos (ou recursos) envolvidos no problema;
- `"msg"` o agente que está enviando a mensagem pode completar a informação, relatando ao agente destino mensagens adicionais, como uma nova crença, um plano que deve ser utilizado, entre outras mensagens.

### 3.2. Exemplo de Aplicação

Para ilustrar o modelo proposto é apresentado um simples exemplo considerando o cenário visto na Figura 2.

O cenário mostra que uma das vias urbana no raio de ação do agente  $A_3$  está bloqueada e portanto o seguinte fluxo de ações e mensagens é executado:

1.  $A_3$  recebe a percepção a partir recurso  $R_{3.1}$  (i.e., um veículo) que a via está bloqueada. Considere que  $R_{3.1}$  é um veículo que teve algum dano, precisou parar e agora a via está parcialmente bloqueada;

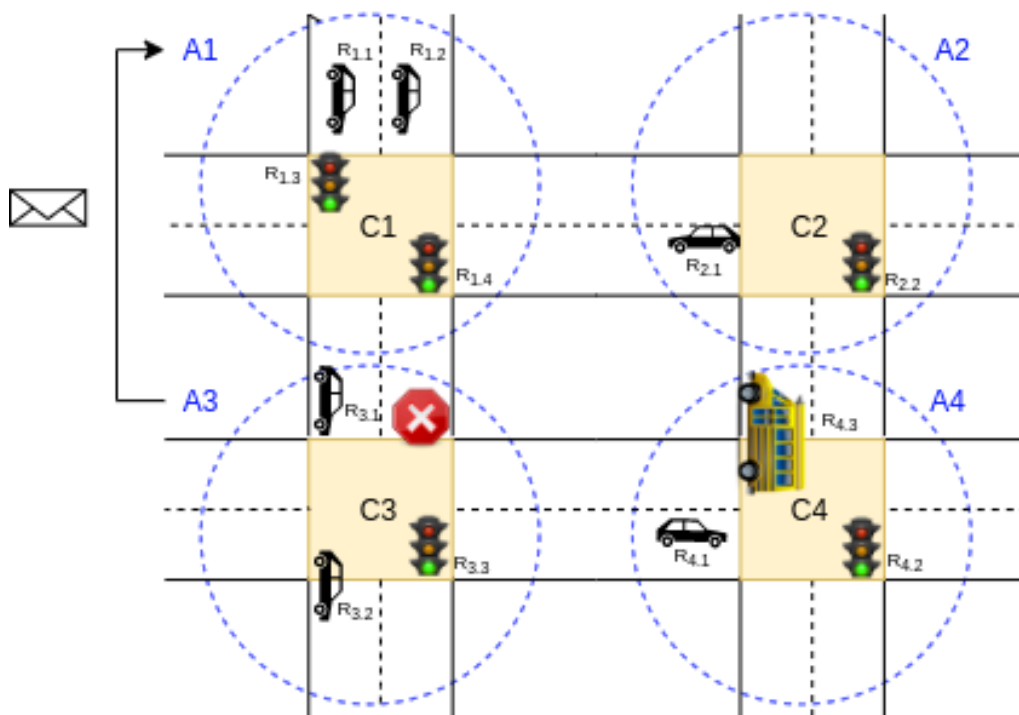


Figure 2. Exemplo de Aplicação

2.  $A_3$  altera as sinalizações no seu respectivo raio de ação, no caso o recurso  $R_{3.3}$  sendo um semáforo. Como o fluxo de trânsito será (possivelmente) intenso, devido ao bloqueio de uma via, o semáforo poderá ter que ajustar a frequência da sua sinalização para otimizar o fluxo do trânsito.
3.  $A_3$  envia a seguinte mensagem para  $A_1$ :  
`< A1; vermelha; C3; R3.1; "via parcialmente bloqueada; alterar sinalização" >`
4.  $A_1$  recebe a mensagem de  $A_3$ , onde  $A_1$  deve considerar uma nova crença "via parcialmente bloqueada" e acionar um novo plano "alterar sinalização";
5.  $A_1$  deve também alterar as sinalizações no seu respectivo raio de ação, no caso os recursos  $R_{1.3}$  e  $R_{1.4}$ , respectivamente dois semáforos (um para cada via que compõe o cruzamento). Agora o semáforo  $R_{1.4}$  só deverá permitir que os veículos oriundo de  $C_2$  sigam reto em sua direção, evitando dobrar à esquerda (na via parcialmente bloqueada). Enquanto, o semáforo  $R_{1.3}$  deverá recomendar que os veículos dobrem à direita (e assim evitar a via bloqueada) e possivelmente ajustar a frequência de sua sinalização para tentar otimizar o fluxo de trânsito nesta via. Essas ações devem ser realizadas para tentar otimizar o fluxo de trânsito em direção a via (parcialmente) bloqueada. Note que aqui é apenas ilustrado um exemplo simples e hipotético para evidenciar a modelagem do cenário em termos de agentes, mas sem um devido estudo da área de engenharia de tráfego urbano.
6. Assim, (idealmente) o recurso  $R_{1.1}$ , um veículo, quando atingir o cruzamento  $C_1$  deverá virar à direita, evitando assim trafegar na via parcialmente bloqueada;
7. Note que a comunicação é prioritariamente iniciada entre  $A_3$  e  $A_1$ , pois são os agentes que compartilham a via urbana que está parcialmente bloqueada;

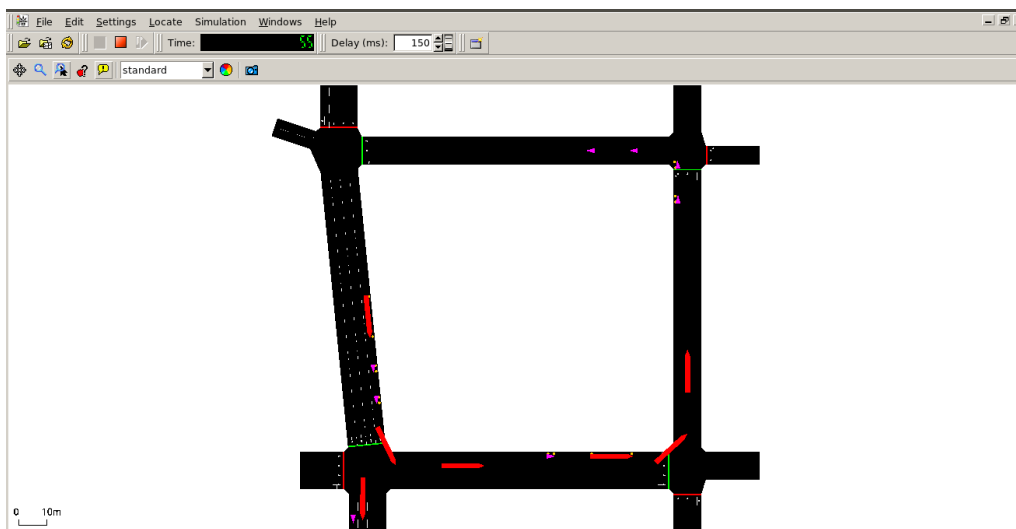


Figure 3. Exemplo de Aplicação - Simulador Sumo 1

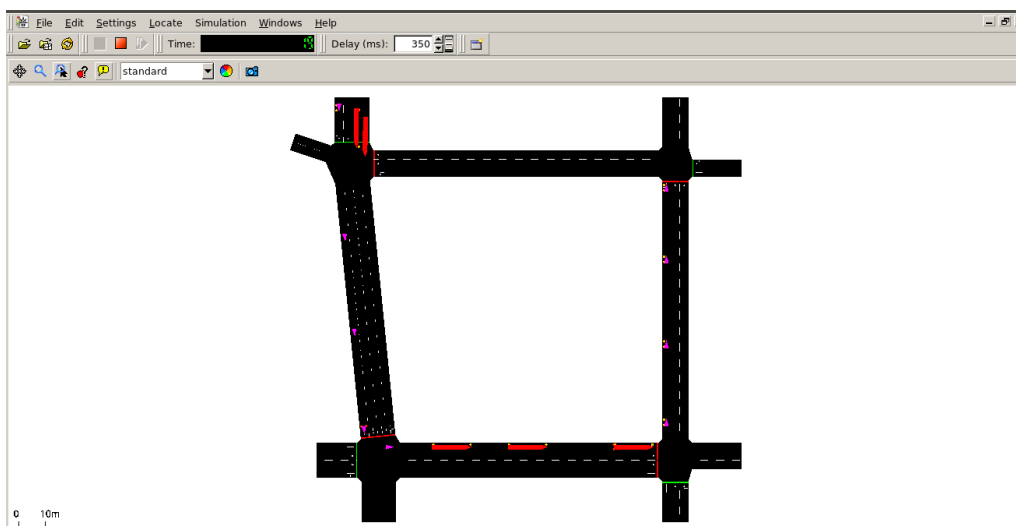


Figure 4. Exemplo de Aplicação - Simulador Sumo 2

8. Ainda destaca-se que esse exemplo apresenta os recursos  $R_{2.2}$  e  $R_{4.2}$ , que são semáforos nos cruzamento  $C_2$  e  $C_4$ , respectivamente. Todos demais recursos ilustrados neste exemplo são veículos (carros e ônibus -  $R_{4.3}$ ).

Ainda destaca-se brevemente um primeiro exemplo de utilização da ferramenta SUMO, ilustrado nas Figuras 3 e 4, as quais representam uma simples simulação de tráfego urbano. Essa simulação considera o exemplo de aplicação visto anteriormente na Figura 2. Essas simulações utilizando o SUMO foram criadas a partir de uma extração do mapa de um cruzamento na região central da cidade de Ponta Grossa, PR. Nesta simulação estão representados alguns elementos presentes na Figura 2, e.g., carro, ônibus e semáforo.

#### 4. Considerações Finais

Este artigo apresenta uma proposta inicial de um gerenciamento de tráfego urbano baseado em agentes. Espera-se por meio deste modelo explorar algumas características



fundamentais de agentes e SMA, como percepções, decisões autônomas, comunicação, coordenação e cooperação descentralizadas, entre outras. Destacando que a modelagem baseada em agentes é indicada justamente por conseguir capturar os aspectos dinâmicos inerentes ao cenário de trânsito urbano, onde a quantidade de agentes é bastante variável, bem como as suas respectivas ações e decisões.

As características podem representar adequadamente problemas reais existentes no gerenciamento de tráfego urbano, buscando assim uma solução autônoma e descentralizada. Autônoma, pois considera-se que os agentes podem ter planos capazes de ativar procedimentos e ações, sem necessidade de intervenção externa para tal. Descentralizada, pois no cenário apresentado aqui, acredita-se que é possível ter diferentes agentes espalhados na malha de vias urbanas, comunicando, coordenado e cooperando entre si, para resolver eventuais problemas, tudo isso sem a necessidade de um ponto central de gerenciamento urbano.

O trabalho de [Dresner and Stone 2008] (previamente descrito na Seção 2) poderá ser utilizado como referência para desenvolvimento de um mecanismo de coordenação das intersecções de trânsito urbano, no contexto apresentado neste artigo.

Almeja-se que este estudo inicial possa ser estendido em etapas subsequentes, para assim servir de base para trabalhos que estejam associados ao convênio da UTFPR e DETRAN-PR. Um destes trabalhos será em direção ao uso da ferramenta de simulação urbana SUMO [Krajzewicz et al. 2012], onde será possível implementar e simular o modelo proposto neste artigo. Para tal, será também utilizado um *middleware* desenvolvido para a implementação de agentes com o SUMO [Heijmeijer and Alves 2018].

Apesar de ser um trabalho em estágio inicial é possível elencar alguns aspectos que devem ser analisados para a adequada implantação do modelo:

- (i.) escalabilidade: simular e avaliar a possibilidade de representação de uma grande malha de vias urbanas, verificando se realmente é viável ter um agente para cada cruzamento;
- (ii.) excesso de trocas de mensagens: na implementação de comunicação em um SMA, é conhecido que a troca de mensagens pode ser um gargalo, assim a simulação servirá para avaliar se haverá excesso de troca de mensagens entre os agentes do SMA, caso ocorra será necessário rever o protocolo proposto;
- (iii.) necessidade de filtros de percepção: no modelo apresentado existem  $n$  recursos em cada cruzamento, imagine um dado agente obtendo percepções oriundas de diversos recursos, isso pode ocasionar excesso de percepções, que poderiam ser resolvidas pelo uso de filtros de percepção;
- (iv.) decisões conflitantes: avaliar as possibilidades de decisões conflitantes num SMA descentralizado, por exemplo, no cenário ilustrado na Figura 2 a decisão de alterar o recurso  $R_{1,3}$  para virar somente à direita, poderia conflitar com uma decisão (paralela) ocorrida em outro cruzamento,  $C_2$ , onde alguma via tenha sido igualmente bloqueada, de forma que o fluxo de veículos está também direcionado à direita;
- (v.) recursos que estejam em áreas sombreadas: identificar a possibilidade de existir recursos que estejam fora do raio de ação de qualquer agente do modelo.

## References

- Alves, B. R., Alves, G. V., Borges, A. P., and Leitão, P. (2019). Experimentation of Negotiation Protocols for Consensus Problems in Smart Parking Systems. In Marik, V., Kadera, P., Rzevski, G., Zoitl, A., Anderst-Kotsis, G., Tjoa, A. M., and Khalil, I., editors, *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, Lecture Notes in Computer Science, pages 189–202, Cham. Springer International Publishing.
- Barriga, J., Sulca, J., León, J., Ulloa, A., Portero, D., Andrade, R., and Yoo, S. G. (2019). Smart parking: A literature review from the technological perspective. *Applied Sciences*, 9:4569.
- Batty, M., Axhausen, K., Fosca, G., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., and Portugali, Y. (2012). Smart Cities of the Future.
- Blank Born, M. (2015). *Uma proposta híbrida baseada em agentes e algoritmos genéticos para a determinação dos tempos de semáforo visando a redução da poluição: estudo de caso do centro de Rio Grande/RS*. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS. <https://argo.furg.br/?BDTD10687>.
- Carlino, D., Boyles, S. D., and Stone, P. (2013). Auction-based autonomous intersection management. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, pages 529–534.
- Castro, L. F. S. D., Alves, G. V., and Borges, A. P. (2017). Using trust degree for agents in order to assign spots in a Smart Parking. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 6(2):45–55.
- Chen, L. and Englund, C. (2016). Cooperative intersection management: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(2):570–586.
- Dresner, K. and Stone, P. (2008). A multiagent approach to autonomous intersection management. *J. Artif. Int. Res.*, 31(1):591–656.
- Ducheiko, F. F., André, P. B., and Gleifer, V. A. (2018). Implementação de Modelo de Raciocínio e Protocolo de Negociação para um Estacionamento Inteligente com Mecanismo de Negociação Descentralizado. *Revista Junior de Iniciação Científica em Ciências Exatas e Engenharia*, 1(19):25–32.
- Guériaux, M. (2019). Self-organizing traffic based on dynamic platoon configuration. In *2019 IEEE 31st International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pages 1618–1622.
- Heijmeijer, A. v. H. and Alves, G. V. (2018). Development of a Middleware between SUMO simulation tool and JaCaMo framework. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 7(2):5–15–15.
- Junior, G., Frozza, R., and Molz, R. (2015). Simulação de controle adaptativo de tráfego urbano por meio de sistema multiagentes e com base em dados reais. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 7(3):65–81.
- Koster, A., Koch, F., and Bazzan, A. L. C. (2014). Incentivising Crowdsourced Parking Solutions. In Nin, J. and Villatoro, D., editors, *Citizen in Sensor Networks*, number

- 8313 in Lecture Notes in Computer Science, pages 36–43. Springer International Publishing.
- Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., and Bieker, L. (2012). Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, 5(3&4):128–138.
- Sakurada, L., Barbosa, J., Leitão, P., Alves, G., Borges, A. P., and Botelho, P. (2019). Development of Agent-Based CPS for Smart Parking Systems. In *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, volume 1, pages 2964–2969. ISSN: 1553-572X.
- Wang, L., Zhang, L., Zhang, L., Li, M., Zhang, H., Li, K., and Xiu, W. (2019). On-line simulation system of urban road traffic signal control based on scene driven. In *2019 IEEE 8th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS)*, pages 1213–1218.