



Sistema Multi-Agente para Gestão Inteligente de Tráfego e Prioridade a Veículos de Emergência

Autores: Alexandre Furriel, Daniel Gomes e Liliana Silva

Introdução aos Sistemas Inteligentes e Autónomos –
LIACD
2025/26

Contexto do Problema

- O tráfego urbano crescente reduz a eficiência da circulação;
- Sistemas centralizados não respondem bem a situações imprevistas;
- Veículos de emergência precisam de percursos rápidos — frequentemente indisponíveis.

Desafio

- Criar uma solução capaz de gerir tráfego em tempo real e priorizar veículos de emergência, sem controlador central.

Objetivo do Trabalho

- Desenvolver um sistema multi-agente descentralizado onde semáforos, veículos e emergência cooperam autonomamente para otimizar o fluxo e garantir prioridade.



Agentes Implementados

1

Traffic Light Agents

- Controlam os semáforos e adaptam ciclos com base no estado local.

2

Vehicle Agents

- Realizam navegação com A* e replaneamento dinâmico.

3

Emergency Vehicle Agent

- Solicita prioridade e adapta a rota de forma a reduzir atrasos causados por congestionamento ou bloqueios.

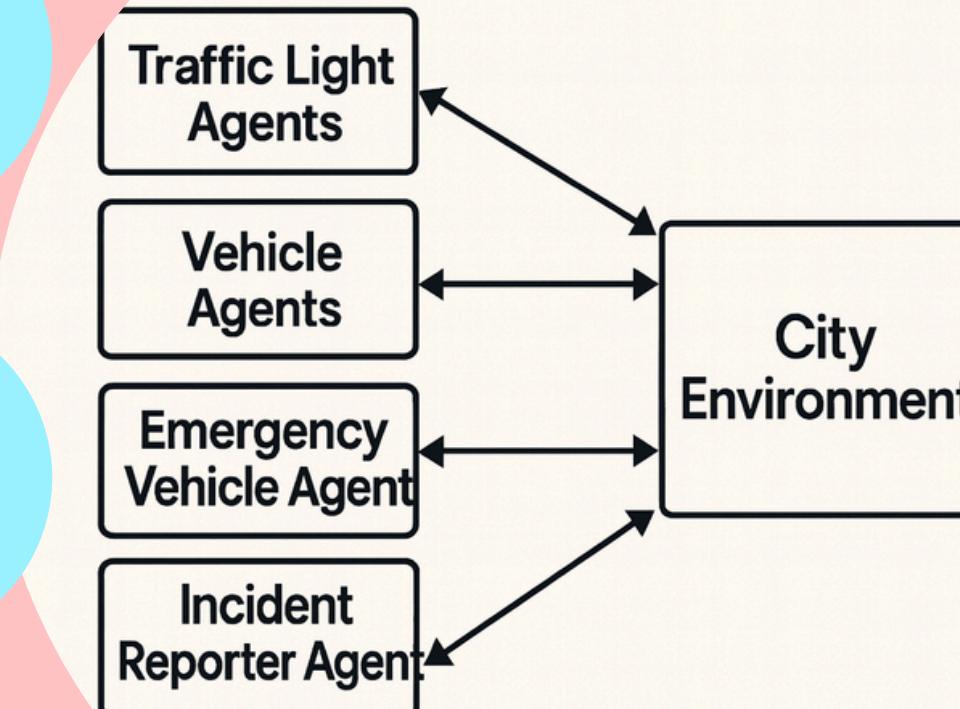
4

Incident Reporter Agent

- Gera bloqueios temporários e atualiza o sistema de eventos, influenciando o replaneamento dos agentes.

Ambiente - City Environment

- Representação da cidade em grafo (NetworkX);
- Vias, capacidades, estados e ocupação dinâmica;
- Gestão de eventos e atualização do tráfego;
- Visualização em tempo real da simulação.



Comunicação entre Agentes

- **Vehicle → Semáforos**

- Envio de pedidos de passagem para o próximo cruzamento, com resposta (permitido/negado) via **SPADE**;
- A ocupação das vias é atualizada no ambiente (Occupancy) a cada movimento dos veículos.

- **Semáforos no Ambiente**

- Ajustam o ciclo com base na densidade local medida no ambiente (Occupancy), reduzindo filas, sem necessidade de um controlador central.

- **Gestão Colaborativa de Emergências**

- O veículo de emergência utiliza A* adaptado a incidentes e congestionamento;
- Envia pedidos de prioridade aos semáforos; os restantes veículos evitam colisões e replaneiam em caso de bloqueios, facilitando a passagem da emergência.

- **Incident Reporter Agent**

- Gera bloqueios temporários e atualiza o EventManager, influenciando o cálculo de rotas de veículos e emergência.



Funções Suportadas

- Atualização contínua do estado das vias.
- Replaneamento dinâmico baseado em eventos reais.
- Coordenação descentralizada em situações de emergência.

Comportamento dos Agentes

Traffic Light Agents

- Gerem o ciclo do semáforo (verde/amarelo/vermelho);
- Ajustam o tempo de cada fase com base na densidade local calculada no ambiente (Occupancy);
- Respondem a pedidos de prioridade da emergência, autorizando a passagem.

Vehicle Agents

- Navegam usando A* para calcular o caminho mais eficiente;
- Replaneiam a rota quando detetam bloqueios ou após um certo número de passos;
- Atualizam a ocupação das vias durante o percurso.

Emergency Vehicle Agent

- Envia pedidos de prioridade aos semáforos ao longo do percurso;
- Utiliza A* com custos ajustados para reduzir o impacto do congestionamento e incidentes;
- Recalcula a rota se a via estiver bloqueada.

Incident Reporter Agent

- Gera acidentes/bloqueios temporários no grafo;
- Atualiza o EventManager, fazendo com que veículos e emergência passem a evitar essas vias no cálculo das rotas.

Como os Agentes Colaboram para Gerir o Tráfego ?

• Decisões Locais → Efeito Global

-Cada agente age autonomamente, mas as suas decisões combinadas coordenam o fluxo de tráfego sem controlador central.

• Semáforos a Trabalhar em Conjunto

- Ajustam o ciclo com base na densidade local medida no ambiente (Occupancy);
- As suas decisões locais contribuem para reduzir filas, sem necessidade de coordenação direta entre semáforos.

• Reação Conjunta a Acidentes/Bloqueios

-O Incident Reporter cria bloqueios temporários e atualiza o EventManager;
- Veículos e semáforos adaptam comportamento ao detetarem vias bloqueadas, sem necessidade de coordenação centralizada.

• Gestão Colaborativa de Emergências

- O veículo de emergência envia pedidos de prioridade aos semáforos no percurso;
- Utiliza A* adaptado a congestionamento e incidentes para minimizar atrasos;
- Restantes veículos replaneiam quando encontram bloqueios ou colisões, facilitando a passagem da emergência.

Cenários de Teste da Simulação

Objetivo da Avaliação

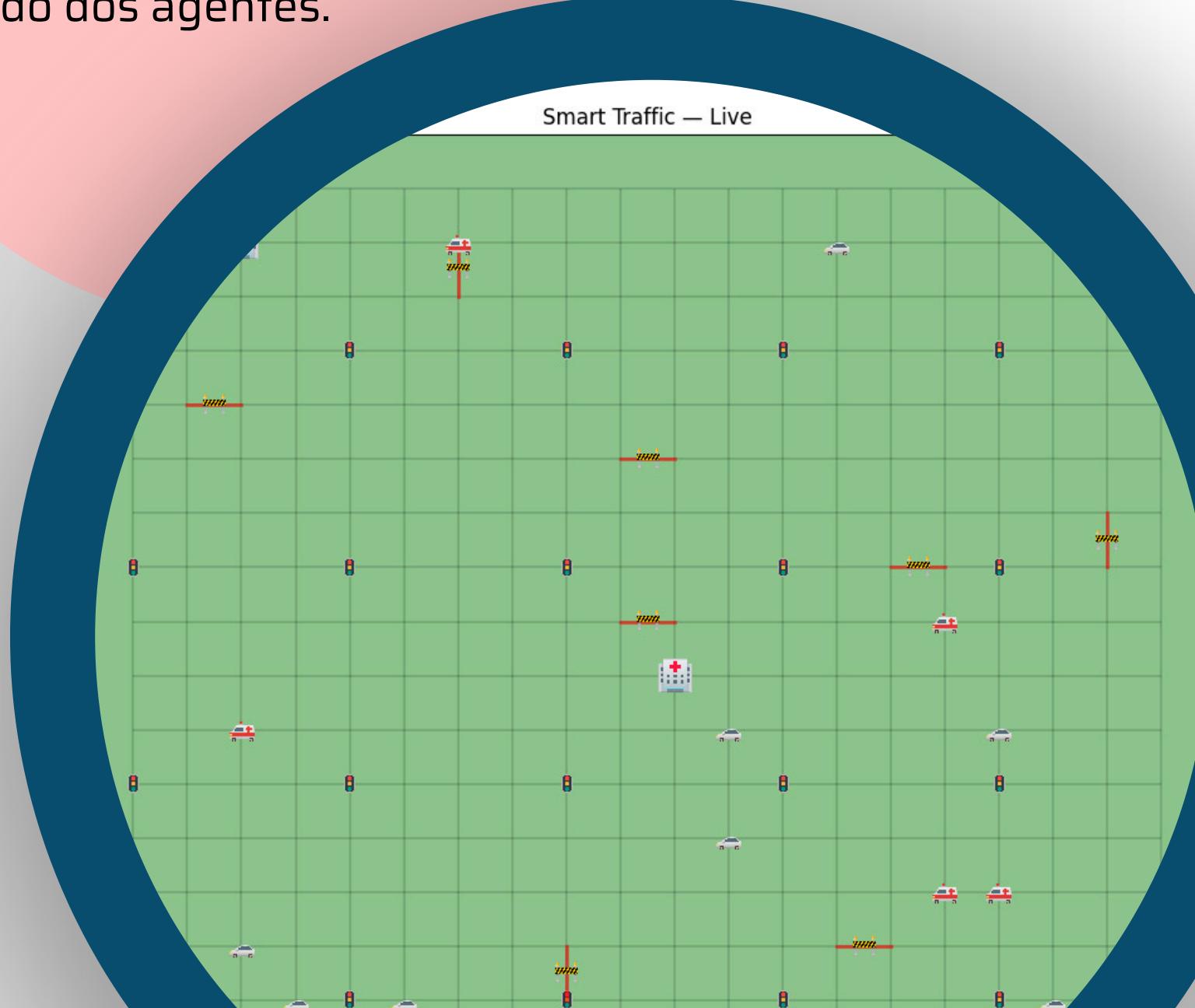
- Verificar a adaptação dos agentes ao ambiente;
- Analisar o impacto da coordenação no fluxo;
- Avaliar a resposta a emergências e eventos dinâmicos.

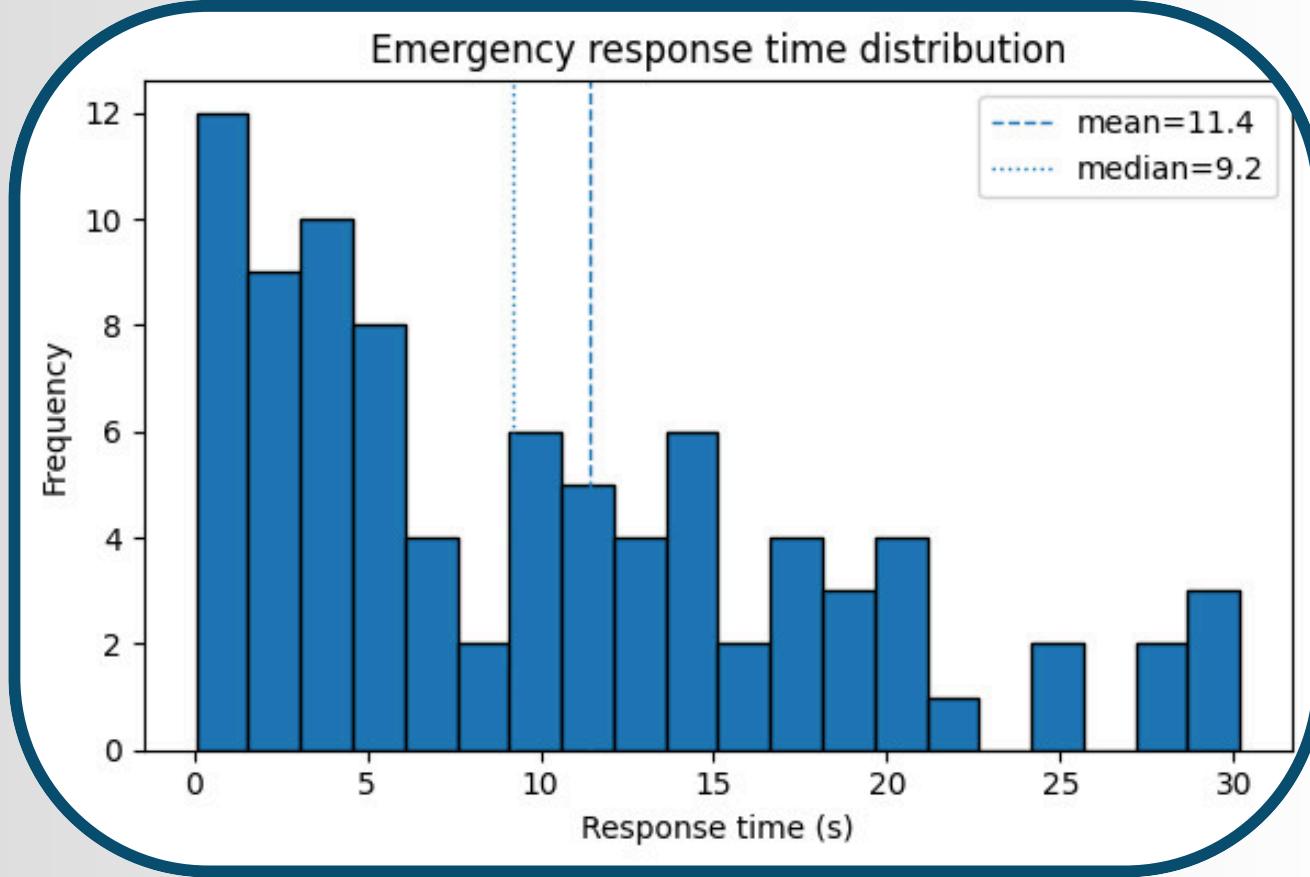
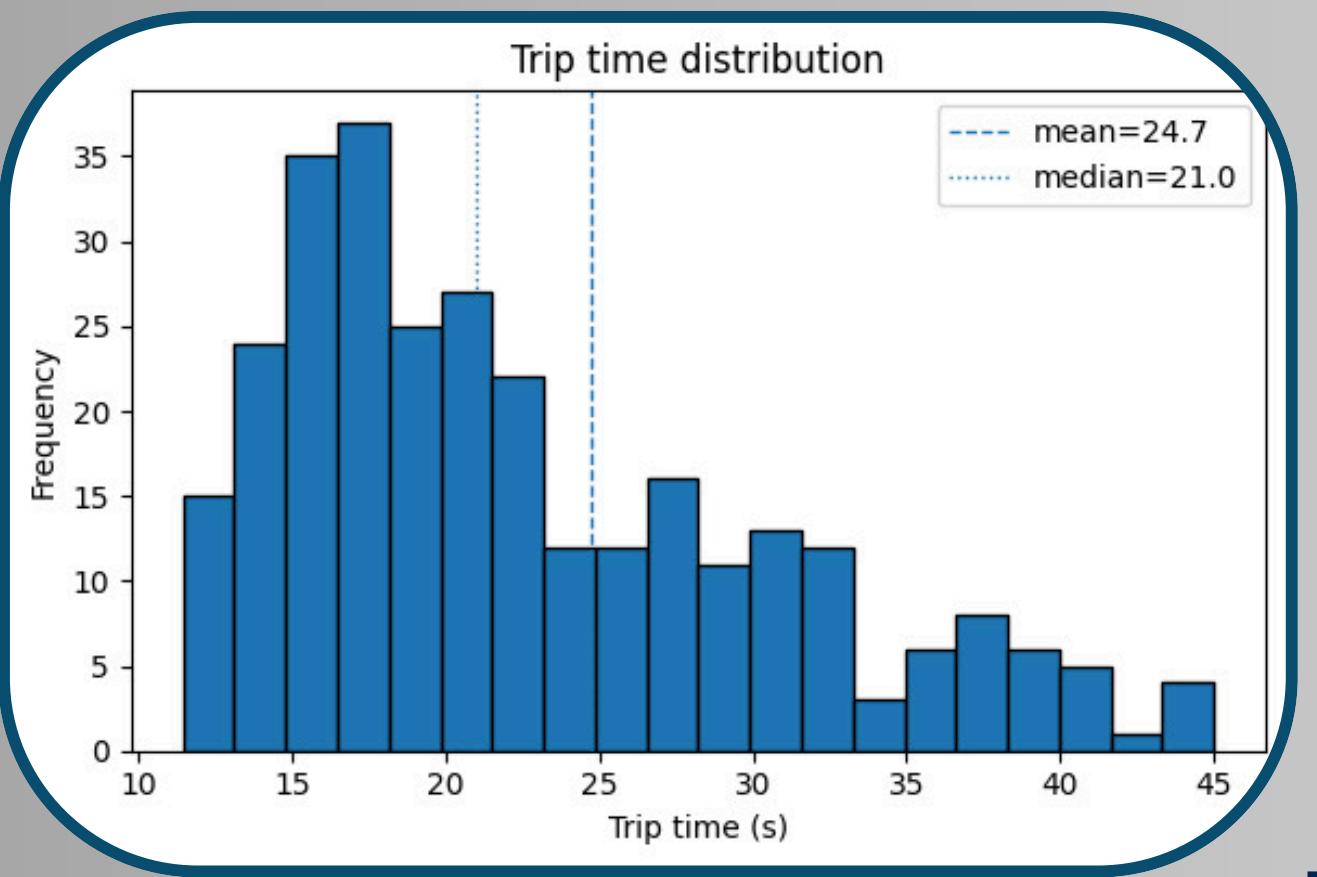
Cenários Avaliados

- **Tráfego normal** — veículos a circular sem incidentes;
- **Emergência ativa** — prioridade a um veículo de emergência;
- **Acidente/bloqueio** — evento que obriga veículos afetados a replanear;
- **Carga elevada** — maior número de veículos para observar congestão.

• Ambiente de Simulação

- Cidade representada em grelha (grafo NetworkX);
- Visualização em tempo real do estado dos agentes.





Análise dos Resultados

- Tempos de viagem estáveis, com valores típicos entre ~15-30s;
- Emergência com respostas significativamente mais rápidas, validando o A* adaptado e prioridade;
- Picos de tempo associados a bloqueios, mostrando funcionamento correto do replaneamento;
- Tempos de resposta da emergência variáveis, mas geralmente baixos, evidenciando adaptação eficaz a eventos dinâmicos.



Conclusões

- O sistema multi-agente revelou-se eficaz para uma gestão descentralizada de tráfego.
- A arquitetura modular demonstrou robustez e facilidade de expansão.
- As interações entre os diferentes agentes produziram comportamentos coerentes e realistas.
- A visualização em tempo real permitiu validar rapidamente o comportamento global do sistema.

Possíveis Melhorias

- Otimizar heurísticas e políticas de decisão dos semáforos;
- Testar cenários com múltiplas emergências simultâneas;
- Explorar técnicas de aprendizagem para decisão autónoma;
- Expandir e aprofundar o conjunto de métricas e dashboards de análise.

