

Agentes e Sistemas Multiagente em Sistemas de Transporte Inteligente

Universidade do Minho, Departamento de Informática
Braga, Portugal

Abstract. De uma forma sucinta, *Sistemas de Transporte Inteligente* (STI) consistem num conjunto de tecnologias que procuram melhorar a gestão de transportes, gestão de trânsito, bem como decisões individuais que podem auxiliar os condutores a uma melhor experiência no trânsito. Neste artigo será feita uma breve explicação dos STI, uma análise ao estado da arte neste assunto, casos de uso reais, bem como uma análise futura ao que poderá ser o futuro desta área e o impacto da mesma na sociedade. Adicionalmente será mencionada a importância de Agentes e Sistemas Multiagente nos *Sistemas de Transporte Inteligente*.

Keywords: Agentes · Sistemas de Transporte Inteligente · Sistemas Multiagente · Transportes

1 Introdução

Num contexto de crescente complexidade nas redes de transporte das cidades modernas, os responsáveis pelo tráfego enfrentam dificuldades na sua gestão eficiente e na resposta a situações de emergência, enquanto os condutores procuram uma experiência de condução mais segura e confortável, com navegação automática e previsão meteorológica[4].

Os *Sistemas de Transporte Inteligente* (STI) têm o potencial de oferecer soluções eficientes e inteligentes para a gestão do tráfego, identificação de ameaças e segurança para responsáveis de trânsito e condutores, especialmente quando são utilizados agentes e sistemas multiagente (ASMa). Isto permite aos gestores controlar sinais de trânsito, regular o fluxo de rotas e transmitir informações de tráfego em tempo real.

O objetivo deste artigo será investigar soluções para os desafios enfrentados pelos responsáveis pelo trânsito e condutores em diversos campos relacionados com o tráfego, bem como uma possível inclusão de STI, com principal relevância na aplicação de ASMa. Será também abordada a forma como os estes podem ser aplicados nos sistemas para melhorar a eficiência na gestão do tráfego e a experiência de condução dos condutores. Serão apresentados casos de estudo relevantes e será realizada uma análise aprofundada para identificar as potenciais contribuições e limitações dessas abordagens. Na Figura 1 é demonstrada, de uma forma geral, a forma como os dados nos STI são processados. Desde a coleção dos mesmos pelos sensores(agentes) até à tomada decisão, todas estas fases são importantes, pelo que a sequência das etapas deverá ser mantida.

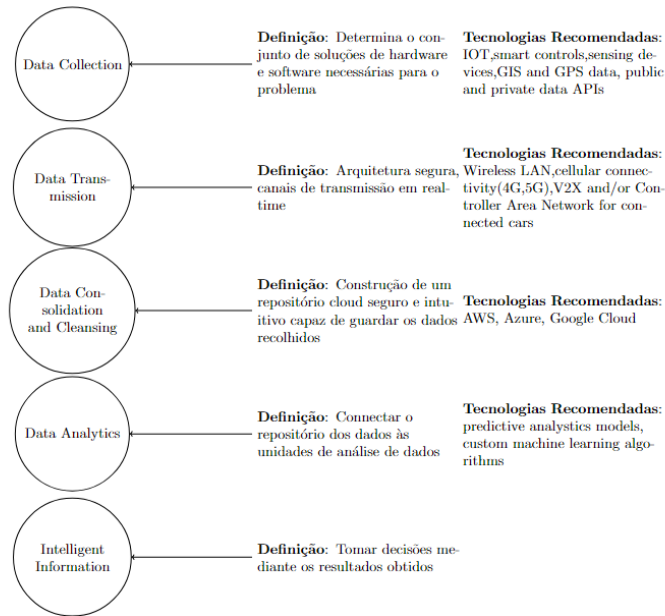


Fig. 1. Método de funcionamento de um Sistema de Transporte Inteligente.

2 Definição e caracterização do domínio de investigação

Agentes e Sistemas Multiagente constituem um campo de pesquisa interdisciplinar que combina conceitos da ciência da computação, inteligência artificial, teoria dos sistemas, entre outras disciplinas, com o objetivo de estudar entidades autónomas capazes de interagir entre si para alcançar objetivos individuais e/ou coletivos. Este tópico dedica-se à definição e caracterização deste domínio de investigação, fornecendo uma visão geral dos principais conceitos, desafios e aplicações.

Como demonstrado na Figura 2, um agente pode ser definido como uma entidade computacional ou física capaz de perceber o seu ambiente, processar informação e tomar decisões autónomas para atingir os seus objetivos. Um Sistema Multiagente é composto por múltiplos agentes que interagem entre si, com o ambiente partilhado, colaborando ou competindo para alcançar objetivos individuais e/ou coletivos.

Os Transportes Inteligentes representam uma aplicação específica e crucial do campo interdisciplinar de Agentes e Sistemas Multiagente, conforme definido e caracterizado no âmbito da pesquisa científica. Conforme descrito por [7], Agentes e Sistemas Multiagente são entidades autónomas capazes de interagir entre si para alcançar objetivos individuais e/ou coletivos.

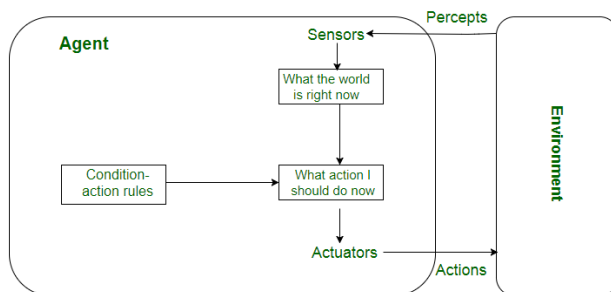


Fig. 2. Representação gráfica de um agente.

2.1 Porquê o uso de Sistemas Multiagente?

A aplicação de Sistemas Multiagente em *Sistemas de Transporte Inteligente* é fundamental devido à complexidade e interconexão dos elementos envolvidos. Nos *Sistemas de Transporte Inteligente*, onde a integração de tecnologias digitais é crucial para melhorar a mobilidade urbana e a qualidade de vida dos cidadãos, os Sistemas Multiagente oferecem uma abordagem adaptativa e descentralizada para lidar com os desafios que surgem diariamente.

Ao permitir a comunicação e coordenação entre uma variedade de entidades autónomas, como veículos conectados, sistemas de monitorização de tráfego, plataformas de partilha de viagens e infraestrutura de transporte inteligente, os Sistemas Multiagente possibilitam a tomada de decisões ágeis e informadas em tempo real, como podemos ver no topo da pirâmide da Figura 3. Isso facilita a otimização de diversos aspectos do sistema de transporte, incluindo a redução de congestionamentos, a melhoria da segurança rodoviária, a redução das emissões de poluentes e a otimização da utilização da infraestrutura existente. Como podemos observar na Figura 3, a comunicação entre os sensores e os STI (topo da pirâmide) é crucial para o funcionamento em tempo real dos mesmos.

Além disso, os Sistemas Multiagente são capazes de aprender e de se adaptarem às mudanças nas condições de tráfego e nas preferências dos utilizadores, promovendo a eficiência e a resiliência do sistema de transporte a longo prazo. Eles podem ajudar na gestão dinâmica do tráfego, na previsão da procura, na definição de rotas inteligentes e na coordenação de diferentes modos de transporte, como autocarro, metro, bicicletas partilhadas e carros autónomos.

2.2 Características Fundamentais:

- **Autonomia:** Os agentes têm autonomia para agir independentemente, baseados nas suas perceções e objetivos.
- **Heterogeneidade:** Os agentes podem ter diferentes habilidades, objetivos e estratégias.

- **Interatividade:** Os agentes interagem entre si e com o ambiente, trocando informações e influenciando-se uns aos outros.
- **Adaptabilidade:** Os agentes podem adaptar-se dinamicamente às mudanças no ambiente ou nas condições de operação.
- **Inteligência:** Os agentes são dotados de algum nível de inteligência para tomar decisões.

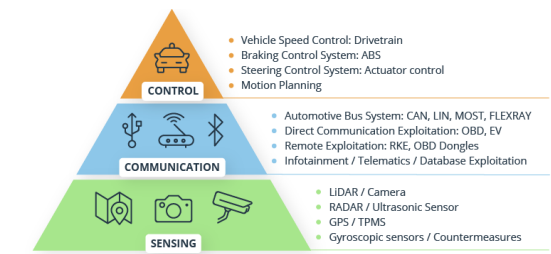


Fig. 3. Hierarquia de conceitos inerentes aos transportes inteligentes.

2.3 Domínios de Aplicação:

Esses sistemas têm encontrado aplicação em diversas áreas, contribuindo para a modelagem e simulação de comportamentos complexos. Apresentamos de seguida algumas áreas que utilizam e de alguma forma tiram proveito destes sistemas:

- Cidades e espaços inteligentes
- Finanças e Mercados Financeiros
- Gestão de energia
- **Transportes Inteligentes**
- Ambiente e sustentabilidade
- Sistemas de saúde
- Design de Produtos

A escolha do tema dos Transportes Inteligentes para o nosso trabalho é motivada por razões fundamentais que refletem não apenas o interesse, mas também a relevância e a importância deste campo de estudo.

Como resposta ao aumento da urbanização, congestionamento do tráfego e preocupações ambientais, os Transportes Inteligentes emergem como uma solução inovadora e promissora. Através da estatística fornecida por [17], como é perceptível na Figura 4, existe um crescente número de carros produzidos, bem como vendidos. Isto leva a uma maior procura na utilização das estradas e, conseqüentemente, maior tempo perdido pelos condutores no trânsito devido ao aumento da congestão.

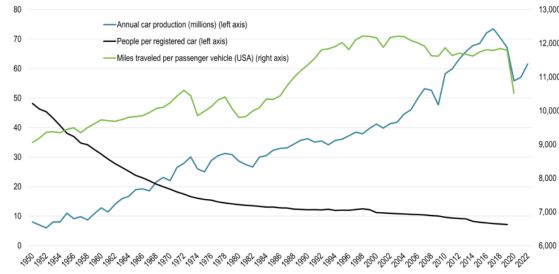


Fig. 4. Gráfico indicativo do uso de veículos ao longo do tempo.

Ao incorporar tecnologias como veículos autônomos, sistemas de comunicação e análise de dados, este domínio visa transformar a maneira como nos deslocamos, tornando os sistemas de transporte mais eficientes, seguros e sustentáveis. Esta introdução destaca a importância crescente dos Transportes Inteligentes como um campo interdisciplinar vital para enfrentar os desafios contemporâneos da mobilidade urbana e rodoviária.

2.4 Fundamentos Tecnológicos

No que toca ao domínio analisado neste trabalho de investigação, alguns exemplos de fundamentos tecnológicos dos Agentes e Sistemas Multiagente utilizados são:

- **Inteligência Artificial (IA):** A inteligência artificial é a capacidade que uma máquina tem para reproduzir competências semelhantes às humanas como é o caso do raciocínio, da aprendizagem, do planeamento e da criatividade [14]. É a Inteligência Artificial que, quando associada a agentes, lhes fornece a capacidade de, com base na informação que recebem (maioritariamente dados ambientais, no que toca ao domínio analisado) de sensores consigam processar esta informação e assim aprender e tomar decisões.
- **Internet Of Things (IoT):** A *Internet of Things*, como o próprio nome indica define uma rede de objetos físicos (*"things"*) que neles têm incluído sensores e outro tipo de tecnologias com o intuito de coletar dados e partilhar os mesmos com outros dispositivos ou sistemas na internet [15]. A IoT é bastante utilizada de modo a recolher, em tempo real, dados das estradas tais como de semáforos. Estes dados são partilhados entre os agentes presentes nos Sistemas Multiagente e assim, ajudam na tomada de decisões coletivas que contribuem para o objetivo geral do sistema.
- **Redes de Sensores Sem Fio (RSSF):** O termo RSSF designa a interligação de um determinado número de equipamentos que usufruem de sensores com capacidade de observar o meio físico, podendo ou não conter

certos mecanismos (conhecidos como atuadores) com capacidade de interagir com o ambiente [16]. Estas redes são, à semelhança da IoT, diversas vezes utilizadas para recolher dados rodoviários de sensores distribuídos. São desta forma utilizados pelos Sistemas Multiagente para efetuar uma monitorização do estado da via em questão e aplicar métricas em tempo real, baseadas nos dados recolhidos.

- **Computação em Nuvem:** Este paradigma de computação é utilizado para armazenar e processar grandes volumes de dados ambientais recolhidos quer pelos sensores IoT, quer pelas RSSF.
- **Tecnologias de Comunicação:** A comunicação entre agentes é um dos aspetos mais importantes no que toca a Sistemas Multiagente. De modo a garantir a comunicação, são utilizadas tecnologias de comunicação como a internet, a rede móvel, bluetooth, entre outras. É assim assegurada a transmissão de dados rodoviários em tempo real, o que permite, tal como os restantes fundamentos tecnológicos enunciados anteriormente, que os agentes tomem decisões em conjunto de acordo com o objetivo do sistema.

3 Análise de Estado de Arte

De modo a melhor compreender a aplicação prática de Agentes e Sistemas Multiagente no domínio em estudo, apresenta-se de seguida uma investigação de potenciais casos e posteriormente de experiências existentes na literatura científica juntamente com uma tentativa de avaliação de cada um deles. É expectável que a tecnologia que recorre a agentes e sistemas multiagente ajude a perceber e a melhorar o design no caso de estudo principalmente pelos seguintes aspetos :

- O domínio do problema é geograficamente distribuído.
- Os subsistemas existem num domínio dinâmico.
- Os subsistemas necessitam de interagir entre eles de uma forma flexível.

3.1 Aplicação de tecnologias de ASMa no que toca ao domínio

Analisando a gestão de trânsito e transporte, as características dos agentes que maior impacto têm são a autonomia, a colaboração e a reatividade. Baseando-nos no facto de que os agentes conseguem atuar sem a intervenção direta de humanos, é possível que estes ajudem a implementar sistemas automatizados de controlo e gestão de trânsito em diversos contextos. A nossa pesquisa bibliográfica mostra que as técnicas e métodos resultantes do campo de sistemas de agentes têm sido aplicadas em muitos aspetos de sistemas de tráfego e transporte, incluindo modelação e simulação, controlo e gestão de tráfego inteligente, *routing* dinâmico, colaboração entre motoristas, e suporte à decisão. Após realizar uma pesquisa verificamos que existem diversas aplicações de agentes em sistemas de transporte inteligentes.

ASMa em plataformas de gestão de tráfego[2]

A utilização de abordagens baseadas em agentes é uma área promissora no desenvolvimento de sistemas de gestão de tráfego. Ao utilizar agentes inteligentes que têm a capacidade de colaborar e responder de forma reativa às mudanças do ambiente, as plataformas de gestão de tráfego conseguem alcançar um nível de eficiência e adaptação superior. Neste contexto, será explorado como as tecnologias baseadas em agentes são aplicadas na concepção de sistemas inovadores de gestão de tráfego. Esta abordagem visa não só otimizar o fluxo do tráfego, mas também melhorar a segurança, reduzir congestionamentos e promover uma mobilidade mais sustentável.

Agents TRACK-R [3] O sistema TRACK-R é uma plataforma inteligente e dinâmica que integra uma rede de agentes TRACK-R (Traffic Agent City for Knowledge-based Recommendation) com o objetivo de oferecer soluções avançadas para a gestão de tráfego. Cada agente TRACK-R é programado para analisar dados de tráfego em tempo real, incluindo padrões de movimento de veículos, condições meteorológicas e eventos de tráfego, dentro de uma área geográfica específica.

Esses agentes utilizam algoritmos sofisticados de análise e processamento de dados como árvores de decisão para avaliar a situação atual do tráfego e gerar recomendações personalizadas de rotas para os utilizadores. As recomendações podem incluir desvios alternativos para evitar congestionamentos, rotas mais rápidas com base na velocidade média do trânsito, ou até mesmo sugestões para evitar áreas propensas a acidentes ou obras.

Uma das principais vantagens do TRACK-R é a sua capacidade de adaptação às condições em constante mudança nas vias urbanas. Os agentes são projetados para atualizar as recomendações em tempo real, com base em informações atuais sobre o tráfego e eventos imprevistos, garantindo que os utilizadores recebem as melhores orientações possíveis para a sua viagem. Estes agentes podem ser incluídos em aplicações de transporte público para fornecer aos utilizadores informações sobre atrasos nos transportes públicos, ou aplicações de GPS avisando sobre constrangimentos no trânsito.

ASMA no transporte rodoviário[2]

Os maiores desafios que o transporte rodoviário enfrenta nos dias de hoje é o aumento da congestão de tráfego, acidentes, atrasos no transporte e emissões de poluentes pelos veículos. Segundo dados obtidos pela Universidade do Texas [22], os gastos de congestionamento (tempo e combustível) no trânsito aumentou de **16.7 bilhões em 1982** para **87.2 bilhões em 2007**. Para diminuir este problema e para evitar o crescente no trânsito a solução pode ser construir novas infraestruturas ou aplicar novas tecnologias para usar as infraestruturas existentes de uma forma eficiente e efectiva. É perceptível que as oportunidades para construir novas infraestruturas estão a diminuir muito pelo facto dos preços elevados, impactos ambientais e limitações de espaço.

CORTESIUS-Gestão de Tráfego em autoestradas [5] O primeiro es-

tudo, realizado por Logi e Ritchie, chamado CORTESIUS, investiga a gestão do congestionamento de tráfego em autoestradas e itinerários principais (IP). O sistema consiste em dois agentes de suporte à decisão em tempo real que interagem: um agente de autoestrada e um agente IP, para análise de congestão e geração de respostas adequadas. Estes agentes recolhem dados a partir de sensores instalados nas vias. O agente de autoestrada suporta operações de gestão de incidentes para uma sub-rede de autoestrada, enquanto o agente IP suporta operações para as estradas da rede adjacente. Ambos os agentes recebem continuamente dados de tráfego em tempo real. Estes dados são transmitidos para um centro de operação de tráfego, onde se encontram operadores humanos. Através de uma análise dos dados de entrada e interação com um operador humano em centros de operações de tráfego locais (TOCs), cada agente gera planos de controlo local adequado, com o objetivo de reduzir o impacto do trânsito a um nível local. Estes planos podem passar por restrições de velocidade, indicação de desvios através de sinais de mensagem variável devido a congestionamento na rota ou até solicitação de emergência em caso de acidente ou problemas na estrada.

ASMa no controlo e gestão do tráfego aéreo[2]

Dada a distribuição geográfica e funcional, bem como a natureza altamente dinâmica do controlo de tráfego aéreo, este é um candidato ideal para a aplicação de sistemas multiagente, com várias aplicações potenciais, como a prevenção de colisões e a gestão do fluxo de tráfego aéreo.

OASIS[6]

Um exemplo prático é o sistema OASIS (Optimal Aircraft Sequencing Using Intelligent Scheduling), um sistema orientado a agentes em tempo real desenvolvido para apoiar a gestão do tráfego aéreo. O OASIS é uma solução avançada que distribui as responsabilidades de gestão de tráfego aéreo entre duas classes de agentes: os **agentes de aeronave** e os **agentes globais**.

Os **agentes de aeronave** são responsáveis por acompanhar e coordenar o movimento das aeronaves que estão prestes a chegar a um aeroporto. Estes realizam cálculos e tomam decisões relevantes para garantir uma abordagem segura e eficiente para cada aeronave individual. Por exemplo, são capazes calcular o tempo de aterragem ideal de uma aeronave com base nas condições atuais do tráfego, nas capacidades da pista de aterragem e nas condições atmosféricas. Estas informações são transmitidas aos agentes globais para garantir uma coordenação eficaz.

Por outro lado, os **agentes globais** têm a responsabilidade de coordenar e raciocinar sobre as interações entre as diversas aeronaves. São responsáveis por supervisionar o espaço aéreo e as pistas de pouso, garantindo que as aeronaves sejam sequenciadas de forma a maximizar a utilização da pista e evitar congestionamentos. Além disso, podem tomar decisões estratégicas, como ajustar as rotas de voo das aeronaves para evitar conflitos de tráfego. Estes trocam informações com os agentes de aeronaves e coordenam suas ações para garantir uma gestão eficiente e segura do tráfego aéreo.

A gestão do conhecimento do tráfego aéreo tem uma importância fulcral para o controlo e gestão do tráfego aéreo. Segundo [1], uma escritora destaca as limitações dos sistemas atuais e propõe um planeamento livre de conflitos para o tráfego aéreo, apoiado por uma arquitetura baseada em agentes de sistemas de suporte à decisão distribuídos (DDSs) integrados em aeroportos, companhias aéreas e controlo de tráfego aéreo.

Essa coordenação e partilha adequada do conhecimento do tráfego aéreo pelas três partes garantem o uso do espaço aéreo sem conflitos antes da decolagem de uma aeronave, monitorizam os voos em tempo real e garantem que durante os voos não há conflitos e há uma utilização eficiente do espaço aéreo. Isto significa que as informações sobre o tráfego aéreo são partilhadas entre aeroportos, companhias aéreas e o controlo de tráfego aéreo, com um objetivo comum: utilização mais eficiente do espaço aéreo e sem colisões. Esta abordagem baseada em agentes permite uma gestão mais eficiente e adaptativa do tráfego aéreo, melhorando a segurança e eficiência do sistema como um todo.

ASMA no transporte ferroviário[2]

O agendamento ferroviário era tradicionalmente modelado utilizando tecnologias clássicas, como pesquisa operacional e programação por restrições. Essas tecnologias são adequadas para modelar situações estáticas onde a informação é completa. No entanto, possuem limitações como a capacidade de lidar com a dinâmica e a incerteza da gestão do tráfego de comboios.

O sistema de controlo ferroviário multiagente projetado por [7] é uma abordagem inovadora para gerir e otimizar o tráfego em redes ferroviárias. Ele é dividido em dois subsistemas principais: controlo e aprendizagem.

O subsistema de controlo é responsável pela gestão do tráfego e orientação na rede ferroviária. Ele consiste em três tipos de agentes:

- **Supervisor:** Este agente supervisiona e coordena as operações gerais do sistema ferroviário. Ele pode tomar decisões de alto nível, como reconfiguração da rota de comboios em caso de emergências ou congestionamentos.
- **Comboio:** Os agentes de comboio representam os próprios comboios na rede. Eles estão encarregados de seguir as rotas designadas, respeitar as regras de tráfego e responder a comandos do agente supervisor.
- **Estação:** Os agentes de estação são responsáveis por controlar o tráfego em estações específicas. Eles coordenam a entrada e saída de comboios, garantindo que as operações sejam realizadas de forma eficiente e segura

O subsistema de Aprendizagem tem como objetivo analisar descrições de situações passadas e inferir regras que possam antecipar conflitos entre comboios, bem como melhorar os processos de controlo de tráfego. Isto é feito por meio da análise de dados históricos de operação da rede ferroviária, identificando padrões e tendências que podem ser utilizados para prever e evitar problemas futuros.

4 Casos de uso reais

Existem alguns casos de uso reais de agentes em Sistemas de Transporte Inteligente como:

4.1 An Agent-Based Simulation to Explore Communication in a System to Control Urban Traffic with Smart Traffic Lights

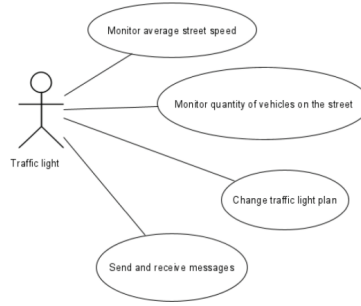
Esta experiência[11] realizada por 4 estudantes, tinha como principal objetivo a simulação de um Sistema de Tráfego utilizando um Sistema Multiagente, que fosse capaz de coordenar o trânsito através da gestão de semáforos de uma área selecionada. Esta simulação foi realizada recorrendo da plataforma **SUMO-Simulation of Urban Mobility** que é uma ferramenta que permite simular sistemas de trânsito definindo estradas, semáforos entre outras estruturas. A simulação foi realizada utilizando como cidade experimental a cidade de Quixadá, Ceará, Brasil. Na figura abaixo está a representação da cidade na plataforma.



Fig. 5. Representação da cidade .

Para a inclusão de um Sistema Multiagente foi utilizada a API **TraSMAPI**, que permite simular o comportamento do ambiente e o uso de vários agentes. A solução proposta seria a introdução de semáforos inteligentes que contribuíssem para a redução do tempo de viagem, um melhor fluxo do tráfego e uma diminuição no trânsito. Os agentes utilizados no contexto possuíam detetores de tráfego para observar o ambiente. Cada sensor foi instalado automaticamente nas faixas que dão acesso ao semáforo em questão. Através dos sensores, os agentes (Figura 6) conseguem observar a congestão de tráfego, tomar decisões mediante isso e ajustar os intervalos entre as luzes. O detetor utilizado foi colocado no início e no fim da estrada a ser monitorizada, para ser permitido saber o momento exato a que um carro chega e abandona a estrada. Isto é importante para calcular o tempo que um carro demora a completar o caminho monitorizado pelos detetores. Esta informação avalia a performance da estrada.

Os sensores monitorizam o tráfego e calculam a eficiência dos semáforos, determinando o tempo mínimo para veículos passarem. O algoritmo do semáforo ajusta as luzes com base nesses dados, garantindo o fluxo de tráfego mais fluido.

**Fig. 6.** Diagrama de um agente.

Os dados dos sensores são usados para calcular índices de eficiência e ajustar as luzes de acordo com o fluxo de tráfego.

Simulação: Foram utilizadas 3 tipos de simulações, sendo que cada uma delas foi realizada 10 vezes:

- S1- Estática - Sem agentes
- S2- Agentes sem Comunicação
- S3- Agentes com Comunicação

Simulação	Duração (steps)	Parado	Em viagem
S1	1473	93	1380
S2	1454	105	1349
S3	1438	93	1345

Table 1. Resultados obtidos para as diferentes simulações.

Como é possível observar na Tabela 1, as simulações do tipo S3 obtiveram o menor tempo médio de viagem entre os três tipos de simulação. O objetivo da análise das três simulações realizadas é comparar a diminuição do tempo médio de viagem nos modelos. Na comparação, foi perceptível que o modelo S3 é aquele que obtém o menor tempo médio de viagem dos veículos, reduzindo o tempo de viagem em aproximadamente 3% em comparação com a simulação S1. Este facto aponta para a comunicação entre os agentes como um fator que faz com que o tráfego ocorra da melhor forma, com uma redução no tempo total apontando para o menor número de paragens, e permitindo que os carros mantenham velocidade constante por mais tempo.

4.2 Insights into carsharing demand dynamics: Outputs of an agent-based model application to Lisbon, Portugal

[18]

Esta pesquisa assenta no tema de *carsharing* (carsharing é um modelo de aluguer de veículos em que o cliente aluga o carro pela quantidade de horas que precisa, ou seja, especificamente para o uso rápido[19]). Tendo em conta que grande parte dos automóveis apenas transportam uma pessoa [20] e alguns até são usados menos de uma hora por dia, a implementação de *carsharing* poderia ser uma ideia vantajosa. O modelo em causa, baseado em agentes foi aplicado à cidade de Lisboa, e incorpora um modelo de procura de carros o mais próximo da realidade possível. Existem dois tipos de *carsharing* : **carsharing de ida e volta** em que os utilizadores devem devolver o carro ao ponto de partida ou **carsharing só de ida** em que os utilizadores podem deixar o carro em qualquer lugar dentro das áreas designadas. Os programas de ida e volta são muito mais comuns. Existe uma falta de modelos que representem de uma forma adequada a oferta e a procura. O modelo proposto pelos investigadores é a modelação baseada em agentes **ABM**. O principal objetivo da investigação em causa seria propor um novo **ABM** capaz de entender a relação entre a oferta e a procura.

Modelo O ABM que foi proposto no artigo simula a um hipotético sistema de carsharing em Lisboa, Portugal. Quase três milhões de pessoas vivem na Área Metropolitana de Lisboa (AML), 550 mil das quais na cidade de Lisboa. Todos os dias mais de 400 mil pessoas viajam para Lisboa para trabalhar ou estudar [21]. O modelo considera a população e os padrões de mobilidade de Lisboa, utilizando dados reais para caracterizar a rede rodoviária, os tempos de viagem, a localização e capacidade das estações de carsharing. A procura é modelada com base num inquérito de mobilidade realizado em Lisboa, que fornece informações detalhadas sobre viagens dentro da cidade. Os utilizadores do sistema de *carsharing* são gerados a partir das viagens potenciais identificadas pelo modelo de procura. Estes escolhem uma estação de partida e uma de destino, com base na disponibilidade de veículos e vagas de estacionamento. Se não houver estações disponíveis a uma distância razoável, os utilizadores optam por outro modo de transporte. Após a escolha da estação, os utilizadores caminham até lá e iniciam a viagem de carro. Ao chegarem à estação de destino, o preço da viagem é calculado. Inicialmente os carros são distribuídos de uma forma proporcional à capacidade das estações. Os funcionários da empresa são responsáveis pela manutenção e realocação dos carros. Estes são alocados a um dos armazéns da empresa e a um turno de trabalho no início da simulação.

Resultados O modelo gera aproximadamente 1.140.000 viagens por dia dentro de Lisboa, das quais cerca de 34.000 são potenciais viagens de carsharing (representando 3% do total). Destas viagens potenciais, aproximadamente 85% foram atendidas pelo sistema de *carsharing*, enquanto 13% optaram por outro modo de transporte após não encontrarem veículos disponíveis nas estações próximas, e 2% foram forçadas a escolher outro modo depois de caminharem até a estação mais próxima e não encontrarem carros lá.

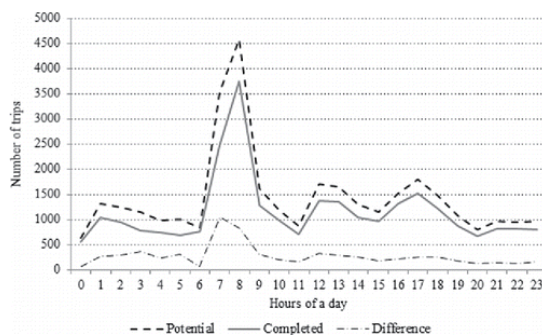


Fig. 7. Distribuição das viagens ao longo do dia.

Cada veículo de carsharing foi utilizado em média 13 vezes por dia, mas esteve ocupado apenas 12% do tempo. Isso ocorre principalmente devido à curta distância das viagens, com uma média de 4,1 km em 9,4 minutos, resultando em um custo médio de cerca de 3€. O tempo médio de acesso a pé é de 8,9 minutos, então os utilizadores completam a viagem em 18,3 minutos. A distribuição das viagens durante o dia é desigual, atingindo um pico significativo por volta das 8h, perto da hora do almoço e às 17h, como podemos observar na Figura 7

Como esperado, o Carsharing induz mudanças no quotidiano dos utilizadores. Cerca de 40% dos utilizadores de carsharing anteriormente locomoviam-se a pé, 26 % usavam carro particular, 22% utilizava autocarro e 10% utilizava metro, enquanto que apenas 2% usavam táxi. Surpreendentemente, o carsharing compete mais com carros particulares e transporte público do que com táxis.

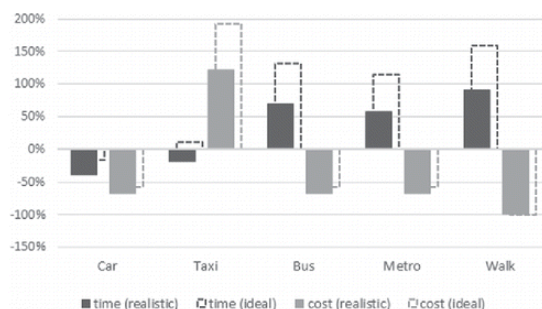


Fig. 8. Carsharing Realista e Ideal comparado a outros modos.

Como é possível observar na Figura 8, o *carsharing* tem um desempenho pior que o carro privado em termos de tempo e custo. No entanto, supera os táxis em termos de tempo e o autocarro, o metro e a caminhada em termos

de tempo. Apesar de todo o trabalho realizado, ainda há aspetos a melhorar, mencionaram os responsáveis da investigação.

5 Reflexões gerais sobre o Tema

Neste contexto, é essencial analisar as vantagens, desafios e perspectivas futuras dos STIs para compreender plenamente o seu impacto e potencial na melhoria da mobilidade urbana. Neste ponto, serão apresentadas reflexões gerais sobre o tema, destacando as principais vantagens, desafios e considerações sobre o futuro dos Sistemas de Transporte Inteligente.

5.1 Vantagens

Segundo [10] os STI oferecem uma gama de vantagens significativas na gestão e eficiência do transporte urbano, tais como:

- **Gestão global dos fluxos de tráfego em todos os tipos de viagens** - Com uma grande visibilidade e controlos detalhados, os operadores logísticos podem gerir precisamente o tráfego e prevenir a congestão através de um planeamento inteligente, agendamento e controlos em tempo real com o uso de agentes.
- **Redução de acidentes rodoviários** - Os acidentes de trânsito rodoviário tiram milhares de vidas humanas por ano em todo o mundo. As lesões resultantes de eventos rodoviários custam aproximadamente 2% do produto interno bruto nos países da União Europeia [10]. A gestão de tráfego e os sistemas de transporte inteligentes podem reduzir o número de mortes através da implementação de controlos direccionados contra o excesso de velocidade e a condução distraída.
- **Decréscimo progressivo das emissões** - A maioria dos países comprometeu-se com metas de emissões líquidas zero. O transporte representa um quinto das emissões globais de CO₂, e as viagens de passageiros representam 60% [10] das emissões totais de transporte. Uma melhor gestão de tráfego pode reduzir a congestão em áreas urbanas e, assim, reduzir a poluição. Além disso, a introdução de opções de transporte público mais inteligentes pode incentivar mais utilizadores de estradas a optar por meios de transporte alternativos, incluindo aqueles alimentados por energias renováveis.
- **Melhor gestão da capacidade** - Um sistema de transporte inteligente pode fornecer aos gestores uma visão consolidada dos fluxos de tráfego para que possam desenvolver rotas mais eficazes, promover o uso de serviços de transporte público através de sistemas de informação multimodal para viajantes (TISs) e adicionar serviços de mobilidade inovadores ao repertório de transporte inteligente.

5.2 Desafios e Limitações

Apesar das vantagens, os STI enfrentam diversos desafios e limitações. Em primeiro lugar, a implementação dessas tecnologias requer um investimento significativo em infraestrutura e equipamentos, o que pode ser um obstáculo financeiro para muitos países. Além disso, questões relacionadas à privacidade e segurança dos dados surgem com a recolha em larga escala de informações sobre o comportamento dos utilizadores. A interoperabilidade entre diferentes sistemas e a padronização dos protocolos de comunicação também representam desafios técnicos importantes. Além disso, a dependência excessiva de tecnologias pode aumentar a vulnerabilidade a falhas e ataques cibernéticos, exigindo medidas robustas ao nível segurança.

5.3 Futuro dos Sistemas de Transporte Inteligente

O futuro desta área é promissor, com perspectivas de avanços significativos nas áreas de automação, conectividade e sustentabilidade. Prevê-se uma maior integração entre veículos autónomos e infraestruturas inteligentes, possibilitando uma condução mais segura e eficiente. Além disso, o desenvolvimento de algoritmos avançados de otimização e previsão promete melhorar ainda mais a gestão do tráfego e reduzir os tempos de viagem. No âmbito da sustentabilidade, espera-se um aumento na adoção de veículos elétricos, impulsionando a transição para um transporte mais limpo e sustentável. No entanto, é crucial enfrentar os desafios existentes e garantir que os benefícios dos STI sejam acessíveis a todos os segmentos da sociedade, promovendo assim uma mobilidade urbana mais inclusiva e equitativa.

6 Conclusão

Concluimos que os Agentes e Sistemas Multiagente (ASMa) representam uma abordagem promissora para melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade dos sistemas de transporte. Através da autonomia, colaboração e reatividade dos agentes, é possível otimizar a gestão do tráfego, reduzir congestionamentos e prevenir acidentes, promovendo uma mobilidade mais eficiente e sustentável.

No entanto, embora os ASMa ofereçam benefícios significativos, é importante reconhecer que ainda há desafios a serem superados. A integração de tecnologias emergentes, como veículos autónomos e Internet das Coisas (IoT), pode ampliar a capacidade de resposta e eficiência dos sistemas de transporte inteligentes baseados em agentes, mas requer cuidadosa consideração e implementação.

Em suma, os ASMa têm o potencial de transformar os sistemas de transporte, mas é essencial continuar a avaliar o seu desempenho e impacto em ambientes do mundo real. Investir em pesquisas e experiências para validar essas soluções em larga escala e em diferentes contextos urbanos e rodoviários é fundamental para maximizar os seus benefícios e enfrentar os desafios futuros da mobilidade.

References

1. B. N. Iordanova, "Air traffic knowledge management policy", *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 146, no. 1, pp. 83-100, Apr. 2003. Consultado em 9 de março de 2024.
2. Chen, Bo, and Harry H. Cheng. "A review of the applications of agent technology in traffic and transportation systems." *IEEE Transactions on intelligent transportation systems* 11.2 (2010): 485-497. Consultado em 9 de março de 2024
3. Garcia-Serrano, A. M., et al. "FIPA-compliant MAS development for road traffic management with a knowledge-based approach: The TRACK-R agents." *Proc. Challenges Open Agent Syst. Workshop*. 2003. Consultado em 9 de março de 2024
4. Jin, Junchen, and Xiaoliang Ma. "A multi-objective agent-based control approach with application in intelligent traffic signal system." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 20.10 (2019): 3900-3912. Consultado em 6 de março de 2024
5. Logi, Filippo, and Stephen G. Ritchie. "A multi-agent architecture for cooperative inter-jurisdictional traffic congestion management." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 10.5-6 (2002): 507-527. Consultado em 9 de março de 2024
6. M. Ljungberg and A. Lucas, "The OASIS air traffic management system", *Proc. 2nd Pacific Rim Int. Conf. Artif. Intell.*, 1992. Consultado em 9 de março de 2024
7. H. Proenca and E. Oliveira, "MARCS Multi-agent railway control system", *Proc. IBERAMIA Advances in Artificial Intelligence*, vol. 3315, pp. 12-21, 2004. Consultado em 9 de março de 2024.
8. Alvares, Luis Otavio, and Jaime Simão Sichman. "Introdução aos sistemas multiagentes." *XVII Congresso da SBC-Anais JAI*. Vol. 97. No. 6. 1997. Consultado em 8 de março de 2024.
9. Cunha, F., et al. "Sistemas de transporte inteligentes: Conceitos, aplicações desafios." *Livro de Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'17)* (2017): 59-103. Consultado em 8 de março de 2024.
10. Group, B.C., Forum, W.E. and Research, C. (2024) Implementing an intelligent transportation system: A bottom-up approach to value creation, Intellias. Available at: <https://intellias.com/implementing-intelligent-transportation-system/> Consultado em 11 de março de 2024.
11. de Oliveira, Marcos, et al. "An agent-based simulation to explore communication in a system to control urban traffic with smart traffic lights." (2021). Consultado em 7 de março de 2024.
12. Sandhu, Sabhijiit Singh, et al. "Agent based intelligent traffic management system for smart cities." *International journal of smart home* 9.12 (2015): 307-316. Consultado em 7 de março de 2024.
13. Imane, Chakir, Mohamed El Khaïli, and Mohamed Mestari. "Multi-Agent Traffic Management System for Emergency Vehicle." *2022 2nd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*. IEEE, 2022. Consultado em 7 de março de 2024.
14. Parlamento Europeu. (2021). O que é a inteligência artificial e como funciona?. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20200827STO85804/oque-e-a-inteligencia-artificial-e-como-funciona> Consultado em 10 de março de 2024
15. ORACLE. What is IoT?. <https://www.oracle.com/pt/internet-of-things/what-is-iiot/> Consultado a 8 de março de 2024
16. Afinal o que é uma rede de sensores sem fios? (Parte I). pplware, SAPO. (2015). <https://pplware.sapo.pt/tutoriais/networking/afinal-o-que-e-uma-rede-de-sensoressem-fios-parte-i/> Consultado a 10 de março de 2024

17. "Vehicle Use Indicators, World, 1950-2022" The Geography of Transport Systems, 29 Oct. 2017, transportgeography.org/contents/chapter1/what-is-transport-geography/world-vehicle-use-indicators/. Consultado a 11 de março de 2024
18. Martínez, L. Miguel, et al. "Insights into carsharing demand dynamics: Outputs of an agent-based model application to Lisbon, Portugal." *International Journal of Sustainable Transportation* 11.2 (2017): 148-159. Consultado a 10 de março de 2024
19. Kent, Jennifer L. "Carsharing as active transport: What are the potential health benefits?." *Journal of Transport & Health* 1.1 (2014): 54-62. Consultado a 9 de março de 2024
20. Shaheen, Susan, Daniel Sperling, and Conrad Wagner. "Carsharing in Europe and North American: past, present, and future." (2001). Consultado a 10 de março de 2024
21. Ine, I. P. "Censos 2011 resultados definitivos-Portugal." Lisboa-Portugal: Instituto Nacional de Estatística, IP (2012). Consultado a 10 de março de 2024
22. D. Schrank and T. Lomax, 2009 urban mobility report, 2009. Consultado a 10 de março de 2024