

Agentes e Sistemas Multiagente em problemas de Poluição Ambiental

Universidade do Minho, Departamento de Informática
Braga, Portugal

Abstract. Dada a crescente preocupação em implementar medidas ambientais que protejam ecossistemas e reduzam os efeitos negativos que o ser humano teve neles ao longo dos séculos, surgiram, em diversas áreas, entidades com a motivação de contrariar estes estragos através de diversas medidas de prevenção, controlo, etc. É devido a estas preocupações e acontecimentos que os Sistemas Multiagente surgem como uma forma de monitorização ou simulação de situações climáticas adversas no planeta Terra. No presente trabalho de investigação desenvolvido, contextualizar-se-á o domínio da poluição ambiental, introduzir o que são Sistemas Multiagente e como e em que situações pode ser interessante e útil utilizar os mesmos em questões relacionadas com a Poluição Ambiental. Abordar-se-á também alguns fundamentos tecnológicos que os mesmos utilizam, o estado de arte no que toca ao domínio da Poluição Ambiental e alguns casos reais em que os Sistemas Multiagente são utilizados para a monitorização do meio ambiente ou para simulação do mesmo. Por último, será efetuada uma análise crítica sobre a importância que estes Sistemas terão no futuro de forma a ajudar a abrandar a Poluição Ambiental e a construirmos um futuro sustentável para a nossa geração e para as próximas.

Keywords: Poluição · Ambiente · Poluição Ambiental · Agentes · Sistemas Multiagente.

1 Introdução

Grande parte dos problemas ambientais com que hoje lidamos estão essencialmente ligados ao uso e à distribuição de recursos naturais, afetando assim a qualidade e quantidade disponível de ar, água e solo não poluídos. A sua sobre-exploração e a poluição ambiental estão entre os problemas mais importantes com que hoje lidamos. O crescimento descontrolado da população e da procura de riqueza provocaram um aumento na urbanização e industrialização que, por sua vez e infelizmente, estão associados ao elevado consumo de recursos naturais [7].

Ao longo dos anos, a degradação ambiental em larga escala tem levado a que se torne imperativo o controlo e manutenção de ecossistemas e que se procurem soluções para evitar a total degradação destes. As questões ambientais, em particular a poluição ambiental são cada vez mais uma das maiores preocupações da sociedade e das entidades governamentais devido à sua influência

direta em questões sociais, económicas, de saúde pública e na qualidade de vida da sociedade como um todo.

A crescente preocupação relativa a este tópico reflete-se em diversas medidas públicas e propostas de entidades governamentais mundiais pois é necessário reduzir a pegada ambiental e promover assim a sustentabilidade.

O uso de mecanismos inteligentes revelou-se fundamental no estudo destas situações podendo ser dividido em duas etapas:

- A simulação de diversas situações ambientais adversas, numa perspetiva de controlo, permite perceber as causas do problema e assim melhor compreender qual a melhor abordagem a tomar de forma a agir atempadamente.
- De forma a descobrir qual a melhor solução para cada problema, é importante estudar as várias respostas possíveis.

O objetivo deste artigo será explorar soluções para monitorização da poluição ambiental e possíveis formas de combate a esta. Para que tal seja possível, serão primeiramente contextualizados os vários temas relevantes a este artigo, seguidos de uma breve apresentação de alguns casos de estudo relacionados com o tema e análise extensiva de outros. No final de cada um destes últimos serão retiradas algumas conclusões.

2 Definição e caracterização do domínio de investigação

Recorrendo à definição presente no dicionário, **poluição** é:

- Ato ou efeito de poluir;
- Contaminação ou deterioração do ambiente com substâncias químicas, lixo, ruído, etc. (ex.: poluição atmosférica; poluição sonora)
- Aquilo que contamina o meio ambiente.

Desta forma, a poluição ambiental, provocada pelo homem ou por causas naturais, é um assunto que, cada vez mais, tem vindo a preocupar a sociedade por pôr em risco um futuro sustentável e afetar diretamente gerações atuais e futuras. Apesar das diversas formas de poluição existentes, optámos no presente trabalho dar ênfase às três principais áreas.

Poluição da água: A Organização Mundial da Saúde (OMS) define água contaminada como aquela que sofre alterações na sua composição até ficar inutilizável. Ou seja, é água tóxica que não pode ser bebida nem usada em atividades essenciais como a agricultura [1].

Em [7], a poluição da água é definida como qualquer alteração química, física ou biológica na qualidade da água que tenha um efeito nocivo sobre qualquer organismo vivo que a beba, use ou viva nela.

As principais fontes de poluição da água podem ser reduzidas mas não limitadas a: descargas poluentes através de condutas ou esgotos nas massas de água

(derivadas, por exemplo, de indústrias, estações de tratamento de esgotos, minas subterrâneas, poços de petróleo, petroleiros, etc.), deposição ácida do ar, tráfego, poluentes que são espalhados através de rios, escoamento da agricultura.

Poluição do ar: A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) [5] afirma que a "poluição do ar é provocada por uma mistura de substâncias químicas, lançadas no ar ou resultantes de reações químicas, que alteram o que seria a constituição natural da atmosfera".

A qualidade do ar depende da emissão de poluentes e das condições meteorológicas em determinado local. Estas emissões podem ser derivadas de atividades humanas, como a atividade industrial ou o tráfego automóvel [7] ou fontes naturais que englobam fenómenos da natureza tais como emissões provenientes de erupções vulcânicas, incêndios florestais de origem natural e tempestades de areia em regiões áridas.

Poluição do solo: Segundo [2], esta deduz a presença de produtos químicos artificiais e outras alterações no ambiente natural do solo que por estarem presentes em concentrações tão altas causam danos na biodiversidade do solo e colocam em risco a saúde dos seres vivos especialmente através da alimentação. Este tipo de poluição tem geralmente origem na aplicação de pesticidas, na percolação de águas superficiais contaminadas a estratos subsuperficiais, no despejo de petróleo e combustível, na lixiviação de resíduos de aterros, na descarga directa de resíduos industriais no solo, etc. Afecta directamente o habitat em que a biodiversidade está incrustada e quaisquer outras utilizações naturais e/ou humanas do solo [7].

Assim, os sistemas multiagentes podem ter um papel crucial no domínio da poluição ambiental, pois podem ser usados para monitorizar, prevenir e controlar a poluição. Estes sistemas podem colecionar dados sobre a qualidade do ar, água e solo em tempo real e processar esses dados para identificar áreas de risco e vulnerabilidade. Isto permite que sejam tomadas medidas preventivas e corretivas de modo a minimizar o impacto da poluição.

3 Agentes e Sistemas Multiagente - ASMa

Segundo [25], Sistemas Multiagentes são sistemas que recorrem a Agentes Inteligentes, entidades autónomas capazes de compreender os ambientes em que são inseridos e tomar decisões com base em objetivos definidos por outros agentes. Estes sistemas são oriundos da área de Inteligência Artificial Distribuída e, embora estes sistemas sejam distribuídos pelos agentes, cada agente contribui para o objetivo do sistema como um todo.

São diversas as áreas que utilizam Sistemas Multiagente quer para modelação ou simulação de comportamentos. Apresentamos de seguida algumas áreas que utilizam e de alguma forma tiram proveito destes sistemas:

- Robótica
- Inteligência Artificial
- Sistemas de Saúde
- **Ciência Ambiental**

Ao longo das últimas décadas, recorreu-se a modelos matemáticos/estatísticos, algoritmos numéricos e modelos de simulação por computador de forma a aumentar o conhecimento em problemas de gestão ambiental e assim poder apresentar informação útil aos que tomam decisões. [7]

Assim, tornou-se importante recorrer a Sistemas Multiagente capazes de prever e de arranjar soluções para estes problemas.

3.1 Porquê o uso de Sistemas Multiagente?

Focando-nos com maior destaque no tema da Poluição Ambiental, os Sistemas Multiagente podem ser utilizados quer com o intuito de monitorizar o meio ambiente, quer para simulações de fenómenos ambientais.

Simulações baseadas em Sistemas Multiagente é uma das abordagens usadas de modo a reproduzir fenómenos físicos a partir de diversos cálculos. Estas permitem obter uma descrição do resultado destes acontecimentos como se tivessem efetivamente ocorrido, uma vez que os vários intervenientes são representados por agentes que tentam replicar as suas capacidades e comportamentos. As vantagens que os sistemas multiagente trazem permitem não só tornar os casos de estudo mais compreensíveis mas também lidar com os casos que modelos matemáticos não conseguem resolver. [20]

3.2 Fundamentos Tecnológicos

No que toca ao domínio analisado neste trabalho de investigação, o da Poluição Ambiental, 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 [19]. 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 [18]. A IoT é bastante utilizada de modo a recolher, em tempo real, dados ambientais tais como algumas métricas de poluição. Estes dados são partilhados entre

os agentes presentes nos Sistemas Multiagente e assim, ajudam na tomada de decisões coletivas que contribuam 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 [4]. Estas redes são, à semelhança da IoT, diversas vezes utilizadas para recolher dados ambientais de sensores distribuídos. São desta forma utilizados pelos Sistemas Multiagente para efetuar uma monitorização dos níveis de poluição presentes no meio ambiente em diversas localizações e tomar decisões de acordo com as condições ambientais percebidas através dos 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 de telefonia móvel, bluetooth, entre outras. É assim assegurada a transmissão de dados ambientais 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.

4 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.

4.1 Aplicação de tecnologias de ASMa no que toca ao domínio

Em ambiente de estudo, Sistemas Multiagente podem ser usados não só monitorizar e melhor compreender situações ambientais atuais mas também para prever os efeitos da poluição e a sua evolução ao longo do tempo.

ASMa em problemas de poluição atmosférica

As emissões de poluentes como Dióxido e Monóxido de Carbono, Metano, "*Particulates Matter (PM10)*", *Sulphur Oxide and Dioxide (SOx)*, *Nitrogen Oxides (NOx)* and *Ozone: (O3)*" [21] contribuem exponencialmente para a degradação da camada de ozono e da qualidade do ar que respiramos. Em diversas regiões,

países ou cidades, sistemas são usados para monitorizar os níveis destes poluentes na atmosfera e assim perceber a evolução das suas concentrações.

A simulação de situações reais através do uso de agentes permite representar os diferentes tipos de emissões, por exemplo, emissões de automóveis, de fábricas ou de atividades agropecuárias, tendo também em consideração a participação de outros fatores como por exemplo meteorológicos. Esta representação visa a ser o mais próxima da realidade quanto possível.

Segundo [12], exemplos de monitorização inteligente realizada e métodos usados podem ser enumerados da seguinte forma.

- **Dispositivos e Sensores Inteligentes:** Em [16] é apresentado o uso de sensores óticos distribuídos para detetar temperaturas de fornalhas de estações de produção de energia. Em [24] propõe-se o uso de *soft sensors* inteligentes para a extração de informação relativamente às emissões de gás de combustão em centrais térmicas.
- **Sistemas Multiagente:** Em [6] foi introduzido um modelo de monitorização com agentes Web que obtinham imagens da internet e extraíam delas informações climáticas que eram, posteriormente, enviadas a outros agentes. Em [9] recorreu-se a um modelo baseado em agentes para simular e analisar o impacto das emissões de CO_2 pelo sistema de produção de eletricidade Europeu.
- **Redes de sensores baseadas em agentes Wireless:** Em [22] foram propostas redes de sensores sem fio baseadas em agentes móveis para monitorizar centrais.
- **Técnicas de Inteligência Computacional:** Em [10] são usadas redes neurais para estimar a qualidade do ar da cidade em estudo devido às emissões de CO_2 . Do estudo citado, concluímos que existem várias formas de monitorização da qualidade do ar de zonas circundantes a centrais elétricas. Estas formas de monitorização incluem uma monitorização mais técnica como através de sensores inteligentes e uma monitorização utilizando software baseado em inteligência artificial. Estas formas enunciadas podem também ser utilizadas em conjunto.

ASMa em problemas de poluição da água

Tal como referido por [8], atualmente, existem diversas fontes poluentes em massas de água, como o despejo de resíduos industriais, o uso de produtos tóxicos de fonte agrícola, depósitos de lixo em ambientes indevidos. Acrescenta-se a estes exemplos: o despejo de outros resíduos nos rios e oceanos, que levam, por exemplo, à formação de aglomerados de lixo (ilha de lixo do Oceano Pacífico); fugas ou derrames propósitos de petróleo ou poluentes nos rios e nas águas costeiras [13]. O controlo da qualidade das águas pode, assim, ser feito recorrendo, mais uma vez, a agentes inteligentes capazes de detetar não só movimentos anormais nas massas de água mas também alterações na sua composição.

Como exemplos destes estudos sugerem-se:

- Em [15] foi proposta uma rede de sensores baseada em agentes para a monitorização da composição química de óleo, gás, água e solo em plataformas petrolíferas.
- Em [14] é proposta uma análise baseada em sistema multiagente para monitorizar a rede de abastecimento de água.

Por outro lado, pode-se recorrer a sistemas multiagente para gestão de problemas causados diretamente pela poluição. Como conhecimento geral salienta-se que a poluição (em todas as formas) provoca o aumento do aquecimento global e destruição da camada de ozono. Estas alterações ambientais são frequentemente associadas com a alteração dos níveis hídricos, quer pela subida dos níveis da água que afetam algumas regiões quer pela falta de água noutras.

Em [17] o autor refere-se ao uso de sistemas multiagente para o controlo e gestão destes recursos hídricos.

ASMa em problemas de poluição do solo

Ao longo dos anos, puderam ser observados os recorrentes efeitos da poluição nos solos e seus efeitos secundários. Tal como referido por [23], é de referir a degradação dos solos (a sua erosão e empobrecimento, que implica um aumento do processo de deflorestação), a desertificação, a perda de biodiversidade (principalmente de organismos que dependiam destes para se alimentarem ou abrigarem), o declínio na saúde humana e a ameaça crescente à capacidade dos sistemas biológicos suportarem as necessidades humanas.

O uso constante de químicos e lixo que se depositam e alteram a composição natural da terra, não só causam a perda de matéria orgânica do solo, como se infiltram e poluem aquíferos, estando assim também relacionados com a poluição das águas.

Em [3], é focado o uso de sistemas multiagente e de simulações para o estudo do desgaste e destruição dos solos na floresta do Cerrado. O uso descontrolado da terra, nomeadamente para a pecuária e agricultura, levou ao aumento da sua inutilidade.

Em [23], é salientado o uso de modelos multiagente para simular o desgaste ambiental que a poluição tem na superfície terrestre. Nomeadamente para análise dos diferentes tipos de solo e os efeitos da poluição (e outros fatores) em cada um destes.

4.2 Casos de uso reais

Desenvolvem-se, a seguir, alguns casos de estudo de forma a melhor analisar os seus contextos e as vantagens da utilização de sistemas inteligentes.

An Agent-based Simulation for Studying Air Pollution from Traffic in Urban Areas: The Case of Hanoi City [20]

De modo a que se pudesse estudar os princípios de emissão e dispersão de poluentes provenientes do tráfego libertados na área urbana de Hanoi, foi implementado um **Sistema Multiagente** que simulasse a área urbana. Nesta simulação

são tidos em consideração diversos fatores tais como os veículos, as estradas, a direção e a velocidade do vento, etc.

O sistema é constituído por 3 partes principais como mostra a imagem seguinte.

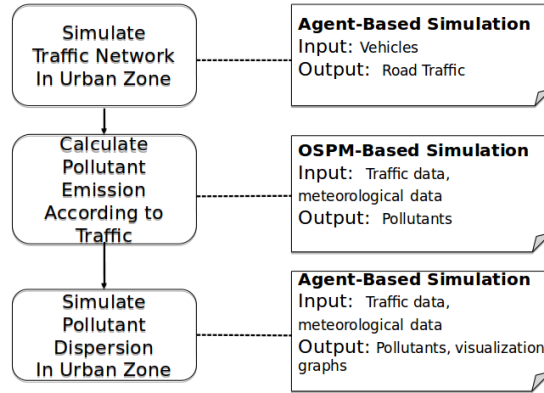


Fig. 1. Modelo do Sistema Proposto [20]

Na primeira parte do estudo, a simulação da rede de tráfego na zona urbana recebe veículos como input e efetua o cálculo do tráfego como output.

Posteriormente, para calcular a emissão de poluentes, o sistema segue uma simulação tendo em conta o modelo OSPM (*Operational Street Pollution Model*), sendo este um modelo de poluição utilizado em áreas urbanas. A emissão e a concentração de poluentes libertados durante o tráfego é calculada tendo em conta os dados de tráfego e dados meteorológicos como a velocidade do vento já mencionada anteriormente.

Por fim, é feita uma simulação baseada em Sistemas Multiagente de modo a modelar a dispersão de poluentes e observar a mesma através da visualização da zona de tráfego e de gráficos.

Focando-nos com maior detalhe no modelo de Sistemas Multiagente usado para esta simulação, podemos ver que é através deste sistema que se simulam os comportamentos do fenómeno real que o tráfego causa na cidade de Hanoi e que torna possível a visualização dos impactos do mesmo.

De seguida, iremos demonstrar a interação entre os agentes que representam o que entra na constituição do modelo criado, tendo em conta cada uma das suas características.

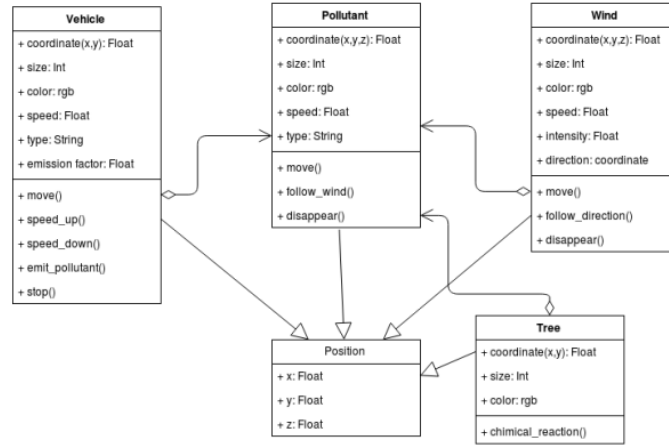


Fig. 2. Diagrama UML que representa a interação entre agentes [20]

Graças à simulação realizada foi possível recriar e prever as emissões de gases poluentes emitidas por veículos.

Um exemplo de dados de input recebidos pelo modelo são os dados presentes na seguinte tabela. Através da modelação destes e de outros dados de input como o vento, é possível chegar a um modelo e tirar conclusões que iremos abordar posteriormente.

TABLE III. EMISSION FACTOR

Type of vehicle	Emission Factor(%)	Pollutant
Truck	0.80	PM
	2.75	CO
	11.00	NO _x
	0.40	SO ₂
Bus	1.50	PM
	3.10	CO
	7.60	NO _x
	0.64	SO ₂
Car	0.10	PM
	3.62	CO
	1.50	NO _x
	0.17	SO ₂
Motorbike	0.10	PM
	3.62	CO
	0.30	NO _x
	0.03	SO ₂

Fig. 3. Dados de input do modelo relativos à contribuição de cada veículo na emissão de poluentes [20]

Através desta simulação e dos vários casos estudados, podemos concluir que o número de partículas aumenta com o tempo. As próximas figuras demonstram a evolução dos poluentes com o tempo e o aumento dos mesmos à medida que

são adicionados mais veículos à equação. Neste caso foram analisados os valores dos poluentes com a inserção de veículos na simulação com uma frequência de 5, 10 e 15 veículos/s.

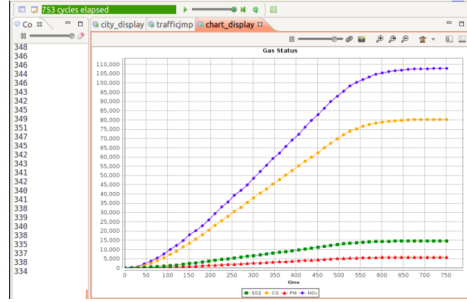


TABLE IV. EXPERIMENTAL RESULTS

Freq(vehi/s)	Nb_Vehi	Quantity of pollutant (count)			
		PM	CO	NO _x	SO ₂
5	360	1413	2353	3254	1807
10	720	2657	4843	6512	3642
15	1008	3859	7104	9611	5313

Fig. 4. Alguns resultados apresentadas no trabalho de pesquisa consultado [20]

Concluindo a análise deste caso de estudo e lembrando que o objetivo do mesmo é a tentativa de estabelecer um sistema de suporte à decisão no que toca à poluição atmosférica urbana com base na exploração de um Sistema Multiagente, poderá ser interessante utilizar os resultados provenientes da simulação efetuada de modo a consciencializar a população no que toca a este tópico uma vez que a maioria da população não é capaz de interpretar resultados matemáticos complexos e é mais suscetível a perceber o impacto deste fenómeno através de ilustrações reais - neste caso simulações utilizando Sistemas Multiagente. Este estudo mostrou-se também interessante para identificar as áreas mais expostas à poluição do ar.

A Multi-Agent System for Power Plants Air Pollution Monitoring [12]

Neste artigo é apresentado um caso de estudo que apresenta um Sistema Multiagente com o objetivo de monitorizar a poluição ambiental urbana devido a operações em centrais de energia na região de Ploiești na Roménia, zona que agrega diversas refinarias à sua volta. Este caso de estudo deve-se ao facto de a poluição ambiental, mais em concreto a poluição do ar, ser uma das principais preocupações da maior parte dos setores industriais de modo a garantir uma maior eficiência e soluções a longo prazo que resultem num impacto positivo no que toca à qualidade de vida.

O Sistema Multiagente proposto para este caso de estudo, é um sistema construído para a monitorização e análise de poluentes em três pontos próximos das principais refinarias da cidade de Ploiești, tais como o monóxido de carbono(CO), monóxido de azoto(NO), dióxido de azoto(NO2), dióxido de enxofre(SO2), entre outras. Desta forma, existem 4 agentes que recolhem dados de poluentes das bases de dados e calculam o nível de qualidade do ar.

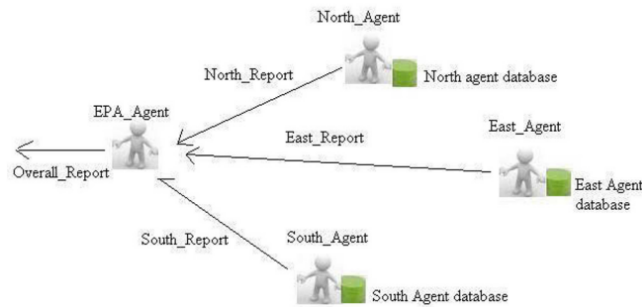


Fig. 5. Arquitetura do Sistem emojiia [12]

Como foi dito anteriormente, cada um dos agentes calcula o nível de qualidade do ar próximo do mesmo e, caso o limite benigno máximo seja ultrapassado, uma mensagem é enviada para o *EPA_Agent*. Este agente é responsável pelo cálculo da qualidade do ar, ou seja, combina os dados recebidos de todos os agentes. O nível geral de qualidade do ar é o maior índice de qualidade estabelecido por cada poluente.

O Sistema foi desenvolvido utilizando Zeus, uma *toolkit* desenvolvida em JAVA para agentes inteligentes.

Foi efetuado um caso de estudo para o dia 11 de agosto de 2011. Após correr a simulação, podemos notar que a área sul apresenta um índice de qualidade do ar de 5 devido à elevada concentração de NO ($247.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o que significa que é mau na escala tida em conta (escala de 1 a 6 em que 1 corresponde a "excellent" e 6 corresponde a "very bad"). Isto também influenciou negativamente o índice de qualidade do ar, como podemos ver na imagem que se segue.

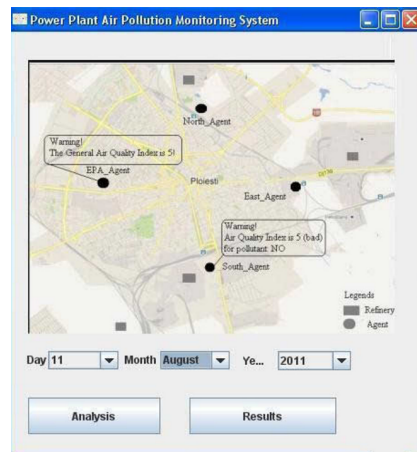


Fig. 6. Resultados da simulação do caso de estudo enunciado [12]

Concluindo, este caso de uso demonstra-se bastante interessante e promissor no que toca à monitorização da área urbana de Ploiești.

Seria útil a inclusão de sensores em cada agente de modo a que a recolha de dados fosse feita em *real time* e não proveniente de uma base de dados, uma vez que os dados já foram previamente recolhidos. De acordo com [12], isto é algo a implementar num trabalho futuro. É também pretendido implementar alguns módulos de data mining de modo a conseguir gerar previsões.

Multiagent Simulation for Water Pollution Control [8]

Abordaremos agora um outro caso de estudo que visa o controlo da poluição da água. Para isso, foi implementado um Sistema Multiagente a partir do qual é possível analisar o impacto da poluição no ambiente e estudar a forma como se pode auxiliar no combate à poluição. Neste modelo proposto recorreu-se a drones e outras tecnologias para compreender a propagação de poluentes em meios aquáticos e assim tentar eliminá-los. Para além destes meios foram introduzidos "atores" extra que representariam peixes e o seu comportamento face à poluição do meio em que estariam inseridos.

De forma a definir o Sistema Multiagente desta simulação, foi usado um software para a implementação de Sistemas Multiagente que permite a modelação de ambientes.

Como foi mencionado anteriormente, os drones e os peixes são agentes do sistema definido e que interagem entre si e com o ambiente. Os pontos de poluição e os poluentes são também definidos como agentes do sistema.

Apresentamos agora as diversas interações entre os agentes do sistema:

- A poluição é propagada na água
- Os drones procuram pontos de poluição e elimina-os
- Caso um peixe encontre um poluente, este peixe morre
- Caso a poluição esteja abaixo de um certo valor definido, os peixes reproduzem-se

Segundo o que foi apresentado em [8], foram testados 3 casos diferentes apresentando-se dois deles a seguir.

Caso 1: O primeiro caso de estudo focou-se na evolução que diferentes valores de taxa de poluição e do nível de poluição máximo para a reprodução dos peixes teriam.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Pontos de Poluição	3	3	3
Taxa de poluição	5	10	5
Quantidade de Peixes	30	30	30
Taxa de reprodução dos peixes	5	5	5
Máx. de poluição para a reprodução dos peixes	1%	1%	4%

Fig. 7. Caso de estudo 1 - valores de input [8]

De um modo geral, pôde-se observar que para taxas de poluição inferiores (Cenários 1 e 3) a quantidade final de peixes foi superior. No entanto, no Cenário 2 em que a taxa de poluição é superior notou-se que os drones detetavam estes níveis mais depressa e portanto demoravam menos tempo a eliminar os poluentes, justificando assim que os seus níveis de poluição sejam inferiores a 1 e a 3.

Média	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Total de ticks	446,8	219,6	294
Maior valor de poluição	911,4	439,8	372,8
Quantidade final de Peixes	58,6	46,8	75
Ticks para acabar com poluição	345,4	111,8	256,2

Table 1. Resultados gerais do caso 1 - valores de output

Caso 2:

O segundo caso de estudo focou-se na alteração da taxa de poluição e do número de pontos de poluição.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Pontos de Poluição	1	1	3
Taxa de poluição	5	10	5
Quantidade de Peixes	30	30	30
Taxa de reprodução dos peixes	5	5	5
Máx. de poluição para a reprodução dos peixes	4%	4%	4%

Fig. 8. Caso de estudo 2 - valores de input [8]

Pelos valores apresentados podemos concluir que, no cenário 3, uma vez que a taxa total de poluição está distribuída por 3 pontos, a taxa de cada ponto acaba por ser inferior à dos restantes cenários dando espaço para que os peixes se consigam reproduzir. À semelhança do Caso de Teste 1, o cenário 2 deste mostra que apesar de a taxa de poluição ser superior os drones detetaram estes níveis mais depressa e portanto demoraram menos tempo a eliminar os poluentes. A taxa de poluição em 3 demora mais a ser eliminada por ter 3 fontes.

Média	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Total de ticks	172,8	143,8	364,2
Maior valor de poluição	153	370,6	384,8
Quantidade final de Peixes	54	43,6	82,6
Ticks para acabar com poluição	151,2	119,2	242,4

Table 2. Resultados gerais do caso 2 - valores de output

Concluindo, este caso de estudo permitiu consciencializar a população para a importância do combate à poluição da água e dos efeitos que esta tem nos seres vivos que dela dependem. O presente estudo permite-nos também concluir que a utilização de Sistemas Multiagente e a utilização de tecnologias como drones pode ser útil e um grande auxílio no controlo da poluição.

5 Conclusões

Comparando os dois trabalhos analisados relativos à poluição atmosférica, podemos concluir que, apesar de se tratarem de duas fontes de poluição distintas, são ambas duas das fontes principais conhecidas nos dias de hoje. Propõe-se que, à semelhança do primeiro caso apresentado, que se mostrou ser frutuoso, se elaborem estudos semelhantes para outras cidades onde haja níveis elevados de poluição.

Por outro lado, uma vez que os dois primeiros casos apresentados se inserem apenas num contexto de monitorização, seria interessante seguir o modelo do terceiro caso apresentado e tentar analisar e estudar métodos de combate à poluição recorrendo a agentes.

Para além dos três casos estudados seria interessante aplicar estes modelos de aprendizagem a outros casos não apresentados. Por exemplo, para a poluição agrícola e agropecuária e analisar as consequências destas para os agentes que representariam o gado (ou outros animais dependentes dos solos usados nestas atividades).

Finalmente, é de salientar que os vários modelos desenvolvidos e apresentados neste artigo cumprem os objetivos inicialmente propostos e serviram de ferramentas para ampliar os conhecimentos já existentes nas respetivas áreas de investigação.

Em suma, com base nos artigos analisados e nos dados todos apresentados, podemos concluir que os Agentes e Sistemas Multiagente podem ser uma mais valia no que toca à monitorização e controlo de diversos tipos e fontes de poluição. Além disso permitem conhecer melhor as situações ambientais que nos rodeiam de forma a poder assim alertar as populações e tentar trazer-lhes alguma clareza relativamente ao estado do nosso planeta.

References

1. A poluição da água: como não colocar em perigo a nossa fonte de vida. <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/poluicao-da-agua>
Consultado a 10 Mar 2023
2. A poluição do solo, seus efeitos no nosso futuro e o que podemos fazer para reduzi-la. <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/poluicao-do-solo-causas-consequencias-solucoes>
Consultado a 10 Mar 2023
3. Abreu, C. (2012). Ferramenta de Simulação com Abordagem de Sistema Multiagente para a Dinâmica de Uso da terra.
Consultado a 17 Mar 2023
4. 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-sensores-sem-fios-parte-i/>
Consultado a 11 Mar 2023
5. Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2021). Poluição do ar. <https://apambiente.pt/ar-e-ruido/poluicao-do-ar>
Consultado a 10 Mar 2023
6. Amato, A., Di Lecce, V., Pasquale, C., Piuri, V. (2005). “Wen Agents” in an environmental monitoring system.
Consultado a 16 Mar 2023
7. Aulinas Montse, Turon Clàudia and Sànchez-Marrè Miquel. (2009). Agents as a Decision Support Tool in Environmental Processes: The State of the Art. Whitestein Series in Software Agent Technologies and Autonomic Computing.
Consultado a 10 Mar 2023
8. Bruna S. Leitzke, Letiane B. Pereira, Diana F. Adamatti (2017). Multiagent Simulation for Water Pollution Control.
Consultado a 16 Mar 2023
9. Chappin, E.J.L., Dijkema, G.P.J. (2007). An agent based model of the system of electricity production systems: exploring the impact of CO2 emission-trading.
Consultado a 16 Mar 2023
10. Ćirić, I.T., Čojbašić, Z.M., Nikolić, V.D., Živković, P.M., Tomić, M.A. (2012). Air quality estimation by computational intelligence methodologies.
Consultado a 16 Mar 2023
11. Definição de poluição, Dicionário priberam da Língua Portuguesa, <https://dicionario.priberam.org/polui%C3%A7%C3%A3o>.
Consultado a 11 Mar 2023
12. Elia Georgiana Dragomir, Mihaela Oprea. (2013). A Multi-Agent System for Power Plants Air Pollution Monitoring.
Consultado desde 15 Mar 2023
13. European Space Agency. (2013). Derrames de Petróleo. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_PT/SEM9LP2D62G_0.html
Consultado a 17 Mar 2023
14. Farolfi, S., Müller, J.-P., Bonté, B. (2010). An iterative construction of multi-agent models to represent water supply and demand dynamics at the catchment level, Environmental Modelling & Software.
Consultado a 17 Mar 2023
15. Hussain, S., Islam, M.R., Shakshuki, E., Zaman, M.S. (2006). Agent-based petroleum offshore monitoring using sensor networks.
Consultado a 16 Mar 2023

16. Lee, K.Y., Kim, B.-H., Velas, J.P. (2004). Development of an intelligent monitoring system with high temperature distributed fiber-optic sensor for fossil-fuel power plants.
Consultado a 16 Mar 2023
17. Mariano, D. J. K. (2019). Jogos de Representação de Papeis e Modelagem Baseado em Agentes para Gestão Hídrica Colaborativa em Comunidades Periurbanas.
Consultado a 17 Mar 2023
18. ORACLE. What is IoT?. <https://www.oracle.com/pt/internet-of-things/what-is-iot/>
Consultado a 11 Mar 2023
19. Parlamento Europeu. (2021). O que é a inteligência artificial e como funciona?. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20200827STO85804/o-que-e-a-inteligencia-artificial-e-como-funciona>
Consultado a 11 Mar 2023
20. Rodrigue Kafando, H O Tuong Vinh, Nguyen Manh Hung. (2019). An Agent-based Simulation for Studying Air Pollution from Traffic in Urban Areas: The Case of Hanoi City. <https://hal.science/hal-02947928/document>.
Consultado desde 13 Mar 2023
21. Sabri Ghazi, Julie Dugdale and Tarek Khadir. (2018). A Multi-Agent based Approach for Simulating the Impact of Human Behaviours on Air Pollution.
Consultado desde 10 Mar 2023
22. Saleh, K., Nasser, N., AlYatama, A. (2012). Hierarchical and heterogeneous mobile agent-based wireless sensor networks (HHMA-WSN).
Consultado a 16 Mar 2023
23. Schindler, J. (2009). A multi-agent system for simulating land-use and land-cover change in the Atankwidi catchment of Upper East Ghana.
Consultado a 17 Mar 2023
24. Sujatha, K., Pappa, N., Kalaivani, A. (2011). Soft sensor for flue gas monitoring in power station boilers.
Consultado a 16 Mar 2023
25. Wooldridge, M. (2002). Introduction to Multiagent Systems.
Consultado desde 8 Mar 2023