

# Microserviços em Cidades Inteligentes com Coordenação de Agentes

DIOGO SOUSA<sup>1</sup>, RICARDO SANTOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestrado em Engenharia Informática

<sup>2</sup>CIICESI, ESTG /P.PORTO – Centro de Inovação e Investigação em Ciências Empresariais e Sistemas de Informação, Escola Superior de Tecnologia e Gestão / Politécnico do Porto  
emails: 8220975@estg.ipp.pt, rjs@estg.ipp.pt

## Abstract

This article proposes the implementation of a platform based on a microservices architecture for smart cities with agent coordination. This platform aims to address and solve various issues in cities, where entities can enjoy services based on their needs and priorities. Microservices enable the decomposition of the system into different business functions and sectors, resulting in a heterogeneous and distributed system that needs to be scalable, quickly maintainable, and independent to prevent the entire system from being compromised. Agents act as intermediary negotiators between services and entities, proactively complementing decision-making related to entities, thus being able to recommend entities for better contractual proposals. The convergence of these two methodologies brings many benefits, such as active collaboration between services and agents, leveraging the knowledge of each agent, dynamism, and adaptability through the agents ability to make proactive decisions, adding flexibility and responsiveness to the platform. Furthermore, this integrated approach enhances overall system efficiency and performance.

**Keywords:** Smart Cities, Microservices, Multi-Agent Systems.

# **1 Introdução**

A ascensão das “cidades inteligentes” têm sido um tópico central na política recente abrangendo infraestruturas de TI, questões ambientais e inovação urbana [1].

As complexidades estruturais, sociais e económicas, juntamente com o crescimento populacional exponencial, geram desafios significativos nas cidades [2]. As migrações das áreas rurais para as urbanas aumentam significativamente, o que acresce as tensões nos serviços, como segurança pública, qualidade do ar e serviços de eletricidade e água, destacando a necessidade de implementação de soluções inovadoras. Uma cidade inteligente procura implementar essencialmente padrões de melhoria na qualidade dos seus serviços e redução de custos operacionais [3], concebendo um sistema urbano adaptável e sustentável, capaz de detetar e responder de forma rápida a eventos disruptivos, procurando eliminar ou reduzir possíveis consequências [2].

Deste modo, há um foco crescente na implementação de metodologias inovadoras em áreas como gestão de tráfego, distribuição de energia e resposta a emergências, conferindo às cidades uma distinção em termos de inovação e contemporaneidade aliados a uma melhor eficiência e aproveitamento de recursos.

Neste artigo é defendida a necessidade de integração de serviços numa infraestrutura unificada, capaz de sustentar os princípios e conceitos de uma cidade inteligente, viabilizando todo um sistema numa plataforma onde serão disponibilizados múltiplos serviços em variados setores de atividade.

As plataformas de cidades inteligentes enfrentam o desafio de fornecer arquiteturas flexíveis atendendo a requisitos funcionais, como conectividade robusta, processamento e compartilhamento de dados, bem como requisitos não funcionais, garantindo segurança, desempenho, escalabilidade e interoperabilidade [4].

Este artigo propõe a convergência entre arquiteturas de microserviços e a implementação de Sistemas Multi-Agente (MAS), na estruturação da plataforma a desenvolver. Os microserviços oferecem facilidade de manutenção e desenvolvimento distribuído, destacam-se pela divisão de serviços de forma independente, facilitando o desenvolvimento de sistemas de grande escala. Os agentes oferecem dinamismo, adaptabilidade e reatividade ao paradigma de microserviços, são proativos pois tomam decisões com base no seu ambiente e separam problemas complexos em tarefas colaborativas resolvidas conjuntamente com outros agentes. A combinação destas duas abordagens visa criar cidades inteligentes mais eficientes e adaptáveis para enfrentar os desafios urbanos emergentes.

# **2 Revisão da Literatura**

Algumas soluções têm sido implementadas para o desenvolvimento de plataformas de cidades inteligentes, nomeadamente utilizando paradigmas de microserviços, tirando partido da sua escalabilidade e modularidade. No mesmo sentido, diferentes modelos e abordagens utilizam MAS para a coordenação dos seus processos de forma proativa e dinâmica, inclusive em implementações inteligentes para uso quotidiano. Contudo, existe pouca literatura da integração destas duas metodologias em simultâneo, para o desenvolvimento de soluções direccionadas a cidades inteligentes.

Tendo em conta estes fatores, vários artigos foram analisados, que apesar de não referenciarem diretamente estes três pontos, acabaram por ser importantes na idealização e fundamentação da arquitetura proposta.

Em [5] a plataforma InterSCity é uma plataforma implementada sobre o paradigma de microserviços, que tira partido de múltiplos domínios para dar suporte a aplicações para cidades inteligentes. O objetivo proposto é uma infraestrutura de middleware de alta qualidade, modular e altamente escalável para apoiar soluções aplicadas a cidades inteligentes que possam ser aplicadas por grupos de investigação e desenvolvimento, tanto como por governos e empresas. São evidenciadas as vantagens de uma abordagem de microserviços para criar soluções inteligentes, que podem ser evoluídas de forma mais fácil e independente que as abordagens SOA tradicionais.

Em [2] é apresentada a plataforma DIMMER, uma plataforma desenvolvida sobre microserviços que visa aumentar a eficiência energética de uma cidade a nível distrital. A plataforma inclui tecnologias de sensores heterogéneas e modelos de informação distritais integrados na plataforma de serviços que é utilizada por aplicações de cidades inteligentes. São ainda descritos os benefícios de uma arquitetura de microserviços, comparada a uma arquitetura tradicional SOA. Os serviços na plataforma DIMMER utilizam os seus próprios conceitos e pontos de vista dos dispositivos IOT, bem como backends de armazenamento de dados descentralizados, construindo assim um modelo de abstração hierárquico.

Em [6] é apresentada a plataforma IDEA, uma plataforma orientada a microserviços para o desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes inteligentes. O foco da plataforma, visa o desenvolvimento simplista e eficaz da execução de MAS inteligentes aliados aos microserviços, proporcionando descoberta entre estes na rede, composição e reutilização. A arquitetura baseia-se na existência de vários containers, que comunicam através de um servidor front-end, cada container fornece um ambiente para o desenvolvimento e execução de agentes. A arquitetura está dividida em três camadas: Middleware, Serviços e Agentes. A camada de Middleware facilita o desenvolvimento, comunicação, gestão e descoberta de serviços na rede. A camada de serviços, permite a criação de serviços de forma independente, com a coordenação de agentes em fluxos de trabalho. A camada de agentes, onde se encontra o agente manager, funciona como gateway de envio e receção de pedidos, é responsável pelo arranque do servidor de rede e de agentes na plataforma. Alguns sistemas multi-agente foram desenvolvidos seguindo esta metodologia, é o caso do VLE-MAS [7], um ambiente virtual de aprendizagem, onde os agentes monitoram o ambiente, organizam dados e promovem a interactividade entre os alunos.

Em [8] é proposto um modelo chamado Storm, para a Internet das Coisas, combinando uma arquitetura de microserviços com tecnologia de agentes. É fornecido um mecanismo de estimativa de reputação com base em princípios sociais, propondo um novo modelo de confiança orientado à reputação, o objetivo é que objetos e pessoas, mantenham relações sociais baseadas nas suas preferências. Nesta abordagem, pessoas e serviços são considerados agentes, e o ambiente de Internet das Coisas é considerado um MAS. O Storm tem o objetivo de fornecer um mecanismo

distribuído, capaz de modelar a forma como entidades, serviços e dispositivos comunicam interagindo com a IoT. Desta forma, são propostos dois tipos de microserviços para os dispositivos: um `device_microservice` relacionado diretamente com um dispositivo IoT específico e responsável pelas suas tarefas e troca de dados, e um `gateway_microservice` responsável por descobrir no ambiente dispositivos e serviços. Para esclarecer este ponto, os autores salientam o exemplo de uma impressora, em que o `gateway_microservice` armazena as suas informações como características e nome, assim que outra "coisa" no ambiente requisita uma impressora, o agente de `gateway` informa sobre as impressoras disponíveis no ambiente. Esta abordagem, é bastante condizente com a proposta defendida neste artigo, contudo é expectável que na plataforma a implementar um agente seja entendido como um intermediário negociador, informando somente a entidade, se conseguir formalizar um contrato com as condições exigidas.

Em [9] é apresentada uma framework de Sistemas Multi-Agente, integrados com um paradigma de microserviços para transações distribuídas denominada de SagaMas. A estrutura proposta visa, aliviar os microserviços de interações e tarefas de coordenação das transações, delegando estas tarefas para os MAS. O modelo proposto, pretende compreender todo o fluxo num nível de abstração elevado, que só é possível com a utilização de agentes, este nível de abstração facilita a utilização e configuração por parte dos programadores dos microserviços. Neste artigo, é implementado um padrão de design saga, uma sequência de transações, em que cada transação atualiza dados de um único microserviço. No SagaMas cada transação criada num microserviço é comunicada direta ou indiretamente ao seu agente associado. Assim que o agente é comunicado da transação, esta é tratada por uma camada independente denominada camada de agentes onde é efetuado o tratamento, deteção e recuperação de erros relativos às transações. Nesta abordagem os microserviços mantêm um fraco acoplamento com a camada de agentes, permitindo a evolução de ambos de forma independente, facilitando a gestão de transações distribuídas de forma eficiente e confiável por parte dos agentes.

### **3 Arquitetura Proposta**

Neste artigo é defendida a construção de uma plataforma que implemente os princípios de microserviços aplicados em cidades inteligentes, coordenados por agentes autónomos.

Na figura 1, é descrita a arquitetura da plataforma apoiada pelas várias camadas a considerar:

- Camada Externa - A camada mais baixa da arquitetura, consiste numa série de recursos que serão utilizados pela camada de microserviços, incluindo: serviços de dados, serviços de previsão, etc.
- Camada de Microserviços - Esta camada é responsável por representar os serviços disponibilizados no ecossistema. Serve também para abstrair os serviços da camada externa num formato padrão de fornecer serviços de dados internos adicionais.

- Camada do Conhecimento - Esta camada representa o conjunto de recursos criados pelos microserviços disponíveis na camada anterior. Os recursos são todos armazenados num formato acordado entre vários microserviços.
- Camada de Decisão - Esta camada é onde consta o mecanismo de raciocínio, baseia-se na informação disponível na camada de conhecimento e negocia directamente com os micro-serviços tendo por base as preferências das entidades e como objetivo final uma recomendação.

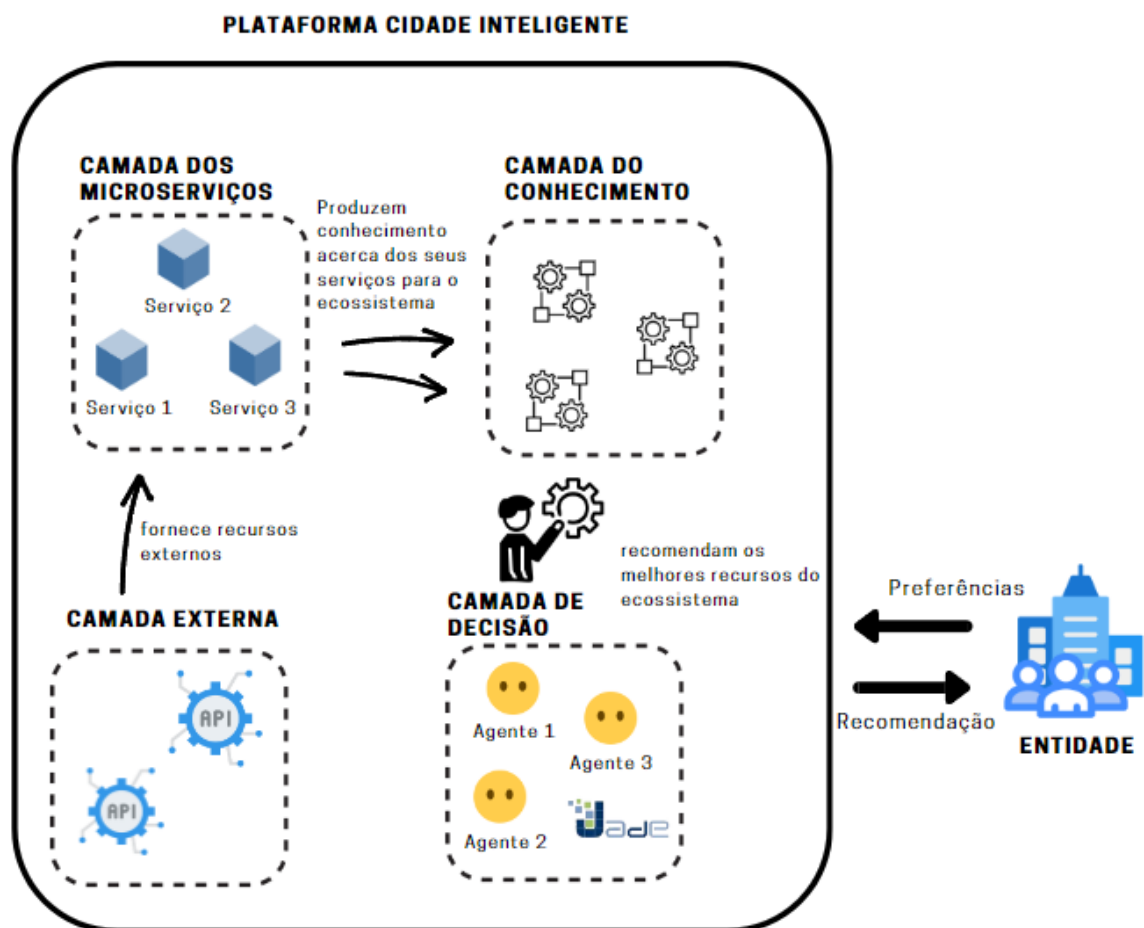


Figura 1: Arquitetura Proposta

## **4 Trabalho Futuro**

Após revisão da literatura, o próximo passo é a implementação prática da plataforma proposta. Inicialmente, foram examinadas as tecnologias para o desenvolvimento de Sistemas Multi-Agente, e a escolha recaiu sobre a utilização do JADE [10]. Essa decisão foi essencialmente fundamentada pela análise comparativa realizada em [11], onde são abordadas diferentes plataformas para o desenvolvimento de agentes, considerando categorias como usabilidade, desempenho e segurança.

Em termos de usabilidade, o JADE destaca-se por ser de fácil aprendizagem, altamente escalável e plenamente compatível com o padrão FIPA (Fundação para Agentes Físicos e Inteligentes), assegurando padrões de interoperabilidade entre sistemas e facilitando integração com outras plataformas. Ao nível do desempenho, evidencia-se pela rápida comunicação entre agentes, robustez e estabilidade em comparação com outras frameworks para o desenvolvimento de agentes. No aspecto da segurança, o JADE oferece suporte HTTPS e encriptação, garantindo forte segurança, incluindo autenticação por parte do utilizador. Todas estas características foram importantes para a tomada de decisão sobre o sistema a desenvolver.

A etapa subsequente consistirá na validação das premissas teóricas com a implementação prática, na integração de agentes autónomos e microserviços. Adicionalmente, futuras pesquisas podem aprofundar a adaptação da arquitetura para lidar com novos cenários de utilização e aprimorar a interação entre agentes e microserviços em plataformas de cidades inteligentes, visando garantir maior eficiência operacional, resiliência e adaptabilidade necessárias para enfrentar desafios complexos nas cidades.

## Referências

- [1] Andrea Caragliu, Chiara Del Bo, and Peter Nijkamp. Smart cities in europe. In *Creating Smart-er Cities*, pages 65–82. Routledge, 2013.
- [2] Alexandr Krylovskiy, Marco Jahn, and Edoardo Patti. Designing a smart city internet of things platform with microservice architecture. In *2015 3rd international conference on future internet of things and cloud*, pages 25–30. IEEE, 2015.
- [3] Colin Harrison, Barbara Eckman, Rick Hamilton, Perry Hartswick, Jayant Kalagnanam, Jurij Paraszczak, and Peter Williams. Foundations for smarter cities. *IBM Journal of research and development*, 54(4):1–16, 2010.
- [4] Murilo B Ribeiro and Kelly R Braghetto. A scalable data integration architecture for smart cities: implementation and evaluation. *Journal of Information and Data Management*, 13(2), 2022.
- [5] Arthur de Moura del Esposte, Fabio Kon, Fabio M Costa, and Nelson Lago. Interscity: A scalable microservice-based open source platform for smart cities. In *Proceedings*, 2017.
- [6] Aluizio Haendchen Filho, Rafael Castaneda Ribeiro, Hércules Antônio do Prado, Edilson Ferneda, and Jeferson Miguel Thalheimer. A lightweight microservice-oriented platform for development of intelligent agent-based enterprise applications. 2021.
- [7] Jéferson Miguel Thalheimer, Aluizio Haendchen Filho, Fabio Julio Pereira Briks, Rafael Castaneda Ribeiro, Fernando Concatto, and Angélica Karize Vieceili. A microservice-driven collaborative agent in virtual learning environments: A role model for a tracing agent. In *XVI Brazilian Symposium on Information Systems*, pages 1–8, 2020.
- [8] Kalliopi Kravari and Nick Bassiliades. Storm: A social agent-based trust model for the internet of things adopting microservice architecture. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94:286–302, 2019.
- [9] Xavier Limón, Alejandro Guerra-Hernández, Angel J Sánchez-García, and Juan Carlos Pérez Arriaga. Sagamas: a software framework for distributed transactions in the microservice architecture. In *2018 6th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, pages 50–58. IEEE, 2018.
- [10] Fabio Bellifemine, Federico Bergenti, Giovanni Caire, and Agostino Poggi. Jade—a java agent development framework. *Multi-agent programming: Languages, platforms and applications*, pages 125–147, 2005.
- [11] Kalliopi Kravari and Nick Bassiliades. A survey of agent platforms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(1):11, 2015.