



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Pedro Chaves Silva Lousada Alves

Monitorização de uma Arquitetura de Microserviços



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Pedro Chaves Silva Lousada Alves

Monitorização de uma Arquitetura de Microserviços

Mestrado em Engenharia Informática

Dissertation supervised by
Professor Orlando Belo

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho:



CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Agradecimentos

Em primeiro lugar, manifesto o meu sincero agradecimento ao meu orientador, Professor Orlando Belo pela orientação inestimável, conselhos esclarecedores e dedicação inabalável ao meu desenvolvimento académico. A sua experiência e incentivo foram determinantes em todas as fases do processo de investigação e redação, não sendo este trabalho possível sem o seu contributo.

De igual modo, expresso o meu profundo reconhecimento ao DTx-Colab por me ter proporcionado a oportunidade de desenvolver esta investigação em ambiente empresarial, integrada no projeto R2UT. Esta colaboração permitiu-me obter uma perspetiva prática e aplicar o conhecimento adquirido em contexto real, aumentando significativamente o impacto e a relevância desta tese.

O meu agradecimento sentido dirige-se igualmente à minha família, cujo apoio incondicional e sacrifícios foram fundamentais para atingir estas metas académicas e pessoais. Sou especialmente grato aos meus pais, Rui e Domingas. Expresso também a minha profunda gratidão à minha namorada, Leonor, pela paciência, compreensão e encorajamento prestados ao longo desta caminhada.

Quero ainda expressar um agradecimento especial ao meu colega e amigo André, pelo tempo disponibilizado, pela partilha de conhecimento e pela ajuda prestada nos momentos de maior exigência técnica. A sua colaboração e disponibilidade foram essenciais para ultrapassar vários desafios durante o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os meus verdadeiros amigos pela companhia, estímulo e presença constante nos momentos de maior desafio. O vosso apoio foi, sem dúvida, uma parte fundamental desta jornada.

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, Braga, outubro 2025

Rui Pedro Chaves Silva Lousada Alves

Resumo

As arquiteturas de microserviços permitem construir sistemas flexíveis, escaláveis e modulares em ambientes distribuídos. Contudo, a sua natureza dinâmica aumenta a complexidade dos processos de monitorização contínua, deteção de falhas e resposta proativa a eventos críticos.

Neste trabalho de dissertação, foi implementada uma plataforma para a monitorização e gestão de alertas de infraestruturas baseadas em microserviços, com aplicação prática na indústria da construção modular. A solução desenvolvida integra ferramentas *open source* — *Prometheus*, *Grafana*, *Loki* (como alternativa à *ELK Stack*) e *Jaeger* — suportadas pelo *OpenTelemetry* para a recolha padronizada de métricas, *logs* e rastreio (*tracing*) distribuído.

Para além disso, foram definidos cenários de alerta e mecanismos de resposta automática, de forma a reforçar a resiliência e reduzir o tempo de indisponibilidade da infraestrutura em monitorização.

Os resultados obtidos demonstram ganhos significativos em visibilidade ponta-a-ponta e uma redução nos tempos médios de deteção e resolução de incidentes (*MTTD* e *MTTR*), comprovando a viabilidade de uma pilha de observabilidade aberta, escalável e alinhada com requisitos de produção.

Palavras-chave: Arquitetura de Microserviços, Contentorização, Kubernetes, Monitorização de Sistemas Distribuídos, Docker, Deteção e Resolução de Falhas.

Abstract

Microservices architectures enable the development of flexible, scalable, and modular systems in distributed environments. However, their dynamic nature increases the complexity of continuous monitoring, fault detection, and proactive response to critical events.

This dissertation presents the implementation of a monitoring and alert management platform for microservices-based infrastructures, with practical application in the modular construction industry. The proposed solution integrates *open source* tools — *Prometheus*, *Grafana*, *Loki* (as an alternative to the *ELK Stack*), and *Jaeger* — supported by *OpenTelemetry* for standardized collection of metrics, *logs*, and distributed *tracing*.

Furthermore, alert scenarios and automated response mechanisms were defined to strengthen system resilience and reduce infrastructure downtime.

The results demonstrate significant gains in end-to-end visibility and a reduction in the mean time to detect and resolve incidents (*MTTD* and *MTTR*), validating the feasibility of an open, scalable, and production-ready observability stack.

Keywords Microservices Architecture, Containerization, Kubernetes, Distributed Systems Monitoring, Docker, Fault Detection and Troubleshooting.

Conteúdo

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Parte I

Material Introdutório

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

As arquiteturas de microserviços têm emergido como uma das abordagens mais populares no desenvolvimento de software moderno, possibilitando a criação de sistemas escaláveis, modulares e fáceis de manter ¹. No entanto, o caráter distribuído dessa arquitetura introduz desafios significativos na monitorização, *logging* e alerta dos seus componentes, especialmente em ambientes dinâmicos e baseados em *containers*, como os geridos com *Docker* e *Kubernetes* ². A necessidade de uma monitorização eficaz torna-se ainda mais crítica em ambientes dinâmicos e baseados em *containers*, nos quais costumam operar aplicações distribuídas, em grande escala, que estão sujeitas a variações constantes nas cargas de trabalho com que têm de lidar. A adoção de estratégias de monitorização é essencial para garantir a estabilidade e o desempenho, permitindo a identificação proativa de anomalias e a resolução eficiente de falhas.

Ferramentas como *Prometheus*, *Grafana*, *ELK Stack* e *Jaeger* são amplamente utilizadas em aplicações de recolha e análise de *logs*, monitorização de métricas e *tracing* distribuído, proporcionando maior visibilidade sobre o comportamento dos serviços em execução. No contexto de aplicações baseadas em microserviços, em que a comunicação entre componentes é altamente distribuída, uma infraestrutura de monitorização desempenha um papel crucial na manutenção da confiabilidade e escalabilidade da plataforma. Assim, garantir a monitorização e o acompanhamento dos serviços e da aplicação desenvolvida permite não apenas detetar rapidamente problemas, mas também implementar respostas automatizadas a eventos críticos, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a eficiência operacional dos sistemas.

1.2 Motivação

O projeto *R2UT (Ready to Use Technology)* teve como principal objetivo impulsionar a transformação digital da indústria da construção civil em Portugal, promovendo a adoção de modelos de construção modular, industrializada e tecnologicamente avançada. Desenvolvido através da colaboração entre empresas e centros de investigação, o projeto procurou criar soluções inovadoras capazes de aumentar a produtividade, reduzir o desperdício e acelerar o processo construtivo, assegurando elevados padrões de qualidade e sustentabilidade.

No âmbito desta iniciativa, foi desenvolvida uma plataforma digital integrada destinada a suportar as diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios pré-fabricados, desde o planeamento e conceção até à operação e manutenção. Esta plataforma combinou tecnologias de automação, *Internet of Things (IoT)* e gestão inteligente de dados, permitindo o acompanhamento em tempo real do desempenho dos sistemas e dispositivos distribuídos.

Contudo, a crescente complexidade da arquitetura da plataforma e o número elevado de serviços distribuídos introduziram novos desafios relacionados com a monitorização, deteção de falhas e gestão do desempenho. Problemas como falhas na comunicação entre serviços, anomalias de desempenho e limitações de escalabilidade podiam comprometer a fiabilidade da infraestrutura e a integridade dos dados captados pelos dispositivos conectados ?.

Neste contexto, esta dissertação teve como foco o desenvolvimento de uma solução de monitorização e gestão de alertas para a plataforma *R2UT*, com o objetivo de garantir observabilidade, estabilidade e eficiência operacional. A solução proposta foi concebida de forma robusta e escalável, permitindo a deteção rápida de falhas e a implementação de respostas automáticas a eventos críticos.

Para tal, foi desenvolvida uma plataforma de monitorização baseada numa arquitetura de microserviços, responsável pela recolha, centralização e análise de *logs*, métricas e *tracing* distribuído, através da integração de ferramentas amplamente utilizadas no ecossistema de observabilidade. O sistema resultante proporciona maior visibilidade sobre o comportamento dos serviços e componentes da aplicação *R2UT*, contribuindo para um ambiente seguro, resiliente e de fácil manutenção, em alinhamento com os objetivos do projeto.

1.3 Objetivos

Este trabalho visa desenvolver uma plataforma de monitorização e alarmística para o projeto R2UT, assegurando uma gestão centralizada e em tempo real de microserviços através de componentes *open source*. Além de permitir respostas automatizadas a cenários críticos, a plataforma incluirá um *dashboard* interativo para análise e filtragem avançada dos dados de monitorização e *logs*, promovendo escalabilidade e resiliência no ambiente modular. Para este trabalho de dissertação foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Desenvolver uma plataforma de monitorização e alarmística para o projeto R2UT, utilizando componentes *open source* com licenças de utilização aberta (como MIT ou Apache 2.0), garantindo segurança, escalabilidade e eficiência ?.
- Garantir a monitorização dos microserviços da infraestrutura, proporcionando uma visão unificada e em tempo real das operações.
- Estudar e implementar uma estrutura de centralização de *logs* para recolher e consolidar *logs* de todos os microserviços, facilitando a supervisão do fluxo de dados e a identificação de anomalias ?.
- Incluir funcionalidades de resposta automatizada para acionar ações específicas em cenários críticos, como o escalonamento automático (*autoscaling*) de serviços ou a execução de correções automáticas.
- Desenvolver um *dashboard* intuitivo e interativo para visualização, análise e aplicação de filtros avançados nos dados de monitorização e *logs*, permitindo uma análise precisa e personalizável.

1.4 Trabalho Realizado

Ao longo deste trabalho, foi concebida e implementada uma plataforma de monitorização e gestão de alertas para o projeto R2UT, com o propósito de reforçar a observabilidade e a capacidade de supervisão da sua infraestrutura de microserviços. A solução foi desenvolvida com recurso a componentes *open source* sob licenças de utilização aberta, como MIT ou Apache 2.0, garantindo elevados níveis de segurança, escalabilidade e eficiência ?.

A plataforma proposta permitiu centralizar a monitorização dos microserviços, oferecendo uma visão consolidada e em tempo real do estado operacional do sistema. Para suportar esta monitorização, foi estudada e implementada uma estrutura de centralização de *logs*, responsável pela recolha, agregação e análise dos registos gerados pelos diferentes serviços. Esta abordagem possibilitou a supervisão contínua do fluxo de dados, bem como a deteção de anomalias e falhas na execução dos componentes distribuídos ?.

Complementarmente, foram desenvolvidos *dashboards* interativos e de fácil utilização, que permitem a visualização e análise detalhada das métricas, *traces* e dos *logs* recolhidos. Este painel oferece funcionalidades avançadas de filtragem e exploração de dados, facilitando a interpretação do comportamento dos serviços e suportando a tomada de decisões operacionais fundamentadas.

A solução implementada contribuiu de forma significativa para a melhoria da visibilidade e resiliência da plataforma R2UT, promovendo uma gestão mais eficiente e proativa dos serviços num ambiente modular, escalável e distribuído.

1.5 Estrutura do Documento

Além deste capítulo introdutório, a presente dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 2 – Arquiteturas de Microserviços**

Este capítulo apresenta a evolução e os fundamentos das arquiteturas de microserviços, explorando a sua emergência como paradigma moderno no desenvolvimento de sistemas distribuídos. São discutidos os princípios que regem este modelo arquitetônico, a sua comparação com arquiteturas monolíticas e orientadas a serviços, bem como os desafios técnicos e organizacionais associados. Por fim, aborda-se a adoção de microserviços em contextos de larga escala e em ambientes de computação em nuvem.

- **Capítulo 3 – Monitorização e Observabilidade em Microserviços**

Este capítulo analisa a importância da monitorização em sistemas distribuídos e introduz o conceito de observabilidade, sustentado nos seus três pilares fundamentais: *logs*, métricas e *tracing*. São descritas as principais ferramentas e técnicas utilizadas neste domínio, nomeadamente Prometheus, Grafana, Loki/ELK, Jaeger e OpenTelemetry. Adicionalmente, discutem-se os desafios atuais e tendências emergentes, incluindo a integração de abordagens baseadas em Inteligência Artificial para Operações (*AIOps*).

- **Capítulo 4 – Implementação da Solução de Observabilidade**

Neste capítulo é apresentada a implementação prática da solução proposta, abordando os desafios inerentes à orquestração de *containers* e à integração de ferramentas avançadas de monitorização. São explorados conceitos como *tracing* distribuído, padrões de resiliência, definição de alertas e práticas de observabilidade, fundamentais para assegurar a estabilidade e eficiência de sistemas baseados em microserviços.

- **Capítulo 5 – Conclusões e Trabalho Futuro**

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho desenvolvido, refletindo sobre os resultados obtidos e os desafios enfrentados. São também discutidas as contribuições do estudo para o projeto R2UT e para o avanço do conhecimento na área da observabilidade de sistemas distribuídos, bem como as perspetivas de evolução e as linhas de trabalho futuro.

- **Capítulo 6 – Próximos Passos**

Capítulo 2

Microsserviços

Nos últimos anos, as arquiteturas de microsserviços tornaram-se uma das abordagens mais populares no desenvolvimento de sistemas de software escaláveis e resilientes. A transformação arquitetural que este tipo de abordagem provocou, impulsionou nas organizações uma crescente necessidade para inovar rapidamente, para que fossem capazes de atender a requisitos de escalabilidade global e responder com total agilidade às constantes mudanças do mercado no qual se inserem. A mudança tecnológica assentou na evolução de arquiteturas monolíticas para sistemas compostos por múltiplos serviços independentes. Uma evolução que reflete uma mudança organizacional como também cultural nas organizações. Neste capítulo abordamos o surgimento dos microsserviços, a sua evolução histórica e o seu posicionamento no contexto das arquiteturas de software atuais. Em particular, discutir-se-ão alguns dos desafios inerentes à sua adoção, os seus conceitos fundamentais e o percurso que levou à sua popularização no domínio da Engenharia de Software.

2.1 Emergência e Evolução

2.1.1 Limitações das Arquiteturas Monolíticas

Antes da emergência dos microsserviços, a maioria das aplicações empresariais eram desenvolvidas seguindo uma arquitetura monolítica, na qual todos os componentes do sistema - interface de utilizador, lógica de negócio e acesso a dados - estão integrados num único bloco de código. Uma única “peça” de software. Embora esta abordagem simplifique o desenvolvimento inicial, à medida que a aplicação vai crescendo e evoluindo vão surgindo vários problemas devido a essa tão grande concentração de serviços num único sistema **?**. A Figura **??** apresenta uma comparação estrutural entre uma arquitetura monolítica e uma arquitetura baseada em microsserviços. Entre os principais problemas identificados destacam-se:

- Dificuldade de escalar equipas de desenvolvimento. Diferentes equipas precisam de trabalhar no