



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Características, boas práticas e ferramentas no desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços

Trabalho de Conclusão de Curso

João Paulo Feitosa Secundo



São Cristóvão – Sergipe

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

João Paulo Feitosa Secundo

**Características, boas práticas e ferramentas no
desenvolvimento de aplicações com arquitetura de
microsserviços**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador(a): Rafael Oliveira Vasconcelos

São Cristóvão – Sergipe

2022

Lista de abreviaturas e siglas

API	Application Programing Interface - Interface para programação de aplicação
HTTP	HyperText Transfer Protocol - Protocolo de transferência de hipertexto
AMS	Arquitetura de microsserviços
DoS	Denial of Service - Negação de serviço
RFC	Request For Comments - Pedido de comentários
JSON	JavaScript Object Notation - Notação de objeto javaScript
DDD	Domain-driven Design - Projeto orientado a domínio
SSL	Secure Socket Layer - Camada de soquete seguro
RPC	Remote Procedure Call - Chamada de procedimento remoto
AWS	Amazon Web Services - Serviços web da Amazon
IDE	Integrated Development Environment - Ambiente integrado de desenvolvimento
CI	Continuous Integration - Integração contínua
CD	Continuous Delivery ou Continuous Deployment -

Sumário

1	Introdução	7
1.1	Objetivos	7
1.1.1	Objetivo geral	7
1.1.2	Objetivos específicos	8
1.2	Metodologia	8
2	Fundamentação teórica	9
	<i>Este capítulo apresenta uma introdução sobre as arquiteturas monolítica e de microsserviços, e investiga trabalhos relacionados.</i>	
2.1	As aplicações monolíticas	9
2.1.1	Benefícios	9
2.1.2	Limitações	10
2.1.2.1	Crescimento, velocidade de desenvolvimento, e manutenção	10
2.1.2.2	Escalabilidade	10
2.1.2.3	Reutilização	10
2.1.2.4	Implantação	10
2.1.2.5	Confiabilidade e resiliência	10
2.1.2.6	Flexibilidade de tecnologias	10
2.1.2.7	Tamanho do time	11
2.2	Os microsserviços	11
2.2.1	Tipos de microsserviços	12
2.2.1.1	Serviço de dados (data service)	12
2.2.1.2	Serviço de negócio (business service)	12
2.2.1.3	Serviço de tradução (translation service)	12
2.2.1.4	Serviço de ponta (edge service)	12
2.3	Trabalhos relacionados	13
2.3.1	Microservices, IoT and Azure - capítulo 2: What is a microservice, por Familiar (2015)	13
2.3.2	A Systematic Mapping Study on Microservices Architecture in DevOps, por Waseem, Liang e Shahin (2020)	13
2.3.3	Design, monitoring, and testing of microservices systems: The practitioners' perspective, por Waseem et al. (2021)	13
3	Características	15
	<i>Este capítulo apresenta as características e as vantagens dos microsserviços, assim como os desafios que os acompanham.</i>	

3.1	Autonomia e Isolamento	15
3.2	Elasticidade, resiliência, e responsividade	15
3.3	Orientação-a-mensagens e programabilidade	16
3.4	Configurabilidade	16
3.5	Automação	16
3.6	Flexibilidade na escolha de tecnologias	16
3.7	Alta velocidade de desenvolvimento	16
3.8	Componentização - Reusável e combinável	17
3.9	Flexibilidade no ambiente de execução	17
3.10	Versionável e substituível	17
3.11	Evolução	18
3.12	Complexidade e desafios	18
4	Boas práticas	19
	<i>Este capítulo apresenta as boas práticas comumente seguidas na construção de aplicações com arquitetura de microsserviços.</i>	
4.1	Começar pela arquitetura monolítica	19
4.1.1	Provisionamento rápido	20
4.1.2	Monitoramento básico	20
4.1.3	Implantação rápida	21
4.2	A metodologia de 12 fatores	21
4.3	Produtos, não projetos	22
4.4	Desenvolver e compartilhar ferramentas	22
4.5	Descentralização dos dados	23
4.6	CI/CD	23
4.6.1	CI	24
4.6.1.1	Manter apenas um repositório fonte	25
4.6.1.2	Automatizar testes de novas compilações	25
4.6.1.3	Otimizar a compilação	25
4.6.1.4	Servidor de integração	25
4.6.1.5	Consertar compilações quebradas imediatamente	25
4.6.2	CD	26
4.7	Mono-repo ou Multi-repo	26
4.7.1	Estratégias de ramificação	26
4.8	Implantação em containers	26
4.9	DevOps	27
4.10	Testes	27
4.11	Comunicação	28
4.12	Monitoramento	29
4.12.1	Históricos	29

4.12.2	Métricas	30
4.13	APIs	30
4.13.1	Códigos de status de respostas HTTP	30
4.13.2	Troca de dados com JSON	30
4.13.3	Buffers de Protocolo	31
4.13.4	Contratos de dados e versionamento	31
4.13.5	API Gateway	31
4.13.6	Segurança em APIs	32
4.13.7	Testar a API	33
4.13.8	Salvar a resposta no <i>cache</i>	33
4.13.9	Comprimir os dados	33
4.13.10	Paginar e filtrar	33
4.13.11	PATCH ou PUT	33
5	Ferramentas	34
	<i>Este capítulo apresenta ferramentas que podem ser usadas na construção de aplicações com arquitetura de microsserviços</i>	
5.1	Linguagens de programação	34
5.2	Bancos de dados	34
5.2.1	Relacionais	34
5.2.2	Not-only SQL	34
5.3	Integração contínua	34
5.3.1	Sistema de controle de versão	34
5.3.2	Gerenciamento de repositórios	35
5.3.3	Automação de compilação	35
5.3.4	Testes automáticos	35
5.3.5	Servidor de integração	35
5.4	Comunicação	35
5.4.1	RPC	35
5.4.2	Mensagens	35
5.4.3	Streaming de dados	35
5.4.4	APIs	35
5.4.4.1	API Gateway	35
5.4.4.2	Linguagem de consulta	35
5.4.4.3	Documentação	35
5.4.4.4	Testes de API	36
5.5	Provisionamento	36
5.5.1	de máquinas virtuais	36
5.5.2	de containers	36
5.5.3	na nuvem	36

5.5.4	automático	36
5.6	Orquestração	36
5.7	Monitoramento	36
5.8	Conjunto de ferramentas	36
5.9	Framework arquitetural	36
5.10	Ferramentas sem servidor	37
6	Conclusão	38
7	Plano de Continuidade	39
	 Referências	 41

1

Introdução

O crescimento da internet e a onipresença da computação móvel tem mudado o jeito como software é desenvolvido nos últimos tempos. Todos que têm contato com o ramo do desenvolvimento de software provavelmente já ouviram o termo *SaaS (Software as a Service)*, ou software como um serviço. Mas essa expressão significa mais do que apenas um modelo de negócio. A tendência que tem-se observado é a de oferecer software não mais como um pacote completo e fechado, mas sim como um pacote flexível e em constante melhoria, o que implica na mudança do foco dos desenvolvedores para construir componentes leves e auto-contidos, que permitam que mudanças sejam desenvolvidas e implantadas rápida e independentemente. A partir disso originou-se um novo paradigma de desenvolvimento, chamado de "microserviços", inspirado pela arquitetura orientada a serviços, e que tem ganho grande popularidade nos últimos anos. ([Middleware Lab, 2021](#); [WASEEM et al., 2021](#)).

Se você quiser projetar um aplicativo que seja multilíngue, facilmente escalável, fácil de manter e implantar, altamente disponível e que minimize falhas, considere a arquitetura de microserviços. Esse estilo de arquitetura de software é amplamente considerado a melhor maneira de estruturar um sistema de software como um serviço atualmente. Entretanto, como quase tudo na computação, trata-se de uma troca (um *trade-off*), pois assim como há benefícios, também há desvantagens e desafios na adoção de uma arquitetura de microserviços, os quais também serão discutidos neste trabalho. ([XU et al., 2016](#); [Oracle Corporation, 2021](#))

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Discutir a arquitetura de microserviços e suas características. Analisar boas práticas e soluções comumente usadas no desenvolvimento de aplicações que utilizam essa arquitetura. Modelar e implementar um exemplo de aplicação usando a arquitetura de microserviços.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a arquitetura de microsserviços;
- Discutir boas práticas usadas na implementação de aplicações com arquitetura de microsserviços;
- Reunir ferramentas usadas na implementação de aplicações com arquitetura de microsserviços;
- Propor uma combinação dessas ferramentas para o desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços;
- Desenvolver uma aplicação exemplar com arquitetura de microsserviços, usando a combinação de ferramentas proposta e as boas práticas discutidas;
- Analisar pontos positivos e negativos das ferramentas usadas nessa aplicação exemplar.

1.2 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foi feita uma pesquisa exploratória sobre a arquitetura de microsserviços, com o objetivo de ganhar maior familiaridade com o tema. Depois de definidos os objetivos iniciou-se uma pesquisa bibliográfica e os trabalhos mais relevantes foram filtrados e revisados.

Como foi constatado que não existe uma definição formal para a arquitetura de microsserviços, para caracterizá-la e para reunir boas práticas, foram extraídas dos trabalhos as características ou boas práticas mencionadas como imprescindíveis pelos autores e as que apareceram com mais frequência.

Para a coleta de ferramentas usadas no desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços, foi feita uma nova pesquisa bibliográfica para conhecer as mais comumente usadas e entender o seu funcionamento. Também foram extraídas ferramentas mencionadas no material bibliográfico revisado anteriormente.

2

Fundamentação teórica

Este capítulo apresenta uma introdução sobre as arquiteturas monolítica e de microsserviços, e investiga trabalhos relacionados.

2.1 As aplicações monolíticas

Aplicações monolíticas, também chamadas de monólitos, são aplicações que possuem as camadas de acesso aos dados, de regras de negócios, e de interface de usuário em um único programa em uma única plataforma. Os monólitos são autocontidos e totalmente independentes de outras aplicações. Eles são feitos não para uma tarefa em particular, mas sim para serem responsáveis por todo o processo para completar determinada função. Em outras palavras, as aplicações monolíticas têm problema de modularidade. Elas podem ser organizadas das mais variadas formas e fazer uso de padrões arquiteturais, mas são limitadas em muitos outros aspectos, citados na [subseção 2.1.2](#). (MONOLITHIC. . . , 2022)

2.1.1 Benefícios

O maior e melhor benefício da arquitetura monolítica é sua simplicidade. Os monólitos são simples para desenvolver, para implantar, e para escalar. Ademais, uma aplicação simples é uma aplicação facilmente entendida pelos seus desenvolvedores, fato que por si só já melhora sua manutenibilidade.

Outra vantagem dos monólitos é sua facilidade de construção em relação a sua infraestrutura. Por não possuírem dependências com outras aplicações e nem precisarem se dedicar a comunicação externa, os monólitos têm uma infraestrutura fácil de se estruturar.

Entretanto, esses benefícios só são válidos até certo ponto. Depois que a aplicação ou o time cresce muito, um monólito pode se tornar um emaranhado complexo de funcionalidades que são difíceis de diferenciar, de separar, e de manter, e então as limitações deles começam a ficar evidentes. (RICHARDSON, 2018)

2.1.2 Limitações

2.1.2.1 Crescimento, velocidade de desenvolvimento, e manutenção

Depois de chegar num certo tamanho, pode se tornar muito difícil desenvolver funcionalidades novas, ou mesmo prover manutenção às já existentes, devido a diversos problemas que começam a surgir, tais como: lentidão da IDE por conta do tamanho do código, prejudicando a produtividade dos desenvolvedores; sobrecarregamento do container ou máquina que hospeda a aplicação, aumentando o tempo de implantação; e dificuldade de entendimento da aplicação e de realizar alterações nela, diminuindo a velocidade de desenvolvimento e a qualidade do código. Padrões de organização podem amenizar a situação, mas não eliminam o problema. (RICHARDSON, 2018)

2.1.2.2 Escalabilidade

Escalar a aplicação pode ser um desafio, pois ela só pode ser escalada em uma dimensão. É possível escalar o volume de operações executando mais cópias de um monólito, mas não é possível escalar o volume dos dados, pois cada cópia precisará acessar todos os dados, o que aumenta o consumo de memória e o tráfego de entradas e saídas (*I/O*), e também não é possível escalar os componentes independentemente, não permitindo ajustar poder de processamento ou memória quando adequado. (RICHARDSON, 2018)

2.1.2.3 Reutilização

O acoplamento forte entre as partes da aplicação dificulta a reutilização delas.

2.1.2.4 Implantação

Realizar alterações em qualquer componente implica na necessidade de reimplantar toda a aplicação, mesmo as partes que não têm ligação com as alterações. Isso aumenta riscos associados a falhas na implantação, e consequentemente desencoraja a prática de implantação contínua. (RICHARDSON, 2018)

2.1.2.5 Confiabilidade e resiliência

O acoplamento forte existente entre as partes da aplicação permite que falhas relativamente pequenas possam prejudicar toda a aplicação, inclusive as partes que não tiveram relação com a falha.

2.1.2.6 Flexibilidade de tecnologias

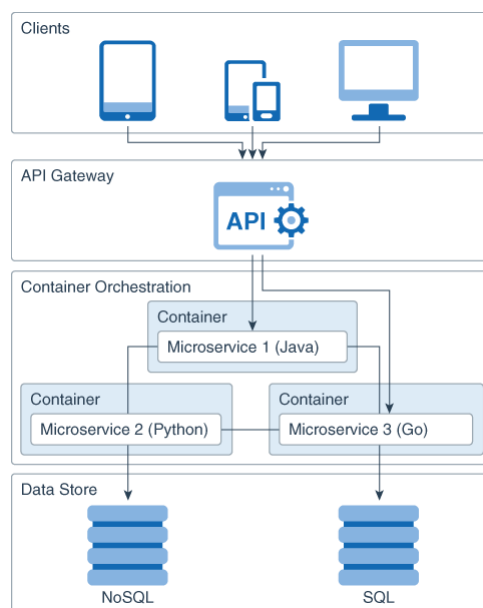
As escolhas de tecnologias são mais limitadas - um projeto tende a usar apenas um grupo de tecnologias por ser muito difícil fazer *upgrade* ou mudar, e por desafios de compatibilidade que surgem ao usar tecnologias diferentes. (RICHARDSON, 2018)

2.1.2.7 Tamanho do time

Quando a aplicação alcança determinado tamanho, é desejável dividir os desenvolvedores em times que têm foco em partes funcionais específicas. Entretanto, uma aplicação monolítica dificulta esse desenvolvimento independente, porque os times precisam coordenar o desenvolvimento e as implantações. (RICHARDSON, 2018)

2.2 Os microserviços

Figura 1 – Aplicação com arquitetura de microserviços



Fonte: Oracle Corporation (2021)

Microserviços é uma abordagem de arquitetura de software. Aplicações com uma arquitetura de microserviços são separadas em partes, chamadas de microserviços, que são classificadas e se comunicam por meio de uma rede. Microserviços oferecem capacidades de negócio (funcionalidades relacionadas às regras de negócio da aplicação) ou capacidades de plataforma (funcionalidades relacionadas ao ambiente de execução da aplicação), tratando um aspecto em particular da aplicação. Eles se comunicam por meio de APIs bem definidas, contratos de dados, e configurações. O "micro" em microserviços faz referência não ao tamanho do serviço, mas sim ao seu escopo de funcionalidade. Eles oferecem apenas uma determinada funcionalidade, tornando-se especialistas nela. Assim sendo, microserviços não necessariamente devem ser pequenos em tamanho, mas fazem apenas uma tarefa e a fazem eficientemente. (FAMILIAR, 2015)

Sendo especialistas em apenas uma tarefa, microserviços têm características e comportamentos que os diferenciam de outras arquiteturas orientadas a serviços, os quais serão discutidos

no [Capítulo 3](#).

A [Figura 1](#) exemplifica uma aplicação com arquitetura de microserviços. Inicialmente os usuários da aplicação (camada *Clients*) fazem requisições à API para obter as informações desejadas. O *API Gateway* - que é responsável por gerenciar as chamadas aos microserviços e será melhor discutido no [subseção 4.13.5](#) - fará as devidas requisições para os devidos microserviços (localizados na camada *Container Orchestration*). Esses microserviços então buscarão a informação necessária no devido banco de dados (camada *Data Store*).

2.2.1 Tipos de microserviços

2.2.1.1 Serviço de dados (data service)

Tipo de serviço mais baixo-nível. Responsável por receber e tratar dados, assim fornecendo acesso a determinado domínio e suas regras. Quando um serviço de dados realiza apenas operações relacionadas a um determinado domínio da aplicação, ele também é chamado de serviço de domínio.

2.2.1.2 Serviço de negócio (business service)

Em determinados momentos as operações precisam de mais de um modelo do domínio para serem representadas em um serviço. Assim, os serviços de negócio agregam dados e oferecem operações mais complexas. Eles englobam vários serviços de domínio e proveem uma funcionalidade do negócio de nível mais alto, podendo também encapsular domínios relacionados. Por exemplo, em um site de cursos online, um serviço de negócio poderia prover uma funcionalidade chamada "Matricular Aluno", que envolveria as operações de inserir aluno no serviço de cursos, inserir aluno no serviço de pagamento, e inserir aluno no serviço de gamificação.

2.2.1.3 Serviço de tradução (translation service)

Um serviço de tradução é um intermediário entre a aplicação e um recurso externo, provendo uma forma de acessar esse recurso. No caso desse serviço externo sofrer mudanças, pode-se realizar as alterações consequentemente necessárias em apenas um lugar, nesse serviço de tradução. Por exemplo, a aplicação pode consumir uma API externa por meio do serviço de tradução, pedindo para que ele faça uma requisição para essa API, e então recebendo a resposta.

2.2.1.4 Serviço de ponta (edge service)

É um serviço que serve diretamente ao cliente, sendo customizado para atender necessidades específicas desse cliente. Por exemplo, pode existir um serviço de ponta para clientes móveis e outro serviço de ponta para clientes web.

2.3 Trabalhos relacionados

2.3.1 Microservices, IoT and Azure - capítulo 2: What is a microservice, por Familiar (2015)

O capítulo 2 do livro de Bob Familiar descreve o que é um microsserviço, suas características e implicações, benefícios, e desafios.

"Microservices do one thing and they do it well". Como é explicado por Familiar (2015), microsserviços representam capacidades de negócio definidas usando o design orientado a domínio, são testados a cada passo do *pipeline* de implantação, e lançados por meio de automação como serviços independentes, isolados, altamente escaláveis e resilientes em uma infraestrutura em nuvem distribuída. Pertecem a um time único de desenvolvedores, que trata o desenvolvimento do microsserviço como um produto, entregando software de alta qualidade em um processo rápido e iterativo com envolvimento do cliente e satisfação como métrica de sucesso.

Em contraste com o trabalho atual, Familiar (2015) não aborda boas práticas, padrões e ferramentas usadas no desenvolvimento de microsserviços.

2.3.2 A Systematic Mapping Study on Microservices Architecture in DevOps, por Waseem, Liang e Shahin (2020)

Esse trabalho tem o objetivo de sistematicamente identificar, analisar, e classificar a literatura sobre microsserviços em DevOps. Inicialmente o leitor é contextualizado no mundo dos microsserviços e a cultura DevOps. Os autores usam a metodologia de pesquisa de um estudo de mapeamento sistemático da literatura publicada entre Janeiro de 2009 e Julho de 2018. Após selecionados 47 estudos, é feita a classificação deles de acordo com os critérios definidos pelos autores, e então é feita a discussão sobre os resultados obtidos - são expostos a quantidade de estudos sobre determinados tópicos em microsserviços, problemas e soluções, desafios, métodos de descrição, design patterns, benefícios, suporte a ferramentas, domínios, e implicações para pesquisadores e praticantes.

Em contraste com o trabalho atual, Waseem, Liang e Shahin (2020) não aborda as características dos microsserviços, mas também mapeia desafios enfrentados e soluções empregadas.

2.3.3 Design, monitoring, and testing of microservices systems: The practitioners' perspective, por Waseem et al. (2021)

Esse trabalho tem o objetivo de entender como sistemas de microsserviços são projetados, monitorados, e testados na indústria. Foi conduzida uma pesquisa relativamente grande que obteve 106 respostas e 6 entrevistas com praticantes de microsserviços. Os resultados obtidos identificam os desafios que os praticantes enfrentam e as soluções empregadas no projeto, monitoramento

e teste de microsserviços. Também é feita uma discussão profunda sobre os resultados, da perspectiva dos praticantes, e sobre as implicações para pesquisadores e praticantes.

Em contraste com o atual trabalho, [Waseem et al. \(2021\)](#) não abordam as características dos microsserviços.

3

Características

Este capítulo apresenta as características e as vantagens dos microsserviços, assim como os desafios que os acompanham.

Em geral não existe uma definição formal do que o estilo de arquitetura de microsserviços tem ou não tem, mas as características aqui apresentadas são características comuns observadas em arquiteturas que se encaixam como microsserviços. Assim sendo, nem todas as arquiteturas de microsserviços terão essas características, mas é esperado que a maioria delas estejam presentes. (FOWLER, 2014b)

3.1 Autonomia e Isolamento

Autonomia e isolamento significa que microsserviços são unidades auto-contidas de funcionalidade, com dependências de outros serviços fracamente acopladas e são projetados, desenvolvidos, testados e lançados independentemente. O termo autônomo pode ser definido como "existe ou é capaz de existir independentemente das outras partes". O termo isolado, como "separado das outras partes". (FAMILIAR, 2015)

3.2 Elasticidade, resiliência, e responsividade

Microsserviços são reusados entre muitas soluções diferentes e portanto devem ser escaláveis de acordo com o uso. Devem ser resilientes, isso é, ser tolerantes a falhas e ter um tempo de recuperação razoável quando algo der errado. Além disso, devem ser responsivos, tendo um desempenho razoável de acordo com o uso. O termo elástico pode ser definido como "capaz de retornar ao tamanho/formato original depois de ser esticado, comprimido ou expandido". O termo resiliente, como "resistente às mudanças negativas". O termo responsivo, como "rápido em responder e reagir". (FAMILIAR, 2015)

3.3 Orientação-a-mensagens e programabilidade

Microserviços dependem de APIs e contratos de dados para definir como interagir com o serviço. A API define um conjunto de *endpoints* acessíveis por rede, e o contrato de dados define a estrutura da mensagem que é enviada ou retornada. O termo orientado-a-mensagens pode ser definido como "*software*" que conecta sistemas separados em uma rede, carregando e distribuindo mensagens entre eles. O termo programável, como "obedece a um plano de tarefas que são executadas para alcançar um objetivo específico". (FAMILIAR, 2015)

3.4 Configurabilidade

Microserviços devem provêr mais do que apenas uma API e um contrato de dados. Para que sejam reusáveis e para que possa resolver as necessidades do sistema que o use, cada microserviço deve ter níveis diferentes de configuração, e esta configuração pode ser feita de diferentes formas. O termo configurável pode ser definido como "projetado ou adaptado para formar uma configuração ou para algum propósito". (FAMILIAR, 2015)

3.5 Automação

O ciclo de vida de um microserviço deve ser totalmente automatizado, desde o projeto até a implantação. O termo automatizado pode ser definido como "funcionar sem precisar ser controlado diretamente". (FAMILIAR, 2015)

3.6 Flexibilidade na escolha de tecnologias

Como mencionado anteriormente, cada microserviço disponibiliza suas funcionalidades por meio de APIs e contratos de dados em uma rede. A comunicação independe da arquitetura que o microserviço faz uso, o que possibilita que cada microserviço possa escolher seu sistema operacional, linguagem e banco de dados. Além disso, eles podem ser desenvolvidos usando uma linguagem de programação e estrutura que melhor se adapte ao problema que ele é projetado para resolver. Embora essa flexibilidade seja algo positivo, usar muitas tecnologias diferentes tende a aumentar a complexidade do sistema. (Oracle Corporation, 2021; FAMILIAR, 2015)

3.7 Alta velocidade de desenvolvimento

Com um time responsável por cuidar do ciclo de desenvolvimento e sua automação, a velocidade com que microserviços podem ser desenvolvidos é muito maior do que fazer o equivalente para uma solução monolítica. (FAMILIAR, 2015)

3.8 Componentização - Reusável e combinável

Há muito tempo na indústria do software deseja-se construir sistemas apenas juntando componentes, assim como se faz no mundo físico. Na computação, um componente é definido como uma unidade de *software* que é atualizável e substituível independentemente. Apesar de ser muito comum o uso de pacotes e bibliotecas (padrão de projeto conhecido como *sidecar*), que podem ser considerados componentes, há maneiras diferentes de se componentizar *software* que são características dos microsserviços. (FOWLER, 2014b)

Microsserviços podem utilizar pacotes e bibliotecas como componentes mas nesta arquitetura a maneira principal e mais eficiente para componentizar o *software* é justamente ser dividido em serviços. Quando uma aplicação usa múltiplas bibliotecas como componentes em um único processo, uma mudança em qualquer desses componentes resulta na necessidade de reimplantar a aplicação toda. Se essa mesma aplicação é decomposta em múltiplos serviços, é provável que uma mudança nesse serviço só obrigaria a reimplantação do próprio serviço. Como os microsserviços são entidades independentes que provêm funcionalidades em um determinado escopo por meio de padrões de internet aberta, são reusáveis por natureza. Com essa componentização, fica mais fácil criar soluções para o usuário final combinando múltiplos microsserviços. (FOWLER, 2014b; FAMILIAR, 2015)

Contudo, usar serviços dessa forma traz algumas desvantagens. A comunicação remota é muito mais complexa e cara, então o método de comunicação escolhido deve ser implementado de modo flexível. Além disso, realocar responsabilidades entre os componentes é mais difícil quando se trata de processos diferentes. (FOWLER, 2014b).

3.9 Flexibilidade no ambiente de execução

A implantação de microsserviços é altamente dependente de sua automação. Para garantir flexibilidade de ambiente de execução, essa automação deve incluir configuração de cenários diferentes de uso, não apenas para produção, mas também para desenvolvimento e testagem, possibilitando que o microsserviço tenha o melhor desempenho em diversos cenários. Para tanto, é necessário o uso de ferramentas que configurem essa flexibilidade. Tais ferramentas serão melhor discutidas no Capítulo 5. (FAMILIAR, 2015)

3.10 Versionável e substituível

Com o controle completo dos cenários de implantação, é possível manter versões diferentes de um mesmo serviço rodando ao mesmo tempo, proporcionando retrocompatibilidade e fácil migração. Além disso, serviços podem ser atualizados ou mesmo substituídos sem ocasionar indisponibilidade do serviço. (FAMILIAR, 2015)

3.11 Evolução

Como explicado na [seção 2.1](#), quanto maior e mais antigo o software, mais difícil é de lhe dar manutenção. Porém, com componentes modularizados e organizados adequadamente, uma aplicação com arquitetura de microsserviços tende a crescer muito mais horizontalmente do que verticalmente, possibilitando que ela nunca chegue em um estado em que fica inviável dar manutenção.

É possível decompor uma aplicação monolítica em uma arquitetura de microsserviços - tema de pesquisa muito recorrente na área da arquitetura de aplicações - mas esse processo não faz parte do escopo deste trabalho.

3.12 Complexidade e desafios

O uso da arquitetura de microsserviços implica num grande aumento de complexidade não apenas na infraestrutura, mas também em muitas etapas do ciclo de desenvolvimento do software, como no *debug*, nos testes, e no monitoramento por exemplo. Além disso, o uso de diversas tecnologias geralmente traz problemas por inexperiência dos desenvolvedores.

Dessa complexidade, surgem muitos desafios no desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços, e optar por esta arquitetura nem sempre é uma boa escolha. Um desafio que [Fowler \(2015\)](#) considera crítico para o bom funcionamento da aplicação é a definição dos limites de cada microsserviço. Outros desafios são: complexidade de projeto, complexidade operacional, gerenciamento de redes, consistência de dados, comunicação, e manutenção. ([RICHARDSON, 2021](#))

De acordo com [Xu et al. \(2016\)](#), os três grandes desafios do desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços são (1) Como programar sistemas que consistem de um grande número de serviços executando em paralelo e distribuídos em um conjunto de máquinas, (2) Como reduzir a sobrecarga de comunicação causada pela execução de grandes números de pequenos serviços, e (3) Como sustentar a implantação flexível de serviços em uma rede para conseguir realizar o balanceamento de carga. De acordo com [Waseem et al. \(2021\)](#), mais pesquisas são necessárias para lidar com a complexidade dos microsserviços no nível de projeto, de monitoramento, e de testes, desafios para qual não há soluções dedicadas.

4

Boas práticas

Este capítulo apresenta as boas práticas comumente seguidas na construção de aplicações com arquitetura de microsserviços.

4.1 Começar pela arquitetura monolítica

[Fowler \(2015\)](#) defende o uso de arquiteturas monolíticas para desenvolver novas aplicações. Mesmo os defensores dos microsserviços dizem que há custos e riscos no uso desta arquitetura, os quais desaceleram o time de desenvolvimento, assim favorecendo monólitos para aplicações mais simples. Esse fato leva a um argumento forte para a escolha de uma arquitetura monolítica mesmo se for acreditado que haverá benefícios mais tarde com o uso da arquitetura de microsserviços, por duas razões. A primeira é conhecida como *Yagni - You're not gonna need it*, ou "Você não precisará disso", um preceito do método ágil *ExtremeProgramming* que diz que uma capacidade que acredita-se ser necessária no futuro não deve ser implementada agora por quê "você não precisará disso". A segunda razão é que microsserviços só funcionarão bem se os limites forem muito bem estabelecidos, e para tanto, constrói-se um monólito primeiro para que se possa descobrir os limites antes de serem impostos grandes obstáculos neles pela divisão dos microsserviços. ([FOWLER, 2015](#))

Além disso, [Fowler \(2014a\)](#) também afirma que existem 3 pré-requisitos para se adotar uma arquitetura de microsserviços, e que é mais fácil lidar com as operações de um monólito bem definido do que de um ecossistema de pequenos serviços. Assim sendo, pode-se considerar uma boa prática começar pela arquitetura monolítica até que o sistema já esteja bem definido e estes pré-requisitos sejam atendidos - provisionamento rápido, monitoramento básico, e implantação rápida de aplicação - explicados na [subseção 4.1.1](#), [subseção 4.1.2](#) e [subseção 4.1.3](#) respectivamente. ([FOWLER, 2014a](#))

Já [Tilkov \(2015\)](#) contesta essa prática e afirma que não se deve começar pela arquitetura monolítica se o objetivo for uma arquitetura de microsserviços. Ele afirma que o melhor momento para se pensar em dividir um sistema é justamente quando ele está sendo construído, e que é

extremamente difícil dividir um sistema *brownfield* (sistema desenvolvido a partir de outro pré-existente). Entretanto, ele reconhece que para dividir um sistema, deve-se conhecer muito bem o domínio, e que o cenário ideal para o desenvolvimento de microsserviços é quando se está desenvolvendo uma segunda versão de um sistema existente. [Fowler \(2015\)](#) reconhece esses argumentos como válidos, e reforça que existem sim benefícios de se começar por uma arquitetura de microsserviços, mas ainda existem poucas histórias de aplicações com arquiteturas de microsserviços e mais relatos são necessários para saber a melhor escolha inicial de arquitetura. ([TILKOV, 2015](#); [FOWLER, 2015](#))

[Lumetta \(2018\)](#) afirma que para decidir a abordagem arquitetural inicial de uma aplicação é necessário considerar o contexto do negócio, da própria aplicação, e do time que a irá desenvolver, e que existem condições que configuram a melhor escolha. Ele descreve 3 condições que tornam a adoção de uma arquitetura de microserviços para uma nova aplicação uma boa escolha - (1) Há necessidade de entrega de serviços rápida e independentemente, (2) parte da plataforma precisa ser extremamente eficiente, e (3) planeja-se aumentar o time. E também descreve 3 condições que tornam a adoção de uma arquitetura monolítica uma boa escolha - (1) O time ainda está em crescimento, (2) o produto sendo construído é não comprovado ou é uma prova de conceito, (3) o time não tem experiência com microsserviços. ([LUMETTA, 2018](#))

Percebe-se então que existem tanto razões para se começar pelos microsserviços como razões para se começar com uma arquitetura mais simples. Porém, não foi observado um consenso geral sobre quais seriam exatamente as razões para adotar ou não uma arquitetura de microsserviços para uma nova aplicação desde o início de seu desenvolvimento. Há nesse ponto, portanto, espaço para mais discussões e pesquisas.

4.1.1 Provisionamento rápido

No contexto da computação, provisionamento significa disponibilizar um recurso, como uma máquina virtual por exemplo. Para produzir software, é necessário provisionar muitos recursos, tanto para os desenvolvedores quanto para o cliente. Naturalmente, o provisionamento é mais fácil na nuvem. Na AWS por exemplo, para conseguir uma nova máquina, basta lançar uma nova instância e acessá-la - um processo muito rápido quando comparado ao *on-premises*, onde precisaria-se comprar uma nova máquina, esperar chegar, configurá-la, e só então ela estará pronta. Para alcançar um provisionamento rápido, será necessário bastante automação. ([FOWLER, 2014a](#))

4.1.2 Monitoramento básico

Muitas coisas podem dar errado em qualquer tipo de arquitetura, mas em especial nos microserviços pois cada serviço é fracamente acoplado, estando sujeitos não só a falhas no código, mas também na comunicação, na conexão, ou até falhas físicas. Portanto, o monitoramento

é crucial nesse tipo de arquitetura para que problemas, especialmente os mais graves possam ser detectados no menor tempo possível. Ademais, o monitoramento também pode ser usado para detectar problemas de negócio, como uma redução nos pedidos de um site de vendas, por exemplo. (FOWLER, 2014a)

4.1.3 Implantação rápida

Na arquitetura de microserviços a implantação é feita separadamente para cada microserviço. Com muitos serviços para gerenciar, ela pode se tornar uma tarefa árdua, portanto será novamente necessário um grande nível de automação nessa etapa, geralmente envolvendo um *pipeline* de implantação, que deve ser automatizado o máximo possível. (FOWLER, 2014a)

4.2 A metodologia de 12 fatores

A metodologia de 12 fatores para o desenvolvimento de aplicativos é um conjunto de regras e diretrizes para o desenvolvimento de aplicativos nativos da nuvem e software como um serviço. De acordo com ela, os microserviços devem respeitar as seguintes orientações:

I. Base de Código - Cada microserviço deve ter uma base de código única e particular, com rastreamento utilizando controle de revisão, e devem ser criados várias implantações.

II. Dependências - Cada microserviço deve declarar e isolar suas dependências.

III. Configurações - Configurações de ambiente devem ser armazenadas fora do microserviço, para que ele possa decidir a configuração apropriada a ser usada.

IV. Serviços de Apoio - Os microserviços não devem fazer distinção entre serviços de terceiros e serviços locais.

V. Construir, lançar, e executar - Deve-se separar e distinguir cada etapa do processo de desenvolvimento. Na etapa de construção, o código é transformado em um executável. Na etapa de lançamento, o executável se combina com a configuração atual da implantação, seja teste, desenvolvimento ou produção. Na etapa de execução, o aplicativo é executado no ambiente adequado ao lançamento selecionado.

VI. Processos - Deve-se executar a aplicação como um ou mais processos que não armazenam estado, assim diminuindo o acoplamento e facilitando o escalamento.

VII. Vínculo de porta - Um microserviço deve ser executado em um container e exposto por meio de portas.

VIII. Concorrência - Cada processo deve ser independente e executado separadamente, para se ter um melhor dimensionamento e possibilidade de executar mais ao mesmo tempo.

IX. Descartabilidade - Deve ser possível iniciar ou interromper a aplicação imediatamente sempre que necessário. Caso a aplicação pare de funcionar, deve ser capaz de iniciar novamente

sem perdas.

X. Paridade de desenvolvimento e produção - Deve-se manter os ambientes de desenvolvimento, teste e produção o mais semelhantes possível.

XI. *Logs* (históricos) - Logs devem ser tratados como um fluxo de eventos.

XII. Processos administrativos - Tarefas de administração ou de gerenciamento devem ser executadas como processos únicos. (WIGGINS, 2017; Oracle Corporation, 2021; RODRIGUES, 2016)

4.3 Produtos, não projetos

A maioria dos times de desenvolvedores trabalham sob o seguinte modelo de projeto: O objetivo é entregar uma peça de *software*, que quando entregue é considerada como completa. Após isso, o *software* é passado para um time de manutenção e o time que o desenvolveu é desfeito. (FOWLER, 2014b)

Os praticantes de microsserviços tendem a evitar esse modelo, em vez disso adotando a ideia de que um time deve ser o dono de um produto - não projeto - durante todo seu ciclo de vida. Um exemplo de empresa que adota esse modelo é a Amazon, exercendo a ideia de "você constroi, você executa", na qual um time de desenvolvimento é totalmente responsável por um *software* em produção (um produto). Dessa forma, o time adquire pleno conhecimento de como seu produto se comporta, e como seus usuários o utilizam, pois também terá que realizar o suporte aos usuários do produto. Essa prática também está ligada a separação da aplicação por capacidades de negócio - em vez de enxergar o software como um conjunto de funcionalidades a serem implementadas, cria-se uma relação entre os desenvolvedores e os usuários, na qual a questão é como o software pode auxiliar o usuário a aumentar a capacidade de negócio. Tal prática também pode ser aplicada em aplicações monolíticas, embora a divisão em microsserviços facilita a criação de relações entre os desenvolvedores de serviços e seus usuários. (FOWLER, 2014b)

4.4 Desenvolver e compartilhar ferramentas

Em vez de apenas usar um conjunto de padrões definidos para desenvolver microsserviços, é preferível produzir ferramentas úteis que outros desenvolvedores possam usar para resolver problemas similares aos que eles enfrentam. Essas ferramentas geralmente são extraídas de implementações maiores e compartilhadas com um grupo mais amplo, geralmente por meio de um modelo de código aberto. Com o Git e o GitHub se tornando ferramentas tão populares, práticas de código aberto estão cada vez mais comuns. (FOWLER, 2014b)

A Netflix é um exemplo de organização que segue essa filosofia. Compartilhar código útil e muito bem testado como bibliotecas incentiva outros desenvolvedores a resolver pro-

blemas semelhantes de maneiras semelhantes, mas deixa a porta aberta para escolher uma abordagem diferente, se necessário. As bibliotecas compartilhadas tendem a se concentrar em problemas comuns, como armazenamento de dados, comunicação entre processos e automação de infraestrutura. (FOWLER, 2014b)

4.5 Descentralização dos dados

Para o gerenciamento de dados, há a possibilidade de compartilhar um banco de dados entre diferentes microsserviços, mas isso é visto como um anti-padrão. Uma aplicação com arquitetura de microsserviços tem melhor isolamento, segurança e disponibilidade quando cada serviço gerencia seu próprio banco de dados particular, inclusive tendo a possibilidade de ser instâncias diferentes da mesma tecnologia ou usar sistemas de banco de dados totalmente diferentes. Os dados persistidos por esses bancos de dados particulares só devem ser acessados diretamente pelo serviço que o contém, e outros serviços que necessitem desses dados precisarão enviar uma requisição. Com cada serviço tendo seu próprio banco de dados, a escalabilidade do serviço e do seu banco pode ser feita em conjunto. Assim, serviços que recebem poucos acessos podem ter bancos menos potentes e mais baratos, e vice-versa. (Oracle Corporation, 2021; FOWLER, 2014b)

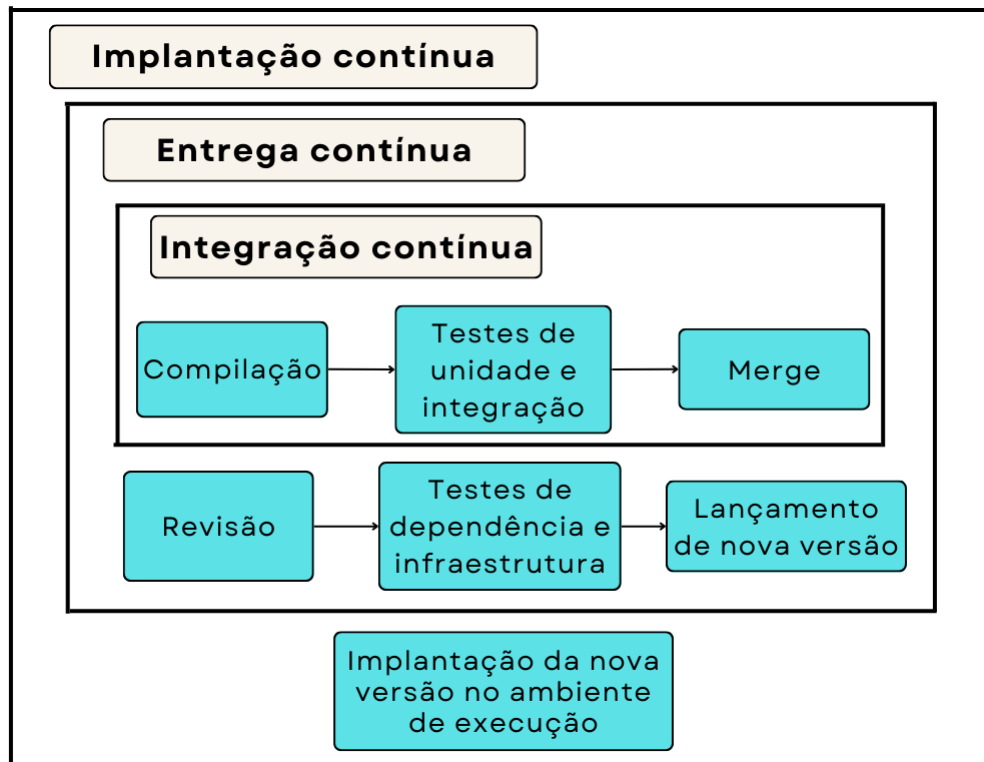
Entretanto, essa descentralização tem implicações para o gerenciamento de atualizações. Geralmente a abordagem para se garantir consistência nas atualizações é pelo uso de transações quando atualizando múltiplos recursos. Contudo, o uso de transações resultada em um acoplamento temporal, o que é problemático quando se tem muitos serviços. Além disso, transações distribuídas são notoriamente difíceis de implementar, e portanto arquiteturas de microsserviços realizam coordenação sem transações entre serviços, com reconhecimento claro de que consistência pode ser apenas consistência eventual e que problemas serão lidados pela compensação de operações. (FOWLER, 2014b)

4.6 CI/CD

CI/CD é um método para entregar aplicações e mudanças nelas com frequência aos clientes. CI é um acrônimo de *Continuous Integration*, e diz respeito a como o novo código feito pelo desenvolvedor chega no repositório principal e se transforma em um artefato implantável. Já CD é um acrônimo de *Continuous Deployment* ou *Continuous Delivery*. *Continuous Delivery* diz respeito a automação de como os artefatos são lançados e garante que eles podem ser implantados num ambiente de execução a qualquer hora. *Continuous Deployment* diz respeito a automação de como os lançamentos são de fato implantados no ambiente de execução. A Figura 2 ilustra as definições e limites da integração, entrega e implantação contínua. Apesar de determinar essas definições para este trabalho, foram observados conflitos na bibliografia revisada tanto nas definições para os termos CI e CD quanto nos limites do que essas práticas englobam, em

particular para o termo CD, que pode significar *Continuous Delivery*, *Continuous Deployment*, ou mesmo os dois. No fim, não é importante se ater à semântica - apenas deve-se lembrar que CI/CD é um processo, muitas vezes visualizado como um *pipeline*, que envolve a adição de um alto nível de automação e monitoramento no desenvolvimento de aplicações. (Red Hat Incorporated, 2022; Harness Incorporated, 2021; GitLab Incorporated, 2022)

Figura 2 – CI/CD



Fonte: Autor

4.6.1 CI

Integração contínua (ou *CI - Continuous Integration*) é uma prática no desenvolvimento de software onde os desenvolvedores integram o código em um repositório compartilhado múltiplas vezes no dia. Muitos times afirmam que essa prática leva a uma grande redução nos problemas de integração e os permite desenvolver *software* coeso mais rapidamente. Além disso, melhora a identificação do progresso do desenvolvimento, facilita a identificação e remoção de falhas e bugs, e aumenta a experiência e a confiança do time nos testes e compilação do código desenvolvido. A integração contínua por si só requer apenas uma ferramenta de controle de versão (como Git ou SVN) para ser feita, mas existem práticas bem consolidadas na indústria do desenvolvimento de *software* que auxiliam e incrementam esse processo. (FOWLER, 2006)

4.6.1.1 Manter apenas um repositório fonte

Deve-se ter um repositório, compartilhado por toda a equipe desenvolvedora, que contém tudo aquilo que é necessário para a construção do projeto, para que seja possível se ter um novo ambiente de desenvolvimento funcional rapidamente. Isso inclui mas não é limitado a - código, *scripts*, migrações e esquemas de bancos de dados, arquivos de propriedades, e configurações de IDE. Além disso, o conteúdo do repositório deve estar disponível para todos, assim aumentando a visibilidade e facilitando o monitoramento do progresso do conteúdo. (GitLab Incorporated, 2022; FOWLER, 2006)

4.6.1.2 Automatizar testes de novas compilações

As integrações de cada novo *commit* no repositório precisam ser compiladas e testadas, o que é uma tarefa árdua e demorada se feita manualmente. Desse modo, deve-se elaborar uma bateria de testes, e executá-la de forma automática a cada nova compilação, para assim detectar falhas rapidamente e aumentar a qualidade do código. (GitLab Incorporated, 2022; FOWLER, 2006)

4.6.1.3 Otimizar a compilação

Compilações lentas afetam negativamente a integração contínua, atrasando integrações e diminuindo a frequência do *feedback*. Além disso, todas as etapas da compilação devem ser simples de executar, idealmente por meio de um único comando. (FOWLER, 2006)

4.6.1.4 Servidor de integração

Às vezes não é possível realizar todos os testes necessários na máquina local do desenvolvedor, seja por questões de tempo ou pelo projeto ser muito complexo para ser testado integralmente. Nesse caso, será preciso providenciar um local que será capaz de testar todo o projeto continuamente. Tal local é chamado de *CI Daemon* ou servidor de integração. Esse servidor será responsável por realizar a bateria de testes e compilar o código a cada *commit*, e disponibilizar informações e relatórios sobre os passos executados, assim mantendo a qualidade do código e possibilitando a compilação contínua. (FOWLER, 2006)

4.6.1.5 Consertar compilações quebradas imediatamente

O principal ponto de usar a integração contínua é que a equipe sempre estará trabalhando a partir de uma base estável. Se há uma base instável, é tarefa de toda a equipe resolver o problema o mais rápido possível, pois nenhum novo *commit* poderá ser feito em cima daquela base até que esteja estável e confiável novamente. Geralmente o melhor meio de resolver esse problema é reverter os *commits* problemáticos, trazendo o sistema de volta a um ponto funcional. Não deve-se tentar *debugar* no ramo principal do repositório. (FOWLER, 2006)

4.6.2 CD

CD refere-se à entrega contínua e/ou à implantação contínua, conceitos relacionados e às vezes usados alternadamente. Em ambos os casos, se trata da automação de fases avançadas do pipeline. A entrega contínua é uma evolução da integração contínua e envolve todo o ciclo do projeto, até a criação da nova versão da aplicação, mas a implantação dessa nova versão no ambiente de execução é feita manualmente. A implantação contínua engloba a entrega contínua e adiciona o passo de automatizar a implantação da nova versão no ambiente de execução. A finalidade da entrega contínua é garantir o mínimo de esforço na implantação de novas alterações, enquanto a da implantação contínua é sempre manter o ambiente de execução atualizado com as últimas alterações. A adoção da implantação contínua deve ser pensada, pois para alguns negócios é preferível uma taxa de implantações mais baixa. Embora seja possível realizar integração contínua sem entrega contínua, o oposto é impossível na prática, pois entregar alterações que ainda não foram devidamente integradas no repositório não faz sentido no desenvolvimento de *software* em equipes. ([GitLab Incorporated, 2022](#); [Red Hat Incorporated, 2022](#))

Os benefícios da entrega contínua incluem: risco reduzido na implantação, pois como as mudanças são menores, há menos possibilidades de problemas, e caso haja, o conserto é mais simples; visualização do progresso, que não será simplesmente por trabalho "completo", mas sim por trabalho entregue; e *feedback* do usuário mais rápida e frequentemente. ([FOWLER, 2013](#))

4.7 Mono-repo ou Multi-repo

4.7.1 Estratégias de ramificação

4.8 Implantação em containers

After you build your microservice, you must containerize it. A microservice running in its own container doesn't affect the microservices deployed in the other containers.

A container is a standardized unit of software, used to develop, ship and deploy applications.

Containers are managed using a container engine, such as Docker. The container engine provides the tools that are necessary to bundle all the application dependencies as a container.

You can use the Docker engine to create, deploy, and run your microservices applications in containers. Microservices running in Docker containers have the following characteristics:

Standard: The microservices are portable. They can run anywhere. Lightweight: Docker shares the operating system (OS) kernel, doesn't require an OS for each instance, and runs as a lightweight process. Secure: Each container runs as an isolated process. So the microservices are secure.

The process of containerizing a microservice involves creating a Dockerfile, creating and building a container image that includes its dependencies and the environmental configuration, deploying the image to a Docker engine, and uploading the image to a container registry for storage and retrieval. ([Oracle Corporation, 2021](#))

4.9 DevOps

A velocidade de equipes pode ser medida por meio de tarefas que são implementadas, essa é uma ideia. Por outro lado, a equipe de operações valoriza a estabilidade, afinal cada alteração é uma possível causa de problemas. O operacional deseja controlar o ambiente de produção. Temos diferenças importantes na forma de trabalho: um preza velocidade em novas funcionalidades e outro estabilidade. As equipes precisam trabalhar em conjunto para conseguir chegar à entrega contínua e ter um software funcional em ambiente de produção. DevOps é um movimento cultural que visa a integração e otimizar o processo de aprendizagem entre os integrantes da equipe. DevOps não é um título de cargo, mas uma visão de organização de trabalho que visa criar um pipeline veloz, seguro e integrado. Precisamos, claro, de ferramentas que irão facilitar as integrações e monitoramento, mas é muito mais um movimento cultural do que uma aparelhagem técnica.

4.10 Testes

Traditionally a build means compiling, linking, and all the additional stuff required to get a program to execute. A program may run, but that doesn't mean it does the right thing. Modern statically typed languages can catch many bugs, but far more slip through that net. A good way to catch bugs more quickly and efficiently is to include automated tests in the build process. Testing isn't perfect, of course, but it can catch a lot of bugs - enough to be useful. In particular the rise of Extreme Programming (XP) and Test Driven Development (TDD) have done a great deal to popularize self-testing code and as a result many people have seen the value of the technique. ([FOWLER, 2006](#))

Testes fazem parte da construção do software. Devem ser realizados antes do commit. TDD pode ajudar neste processo. Deve-se prezar por um bom desempenho em testes, pois testes demorados podem ser uma barreira para a integração contínua. Testes automatizados são essenciais para a integração contínua.

O processo de testes para microsserviços engloba várias estratégias diferentes de testes. Essas estratégias podem incluir testes funcionais, como um teste de unidade, ou testes não-funcionais, como um teste de desempenho. Usar múltiplas estratégias de testes garante que a aplicação opera com sucesso em ambientes e plataformas diferentes. De acordo com [Waseem et al. \(2021\)](#), testes de unidade e testes fim-a-fim são as estratégias de testes mais usadas.

[Familiar \(2015\)](#) afirma que além de usar os métodos mais comuns de testes, deve-se também testar os microsserviços conforme passam pelo *pipeline* de implantação. Isso inclui:

- Testes internos: Testar as funções internas do serviço, inclusive uso de acesso de dados, e caching.
- Teste de serviço: Testar a implementação de serviço da API. Essa é uma implementação privada da API e seus modelos associados.
- Teste de protocolo: Testar o serviço no nível de protocolo, chamando a API sobre o determinado protocolo (geralmente HTTP).
- Teste de composição: Testar o serviço em cooperação com outros serviços no contexto de uma solução.
- Teste de escalabilidade/taxa de transferência: Testar a escalabilidade e elasticidade do microsserviço implantado.
- Teste de tolerância a falha: Testar a capacidade do microsserviço de recupera-se após uma falha.
- Teste de penetração: Trabalhar com uma empresa terceirizada de segurança de software para realizar testes de penetração no sistema. ([FAMILIAR, 2015](#))

4.11 Comunicação

Ao construir estruturas de comunicação entre diferentes processos, observa-se muitos produtos e abordagens que enfatizam a colocação de inteligência significativa no próprio mecanismo de comunicação. Um bom exemplo disso é o Enterprise Service Bus (ESB), onde os produtos ESB geralmente incluem recursos sofisticados para roteamento de mensagens, tratamento, transformação e aplicação de regras de negócios. ([FOWLER, 2014b](#)).

A comunidade de microsserviços favorece uma abordagem alternativa: *endpoints* inteligentes e canais simples. Os aplicativos criados a partir de microsserviços visam ser o mais desacoplados e coesos possível - eles possuem sua própria lógica de domínio e agem mais como filtros - recebendo uma solicitação, aplicando a lógica conforme apropriado e produzindo uma resposta. Isso é feito usando protocolos REST simples em vez de protocolos complexos como *Web Service Choreography* ou orquestração por uma ferramenta central. ([FOWLER, 2014b](#))

Requisições HTTP em conjunto com uma API de recursos é o método mais usado para realizar comunicação síncrona na arquitetura de microsserviços. Uma requisição HTTP é feita por um cliente para um dado *host* em um servidor, com o propósito de acessar um recurso nesse servidor. Por usar o *Transmission Control Protocol* (TCP), é um método de comunicação confiável, mas não tão eficiente quanto poderia ser. ([FOWLER, 2014b](#)).

Para comunicação assíncrona, filas de mensagens são amplamente usadas. Quando um

serviço precisa enviar informações a outro de modo assíncrono, ele envia uma mensagem para a fila de mensagens, e ela será armazenada até ser processada ou excluída. Cada mensagem é processada uma única vez, por um único consumidor. As filas de mensagens podem ser usadas para dividir um processamento pesado, para armazenar trabalho em *buffers* ou lotes, ou para processar uniformemente picos de cargas de trabalho.

Embora menos comum, chamada de procedimento remoto (RPC) também é utilizado para realizar comunicação síncrona ou assíncrona nos microsserviços. Uma chamada de procedimento remoto se dá quando um programa faz com que um procedimento ou uma sub-rotina execute em um espaço de endereço diferente, comumente em outra máquina numa rede compartilhada. Essa chamada é feita como se fosse um procedimento local, isso é, o programador não precisa explicitar que se trata de um procedimento remoto. gRPC é uma ferramenta moderna com alto desempenho que tem ganhado grande popularidade em meio aos praticantes de microsserviços e é considerada um "projeto de incubação" pela Cloud Native Computing Foundation. Essa ferramenta será melhor discutida no [Capítulo 5 \(Microsoft Corporation, 2022b\)](#)

De acordo com [Waseem et al. \(2021\)](#), *API Gateway* e *Backend for frontend* são os padrões de projeto mais utilizados para lidar com a comunicação de microsserviços. São padrões similares - a diferença é que no *Backend for Frontend* há um *gateway* para cada tipo de cliente. Esses padrões serão discutidos na [subseção 4.13.5](#).

4.12 Monitoramento

Em qualquer aplicação o monitoramento é importante para garantir um bom funcionamento. Entretanto, na arquitetura de microsserviços o monitoramento se torna indispensável, além de mais complexo.

resource usage and load balancing as monitoring metrics, log management and exception tracking as monitoring practices are widely used ([WASEEM et al., 2021](#))

4.12.1 Históricos

Um histórico, também conhecido como *logs*, descreve o que aconteceu em determinado sistema e provê informações sobre o estado e a saúde dele. Manter um histórico do microsserviço é uma forma simples e eficiente de se implementar monitoramento, e é fortemente indicado. Para manter históricos, pode-se desenvolver um serviço dedicado a isso, para ser reutilizado onde necessário. Outra possibilidade é utilizar bibliotecas, próprias ou desenvolvidas por terceiros.

Para facilitar a escrita, leitura e operação dos históricos, deve-se padronizar o formato deles em todos os microsserviços e diferenciar entradas de erros, de avisos e de informação. Além disso, eles devem ser agregados e organizados em um único lugar para que possam ser facilmente consultados.

4.12.2 Métricas

Métricas nos permitem saber o que está acontecendo em qualquer momento, e decidir que ações devem ser tomadas a partir disso. Por exemplo, escalar um serviço que recebe muitas requisições ou diminuir um que não. Métricas podem inclusive servir para questões de negócios e de *business intelligence*.

Enquanto históricos precisam ser desenvolvidos, métricas apenas precisam de instrumentação pois muitas ferramentas já possuem as próprias métricas ou já existem métodos consolidados para as obter. Nos servidores web mais populares, por exemplo, as informações básicas sobre uma requisição já são gravadas por padrão.

É recomendado usar dashboards de alto nível para melhorar a visualização e monitoramento do status da aplicação a partir de suas métricas.

4.13 APIs

Considerando que APIs são uma parte crucial no desenvolvimento de microserviços, sendo responsável por grande parte da comunicação que se faz necessária para conectar tantos serviços separados e manter um funcionamento eficiente e livre de falhas, este trabalho explorará diversas boas práticas no desenvolvimento de APIs.

4.13.1 Códigos de status de respostas HTTP

Esses códigos são números entre 100 e 599, cada um tendo um significado diferente, e cada centena sendo classificada em tipos diferentes de resposta. 100-199 representam respostas de informação. 200-299 representam respostas de sucesso. 300-399 representam tipos de redirecionamentos. 400-499 representam erros por parte do cliente. 500-599 representam erros por parte do servidor. Isso é um padrão definido na seção 10 da RFC 2616 ([NIELSEN et al., 1999](#)), e facilita com que o cliente entenda o que aconteceu com a requisição à API. Esses códigos devem ser enviados juntos com a resposta à requisição.

4.13.2 Troca de dados com JSON

Atualmente JSON é um dos formatos mais populares para troca de dados na web, pelo fato de ser facilmente lido tanto por humanos quanto por máquinas. Em APIs, JSON é usado para enviar e receber requisições por meio do protocolo HTTP, sendo uma solução robusta para a comunicação entre cliente e servidor. Embora seja derivado do JavaScript, JSON também é suportado por muitas outras linguagens, seja nativamente ou por meio de bibliotecas. ([BOURHIS; REUTTER; VRGOČ, 2020](#))

4.13.3 Buffers de Protocolo

Alternativa ao JSON. É mais eficiente.

4.13.4 Contratos de dados e versionamento

Uma API depende de contratos de dados, isso é, uma definição dos dados que serão recebidos e retornados. Esse contrato implica num compromisso de manter o serviço correspondente funcionando e inalterado. Entretanto, é possível desenvolver melhorias ou adicionar funcionalidades sem quebrar o contrato. Para tanto, deve ser feito um versionamento da API e deve ser mantida a transparência com os clientes que a usam. Por exemplo, sempre que algo for alterado é preciso atualizar a documentação.

Para fazer o versionamento, pode-se usar o processo de versionamento de software para representar os estados da API. Nesta técnica, usa-se três números para representar a versão, por exemplo "2.3.7". O primeiro representa a versão maior, o segundo, a versão menor, e o terceiro, o patch (pequena atualização para consertar ou melhorar algo). (SOFTWARE. . . , 2022)

Em uma API, para cumprir o contrato de dados, apenas modificações aditivas podem ser feitas, tais como novos endpoints ou novos campos opcionais em algum recurso. Quando isso é feito, a versão da API muda de 2.3.7 para 2.4.0 ou para 2.3.8 dependendo do tamanho da mudança.

Quando é necessário realizar alterações que descumprem o contrato, deve-se alterar a versão maior da API, por exemplo passando de 2.3.7 para 3.0.0. Nesses casos, é importante manter a versão anterior funcionando e inalterada, criando uma nova rota para acessar a versão nova, para que clientes usando a versão anterior não apresentem falhas.

4.13.5 API Gateway

Numa arquitetura de microsserviços, os clientes geralmente consomem funcionalidades de mais de um microsserviço. Se esse consumo é feito do cliente diretamente para o microsserviço, o cliente precisa lidar com várias requisições aos *endpoints*. Quando os microsserviços mudam ou mais microsserviços surgem frequentemente, fica inviável tratar tantos endpoints por parte do cliente. Uma solução para isso é usar um *API Gateway*.

Um *API Gateway* é um padrão de projeto e funciona como uma porta única de entrada para as APIs de cada microsserviço, padronizando e controlando o acesso aos microsserviços e APIs. Esse gateway fica situado entre o cliente e os microsserviços, e é responsável por redirecionar as requisições recebidas para os microsserviços apropriados, assim o gerenciamento das chamadas pode ser feita em apenas um lugar em vez de em cada API de cada microsserviço. Além disso, nele também podem ser implementadas camadas de segurança e de monitoramento.

Outra vantagem é que esse *API Gateway* pode agregar requisições, permitindo que o

cliente envie apenas uma requisição para o *API Gateway* para recuperar informações de diferentes microsserviços, o que normalmente exigiria múltiplas requisições. Nesse caso, quando recebida a requisição do cliente, o *API Gateway* fica responsável por disparar as requisições correspondentes, agregar as respostas e as devolver ao cliente.

Entretando, também há desvantagens no uso desse padrão: (1) há um acoplamento forte entre os microsserviços e o *API Gateway*, (2) surge um possível ponto massivo de falha nesse *API Gateway*, (3) Se não escalado adequadamente, esse *API Gateway* pode se tornar um gargalo. (Microsoft Corporation, 2022a)

4.13.6 Segurança em APIs

Autenticação

Incluir autenticação em uma API consiste em exigir uma prova de autorização do uso da API. A autenticação nas APIs é indispensável para aumentar a segurança, e existem formas diferentes de implementá-la, as quais serão melhor discutidas no [Capítulo 5](#).

Validação de entradas

Validar entradas significa verificar as requisições que chegam com o intuito de garantir que elas não contêm dados impróprios, tais como injeções de SQL ou *scripting* entre sites (scripting significa executar uma determinada sequência de comandos). Essa validação deve ser implementada tanto em nível sintático como em semântico, isso é, tanto impondo correção da sintaxe quanto impondo correção de valores. (RapidAPI, 2022)

Certificado Secure Socket Layer (SSL)

Usar um certificado SSL permite que o protocolo HTTPS seja usado em vez do HTTP, criptografando as informações que estão trafegando, o que adiciona uma camada de segurança. (RapidAPI, 2022)

Limitação de taxa de requisições

Limitar a taxa de requisições é um jeito de proteger a infraestrutura do servidor nos casos de acontecerem grandes fluxos de requisições, tal como em um ataque de *DoS* (negação de serviço). Clientes terão seu acesso bloqueado caso enviem uma quantidade de requisições acima do limite determinado. (RapidAPI, 2022)

Compartilhar o mínimo possível

Compartilhar o mínimo possível é uma medida de segurança genérica que pode ser adotada em qualquer microsserviço. Especificamente nas APIs, deve-se retornar estritamente apenas os dados necessários para o cliente. Muitas ferramentas usadas para implementar APIs

incluem por padrão informações como se fossem marcas d'água, mas que podem ser removidas, tal como headers "X-Powered-By", que vazam informações do servidor que podem auxiliar usuários mal-intencionados. ([RapidAPI, 2022](#))

4.13.7 Testar a API

Testar uma API isoladamente serve para determinar se ela atende a parâmetros pré-definidos ou não. Tais parâmetros podem ser o cumprimento da funcionalidade, a confiabilidade, a latência, o desempenho, e a segurança. Quando um teste de API falha, deverá ser possível saber precisamente onde o problema se encontra, assim aumentando a velocidade de desenvolvimento e a qualidade do produto. As ferramentas que podem ser utilizadas para testes em APIs são discutidas na [subseção 5.4.4.4](#).

4.13.8 Salvar a resposta no *cache*

Às vezes referido como *cachear*, salvar informações no *cache* melhora o tempo de busca da informação. Em uma API podem haver múltiplas requisições para a mesma informação em um curto intervalo de tempo, e para cada requisição será necessário buscar a informação. Entretanto, se a informação estiver salva no *cache*, não será necessário buscar essa informação, o que melhora o tempo de resposta da API, especialmente em *endpoints* que frequentemente retornam a mesma resposta. ([RapidAPI, 2022](#))

4.13.9 Comprimir os dados

A transferência de cargas grandes pode diminuir a velocidade da API. Comprimir os dados auxilia nesse problema, diminuindo o tamanho da carga e aumentando a velocidade de transferência. ([RapidAPI, 2022](#))

4.13.10 Pagar e filtrar

A Paginação separa e categoriza resultados, enquanto a filtragem retorna apenas os resultados relevantes de acordo com os parâmetros da requisição. A paginação e filtragem de resultados reduz a complexidade da resposta e facilitam o uso da API. ([RapidAPI, 2022](#))

4.13.11 PATCH ou PUT

Quando é necessário modificar um recurso em uma API, usa-se os métodos HTTP PUT ou PATCH. Enquanto PUT atualiza o recurso inteiro, PATCH atualiza apenas uma parte específica do recurso, assim usando uma carga de dados menor. Portanto, quando possível deve-se usar PATCH em vez de PUT para modificar um recurso. ([RapidAPI, 2022](#))

5

Ferramentas

Este capítulo apresenta ferramentas que podem ser usadas na construção de aplicações com arquitetura de microsserviços

Ferramentas de código aberto estão seguidas de um asterisco (*).

5.1 Linguagens de programação

Java, JavaScript, Python, Elixir. ¹

5.2 Bancos de dados

5.2.1 Relacionais

MySQL*, PostgreSQL*, MariaDB*

5.2.2 Not-only SQL

MongoDB*, Couchbase*, Redis*, Amazon DynamoDB

5.3 Integração contínua

5.3.1 Sistema de controle de versão

Git, VCS

¹ Uma linguagem de programação não pode, por si só, ser caracterizada como código aberto ou não, mas uma implementação de uma linguagem pode. Para o escopo deste trabalho, todas as implementações mais comuns das linguagens de programação citadas são válidas.

5.3.2 Gerenciamento de repositórios

GitHub, Bitbucket, GitLab

5.3.3 Automação de compilação

Jenkins

5.3.4 Testes automáticos

Selenium

5.3.5 Servidor de integração

CruiseControl*

5.4 Comunicação

5.4.1 RPC

gRPC (<<https://grpc.io/>>)

5.4.2 Mensagens

RabbitMQ*, Azure Service Bus, Amazon Simple Queue Service, Google Cloud Pub/Sub.

5.4.3 Streaming de dados

Apache Kafka*

5.4.4 APIs

5.4.4.1 API Gateway

Tyk*, Amazon API Gateway

5.4.4.2 Linguagem de consulta

GraphQL*

5.4.4.3 Documentação

Swagger Inspector

5.4.4.4 Testes de API

Postman*, Hoppscotch*, API Fortress

5.5 Provisionamento

5.5.1 de máquinas virtuais

VirtualBox*

5.5.2 de containers

Docker*

5.5.3 na nuvem

AWS EC2

5.5.4 automático

AWS Launch Templates

5.6 Orquestração

Docker Swarm*, Kubernetes*, Conductor*, Azure Kubernetes Service (AKS)

5.7 Monitoramento

Logstash*, Middleware, Elastic Stack, Graylog*

5.8 Conjunto de ferramentas

Seneca*, Google Cloud Functions,

5.9 Framework arquitetural

goa*, Kong*

5.10 Ferramentas sem servidor

Claudia, Apache Openwhisk, Serverless, Kubeless, IronFunctions, AWS Lambda, OpenFaaS, Microsoft Azure Functions.

6

Conclusão

Como pôde ser constatado, apesar de não existir uma definição formal para a arquitetura de microsserviços, há muitas características que a diferencia de outras abordagens arquiteturais, tais como a componentização, a evolução, e a complexidade. Também foi observada uma ampla concordância entre pesquisadores e praticantes de microsserviços acerca do que é comum, do que é bem-visto, do que é considerado um anti-padrão, e de quais são os desafios no desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços, assuntos os quais foram contextualizados e discutidos neste trabalho.

Foi descoberto um ponto em que há mais espaço para discussão e pesquisa - a técnica de se começar uma arquitetura de microsserviços por uma arquitetura monolítica até que a aplicação e seus domínios já estejam bem definidos -, pois foi observado certo nível de discordância entre os autores das bibliografias exploradas sobre o que é ou não necessário para sustentar uma arquitetura de microsserviços desde o início do desenvolvimento da aplicação, e quais seriam as razões para se adotar ou não essa arquitetura.

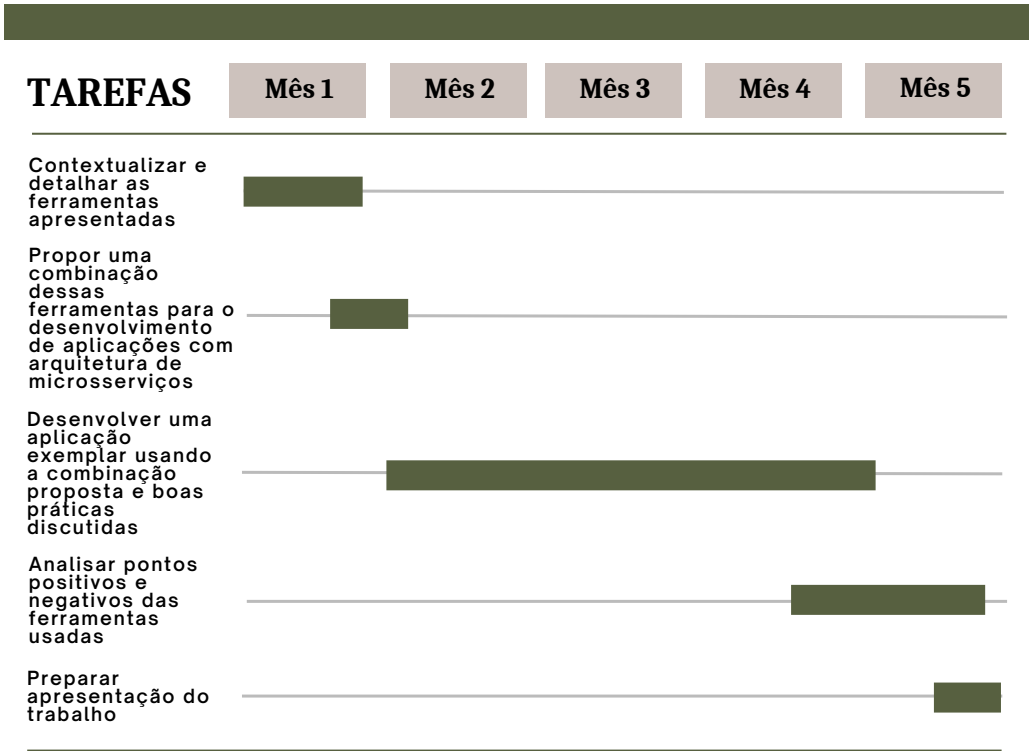
Também foram apontadas ferramentas que podem ser usadas no desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços, embora suas contextualizações e detalhes ficaram adiados para serem discutidos na próxima etapa deste trabalho. Também ficou para a próxima etapa a proposição de uma combinação dessas ferramentas, o desenvolvimento de uma aplicação exemplar com arquitetura de microsserviços a utilizando, e a discussão acerca dos pontos positivos e negativos constatados durante o desenvolvimento.

7

Plano de Continuidade

Esta foi a primeira etapa do trabalho. Na próxima etapa, planeja-se: (1) contextualizar e detalhar as ferramentas apresentadas, (2) propor uma combinação dessas ferramentas para o desenvolvimento de aplicações com arquitetura de microsserviços, (3) desenvolver uma aplicação exemplar usando as ferramentas propostas e boas práticas discutidas, (4) analisar pontos positivos e negativos das ferramentas usadas. O cronograma de atividades previstas para serem realizadas na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 é apresentado na [Figura 3](#).

Figura 3 – Cronograma de atividades que serão desenvolvidas.



Fonte: Autor

Referências

BOURHIS, P.; REUTTER, J. L.; VRGOČ, D. JSON: Data model and query languages. *Information Systems*, v. 89, p. 101478, Mar 2020. ISSN 03064379. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306437919305307>. Citado na página 30.

FAMILIAR, B. What is a microservice? In: _____. *Microservices, IoT, and Azure: Leveraging DevOps and Microservice Architecture to Deliver SaaS Solutions*. Berkeley, CA: Apress, 2015. p. 9–19. ISBN 978-1-4842-1275-2. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1275-2_2. Citado 7 vezes nas páginas 3, 11, 13, 15, 16, 17 e 28.

FOWLER, M. *Continuous Integration*. 2006. Blog do Martin Fowler. Disponível em: <https://martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html>. Acesso em: 12 Nov 2022. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 27.

FOWLER, M. *Continuous Delivery*. 2013. Blog do Martin Fowler. Disponível em: <https://martinfowler.com/bliki/ContinuousDelivery.html>. Acesso em: 12 Nov 2022. Citado na página 26.

FOWLER, M. *Microservice Prerequisites*. 2014. Blog do Martin Fowler. Disponível em: <https://martinfowler.com/bliki/MicroservicePrerequisites.html>. Acesso em: 06 Oct 2022. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.

FOWLER, M. *Microservices*. 2014. Blog do Martin Fowler. Disponível em: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>. Acesso em: 06 Nov 2022. Citado 5 vezes nas páginas 15, 17, 22, 23 e 28.

FOWLER, M. *Monolith first*. 2015. Blog do Martin Fowler. Disponível em: <https://martinfowler.com/bliki/MonolithFirst.html>. Acesso em: 09 Nov 2022. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.

GitLab Incorporated. *What is CI/CD?* 2022. GitLab Topics. Disponível em: <https://about.gitlab.com/topics/ci-cd/>. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.

Harness Incorporated. *Continuous Delivery vs. Continuous Deployment: What's the Difference?* 2021. Harness topics. Disponível em: <https://harness.io/blog/continuous-delivery-vs-continuous-deployment>. Citado na página 24.

LUMETTA, J. *Microservices for Startups: Should you always start with a monolith?* 2018. Disponível em: <https://buttercms.com/books/microservices-for-startups/should-you-always-start-with-a-monolith/>. Citado na página 20.

Microsoft Corporation. *The API gateway pattern versus the Direct client-to-microservice communication*. 2022. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/direct-client-to-microservice-communication-versus-the-api-gateway-pattern>. Citado na página 32.

Microsoft Corporation. *gRPC*. 2022. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/architecture/cloud-native/grpc>. Citado na página 29.

Middleware Lab. *What are Microservices? How Microservices architecture works*. Middleware Lab, 2021. Disponível em: <<https://middleware.io/blog/microservices-architecture/>>. Citado na página 7.

MONOLITHIC application. 2022. Page Version ID: 1118196758. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Monolithic_application&oldid=1118196758>. Citado na página 9.

NIELSEN, H. et al. *Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1*. [S.l.], 1999. Disponível em: <<https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2616/>>. Citado na página 30.

Oracle Corporation. topic, *Learn about architecting microservices-based applications on Oracle Cloud*. Oracle Corporation, 2021. Disponível em: <<https://docs.oracle.com/pt-br/solutions/learn-architect-microservice>>. Citado 6 vezes nas páginas 7, 11, 16, 22, 23 e 27.

RapidAPI. Mídia Social. 2022. Disponível em: <https://twitter.com/Rapid_API>. Acesso em: 25 Oct 2022. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

Red Hat Incorporated. *What is CI/CD?* 2022. Red Hat Topics. Disponível em: <<https://about.gitlab.com/topics/ci-cd/>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

RICHARDSON, C. *Microservices Pattern: Monolithic Architecture pattern*. 2018. Disponível em: <<http://microservices.io/patterns/monolithic.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 9, 10 e 11.

RICHARDSON, M. A. *Top 10 Challenges of Using Microservices for Managing Distributed Systems*. 2021. Disponível em: <<https://www.spiceworks.com/tech/data-management/articles/top-10-challenges-of-using-microservices-for-managing-distributed-systems/>>. Acesso em: 10 Nov 2022. Citado na página 18.

RODRIGUES, R. de C. 2016. Disponível em: <<https://www.fiap.com.br/2016/10/03/metodologia-12-fatores/>>. Citado na página 22.

SOFTWARE versioning. 2022. Page Version ID: 1116804459. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Software_versioning&oldid=1116804459>. Citado na página 31.

TILKOV, S. *Don't start with a monolith*. 2015. Blog do Martin Fowler. Disponível em: <<https://martinfowler.com/articles/dont-start-monolith.html>>. Acesso em: 09 Nov 2022. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

WASEEM, M.; LIANG, P.; SHAHIN, M. A systematic mapping study on microservices architecture in devops. *Journal of Systems and Software*, v. 170, p. 110798, 2020. ISSN 0164-1212. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121220302053>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 13.

WASEEM, M. et al. Design, monitoring, and testing of microservices systems: The practitioners' perspective. *Journal of Systems and Software*, v. 182, p. 111061, 2021. ISSN 0164-1212. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121221001588>>. Citado 7 vezes nas páginas 3, 7, 13, 14, 18, 27 e 29.

WIGGINS, A. topic, *The Twelve-Factor App*. 2017. Disponível em: <<https://12factor.net/>>. Acesso em: 21 Oct 2022. Citado na página 22.

XU, C. et al. CAOPLE: A Programming Language for Microservices SaaS. In: *2016 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 34–43. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 18.