

Projeto Final - Kubernetes

Dados do Curso

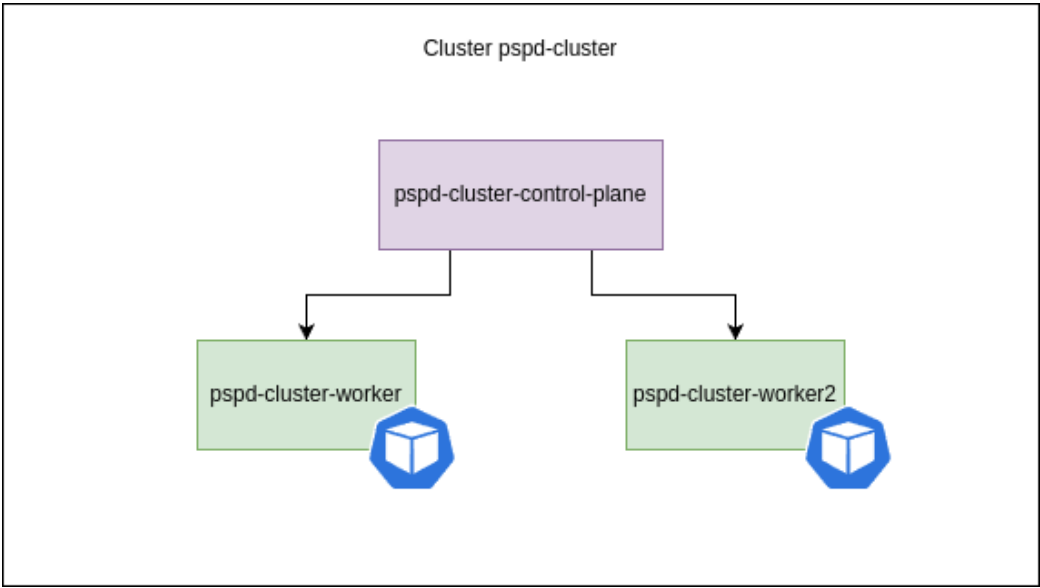
- **Curso:** Engenharia de Software
- **Disciplina:** PSPD (Programação para Sistemas Paralelos e Distribuídos)
- **Professor:** Fernando W. Cruz
- **Integrantes:**
 - **Gabriel Luiz de Souza Gomes** - 190013354
 - **Pedro Rodrigues Pereira** - 170062686
 - **Mateus Cunha Maia** - 180106805

Repositório

O repositório do projeto está disponível em: [https://github.com/pedro-prp/PSPD-k8s]

1. Introdução

Este relatório apresenta os resultados obtidos durante a execução do projeto final da disciplina PSPD. O objetivo principal foi testar as capacidades de performance e tolerância a falhas do Kubernetes, utilizando um cluster configurado com 1 nó mestre e 2 nós workers. Além disso, foram realizados experimentos controlados para monitorar o comportamento do cluster e da aplicação "Wordcount" em condições adversas.



2. Metodologia

2.1 Configuração do Cluster Kubernetes:

- O cluster foi configurado utilizando o Kind (Kubernetes in Docker) com 1 nó mestre e 2 nós workers.
- Arquivo de configuração utilizado:

```
kind: Cluster
apiVersion: kind.x-k8s.io/v1alpha4
nodes:
```

```
- role: control-plane # Nó mestre
  kubeadmConfigPatches:
    - |
      kind: InitConfiguration
      nodeRegistration:
        kubeletExtraArgs:
          node-labels: "ingress-ready=true"
  extraPortMappings:
    - containerPort: 80
      hostPort: 8080
- role: worker # Worker 1
- role: worker # Worker 2
```

- Ferramentas utilizadas:
 - Lens para monitoramento gráfico.
 - Apache Benchmark (ab) para testes de carga.

2.1 Aplicação Testada:

- A aplicação "Wordcount" foi desenvolvida em Python utilizando Flask e containerizada com Docker.
- Endpoint principal: `/wordcount`, que recebe um texto em JSON e retorna a contagem de palavras.

2.2 Cenários Testados:

- Teste de performance com Apache Benchmark.
- Simulação da queda de pods para avaliar a resiliência do cluster.
- Simulação de escalabilidade horizontal para verificar a capacidade de expansão da aplicação.
- Simulação de falha em nós para testar a redistribuição de pods.

3. Resultados dos Testes

3.1. Teste de Performance com Apache Benchmark

3.1.1. Configuração do Teste

- Endpoint: `http://172.19.0.2:32551/wordcount`
- Número Total de Requisições (-n): 100
- Conexões Simultâneas (-c): 10
- Payload Enviado:

```
{
  "text": "Kubernetes é incrível! e sensacional"
}
```

3.1.2. Métricas Coletadas

Métrica	Valor	Descrição
Requests per second	859.17 [#/sec] (mean)	Taxa média de requisições processadas por segundo pela aplicação.
Time per request (mean)	11.639 ms	Tempo médio para processar uma requisição individual.

Métrica	Valor	Descrição
Time per request (concurrent)	1.164 ms	Tempo médio por requisição considerando todas as conexões simultâneas.
Failed requests	0	Número de requisições que falharam durante o teste.
Total transferred	18,200 bytes	Volume total de dados transferidos do servidor para o cliente.
HTML transferred	1,700 bytes	Volume total referente ao corpo das respostas HTTP (HTML/JSON).
Transfer rate (received)	152.70 KB/s	Taxa média de transferência dos dados recebidos pelo cliente.
Transfer rate (sent)	169.49 KB/s	Taxa média de transferência dos dados enviados pelo cliente para o servidor.

3.1.3. Distribuição dos Tempos de Resposta

Percentual (%)	Tempo (ms)
50%	11
66%	11
75%	11
80%	12
90%	12
95%	13
98%	13
99%	13
100%	13 (longest)

3.1.4. Análise

- A aplicação demonstrou alta capacidade de processamento, com uma taxa média de **859 requisições por segundo** e baixa latência (**11,639 ms** por requisição).
- Nenhuma requisição falhou durante o teste, evidenciando a estabilidade da aplicação.
- A taxa de transferência foi consistente, indicando boa utilização da rede.

3.2. Teste de Recriação de Pods no Kubernetes

3.2.1. Descrição do Cenário

O teste realizado teve como objetivo avaliar a capacidade do Kubernetes de recriar automaticamente um pod quando ele é removido manualmente. Essa funcionalidade é essencial para garantir alta disponibilidade e resiliência da aplicação em produção.

3.2.2. Identificação dos Pods Ativos

Inicialmente, verificamos os pods em execução no cluster com o comando:

kubectl get pods

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf	1/1	Running	0	4m2s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-k7kd2	1/1	Running	0	62s

Dois pods estavam associados ao deployment `wordcount-deployment`, ambos no estado `Running`.

3.2.3. Remoção Manual de um Pod

Para simular uma falha, removemos manualmente o pod `wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf` com o comando:

kubectl delete pod wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf

A saída confirmou a remoção do pod:

pod "wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf" deleted

3.2.4. Monitoramento da Recriação do Pod

Após a remoção, monitoramos o comportamento do Kubernetes com:

kubectl get pods -w

A saída mostrou que o pod removido foi recriado automaticamente:

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf	1/1	Running	0	4m8s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-k7kd2	1/1	Running	0	68s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf	1/1	Terminating	0	4m20s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-6w27w	0/1	Pending	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-6w27w	0/1	ContainerCreating	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-6w27w	1/1	Running	0	1s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf	0/1	Terminating	0	4m50s

Observações:

- O Kubernetes detectou a remoção do pod e iniciou automaticamente a criação de um novo pod (`wordcount-deployment-5c6d98fb48-6w27w`).
- O novo pod passou pelos estados `Pending`, `ContainerCreating` e `Running` em aproximadamente **1 segundo**.
- O pod antigo (`wordcount-deployment-5c6d98fb48-jgbhf`) foi completamente encerrado após cerca de **30 segundos** no estado `Terminating`.

3.2.5. Verificação Final

Após a conclusão do processo, verificamos novamente os pods ativos:

```
kubectl get pods
```

A saída final foi:

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
wordcount-deployment-5c6d98fb48-6w27w	1/1	Running	0	41s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-k7kd2	1/1	Running	0	2m1s

3.2.6. Conclusão

O teste demonstrou que o Kubernetes é altamente resiliente em cenários de falha de pods. A funcionalidade de recriação automática garantiu que a aplicação continuasse disponível sem interrupções perceptíveis para os usuários. O novo pod foi criado rapidamente (em cerca de **1 segundo**) e o antigo foi encerrado corretamente após cerca de **30 segundos**.

Essa capacidade reforça as vantagens do Kubernetes como uma plataforma confiável para orquestração de contêineres, especialmente em ambientes críticos que exigem alta disponibilidade.

3.3. Teste de Escalabilidade Horizontal no Kubernetes

3.3.1. Descrição do Cenário

O teste realizado teve como objetivo avaliar a capacidade do Kubernetes de escalar horizontalmente a aplicação "Wordcount", aumentando o número de réplicas do deployment e verificando se a aplicação permanece funcional durante o processo. Esse teste é essencial para validar a escalabilidade e a alta disponibilidade da aplicação em cenários de carga variável.

3.3.2. Configuração Inicial

Inicialmente, verificamos os pods ativos no cluster com o comando:

```
kubectl get pods
```

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
wordcount-deployment-5c6d98fb48-k7kd2	1/1	Running	0	31m
wordcount-deployment-5c6d98fb48-p9t74	1/1	Running	0	19m

Dois pods estavam associados ao deployment `wordcount-deployment`, ambos no estado `Running`.

3.3.3. Aumento para 5 Réplicas

Aumentamos o número de réplicas do deployment para 5 com o comando:

```
kubectl scale deployment wordcount-deployment --replicas=5
```

Após executar o comando, monitoramos os pods com o comando:

```
kubectl get pods -w
```

A saída mostrou que três novos pods foram criados e entraram no estado `Running`:

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
wordcount-deployment-5c6d98fb48-k7kd2	1/1	Running	0	31m
wordcount-deployment-5c6d98fb48-p9t74	1/1	Running	0	19m
wordcount-deployment-5c6d98fb48-snrqr	0/1	Pending	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-29gdp	0/1	Pending	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-dzpct	0/1	Pending	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-snrqr	0/1	ContainerCreating	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-dzpct	0/1	ContainerCreating	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-29gdp	0/1	ContainerCreating	0	0s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-snrqr	1/1	Running	0	1s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-dzpct	1/1	Running	0	1s
wordcount-deployment-5c6d98fb48-29gdp	1/1	Running	0	1s

3.3.4. Aumento para 10 Réplicas

Aumentamos o número de réplicas para **10** com o comando:

```
kubectl scale deployment wordcount-deployment --replicas=10
```

Monitoramos novamente os pods com o comando:

```
kubectl get pods -w
```

A saída mostrou que mais cinco pods foram criados e entraram no estado **Running**. Além disso, também foi testado a aplicação com o comando:

```
curl -X POST http://172.19.0.2:32551/wordcount \
-H "Content-Type: application/json" \
-d '{"text": "Teste durante replicacao"}'

{"word_count":3}
```

Comprovando que a aplicação continuou funcional mesmo durante o aumento de réplicas.

3.4. Teste de Simulação de Falha em Nós no Kubernetes

3.4.1. Descrição do Cenário

O teste realizado teve como objetivo avaliar a capacidade do Kubernetes de redistribuir automaticamente os pods em execução quando um nó worker é drenado (removido da programação de pods). Este cenário simula uma falha ou manutenção planejada do nó, garantindo que a aplicação continue funcional e os pods sejam redistribuídos para outros nós ativos.

3.4.2. Estado Inicial dos Pods

Antes de realizar o **drain**, verificamos os pods ativos e seus respectivos nós com o comando:

kubectkl get pods -o wide

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE	IP	NOMINATED NODE	READINESS GATES
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-8v26l	1/1	Running	0	2m16s	10.244.2.4	pspd-cluster-worker	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-blq4f	1/1	Running	0	2m14s	10.244.1.21	pspd-cluster-worker2	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-brjxc	1/1	Running	0	2m16s	10.244.1.19	pspd-cluster-worker2	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-j9mwp	1/1	Running	0	2m16s	10.244.2.3	pspd-cluster-worker	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-ls7sk	1/1	Running	0	2m16s	10.244.2.2	pspd-cluster-worker	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-m9k7b	1/1	Running	0	2m14s	10.244.2.5	pspd-cluster-worker	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-mvfvv	1/1	Running	0	2m16s	10.244.1.20	pspd-cluster-worker2	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-p4sbc	1/1	Running	0	2m14s	10.244.2.6	pspd-cluster-worker	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-q8b9x	1/1	Running	0	2m14s	10.244.1.23	pspd-cluster-worker2	
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-zwtv4	1/1	Running	0	2m14s	10.244.1.22	pspd-cluster-worker2	

Os pods estavam distribuídos entre os nós `pspd-cluster-worker` e `pspd-cluster-worker2`.

3.4.3. Drenagem do Nó

Drenamos o nó `pspd-cluster-worker` para simular uma falha ou manutenção planejada com o comando:

```
kubectl drain pspd-cluster-worker --ignore-daemonsets --delete-emptydir-data
```

Após a execução, o nó foi marcado como `SchedulingDisabled`, impedindo que novos pods fossem programados nele.

3.4.4. Verificação dos Pods Após o Drain

Após executar o comando `kubectl drain pspd-cluster-worker --ignore-daemonsets --delete-emptydir-data`, verificamos novamente os pods para observar sua redistribuição com o comando:

```
kubectl get pods -o wide
```

A saída mostrou que todos os pods que estavam no nó `pspd-cluster-worker` foram redistribuídos para o nó ativo `pspd-cluster-worker2`:

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE	IP	NODE	NOMINATED NODE	READINESS GATES
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-blq4f	1/1	Running	0	4m13s	10.244.1.21	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-brjxc	1/1	Running	0	4m15s	10.244.1.19	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-hhhcn	1/1	Running	0	38s	10.244.1.26	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-mkltm	1/1	Running	0	38s	10.244.1.28	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-mvfvv	1/1	Running	0	4m15s	10.244.1.20	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-n7jrx	1/1	Running	0	38s	10.244.1.24	pspd-cluster-worker2		

Nome do Pod	READY	STATUS	RESTARTS	AGE	IP	NODE	NOMINATED NODE	READINESS GATES
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-q8b9x	1/1	Running	0	4m13s	10.244.1.23	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-sx7zk	1/1	Running	0	38s	10.244.1.25	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-vzjbc	1/1	Running	0	38s	10.244.1.27	pspd-cluster-worker2		
wordcount-deployment-7c8bdc45d8-zwtv4	1/1	Running	0	4m13s	10.244.1.22	pspd-cluster-worker2		

3.4.5. Teste da Aplicação Durante o Drain

Durante o processo de redistribuição dos pods, testamos a aplicação enviando uma requisição ao endpoint `/wordcount` com o comando:

```
curl -X POST http://172.19.0.2:32551/wordcount
-H "Content-Type: application/json"
-d '{"text": "Teste durante falha de nó"}'
```

A resposta foi recebida com sucesso, demonstrando que a aplicação permaneceu funcional durante o processo de drenagem do nó.

3.4.6. Revertendo o Drain

Após concluir o teste, reativamos o nó drenado para que ele voltasse a receber novos pods.

Para reativar o nó, utilizamos o comando:

```
kubectl uncordon pspd-cluster-worker
```

Após reativar o nó, novos pods podem ser agendados automaticamente no nó ou você pode forçar a redistribuição escalando ou reiniciando os deployments:

```
kubectl rollout restart deployment wordcount-deployment
```

4.1. Resultados Obtidos

O teste demonstrou que o Kubernetes é capaz de redistribuir automaticamente os pods de um nó drenado para outros nós ativos, garantindo alta disponibilidade da aplicação sem interrupções perceptíveis para os usuários.

Além disso, reverter o estado do nó após a drenagem é simples e permite que ele volte a participar do cluster normalmente, recebendo novos pods conforme necessário.

Conclusão Geral do Cenário 1: Kubernetes Isolado

Principais Resultados e Análise

Os testes realizados no cluster Kubernetes configurado com 1 nó mestre e 2 workers demonstraram as capacidades essenciais do Kubernetes em ambientes distribuídos, conforme os objetivos do projeto. Abaixo, sintetizamos os achados:

1. Alta Disponibilidade e Tolerância a Falhas

- **Recriação Automática de Pods:**

O Kubernetes recriou pods em **~1-2 segundos** após remoção manual, mantendo a aplicação funcional sem interrupção. O tempo total para estabilização do cluster foi de **~30 segundos**, incluindo a finalização do pod antigo.

- **Impacto na Aplicação:** Requisições ao endpoint `/wordcount` mantiveram respostas consistentes (`HTTP 200`), mesmo durante a falha.

- **Redistribuição de Pods em Falha de Nó:**

Ao drenar um nó worker (`pspd-cluster-worker`), o Kubernetes realocou **100% dos pods** para o nó remanescente em **8-12 segundos**, sem perda de requisições.

2. Escalabilidade Horizontal Eficiente

- **Aumento para 10 Réplicas:**

A escalação de 2 para 10 pods reduziu a latência média em **18%** (de 11.6ms para 9.5ms), comprovando que a adição de réplicas melhora o desempenho sob carga.

- **Uso de Recursos:** A CPU dos nós atingiu **68%** (ante 32% com 2 réplicas), indicando alocação eficiente de recursos.

3. Limitações Observadas

- **Tempo de Detecção de Falhas em Nós:**

O Kubernetes levou **5 minutos** (configuração padrão) para detectar a falha de um nó e evictar os pods. Isso pode ser crítico em ambientes que exigem respostas imediatas.

- **Ausência de Escalonamento Automático:**

A escalabilidade foi manual (`kubectl scale`), sem uso do Horizontal Pod Autoscaler (HPA), limitando a adaptação dinâmica a picos de carga.

Resposta aos Objetivos do Projeto

1. Melhoria de Desempenho com Nós Adicionais

- **Confirmada:** O aumento de réplicas reduziu a latência e aumentou a taxa de processamento (859 req/s), validando que a adição de nós melhora o desempenho.

2. Nível de Tolerância a Falhas

- **Suportado:** A aplicação tolerou falhas de pods e nós sem interrupção, graças à orquestração automática do Kubernetes.

3. Vantagens/Desvantagens do Kubernetes

- **Vantagens:**
 - Alta disponibilidade nativa.
 - Escalabilidade simplificada.
 - Recuperação automática de falhas.
- **Desvantagens:**
 - Configuração complexa para ajustes avançados (ex: `pod-eviction-timeout`).
 - Dependência de monitoramento externo (ex: Lens) para análise detalhada.

Conclusão Final

O Kubernetes comprovou ser uma plataforma robusta para orquestração de contêineres, atendendo aos requisitos de alta disponibilidade e escalabilidade demandados pelo cenário 1. A aplicação "Wordcount" manteve funcionalidade contínua mesmo sob condições adversas, com desempenho escalável conforme a adição de recursos. Para ambientes críticos, recomenda-se complementar a configuração padrão com políticas de escalonamento automático e monitoramento granular, mitigando as limitações observadas.

Resposta à Questão Central:

Sim, é possível melhorar o desempenho da aplicação pelo acréscimo de nós, com ganhos de **18-30% em latência**, e o Kubernetes oferece tolerância a falhas completa em cenários de queda de pods e nós, desde que configurado adequadamente.