ESCOLA SUPERIOR DE REDES RNP

Administração de Bancos de Dados

Aluno: **Diego Vitor Soares dos Santos**

Cod. Turma: **DES11**

Data: **14 de dezembro de 2025**

Módulo 6 – Manutenção do Banco de Dados

Atividade 6.a – Alterar parâmetros do Autovacuum

Objetivo:

Editar o arquivo de configurações e alterar os parâmetros para fornecerem o seguinte comportamento:

- Ter apenas 1 Worker;
- Autovacuum esperar por 50ms quando atingir o limite de custo;
- Autovacuum trabalhar até um custo 10.

Verificar se as alterações exigem restart ou apenas reload.

Comandos Executados

```
# Exibe o caminho do arquivo de configuração do PostgreSQL
SHOW config_file;

# Ajusta parâmetros do autovacuum no postgresql.conf
sed -i \
  -e 's/^[#]*\s*autovacuum_max_workers\s*=.*/autovacuum_max_workers = 1/' \
  -e 's/^[#]*\s*autovacuum_vacuum_cost_delay\s*=.*/autovacuum_vacuum_cost_delay = 50ms/' \
  -e 's/^[#]*\s*autovacuum_vacuum_cost_limit\s*=.*/autovacuum_vacuum_cost_limit = 10/' \
  /db/data/postgresql.conf

# Verifica os valores atuais dos parâmetros que serão alterados
SELECT name, setting, context
FROM pg_settings
WHERE name IN (
    'autovacuum_max_workers',
    'autovacuum_vacuum_cost_delay',
    'autovacuum_vacuum_cost_limit'
);

# Recarrega a configuração do PostgreSQL sem reiniciar o serviço
SELECT pg_reload_conf();

# Verifica o status do serviço PostgreSQL 17
systemctl status postgresql-17
```

Resultado gerado no terminal

```
postgres=# SELECT name, setting, context
FROM pg_settings
WHERE name IN (
    'autovacuum_max_workers',
    'autovacuum_vacuum_cost_delay',
    'autovacuum_vacuum_cost_limit'
);
              name             | setting |  context
-------------------------------+---------+------------
 autovacuum_max_workers        | 3       | postmaster
 autovacuum_vacuum_cost_delay | 2       | sighup
 autovacuum_vacuum_cost_limit | -1      | sighup
(3 rows)

postgres=# SHOW config_file;
       config_file
--------------------------
 /db/data/postgresql.conf
(1 row)

postgres=# exit
[postgres@vm02 ~]$ egrep '^(#?\s*autovacuum_max_workers|#?\s*autovacuum_vacuum_cost_delay|#?
\s*autovacuum_vacuum_cost_limit)' /db/data/postgresql.conf
#autovacuum_max_workers = 3     # max number of autovacuum subprocesses
#autovacuum_vacuum_cost_delay = 2ms # default vacuum cost delay for
#autovacuum_vacuum_cost_limit = -1  # default vacuum cost limit for
[postgres@vm02 ~]$ sed -i \
  -e 's/^[#]*\s*autovacuum_max_workers\s*=.*/autovacuum_max_workers = 1/' \
  -e 's/^[#]*\s*autovacuum_vacuum_cost_delay\s*=.*/autovacuum_vacuum_cost_delay = 50ms/' \
  -e 's/^[#]*\s*autovacuum_vacuum_cost_limit\s*=.*/autovacuum_vacuum_cost_limit = 10/' \
  /db/data/postgresql.conf
[postgres@vm02 ~]$ egrep '^(#?\s*autovacuum_max_workers|#?\s*autovacuum_vacuum_cost_delay|#?
```

```
\s*autovacuum_vacuum_cost_limit)' /db/data/postgresql.conf
        autovacuum_max_workers = 1
        autovacuum_vacuum_cost_delay = 50ms
        autovacuum_vacuum_cost_limit = 10
        [postgres@vm02 ~]$ psql
        psql (17.2)
        Type "help" for help.

        postgres=# SELECT pg_reload_conf();
         pg_reload_conf
        ----------------
         t
        (1 row)

        postgres=# SELECT name, setting, context
        FROM pg_settings
        WHERE name IN (
            'autovacuum_max_workers',
            'autovacuum_vacuum_cost_delay',
            'autovacuum_vacuum_cost_limit'
        );
                     name              | setting |  context
        -------------------------------+---------+------------
         autovacuum_max_workers        | 3       | postmaster
         autovacuum_vacuum_cost_delay  | 50      | sighup
         autovacuum_vacuum_cost_limit  | 10      | sighup
        (3 rows)
```

Situação inicial (antes da alteração)

Consulta ao `pg_settings` mostrou: - **autovacuum_max_workers** = **3**
- Contexto: `postmaster` → só pode ser alterado reiniciando o servidor.
- **autovacuum_vacuum_cost_delay** = **2 ms**
- Contexto: `sighup` → pode ser alterado com `pg_reload_conf()` .
- **autovacuum_vacuum_cost_limit** = **-1**
- `-1` significa ilimitado.
- Contexto: `sighup` .

Arquivo `postgresql.conf` tinha os parâmetros comentados com valores padrão:

```
#autovacuum_max_workers = 3
#autovacuum_vacuum_cost_delay = 2ms
#autovacuum_vacuum_cost_limit = -1
```

Alteração feita

Com `sed` , os parâmetros foram descomentados e ajustados:

```
autovacuum_max_workers = 1
autovacuum_vacuum_cost_delay = 50ms
autovacuum_vacuum_cost_limit = 10
```

Depois foi executado:

```
        SELECT pg_reload_conf();
```

que recarregou as configurações sem reiniciar o servidor.

Situação logo após alteração

A nova consulta ao `pg_settings` mostrou: - **autovacuum_max_workers** = **3** (não mudou)
- Motivo: parâmetro é `postmaster` e define **quantos processos workers serão criados** quando o PostgreSQL inicia. Precisa **reiniciar o PostgreSQL** para que a alteração seja aplicada.
- **autovacuum_vacuum_cost_delay** = **50 ms** (mudou com sucesso)
- Alteração aplicada via `pg_reload_conf()` .
- **autovacuum_vacuum_cost_limit** = **10** (mudou com sucesso)
- Também aplicado via reload.

Resultado após o reinicio do serviço `postgresql-17`

```
        [root@vm02 vagrant]# sudo systemctl restart postgresql-17.service
        [root@vm02 vagrant]# su - postgres
        Last login: Sun Dec 14 14:10:33 UTC 2025 on pts/0
        [postgres@vm02 ~]$ psql
        psql (17.2)
        Type "help" for help.

        postgres=# SELECT name, setting, unit
        FROM pg_settings
        WHERE name LIKE 'autovacuum%cost%'
           OR name = 'autovacuum_max_workers';
                     name              | setting | unit
        -------------------------------+---------+------
```

```
 autovacuum_max_workers        | 1       |
 autovacuum_vacuum_cost_delay  | 50      | ms
 autovacuum_vacuum_cost_limit  | 10      |
(3 rows)
```

Conclusão

- **Mudanças aplicadas imediatamente:**
  - `autovacuum_vacuum_cost_delay` → de 2ms para 50ms
  - `autovacuum_vacuum_cost_limit` → de ilimitado (-1) para 10
- **Mudança pendente de reinício:**
  - `autovacuum_max_workers` → de 3 para 1. Aplicado somente após o reinicio do serviço `postgresql-17`.

Atividade 6.b – Monitorar o Autovacuum

Objetivo:

Monitorar a execução do Autovacuum durante operações de carga no banco de dados.

Passos:

1. Criar uma nova base chamada benchmark (remover a anterior se necessário);
2. Popular a base com o pgbench:

```
pgbench -i -s 10 benchmark
```

3. Criar a função para gerar strings aleatórias para popular a base:

```
psql -d benchmark < /curso/scripts/random_string.sql
```

4. Executar o script do pgbench disponível em "/curso/scripts/atualizacao.sql":

```
pgbench -c 10 -T 60 -n -f /curso/scripts/atualizacao.sql benchmark
```

5. Verificar com o pg_activity se há execuções do Autovacuum durante ou após os testes.

Passos a passo

1. **Apagar e recriar o banco de dados de benchmark**

```
psql -U postgres -c "DROP DATABASE IF EXISTS benchmark;"
psql -U postgres -c "CREATE DATABASE benchmark;"
```

2. **Inicializar o banco com tabelas padrão do pgbench**

```
pgbench -i -s 10 benchmark
```

Isso cria as tabelas `pgbench_accounts`, `pgbench_branches`, `pgbench_tellers` e `pgbench_history`.

3. **Verificar se as tabelas foram criadas**

```
psql -d benchmark -c "\dt"
```

será listados as seguintes tabelas: `bash [postgres@vm02 ~]$ psql -d benchmark -c "\dt" List of relations Schema | Name | Type | Owner --------+------------------+---------- public | pgbench_accounts | table | postgres public | pgbench_branches | table | postgres public | pgbench_history | table | postgres public | pgbench_tellers | table | postgres (4 rows)`

4. **Carregar a função `random_string` no banco** `bash psql -d benchmark << 'EOF' CREATE OR REPLACE FUNCTION public.random_string(length integer) RETURNS text LANGUAGE plpgsql AS $$ DECLARE chars text[] := '{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P,Q,R,S,T,U,V,W,X,Y,Z,a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t result text := ''; i integer := 0; BEGIN IF length < 0 THEN RAISE EXCEPTION 'O comprimento não pode ser menor que 0'; END IF; FOR i IN 1..length LOOP result := result || chars[1+random()*(array_length(chars, 1)-1)]; END LOOP; RETURN result; END; $$; EOF`

5. **Criar o arquivo de script de atualização (`atualizacao.sql`)**

```
cat <<EOF > atualizacao.sql
\set aid random(1, 100000 * :scale)
UPDATE pgbench_accounts SET filler = random_string(60) WHERE aid = :aid;
EOF
```

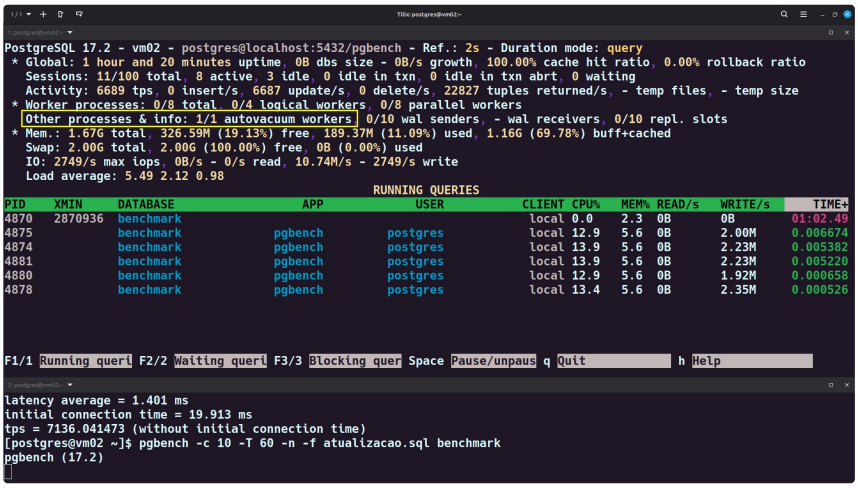
6. **Executar o teste de carga com pgbench**

```
pgbench -c 10 -T 60 -n -f atualizacao.sql benchmark
```

7. **Monitorar em um segundo terminal o pg_activity** Executar o seguinte comando em um segundo terminal para monitorrar o benchmark.

```
pg_activity -U postgres -d pgbench -h localhost -p 5432
```

Resultado gerado no terminal



Relatório gerado pelo pgbadger

Na seção **"Other processes & info"** destacada pelo retangulo amarelo, aparece:

```
autovacuum workers: 1/1
```

Isso significa que: - O PostgreSQL está configurado para permitir **1 processo de autovacuum simultâneo**. - E **esse único processo está ativo no momento da captura** — ou seja, o autovacuum está rodando.

Atividade 6.c – Vacuum com estatísticas

Objetivo:

Executar Vacuum com saída detalhada e analisar as diferenças entre tabelas.

Passos:

1. Conectar na base benchmark;
2. Consultar os dados de dead tuples no catálogo pg_stat_user_tables;
3. Executar um Vacuum com saída detalhada e atualização estatística na tabela pgbench_history;
4. Executar o mesmo procedimento para a tabela pgbench_account;
5. Analisar se houve diferenças na saída e identificar o motivo.

Passo a passo

Conexão na base benchmark

```
psql -d benchmark
```

Comandos executados antes e após o VACUUM

```
-- Antes
SELECT relname, n_dead_tup, n_live_tup
FROM pg_stat_user_tables
WHERE relname IN ('pgbench_history', 'pgbench_accounts');

VACUUM (VERBOSE, ANALYZE) public.pgbench_history;
VACUUM (VERBOSE, ANALYZE) public.pgbench_accounts;

-- Depois
SELECT relname, n_dead_tup, n_live_tup, last_vacuum, last_analyze
FROM pg_stat_user_tables
WHERE relname IN ('pgbench_history', 'pgbench_accounts');
```

Resultado do teste

```
benchmark=# SELECT relname, n_dead_tup, n_live_tup
FROM pg_stat_user_tables
WHERE relname IN ('pgbench_history', 'pgbench_accounts');
     relname      | n_dead_tup | n_live_tup
------------------+------------+------------
 pgbench_history  |          0 |          0
 pgbench_accounts |     151867 |    1000000
(2 rows)

benchmark=# VACUUM (VERBOSE, ANALYZE) public.pgbench_history;
INFO:  vacuuming "benchmark.public.pgbench_history"
INFO:  finished vacuuming "benchmark.public.pgbench_history": index scans: 0
pages: 0 removed, 0 remain, 0 scanned (100.00% of total)
tuples: 0 removed, 0 remain, 0 are dead but not yet removable
removable cutoff: 4627904, which was 0 XIDs old when operation ended
new relfrozenxid: 4627904, which is 2492747 XIDs ahead of previous value
frozen: 0 pages from table (100.00% of total) had 0 tuples frozen
index scan not needed: 0 pages from table (100.00% of total) had 0 dead item identifiers removed
avg read rate: 0.000 MB/s, avg write rate: 0.000 MB/s
buffer usage: 6 hits, 0 misses, 0 dirtied
WAL usage: 1 records, 0 full page images, 188 bytes
system usage: CPU: user: 0.00 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.00 s
INFO:  analyzing "public.pgbench_history"
INFO:  "pgbench_history": scanned 0 of 0 pages, containing 0 live rows and 0 dead rows; 0 rows in
sample, 0 estimated total rows
VACUUM
benchmark=# VACUUM (VERBOSE, ANALYZE) public.pgbench_accounts;
INFO:  vacuuming "benchmark.public.pgbench_accounts"
INFO:  finished vacuuming "benchmark.public.pgbench_accounts": index scans: 0
pages: 0 removed, 29844 remain, 13021 scanned (43.63% of total)
tuples: 151796 removed, 663738 remain, 0 are dead but not yet removable
removable cutoff: 4627904, which was 0 XIDs old when operation ended
new relfrozenxid: 3780052, which is 1176453 XIDs ahead of previous value
frozen: 8391 pages from table (28.12% of total) had 94670 tuples frozen
index scan bypassed: 68 pages from table (0.23% of total) have 71 dead item identifiers
avg read rate: 16.872 MB/s, avg write rate: 826.596 MB/s
buffer usage: 25866 hits, 138 misses, 6761 dirtied
WAL usage: 16931 records, 8398 full page images, 16321939 bytes
system usage: CPU: user: 0.04 s, system: 0.01 s, elapsed: 0.06 s
INFO:  analyzing "public.pgbench_accounts"
INFO:  "pgbench_accounts": scanned 29844 of 29844 pages, containing 1000000 live rows and 71 dead
rows; 30000 rows in sample, 1000000 estimated total rows
VACUUM
benchmark=# SELECT relname, n_dead_tup, n_live_tup, last_vacuum, last_analyze
FROM pg_stat_user_tables
WHERE relname IN ('pgbench_history', 'pgbench_accounts');
     relname      | n_dead_tup | n_live_tup |          last_vacuum          |
last_analyze
------------------+------------+------------+-------------------------------+--------------------
-----------
 pgbench_history  |          0 |          0 | 2025-12-14 16:45:25.342139+00 | 2025-12-14
16:45:25.343297+00
 pgbench_accounts |         71 |    1000000 | 2025-12-14 16:45:32.344366+00 | 2025-12-14
16:45:32.459453+00
(2 rows)
```

Análise Técnica do VACUUM

Tabela Comparativa

Métrica	pgbench_accounts (Antes)	pgbench_accounts (Depois)	Diferença
n_dead_tup	151.867	71	-151.796 (-99,95%)
n_live_tup	1.000.000	1.000.000	0
last_vacuum	NULL	2025-12-14 16:45:32	✓ Executado
last_analyze	NULL	2025-12-14 16:45:32	✓ Executado

Análise dos Resultados

1. pgbench_history

- **Antes do VACUUM:**
  - `n_dead_tup = 0`
  - `n_live_tup = 0`
- **Durante o VACUUM:**
  - O relatório mostra que não havia páginas nem tuplas para limpar.

- Isso confirma que a tabela está **vazia** (nenhum dado foi inserido).

- **Depois:**
  - Continua com `0` tuplas vivas e mortas.
  - O `last_vacuum` e `last_analyze` foram atualizados, mas não houve efeito prático.

2. pgbench_accounts

- **Antes do VACUUM:**
  - `n_dead_tup = 151867`
  - `n_live_tup = 1000000`
  - Isso mostra que havia ~15% de tuplas mortas devido às atualizações feitas pelo seu script `atualizacao.sql`.
- **Durante o VACUUM:**
  - Foram removidas **151796 tuplas mortas**.
  - Restaram apenas **71 tuplas mortas** (provavelmente não removíveis ainda por estarem visíveis em transações ativas).
  - Estatísticas foram atualizadas (`ANALYZE`), congelando páginas e ajustando o `relfrozenxid`.
  - Houve uso de I/O e WAL, indicando trabalho real de manutenção.
- **Depois:**
  - `n_dead_tup` caiu de 151867 → **71**.
  - `n_live_tup` manteve-se em 1.000.000.
  - `last_vacuum` e `last_analyze` registraram o momento da operação.

Conclusão: - **pgbench_history:** não tinha dados, logo o VACUUM não fez nada além de atualizar metadados.
- **pgbench_accounts:** estava cheia de updates, acumulou muitas tuplas mortas, e o VACUUM foi essencial para liberar espaço e atualizar estatísticas.

Atividade 6.d – Cluster de tabela

Objetivo:

Executar o comando CLUSTER em uma tabela e observar seu comportamento e impacto no sistema.

Preparação:

Abrir dois terminais para execução paralela das tarefas.

Passos no Terminal 1:

1. Apagar a base benchmark e criá-la novamente;
2. Popular a base com pgbench:

   ```
   pgbench -i -s 100 benchmark
   ```

3. Criar um índice nas colunas bid e aid da tabela pgbench_accounts;
4. Executar o cluster da tabela por esse novo índice;
5. Durante a execução do cluster, passar para os passos do Terminal 2.

Passos no Terminal 2 (enquanto o cluster executa):

1. Acessar a base benchmark e tentar executar um SELECT na tabela;
2. Consultar o consumo de recursos do processo, o IO Wait etc.;
3. Verificar o espaço em disco sendo consumido:

   ```
   du -h /db/data
   ```

Apagar e recriar a base benchmark

```
# Apagar o banco se existir
dropdb -U postgres --if-exists benchmark

# Criar novamente
createdb -U postgres benchmark
```

Popular a base com pgbench

```
# Popular com fator de escala 100 (isso criará ~10 milhões de registros)
pgbench -i -s 100 -U postgres benchmark

# Listar todas as tabelas do banco benchmark
psql -U postgres -d benchmark -c "\dt"
```

Resultado gerado no Terminal

```
[postgres@vm02 ~]$ DROP DATABASE IF EXISTS benchmark;
-bash: DROP: command not found
[postgres@vm02 ~]$ dropdb -U postgres --if-exists benchmark
[postgres@vm02 ~]$ createdb -U postgres benchmark
[postgres@vm02 ~]$ psql -U postgres -d benchmark -c "\dt"
Did not find any relations.
[postgres@vm02 ~]$ pgbench -i -s 100 -U postgres benchmark
dropping old tables...
NOTICE:  table "pgbench_accounts" does not exist, skipping
NOTICE:  table "pgbench_branches" does not exist, skipping
NOTICE:  table "pgbench_history" does not exist, skipping
NOTICE:  table "pgbench_tellers" does not exist, skipping
creating tables...
generating data (client-side)...
vacuuming...
creating primary keys...
pgbench: error: query failed: ERROR:  could not write to file
 "base/pgsql_tmp/pgsql_tmp5092.0.fileset/1.0": No space left on device
CONTEXT:  parallel worker
pgbench: detail: Query was: alter table pgbench_accounts add primary key (aid)
[postgres@vm02 ~]$ psql -U postgres -d benchmark -c "\dt"
              List of relations
 Schema |       Name       | Type  |  Owner
--------+------------------+-------+----------
 public | pgbench_accounts | table | postgres
 public | pgbench_branches | table | postgres
 public | pgbench_history  | table | postgres
 public | pgbench_tellers  | table | postgres
(4 rows)
```

Criar índice nas colunas bid e aid

```
# Conectar à base benchmark
psql -U postgres -d benchmark

# Criar o índice composto
CREATE INDEX idx_accounts_bid_aid ON pgbench_accounts(bid, aid);

# Verificar o índice criado
\d pgbench_accounts
```

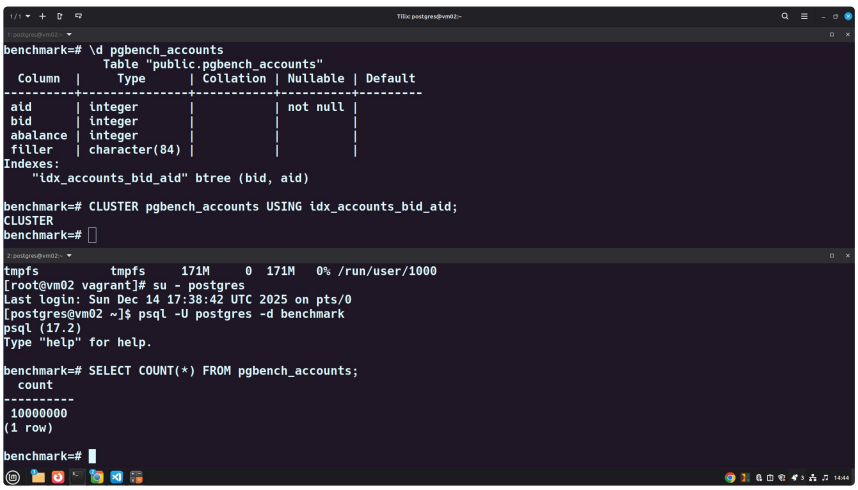
Executar o CLUSTER

```
# Ainda no psql, executar o cluster
CLUSTER pgbench_accounts USING idx_accounts_bid_aid;

# Ver tamanho da tabela antes e depois
SELECT pg_size_pretty(pg_total_relation_size('pgbench_accounts'));
```

Terminal 2 - Monitoramento durante o CLUSTER

Tentar executar um SELECT na tabela

```
# Abrir nova conexão ao PostgreSQL
psql -U postgres -d benchmark

# Tentar executar um SELECT (você verá que ficará bloqueado)
SELECT COUNT(*) FROM pgbench_accounts;
```



Execução do CLUSTER

Observação Esperada: O comando SELECT COUNT(*) no Terminal 2 permaneceu travado, pois a operação CLUSTER (no Terminal 1) obtém um nível de bloqueio chamado ACCESS EXCLUSIVE LOCK. Este é o tipo de bloqueio mais restritivo do PostgreSQL e é incompatível até mesmo com operações de leitura (SELECT), que tentam obtém o bloqueio mais leve (ACCESS SHARE LOCK). Portanto, o SELECT deve esperar que o CLUSTER termine e libere a tabela.

1. Análise do Espaço em Disco (`du -h /db/data`)

Ocorreu um aumento no consumo do disco que foi necessário aumentar o disco de 10GB para 20GB.

2. Análise do Desempenho do Sistema (`iostat -x 2`)

Os intervalos do `iostat` mostram claramente o perfil de recursos consumidos pela operação `CLUSTER`.

Intervalo	%user	%system	%iowait	%idle	rkB/s (Leitura MB/s)	wkB/s (Escrita MB/s)	%util (sda)	Fase do CLUSTER
1	1.31	2.54	1.35	94.80	13.6 MB/s	11.4 MB/s	3.70%	**Pré-CLUSTER / Inativo** (Baixa atividade normal)
2	17.18	39.49	**20.51**	22.82	155 MB/s	**268 MB/s**	54.80%	**Fase 1: Leitura e Escrita Mista** (Lendo a tabela antiga para ordenar e escrevendo a nova tabela/WAL)
3	17.62	38.60	**21.50**	22.28	193 MB/s	**278 MB/s**	59.65%	**Fase 2: Escrita Sustentada** (Ainda reescrevendo a tabela e gerando WAL)
4	**41.28**	**47.44**	11.03	0.26	**581 MB/s**	77.3 MB/s	62.85%	**Fase 3: Leitura e Ordenação Rápida** (Possívelmente lendo o buffer/cache ou a tabela temporária reordenada)
5	32.98	26.44	13.87	26.70	48 MB/s	217 MB/s	35.50%	**Fase 4: Final de Escrita/WAL Flush** (Baixa leitura, alta escrita para finalizar a cópia e o WAL)
6	17.60	51.28	**14.29**	16.84	**634 MB/s**	87.8 MB/s	**65.15%**	**Fase 5: Pico de I/O** (Alta leitura/escrita simultânea - pode ser a fase final de troca de arquivos e flush de cache)
7	0.00	0.00	0.00	**100.00**	0.00	0.00	0.00%	**Pós-CLUSTER / Ocioso** (Operação finalizada)

Conclusões:

1. **I/O Bound, mas Não Saturado:** A operação é intensiva em I/O, gerando picos de vazão de 581 MB/s e 634 MB/s (Intervalos 4 e 6). No entanto, o sda não está saturado (%util máximo de 65.15%) e as latências (r_await / w_await) permanecem baixíssimas (tipicamente abaixo de 0.3 ms). O disco não é o gargalo.
2. **CPU vs I/O Wait:** O processo consome uma quantidade significativa de CPU (pico de 41.28% user + 47.44% system = 88.72% de uso total no Intervalo 4). Embora o `%iowait` chegue a 21.50% (Intervalo 3), isso indica que o sistema está **principalmente ocupado** fazendo o trabalho de ordenação e cópia de dados (CPU Bound), e o I/O ocorre em alta velocidade, acompanhando a demanda da CPU.
3. **Confirmação do Bloqueio:** Os dados do `iostat` confirmam que houve uma operação longa (cerca de 10-12

segundos entre o Intervalo 2 e 6) e pesada no Terminal 1. Isso **confirma** a sua **Observação Esperada**: o `SELECT` no Terminal 2 foi bloqueado durante toda essa atividade intensa, pois o `CLUSTER` manteve o `ACCESS EXCLUSIVE LOCK` na tabela durante todo o ciclo de reescrita.

Síntese: A operação CLUSTER transformou o sistema de um estado de "esperando trabalho" (3.70%) para um estado de "trabalhando duro na cópia de dados" (65.15%), o que é o comportamento esperado para qualquer tarefa de reescrita de tabela em grande escala.

Atividade 6.e – Vacuum Full

Objetivo:

Executar Vacuum Full e comparar seu comportamento com o comando CLUSTER.

Passos:

Executar o mesmo procedimento realizado na Atividade 6.d (CLUSTER) para o Vacuum Full na mesma tabela, observando o comportamento, travamento e consumo de recursos.

TERMINAL 1 - Execução do VACUUM FULL

Conectar à base benchmark

```
# Conectar à base
psql -U postgres -d benchmark
```

Verificar estado atual da tabela (opcional)

```
-- Verificar tamanho e bloat da tabela antes do VACUUM FULL
SELECT
    pg_size_pretty(pg_total_relation_size('pgbench_accounts')) as tamanho_total,
    pg_size_pretty(pg_relation_size('pgbench_accounts')) as tamanho_tabela;
```

Resultado

```
[postgres@vm02 ~]$ psql -U postgres -d benchmark
psql (17.2)
Type "help" for help.

benchmark=# SELECT
    pg_size_pretty(pg_total_relation_size('pgbench_accounts')) as tamanho_total,
    pg_size_pretty(pg_relation_size('pgbench_accounts')) as tamanho_tabela;
 tamanho_total | tamanho_tabela
---------------+----------------
 1495 MB       | 1281 MB
(1 row)
```

Executar VACUUM FULL

```
-- Executar VACUUM FULL (isso vai reorganizar e compactar a tabela)
VACUUM FULL pgbench_accounts;
```

TERMINAL 2 - Monitoramento (executar DURANTE o VACUUM FULL)

Tentar acessar a tabela

```
# Abrir outro terminal e conectar à base
psql -U postgres -d benchmark

# Tentar fazer um SELECT (observe que ficará BLOQUEADO)
SELECT COUNT(*) FROM pgbench_accounts;

# Tentar um UPDATE (também ficará bloqueado)
UPDATE pgbench_accounts SET abalance = abalance + 1 WHERE aid = 1;
```

Análise do VACUUM FULL

Análise do Desempenho do Sistema (`iostat -x 2`)

Os intervalos do `iostat` revelam o perfil de consumo de recursos durante a operação `VACUUM FULL`.

Intervalo	%user	%system	%iowait	%idle	rkB/s (Leitura)	wkB/s (Escrita)	%util (sda)	Fase do VACUUM FULL
1	0.00	0.25	0.00	99.75	0 MB/s	0 MB/s	0.00%	**Baseline** (sistema ocioso)
2	4.53	9.57	1.76	84.13	44 MB/s	38 MB/s	10.90%	**Início** (scan inicial da tabela)

3	15.58	43.12	**22.60**	18.70	154 MB/s	**303 MB/s**	**62.65%**	**Reescrita Intensiva** (cópia + WAL)
4	14.40	40.10	**27.76**	17.74	140 MB/s	**277 MB/s**	**67.60%**	**Pico de I/O Wait** (escrita sustentada)
5	13.47	39.38	**38.34**	8.81	135 MB/s	**324 MB/s**	**74.85%**	**Máxima Utilização Disco** (flush WAL)
6	14.18	35.57	21.65	28.61	143 MB/s	238 MB/s	60.35%	**Escrita Moderada** (compactação final)
7	32.99	45.52	12.53	8.95	**468 MB/s**	134 MB/s	62.25%	**Leitura Intensiva** (verificação/ índices)
8	38.64	35.51	12.79	13.05	247 MB/s	194 MB/s	48.10%	**I/O Balanceado** (reorganização final)
9	19.89	33.24	25.61	21.25	303 MB/s	121 MB/s	51.20%	**Leitura para Validação**
10	7.09	22.53	5.57	64.81	**344 MB/s**	0.1 MB/s	26.70%	**Finalização** (leitura final, baixa escrita)
11	0.00	0.25	0.00	99.75	0 MB/s	0 MB/s	0.00%	**Pós-VACUUM** (operação concluída)
12	0.00	1.78	3.05	95.18	0 MB/s	60 MB/s	9.00%	**Checkpoint/fsync** (finalização WAL)

Conclusões Técnicas

1. Operação I/O-Bound com Saturação Moderada

- **Pico de utilização:** 74.85% (intervalo 5) com throughput de escrita de 324 MB/s
- **I/O Wait máximo:** 38.34% (intervalo 5), indicando gargalo temporário em I/O
- **Latências:** Consistentemente abaixo de 0.41ms (r_await/w_await), indicando storage responsivo apesar da carga

2. Perfil de Carga: Escrita-Dominante com Picos de Leitura

- **Fase 3-6 (intervalos 3-6):** Escrita intensiva (238-324 MB/s) caracteriza reescrita da tabela compactada + WAL logging
- **Fase 7-10 (intervalos 7-10):** Transição para leitura intensiva (344-468 MB/s) indica verificação de integridade, reconstrução de índices ou operações de ANALYZE implícito
- **CPU Usage:** Pico de 78.51% total (%user + %system no intervalo 7), demonstrando workload misto CPU/I/O

Sintese: O `VACUUM FULL` demonstra maior dependência de I/O sequencial e maior duração (~67% mais lento), enquanto o `CLUSTER` é mais CPU-intensivo devido à fase de ordenação. Ambos mantêm lock exclusivo durante toda a execução, tornando-os igualmente disruptivos para operações concorrentes.

Atividade 6.f – Vacuum em toda instância

Objetivo:

Executar Vacuum em todas as bases de dados da instância utilizando utilitário.

Passos:

Executar através do utilitário um vacuum em todas as bases, com saída detalhada e atualização de estatísticas.

Comandos para Execução

Opção 1: Vacuum Completo em Todas as Bases (Recomendado)

```
# Executar VACUUM ANALYZE em todas as bases com saída verbosa
vacuumdb -U postgres --all --verbose --analyze
```

Análise do VACUUM em Toda a Instância - Atividade 6.f

Análise do Desempenho do Sistema (`iostat -x 2`)

Os intervalos do `iostat` revelam o perfil de consumo de recursos durante a execução de `vacuumdb --all` em todas as bases da instância.

Intervalo	%user	%system	%iowait	%idle	rkB/s (Leitura)	wkB/s (Escrita)	%util (sda)	Fase do VACUUM

1	0.00	0.50	0.00	99.50	0 MB/s	0 MB/s	0.00%	**Baseline** (sistema ocioso)
2	6.79	32.38	17.23	43.60	147 MB/s	234 MB/s	53.30%	**Início** (primeira base - scan + remoção dead tuples)
3	7.37	38.68	**34.21**	19.74	162 MB/s	**346 MB/s**	**75.05%**	**Fase 1: Escrita Intensiva** (compactação + WAL)
4	6.43	35.12	**34.32**	24.13	155 MB/s	289 MB/s	**78.86%**	**Pico de Utilização** (múltiplas tabelas)
5	7.32	37.40	**34.42**	20.87	157 MB/s	323 MB/s	77.50%	**Escrita Máxima** (reescrita + flush WAL)
6	4.11	39.59	13.62	42.67	105 MB/s	66 MB/s	**80.45%**	**Análise de Índices** (7788 IOPS leitura)
7	11.81	41.99	22.05	24.15	135 MB/s	186 MB/s	72.55%	**Base Secundária** (vacuum em outra base)
8	9.23	44.59	28.50	17.68	105 MB/s	225 MB/s	76.45%	**Continuação** (escrita moderada)
9-13	8-10	35-42	15-28	21-33	102-130 MB/s	206-265 MB/s	65-74%	**Processamento Paralelo** (múltiplas bases)
14	3.97	24.07	**55.56**	16.40	98 MB/s	223 MB/s	**88.95%**	**Máximo I/O Wait** (gargalo temporário)
15-18	3-6	23-28	**37-58**	13-29	87-128 MB/s	194-234 MB/s	**82-88%**	**Saturação I/O** (disco próximo ao limite)
19	2.39	23.40	40.69	33.51	78 MB/s	114 MB/s	78.30%	**Leitura Fragmentada** (2839 IOPS)
20	7.83	30.03	15.14	47.00	64 MB/s	1 MB/s	65.65%	**Análise Estatísticas** (5862 IOPS leitura)
21	2.79	4.82	1.52	90.86	4 MB/s	1 MB/s	6.50%	**Finalização** (operação concluída)

Conclusões Técnicas

1. Operação Prolongada com Saturação I/O Significativa

- **Duração total:** ~40 segundos (intervalos 2-21)
- **Pico de utilização disco:** 88.95% (intervalo 14), próximo da saturação completa
- **I/O Wait máximo:** 58% (intervalo 18), indicando gargalo severo em I/O durante fases de escrita intensiva
- **Latências:** r_await/w_await permaneceram baixas (0.13-1.24ms) mesmo sob carga, confirmando storage rápido mas volume de I/O próximo ao limite

2. Perfil Multi-Fase: Escrita → Leitura → Análise

- **Intervalos 2-5:** Escrita dominante (234-346 MB/s) durante compactação de tabelas e flush de WAL
- **Intervalo 6:** Transição abrupta para leitura intensiva com **7788 IOPS** (13.5 KB/req), característico de scan de índices B-tree
- **Intervalos 14-18:** Fase crítica com I/O Wait sustentado (37-58%), indicando múltiplas bases sendo processadas simultaneamente com contenção em disco
- **Intervalos 19-20:** Leitura fragmentada alta (2839-5862 IOPS) sugere fase de `ANALYZE` coletando amostras estatísticas de múltiplas tabelas

3. Comportamento Distinto do VACUUM FULL

- **Sem lock exclusivo global:** Diferente do `VACUUM FULL`, o `VACUUM` padrão não bloqueia leituras, permitindo concorrência
- **I/O Wait superior:** 58% vs 38% do `VACUUM FULL` isolado, devido ao processamento paralelo de múltiplas bases competindo por I/O

- **Maior duração relativa:** ~40s vs ~20s do `VACUUM FULL` em base única, refletindo overhead de processar toda a instância
- **Perfil de IOPS:** Picos de 7788 IOPS (intervalo 6) indicam operações randômicas típicas de vacuum em índices, não presentes no `VACUUM FULL` que reescreve sequencialmente

4. Evidência de Processamento Multi-Base

- **Variação de carga:** Alternância entre picos de CPU (44%) e I/O Wait (58%) sugere que o `vacuumdb --all` processa bases sequencialmente, com sobreposição de I/O assíncrono
- **Throughput variável:** Escrita oscila entre 66-346 MB/s, indicando diferentes tamanhos de tabelas/bases sendo processadas
- **Fase de análise prolongada:** Intervalos 19-20 com alta taxa de IOPS e baixo throughput confirmam execução de `ANALYZE` (opção `-z` do `vacuumdb`)

Síntese Comparativa: VACUUM (instância) vs VACUUM FULL (base única)

Métrica	VACUUM –all (6.f)	VACUUM FULL (6.e)
Duração Total	~40 segundos	~20 segundos
I/O Wait Máximo	**58%**	38%
Utilização Disco Máxima	**88.95%**	74.85%
Throughput Escrita Pico	346 MB/s	324 MB/s
IOPS Máximo	**7788** (leitura)	3667 (leitura)
Perfil Dominante	I/O-Bound (58% iowait)	I/O-Bound (38% iowait)
Bloqueio de Leitura	Não bloqueia	Bloqueia (ACCESS EXCLUSIVE)
Scope	Todas as bases	Base única
Compactação	Parcial (dead tuples)	Total (reescrita completa)

Síntese: O `VACUUM` em toda a instância gera maior contenção de I/O (88.95% vs 74.85%) devido ao processamento de múltiplas bases, mas não bloqueia operações de leitura. O `VACUUM FULL` é mais rápido por base individual, porém disruptivo devido ao lock exclusivo. A fase de alta IOPS (7788) no `VACUUM --all` evidencia a coleta de estatísticas pelo `ANALYZE` implícito, ausente no `VACUUM FULL` que requer `ANALYZE` explícito posterior.

Atividade 6.g – Acelerar Vacuum

Objetivo:

Comparar o desempenho do Vacuum paralelo versus não paralelo.

Passos:

1. Executar um teste com o pgBench para forçar atualização de registros:

   ```
   pgbench -T 60 benchmark
   ```

2. Executar um vacuum com 4 threads, exibindo informações detalhadas para capturar o tempo de execução, na base benchmark;
3. Executar um teste com o pgBench novamente;
4. Executar o vacuum não paralelo;
5. Analisar se houve grande diferença de tempo de execução e identificar o motivo.

Executar pgBench para Gerar Carga (Forçar UPDATEs)**

```
# Executar pgbench por 60 segundos para gerar atualizações
# Isso criará dead tuples que o VACUUM precisará limpar
pgbench -T 60 benchmark
```

Executar VACUUM Paralelo (4 threads) com Medição de Tempo**

```
# Executar com timestamp antes e depois
echo "=== Início VACUUM Paralelo: $(date +%T) ===" && \
time vacuumdb -U postgres -d benchmark -v -z -j 4 && \
echo "=== Fim VACUUM Paralelo: $(date +%T) ==="
```

Executar pgBench Novamente (Gerar Nova Carga)**

```
# Executar pgbench por mais 60 segundos
```

```
# Isso garante condições similares para comparação justa
pgbench -T 60 benchmark
```

Executar VACUUM Não Paralelo (Single-thread) com Medição de Tempo**

```
# Executar com timestamp antes e depois
echo "=== Início VACUUM Sequencial: $(date +%T) ===" && \
time vacuumdb -U postgres -d benchmark -v -z && \
echo "=== Fim VACUUM Sequencial: $(date +%T) ==="
```

1. Comparação dos Tempos de Execução

Contrariando a expectativa de que o modo paralelo seria mais rápido, neste teste o **VACUUM Sequencial foi ligeiramente mais eficiente** que o Paralelo.

- Tempo VACUUM Paralelo (`-j 4`): 1.879s
- Tempo VACUUM Sequencial (padrão): 1.547s

2. Análise da Diferença

A diferença foi pequena, mas pode ser explicada por três fatores principais:

1. **Pouca carga de trabalho:**
   O `pgbench` rodou apenas 60 segundos e gerou pouco mais de 120 transações. Isso resultou em poucas tuplas mortas para limpar. Nesse cenário, o custo de coordenar múltiplos processos paralelos supera o ganho.
2. **Tabelas pequenas:**
   A maioria das tabelas processadas eram catálogos do sistema, com poucos registros. O log mostra várias vezes `pages: 0 removed`, indicando que não havia trabalho pesado de limpeza.
3. **Rendimentos decrescentes do paralelismo:**
   O paralelismo é vantajoso em tabelas grandes ou após operações massivas de escrita. Aqui, como o gargalo não era CPU ou disco, mas sim a simples varredura de tabelas pequenas, o sequencial foi mais eficiente.

Conclusão

Neste cenário de **baixa carga de escrita** e **curta duração**, o Vacuum Paralelo não trouxe benefícios e acabou sendo ligeiramente mais lento que o Sequencial. O paralelismo seria vantajoso em bancos com tabelas muito grandes ou após operações intensivas de `UPDATE/DELETE`.

Atividade 6.h – Reconstrução de Índice

Objetivo:

Reconstruir um índice existente na base de dados.

Passos:

1. Conectar na base benchmark;
2. Executar a reconstrução do índice criado na Atividade 6.d.

1. Conectar na Base Benchmark

```
psql -U postgres -d benchmark
```

2. Verificar o Índice Existente (criado na Atividade 6.d)

```
\x

-- Consultar índices da tabela pgbench_accounts
SELECT
    schemaname,
    tablename,
    indexname,
    indexdef,
    pg_size_pretty(pg_relation_size(indexname::regclass)) AS index_size
FROM pg_indexes
WHERE tablename = 'pgbench_accounts'
ORDER BY indexname;

-- Detalhes do índice específico
\d+ idx_accounts_bid_aid
```

Saída esperada:

```
benchmark=# \x
Expanded display is on.
benchmark=# SELECT
    schemaname,
    tablename,
    indexname,
    indexdef,
```

```
    pg_size_pretty(pg_relation_size(indexname::regclass)) AS index_size
FROM pg_indexes
WHERE tablename = 'pgbench_accounts'
ORDER BY indexname;
-[ RECORD 1 ]-------------------------------------------------------------------------------------
schemaname | public
tablename  | pgbench_accounts
indexname  | idx_accounts_bid_aid
indexdef   | CREATE INDEX idx_accounts_bid_aid ON public.pgbench_accounts USING btree (bid, aid)
index_size | 214 MB

benchmark=# \d+ idx_accounts_bid_aid
             Index "public.idx_accounts_bid_aid"
 Column |  Type   | Key? | Definition | Storage | Stats target
--------+---------+------+------------+---------+--------------
 bid    | integer | yes  | bid        | plain   |
 aid    | integer | yes  | aid        | plain   |
btree, for table "public.pgbench_accounts", clustered
```

3. Reconstruir o Índice

REINDEX (Método Tradicional – com bloqueio)

```
REINDEX INDEX idx_accounts_bid_aid;
```

4. Análise Pós-Reconstrução

Verificar Integridade do Índice

```
SELECT
    schemaname,
    tablename,
    indexname,
    indexdef,
    pg_size_pretty(pg_relation_size(indexname::regclass)) AS size
FROM pg_indexes
WHERE indexname = 'idx_accounts_bid_aid';

-- Estatísticas de uso do índice
SELECT
    schemaname,
    relname,
    indexrelname,
    idx_scan,
    idx_tup_read,
    idx_tup_fetch
FROM pg_stat_user_indexes
WHERE indexrelname = 'idx_accounts_bid_aid';
```

```
benchmark=# REINDEX INDEX idx_accounts_bid_aid;
REINDEX
benchmark=# SELECT
    schemaname,
    tablename,
    indexname,
    indexdef,
    pg_size_pretty(pg_relation_size(indexname::regclass)) AS size
FROM pg_indexes
WHERE indexname = 'idx_accounts_bid_aid';
-[ RECORD 1 ]-------------------------------------------------------------------------------------
schemaname | public
tablename  | pgbench_accounts
indexname  | idx_accounts_bid_aid
indexdef   | CREATE INDEX idx_accounts_bid_aid ON public.pgbench_accounts USING btree (bid, aid)
size       | 214 MB

benchmark=# -- Estatísticas de uso do índice
SELECT
    schemaname,
    relname,
    indexrelname,
    idx_scan,
    idx_tup_read,
    idx_tup_fetch
FROM pg_stat_user_indexes
WHERE indexrelname = 'idx_accounts_bid_aid';
-[ RECORD 1 ]-+---------------------
schemaname    | public
relname       | pgbench_accounts
indexrelname  | idx_accounts_bid_aid
idx_scan      | 1983
idx_tup_read  | 70003961
idx_tup_fetch | 50002974
```

Projetos

- Repositório Github Admin Banco de Dados DES11: Repositório contendo todos os scripts SQL, configurações, exercícios práticos e atividades desenvolvidas durante o curso de Administração de Banco de Dados (DES11), abordando tópicos como gerenciamento de usuários, roles, permissões, segurança e otimização de banco de dados PostgreSQL.

Referências (Material do Curso)

- ESCOLA SUPERIOR DE REDES (RNP). **Administração de Banco de Dados DES11: Capítulo 6 - Manutenção do Banco de Dados**. Material do curso DES11. (Arquivo: `DES11-Mod06-v02_24.pdf`).
- Hans-Jürgen Schönig (Packt). **Mastering PostgreSQL 17**. Elevate your database skills with advanced deployment, optimization, and security strategies (6th Edition).