



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



RELATÓRIO TÉCNICO: ARQUITETURA DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS
ACME/SA
Atividade Avaliativa

Gustavo Cortez de Paula

TRÊS LAGOAS (MS)
2025

Sumário

1. Introdução e Escopo	3
2. Arquitetura de Software	3
2.1 Componentes Principais	3
3. Estratégia de Sincronização e Consistência	3
3.1 Consistência Local (ACID)	3
3.2 Replicação Baseada em Eventos (Eventual).....	4
4. Tolerância a Falhas e Resiliência	4
4.1 Filas de Retentativa (Retry Pattern)	4
4.2 Recuperação Automática	4
5. Protocolos de Segurança	5
5.1 Autenticação de Usuários (Camada Externa)	5
5.2 Segurança Entre Réplicas (Camada Interna)	5
6. Conclusão	5

1. Introdução e Escopo

Este documento descreve a implementação técnica da plataforma ACME/SA, uma solução de *backend* distribuído projetada para simular o ecossistema de múltiplas filiais de uma organização. O objetivo principal do sistema é demonstrar conceitos práticos de sistemas distribuídos, especificamente focados em concorrência, consistência eventual e tolerância a falhas em um ambiente de microsserviços.

A solução foi desenvolvida utilizando Python com o framework FastAPI, operando sobre bancos de dados SQLite independentes para cada instância (nó), garantindo que não haja compartilhamento de armazenamento físico entre as réplicas, o que força a necessidade de sincronização via rede.

2. Arquitetura de Software

A arquitetura segue o padrão de microsserviços descentralizados. Cada instância da aplicação (definida em `config.py` através da variável `NODE_NAME`) atua como uma filial autônoma.

2.1 Componentes Principais

A estrutura do código foi modularizada para separar responsabilidades críticas:

- **Gerenciamento de Estado (`state.py`):** Encapsula as regras de negócio, transações atômicas e o controle de *locks* assíncronos. É aqui que garantimos a integridade local dos dados.
- **Persistência (`database.py`):** Utiliza SQLite em modo WAL (*Write-Ahead Logging*) com chaves estrangeiras ativadas. A escolha do modo WAL foi estratégica para melhorar a performance de concorrência de leitura e escrita em disco local.
- **Sincronização (`sync.py`):** Gerencia as filas de mensagens e a lógica de replicação para os nós pares (`PEERS`).
- **Segurança (`security.py`):** Centraliza a lógica de *hashing* de senhas (`bcrypt`) e a emissão/validação de tokens JWT.

3. Estratégia de Sincronização e Consistência

Um dos maiores desafios deste projeto foi equilibrar a consistência dos dados entre nós que operam independentemente. Adotamos uma abordagem híbrida de **Consistência Forte Local** e **Consistência Eventual Global**.

3.1 Consistência Local (ACID)

Para operações críticas, como a criação de pedidos e movimentação de estoque, o sistema impõe consistência forte. Quando uma requisição chega:

1. Um *lock* específico para o produto é adquirido no `state.py`.

2. Uma transação de banco de dados é aberta.
3. O sistema valida o saldo e insere o pedido.
4. Se houver sucesso, o saldo é decrementado e a transação sofre *commit*.

Isso impede que dois pedidos simultâneos no **mesmo nó** vendam o mesmo item se o estoque for insuficiente (concorrência tratada via [HTTP 409 Conflict](#)).

3.2 Replicação Baseada em Eventos (Eventual)

A comunicação entre nós não ocorre via banco compartilhado, mas via eventos HTTP assíncronos.

- **Idempotência via Snapshots:** Ao invés de enviar comandos relativos (ex: "diminua 1 do estoque"), optamos por enviar o estado final do objeto (*snapshot*). Eventos como [order_created](#) e [stock_update](#) carregam o objeto completo e sua versão. Isso permite que, mesmo se um nó receber o mesmo evento duas vezes, o resultado final seja consistente e não duplicado.
- **Fluxo de Atualização:** Quando um pedido é criado no Nó A, o estoque é atualizado localmente de imediato. O evento é então enfileirado para o Nó B. O Nó B, ao receber o [stock_update](#), aplica a mudança em seu banco, garantindo que todas as filiais convirjam para o mesmo saldo ao longo do tempo.

4. Tolerância a Falhas e Resiliência

Considerando que falhas de rede são inevitáveis em sistemas distribuídos, implementamos mecanismos robustos no módulo [sync.py](#) para lidar com indisponibilidade dos pares.

4.1 Filas de Retentativa (Retry Pattern)

A classe [ReplicaSynchronizer](#) mantém uma fila FIFO (*First-In, First-Out*) em memória para cada nó par configurado.

- Se um nó destino estiver offline (simulado pelo desligamento da instância), os eventos não são perdidos; eles permanecem em estado [pending](#).
- Um *loop* de verificação periódico (configurado via [REPLICATION_RETRY_SECONDS](#)) tenta reenviar os eventos pendentes até receber uma confirmação de sucesso ([HTTP 2xx](#)).

4.2 Recuperação Automática

Graças à idempotência dos eventos descrita na seção anterior, o sistema suporta o reinício dos nós sem corrupção de dados. Ao restabelecer a conexão, a fila é drenada automaticamente, atualizando o nó que estava offline com as últimas versões dos produtos e pedidos. O endpoint [/status](#) foi implementado para permitir auditoria operacional, exibindo o tamanho do *backlog* de replicação em tempo real.

5. Protocolos de Segurança

A segurança foi desenhada em camadas para proteger tanto o acesso dos usuários quanto a integridade da replicação entre servidores.

5.1 Autenticação de Usuários (Camada Externa)

Clientes e operadores interagem com a API através de tokens JWT (*JSON Web Tokens*), assinados com um `JWT_SECRET`. As senhas dos usuários são armazenadas apenas como *hashes* (bcrypt). O sistema implementa controle de acesso (RBAC), onde apenas perfis autorizados (Admin/Operador) podem realizar cadastros sensíveis.

5.2 Segurança Entre Réplicas (Camada Interna)

Para evitar que um usuário mal-intencionado (com um JWT válido) forje eventos de sincronização para alterar estoques em outras filiais, implementamos um mecanismo de **Mutual Trust** simplificado. O tráfego entre os nós nos endpoints `/replica/event` é protegido por um cabeçalho exclusivo: `X-Replica-Token`. Este token é distinto do JWT dos usuários e é conhecido apenas pelos servidores (definido nas variáveis de ambiente). Requisições de replicação sem esse token específico são rejeitadas imediatamente, isolando o tráfego de infraestrutura do tráfego de clientes.

6. Conclusão

O projeto ACME/SA demonstra uma implementação funcional de um sistema distribuído resiliente. Através do uso de filas de retentativa, bancos de dados isolados e eventos portando *snapshots* de estado, conseguimos atingir os objetivos de consistência eventual e alta disponibilidade, mantendo a integridade dos dados mesmo em cenários de falha de comunicação entre os nós.