

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS**  
**NÚCLEO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA**  
**Pós-graduação *Lato Sensu* em Arquitetura de Software Distribuído**

**Lucas Cardoso Cherigath**

**SISTEMA DE CONTROLE E GESTÃO DA ATIVIDADE MINERÁRIA**

Belo Horizonte

2020

**Lucas Cardoso Cherigath**

**SISTEMA DE CONTROLE E GESTÃO DA ATIVIDADE MINERÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização  
em Arquitetura de Software Distribuído como  
requisito parcial à obtenção do título de especialista.

Orientador (a): Prof. Pedro Alves de Oliveira

Belo Horizonte

2020

## RESUMO

Diante da repercussão nacional e internacional dos recentes desastres ambientais causados pelo rompimento de barragens de rejeitos no estado de Minas Gerais, percebe-se a necessidade de um controle mais eficiente dos processos minerários no Brasil. A tecnologia é uma importante aliada na fiscalização do setor de mineração, sendo essencial para garantir a segurança do meio ambiente e das pessoas que trabalham em áreas de risco e residem próximas a essas estruturas. Este projeto apresenta uma proposta arquitetural para um Sistema de Controle Ambiental voltado à gestão de atividades de negócio e de proteção do meio ambiente. Utilizando modernas tecnologias de *Cloud Computing*, alta disponibilidade, escalabilidade e tolerância a falhas, propõe-se a criação de um sistema que auxilie empresas mineradoras a otimizarem o consumo de recursos naturais e a preverem, evitarem e reagirem rapidamente a novas catástrofes ambientais. Ao final deste documento é apresentada uma prova de conceito, a fim de validar a ideia conceitual do sistema.

**Palavras-chave:** mineração, controle ambiental, *cloud computing*, monitoramento.

## SUMÁRIO

1. Objetivos do trabalho.....	5
<b>2. Descrição geral da solução .....</b>	<b>5</b>
2.1. Apresentação do problema .....	5
2.2. Descrição geral do software (Escopo) .....	6
<b>3. Definição conceitual da solução.....</b>	<b>6</b>
3.1. Requisitos Funcionais.....	6
3.2 Requisitos Não Funcionais .....	9
3.3. Restrições Arquiteturais .....	13
3.4. Mecanismos Arquiteturais.....	13
<b>4. Modelagem e projeto arquitetural .....</b>	<b>15</b>
4.1. Modelo de casos de uso .....	15
4.1.1. Descrição resumida dos casos de uso .....	17
4.2. Modelo de componentes.....	21
4.3. Modelo de implantação .....	23
4.4. Modelo de dados.....	24
<b>5. Prova de Conceito (POC) / protótipo arquitetural.....</b>	<b>26</b>
5.1. Implementação.....	26
5.2. Casos de Uso .....	26
5.3. Protótipos de interface .....	27
5.4. Requisitos Não Funcionais avaliados .....	30
5.5. Implantação .....	30
5.6. Interfaces/ APIs .....	30
<b>6. Avaliação da Arquitetura .....</b>	<b>33</b>
6.1. Análise das abordagens arquiteturais .....	33
6.2. Cenários .....	33
6.3. Avaliação.....	34
6.4. Resultado .....	48
7. Conclusão .....	49
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>52</b>
<b>CHECKLIST PARA VALIDAÇÃO DOS ITENS E ARTEFATOS DO TRABALHO ..</b>	<b>53</b>

## **1. Objetivos do trabalho**

O objetivo geral deste trabalho é apresentar a descrição do projeto arquitetural de um sistema de gerenciamento e controle das atividades de negócio de uma empresa mineradora, que têm impacto direto sobre a qualidade do meio ambiente.

Os objetivos específicos são:

- Gerenciar ativos e processos envolvidos com atividades de mineração, permitindo uma exploração eficiente, coordenada e sustentável;
- Monitorar em tempo real, com operação 24 horas por dia, 7 dias por semana, todas as estruturas do complexo minerário, buscando garantir a confiabilidade operacional da atividade minerária e a segurança dos funcionários e da população residente nas áreas vizinhas;
- Agrupar e explorar dados estatísticos relacionados à produção, de modo a identificar riscos e oportunidades, fornecendo insumos para uma tomada de decisão rápida, responsável e segura;
- Criar um sistema completamente adequado a normas nacionais e internacionais do setor minerário, que fornecem a base para a gestão ambiental, incluindo o monitoramento de riscos de incidentes e suas consequências e o controle dos impactos causados pelas intervenções no meio ambiente.

## **2. Descrição geral da solução**

### **2.1. Apresentação do problema**

Duas tragédias ocorridas recentemente no estado de Minas Gerais causaram grande repercussão nacional e internacional, além de uma grande mobilização para auxiliar famílias atingidas. O rompimento das barragens de rejeitos de Mariana, em novembro de 2015, e de Brumadinho, em janeiro de 2019, levantam questionamentos acerca dos impactos sociais e ambientais da atuação de empresas mineradoras na exploração do meio ambiente e o controle deste processo pelos órgãos fiscalizadores.

A pouca fiscalização e a lentidão judicial na punição de responsáveis por casos como os citados acima acaba por incentivar a ação irresponsável de mineradoras. Diante deste cenário,

sistemas de controle ambiental tornam-se essenciais para que os modelos de produção utilizados por essas empresas não devastem o meio ambiente, auxiliando na aplicação eficiente das leis e numa fiscalização mais precisa e rigorosa.

O projeto arquitetural de um Sistema de Controle Ambiental proposto por este trabalho faz uso de modernas tecnologias relacionadas a computação em nuvem, segurança, alta disponibilidade, escalabilidade e comunicação em tempo real para auxiliar empresas do ramo de mineração a terem maior controle sobre o processo de extração mineral, permitindo o monitoramento eficiente e provendo recursos para prevenção de novos desastres ambientais.

## **2.2. Descrição geral do software (Escopo)**

O sistema tem o objetivo de coordenar as atividades de negócio e de exploração de recursos naturais de empresas mineradoras. Para isso, ele deve permitir o gerenciamento de equipamentos e maquinários e de suas respectivas manutenções e de fluxos de trabalho que permitam uma exploração responsável, eficiente e coordenada. Deve ainda monitorar todas as grandes estruturas, como barragens e usinas, informando moradores vizinhos, funcionários e órgãos fiscalizadores em casos de acidentes. Toda informação gerada deve servir de insumo para análises e tomada de decisão. Além disso, todos os processos devem estar adequados a normas nacionais e internacionais do setor.

## **3. Definição conceitual da solução**

### **3.1. Requisitos Funcionais**

- Gestão de usuários
  - O sistema deve ser acessado apenas por usuários autenticados através de *login* e senha;
  - O sistema não deve permitir o cadastro de novos usuários. A base de usuários e seus respectivos perfis deve ser provida pelo serviço de OpenLDAP da organização;
- Cadastro de ativos
  - O sistema deve permitir o cadastro (inserção, exclusão, alteração e consulta) de equipamentos e maquinários envolvidos na atividade de mineração;

- O sistema deve permitir o agendamento (marcação, adiamento e cancelamento) de manutenções para todos os equipamentos cadastrados;
- O sistema deve permitir o cadastro (inserção, exclusão, alteração e consulta) de matérias-primas utilizadas na atividade minerária;
- O sistema deve prover uma API aos fornecedores com informações sobre manutenção de equipamentos adquiridos, garantias, trocas e devoluções;
- O sistema deve permitir o cadastro (inserção, ativação, exclusão/desativação, alteração e consulta) de complexos minerários, bem como de barragens, minas e estruturas administrativas e de apoio (oficinas de manutenção, refeitórios, centros administrativos, terminais de carregamento e escoamento);
- O sistema deve permitir que barragens, minas e estruturas administrativas e de apoio sejam vinculadas a complexos minerários;
- O sistema deve possuir uma base de dados georreferenciada de todos os complexos minerários cadastrados, com o mapeamento de todas as estruturas internas;
- Controle de processos minerários
  - O sistema deve permitir o registro e o acompanhamento de todas as tarefas de pesquisa, exploração, extração, armazenamento, transporte, processamento, beneficiamento e comercialização de minérios;
  - O sistema deve permitir a criação de fluxos de trabalho diários, com priorização de atividades;
  - O sistema deve permitir registro e notificação de qualquer problema ou interrupção na produção;
- Monitoramento de barragens
  - O sistema deve permitir o registro e o acompanhamento em tempo real de sensores instalados nas barragens, que devem informar níveis de pressão da água em tubos e tanques (problemas em mecanismos de drenagem), deslocamento horizontal do solo, nível de água em represas, áreas com indícios de vazamento;
  - O sistema deve permitir o agendamento de visitas técnicas periódicas a áreas selecionadas ao longo das barragens;
  - O sistema deve acionar *drones* para inspeção de áreas de difícil acesso, para mapear e identificar problemas estruturais, tais como fissuras e deslocamento de rejeitos;

- O sistema deve analisar os dados recebidos dos sensores e dos *drones* em tempo real e classificar possíveis situações de emergência nos níveis 1 (anomalia que requer inspeções diárias), 2 (ações adotadas no nível 1 não são controladas e requerem intervenções e inspeções especiais) e 3 (ruptura iminente da estrutura);
- Em casos de alerta de incidentes, o sistema deve informar os sistemas da Defesa Civil municipais e estaduais e o módulo de Segurança e Comunicação;
- Segurança e comunicação
  - O sistema deve permitir o cadastro das famílias residentes nas áreas próximas às barragens;
  - O sistema deve permitir o agendamento de reuniões e simulações de situações de emergência com as comunidades;
  - O sistema deve permitir o cadastro de planos de evacuação para funcionários e moradores próximos;
  - O sistema deve prover um canal de comunicação com a comunidade para esclarecimento de dúvidas sobre o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM);
  - Em casos de emergência, o sistema deve acionar os planos de ação e as ações contidas no PAEBM imediatamente;
  - Em casos de emergência, o sistema deve disparar os alarmes e notificar todas as famílias próximas via SMS e e-mail;
- Inteligência do Negócio
  - Este módulo deve receber informações dos demais e armazená-las em uma base de dados não relacional própria;
  - Este módulo deve prover uma interface para ligação do sistema com aplicação de *Business Intelligence* adquirida no mercado;
- Compliance
  - O sistema deve ser integrado a dois sistemas externos via APIs, a serem contratados de fornecedores do mercado: um de Gestão de Normas Ambientais e outro de Consultorias e Assessorias;
  - O sistema deve consumir um repositório de normas ambientais nacionais e internacionais (sistema externo de Gestão de Normas Ambientais), de modo a auxiliar na adequação dos processos da empresa a essas normas, no que tange



ao planejamento de ações que envolvem a modificação do meio ambiente e ao monitoramento de riscos de incidentes e suas consequências;

- O sistema deve fornecer recursos e informações que permitam a contratação de assessorias e consultorias, visando a adequação da empresa a normas do setor de mineração, incluindo normas de governança corporativa;
- Relatórios de acompanhamento
  - O sistema deve permitir a geração de relatórios sob demanda, com as informações selecionadas pelo usuário, de acordo com o seu perfil;

### 3.2 Requisitos Não Funcionais

- A interface gráfica do sistema deve possuir *design* responsivo, comportando-se adequadamente quando acessada via computador, *smartphone* ou *tablet*;

<b>Estímulo</b>	Acesso a uma página qualquer do sistema.
<b>Fonte do estímulo</b>	Usuário acessando o sistema através do <i>browser</i> de um <i>smartphone</i> .
<b>Ambiente</b>	Produção, carga normal de requisições.
<b>Artefato</b>	<i>Container</i> com a aplicação <i>front-end</i> .
<b>Resposta</b>	A página acessada é renderizada no <i>browser</i> do usuário adaptada ao tamanho da tela do dispositivo.
<b>Medida de resposta</b>	Elementos redimensionados automaticamente, adaptados à tela do <i>smartphone</i> .

- O sistema deve ser operável sem a necessidade de treinamento prévio;

<b>Estímulo</b>	Acesso a uma página qualquer do sistema.
<b>Fonte do estímulo</b>	Usuário com pouca ou nenhuma experiência de uso do sistema.
<b>Ambiente</b>	Produção, carga normal de requisições.
<b>Artefato</b>	<i>Container</i> com a aplicação <i>front-end</i> .
<b>Resposta</b>	A página possui ícones e textos autoexplicativos, além de opções de ajuda em todas as páginas.
<b>Medida de resposta</b>	Navegação amigável e intuitiva, operação pelo usuário sem dificuldades.

- Qualquer dado capturado pelos sensores ou *drones*, que indique situação de emergência, deve ser enviado para o serviço de monitoramento em no máximo 1 segundo;

<b>Estímulo</b>	Detecção de algum problema na estrutura de uma barragem.
<b>Fonte do estímulo</b>	Sensores instalados nas barragens.
<b>Ambiente</b>	Produção, recebimento de notificação de possível situação de emergência.
<b>Artefato</b>	Módulo de monitoramento.
<b>Resposta</b>	O sistema aciona o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM).
<b>Medida de resposta</b>	O sistema recebe a notificação em até 1 segundo, havendo tempo hábil para acionamento de alarmes e notificação de moradores próximos.

- Relatórios gerenciais devem ser gerados em no máximo 5 segundos;

<b>Estímulo</b>	Solicitação de relatório semanal de produção.
<b>Fonte do estímulo</b>	Usuário gestor.
<b>Ambiente</b>	Produção, carga normal de requisições.
<b>Artefato</b>	Módulo de geração de relatórios.
<b>Resposta</b>	Relatório gerado em .pdf, .xlsx e .ods, disponível para <i>download</i> e/ou impressão.
<b>Medida de resposta</b>	Relatório gerado pronto para <i>download</i> e/ou impressão em até 5 segundos.

- Cada serviço deve passar por uma bateria de testes unitários antes de sua publicação nos ambientes de testes (onde são feitos testes de integração, carga, *stress* e usabilidade), homologação e produção;

<b>Estímulo</b>	Alteração no código enviada para o repositório remoto.
<b>Fonte do estímulo</b>	Desenvolvedor.
<b>Ambiente</b>	Desenvolvimento, construção ou correção de alguma funcionalidade.

<b>Artefato</b>	AWS CodeBuild (ferramenta de integração contínua responsável pelo <i>pipeline</i> ).
<b>Resposta</b>	<i>Build</i> gerado é publicado no ambiente de testes.
<b>Medida de resposta</b>	Nenhum teste unitário falha e o <i>build</i> é corretamente transportado para o ambiente de testes.

- O sistema deve se recuperar instantaneamente em caso de falhas;

<b>Estímulo</b>	Falha em algum componente de <i>software</i> do sistema.
<b>Fonte do estímulo</b>	Qualquer <i>container</i> que compõe o sistema.
<b>Ambiente</b>	Produção, carga normal de requisições.
<b>Artefato</b>	<i>Kubernetes</i> (orquestrador de <i>containers</i> ).
<b>Resposta</b>	Todas as requisições realizadas antes e durante a falha devem ser respondidas;
<b>Medida de resposta</b>	O <i>Kubernetes</i> deve verificar o estado da aplicação, reiniciando ou substituindo <i>containers</i> com problemas imediatamente após identificar a falha.

- O sistema deve ser capaz de verificar a necessidade de escalonamento de *containers* (crescimento horizontal);

<b>Estímulo</b>	Crescimento inesperado de acessos simultâneos ao sistema.
<b>Fonte do estímulo</b>	Grande quantidade de usuários acessando o sistema.
<b>Ambiente</b>	Produção, alta carga de requisições.
<b>Artefato</b>	<i>Kubernetes</i> .
<b>Resposta</b>	Usuários continuam a acessar o sistema normalmente.
<b>Medida de resposta</b>	O tempo de resposta a requisições não é significativamente alterado.

- O sistema deve se comunicar com módulos externos via APIs seguindo o padrão arquitetural REST, através do protocolo HTTP;

<b>Estímulo</b>	Consulta a uma norma específica do setor minerário.
<b>Fonte do estímulo</b>	Usuário faz requisição ao módulo externo de Gestão de Normas Ambientais buscando uma norma específica.
<b>Ambiente</b>	Produção, alta carga de requisições.

<b>Artefato</b>	Módulo externo de Gestão de Normas Ambientais.
<b>Resposta</b>	O sistema recebe a norma em formato JSON e exibe seu conteúdo formatado na tela.
<b>Medida de resposta</b>	Requisição recebida e respondida com sucesso, com código de <i>status</i> 200 (OK).

- O módulo de monitoramento deve receber do *broker* de comunicação os dados dos sensores através do protocolo MQTT;

<b>Estímulo</b>	Envio de dados por um sensor específico ao módulo de monitoramento.
<b>Fonte do estímulo</b>	Um sensor específico.
<b>Ambiente</b>	Produção, carga normal de requisições.
<b>Artefato</b>	Módulo de monitoramento.
<b>Resposta</b>	O sensor envia os dados para o <i>broker</i> de comunicação, que os repassa para o módulo de monitoramento.
<b>Medida de resposta</b>	Os dados são recebidos com sucesso, sem interrupções.

- Apenas usuários autenticados podem ter acesso ao sistema;

<b>Estímulo</b>	Usuário tentando acessar página protegida através da barra de endereço do <i>browser</i> .
<b>Fonte do estímulo</b>	Usuário não autenticado.
<b>Ambiente</b>	Produção, carga normal de requisições.
<b>Artefato</b>	Serviço de OpenLDAP.
<b>Resposta</b>	O sistema deve negar o acesso e redirecionar o usuário para a página de <i>login</i> .
<b>Medida de resposta</b>	Toda tentativa de acesso a páginas protegidas sem autenticação deve ser respondida com acesso negado.

- O sistema deve estar disponível 24 horas por dia, em todos os dias da semana;

<b>Estímulo</b>	Interrupção do funcionamento de algum <i>container</i> .
<b>Fonte do estímulo</b>	Problema na comunicação entre serviços.
<b>Ambiente</b>	Produção, alta carga de requisições.

<b>Artefato</b>	<i>Kubernetes.</i>
<b>Resposta</b>	Os usuários conectados ao sistema continuam acessando-o sem notar a interrupção.
<b>Medida de resposta</b>	Todas as requisições realizadas antes e durante a interrupção devem ser respondidas, com um atraso de até 3 segundos.

### 3.3. Restrições Arquiteturais

- O sistema deve ser hospedado na plataforma de nuvem *Amazon Web Services* (AWS);
- O sistema deve utilizar uma arquitetura baseada em serviços, com cada serviço implantado em um *container Docker*;
- Com exceção da aplicação de *Business Intelligence*, do gerador de relatórios e dos sistemas externos de Gestão de Normas Ambientais e de Consultorias e Assessorias, que devem ser adquiridos no mercado, todo o sistema deve ser construído com a utilização de softwares livres;
- O sistema deve ser modular e implantável por módulos, seguindo um *pipeline* de integração contínua;
- A exclusão de qualquer registro no sistema não deve ser física, ou seja, o dado não deve ser removido de sua respectiva tabela; deve ser lógica, através da atualização de um campo *status*.

### 3.4. Mecanismos Arquiteturais

Nesta seção são apresentados os mecanismos arquiteturais de Análise, *Design* e Implementação da arquitetura.

Mecanismo de Análise	Mecanismo de Design	Mecanismo de Implementação
Encapsulamento de aplicações	Gerenciador de <i>containers</i>	Docker
Alta disponibilidade de aplicações	Orquestrador de <i>containers</i>	Kubernetes
Interface de interação com o usuário ( <i>front-end</i> )	<i>Frameworks</i> CSS e JavaScript	Angular, Bootstrap, PrimeNG, Leaflet JS, AmCharts JS
Comunicação assíncrona entre aplicações	Sistema de <i>mensageria</i>	RabbitMQ

Comunicação com dispositivos IoT	<i>Broker</i> de mensagens	Eclipse Mosquitto
Implementação de regras de negócio ( <i>Back-end</i> )	Linguagens e <i>frameworks</i> robustos	Python ( <i>framework</i> Flask), TypeScript (Node.js/ NestJS)
Persistência de dados	Banco de dados relacional	PostgreSQL
Persistência de dados espaciais	Banco de dados relacional	PostgreSQL/PostGIS, QGIS
Persistência de dados	Banco de dados não relacional	MongoDB
Persistência de dados	Mapeamento objeto relacional (ORM)	SQL Alchemy, Type ORM
Segurança	Autenticação e autorização	OpenLDAP, JWT ( <i>JSON Web Token</i> )
Versionamento de código	Sistema de controle de versões	Git/Github
Envio de SMS	API de comunicação para SMS	Twilio
Integração Contínua	Automação de <i>builds</i>	AWS CodeBuild
Roteamento de mensagens	<i>API Gateway</i>	Kong <i>API Gateway</i>
Análise de dados estatísticos	Ferramenta de <i>Business Intelligence</i>	Tableau Online

## 4. Modelagem e projeto arquitetural

### 4.1. Modelo de casos de uso

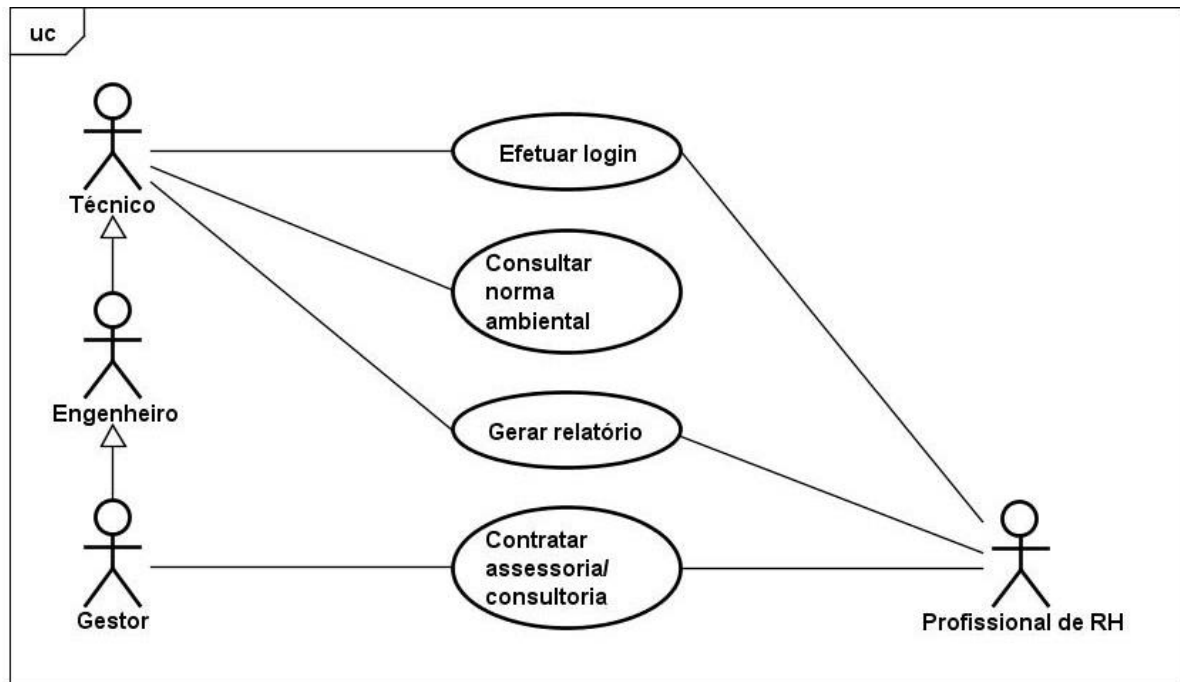


Figura 1. Casos de uso dos módulos Gestão de Usuários, Compliance e Relatórios

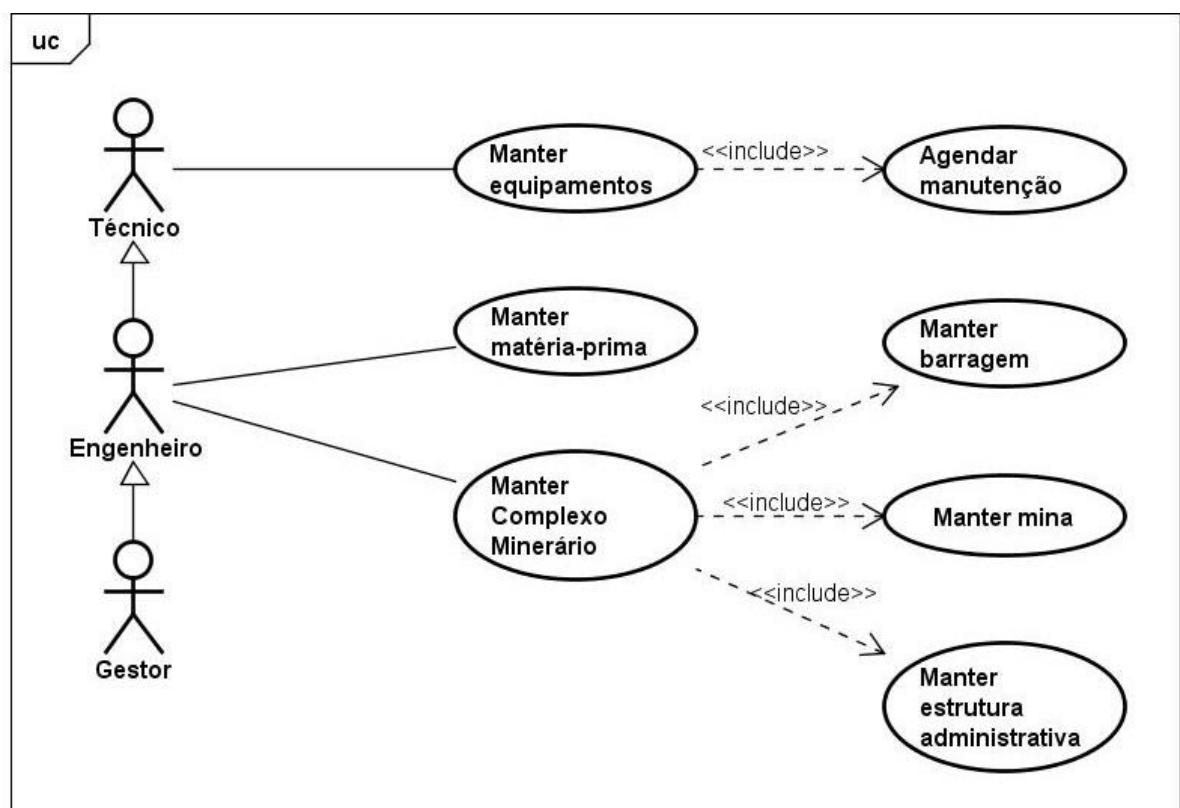
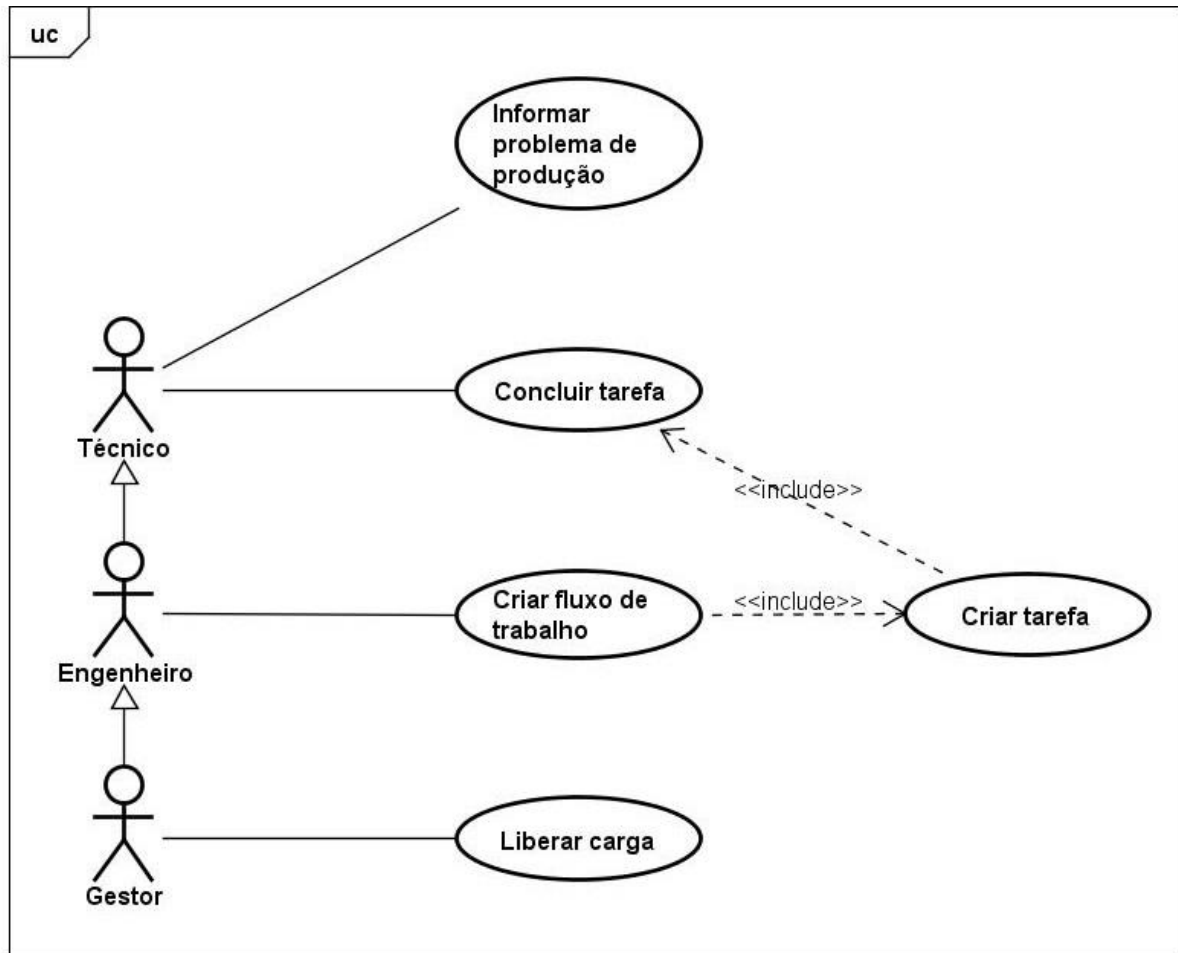
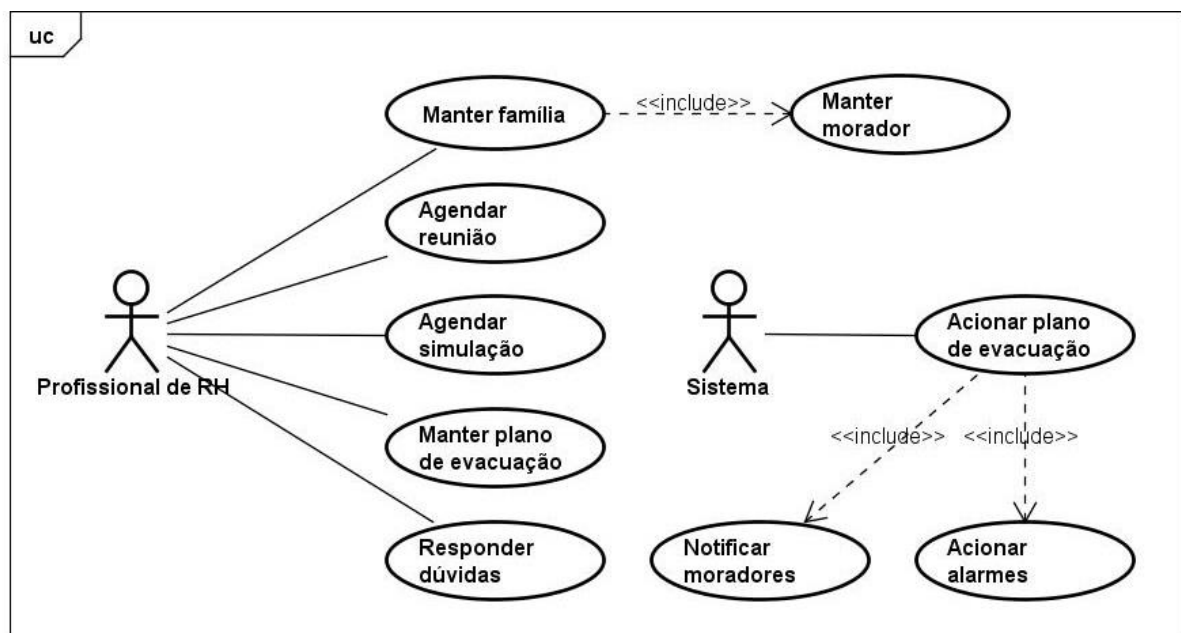


Figura 2. Casos de uso do módulo Cadastro de Ativos



powered by Astah

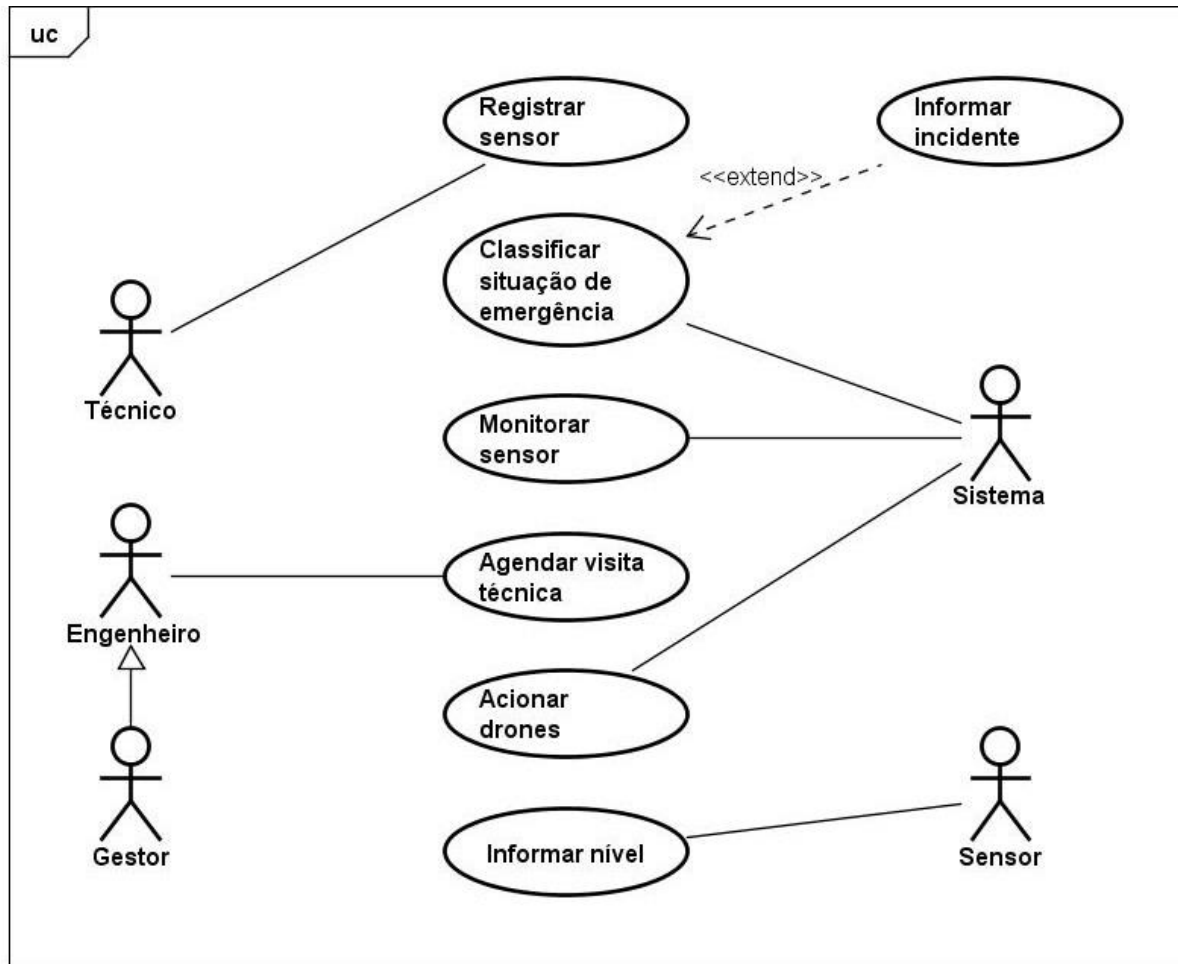
**Figura 3.** Casos de uso do módulo Controle de Processos Minerários



powered by Astah

**Figura 4.** Casos de uso do módulo Segurança e Comunicação





powered by Astah

**Figura 5.** Casos de uso do módulo Monitoramento de Barragens

#### 4.1.1. Descrição resumida dos casos de uso

- **Módulos Gestão de Usuários, *Compliance* e Relatórios de Acompanhamento**
  - Efetuar login
    - Caso de uso que permite a todos os atores acessarem a área restrita do sistema, mediante a confirmação por usuário e senha.
  - Consultar norma ambiental
    - Caso de uso que permite aos atores Técnico, Engenheiro e Gestor consultarem as normas providas pelo sistema externo de Gestão de Normas Ambientais.
  - Gerar relatório
    - Caso de uso que permite a todos os atores solicitarem a geração de relatórios gerenciais de acordo com o perfil de acesso.

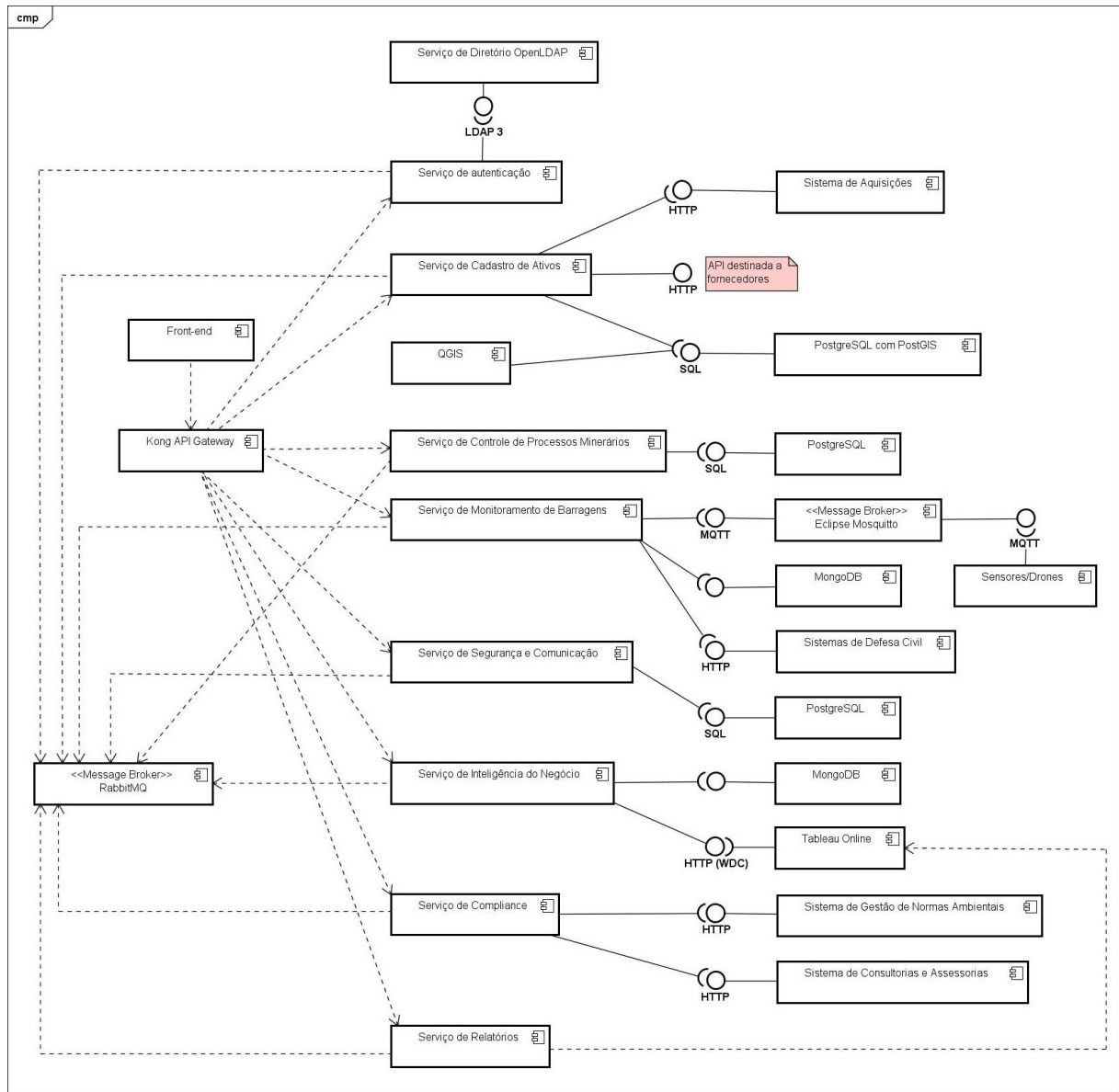
- Contratar assessoria/consultoria
  - Caso de uso que permite aos atores Gestor e Profissional de RH consultarem e contratarem assessorias e/ou consultorias externas.
- **Módulo Cadastro de Ativos**
  - Manter equipamentos
    - Caso de uso que permite que os atores Técnico, Engenheiro e Gestor consultem, insiram, alterem e excluam equipamentos e maquinários.
  - Agendar manutenção
    - Caso de uso que permite aos atores Técnico, Engenheiro e Gestor agendarem manutenções preventivas e corretivas para todos os equipamentos cadastrados.
  - Manter matéria-prima
    - Caso de uso que permite que os atores Engenheiro e Gestor consultem, insiram, alterem e excluam as matérias-primas utilizadas em todo o processo minerário.
  - Manter Complexo Minerário
    - Caso de uso que permite que os atores Engenheiro e Gestor consultem, criem, alterem, ativem e desativem (exclusão lógica) complexos minerários.
  - Manter barragem
    - Incluído em “Manter Complexo Minerário”, este caso de uso permite a criação, alteração, ativação e desativação de barragens, associando-as a determinado Complexo Minerário.
  - Manter mina
    - Incluído em “Manter Complexo Minerário”, este caso de uso permite a criação, alteração, ativação e desativação de minas, associando-as a determinado Complexo Minerário.
  - Manter estrutura administrativa
    - Incluído em “Manter Complexo Minerário”, este caso de uso permite a criação, alteração, ativação e desativação de estruturas administrativas e de apoio, associando-as a determinado Complexo Minerário.
- **Módulo Controle de Processos Minerários**
  - Informar problema de produção

- Caso de uso que permite que os atores Técnico, Engenheiro e Gestor informem qualquer interrupção ou problema na produção diária.
- Criar fluxo de trabalho
  - Caso de uso que permite aos atores Engenheiro e Gestor criarem fluxos de trabalho diários, semanais, mensais, anuais ou por turno.
- Criar tarefa
  - Incluído em “Criar fluxo de trabalho”, este caso de uso permite a criação de tarefas e sua associação a fluxos de trabalho.
- Concluir tarefa
  - Incluído em “Criar tarefa”, este caso de uso permite que, além dos atores Engenheiro e Gestor, o Técnico também possa encerrar tarefas vinculadas a fluxos de trabalho.
- Liberar carga
  - Caso de uso que permite ao Gestor liberar a saída de cargas do complexo minerário.
- **Módulo Monitoramento de Barragens**
  - Registrar sensor
    - Caso de uso que permite ao Técnico vincular sensores instalados fisicamente em áreas sensíveis do complexo minerário a seus respectivos *topics* registrados no *broker* de comunicação.
  - Monitorar sensor
    - Caso de uso que permite o monitoramento em tempo real dos sensores; trata-se de um serviço provido pelo sistema que é “inscrito” nos *topics* correspondentes a cada sensor.
  - Classificar situação de emergência
    - Caso de uso que permite a análise dos dados recebidos através dos *topics* e a classificação em níveis de possíveis situações de emergência.
  - Informar incidente
    - Caso de uso que, caso alguma situação de emergência tenha sido identificada, alerta os sistemas da Defesa Civil municipais e estaduais e aciona o módulo de Segurança e Comunicação.
  - Acionar *drones*
    - Caso de uso que permite o acionamento automático de *drones* para inspeção de áreas do complexo minerário.

- Informar nível
  - Caso de uso que informa ao sistema os níveis de pressão, temperatura, volume e deslocamento recebidos dos sensores através de *topics* conectados ao *broker*.
- Agendar visita técnica
  - Caso de uso que permite aos atores Engenheiro e Gestor agendarem visitas técnicas a áreas selecionadas do complexo minerário.
- **Módulo Segurança e Comunicação**
  - Manter família
    - Caso de uso que permite ao Profissional de RH cadastrar famílias que vivem próximas ao complexo minerário.
  - Manter morador
    - Incluído em “Manter família”, este caso de uso permite o cadastro de moradores e sua vinculação a famílias.
  - Agendar reunião
    - Caso de uso que permite ao Profissional de RH agendar reuniões periódicas com as comunidades vizinhas.
  - Agendar simulação
    - Caso de uso que permite ao Profissional de RH agendar treinamentos e simulações de situações de emergência com as comunidades vizinhas.
  - Manter plano de evacuação
    - Caso de uso que permite ao Profissional de RH cadastrar planos e ações de evacuação para funcionários e para comunidades vizinhas.
  - Responder dúvidas
    - Caso de uso que permite ao Profissional de RH responder a dúvidas e questionamentos da comunidade sobre o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM).
  - Acionar plano de evacuação
    - Caso de uso que, ao receber alerta de emergência do módulo Monitoramento de Barragens, ativa todas as medidas registradas no plano de evacuação.
  - Notificar moradores
    - Incluído em “Acionar plano de evacuação”, este caso de uso ativa o envio de e-mail e SMS para todos os moradores cadastrados.

- Acionar alarmes
  - Incluído em “Acionar plano de evacuação”, este caso de uso aciona os alarmes do complexo minerário e das regiões próximas, de modo a alertar funcionários e moradores.

## 4.2. Modelo de componentes



**Figura 4.** Diagrama de Componentes

Buscando facilitar a escalabilidade e agilizar o desenvolvimento do sistema, esta arquitetura é decomposta em serviços independentes, autônomos e especializados. Os serviços devem se comunicar através do protocolo AMQP (*Advanced Message Queueing Protocol*),

implementado pelo *software* de *mensageria* RabbitMQ, e configurados como *publishers* e/ou *consumers* de mensagens, dependendo da fila e do tipo de informação enviada.

As requisições realizadas pelo *front-end* devem ser filtradas e roteadas para os respectivos serviços através do Kong API Gateway, que deve ser a única porta de acesso à arquitetura interna da aplicação.

O acesso aos recursos fornecidos pelos módulos deve ser concedido pelo serviço de autenticação, que deve validar as credenciais do usuário através do serviço OpenLDAP da organização e gerar um token de acesso.

A API disponibilizada pelo serviço de cadastro de ativos deve seguir o padrão arquitetural REST, com comunicação através do protocolo HTTP, que também deve ser utilizado na comunicação com o Sistema de Aquisições. Este serviço deve consumir uma base de dados relacional com a extensão espacial PostGIS ativada, que adiciona suporte a objetos geográficos ao SGBD PostgreSQL. Os dados espaciais devem ser inseridos por técnicos em geoprocessamento através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS.

O padrão REST e o protocolo HTTP devem ainda ser utilizados na comunicação do serviço de *Compliance* com os sistemas externos de Gestão de Normas Ambientais e de Consultorias e Assessorias e do serviço de monitoramento de barragens com os sistemas da Defesa Civil municipais e estaduais.

Utilizando o padrão *publish-subscribe* e o protocolo MQTT, os sensores e *drones*, atuando como publicadores, enviam dados em tempo real para o serviço de monitoramento de barragens, através de *topics* gerenciados pelo *broker* de mensagens Eclipse Mosquitto. Os dados transmitidos devem ser armazenados no banco de dados NoSQL orientado a documentos MongoDB. O serviço deve ainda manter uma conexão *WebSocket* com o *browser* do dispositivo do usuário, a fim de alimentar a página de monitoramento do *front-end* com dados em tempo real.

O serviço de Inteligência do Negócio deve armazenar os dados recebidos dos demais módulos também no MongoDB, e prover uma interface *Web Data Connector* (WDC). Esta interface será utilizada pela plataforma Tableau Online, para a qual a organização deve adquirir licença de uso com a empresa fornecedora.

O serviço de relatórios deve fornecer visualizações de dados de acordo com o perfil do usuário. Tais visualizações devem ser construídas no Tableau Online, porém, o acesso a elas deve ser gerenciado pelo serviço.

Os serviços de autenticação, cadastro de ativos, controle de processos minerários, monitoramento de barragens, segurança e comunicação, Inteligência do Negócio, *Compliance* e relatórios devem ser construídos pela equipe de desenvolvimento ou por fábrica de *software* contratada.

### 4.3. Modelo de implantação

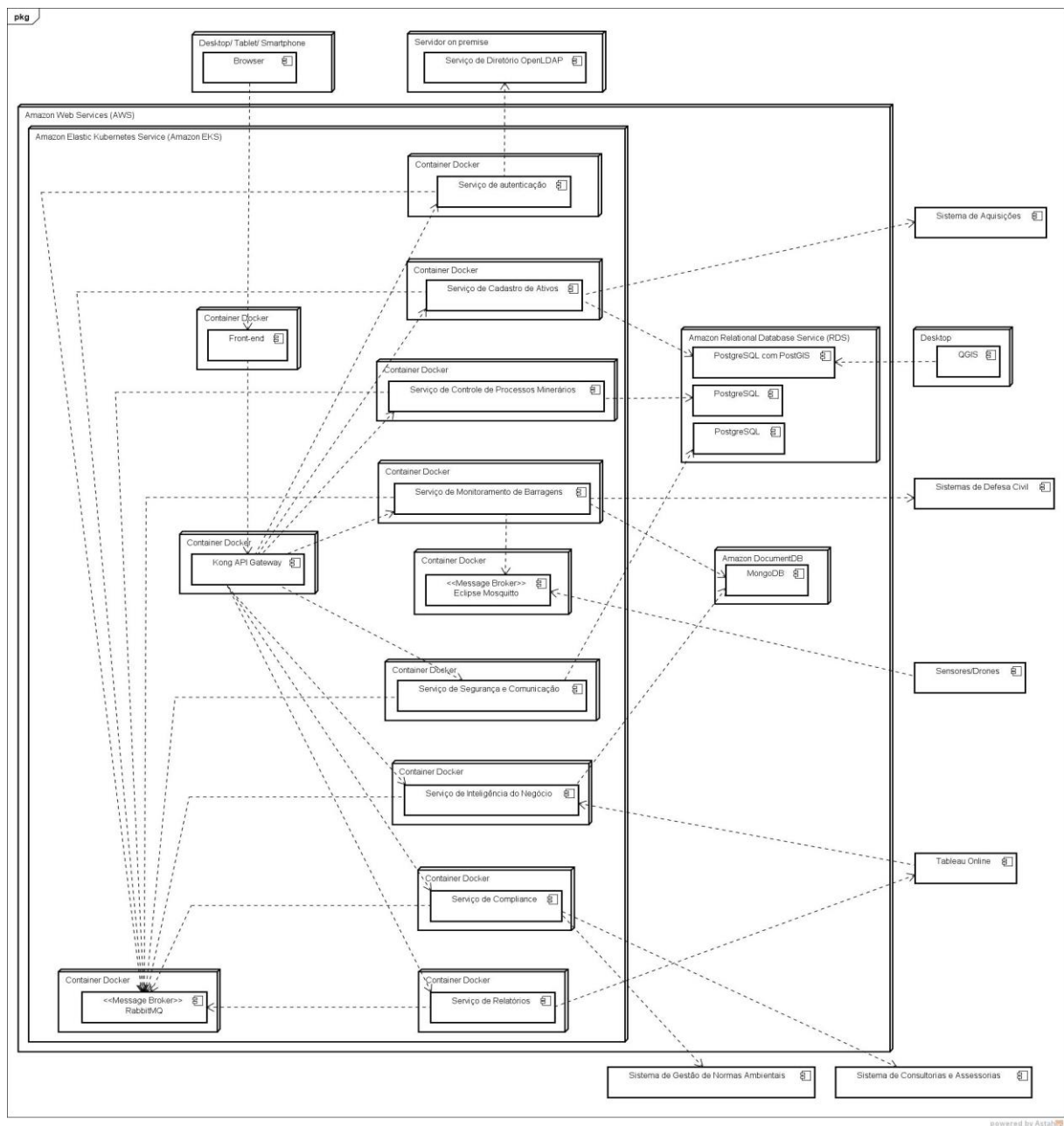


Figura 5. Diagrama de Implantação

A maior parte dos componentes do sistema deve ser hospedada em serviços da plataforma de nuvem *Amazon Web Services* (AWS). O EKS (*Amazon Elastic Kubernetes Service*) é responsável por gerenciar os *containers* que encapsulam o *front-end*, o Kong API Gateway, o sistema de *mensageria* RabbitMQ e os serviços de autenticação, cadastro de ativos, controle de processos minerários, monitoramento de barragens, segurança e comunicação, Inteligência do Negócio, *Compliance* e relatórios. O *cluster* EKS será executado usando o serviço de computação *serverless* para *containers* AWS Fargate, o que elimina a necessidade de provisionamento e gerenciamento de servidores.

Os bancos de dados relacionais serão gerenciados pelo RDS (*Amazon Relational Database Service*) e o banco NoSQL pelo *Amazon DocumentDB*. O Tableau Online é fornecido através da nuvem disponibilizada pela empresa proprietária. O serviço OpenLDAP deve estar hospedado em um servidor *on premise*.

#### 4.4. Modelo de dados

Como explicado anteriormente, o sistema utiliza bancos de dados relacionais e não relacionais. Abaixo são apresentados os modelos de dados dos serviços de cadastro de ativos, controle de processos minerários e segurança e comunicação (relacionais) e um diagrama representando a estrutura dos documentos armazenados no MongoDB pelo serviço de monitoramento de barragens.

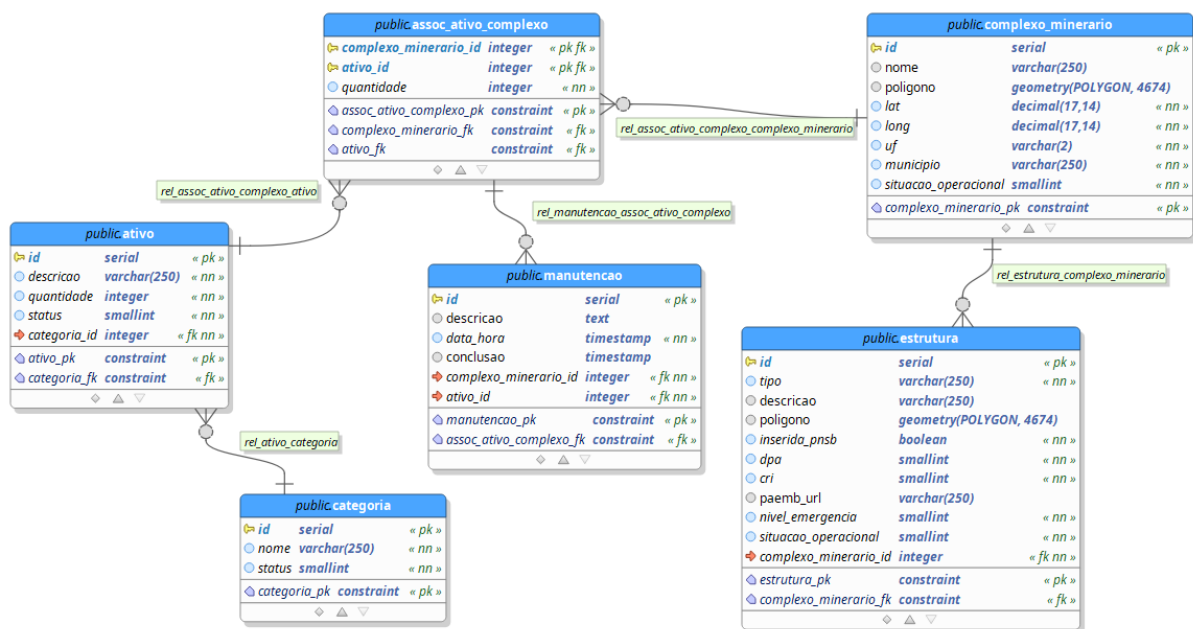


Figura 6. Modelo de Dados do módulo Cadastro de Ativos



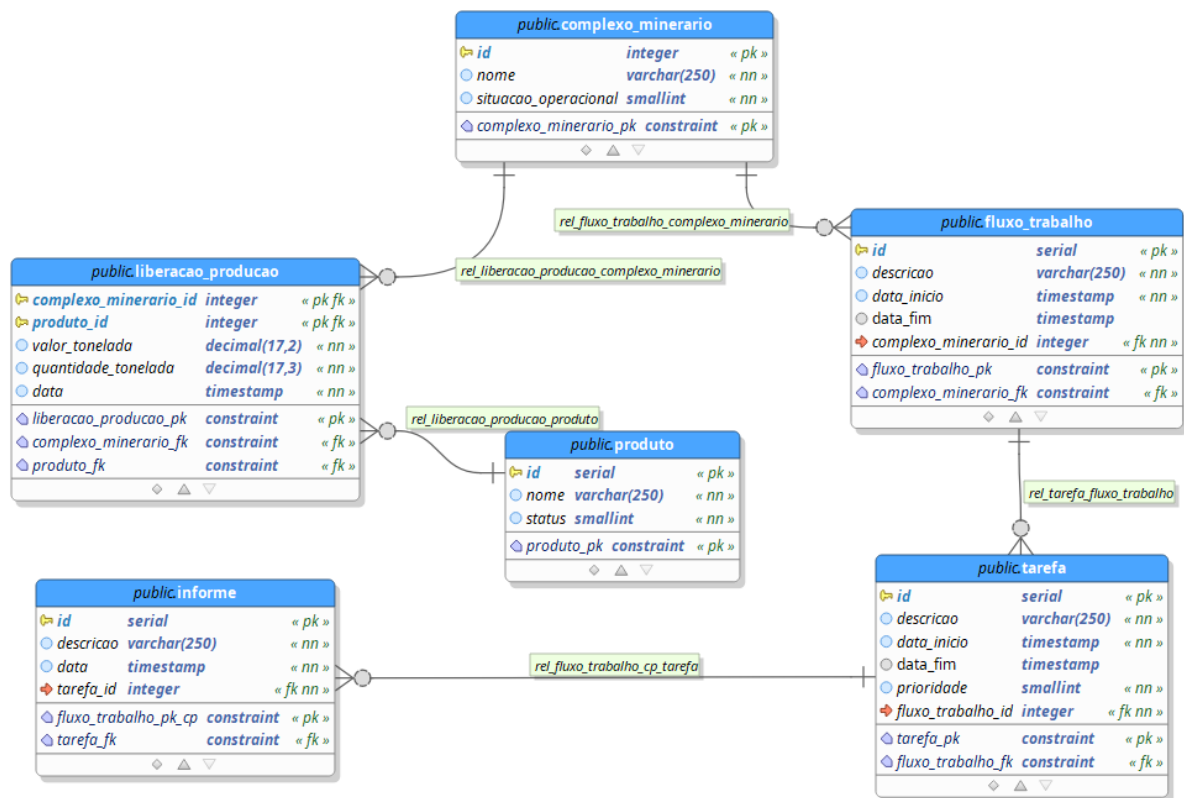


Figura 7. Modelo de Dados do módulo Controle de Processos Minerários

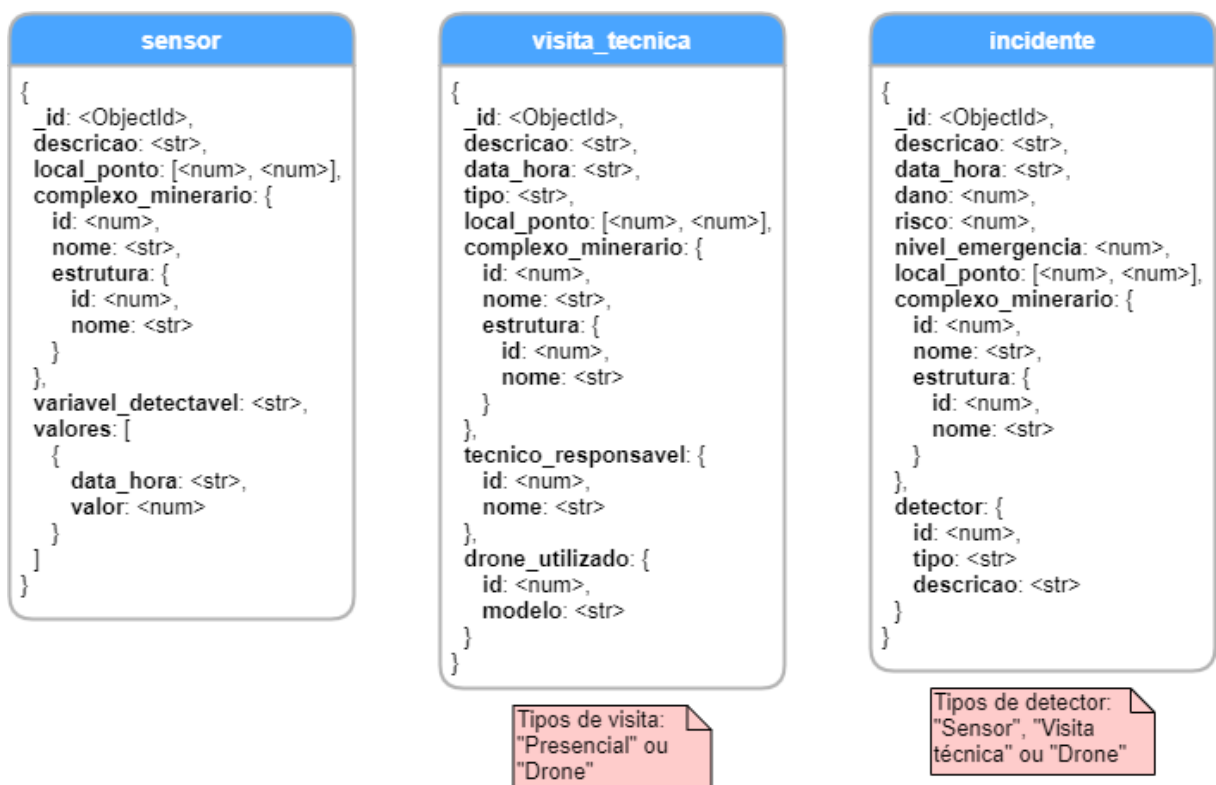


Figura 8. Modelo de Dados do módulo Monitoramento de Barragens

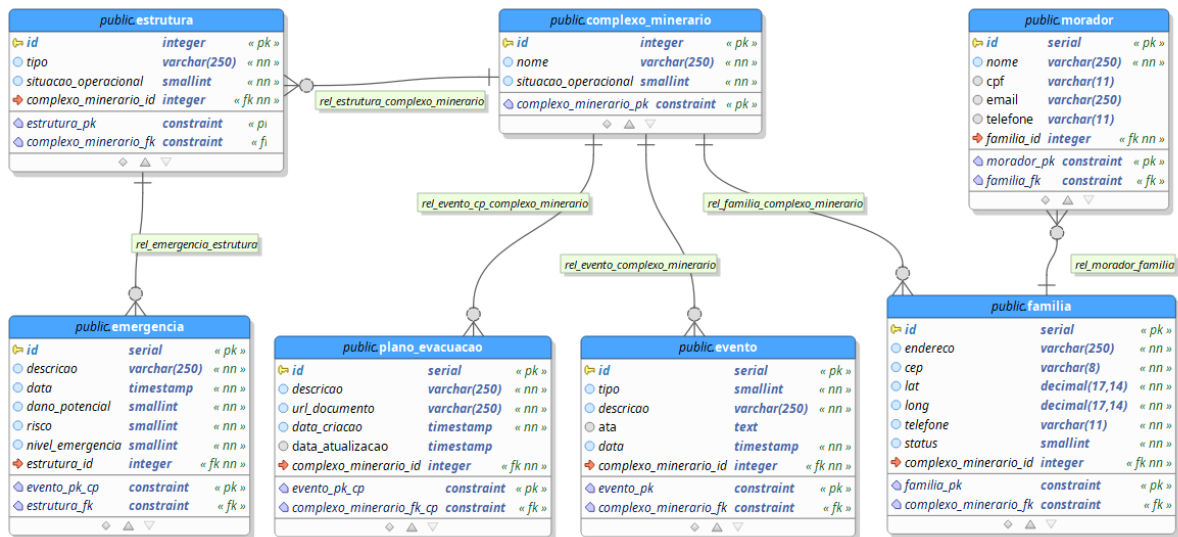


Figura 9. Modelo de Dados do módulo Segurança e Comunicação

## 5. Prova de Conceito (POC) / protótipo arquitetural

### 5.1. Implementação

A prova de conceito deste projeto é formada por cinco componentes, todos encapsulados em *containers Docker*: *RESTful API* do módulo Cadastro de Ativos, aplicação *front-end*, instância do sistema de *mensageria* RabbitMQ, *script* que simula a comunicação assíncrona entre os módulos Cadastro de Ativos e Controle de Processos Minerários e uma instância do SGBD PostgreSQL, onde se encontram as bases de dados destes dois módulos.

A API do módulo Cadastro de Ativos foi construída com a linguagem Python, utilizando o *microframework* Flask. A simulação da comunicação é feita com um simples *script* Python, que se conecta a uma fila armazenada no RabbitMQ, recebendo informações sobre complexos minerários e inserindo-as na base de dados do módulo Controle de Processos Minerários. Neste processo, a API funciona como *publisher* e o *script* como *consumer* da respectiva fila.

Na aplicação *front-end* é utilizado o *framework* Angular, além das bibliotecas de componentes visuais Bootstrap e PrimeNG, e Leaflet JS para a exibição de mapas.

### 5.2. Casos de Uso

Os Casos de Uso implementados para validar a arquitetura proposta foram “Manter Complexo Minerário”, “Manter barragem”, “Manter mina”, “Manter estrutura administrativa” e “Agendar manutenção”.

### 5.3. Protótipos de interface

- Página inicial



Figura 10. Página inicial da POC

- Caso de Uso “Manter Complexo Minerário”

**Novo Complexo Minerário**

Nome:

UF:  Município:  Localização:

Situação Operacional: ☒ Em Construção ☐ Em Operação ☐ Desativado(a)

Estruturas:

Adicionar +

Barragem	Mina
Em Construção	Em Construção

Equipamentos:

Adicionar +

Otimizador de Floculante	Filtro esteira à vácuo	Trator D11T/D11T CD
3	5	8

Figura 11. Formulário de cadastro de um novo Complexo Minerário

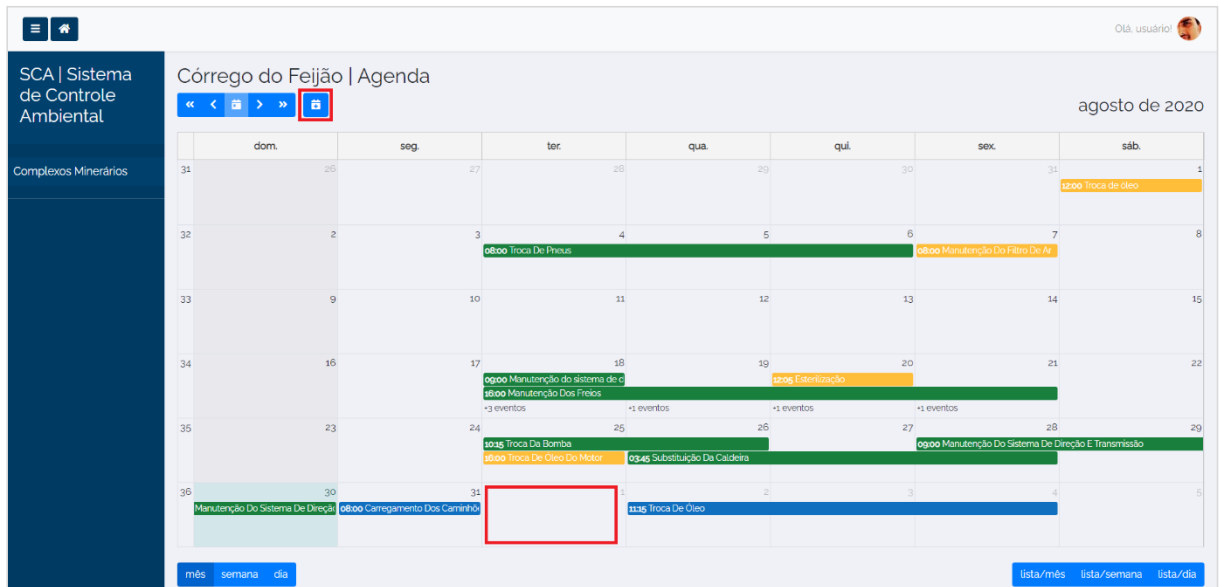
- Casos de Uso “Manter barragem”, “Manter mina” e “Manter estrutura administrativa”
  - Estes casos de uso podem ser executados de duas maneiras: no formulário de cadastro de um novo Complexo Minerário ou na página de detalhes de um Complexo Minerário já existente.

**Figura 12.** Caminho para execução dos Casos de Uso a partir do formulário de cadastro de novo Complexo Minerário

**Figura 13.** Caminho para execução dos Casos de Uso a partir da página de detalhes de um Complexo Minerário existente

**Figura 14.** Formulário de cadastro de Estrutura

- Caso de Uso “Agendar manutenção”
  - Este Caso de Uso pode ser executado ao clicar no botão destacado em vermelho ou clicando em algum dia do calendário.



**Figura 15.** Agenda de eventos de um Complexo Minerário já cadastrado

The screenshot shows the 'Novo Evento' (New Event) form. It has fields for 'Tipo de Evento' (Event Type), 'Descrição' (Description), 'Início' (Start), and 'Conclusão' (End). The 'Início' field is active, and a date picker is open, showing the month of August 2020. The date picker has a grid of days, with the 30th highlighted. The 'Conclusão' field is also active, showing a date format 'dd/mm/aaaa --:--'. There are buttons for 'Limpar' (Clear), 'Salvar' (Save), and 'Fechar' (Close).

**Figura 16.** Formulário de agendamento de um novo evento (manutenção)

## 5.4. Requisitos Não Funcionais avaliados

- **Usabilidade:** Todas as páginas devem possuir *design* responsivo, adaptando-se à tela do dispositivo pelo qual são acessadas.
  - **Critério de aceitação 1:** Os elementos das páginas devem se adaptar ao dispositivo do usuário, independentemente do tamanho de sua tela e da resolução da mesma, sem que haja qualquer desfiguração nos elementos;
  - **Critério de aceitação 2:** A interface deve se comportar da mesma forma nos principais *browsers* do mercado: Google Chrome, Microsoft Edge e Mozilla Firefox.
- **Confiabilidade:** O sistema deve tratar exceções e se recuperar de falhas, sem que dados sejam perdidos.
  - **Critério de aceitação:** Caso o funcionamento de algum componente da arquitetura seja interrompido, todas as mensagens enviadas a ele durante esse período devem ser respondidas após o retorno à normalidade;
- **Interoperabilidade:** O sistema deve se comunicar com módulos externos via APIs, através do protocolo HTTP.
  - **Critério de aceitação:** O sistema deve se comunicar com serviços externos e internos de forma padronizada, independente da tecnologia utilizada no desenvolvimento;

## 5.5. Implantação

A prova de conceito foi implantada na plataforma de nuvem Amazon Lightsail, ideal para introdução à utilização da AWS (*Amazon Web Services*), que fornece um ambiente adequado a cargas de trabalho mais simples e implantações rápidas.

No apêndice deste documento encontram-se os *links* para acesso à plataforma, ao repositório de código e ao vídeo de apresentação da POC

## 5.6. Interfaces/ APIs

A API do módulo Cadastro de Ativos expõe dois *endpoints* que podem ser consumidos por outras aplicações. O primeiro retorna a lista de equipamentos cadastrados no sistema e o segundo retorna todos os eventos agendados para um dado Complexo Minerário.

<b>Descrição</b>	Lista de equipamentos cadastrados separados por categorias.	
<b>URI</b>	/api/v1/ativos/equipamentos	
<b>Método</b>	GET	
<b>Response Headers</b>	<b>Access-Control-Allow-Origin</b>	*
	<b>Content-Type</b>	application/json
<b>Parâmetros</b>	-	-

#### Exemplo de resposta

```

1 {
2   "count": 15,
3   "next": null,
4   "previous": null,
5   "results": [
6     {
7       "id": 3,
8       "nome": "Bombas e Tubulações",
9       "status": "Disponível",
10      "ativos": [
11        {
12          "id": 13,
13          "descricao": "Bomba Peristáltica",
14          "quantidade": 42,
15          "status": "Disponível"
16        }
17      ]
18    },
19    {
20      "id": 11,
21      "nome": "Equipamento Elétrico",
22      "status": "Disponível",
23      "ativos": []
24    },
25    {
26      "id": 12,
27      "nome": "Escavação e Carregamento",
28      "status": "Disponível",
29      "ativos": [
30        {
31          "id": 8,
32          "descricao": "Carregadeira subterrânea R1300G",
33          "quantidade": 50,
34          "status": "Disponível"
35        },
36        {
37          "id": 3,
38          "descricao": "Trator D11T/D11T CD",
39          "quantidade": 46,
40          "status": "Disponível"
41        }
42      ]
43    },
44    {
45      "id": 4,
46      "descricao": "Caminhão articulado de três eixos 725C2",
47      "quantidade": 60,
48      "status": "Disponível"
49    }
50  ]
51 }
```

<b>Descrição</b>	Lista de eventos agendados para determinado Complexo Minerário.	
<b>URI</b>	/api/v1/complexos-minerarios/<id>/agenda	
<b>Método</b>	GET	
<b>Response Headers</b>	<b>Access-Control-Allow-Origin</b>	*
	<b>Content-Type</b>	application/json
<b>Parâmetros</b>	<b>id</b>	<integer>
	<b>inicio_periodo</b>	“AAAA-MM-DD HH:mm:ss”
	<b>fim_periodo</b>	“AAAA-MM-DD HH:mm:ss”

### Exemplo de resposta

```

1 {
2   "id": 1,
3   "nome": "Corrego do Feijão",
4   "uf": "MG",
5   "municipio": "Bramadinho",
6   "situacao_operacional": 1,
7   "lat_long": [
8     -20.1328144,
9     -44.1328689
10  ],
11   "ativos": [
12     {
13       "complexo_minerario_id": 1,
14       "ativo_id": 5,
15       "quantidade": 14,
16       "descricao": "Caninhão articulado de três eixos 740 E3",
17       "quantidade_disponivel": 43,
18       "status": "Disponível",
19       "categoria": {
20         "id": 12,
21         "nome": "Escavação e Carregamento",
22         "status": "Disponível"
23       }
24     },
25     "manutencoes": [
26       {
27         "id": 1,
28         "descricao": "Manutenção do sistema de direção e transmissão",
29         "data_hora": "2020-08-18T09:00:00",
30         "conclusao": "2020-08-18T15:30:00",
31         "complexo_minerario_id": 1,
32         "ativo_id": 5
33       },
34       {
35         "id": 6,
36         "descricao": "Troca de pneus",
37         "data_hora": "2020-08-18T16:00:00",
38         "conclusao": null,
39         "complexo_minerario_id": 1,
40         "ativo_id": 5
41       },
42       {
43         "id": 8,
44         "descricao": "Troca de óleo",
45         "data_hora": "2020-08-18T16:00:00",
46         "conclusao": null,
47         "complexo_minerario_id": 1,
48         "ativo_id": 5
49       },
50       {
51         "id": 5,
52         "descricao": "Troca de óleo",
53         "data_hora": "2020-08-01T12:00:00",
54         "conclusao": null,
55         "complexo_minerario_id": 1,
56         "ativo_id": 5
57       }
58     ]
59   },
60   "complexo_minerario_id": 1,
61   "ativo_id": 6,
62   "quantidade": 7,
63   "descricao": "Perfuratriz giratória M06200",
64   "quantidade_disponivel": 41,
65   "status": "Disponível",
66   "categoria": {
67     "id": 12,
68     "nome": "Escavação e Carregamento",
69     "status": "Disponível"
70   },
71   "manutencoes": [
72     {
73       "id": 2,
74       "descricao": "Manutenção Dos Fretos",
75       "data_hora": "2020-08-18T16:00:00",
76       "conclusao": "2020-08-21T17:58:00",
77       "complexo_minerario_id": 1,
78       "ativo_id": 6
79     }
80   ]
81 }
82 ]
83 }
```



## 6. Avaliação da Arquitetura

### 6.1. Análise das abordagens arquiteturais

A proposta arquitetural apresentada foi concebida partindo da necessidade de um sistema confiável e seguro, baseado em componentes de software reutilizáveis. Buscou-se manter o mínimo de acoplamento entre componentes, de modo que qualquer um possa ser reconstruído e/ou substituído sem grandes impactos sobre o funcionamento dos demais. Além disso, optou-se pela utilização em larga escala de *softwares* livres, visando reduzir ao máximo custos com licenças.

Acerca da utilização de infraestrutura em nuvem, foi pensada a independência de plataformas, com o uso de poucos serviços específicos fornecidos pela Amazon. Visando uma possível migração ou até mesmo a adoção de estratégias *multicloud*, o que permite o acesso aos melhores recursos que cada serviço oferece.

### 6.2. Cenários

A seguir são apresentados os cenários de testes que demonstram os requisitos não funcionais listados na seção 5.4 sendo satisfeitos.

- **Cenário 1:** Usuário acessa o sistema através de um dispositivo móvel. A identidade visual deve ser mantida, porém, tamanhos de fontes e estruturas de elementos que compõem a interface devem se adaptar automaticamente ao tamanho e à resolução da tela do dispositivo.
- **Cenário 2:** Usuário acessa o sistema através do navegador Mozilla Firefox ou Microsoft Edge de seu computador com sistema operacional Windows 10. A interface deve funcionar da mesma forma em todos os navegadores.
- **Cenário 3:** Usuário cadastrando novo complexo minerário. Após inserir as informações do complexo minerário na base de dados do módulo Cadastro de Ativos, o sistema deve sincronizar os demais módulos que também armazenam parte dessas informações. Caso essa sincronização não ocorra devido a falhas em algum dos componentes, tal processo deve ser transparente ao usuário, sendo concluído assim que possível.

- **Cenário 4:** Usuário cadastrando novo complexo minerário. Quando o formulário é acessado, a página deve buscar na API pública do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a lista de Unidades da Federação (Estados e Distrito Federal). Após selecionada a UF, a página deve buscar dinamicamente na mesma API a lista de seus respectivos municípios.

A tabela abaixo mostra a categorização dos cenários de testes de acordo com os requisitos não funcionais (atributos de qualidade) aos quais satisfazem e sua classificação em função de sua importância e complexidade.

Atributo de qualidade	Cenário	Importância	Complexidade
Usabilidade	Usuário acessa o sistema através de um dispositivo móvel.	Alta	Média
	Usuário acessa o sistema através do navegador Mozilla Firefox ou Microsoft Edge de seu computador com sistema operacional Windows 10.	Alta	Média
Confiabilidade	Usuário cadastrando novo complexo minerário.	Alta	Alta
Interoperabilidade		Alta	Alta

### 6.3. Avaliação

Nesta seção são apresentadas as medidas registradas após a realização dos testes, bem como as evidências de sua realização.

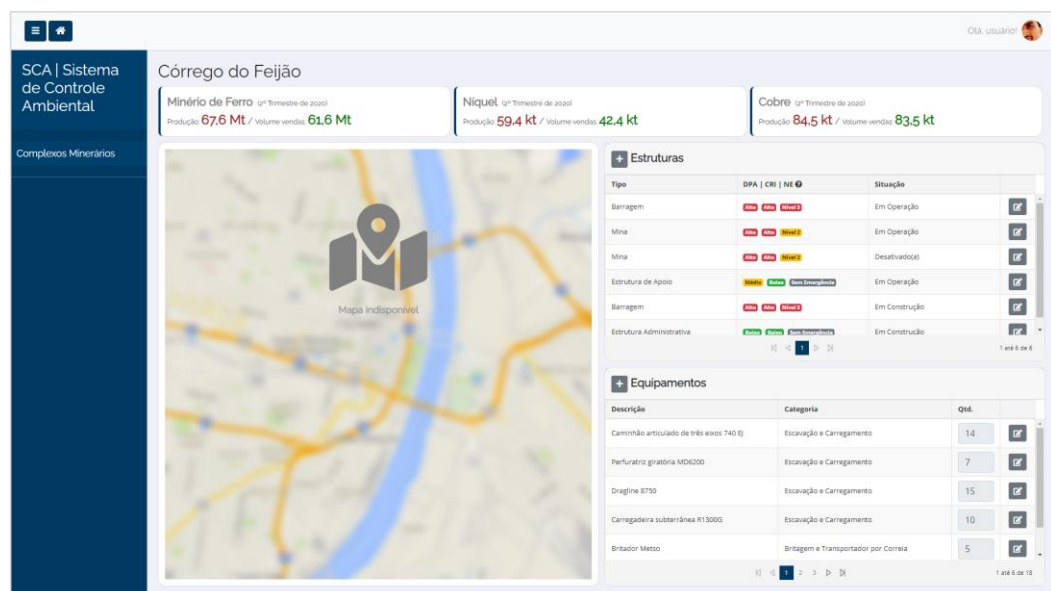
- **Cenário 1**

Atributo de qualidade	Usabilidade
Requisito de qualidade	Todas as páginas devem possuir design responsivo, adaptando-se à tela do dispositivo pelo qual são acessadas.
<b>Preocupação</b>	
A interface do sistema não pode sofrer “quebras”, desfigurações, ao ser acessada de dispositivos menores.	
<b>Cenário(s)</b>	

Cenário 1.	
<b>Ambiente</b>	
Operação normal.	
<b>Estímulo</b>	
Acesso a uma página qualquer do sistema.	
<b>Mecanismo</b>	
Frameworks CSS e JavaScript (Angular, Bootstrap, PrimeNG, Leaflet JS).	
<b>Medida de resposta</b>	
Elementos redimensionados automaticamente, adaptados à tela do dispositivo.	
<b>Considerações sobre a arquitetura</b>	
<b>Riscos</b>	Ocultação de elementos da interface; desordem no fluxo de navegação.
<b>Pontos de sensibilidade</b>	Não há.
<b>Trade off</b>	Não há.

○ **Evidências**

As imagens a seguir mostram a interface da página de detalhes de um complexo minerário em diferentes larguras de página: 1920px (*desktops*), 768px (*tablets*) e 425px (*smartphones*).



**Figura 17.** Interface para Desktop

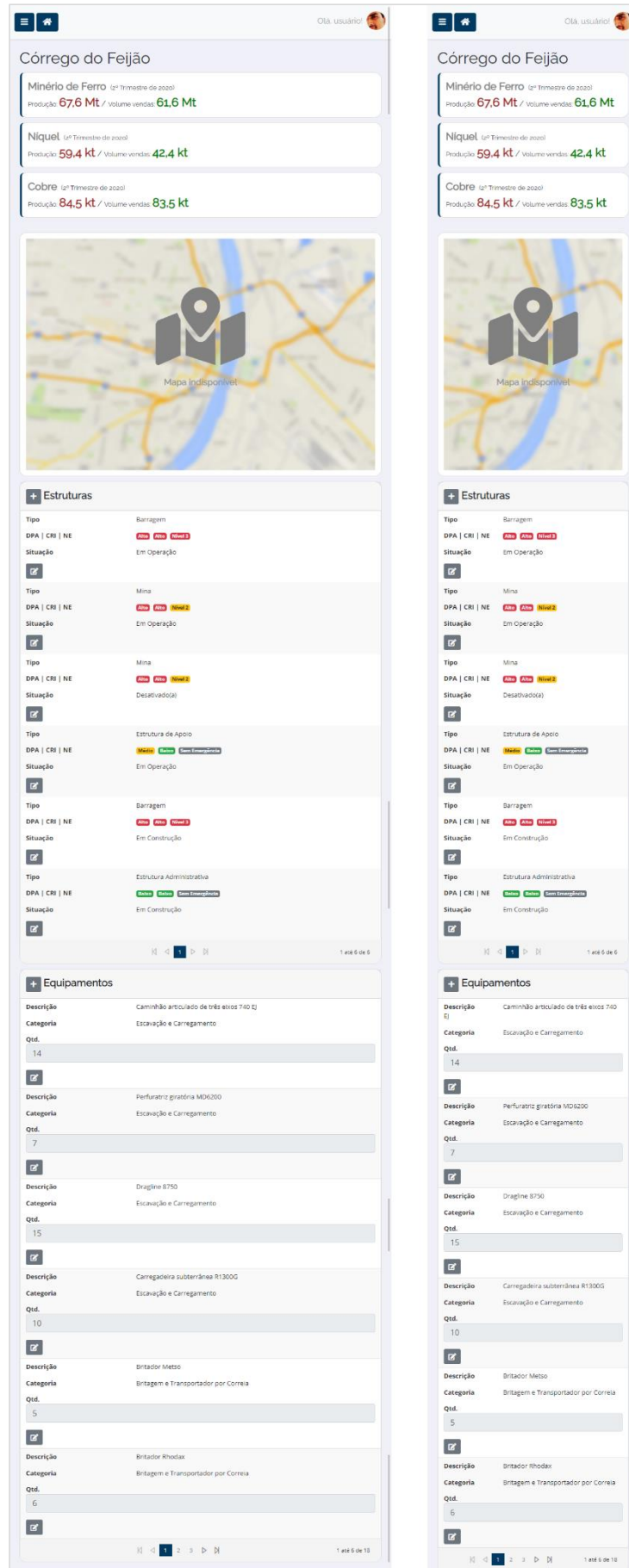


Figura 18. Interfaces para Tablets (à esquerda) e Smartphones (à direita)

- **Cenário 2**

<b>Atributo de qualidade</b>	Usabilidade
<b>Requisito de qualidade</b>	Todas as páginas devem possuir design responsivo, adaptando-se à tela do dispositivo pelo qual são acessadas.
<b>Preocupação</b>	
Componentes compatíveis com algum navegador não serem compatíveis com outros.	
<b>Cenário(s)</b>	
Cenário 2.	
<b>Ambiente</b>	
Operação normal.	
<b>Estímulo</b>	
Usuário acessa o sistema de seu navegador preferido.	
<b>Mecanismo</b>	
<i>Web Browser.</i>	
<b>Medida de resposta</b>	
A interface deve funcionar da mesma forma nos principais navegadores.	
<b>Considerações sobre a arquitetura</b>	
<b>Riscos</b>	Incompatibilidade de componentes entre navegadores; funcionamento inesperado de componentes em diferentes navegadores.
<b>Pontos de sensibilidade</b>	Não há.
<b>Trade off</b>	Substituir o componente problemático por outra implementação; escolher outra biblioteca de componentes.

- **Evidências**

A imagem a seguir mostra o acesso à agenda de um complexo minerário qualquer, a partir do navegador Google Chrome.

















**Figura 19.** Agenda de eventos de um complexo minerário acessada pelo Google Chrome

A próxima mostra o acesso à mesma página a partir do navegador Mozilla Firefox.

**Figura 20.** Agenda de eventos de um complexo minerário acessada pelo Mozilla Firefox

Neste cenário observa-se que o componente *datetime-local* não se comporta da mesma forma nos dois navegadores, sendo que no Firefox, ele funciona como um *input* do tipo *text* comum.

Buscando a documentação do componente, observa-se que ele também não é compatível com outros navegadores:

												
	 Chrome	 Edge	 Firefox	 Internet Explorer	 Opera	 Safari	 Android webview	 Chrome for Android	 Firefox for Android	 Opera for Android	 Safari on iOS	 Samsung Internet
type="datetime-local"	20	12	No *	No	11	No *	Yes	Yes	Yes	11	Yes	Yes
 Full support	 No support						What are we missing?					

**Figura 21.** Compatibilidade do componente *input datetime-local* com navegadores. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML/Element/input/datetime-local>>

- **Cenário 3**

<b>Atributo de qualidade</b>	Confiabilidade
<b>Requisito de qualidade</b>	O sistema deve tratar exceções e se recuperar de falhas, sem que dados sejam perdidos.
<b>Preocupação</b>	
Manter todas as bases de dados sincronizadas (consistência eventual).	
<b>Cenário(s)</b>	
Cenário 3.	
<b>Ambiente</b>	
Operação normal.	
<b>Estímulo</b>	
Falha inesperada em algum componente de <i>software</i> do sistema.	
<b>Mecanismo</b>	
Sistema de <i>mensageria</i> .	
<b>Medida de resposta</b>	
Todas as requisições realizadas antes e durante a falha devem ser respondidas.	
<b>Considerações sobre a arquitetura</b>	
<b>Riscos</b>	Interrupção inesperada do funcionamento de componentes essenciais para a arquitetura.
<b>Pontos de sensibilidade</b>	Capacidade do sistema de <i>mensageria</i> em armazenar todas as mensagens sem que seja prejudicado.
<b>Trade off</b>	Não há.

- **Evidências**

No primeiro teste realizado, todos os componentes encontravam-se em estado normal de operação. Foi utilizada a ferramenta Postman para realizar requisições HTTP à API do módulo Cadastro de Ativos.

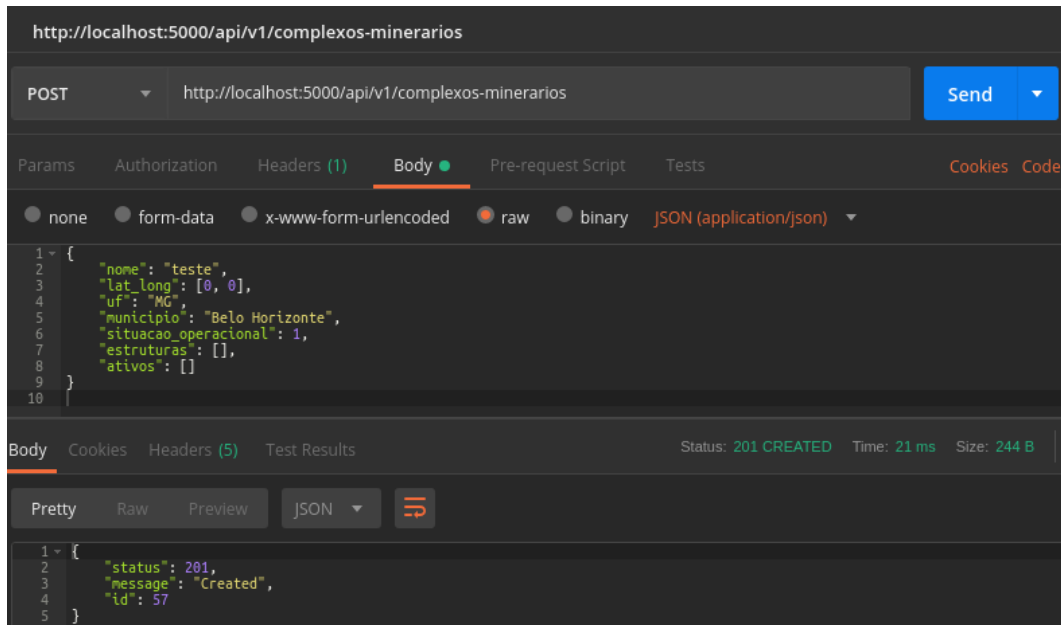


Figura 22. Interface da ferramenta Postman com um exemplo de requisição e resposta à API de Cadastro de Ativos

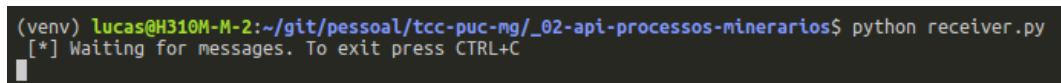


Figura 23. Script simulador para sincronização das bases de dados de Cadastro de Ativos e Controle de Processos Minerários

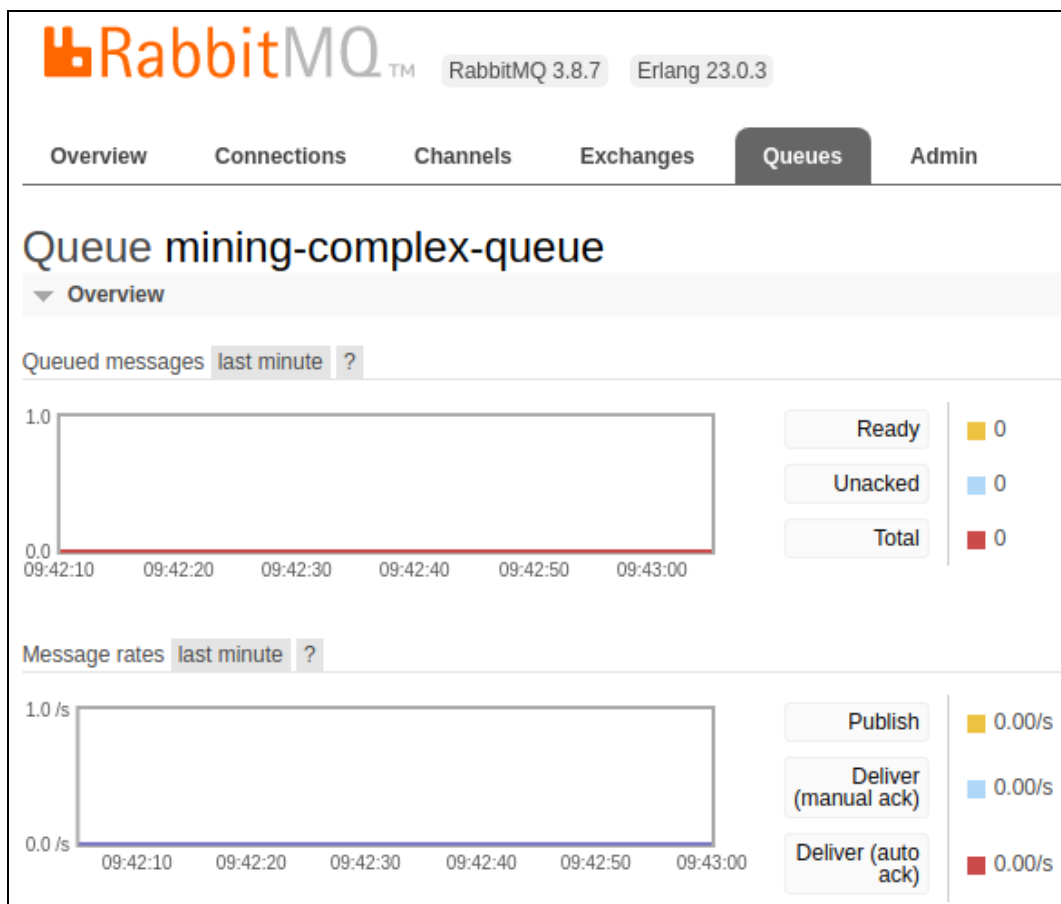


Figura 24. Estado da Fila antes do envio de mensagens



A imagem abaixo mostra a situação da base de dados do módulo Cadastro de Ativos. Observa-se que a tabela *complexo\_minerario* contém 16 registros, que foram inseridos antes da implementação da sincronização, logo, neste momento não serão inseridos na base do Controle de Processos Minerários.

id	nome	poligono	lat	long	uf	municipio	situacao_operacional
1	Córrego do Feijão	[NULL]	-20,1328144	-44,1328689	MG	Brumadinho	1
2	Cadam S.A.	[NULL]	-0,893666667	-52,3789708333	AP	Vitória do Jari	1
3	Catalao	[NULL]	-18,1508408333	-47,7821363889	GO	Ouvidor	1
4	Niobras Mineração Ltda	[NULL]	-18,14625	-47,8058890278	GO	Ouvidor	1
5	J. G. de A. FERREIRA MINERADORA EIRELI	[NULL]	-6,5821944444	-43,9662222222	MA	Pastos Bons	1
6	Mosaic Fertilizantes P&K S.A. Filial: Araxa	[NULL]	-19,6413527778	-46,9738497222	MG	Araxá	1
7	Mineração Usiminas S.A.	[NULL]	-20,1253333333	-44,4104722222	MG	Mateus Leme	1
8	Mineração Corumbense Reunida Sa	[NULL]	-19,1919383333	-57,6141859722	MS	Corumbá	1
9	Alta Floresta Gold Mineração Ltda.	[NULL]	-10,8024861111	-55,1861555556	MT	Nova Santa Helena	1
10	Avb Mineração Ltda.	[NULL]	-6,2449652778	-49,7465663889	PA	Curionópolis	1
11	White Solder Metalurgia e Mineração - Sol Nascente	[NULL]	-9,6222777778	-63,0608611111	RO	Rio Crespo	1
12	Cooperativa Mineradora dos Garimpeiros de Ariquemes	[NULL]	-11,1485833333	-62,4274722222	RO	Urupá	1
13	Gabriella Mineração Ltda	[NULL]	-28,5772777778	-49,4421944444	SC	Siderópolis	1
14	Uilson Romanha & Cia Ltda	[NULL]	-23,6590833333	-48,0013988889	SP	Itapetininga	1
15	Geominas Minerações Ltda.	[NULL]	-11,6493277778	-47,6761777778	TO	Natividade	1
16	Teste	[NULL]	-4,8282597469	-53,26171875	PA	Altamira	0

Figura 25. Situação da base de Cadastro de Ativos antes da realização dos testes

A imagem abaixo mostra a situação da base de dados do módulo Controle de Processos Minerários, que passará a receber na tabela *complexo\_minerario*, os registros inseridos no módulo anterior.

id	nome	situacao_operacional
----	------	----------------------

Figura 26. Situação da base de Controle de Processos Minerários antes da realização dos testes

Finalmente o primeiro teste foi realizado: uma requisição à API de Cadastro de Ativos, com o sistema operando normalmente. As imagens a seguir mostram, respectivamente, o novo registro inserido na base de Cadastro de Ativos e o *script* simulador recebendo parte do mesmo dado.

17	Teste	[NULL]	-4,8282597469	-53,26171875	PA	Altamira	0
59	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1

Figura 27. Novo registro inserido na tabela *complexo\_minerario* da base de Cadastro de Ativos

```
(venv) lucas@H310M-M-2:~/git/pessoal/tcc-puc-mg/_02-api-processos-minerarios$ python receiver.py
[*] Waiting for messages. To exit press CTRL+C
{'id': 59, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

Dados inseridos no banco.
█
```

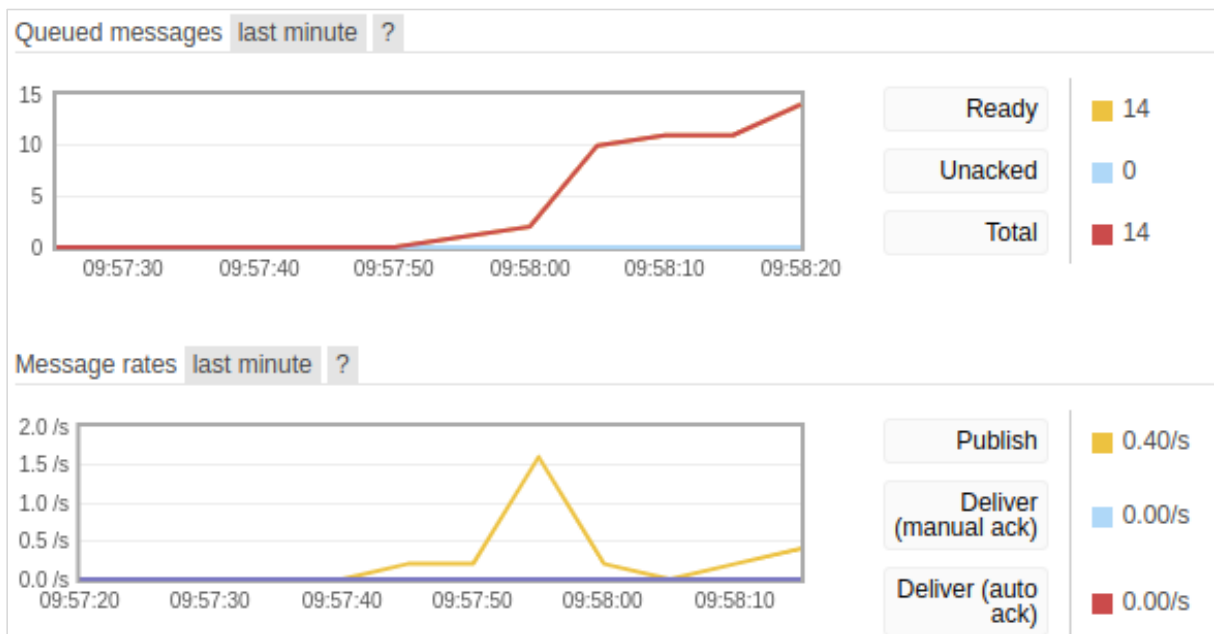
**Figura 28.** Script simulador recebendo parte dos dados do registro anterior e informando que ele foi inserido na segunda base

A partir deste ponto é descrito o segundo teste, que consistiu na interrupção proposital do *script* simulador e a realização de 14 novas requisições. Como não havia *consumers* conectados à fila, o RabbitMQ guardou as mensagens até que o *script* fosse reconectado. As imagens a seguir mostram o enfileiramento das mensagens enquanto o simulador esteve desconectado.

```
(venv) lucas@H310M-M-2:~/git/pessoal/tcc-puc-mg/_02-api-processos-minerarios$ python receiver.py
[*] Waiting for messages. To exit press CTRL+C
{'id': 59, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

Dados inseridos no banco.
^C(venv) lucas@H310M-M-2:~/git/pessoal/tcc-puc-mg/_02-api-processos-minerarios$
(venv) lucas@H310M-M-2:~/git/pessoal/tcc-puc-mg/_02-api-processos-minerarios$ █
```

**Figura 29.** Interrupção do script através de evento do teclado



**Figura 30.** Estado da fila de 9:57:20 a 9:58:20

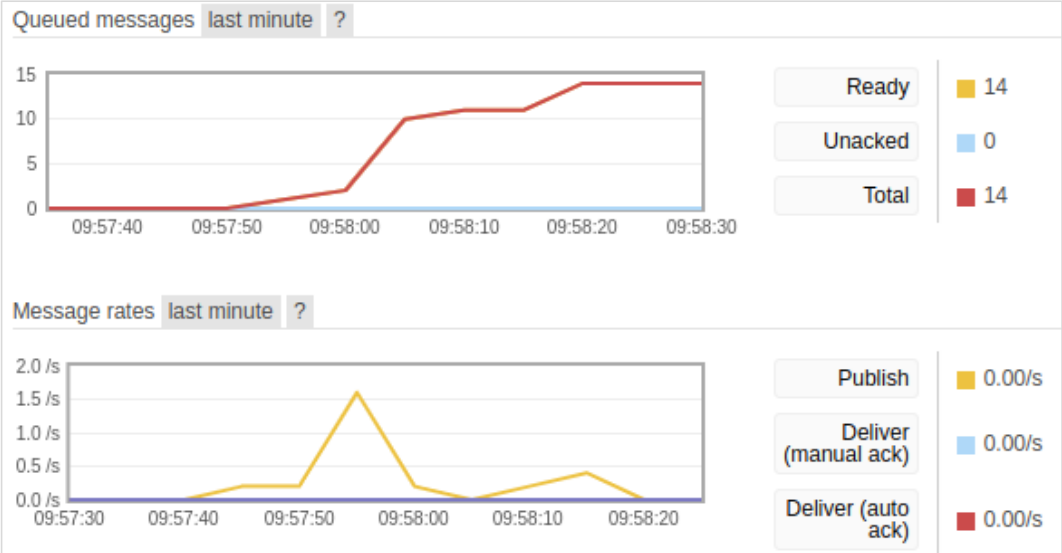


Figura 31. Estado da fila de 9:57:30 a 9:58:30

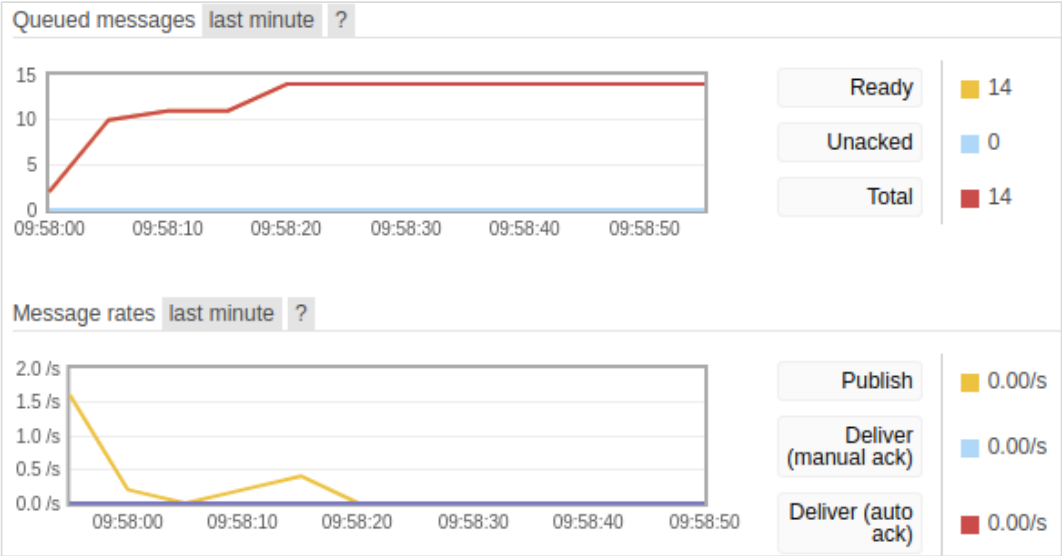


Figura 32. Estado da fila de 9:58:00 a 9:58:50

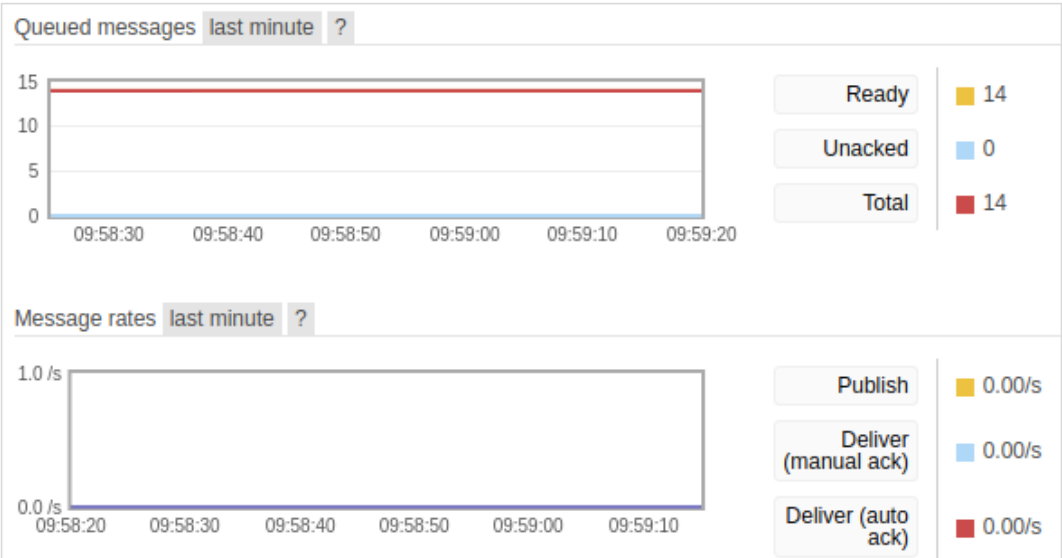


Figura 33. Estado da fila de 9:58:20 a 9:59:20

Após a reconexão do *script*, pode-se observar que ele começa a receber as mensagens pendentes imediatamente.

```
(venv) lucas@H310M-M-2:~/git/pessoal/tcc-puc-mg/_02-api-processos-minerarios$ python receiver.py
[*] Waiting for messages. To exit press CTRL+C
{'id': 60, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

Dados inseridos no banco.
{'id': 61, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

Dados inseridos no banco.
{'id': 62, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

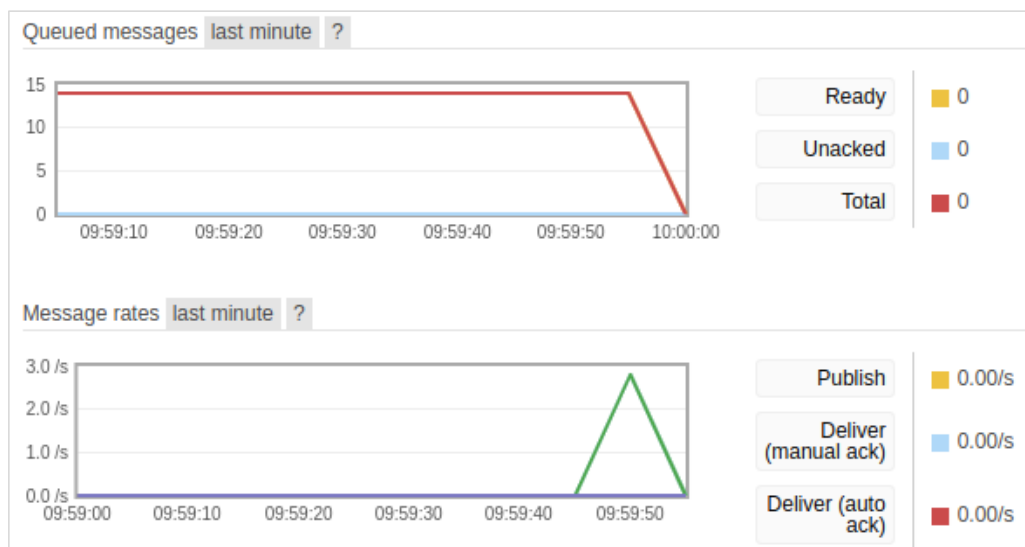
Dados inseridos no banco.
{'id': 63, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

Dados inseridos no banco.
{'id': 64, 'nome': 'Teste', 'situacao_operacional': 1}

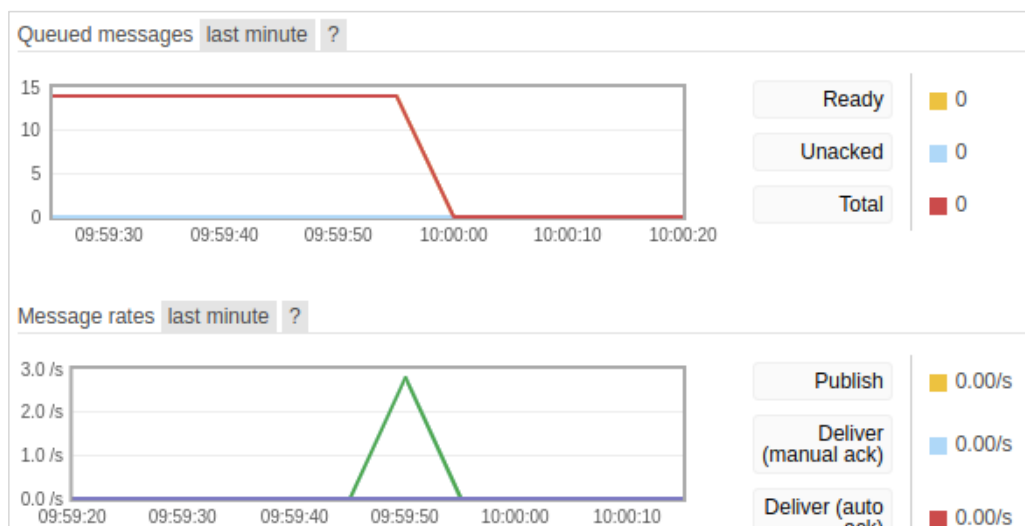
Dados inseridos no banco.
```

**Figura 34.** Script recebe as mensagens imediatamente ao ser reconectado

Nas imagens a seguir é mostrado o estado da fila após a reconexão do *script*. Pode-se observar a queda da linha no gráfico à medida que as mensagens são consumidas.



**Figura 35.** Estado da fila de 9:59 a 10:00



**Figura 36.** Estado da fila de 9:59:20 a 10:00:20

As imagens abaixo mostram o estado das tabelas *complexo\_minerario* nas duas bases de dados após a realização dos testes. Pode-se observar os registros com o campo *id* igual a 59, provenientes do primeiro teste, e os 14 registros seguintes com campo *id* no intervalo entre 60 e 73, provenientes do segundo teste.

21	17	Teste	[NULL]	-4,8282597469	-53,26171875	PA	Altamira	0
22	59	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
23	60	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
24	61	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
25	62	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
26	63	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
27	64	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
28	65	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
29	66	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
30	67	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
31	68	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
32	69	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
33	70	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
34	71	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
35	72	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1
36	73	Teste	[NULL]	0	0	MG	Belo Horizonte	1

Figura 37. Tabela *complexo\_minerario* da base de Cadastro de Ativos após os testes

Auto

PostgreSQL - 172.18.0.2

public@mod2-processos-minerarios

select \* from complexo\_minerario;

complexo\_minerario

select \* from complexo\_minerario

Enter a SQL expression to filter results (use Ctrl+Space)

Grade

Texto

	123 id	ABC nome	123 situacao_operacional
1	59	Teste	1
2	60	Teste	1
3	61	Teste	1
4	62	Teste	1
5	63	Teste	1
6	64	Teste	1
7	65	Teste	1
8	66	Teste	1
9	67	Teste	1
10	68	Teste	1
11	69	Teste	1
12	70	Teste	1
13	71	Teste	1
14	72	Teste	1
15	73	Teste	1

Figura 38. Tabela *complexo\_minerario* da base de Controle de Processos Minerários após os testes

- **Cenário 4**

<b>Atributo de qualidade</b>	Interoperabilidade
<b>Requisito de qualidade</b>	O sistema deve se comunicar com módulos externos via APIs, através do protocolo HTTP.
<b>Preocupação</b>	
APIs externas estarem disponíveis no momento da requisição.	
<b>Cenário(s)</b>	
Cenário 4.	
<b>Ambiente</b>	
Operação normal.	
<b>Estímulo</b>	
Acesso a alguma página do sistema que realize chamadas a APIs externas de forma transparente ao usuário.	
<b>Mecanismo</b>	
Internet.	
<b>Medida de resposta</b>	
Requisição recebida e respondida com sucesso, com código de status 200 (OK).	
<b>Considerações sobre a arquitetura</b>	
<b>Riscos</b>	Indisponibilidade da API externa; descontinuidade da API externa.
<b>Pontos de sensibilidade</b>	Não há.
<b>Trade off</b>	Não há.

- **Evidências**

Ao acessar a página de cadastro de complexos minerários, é feita uma requisição à API do IBGE que retorna a lista de Unidades da Federação.

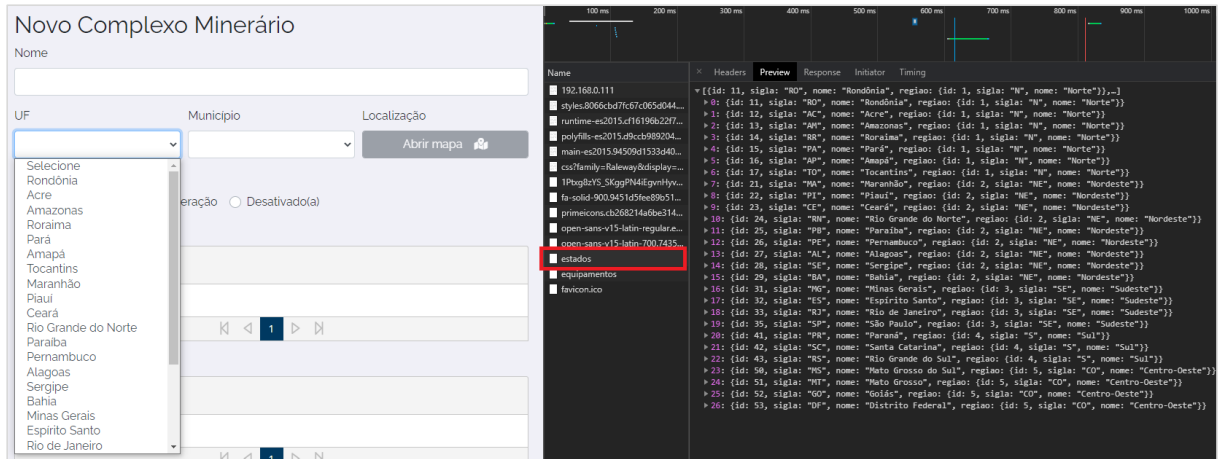


Figura 39. Requisição à API do IBGE que retorna lista de UFs

Ao selecionar uma UF, outra requisição é feita à mesma API, desta vez retornando a lista de municípios da respectiva Unidade.

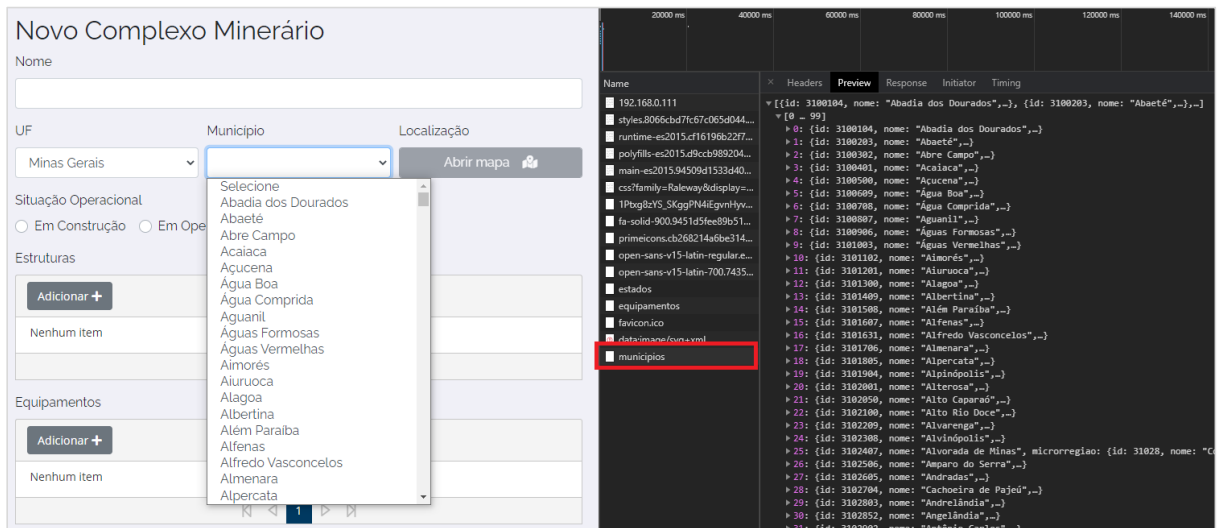
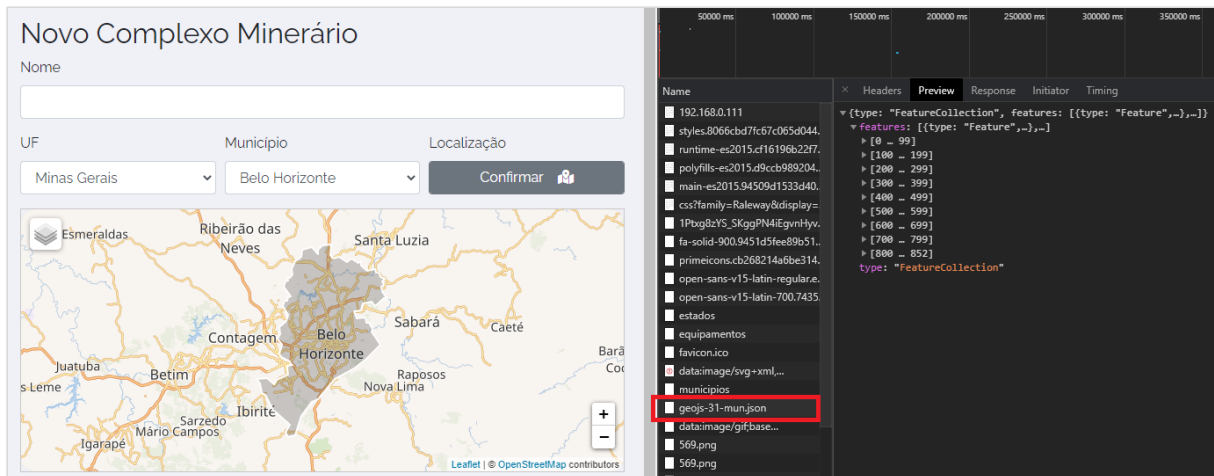


Figura 40. Requisição à API do IBGE que retorna lista de municípios

Selecionado o município, mais uma requisição é realizada, mas desta vez ao repositório do GitHub “Geodata BR – Brasil”, que contém arquivos *geojson* com os perímetros de todos os municípios brasileiros. Tendo sucesso esta requisição, o mapa é liberado e sobre ele é adicionada uma camada com os limites geográficos do município.



**Figura 41.** Requisição ao repositório de arquivos *geojson*, no GitHub

Os links para estas APIs encontram-se no Apêndice deste documento.

## 6.4. Resultado

A avaliação da arquitetura permitiu validar a conformidade da proposta ao escopo do sistema. A prova de conceito indicou pontos fortes e limitações. O problema de incompatibilidade do componente *datetime-local*, padrão do HTML5, com o navegador Mozilla Firefox, pode ser solucionado com a substituição deste componente por um já presente na biblioteca PrimeNG, que já está sendo utilizada na arquitetura, ou por outro desenvolvido por terceiros. Apesar disso, a proposta ressaltou que foram feitas escolhas corretas na definição da arquitetura.

Os seguintes atributos de qualidade foram considerados e validados:

Atributo de qualidade	Critério de aceitação	Testado	Homologado
Usabilidade	Os elementos das páginas devem se adaptar ao dispositivo do usuário, independentemente do tamanho de sua tela e da resolução da mesma, sem que haja qualquer desfiguração nos elementos;	Sim	Sim
	A interface deve se comportar da mesma forma nos principais browsers do mercado: Google Chrome, Microsoft Edge e Mozilla Firefox.	Sim	Não
Confiabilidade	Caso o funcionamento de algum componente da arquitetura seja interrompido, todas as mensagens enviadas a ele durante esse	Sim	Sim



	período devem ser respondidas após o retorno à normalidade;		
Interoperabilidade	O sistema deve se comunicar com serviços externos e internos de forma padronizada, independente da tecnologia utilizada no desenvolvimento;	Sim	Sim

Acerca da codificação, a utilização da linguagem Python para a construção de alguns serviços e de *frameworks* de componentes visuais (Bootstrap e PrimeNG) da interface aceleram o processo de desenvolvimento. A linguagem Python, por ser muito simples e possuir uma baixa curva de aprendizagem, permite a construção mais rápida de aplicações, além de possuir menos linhas de código. A escolha pelo *microframework* Flask deu-se por sua definição de manter um núcleo simples e ser extensível, ou seja, mantém no projeto somente aquilo que é necessário. As bibliotecas visuais facilitam a construção de interfaces responsivas e amigáveis através da reutilização de componentes prontos.

A arquitetura proposta pode ser refinada através da utilização de alguns recursos extras, tais como armazenamento de requisições em *cache*, monitoramento inteligente de aplicações através da análise de arquivos de log, com ferramentas como Prometheus e Grafana, e ainda, utilização de computação *serverless*, decompondo alguns módulos em *funções como serviços* (*FaaS*). Essas e outras melhorias certamente elevariam a qualidade da proposta arquitetural, reduzindo custos e tempo de desenvolvimento e operação.

## 7. Conclusão

Este trabalho apresentou um protótipo arquitetural de um sistema de gestão e controle das atividades de negócio de uma empresa mineradora. Entende-se que tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos foram atingidos.

A maior dificuldade para a construção do projeto foi a ausência de contato com profissionais conhecedores do negócio. Apesar da quantidade de conteúdo presente na Internet, assuntos específicos relacionados ao setor minerário causaram dúvidas que nem sempre foram totalmente esclarecidas em pesquisas.

Logo, uma análise mais aprofundada das atividades de negócio deste mercado, aliada a uma especificação mais detalhada de requisitos, permitiriam uma evolução significativa da proposta arquitetural.

## REFERÊNCIAS

**Amazon DocumentDB** (com compatibilidade com o MongoDB). Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/documentdb/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Amazon Elastic Kubernetes Service**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/eks/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Amazon RDS for PostgreSQL**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/rds/postgresql/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Amazon Relational Database Service (RDS)**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/rds/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

ANM - Agência Nacional de Mineração. **ANM lança sistema público de monitoramento de barragem de mineração**. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/noticias/anm-lanca-sistema-publico-de-monitoramento-de-barragem-de-mineracao>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**AWS CodeBuild**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/codebuild/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Barragem brasileira é pior? Problema é fiscalização, punição e lucro alto**. 2019. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/01/31/como-e-a-seguranca-das-barragens-de-mineracao-em-outros-paises.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Barragem de rejeitos e os casos Mariana e Brumadinho**. 2019. Disponível em: <<https://www.politize.com.br/barragem-de-rejeitos/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

CARVALHO, Itamar. **Sistema de Gestão e Controle Ambiental**. Rio de Janeiro: UNIGRANRIO, 2014. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/sistema-de-gestao-e-controle-ambiental/5157805/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Conector de dados da Web**. Disponível em: <[https://help.tableau.com/current/pro/desktop/pt-br/examples\\_web\\_data\\_connector.htm](https://help.tableau.com/current/pro/desktop/pt-br/examples_web_data_connector.htm)>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Controle e Gestão de Barragens**. Disponível em: <<http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/ControleGestaoBarragens.aspx>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Eclipse Mosquitto**: An open source MQTT broker. Disponível em: <<https://mosquitto.org/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

GONÇALVES, Emanuel; LIRA, Daniel. **O licenciamento ambiental nas atividades de mineração**. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/o-licenciamento-ambiental-nas-atividades-de-mineracao/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **A Indústria da Mineração**: para o desenvolvimento do Brasil e a promoção da qualidade de vida do brasileiro. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005649.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

INSTITUTO MINERE. **O que é um Plano de Ação de Emergência para Barragens - PAEBM?** 2016. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/blog/o-que-e-um-plano-de-acao-de-emergencia-para-barragens>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE. **Tecnologia de Barragens e Disposição de Rejeitos.** Disponível em: <<http://www.itv.org/linha-de-pesquisa/tecnologia-de-barragens-e-disposicao-de-rejeitos/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**O protocolo MQTT:** Leve e simples, perfeito para IoT e sistemas embarcados. Disponível em: <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/ee1878/redes1-2018-1/trabalhos-vf/mqtt/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

SAMARCO. **Tecnologia militar aliada ao Monitoramento de Barragens.** Disponível em: <[https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2017/08/Release-Samarco\\_-Tecnologia-militar-aliada-ao-Monitoramento-de-Barragens.pdf](https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2017/08/Release-Samarco_-Tecnologia-militar-aliada-ao-Monitoramento-de-Barragens.pdf)>. Acesso em: 12 mai. 2020.

SOUSA, Rafaela. **Mineração.** Disponível em: <<https://www.biologianet.com/ecologia/mineracao.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**Uso de sensores para prevenir rompimentos de barragens:** como eles podem ajudar? 2019. Disponível em: <<https://www.aliger.com.br/blog/uso-de-sensores-para-prevenir-rompimentos-de-barragens-como-eles-podem-ajudar>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

**What is an API Gateway?** Disponível em: <[https://konghq.com/learning-center/api-gateway/?itm\\_source=website&itm\\_medium=footer-nav](https://konghq.com/learning-center/api-gateway/?itm_source=website&itm_medium=footer-nav)>. Acesso em: 12 mai. 2020.

XMOBOTS. **Soluções:** uso de drones em monitoramento de barragens. Disponível em: <<https://xmobots.com.br/2019/04/04/solucoes-uso-de-drones-em-monitoramento-de-barragens/>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

## APÊNDICES

- **URL para acesso à POC:**
  - <http://54.211.123.34/>
- **Repositório de código:**
  - <https://github.com/lccherigath/tcc-puc-mg>
- **Vídeo de apresentação da POC:**
  - <https://youtu.be/9ajGEhFiKyo>
- **APIs externas:**
  - IBGE (Unidades da Federação):  
<https://servicodados.ibge.gov.br/api/v1/localidades/estados>
  - IBGE/Municípios (substitua { {id} } na URL abaixo pelo atributo “id” de uma UF presente na URL anterior):  
<https://servicodados.ibge.gov.br/api/v1/localidades/estados/{id}/municipios>
  - Repositório “Geodata BR – Brasil” (substitua { {id} } na URL abaixo pelo atributo “id” de uma UF presente na primeira URL):  
<https://raw.githubusercontent.com/tbrugz/geodata-br/master/geojson/geojis-{id}-mun.json>

## **CHECKLIST PARA VALIDAÇÃO DOS ITENS E ARTEFATOS DO TRABALHO**

Nº	Item a ser cumprido	Sim	Não	Não se aplica
<b>Completeza do documento</b>				
1	Todos os elementos iniciais do documento (capa, contracapa, resumo, sumário...) foram definidos?	X		
2	Os objetivos do trabalho (objetivos gerais e pelo menos três específicos) foram especificados?	X		
3	Os requisitos funcionais foram listados e priorizados?	X		
4	Os requisitos não funcionais foram listados identificados usando o estilo estímulo-resposta?	X		
5	As restrições arquiteturais foram definidas?	X		
6	Os mecanismos arquiteturais foram identificados?	X		
7	O diagrama de caso de uso foi apresentado junto com uma breve descrição de cada caso de uso?	X		
8	O modelo de componente e uma breve descrição de cada componente foi apresentada?	X		
9	O modelo de implantação e uma breve descrição de cada elemento de hardware foi apresentada?	X		
10	Prova de conceito: uma descrição da implementação foi feita?	X		
11	Prova de conceito: as tecnologias usadas foram listadas?	X		
12	Prova de conceito: os casos de uso e os requisitos não funcionais usados para validar a arquitetura foram listados?	X		
13	Prova de conceito: os detalhes da implementação dos casos de uso (telas, características, etc) foram apresentadas?	X		
14	Prova de conceito: foi feita a implantação da aplicação e indicado como foi feita e onde está disponível?	X		
15	As interfaces e/ou APIs foram descritas de acordo com um modelo padrão?	X		
16	Avaliação da arquitetura: foi feita uma breve descrição das características das abordagens da proposta arquitetural?	X		
17	Avaliação da arquitetura: Os atributos de qualidade e os cenários onde eles seriam validados foram apresentados?	X		
18	Avaliação da arquitetura: a avaliação com as evidências dos testes foi apresentada?	X		
19	Os resultados e a conclusão foram apresentados?	X		
20	As referências bibliográficas foram listadas?	X		
21	As URLs com os códigos e com o vídeo da apresentação da POC foram listadas?	X		

Nº	Item a ser cumprido	Sim	Não	Não se aplica
<b>Consistência dos itens do documento</b>				
1	Todos os requisitos funcionais foram mapeados para casos de uso?	X		
2	Todos os casos de uso estão contemplados na lista de requisitos funcionais?	X		
3	Os requisitos não funcionais, mecanismos arquiteturais e restrições c arquiteturais estão coerentes com os modelos de componentes e implantação?	X		
4	Os modelos de componentes e implantação estão coerentes com os requisitos não funcionais, mecanismos arquiteturais e restrições arquiteturais?	X		
5	As tecnologias listadas na implementação estão coerentes com os requisitos não funcionais, mecanismos arquiteturais e restrições arquiteturais?	X		
6	Os casos de uso e os requisitos não funcionais listados na implementação estão coerentes com o que foi listado nas seções anteriores?	X		
7	Os atributos de qualidade usados na avaliação estão coerentes com os requisitos não funcionais na cessão três?	X		
8	Os cenários definidos estão no contexto dos casos de uso implementados?	X		
9	O apresentado no item resultado está coerente com o que foi mostrado no item avaliação?	X		