

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DE COMPUTAÇÃO  
SCC0540 - Bases de Dados  
Professora: Elaine Parros Machado de Sousa

**Alerta de enchentes e drenagem urbana**

Flávio Masaaki Ito - NºUSP: 12609046

Fernando Lopes - NºUSP: 12725515

Guilherme Motta Tranche - NºUSP: 13671549

Vinicius Ramos Diniz - NºUSP: 13673242

SÃO CARLOS

2025

## **Sumário**

<b>1. Introdução.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Modelo Entidade-Relacionamento.....</b>	<b>3</b>
2.1. Levantamento de Requisitos.....	3
2.2. Principais Funcionalidades.....	5
2.3. Análise de Ciclos Presentes no MER.....	6
2.4 Problemas Corrigidos - Parte 1.....	6
<b>3. Modelo Relacional.....</b>	<b>6</b>
3.1 Discussão dos Mapeamentos Propostos.....	7
3.2 Problemas Corrigidos - Parte 02.....	12
<b>4. Implementação.....</b>	<b>13</b>
4.1 Descrição da aplicação.....	13
4.2 Apresentação das Consultas.....	13
4.3 Conclusão.....	18

## 1. Introdução

As enchentes urbanas são um dos desafios enfrentados por diversas cidades. Elas impactam a infraestrutura, a segurança e a qualidade de vida dos cidadãos, e geralmente são causadas pelo acúmulo de chuvas intensas em um curto período de tempo, pela obstrução ou falha na rede de drenagem e pelo crescimento desordenado das áreas urbanas.

Atualmente, os sistemas de monitoramento e alerta existentes são muitas vezes ineficazes na previsão e mitigação de enchentes, devido à falta de integração entre dados de pluviometria, níveis de água, condições de drenagem e o histórico de alagamentos, dificultando a tomada de decisões rápidas e informadas, resultando em uma resposta reativa que, muitas vezes, é inadequada diante de situações de emergência.

Dado isso, a proposta consiste em um sistema inteligente que integre dados em tempo real, utilize análise preditiva e automatize alertas para permitir uma resposta mais eficiente e precisa, tanto para a gestão de drenagem quanto para as operações de defesa civil e de controle de tráfego. A solução busca oferecer uma abordagem mais proativa para evitar danos causados por enchentes e otimizar os recursos disponíveis para a manutenção da rede de drenagem.

## 2. Modelo Entidade-Relacionamento

### 2.1. Levantamento de Requisitos

Cada **ponto de medição hidrológica** é identificado por um local específico, como **rios, córregos e bueiros**. Estes pontos devem ter informações detalhadas sobre sua **localização geográfica** (coordenadas) e a **capacidade de drenagem** de cada um. Cada **ponto hidrológico** pode ser vigiado por vários **sensores**, de nível de água ou pluviométricos e cada sensor pode vigiar somente um ponto hidrológico. Cada par de sensor e ponto hidrológico pode gerar várias **leituras** que retornam registros que possuem a **data e hora exatas, nível e tipo de leitura** (**leituras nível de água** ou **leituras pluviométricas**). Dessa forma, garantindo que o sistema possa identificar condições de risco com antecedência.

Além disso, o sistema deve armazenar um **histórico completo das manutenção** realizadas nos **bueiros pelas equipes de Manutenção**. Uma equipe pode ir a vários bueiros e

um buero pode receber várias equipes. Além disso, cada **manutenção** deve ter **registros** incluindo a **data da intervenção**, a **equipe responsável** e o **tipo de serviço executado**. As **leituras dos pontos hidrológicos** devem ser monitorados constantemente pela **Defesa Civil** para garantir que os pontos críticos estejam sempre em boas condições de funcionamento. Membros da **Defesa Civil** podem monitorar diversos pontos e um ponto pode ser monitorado por diversos membros.

O sistema também deve registrar as **ocorrências de alagamento**, com informações detalhadas sobre o evento, como a **data, hora, localização**, a **severidade** do alagamento e a **extensão da área afetada**, incluindo os **bairros afetados**. Dado um ponto hidrológico podem ocorrer vários alagamentos. Isso deve ser registrado **geograficamente**, permitindo a visualização do impacto de cada evento de alagamento na cidade. Além disso, as **áreas de risco** devem ser mapeadas com base no **histórico de alagamentos**.

**Alertas de enchente** são fundamentais para prevenir a população e as autoridades sobre a iminência de um alagamento. Cada alerta emitido pelo sistema deve ser registrado com a **data, hora, a área afetada** (bairros) e o **tipo de alerta** (aviso, alerta, emergência). As **notificações** enviadas aos **usuários** também devem ser registradas, incluindo o **conteúdo da mensagem** e o **status da resposta** ao alerta. Um usuário pode receber vários alertas de enchente e um mesmo alerta de enchente pode ir para vários usuários. A gestão de alertas pode incluir ações como interdição de vias, evacuação de áreas de risco e redirecionamento do tráfego.

Para garantir uma resposta eficaz às enchentes, as **Equipes de Manutenção(EM)** e **de Defesa Civil(DC)** irão receber uma(ou mais) **notificação de ação**(pode ser a mesma, pode ser diferentes) e então será gerado **exatamente um relatório de ação de resposta que deve** incluir a **descrição da intervenção** e os **resultados alcançados**, permitindo a análise da eficácia das ações preventivas e corretivas. Cada Alerta é um novo e portanto formando um par único quando junto ao usuário que o recebe(EM ou DC). Tanto a equipe de manutenção quanto a Defesa Civil vão realizar relatórios **únicos**. Assim, o sistema permite o acompanhamento em tempo real das **ações de resposta** da defesa civil.

Por fim, o sistema deve ser capaz de fornecer **dados geoespaciais** para a criação de mapas interativos. Esses mapas devem exibir informações sobre a **rede de drenagem**, **pontos de medição**, **áreas afetadas por alagamentos** e as **condições meteorológicas** atuais. As **localizações dos sensores** também devem ser registradas, permitindo a visualização das condições em tempo real, como o nível de água e a intensidade das chuvas.

## 2.2. Principais Funcionalidades

Considerando os diferentes tipos de usuários que utilizarão o sistema, podemos citar as seguintes funcionalidades para cada um:

- **Usuário Comum/Cidadão:**

- Consultar **alertas de enchentes e níveis de água**;
- Consultar mapas de **bueiros e áreas de risco**;
- Inserir **ocorrências de alagamentos** e outras emergências no sistema; - Inserir falhas na drenagem urbana (ex: **bueiros** obstruídos).

- **Equipe de Manutenção de Drenagem:**

- Consultar bueiros/galerias que precisam de manutenção;
- Consultar histórico de intervenções em bueiros/galerias;
- Inserir intervenções realizadas, incluindo tipo de manutenção (limpeza, reparo, inspeção);
- Consultar dados de monitoramento.

- **Defesa Civil / Autoridade Pública:**

- Inserir alertas para a população sobre risco de enchentes em tempo real;
- Consultar relatórios de eventos de alagamento;
- Consultar e visualizar mapas de risco para alagamentos e áreas de drenagem; - Monitora a situação dos bueiros.

- **Administrador do Sistema:**

- Gerenciar usuários e suas permissões no sistema (usuários comuns, equipes de manutenção, autoridades);
- Configurar regras de alerta e definir thresholds para emissão de alertas (chuva, nível de água, etc.);

- Gerenciar dados históricos de alagamentos e intervenções;

### **2.3. Análise de Ciclos Presentes no MER**

Não há ciclos presentes no MER. Possíveis Ciclos foram descartados devido a natureza exclusiva de entidades com especialização. Ou seja, poderia ser um ciclo caso a entidade não fosse de especialização exclusiva.

### **2.4 Problemas Corrigidos - Parte 1**

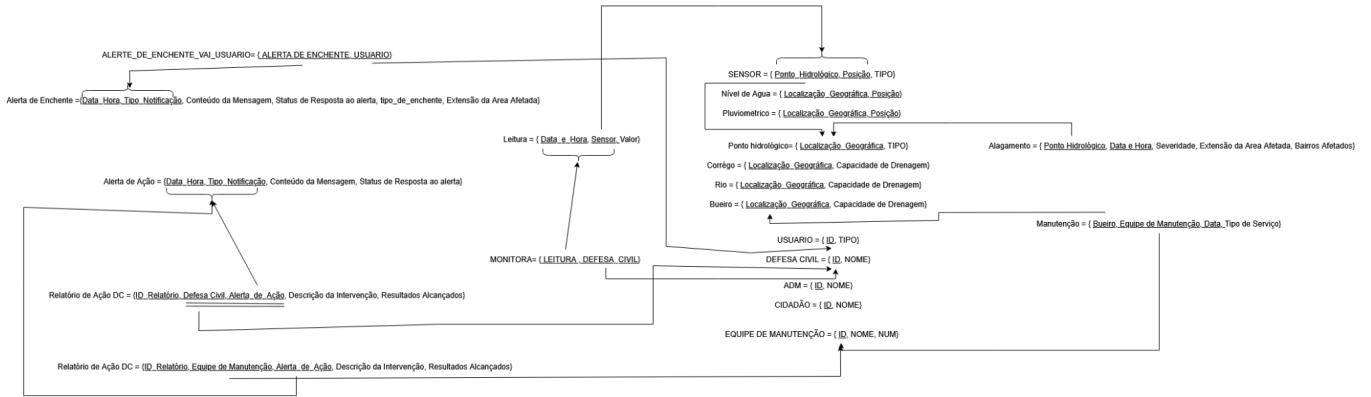
- Cardinalidades clarificadas no texto.
- Relações clarificadas no texto.
- Ciclos identificados no texto.
- Imagem com resolução legível.
- Todas entidades com atributo chave.
- Note para todas as agregações.
- Utilização de notação simplificada de agregação.

**OBS IMPORTANTE: SEGUO NO FIM DO DOCUMENTO IMAGENS VETORIZADAS DO MER E DO MAPEAMENTO.**

## **3. Modelo Relacional**

Nesta seção introduziremos o modelo relacional da base de dados proposta, que possui como função relacionar as diversas tabelas existentes a nível físico. Além de apenas construir o esquema iremos também discutir sobre os diversos mapeamentos que foram feitos, evidenciando suas vantagens e desvantagens.

Na imagem do esquema as tabelas são representadas por blocos e sendo relacionadas a partir de setas.



### 3.1 Discussão dos Mapeamentos Propostos

#### 1. Especialização da Entidade ‘Sensor’

- **Solução adotada:** Como Sensor possui participação Total e exclusiva em relação aos seus tipos, resolvemos escolher o mapeamento que mantém essa integridade ao invés das demais possíveis mapeamentos que não garantem isso. Além disso, como Sensor possui relação com outras entidades, escolhemos a opção de mapeamento que mantém a tabela do Sensor.
  - i. OBS: Para funcionar de maneira apropriada em nosso Sistema, devemos fazer algumas adaptações. Como a Genérica possui relações, ao invés de estender as relações para cada Entidade Específica, vamos fazer com que as chaves primárias das CEE sejam também chaves estrangeiras da, agora, CEG. Além disso, é necessário que, em aplicação, seja garantido a Participação Total.
- **Vantagens:** Integridade de participação total e exclusiva garantida. Existência da tabela pai para servir de relação com outras entidades.
- **Desvantagens:** Serão gerados mais tabelas que outra opção de mapeamento e, portanto, diminuiria a performance do nosso sistema.
- **Alternativas:** A alternativa é justamente utilizar menos tabelas(remove a tabela pai) e trabalhar unicamente com as filhas. Porém, o processo se torna menos semântico por mais que ganhemos em performance ao diminuir a quantidade de tabelas.

#### 2. Especialização da Entidade ‘Ponto hidrológico’

- \* A lógica é mesma do Sensor
- **Solução adotada:** Como Ponto Hidrológico possui participação Total e exclusiva em relação aos seus tipos, resolvemos escolher o mapeamento que mantém essa integridade ao invés das demais possíveis mapeamentos que não garantem isso. Além disso, como Ponto hidrológico possui relação com outras entidades, escolhemos a opção de mapeamento que mantém a tabela do Ponto hidrológico.
  - i. OBS: Para funcionar de maneira apropriada em nosso Sistema, devemos fazer algumas adaptações. Como a Genérica possui relações, ao invés de estender as relações para cada Entidade Específica, vamos fazer com que as chaves primárias das CEE sejam também chaves estrangeiras da, agora, CEG. Além disso, é necessário que, em aplicação, seja garantido a Participação Total.
- **Vantagens:** Integridade de participação total e exclusiva garantida. Existência da tabela pai para servir de relação com outras entidades.
- **Desvantagens:** Serão gerados mais tabelas que outra opção de mapeamento e, portanto, diminuiria a performance do nosso sistema.
- **Alternativas:** A alternativa é justamente utilizar menos tabelas(remove a tabela pai) e trabalhar unicamente com as filhas. Porém, o processo se torna menos semântico por mais que ganhemos em performance ao diminuir a quantidade de tabelas.

3. Mapeamento da Entidade Agregada ‘Leitura’ entre Ponto Hidrológico e Sensor - 1:N
  - **Solução adotada:** Como Leitura é identificada pelo atributo próprio + chaves do CE(s) que participam do CR gerador, cada instância do CR gera várias entidades agregadas e Sensor é entidade fraca da relação, resolvemos escolher o mapeamento que mantém a integridade do que foi dito. Não faz sentido, nesse caso, trazer Ponto Hidrológico à tabela Leitura, uma vez que essa informação já está embutida em Sensor.
  - **Vantagens:** Vantagem está na integridade semântica dos dados já no mapeamento
  - **Desvantagens:** Não aparenta possuir desvantagens consideráveis em relação às demais alternativas de mapeamento. Uma vez que usam as mesmas quantidades de tabelas.

- **Alternativas:** Como dito, as alternativas usam a mesma quantidade de tabelas, contudo, não garantem a integridade como a nossa escolha de mapeamento. As alternativas fogem da nossa semântica.

#### 4. Especialização da Entidade ‘Usuário’

- \* A lógica é mesma do Sensor
- **Solução adotada:** Como Usuário possui participação Total e exclusiva em relação aos seus tipos, resolvemos escolher o mapeamento que mantém essa integridade ao invés das demais possíveis mapeamentos que não garantem isso. Além disso, como Usuário possui relação com outras entidades, escolhemos a opção de mapeamento que mantém a tabela do Usuário.
  - i. OBS: Para funcionar de maneira apropriada em nosso Sistema, devemos fazer algumas adaptações. Como a Genérica possui relações, ao invés de estender as relações para cada Entidade Específica, vamos fazer com que as chaves primárias das CEE sejam também chaves estrangeiras da, agora, CEG. Além disso, é necessário que, em aplicação, seja garantido a Participação Total.
- **Vantagens:** Integridade de participação total e exclusiva garantida. Existência da tabela pai para servir de relação com outras entidades.
- **Desvantagens:** Serão gerados mais tabelas que outra opção de mapeamento e, portanto, diminuiria a performance do nosso sistema.
- **Alternativas:** A alternativa é justamente utilizar menos tabelas(remove a tabela pai) e trabalhar unicamente com as filhas. Porém, o processo se torna menos semântico por mais que ganhemos em performance ao diminuir a quantidade de tabelas.

#### 5. Relacionamentos ‘Monitora’ entre Defesa Civil e Ponto Hidrológico- N:N

- **Solução adotada:** O mapeamento foi feito através da criação de uma nova tabela, ‘Monitora’, que armazena a relação entre a Defesa Civil e o Ponto hidrológico. Isso permite que todos da Defesa Civil possam monitorar todos os Pontos Hidrológicos, se necessário e vice-versa. Assim, quando necessário, as leituras dos respectivos pontos podem ser consultadas.
- **Vantagens:** A Cardinalidade do relacionamento é preservada.
- **Desvantagens:** A criação de uma nova tabela aumenta o custo de memória necessário.

- **Alternativas:** Não foram identificadas alternativas para esse mapeamento.

## 6. Entidade fraca Alagamento (de ‘Ponto Hidrológico’) - 1 : N

- **Solução adotada:** As entidades fracas possuem tabelas próprias, sendo identificadas pela combinação de sua chave parcial com a chave primária do seu *owner*.
- **Vantagens:** Esse mapeamento preserva a cardinalidade do relacionamento e cobre as participações totais das entidades fracas, com relação ao seu respectivo *owner*.
- **Desvantagens:** A criação de novas tabelas exige mais recursos computacionais de memória
- **Alternativas:** Não foram identificadas alternativas para esse mapeamento.

## 7. Mapeamento da Entidade Agregada ‘Manutenção’ entre Bueiro e Equipe de

Manutenção - N: N

- **Solução adotada:** Como Manutenção é identificada pelo atributo próprio + chaves do CE(s) que participam do CR gerador, cada instância do CR gera **várias** entidades agregadas e Manutenção é composto de um relacionamento N:N, resolvemos escolher o mapeamento que mantém a integridade do que foi dito. Não faz sentido, nesse caso, criar uma tabela a mais para o CR ‘VAI’.
- **Vantagens:** Vantagem está na integridade semântica dos dados já no mapeamento. Permite que o histórico de manutenções seja armazenado.
- **Desvantagens:** A criação de uma nova tabela necessita de maior uso de memória.
- **Alternativas:** Como dito, as alternativas usam a mesma quantidade de tabelas, contudo, não garantem a integridade como a nossa escolha de mapeamento.  
As alternativas fogem da nossa semântica.

## 8. Especialização da Entidade ‘Notificação’

- **Solução adotada:** Como a Notificação possui participação Total e exclusiva em relação aos seus tipos, resolvemos escolher o mapeamento que mantém essa integridade ao invés das demais possíveis mapeamentos que não garantem isso. Além disso, Notificação **não** possui relação com outras entidades, escolhemos a opção de mapeamento que não tem a tabela pai.
- **Vantagem:** Dentro da sua alternativa(no caso, 7) possui o menor número de tabelas e integridade garantida.

- **Desvantagem:** Não é a quantidade mínima de tabelas, e portanto ainda sofre com um maior custo de memória e performance comparado às demais opções. Além do mais, o nosso sistema pode sofrer caso a notificação desenvolva uma relação com alguma outra entidade no futuro. Pois assim seria necessário remodelar e remapear o nosso projeto.
  - **Alternativas:** As alternativas ou não cumprem com integridade, ou possuem mais tabelas que o necessário. Portanto, escolhemos a opção que, primeiro, respeita a integridade e, segundo, diminui a quantidade de tabelas necessárias para melhorar performance.
9. Mapeamento da Entidade Agregada ‘Relatório de Ação DC’ entre Defesa Civil e Alerta de Ação - N: N
- **Solução adotada:** Como ‘Relatório de Ação DC’ é identificada pelo atributo próprio + chaves do CE(s) que participam do CR gerador, cada instância do CR gera **uma única** entidade agregada e como ‘Relatório de Ação DC’ é composto de um relacionamento N:N, resolvemos escolher o mapeamento que mantém a integridade do que foi dito. Não faz sentido, nesse caso, criar uma tabela a mais para o CR ‘VAI’.
    - i. OBS: Para isso funcionar de maneira apropriada, transformamos o par de chaves CE em, também, chaves secundárias. Assim, para cada ID, teremos uma única entidade agregada
  - **Vantagens:** Vantagem está na integridade semântica dos dados já no mapeamento. Permite que o histórico de Relatórios seja armazenado.
  - **Desvantagens:** A criação de uma nova tabela necessita de maior uso de memória.
  - **Alternativas:** Como dito, as alternativas usam a mesma quantidade de tabelas, contudo, não garantem a integridade como a nossa escolha de mapeamento. As alternativas fogem da nossa semântica.
10. Mapeamento da Entidade Agregada ‘Relatório de Ação EM’ entre Equipe de Manutenção e Alerta de Ação - N: N
- \*Mesma lógica de ‘Relatório de Ação DC’
  - **Solução adotada:** Como ‘Relatório de Ação EM’ é identificada pelo atributo próprio + chaves do CE(s) que participam do CR gerador, cada instância do CR gera **uma única** entidade agregadas e ‘Relatório de Ação EM’ é composto

de um relacionamento N:N, resolvemos escolher o mapeamento que mantém a integridade do que foi dito. Não faz sentido, nesse caso, criar uma tabela a mais para o CR ‘VAI’.

- **Vantagens:** Vantagem está na integridade semântica dos dados já no mapeamento. Permite que o histórico de Relatórios seja armazenado.
- **Desvantagens:** A criação de uma nova tabela necessita de maior uso de memória.
- **Alternativas:** Como dito, as alternativas usam a mesma quantidade de tabelas, contudo, não garantem a integridade como a nossa escolha de mapeamento.  
As alternativas fogem da nossa semântica.

## 11. Relacionamentos ‘VAI’ entre Alerta de Enchente e Usuário - N:N

- **Solução adotada:** O mapeamento foi feito através da criação de uma nova tabela, ‘Alerta\_Enchente\_vai\_Usuario’, que armazena a relação entre o Alerta de Enchente e os Usuários que receberam. Isso permite que todos os alertas de enchente possam ir ao um mesmo usuário e todos usuários possam receber o mesmo alerta de enchente.
- **Vantagens:** A Cardinalidade do relacionamento é preservada.
- **Desvantagens:** A criação de uma nova tabela aumenta o custo de memória necessário.
- **Alternativas:** Não foram identificadas alternativas para esse mapeamento.

## 3.2 Problemas Corrigidos - Parte 02

- Adaptação do Padrão 8 colocado nas Justificativas. OBS adicionada com a Seguinte Info
- “OBS: Para funcionar de maneira apropriada em nosso Sistema, devemos fazer algumas adaptações. Como a Genérica possui relações, ao invés de estender as relações para cada Entidade Específica, vamos fazer com que as chaves primárias das CEE sejam também chaves estrangeiras da, agora, CEG.  
Além disso, é necessário que, em aplicação, seja garantido a Participação Total.”
- Adaptação do Padrão 8 também alocada no Mapeamento
- Clarificação da Vantagem do Mapeamento 8
- Clarificação da Unicidade do Mapeamento 9/10

- ID Semântico para Usuário no MER. (CPF)
- DEFESA CIVIL agora MONITORA o Ponto Hidrológico ao invés de suas LEITURAS. MER e Mapeamento 5 alterado de acordo.
- Tipo “DC” -> “EM” Corrigido no Mapeamento.
- Alagamentos agora geram Alertas de Enchente. Nova Relação GERA entre Alagamento e Alerta de Enchente Criada. Alerta de Enchente não possui mais “Extensão da Área Afetada” Como Atributo. Adaptações no Relatório MER e mapeamento feitos de acordo.
- Diminuição do Espaço em Branco do MER

#### **Correções adicionais:**

- Removido o Tipo Da Notificação Como parte da chave para os Alertas. É redundante dado o padrão escolhido.

## **4. Implementação**

### **4.1 Descrição da aplicação**

Nesta etapa, foi utilizado o SGBD PostgreSQL para montagem de todo o esquema da base de dados, incluindo todas as tabelas com seus devidos tratamentos para garantia de consistência, alguns scripts para alimentação dessa base e cinco consultas de complexidade média/alta para teste. Além disso, também criamos um protótipo integrado à base de dados por meio da linguagem Python. O repositório com todo o conteúdo criado pode ser visto em <https://github.com/Vinivrd/trab-bd>.

### **4.2 Apresentação das Consultas**

- Consulta 01: Monitoramento de níveis de água em rios nos últimos 12 meses.

```

SELECT
    ph.Localizacao_Geografica,
    AVG(l.Valor)      AS media_nivel_agua,
    COUNT(*)          AS qtd_leituras
FROM Ponto_Hidrologico ph
JOIN Sensor s
    | ON s.Ponto_Hidrologico = ph.Localizacao_Geografica
JOIN Leitura l
    | ON l.Sensor_Ponto_Hidrologico = s.Ponto_Hidrologico
    | AND l.Sensor_Posicao           = s.Posicao
WHERE ph.Tipo = 'Rio'
    | AND s.Tipo = 'Nível de Água'
    | AND l.Data_Hora >= NOW() - INTERVAL '365 days'
GROUP BY ph.Localizacao_Geografica
ORDER BY media_nivel_agua DESC, qtd_leituras DESC
LIMIT 5;

```

Nessa consulta, agrupamos os dados por localização geográfica para calcular a média das leituras e a contagem total de leituras, então utilizamos de junções com as tabelas de Sensor e Leitura para conectar os pontos hidrológicos aos seus sensores e às leituras correspondentes, utilizando de chaves compostas para essa segunda. Em seguida, tem-se uma filtragem que restringe a busca apenas a pontos do tipo 'Rio' e sensores de 'Nível de Água', considerando somente os dados coletados no último ano. Por fim, a lista final é ordenada de maneira decrescente pela média do nível da água e pela quantidade de leituras, apresentando na resposta apenas os 5 pontos com as maiores médias registradas.

- Consulta 02: Bueiros com muitas manutenções e ainda com alagamentos fortes depois da última manutenção.

```

WITH manutencao_bueiro AS (
    SELECT
        m.Bueiro                AS ponto_bueiro,
        COUNT(*)                 AS qtd_manutencoes,
        MAX(m.Data_Hora)         AS ultima_manutencao
    FROM Manutencao m
    WHERE m.Data_Hora >= NOW() - INTERVAL '6 months'
    GROUP BY m.Bueiro
)
SELECT
    b.Ponto_Hidrologico      AS bueiro,
    mb.qtd_manutencoes,
    mb.ultima_manutencao,
    COUNT(a.Data_Hora)         AS qtd_alagamentos_pos
FROM manutencao_bueiro mb
JOIN Bueiro b
    ON b.Ponto_Hidrologico = mb.ponto_bueiro
LEFT JOIN Alagamento a
    ON a.Ponto_Hidrologico = b.Ponto_Hidrologico
    AND a.Data_Hora > mb.ultima_manutencao
    AND a.Severidade >= 7
GROUP BY
    b.Ponto_Hidrologico,
    mb.qtd_manutencoes,
    mb.ultima_manutencao
HAVING
    mb.qtd_manutencoes >= 2
    AND COUNT(a.Data_Hora) > 0
ORDER BY
    mb.qtd_manutencoes DESC,
    qtd_alagamentos_pos DESC;

```

Nessa consulta, definimos uma tabela temporária para agrupar as manutenções de bueiros dos últimos 6 meses, calculando a quantidade total de serviços e a data da última intervenção. Para isso, utilizamos de junções com as tabelas de Bueiro e Alagamento, para identificar, respectivamente, o bueiro em questão e se ocorreram alagamentos de alta gravidade (severidade maior ou igual a 7) após a data da última manutenção registrada. Por fim, a lista final é filtrada para exibir apenas bueiros que receberam pelo menos duas

manutenções e voltaram a alagar, sendo ordenada de maneira decrescente pela frequência de manutenções e reincidência de problemas.

- Consulta 03: Desempenho da defesa civil: alertas respondidos e tempo médio de resposta.

```
WITH primeira_acao_dc AS (
    SELECT
        r.Id_defesacivil,
        r.Id_alerta,
        MIN(r.Data_Hora) AS primeira_acao_dc
    FROM Relatorio_de_Acao_DC r
    GROUP BY
        r.Id_defesacivil,
        r.Id_alerta
)
SELECT
    dc.Usuario AS id_defesa_civil,
    dc.Nome,
    COUNT(DISTINCT p.Id_alerta) AS qtd_alertas_respondidos,
    AVG(p.primeira_acao_dc - a.Data_Hora) AS tempo_medio_resposta
FROM Defesa_Civil dc
JOIN primeira_acao_dc p
    ON p.Id_defesacivil = dc.Usuario
JOIN Alerta_de_Acao a
    ON a.Data_Hora = p.Id_alerta
GROUP BY
    dc.Usuario,
    dc.Nome
ORDER BY
    qtd_alertas_respondidos DESC,
    tempo_medio_resposta;
```

Nessa consulta, definimos uma tabela temporária para encontrar a data e hora da primeira ação registrada por cada unidade da defesa civil para cada alerta específico. Para isso, utilizamos de junções com as tabelas de Defesa Civil e Alerta de Ação para obter a identificação do agente responsável e o horário exato em que o alerta original foi emitido, a quantidade total de alertas distintos respondidos e a média do tempo de resposta (diferença entre o horário do alerta e a primeira ação). Por fim, a lista final é agrupada por agente e

ordenada de maneira decrescente pelo volume de atendimentos e, em seguida, pelo tempo médio de resposta.

- Consulta 04: Alertas de ação que já possuem relatório da equipe de manutenção e da defesa civil.

```
WITH em AS (
    SELECT
        Id_alerta,
        COUNT(*) AS qtd_em,
        MIN(Data_Hora) AS primeira_acao_em
    FROM Relatorio_de_Acao_EM
    GROUP BY Id_alerta
),
dc AS (
    SELECT
        Id_alerta,
        COUNT(*) AS qtd_dc,
        MIN(Data_Hora) AS primeira_acao_dc
    FROM Relatorio_de_Acao_DC
    GROUP BY Id_alerta
)
SELECT
    a.Data_Hora AS id_alerta,
    a.Conteudo_da_Mensagem,
    a.Status_da_Resposta,
    em.qtd_em,
    dc.qtd_dc,
    em.primeira_acao_em,
    dc.primeira_acao_dc,
    LEAST(em.primeira_acao_em, dc.primeira_acao_dc) - a.Data_Hora AS tempo_resposta
FROM Alerta_de_Acao a
LEFT JOIN em ON em.Id_alerta = a.Data_Hora
LEFT JOIN dc ON dc.Id_alerta = a.Data_Hora
ORDER BY a.Data_Hora DESC;
```

Nessa consulta, definimos duas tabelas temporárias para contabilizar separadamente as ações realizadas pelas equipes de manutenção (EM) e pela defesa civil (DC), identificando a quantidade de intervenções e o horário da primeira resposta de cada setor. Para isso, utilizamos de junção à esquerda com a tabela de Alerta de Ação para conectar cada aviso emitido aos seus respectivos dados operacionais, garantindo que mesmo os alertas que ainda não obtiveram resposta de nenhuma equipe sejam listados. Também calculamos o tempo de reação global a partir da diferença entre o horário do alerta e a primeira ação registrada por qualquer uma das equipes (usando a função LEAST para pegar a mais antiga). Por fim, a lista

final é ordenada de maneira decrescente pela data e hora do alerta, priorizando a exibição das ocorrências mais recentes.

- Consulta 05: Defesa civil que monitora todos os pontos que possuem sensor pluviométrico.

```
SELECT
    dc.Usuario,
    dc.Nome
FROM Defesa_Civil dc
WHERE NOT EXISTS (
    SELECT 1
    FROM Ponto_Hidrologico ph
    JOIN Sensor s
        ON s.Ponto_Hidrologico = ph.Localizacao_Geografica
    WHERE s.Tipo = 'Pluviométrico'
        AND NOT EXISTS (
            SELECT 1
            FROM Monitora m
            WHERE m.Ponto_Hidrologico = ph.Localizacao_Geografica
                AND m.Defesa_Civil      = dc.Usuario
        )
);
```

Nessa consulta, utilizamos da Divisão Relacional por meio de duas cláusulas NOT EXISTS aninhadas, testando uma condição de totalidade. Com isso, temos o conjunto de todos os sensores classificados como 'Pluviométrico' associados aos pontos hidrológicos. Além disso, fizemos junções e correlações com as tabelas de Ponto Hidrológico, Sensor e Monitora para verificar, para cada agente, se existe algum sensor pluviométrico que ele *não* esteja monitorando. Por fim, a lista final apresenta os dados de identificação dos agentes que monitoram todos os sensores pluviométricos cadastrados no sistema.

### 4.3 Conclusão