

Állida R. S. Faial
João Vitor Pardo

Projeto de Engenharia

Software Analise Incrustacao de Amostras de Salmouras

Problema

O que são incrustações?

Precipitação de sais minerais insolúveis (ex.: calcita, barita, sílica) em tubulações, válvulas e reservatórios.

Resultam da mistura de diferentes águas com composições incompatíveis (água de formação × água de injeção).



Impacto

1

Obstrução de linhas de produção e injeção.

3

Necessidade de intervenções caras e paradas de produção.

2

Perda de eficiência de bombeio e recuperação.

4

Comprometimento da integridade dos poços e equipamentos.

Soluções

1 Tratamentos químicos preventivos (inibidores)

2 Monitoramento laboratorial de salmouras.

3 Simulações computacionais para prever condições de risco.

Simulador

- ➔ Prever quais sais podem precipitar em determinada condição.
 - ➔ Apoiar decisões sobre tratamentos químicos e controle de fluxo.
 - ➔ Reduzir custos operacionais e aumentar segurança e eficiência.
-

O que foi feito:

01

Desenvolvimento de um simulador em C++ para prever a precipitação de sais em amostras de salmoura.

02

Estrutura modular com classes bem definidas para íons, sais e condições termodinâmicas.

03

Saída informativa: nome do sal, produto iônico (Q), valor de K_{ps} e status de precipitação.

Sobre o software:

- Automatizar o cálculo de produto iônico (Q) para diferentes sais.
 - Verificar se ocorre precipitação com base nos dados da salmoura e Kps dos sais.
 - Criar base de dados reutilizável de íons e sais.
 - Facilitar testes sob diferentes pressões e temperaturas.
-

Arquitetura e Diagrama de Classes:

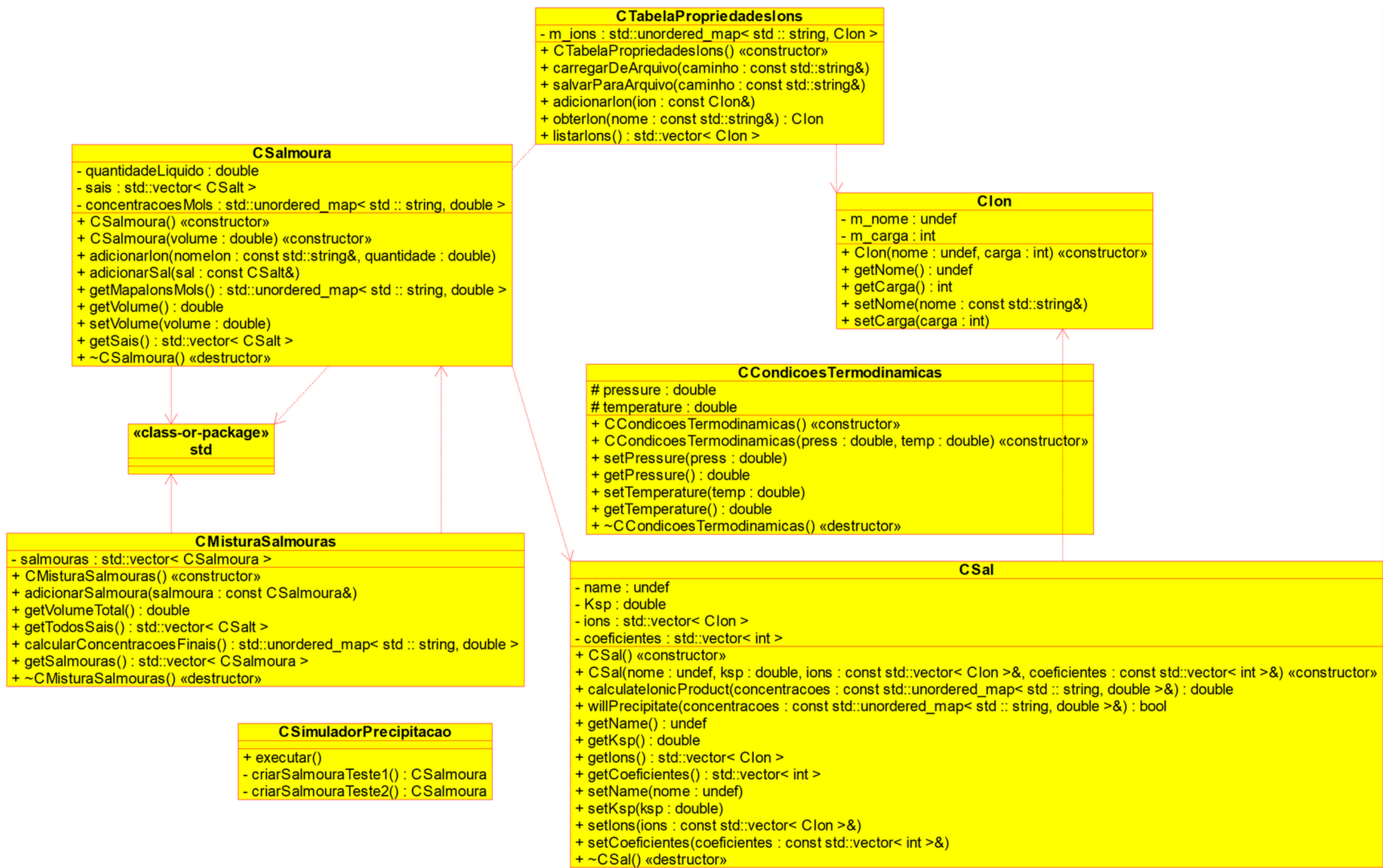


Diagrama Caso de Uso:

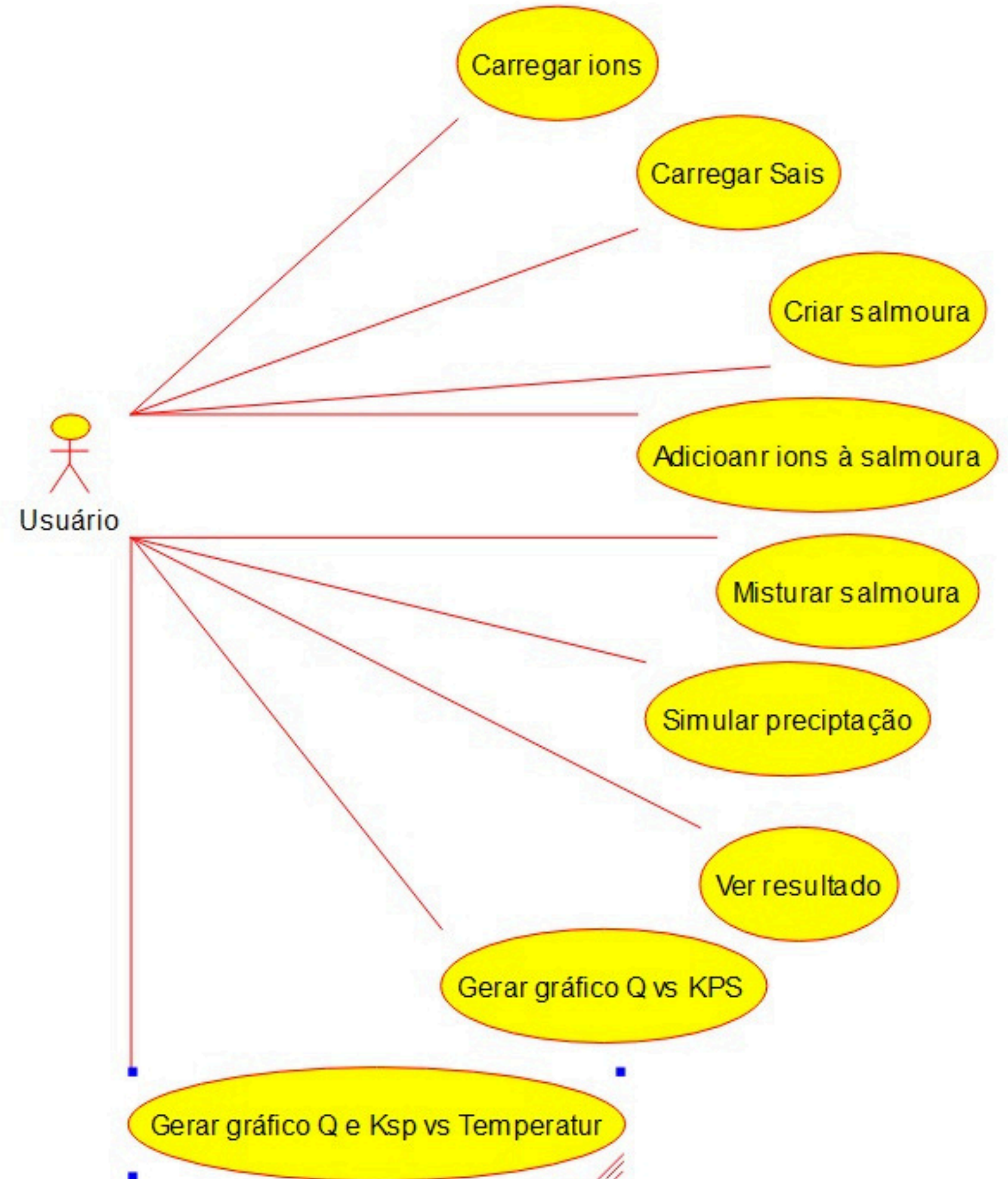
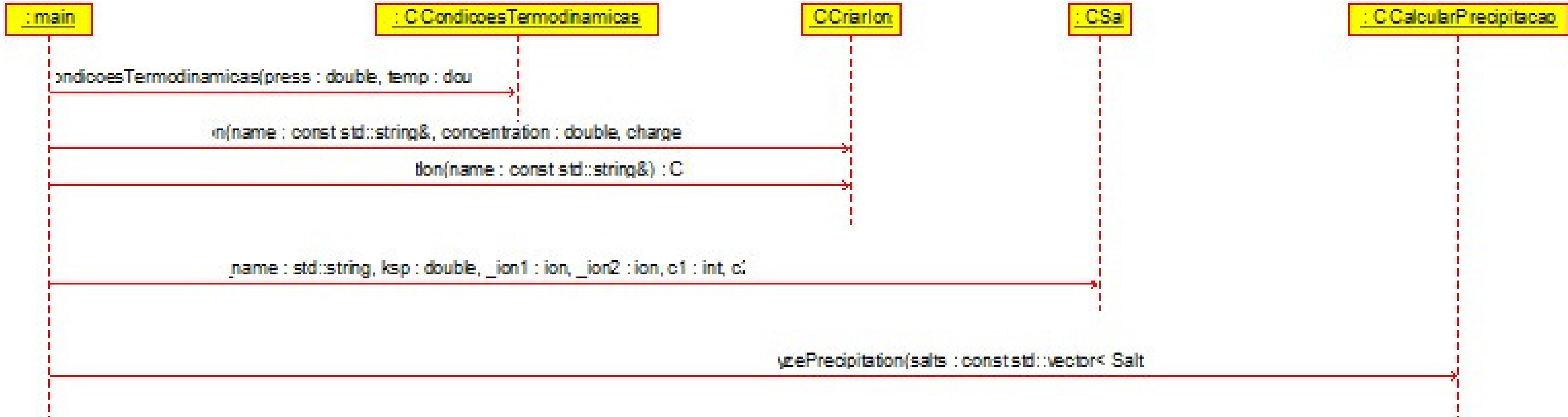


Diagrama Caso de Uso:



Passo a passo:

Selecionar banco de dados: tabela de íons

```
Selecione o arquivo de ions:  
[1] salmoura_calcita.txt  
[2] salmoura_exemplo.txt  
[3] salmoura_todos_ions.txt  
[4] tabela_ions.txt  
[5] tabela_sais_tabs.txt  
Digite o numero do arquivo desejado: 4
```

Passo a passo:

Selecionar banco de dados: tabela de sais

```
Selecione o arquivo de sais:  
[1] salmoura_calcita.txt  
[2] salmoura_exemplo.txt  
[3] salmoura_todos_ions.txt  
[4] tabela_ions.txt  
[5] tabela_sais_tabs.txt  
Digite o numero do arquivo desejado: 5  
Quantas salmouras deseja adicionar? 1
```

Passo a passo:

Adicionar condições termodinâmicas da Salmoura.

```
--- Salmoura 1 ---  
Volume (L): 10  
Temperatura (K): 270  
Pressao (atm): 500
```

Passo a passo:

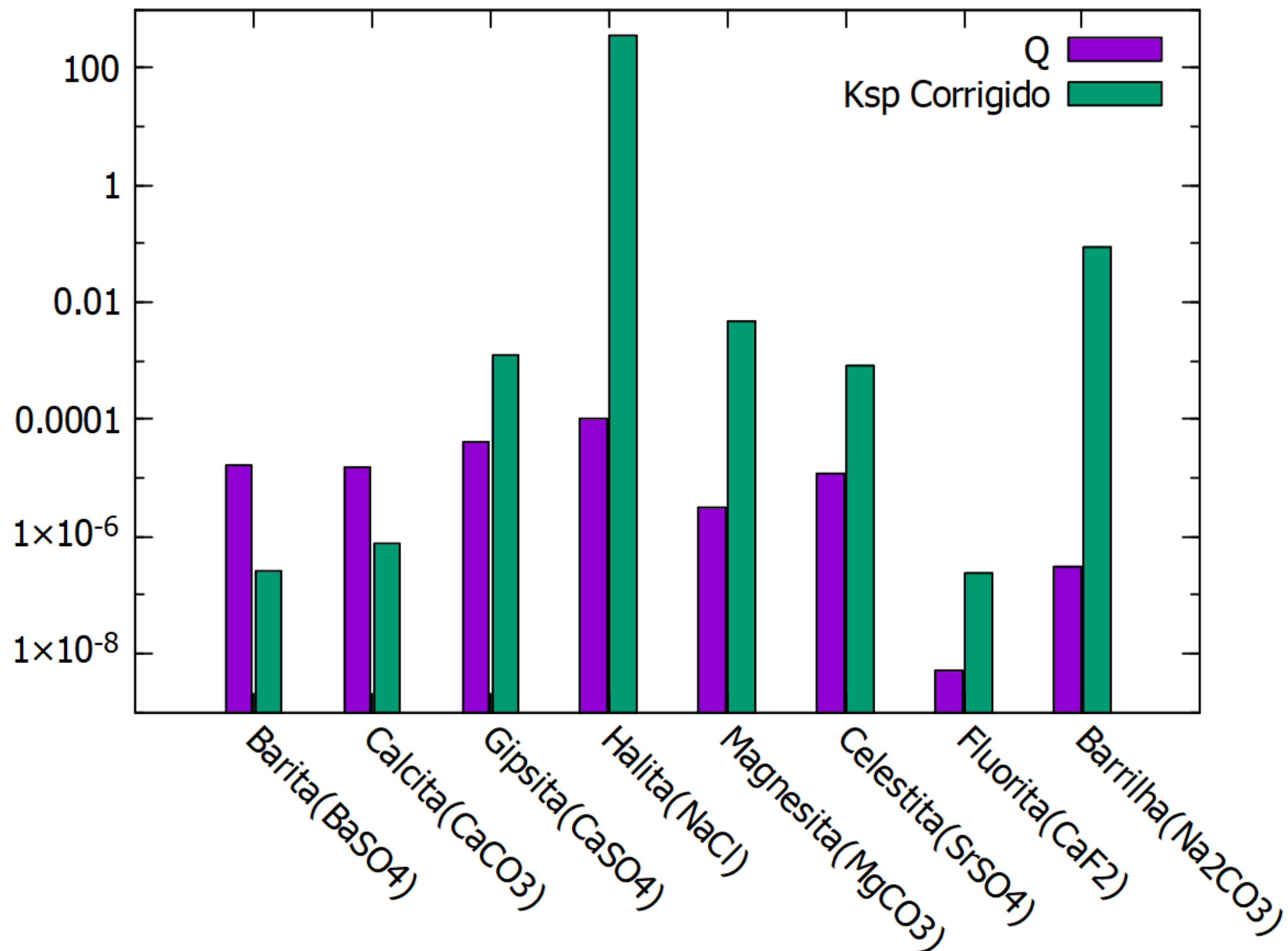
Salmoura enviada pela Operadora (Petrobras)

Tabela 1. Composição típica da salmoura do FPSO Cidade de Angra dos Reis

Constituinte (mg/L)	
Sódio	31824
Potássio	2067
Magnésio	791
Cálcio	2612
Bário	7
Estrôncio	706
Cloreto	54337
Brometo	262
Bicarbonato	3292
Acetato	269
Sulfato	673
pH (cátions) a 20°C	5.00 - 8.00
pH (ânions) a 20°C	7.16

Passo a passo:

Selecionar o arquivo com os íons da Salmoura enviado pela Operadora (Petrobras)



**Produto Ionico
da Salmoura (Q)**

**Constante de
solubilidade do sal
(valor limite para Q) =
Kps**

$Q > Kps \rightarrow$ a solução está supersaturada, e o excesso de íons forma um precipitado sólido.

$Q = Kps \rightarrow$ a solução está em equilíbrio (saturada).

$Q < Kps \rightarrow$ todos os íons permanecem dissolvidos (solução insaturada).

Passo a passo:

Resultado Salmoura Petrobras

==== Resultados ====

Sal: Barita(BaSO_4) | $Q = 1.6\text{e-}05$ | $K_{sp_corrigido} = 2.84367\text{e-}06$ | $T(K) = 250$

Barita(BaSO_4) - PRECIPITA

Sal: Calcita(CaCO_3) | $Q = 1.5\text{e-}05$ | $K_{sp_corrigido} = 4.01593\text{e-}06$ | $T(K) = 250$

Calcita(CaCO_3) - PRECIPITA

Sal: Gipsita(CaSO_4) | $Q = 4\text{e-}05$ | $K_{sp_corrigido} = 0.00404866$ | $T(K) = 250$

Gipsita(CaSO_4) - estavel

Sal: Halita(NaCl) | $Q = 0.0001$ | $K_{sp_corrigido} = 716.876$ | $T(K) = 250$

Halita(NaCl) - estavel

Sal: Magnesita(MgCO_3) | $Q = 3\text{e-}06$ | $K_{sp_corrigido} = 0.0379631$ | $T(K) = 250$

Magnesita(MgCO_3) - estavel

Sal: Celestita(SrSO_4) | $Q = 1.2\text{e-}05$ | $K_{sp_corrigido} = 0.00984223$ | $T(K) = 250$

Celestita(SrSO_4) - estavel

Sal: Fluorita(CaF_2) | $Q = 5\text{e-}09$ | $K_{sp_corrigido} = 3.98552\text{e-}06$ | $T(K) = 250$

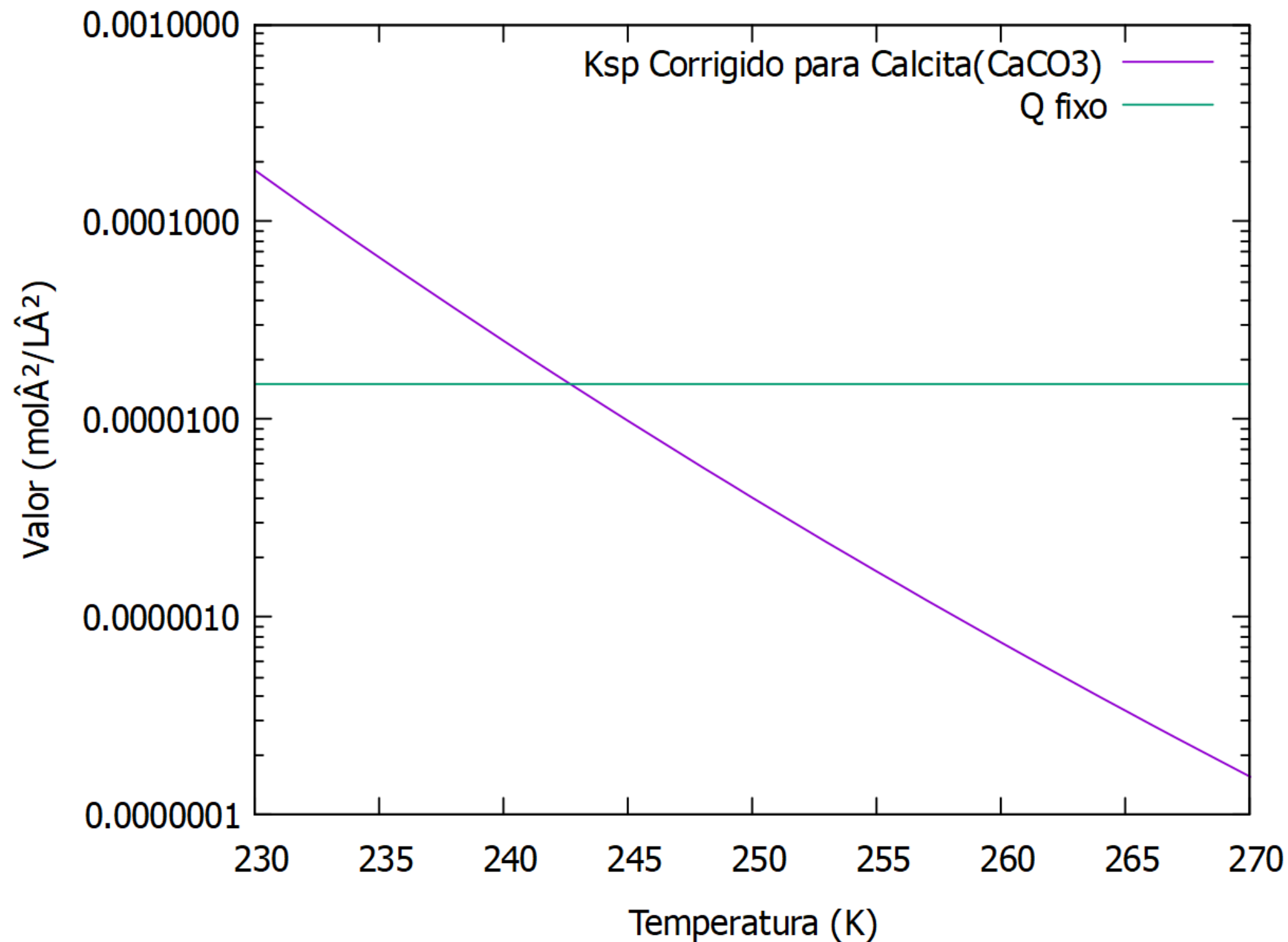
Fluorita(CaF_2) - estavel

Sal: Barrilha(Na_2CO_3) | $Q = 3\text{e-}07$ | $K_{sp_corrigido} = 0.152298$ | $T(K) = 250$

Barrilha(Na_2CO_3) - estavel

Passo a passo:

Selecionar o arquivo com os íons da Salmoura enviado pela Operadora (Petrobras)



👉 $Q < K_{ps} \rightarrow$ a solução é estável (não ocorre precipitação).

👉 $Q > K_{ps} \rightarrow$ a solução está supersaturada, logo ocorre precipitação de calcita.

Conclusões

1

Kps é ajustado com a temperatura, permitindo:

- Identificar faixa de temperatura crítica onde ocorre precipitação.
- Determinar se o sal é favorecido por temperaturas altas ou baixas.

2

Na indústria do petróleo:

- Fundamental para prevenir incrustações em risers, tubulações e válvulas.
- Reduz riscos de entupimento, falhas operacionais e custos de manutenção.

3

Em operações offshore:

- As variações de temperatura com a profundidade tornam o uso do Kps corrigido indispensável.
-

Conclusão

O software serve como ferramenta de apoio à decisão:
Permite planejar ações preventivas (inibidores, controle térmico, ajustes operacionais).

Obrigado!

Állida Faial João

Vitor Pardo
