

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

PROJETO ENGENHARIA
MANUAL DO USUÁRIO DO SOFTWARE
Análise Incrustação Amostra de Salmoura
TRABALHO DA DISCIPLINA PROGRAMAÇÃO PRÁTICA
PROJETO ENGENHARIA

Versão 1:
AUTORES Allida Faial e João Vitor Pardo

Versão 2:
AUTORES
Prof. André Duarte Bueno

MACAÉ - RJ

Junho - 2025

Sumário

I Manual do Usuário

ANALISE INCRUSTAÇÃO AMOSTRA DE SALMOURA	5
1 Instalação	6
1.1 Baixando o software	6
1.2 Dependências	6
2 Interface Gráfica	7
2.1 A Interface Gráfica Geral	7
2.2 Funcionalidade do Software	9
2.2.1 Documento Salmoura Exemplo	9
2.2.2 Documento Tabela Ions	9
2.2.3 Tabela informações Sais	9
2.3 Saida de resultados	9
2.3.1 Precipitação dos sais	9
2.3.2 Gráficos	9
3 Exemplos de Uso	16
3.1 Estrutura de Arquivos	16
3.2 Selecionar o arquivo de íons disponíveis	18
3.3 Selecionar o arquivo de sais disponíveis	18
3.4 Informar quantas salmouras serão misturadas	20
3.5 Inserir dados do cenário	20
3.6 Calculo da Precipitação	20
3.7 Visualização gráfica (Q vs Ksp)	20
4 Contatos	28

Lista de Figuras

2.1	Imagem da Interface Gráfica	8
2.2	Imagem Exemplo Salmoura.	10
2.3	Imagem Tabela Ion.	11
2.4	Tabela Sais.	12
2.5	Resultado Software.	12
2.6	Gráfico de Incrustação.	14
2.7	Gráfico Limite Incrustação.	15
3.1	Início do Software	17
3.2	Documento Íon.	18
3.3	Documento Salmoura.	19
3.4	Quantidade de salmoura adicionada.	21
3.5	Condições termodinâmica	22
3.6	Resultado Precipitação	23
3.7	Resultado Precipitação Gráfico	24
3.8	Condições que o sal se precipita	25
3.9	Sal específico precipitado	27

Lista de Tabelas

Parte I

Manual do Usuário

ANALISE INCRUSTAÇÃO AMOSTRA DE SALMOURA

Capítulo 1

Instalação

A seguir instruções para instalação do software.

1.1 Baixando o software

O software foi disponibilizado no site <https://github.com/ldsc/ProjetoEngenharia-SoftwareAnaliseEncrustacaoAmostrasSalmouras.git>.

Lá você encontra instruções atualizadas para baixar e instalar.

1.2 Dependências

Para compilar o software é necessário atender as seguintes dependências:

- Instalar o compilador `g++` da GNU disponível em <http://gcc.gnu.org>.
 - Para instalar no GNU/Linux use o comando `dnf install gcc`.
- Instalar a biblioteca Qt disponível em <https://www.qt.io/download>.

Capítulo 2

Interface Gráfica

2.1 A Interface Gráfica Geral

A interface do programa é apresentada na Figura 2.1.

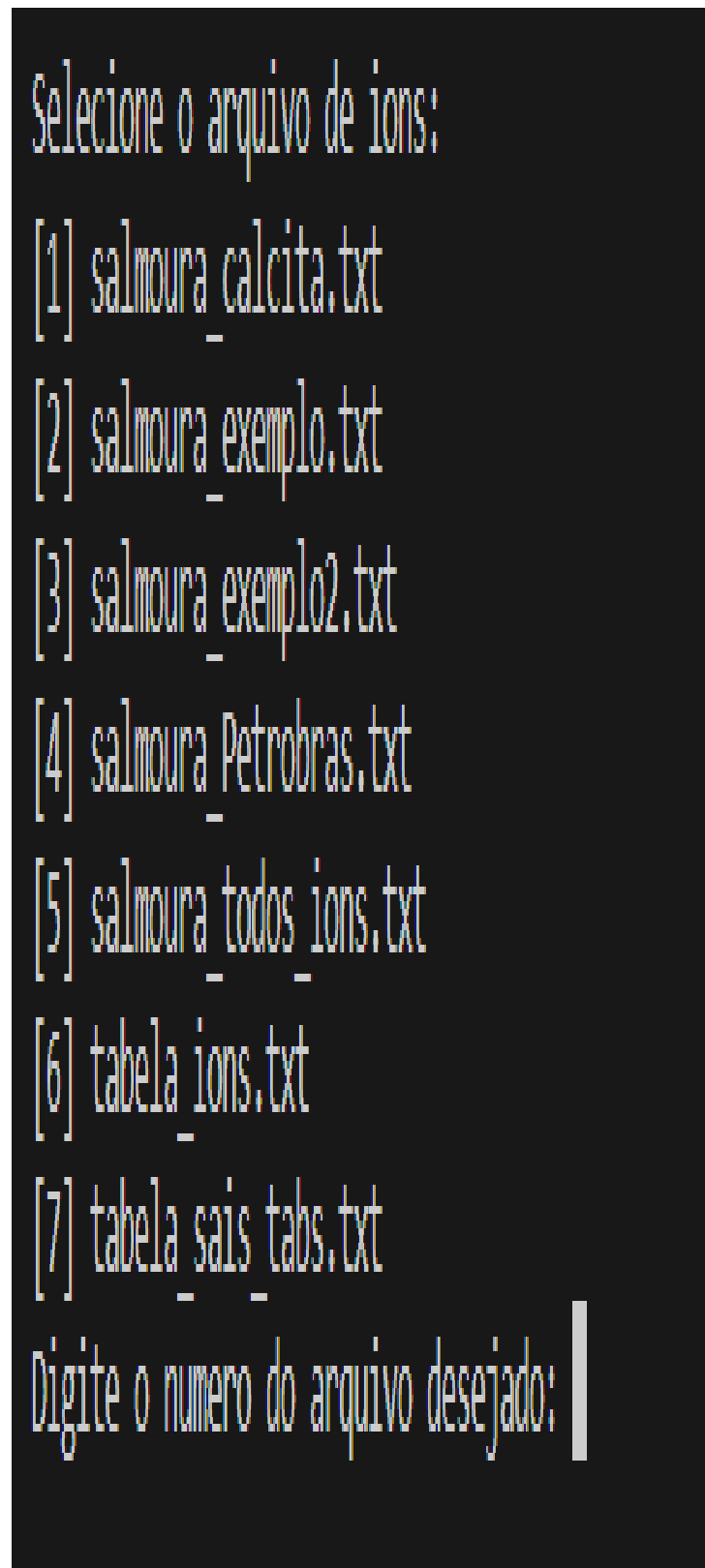


Figura 2.1: Imagem da Interface Gráfica

O Figura 2.1 mostra a janela principal do software e foram listadas grupos de funcionalidades importantes ao usuário.

- Selecionar a salmoura que será analisada

- Selecionar os Ions que estarão presente na salmoura
- Imputar as condições termodinâmicas (Pressão e Temperatura)
- Verificar quais Ions irão precipitar

2.2 Funcionalidade do Software

Nesse tópico será descrito as funcionalidades do software

2.2.1 Documento Salmoura Exemplo

Os dados da salmoura são lidos no documento “salmoura_exemplo.txt” 2.2. Caso o usuário queira criar uma nova salmoura, precisar colocar os Sais da salmoura nesse documento.

2.2.2 Documento Tabela Ions

Os dados dos ions são lidos no documento “tabela_ions.txt” 2.3. Caso o usuário queira criar uma salmoura que tenha um Ion diferente, precisar colocar os Ions da salmoura nesse documento.

2.2.3 Tabela informações Sais

Os dados dos íons (como carga e K_{sp} e ΔH) são lidos no documento “tabela_sais_tabs.txt” 2.3. Caso o usuário queira criar uma salmoura que tenha um Ion diferente o usuário precisa adicionar o Ion com sua respectiva carga e K_{sp} nesse documento.

2.3 Saida de resultados

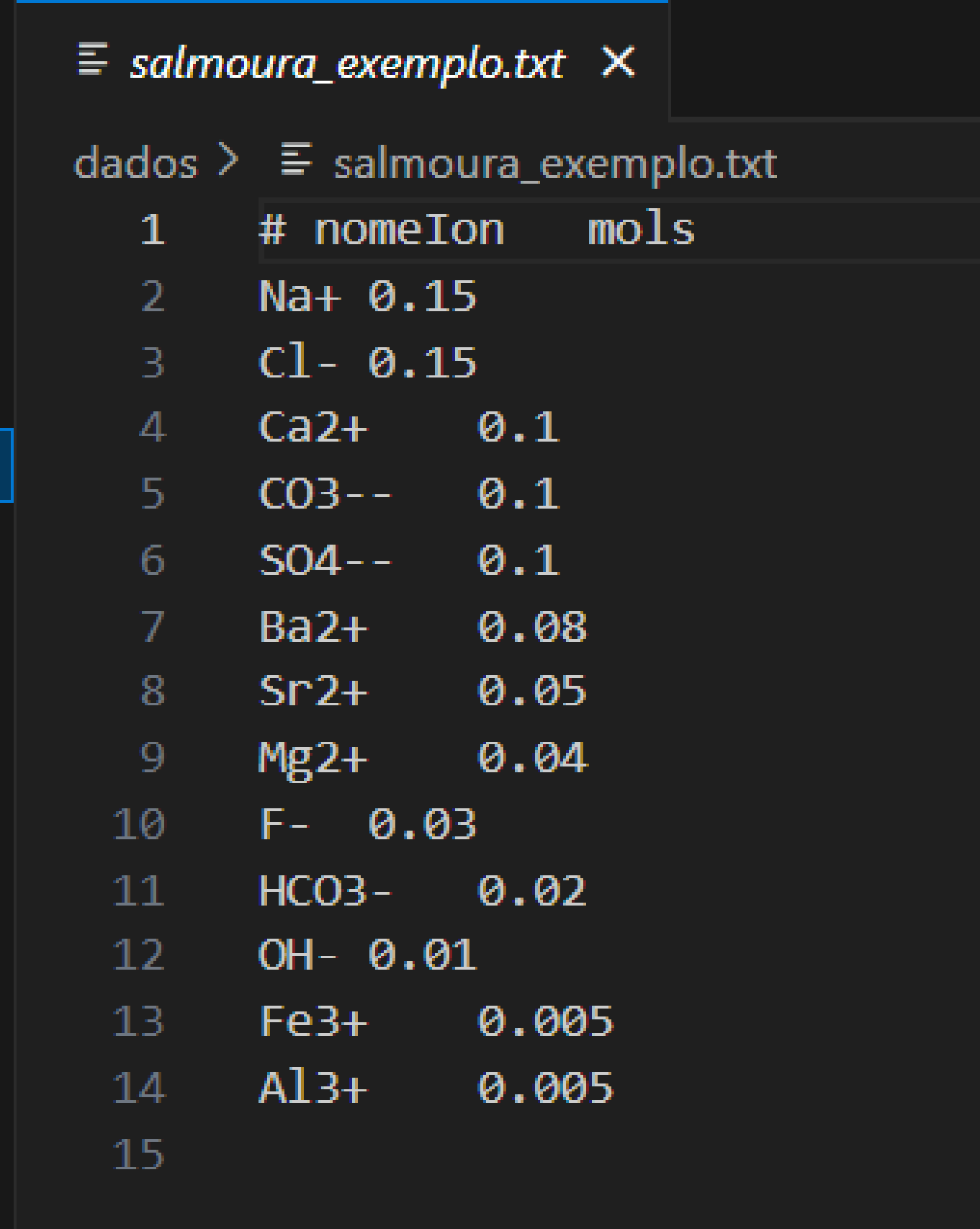
Após imputar todas as salmouras, ions, cargas, K_{sp} e ΔH o software irá mostrar as seguintes informações:

2.3.1 Precipitação dos sais

O software irá fornecedor informações separadas se os sais irão precipitar ou se manterá estável

2.3.2 Gráficos

O software irá mostrar a partir de gráficos qual o limite que será possível submeter essa salmoura sem que cada ela começa a incrustar

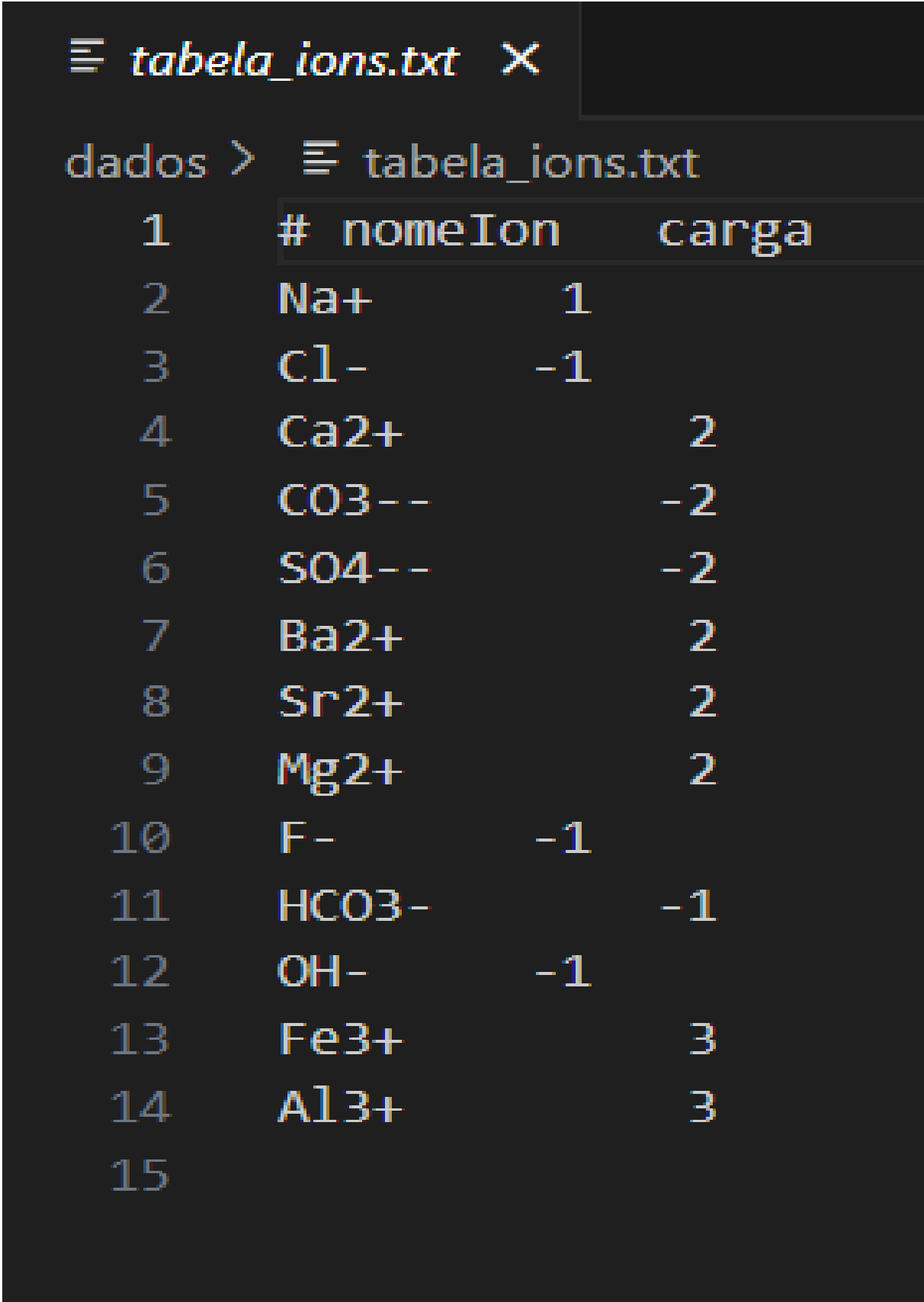


```
≡ salmoura_exemplo.txt X
```

dados > ≡ salmoura_exemplo.txt

1	# nomeIon	mols
2	Na+	0.15
3	Cl-	0.15
4	Ca2+	0.1
5	CO3--	0.1
6	SO4--	0.1
7	Ba2+	0.08
8	Sr2+	0.05
9	Mg2+	0.04
10	F-	0.03
11	HCO3-	0.02
12	OH-	0.01
13	Fe3+	0.005
14	Al3+	0.005
15		

Figura 2.2: Imagem Exemplo Salmoura.



#	nomeIon	carga
1	Na+	1
2	Cl-	-1
3	Ca2+	2
4	CO3--	-2
5	SO4--	-2
6	Ba2+	2
7	Sr2+	2
8	Mg2+	2
9	F-	-1
10	HCO3-	-1
11	OH-	-1
12	Fe3+	3
13	Al3+	3
14		
15		

Figura 2.3: Imagem Tabela Ion.

≡ *tabela_sais_tabs.txt* ✕

dados > ≡ *tabela_sais_tabs.txt*

1	#	nome	ksp_ref	deltaH	temp_ref	ions
2		Barita(BaSO4)	1.08e-10	-131000	298.15	Ba2+:1 SO4--:1
3		Calcita(CaCO3)	3.36e-9	-91200	298.15	Ca2+:1 CO3--:1
4		Gipsita(CaSO4)	2.4e-5	-66000	298.15	Ca2+:1 SO4--:1
5		Halita(NaCl)	36	-38500	298.15	Na+:1 Cl-:1
6		Magnesita(MgCO3)	6.82e-6	-111000	298.15	Mg2+:1 CO3--:1
7		Celestita(SrSO4)	3.2e-7	-133000	298.15	Sr2+:1 SO4--:1
8		Fluorita(CaF2)	3.2e-11	-151000	298.15	Ca2+:1 F-:2
9		Barrilha(Na2CO3)	1.6e-2	-29000	298.15	Na+:2 CO3--:1

Figura 2.4: Tabela Sais.

```

==== Resultados ====
Sal: Barita(BaSO4) | Q = 4.44444e-05 | Ksp_corrigido = 4.32186e-25 | T(K) = 800
Barita(BaSO4) - PRECIPITA
Sal: Calcita(CaCO3) | Q = 4.16667e-05 | Ksp_corrigido = 3.18321e-19 | T(K) = 800
Calcita(CaCO3) - PRECIPITA
Sal: Gipsita(CaSO4) | Q = 0.000111111 | Ksp_corrigido = 1.33777e-12 | T(K) = 800
Gipsita(CaSO4) - PRECIPITA
Sal: Halita(NaCl) | Q = 0.000277778 | Ksp_corrigido = 0.00211301 | T(K) = 800
Halita(NaCl) - estavel
Sal: Magnesita(MgCO3) | Q = 8.33333e-06 | Ksp_corrigido = 4.30687e-18 | T(K) = 800
Magnesita(MgCO3) - PRECIPITA
Sal: Celestita(SrSO4) | Q = 3.33333e-05 | Ksp_corrigido = 7.71941e-22 | T(K) = 800
Celestita(SrSO4) - PRECIPITA
Sal: Fluorita(CaF2) | Q = 2.31481e-08 | Ksp_corrigido = 8.1146e-28 | T(K) = 800
Fluorita(CaF2) - PRECIPITA
Sal: Barrilha(Na2CO3) | Q = 1.38889e-06 | Ksp_corrigido = 1.03952e-05 | T(K) = 800
Barrilha(Na2CO3) - estavel

```

Figura 2.5: Resultado Software.

1) Sais Precipitados

No gráfico 1.6 2.6o software mostra para o usuário todos os sais presentes na salmoura e também quais sais

2) Limite de Precipitação

No gráfico 1.7 o software mostra ao usuário o sal selecionado, qual será o limite das condições termodinâmicas que a salmoura pode ser submetida sem que precipite.

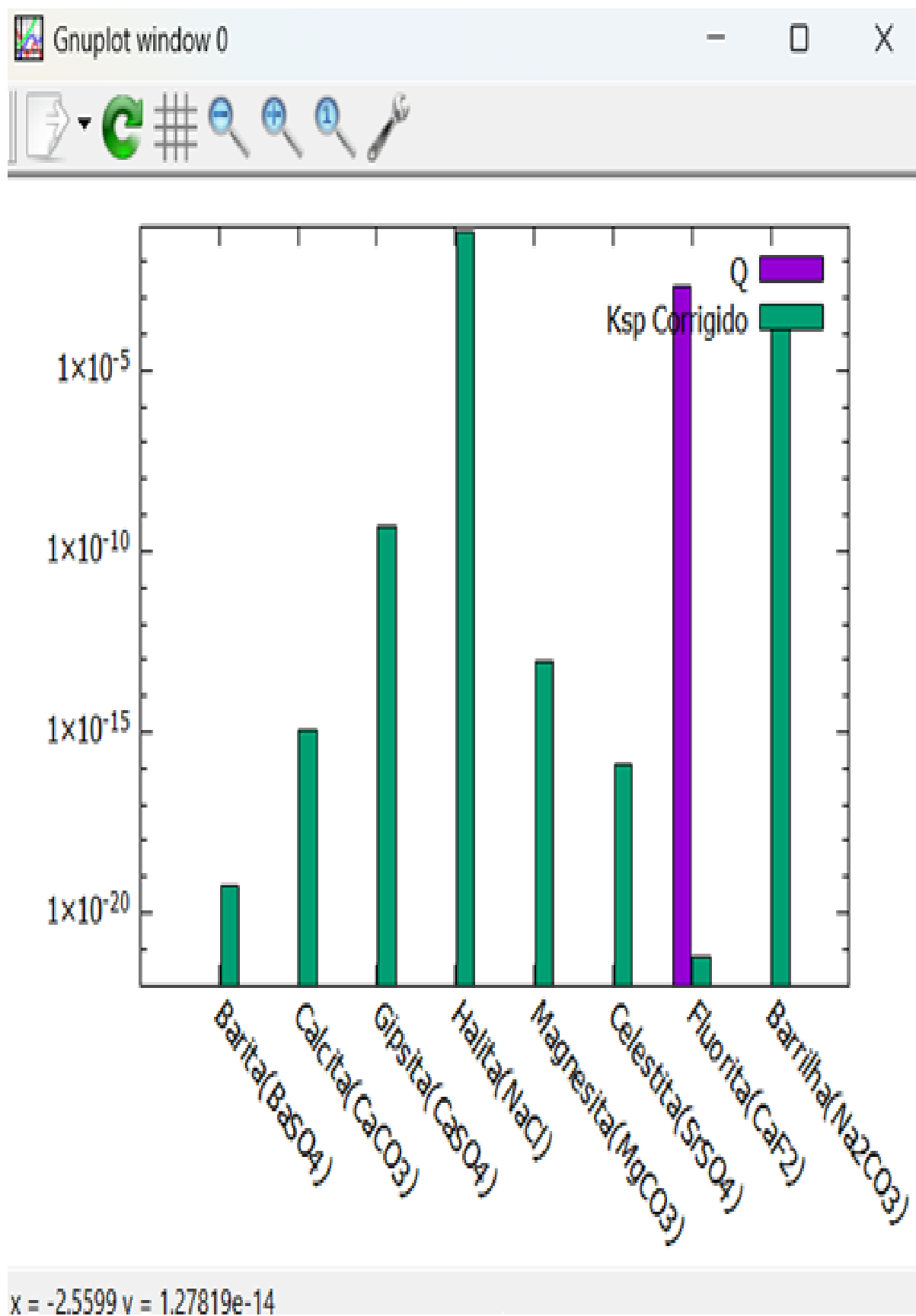


Figura 2.6: Gráfico de Incrustação.

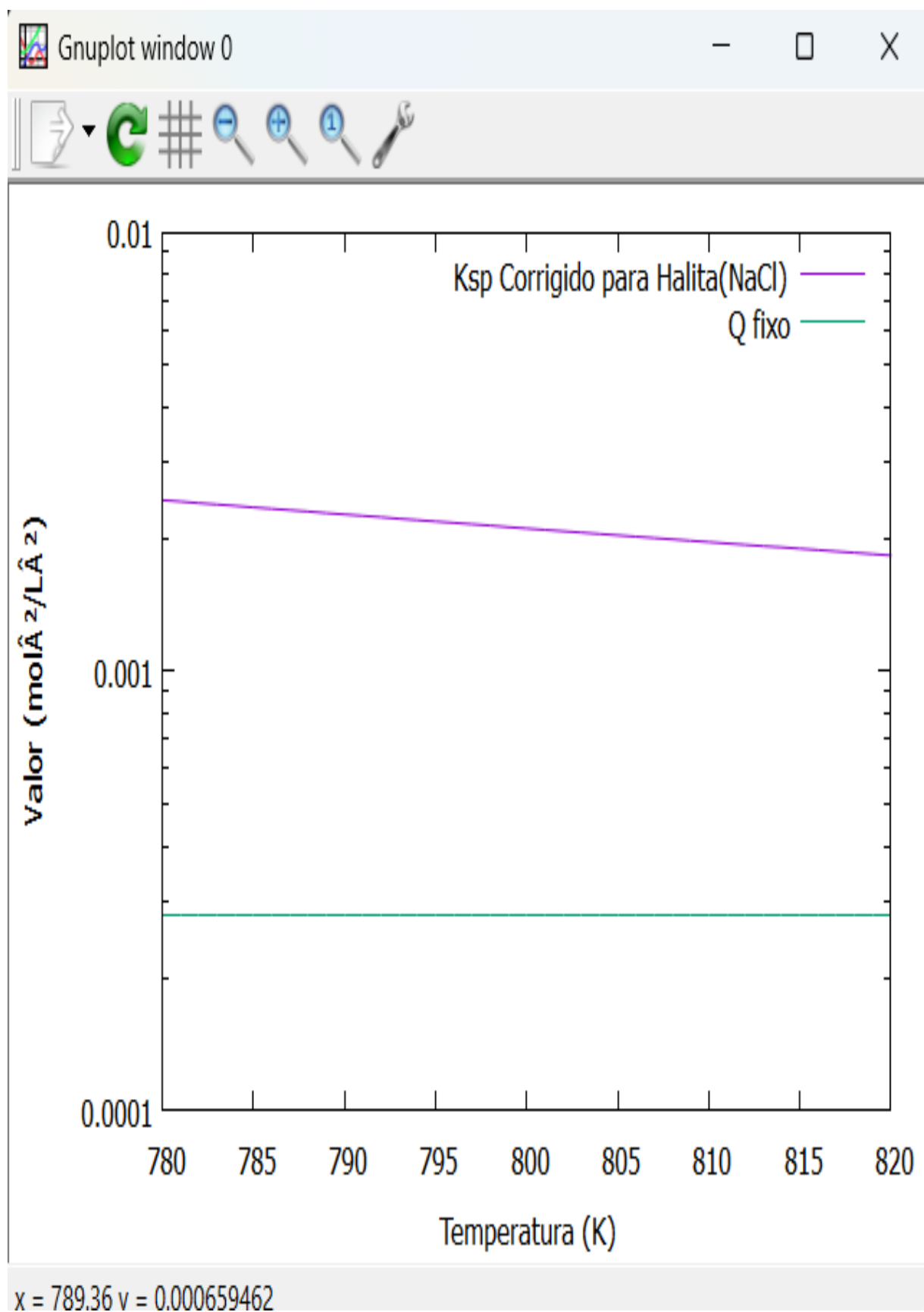


Figura 2.7: Gráfico Limite Incrustação.

Capítulo 3

Exemplos de Uso

Todo projeto de engenharia passa por uma etapa de testes. Neste capítulo apresentamos alguns testes do software desenvolvido. Estes testes devem dar resposta aos diagramas de caso de uso inicialmente apresentados (diagramas de caso de uso geral e específicos).

3.1 Estrutura de Arquivos

Antes de iniciar, verifique se você tem os arquivos necessários na pasta `./dados/`:

- Arquivos de íons: contêm os íons e suas concentrações para salmouras.
- Arquivos de sais: contêm os sais que podem precipitar, com seus dados de solubilidade.

Veja Figura 3.1.



Figura 3.1: Inicio do Software

3.2 Selecionar o arquivo de íons disponíveis

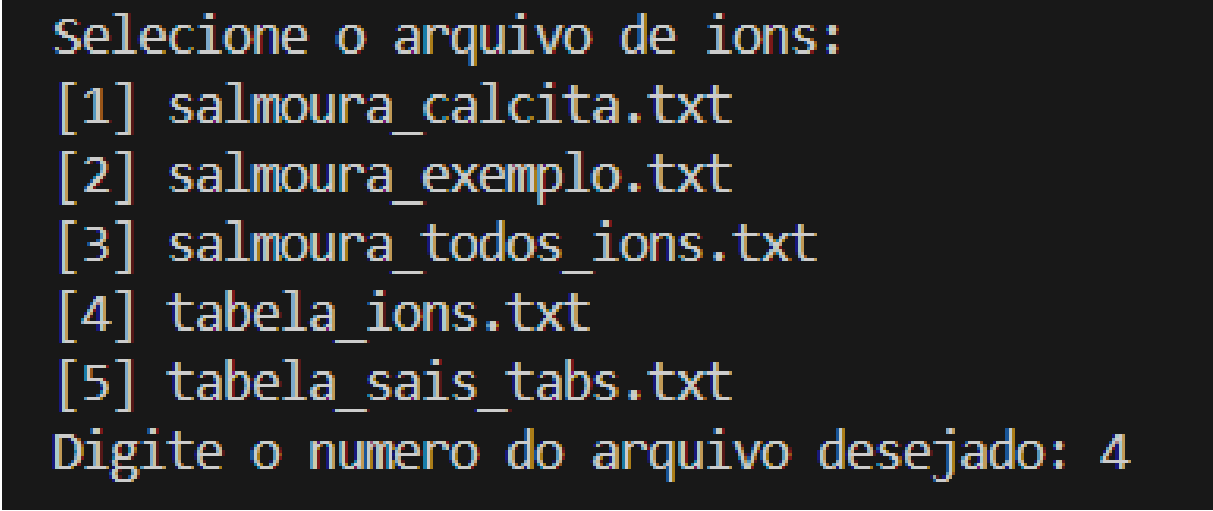
Para que serve?

Esse arquivo contém os íons disponíveis na biblioteca, que podem ser utilizados na formação de sais (ex: Ca^{2+} , SO_4^{2-}).

O software listará os arquivos .txt da pasta ./dados/.

Ação do usuário: digite o número do arquivo de íons 4.

Veja Figura 3.2.



```
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
```

Figura 3.2: Documento Íon.

3.3 Selecionar o arquivo de sais disponíveis

Esse arquivo lista os sais que podem precipitar, com seus valores de Kps, entalpia de dissolução (deltaP) e íons constituintes.

Exemplo:

Nome	Ksp	DeltaP	Temperatura	Ions	Carga
Barita(BaSO_4)	1.08e-10	-131000	298.15	Ba^{2+}	+2

Veja Figura 1.3 3.3.

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

3.4 Informar quantas salmouras serão misturadas

Ação do usuário: digite a quantidade de salmouras (ex: 1,2).

Veja Figura 1.4. 3.4.

3.5 Inserir dados do cenário

Para cada salmoura deve-se inserir as condições termodinâmica, o usuário deve informar:

- Volume (L): volume total da salmoura.
- Temperatura (K): temperatura em Kelvin.
- Pressão (atm): pressão da salmoura.

Veja Figura 1.5. 3.5.

3.6 Calculo da Precipitação

O programa calcula:

- As concentrações finais de cada íon.
- A temperatura média da mistura.
- O produto iônico Q e compara com o K_{sp} de cada sal.

Resultado:

- Se $Q > K_{sp}$: o sal precipita.
- Se $Q < K_{sp}$: o sal permanece dissolvido.

Veja Figura 1.6. 3.6.

3.7 Visualização gráfica (Q vs Ksp)

O programa plota:

- Um gráfico com o valor de Q K_{sp} para cada sal.

Veja Figura 1.7. 3.7.

Ação do usuário:

- Digitar o índice do sal desejado para ver o gráfico com variação de temperatura.

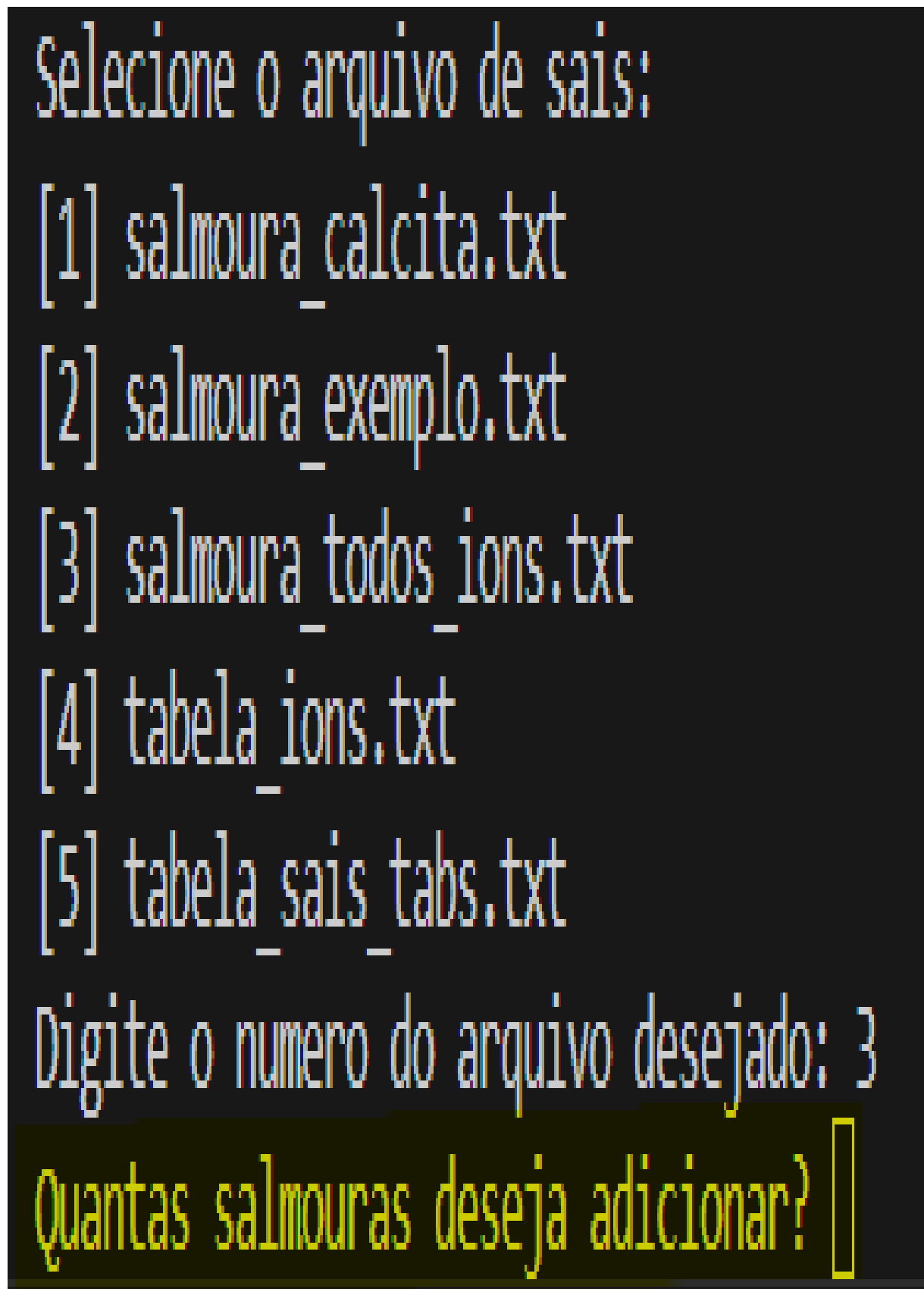


Figura 3.4: Quantidade de salmoura adicionada.

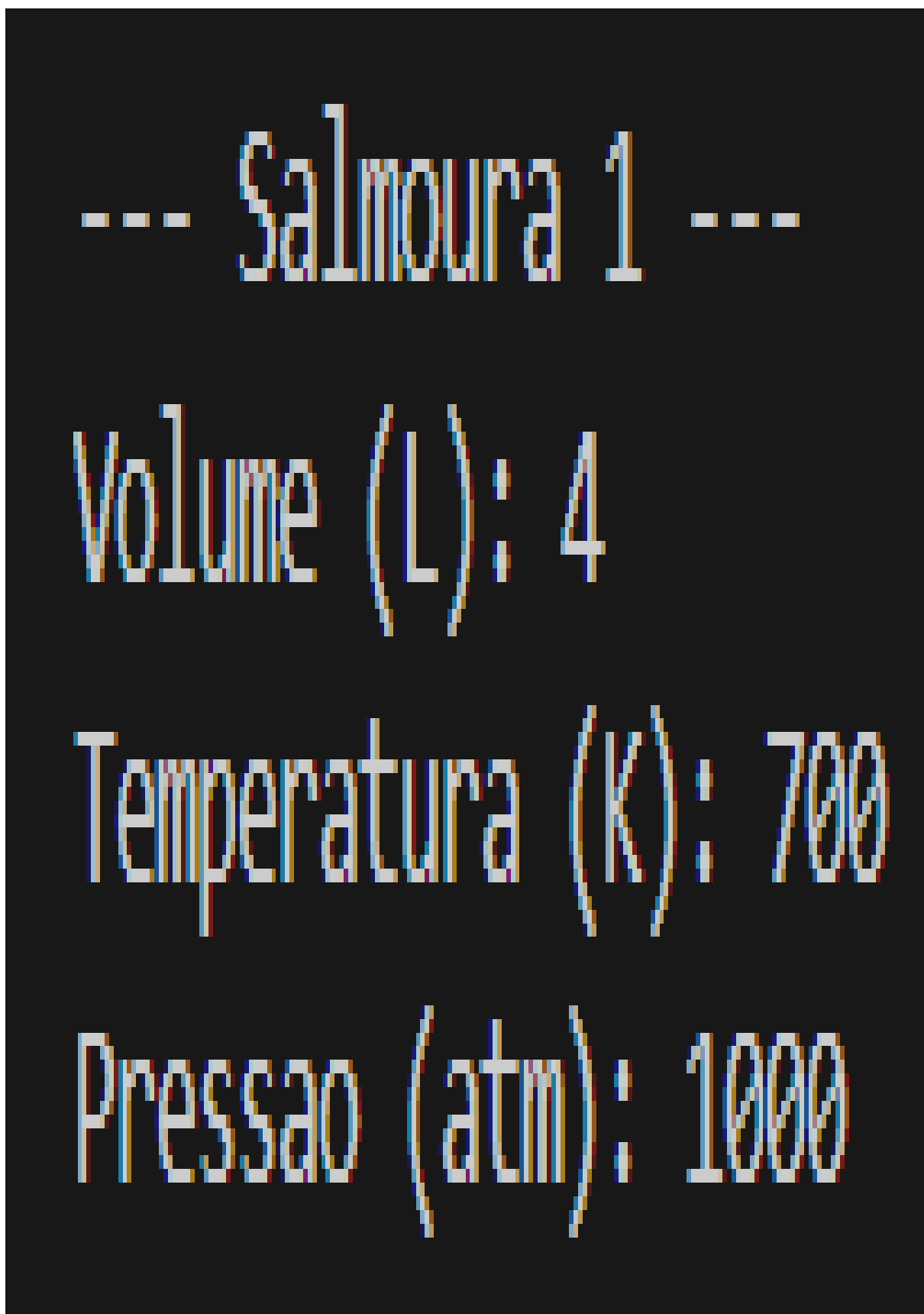


Figura 3.5: Condições termodinâmica

```
==== Resultados ====  
Sal: Barita(BaSO4) | Q = 8e-05 | Ksp_corrigido = 4.32186e-25 | T(K) = 800  
Barita(BaSO4) - PRECIPITA  
Sal: Calcita(CaCO3) | Q = 0.0001 | Ksp_corrigido = 3.18321e-19 | T(K) = 800  
Calcita(CaCO3) - PRECIPITA  
Sal: Gipsita(CaSO4) | Q = 0.0001 | Ksp_corrigido = 1.33777e-12 | T(K) = 800  
Gipsita(CaSO4) - PRECIPITA  
Sal: Halita(NaCl) | Q = 0.000225 | Ksp_corrigido = 0.00211301 | T(K) = 800  
Halita(NaCl) - estavel  
Sal: Magnesita(MgCO3) | Q = 4e-05 | Ksp_corrigido = 4.30687e-18 | T(K) = 800  
Magnesita(MgCO3) - PRECIPITA  
Sal: Celestita(SrSO4) | Q = 5e-05 | Ksp_corrigido = 7.71941e-22 | T(K) = 800  
Celestita(SrSO4) - PRECIPITA  
Sal: Fluorita(CaF2) | Q = 9e-08 | Ksp_corrigido = 8.1146e-28 | T(K) = 800  
Fluorita(CaF2) - PRECIPITA  
Sal: Barrilha(Na2CO3) | Q = 2.25e-06 | Ksp_corrigido = 1.03952e-05 | T(K) = 800  
Barrilha(Na2CO3) - estavel
```

Figura 3.6: Resultado Precipitação

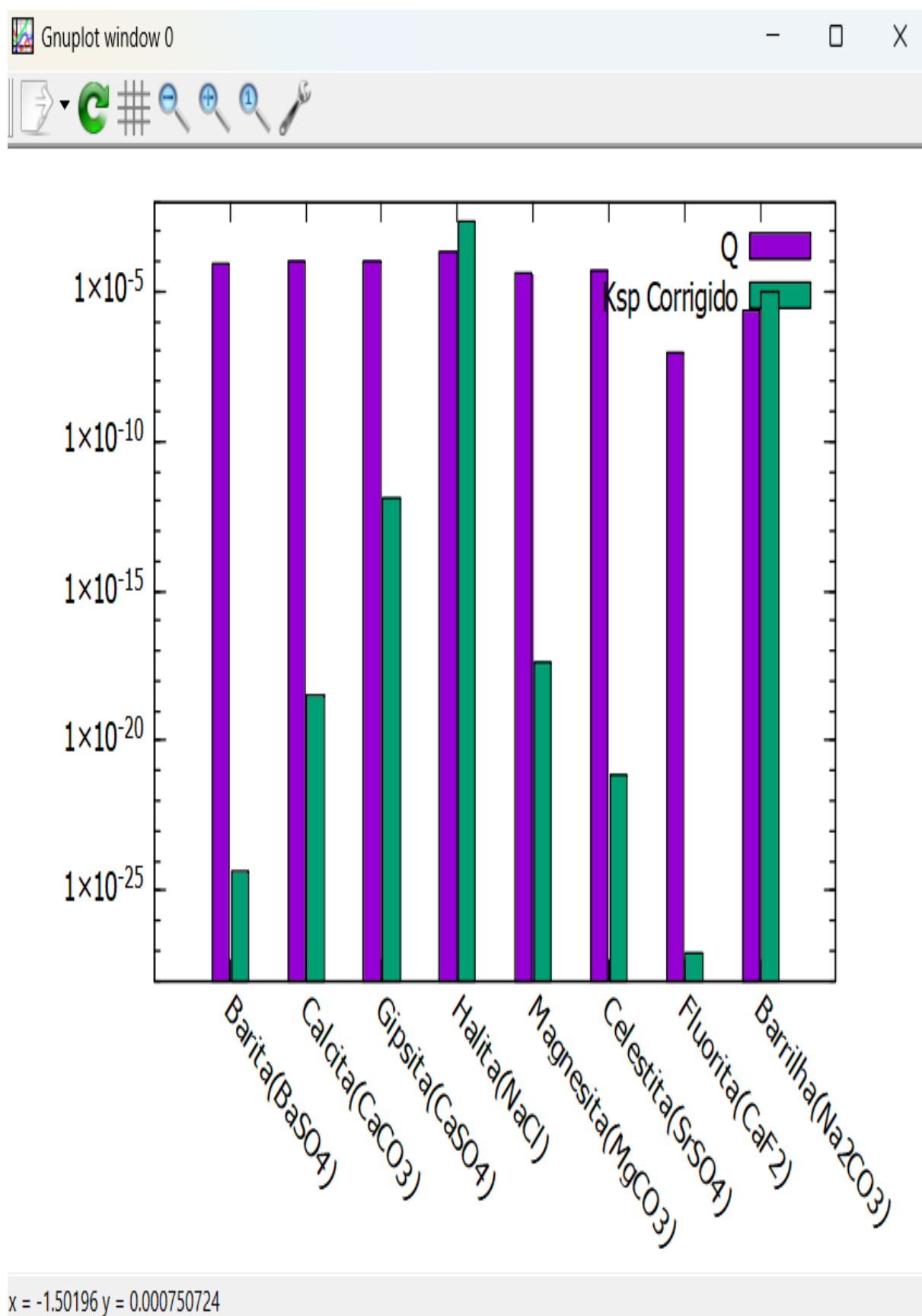


Figura 3.7: Resultado Precipitação Gráfico


```
==== Resultados ====  
Sal: Barita(BaSO4) | Q = 8e-05 | Ksp_corrigido = 4.32186e-25 | T(K) = 800  
Barita(BaSO4) - PRECIPITA  
Sal: Calcita(CaCO3) | Q = 0.0001 | Ksp_corrigido = 3.18321e-19 | T(K) = 800  
Calcita(CaCO3) - PRECIPITA  
Sal: Gipsita(CaSO4) | Q = 0.0001 | Ksp_corrigido = 1.33777e-12 | T(K) = 800  
Gipsita(CaSO4) - PRECIPITA  
Sal: Halita(NaCl) | Q = 0.000225 | Ksp_corrigido = 0.00211301 | T(K) = 800  
Halita(NaCl) - estavel  
Sal: Magnesita(MgCO3) | Q = 4e-05 | Ksp_corrigido = 4.30687e-18 | T(K) = 800  
Magnesita(MgCO3) - PRECIPITA  
Sal: Celestita(SrSO4) | Q = 5e-05 | Ksp_corrigido = 7.71941e-22 | T(K) = 800  
Celestita(SrSO4) - PRECIPITA  
Sal: Fluorita(CaF2) | Q = 9e-08 | Ksp_corrigido = 8.1146e-28 | T(K) = 800  
Fluorita(CaF2) - PRECIPITA  
Sal: Barrilha(Na2CO3) | Q = 2.25e-06 | Ksp_corrigido = 1.03952e-05 | T(K) = 800  
Barrilha(Na2CO3) - estavel  
Digite o indice do sal para visualizar Q x Ksp(T):
```

Figura 3.8: Condições que o sal se precipita

Veja Figura 1.8. 3.8.

Ação do usuário:

Digitar o índice do sal desejado para ver o gráfico com variação de temperatura.

- Um gráfico adicional opcional (Q fixo vs K_{sp} em função da temperatura), para o sal selecionado.

Veja Figura 1.9. 3.9.

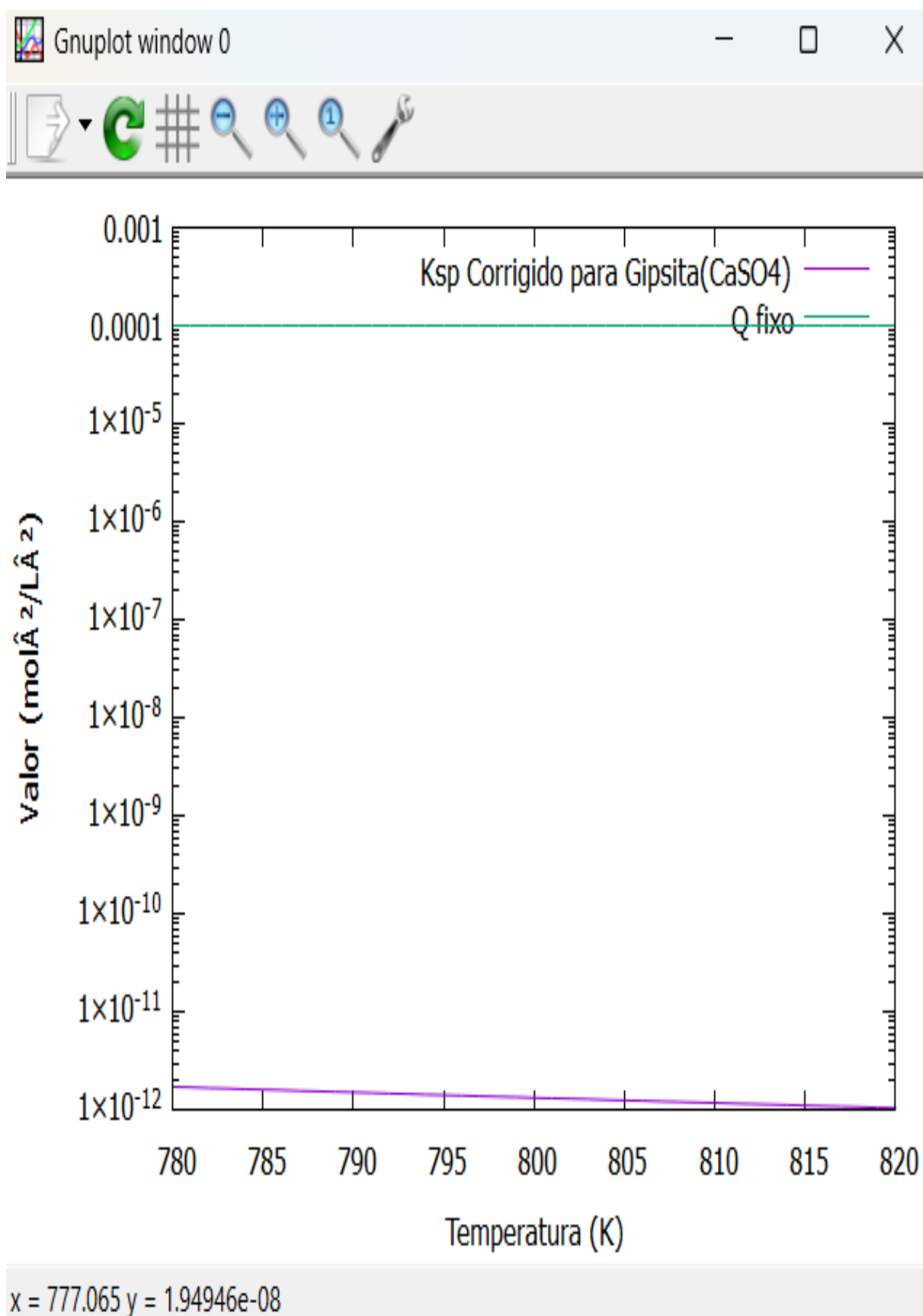


Figura 3.9: Sal específico precipitado

Capítulo 4

Contatos

O presente projeto de engenharia foi desenvolvido por alunos do curso de engenharia de petróleo da UENF sob coordenação do Professor André Duarte Bueno.

Para maiores informações entre em contato com os desenvolvedores:

- Autor 1:
 - Allida Ribeiro Faial
 - allidarsfaial@gmail.com
- Autor 2:
 - João Vitor Queiroz Pardo
 - joaovitorpardo@gmail.com
- Coordenador:
 - Prof. André Duarte Bueno
 - <bueno@lenep.uenf.br>

Referências Bibliográficas