

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

PROJETO DE ENGENHARIA
DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE
CÁLCULO DE POTENCIAL DE INCRUSTAÇÃO NA PRODUÇÃO
DE PETRÓLEO
TRABALHO DA DISCIPLINA PROJETO DE ENGENHARIA

Versão 1:
AUTORES: Nicolau Prates e João Vitor Prado
Prof. André Duarte Bueno

MACAÉ - RJ
Dezembro - 2023

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Escopo do problema	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Metodologia utilizada	2
2	Concepção	3
2.1	Nome do sistema/produto	3
2.2	Especificação	3
2.3	Requisitos	3
2.3.1	Requisitos funcionais	4
2.3.2	Requisitos não funcionais	4
2.4	Casos de uso	4
2.4.1	Diagrama de caso de uso geral	4
2.4.2	Diagrama de caso de uso específico	6
3	Elaboração	7
3.1	Análise de domínio	7
3.2	Formulação teórica	7
3.3	Identificação de pacotes – assuntos	10
3.4	Diagrama de pacotes – assuntos	10
4	AOO – Análise Orientada a Objeto	11
4.1	Diagramas de classes	11
4.1.1	Dicionário de classes	11
4.2	Diagrama de seqüência – eventos e mensagens	12
4.2.1	Diagrama de seqüência geral	12
4.3	Diagrama de comunicação – colaboração	12
4.4	Diagrama de máquina de estado	13
4.5	Diagrama de atividades	14

Lista de Figuras

1.1	Tubulação de descarte de água incrustada	2
2.1	Diagrama de caso de uso – Caso de uso geral	5
2.2	Diagrama de caso de uso específico – Título	6
3.1	Tabela de sais	8
3.2	Diagrama de Pacotes	10
4.2	Diagrama de seqüência	12
4.3	Diagrama de Comunicação	13
4.4	Diagrama de máquina de estado	14
4.5	Diagrama de atividades	14
4.1	Diagrama de classes	15

Lista de Tabelas

2.1	Casos de uso geral do sistema	4
-----	---	---

Listagens

Capítulo 1

Introdução

Neste trabalho desenvolve-se um software para calculo de potencial de incrustação na produção de óleo.

1.1 Escopo do problema

Durante o processo de extração de petróleo, diversos desafios podem surgir, afetando diretamente a qualidade do produto final. Um desses desafios consiste na formação de incrustações no tubo de perfuração, originadas por compostos químicos de natureza inorgânica. É difícil determinar com precisão a principal causa da incrustação, Essas incrustações são constituídas por sais de baixa solubilidade em água, que, ao precipitarem, se acumulam nas superfícies internas do tubo. Esse acúmulo pode resultar em uma significativa redução ou até mesmo na obstrução completa do fluxo de produção, ocasionando prejuízos devido à inatividade do poço e aos custos adicionais de intervenção e limpeza operacional. A Figura 1 ilustra uma linha de descarte de água, cujo diâmetro interno foi consideravelmente reduzido devido à deposição de incrustações nas paredes internas do tubo. A melhor forma de evitar que esse tipo de problema venha ocorrer é aplicando produtos (Inibidores de Incrustação) ao longo do tubo de perfuração. Afim de remediar a formação de precipitados e consequentemente aumento a vida útil do equipamento como também aumento a produção de óleo. O software idealizado tem como objetivo calcular o nível de incrustação (1,2 ou 3) para que possa ser possível estudar um plano de ação para remediar esse problema. O software irá utilizar as informações da salmoura de formação (as concentrações de sais e ph) para entregar um resultado preliminar que posteriormente será testado em laboratório para testar sua veracidade.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste projeto de engenharia são:

- Objetivo geral:



Figura 1.1: Tubulação de descarte de água incrustada .

- Desenvolver um projeto de engenharia de software para entrada e saída de dados para cálculo do potencial de incrustação na produção de petróleo
- Cálculo do potencial de incrustação.
- Saída de classificação do nível de incrustação
- Otimização na escolha de qual produto usar para o tratamento em questão

1.3 Metodologia utilizada

O software a ser desenvolvido utiliza a metodologia de leitura de dados em laboratório, realizando cálculos relacionados ao índice de saturação de determinada salmoura, podendo então determinar o potencial de incrustação da mesma.

Capítulo 2

Concepção

Apresenta-se neste capítulo do projeto de engenharia a concepção, a especificação do sistema a ser modelado e desenvolvido.

2.1 Nome do sistema/produto

Nome	WSS (Water Scale Software)
Componentes principais	Entrada de medidas a serem calculados, ajuste dos parâmetros de cálculo e leitura dos dados.
Missão	Caracterizar o potencial de incrustação

2.2 Especificação

O projeto em questão envolve o desenvolvimento de um programa dedicado à realização de cálculos de nível de incrustação com base em dados fornecidos, incluindo concentrações de diversos elementos como Brometo, Estrôncio, Bicarbonato, Sódio, Bário, Magnésio, entre outros sais. Além disso, o programa tem a capacidade de ajustar o Ph da salmoura para adequar-se às concentrações desejadas. Essas informações serão fornecidas pela empresa contratante do serviço.

Na execução do software, o usuário inserirá os parâmetros necessários para o cálculo do potencial, e o programa realizará a leitura e exportação dos resultados em formato de gráficos e tabelas.

2.3 Requisitos

Apresenta-se nesta seção os requisitos funcionais e não funcionais.

2.3.1 Requisitos funcionais

Apresenta-se a seguir os requisitos funcionais.

RF-01	O programa deverá ser capaz de realizar os cálculos de incrustação dados proposto pelo usuário.
RF-02	Os resultados deverão ser exportados com tabelas e gráficos.
RF-03	O programa deverá realizar ajuste dos parâmetros de cálculo (quando necessário).

2.3.2 Requisitos não funcionais

RNF-01	Os cálculos devem ser feitos utilizando-se formulações matemáticas conhecidas da literatura.
RNF-02	O programa deverá ser multi-plataforma, podendo ser executado em <i>Windows</i> , <i>GNU/Linux</i> ou <i>Mac</i> .

2.4 Casos de uso

A Tabela 2.1 mostra a descrição de um caso de uso.

Tabela 2.1: Casos de uso geral do sistema

Nome do caso de uso:	Entrada de parâmetros e leitura de resultados do WSS
Resumo/descrição:	O teste terá como objetivo calcular as afinidades dos sais colocados como parâmetros.
Etapas:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inserir parâmetros de entrada; 2. Ajuste dos parâmetros de medição; 3. Leitura dos resultados; 4. Apresentação dos resultados no formato de tabelas e gráficos; 5. Inserir parâmetros da amostra; 6. Cálculo do potencial de incrustação.
Cenários alternativos:	Escolher uma opção diferente das listadas no programa, inserir valores negativos ou incompatíveis com a ordem de grandeza do problema.

2.4.1 Diagrama de caso de uso geral

O diagrama de caso de uso geral da Figura mostra o usuário entrando com os parâmetros desejados, ajustando os parâmetros de medição e fazendo análise de resultados.

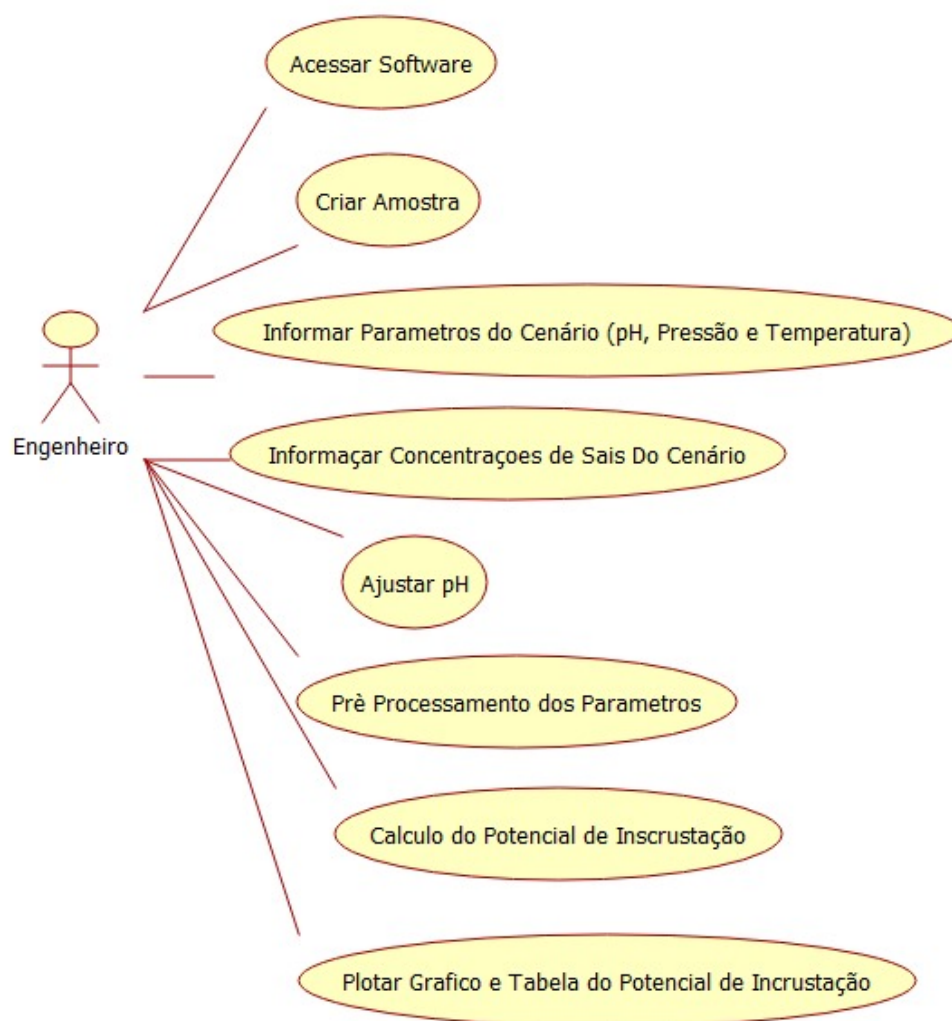


Figura 2.1: Diagrama de caso de uso – Caso de uso geral

2.4.2 Diagrama de caso de uso específico

....coloque aqui casos de uso específicos, descrição + figura(s)...

exemplo...O caso de uso Calcular área função descrito na Figura 2.1 e na Tabela 2.1 é detalhado na Figura 2.2. O usuário criará um objeto função matemática, um objeto para sua integração; em seguida, definirá o intervalo de integração, calculará a área da função criada e, por fim, analisará os resultados (eventualmente gerará gráficos com os resultados obtidos utilizando um sistema externo, como o software *gnuplot*). Este diagrama de caso de uso ilustra as etapas a serem executadas pelo usuário ou sistema, a interação do usuário com o sistema.

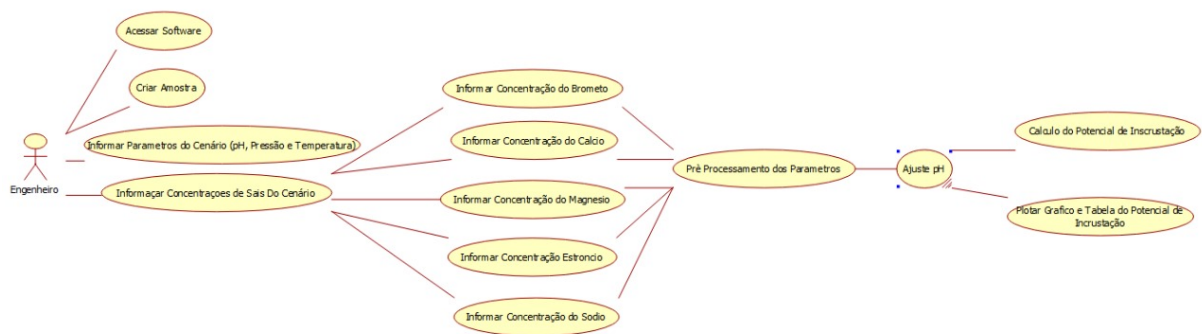


Figura 2.2: Diagrama de caso de uso específico – Título

Capítulo 3

Elaboração

Neste capítulo será apresentada a elaboração do programa desenvolvido WSS, que, no caso, foi feita através de pesquisas bibliográficas.

3.1 Análise de domínio

O desenvolvimento deste software está focado na área de produção do óleo, onde o objetivo é extrair petróleo de reservatórios. Para atingir esse objetivo, são analisadas informações sobre a composição da salmoura, à semelhança dos corpos d'água onde ocorre a produção de petróleo. Isso inclui concentrações de certos sais, como brometo, estrôncio, bicarbonato, sódio, bário e magnésio. E análise do pH.

A compreensão dessas concentrações nos permite criar um software que pode contabilizar possíveis incrustações nessa área. Esta análise permite desenvolver um plano de ação para abordar potenciais questões relacionadas à escala.

3.2 Formulação teórica

O cálculo do potencial de incrustação é um processo complexo que requer uma compreensão detalhada da composição química da água e dos fatores termodinâmicos que influenciam a formação de depósitos sólidos. Abaixo, será exemplificado como realizar esse cálculo:

1. Entenda a composição da água: Colete dados sobre a composição química da água. Estes incluem concentrações de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e outros íons.
2. Identificação de sais precipitáveis: Considerando as concentrações dos íons identificados, determine quais sais podem ser precipitados da água. Alguns sais comuns incluem carbonato de cálcio (CaCO_3), sulfato de bário (BaSO_4) e fosfato de magnésio ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$).

3. Cálculo termodinâmico: Use um modelo termodinâmico (por exemplo, diagrama de estabilidade de fase) para calcular a saturação de água associada a estes sais. Esses cálculos envolvem a avaliação de parâmetros como temperatura, pressão e pH para determinar as condições sob as quais o sal tem maior probabilidade de precipitar.
4. Índice de Saturação (SI): Calcule o índice de saturação (SI) para cada sal. IS compara a concentração real de sal na água com a concentração necessária para a saturação. Se IS for maior que 1, indica a presença de supersaturação e indica o potencial de incrustação.
5. Ajuste de pH: Considere o efeito do pH na solubilidade do sal. Alguns íons precipitam mais facilmente em condições básicas ou ácidas. Ajustar o pH pode ser uma estratégia para evitar a formação de incrustações.
6. Software especial: A utilização de softwares especializados em química e termodinâmica da água pode facilitar esses cálculos, proporcionando resultados mais precisos e eficientes.
7. Interpretação e plano de ação: Avalie os cálculos para levar em conta o potencial de incrustação. Desenvolva um plano de ação, que pode incluir o uso de anti-incrustantes, ajustes no tratamento da água ou outras medidas preventivas.

Segue uma tabela com as concentrações de sais num cenário de uma salmoura^{3.1}

Componentes (mg/L)	Cenário 1
Sódio	17.957
Potássio	5.847
Magnésio	3.751
Cálcio	8.745
Bario	120
Estrôncio	4.781
Cloreto	180.047
Brometo	-
Sulfato	304
Bicarbonato	3.012
pH	4-5

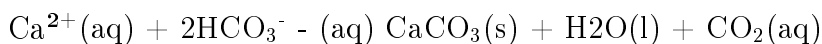
Figura 3.1: Tabela de sais

Os tipos mais comuns de incrustação são as seguintes reações:

1. $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow (\text{aq}) \text{BaSO}_4(\text{s})$
2. $\text{Sr}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow (\text{aq}) \text{SrSO}_4(\text{s})$
3. $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaSO}_4(\text{s})$

Note que são as mais comuns, mas não os únicos tipos. Podemos ter reações de sulfeto de ferro, zinco e chumbo, mas são menos frequentes. E incrustações radioativas, com rádio, chumbo e polônio, estas sendo ainda menos frequentes.

Para entendermos o problema, precisamos entender que os reservatórios de petróleo são constituídos de rochas areníticas e/ou calcárias. Contendo uma enorme quantidade de dióxido de carbono (CO_2) que se encontra em equilíbrio químico. Contudo, quando produzimos, a diferença de pressão e temperatura muda esse cenário, fazendo com que o dióxido de carbono dissolvido na água seja deslocado para os outros fluidos, óleo e gás. Assim o pH da solução aquosa aumenta, e a solubilidade, com relação ao carbonato diminui rapidamente, levando à precipitação do carbonato com íons divalentes, mais comumente o cálcio (CaCO_3), segundo a reação abaixo:



Para o cálculo da saturação, temos:

$$IS = \log_{10} \frac{(a_i^{v+})(a_j^{v-})}{K_{psi_{ij}}} = \log_{10} \frac{([m_j]^{v+}[m_j]^{v-})(y_i^{v+}y_j^{v-})}{K_{psi_{ij}}}$$

onde:

- a_i = atividade química do cátion i;
- a_j = atividade química do ânion j;
- y_i = coeficiente de atividade química do cátion i;
- y_j = coeficiente de atividade química do ânion j;
- m_i = molaridade do cátion i;
- m_j = molaridade do ânion j;
- $K_{psi_{ij}}$ = produto de solubilidade do composto ij
- $(v^+)I^+(v^-)J \rightleftharpoons I_{(v+)}^{+}J_{(v-)}^{-}$

Cenários possíveis:

- Supersaturada, na qual o produto das atividades dos íons precipitantes é maior que o K_{ps} e precipitação poderá ocorrer ($IS > 0$).
- Saturada ou em equilíbrio, na qual não haverá precipitação, embora qualquer mudança no estado de equilíbrio possa acarretar a precipitação ($IS = 0$).
- Subsaturada na qual poderá haver dissolução e a precipitação é improvável ($IS < 0$).

3.3 Identificação de pacotes – assuntos

- Pré-Processamento.
- Análise dos Parâmetros da Salmoura
- Cálculo de Potencial de Incrustação
- Gnuplot
- Recomendação de Tratamento

3.4 Diagrama de pacotes – assuntos

O diagrama de pacotes fornece informações das dependências dos pacotes e como eles se relacionam, Figura .

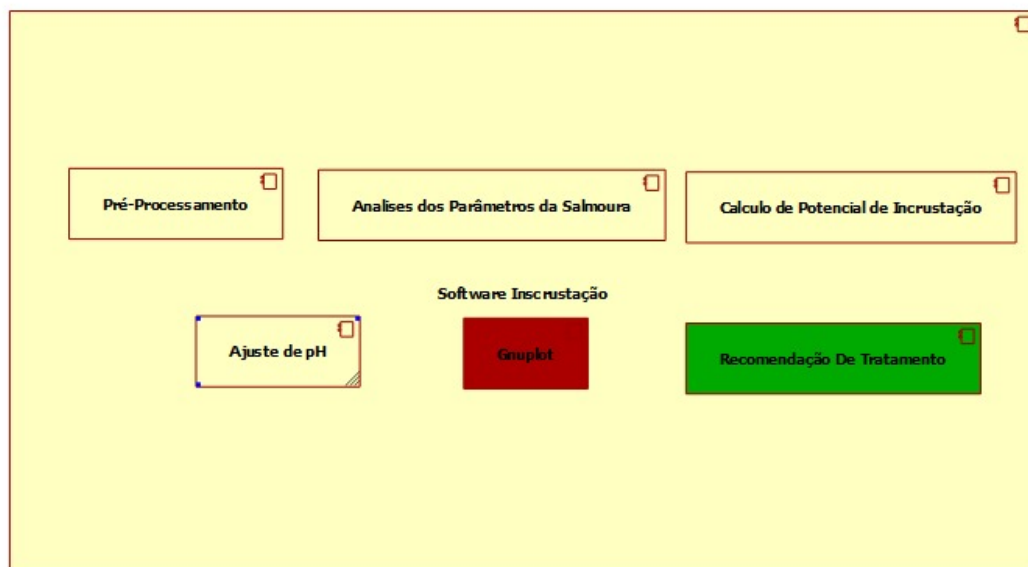


Figura 3.2: Diagrama de Pacotes

Capítulo 4

AOO – Análise Orientada a Objeto

Neste capítulo será apresentada a análise orientada a objeto do projeto de software desenvolvido WSS.

4.1 Diagramas de classes

O diagrama de classes é apresentado na Figura 4.1.

4.1.1 Dicionário de classes

- Classe CSimuladorIncrustacao: representa uma classe que será responsável pelo software que irá fazer o processamento dos dados.
- Classe CAmostra: representa uma classe que terá as identificações da amostra.
- Classe CAmostraSalmoura: representa uma classe onde será setada as informações necessárias para efetuar o teste.
- Classe CGnuplot: representa uma classe para criação e geração de gráficos. Apresenta as propriedades para criação de diferentes tipos de gráficos.
- Classe CSal: representa uma classe que terá as informações informantes para que a classe CsimuladorInscrustacao possa efetuar os cálculos de afinidades entre os sais.
- Classe CAmostraSal: representa uma classe que terá as características da amostra estudada em questão.
- Enum: representa uma lista onde ficará armazenados os tipos de sais que podem ser usados nos testes.

4.2 Diagrama de seqüência – eventos e mensagens

4.2.1 Diagrama de seqüência geral

Veja o diagrama de seqüência na Figura 4.2.

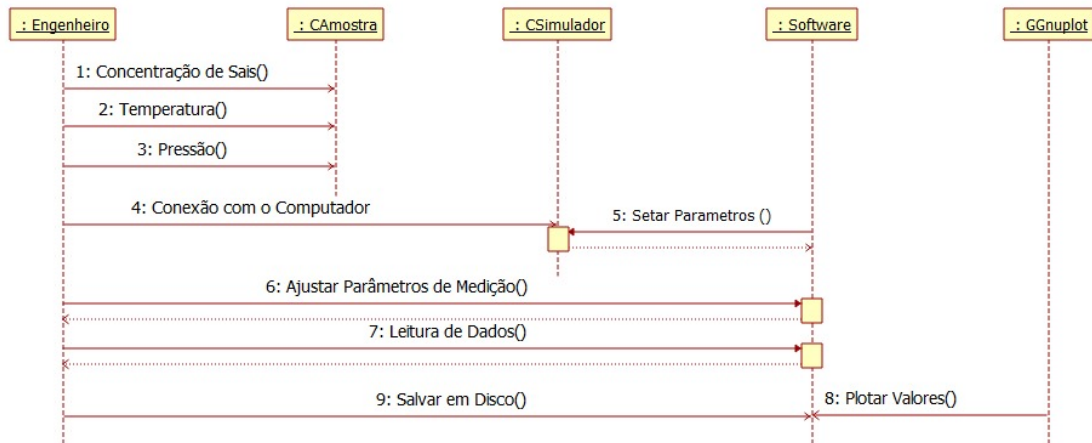


Figura 4.2: Diagrama de seqüência

4.3 Diagrama de comunicação – colaboração

Veja o Diagrama de Comunicação

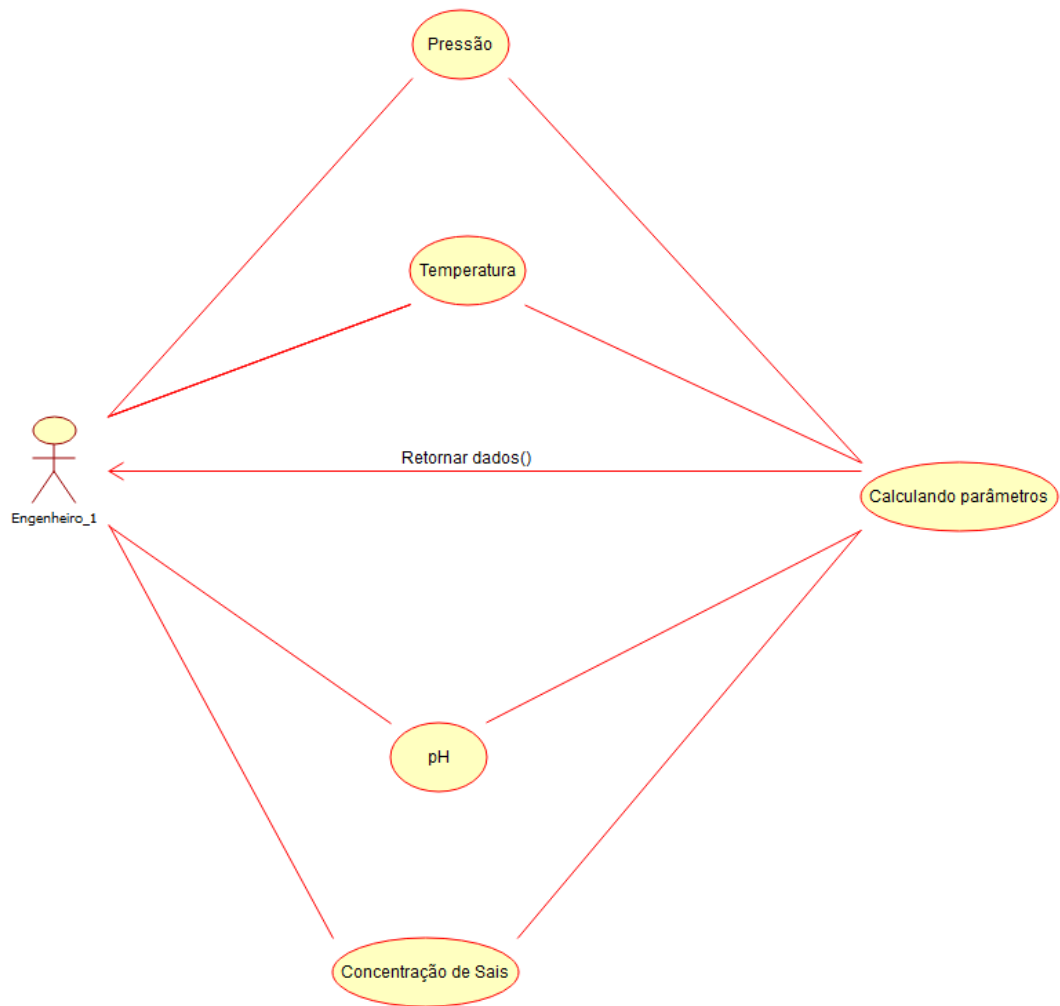


Figura 4.3: Diagrama de Comunicação

4.4 Diagrama de máquina de estado

Veja o Diagrama de Máquina de Estado referente ao objeto CAmostra na figura 4.4

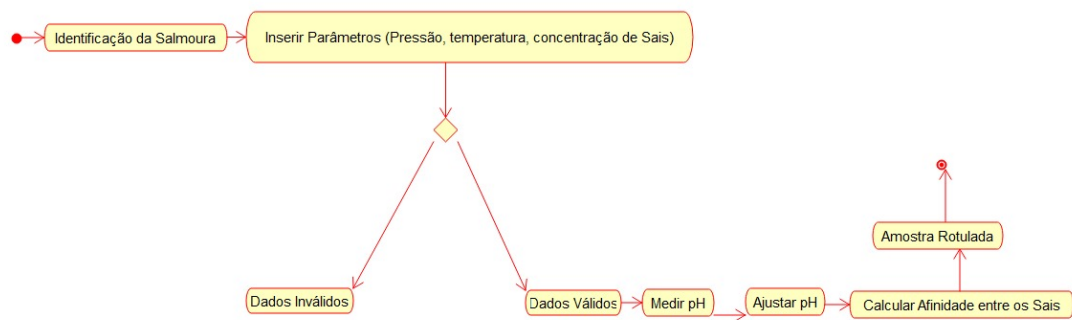


Figura 4.4: Diagrama de máquina de estado

4.5 Diagrama de atividades

Veja o Diagrama de Atividades referente ao estado referente Amostra Rotulada na figura 4.5

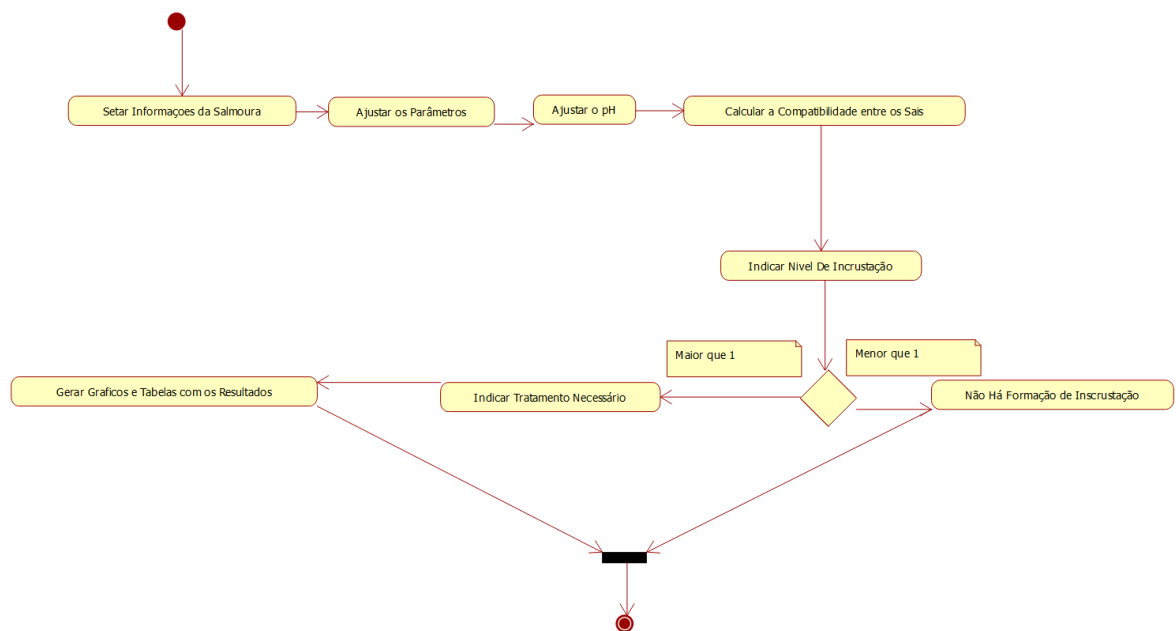


Figura 4.5: Diagrama de atividades

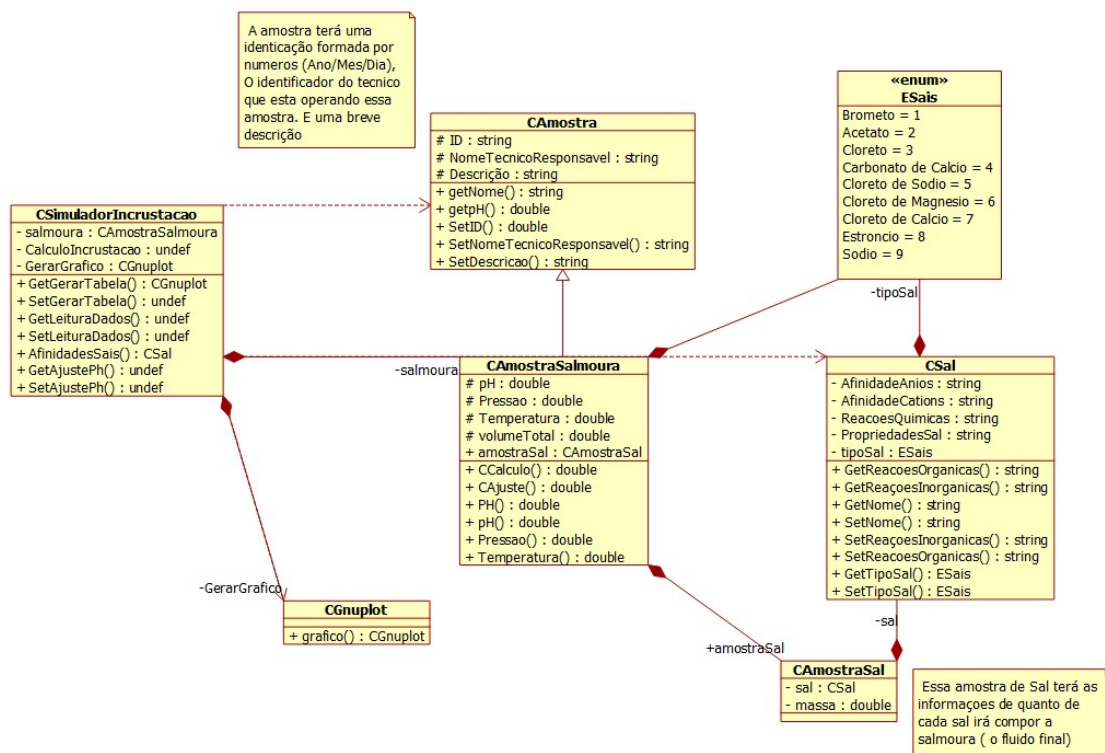


Figura 4.1: Diagrama de classes

