

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

PROJETO ENGENHARIA
DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE
PROGRAMA EM C++ PARA AVALIAÇÃO DE FORMAÇÕES POR
DADOS DE TESTES DE PRESSÃO
TRABALHO DA DISCIPLINA PROGRAMAÇÃO PRÁTICA

Versão 1:

LEONAM DOS SANTOS BRAGA
RENAN MARCOS DE LIMA FILHO

Versão 2:

ANDRÉIA DE PAULA MARTUSCELLI

Prof. André Duarte Bueno

MACAÉ - RJ
SETEMBRO - 2021

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Escopo do problema	1
1.2	Objetivos	2
2	Especificação	3
2.1	Nome do sistema/produto	3
2.2	Especificação	3
2.2.1	Requisitos funcionais	4
2.2.2	Requisitos não funcionais	4
2.3	Casos de uso	4
2.3.1	Diagrama de caso de uso geral	5
2.3.2	Diagrama de caso de uso específico	5
3	Elaboração	7
3.1	Análise de domínio	7
3.2	Formulação Teórica	8
3.2.1	Teste de Pressão	8
3.2.2	Método de Horner	11
3.2.3	Método de MDH	13
3.3	Identificação de pacotes – assuntos	16
3.4	Diagrama de pacotes – assuntos	16
4	AOO – Análise Orientada a Objeto	18
4.1	Diagramas de classes	18
4.1.1	Dicionário de classes	18
4.2	Diagrama de sequência – eventos e mensagens	20
4.2.1	Diagrama de sequência geral	20
4.3	Diagrama de comunicação	22
4.4	Diagrama de máquina de estado	23
4.5	Diagrama de atividades	23

5	Projeto	25
5.1	Projeto do sistema	25
5.2	Projeto orientado a objeto – POO	26
5.3	Diagrama de componentes	27
5.4	Diagrama de implantação	28

Capítulo 1

Introdução

Neste projeto de engenharia será desenvolvido um software que possibilita ao usuário calcular de forma eficaz e simplificada os parâmetros de um reservatório. Tal método consiste na análise do comportamento da pressão do reservatório ao longo do tempo sob efeito de diferentes vazões de produção. Todas essas informações são importantes para a construção de um modelo confiável e o mais próximo do real visando avaliar o potencial de um reservatório. Este projeto, frente a outros já desenvolvidos, possui dois diferenciais: a realização dos cálculos dos parâmetros de reservatório por meio dos métodos de Horner e método MDH e a comparação de seus resultados; e a possibilidade de variação de um determinado parâmetro, e a visualização de como tal variação influenciará no comportamento do reservatório.

1.1 Escopo do problema

O estudo do comportamento das pressões nas formações produtoras de petróleo é de fundamental importância para a engenharia de reservatórios. Por meio de análises destes testes, é possível determinar potencialidades e características dos reservatórios, avaliar as reservas disponíveis de hidrocarbonetos, bem como fornecer previsões de produção dos fluidos existentes.

O domínio dos conceitos básicos da teoria de fluxo de fluidos através de meios porosos é necessário para aplicação e desenvolvimento das técnicas atuais de análise de dados de pressão em poços, particularmente no que se refere à avaliação das potencialidades e determinação das características dos horizontes produtores.

Por ocasião da descoberta de novos campos petrolíferos, as decisões sobre os recursos a serem investidos, dependem, por exemplo, de avaliações realizadas por intermédio de testes em poços. Estes testes duram pouco tempo e geram resultados confiáveis para avaliar a exploração de tais jazidas.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

- Objetivo geral:
 - Criar um software capaz de fornecer ao usuário , através da análise dos dados obtidos em testes de pressão em poços, possibilitando estimar as dimensões do campo e sua potencialidade econômica.
- Objetivos específicos:
 - Calcular a permeabilidade efetiva do meio poroso;
 - Calcular o fator de película do poço;
 - Calcular índice de produtividade;
 - Calcular a pressão inicial e média na região drenada pelo poço;
 - Estimar efeito de estocagem e sua duração;
 - Apresentar de forma gráfica o comportamento da pressão ao longo do tempo;
 - Criar um banco de dados que possibilite ao usuário comparar o reservatório que está sendo analisado com outros anteriormente analisados pelo programa;
 - Salvar os resultados em modo texto no disco;
 - Utilizar o método de Horner e o método de MDH, de acordo com a escolha do usuário;
 - Realizar comparação dos resultados dos parâmetros de acordo com o método realizado.

Capítulo 2

Especificação

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	Simulador de teste build-up
Componentes principais	Sistema para cálculo de parâmetros de reservatório
Missão	Ferramenta de ensino na área de avaliação de formações

2.2 Especificação

O software descrito nesse projeto tem como função simular os cálculos relacionados a parâmetros de reservatório, por meio de dados referentes a um teste de crescimento de pressão em um poço produtor, importados de um arquivo texto. O programa realizará uma regressão linear semi-logarítmica entre a pressão medida no fundo do poço versus o tempo, gerando gráficos com auxílio do software externo *gnuplot*. O usuário fornecerá através do arquivo .dat, valores iniciais sobre o sistema poço-reservatório: de porosidade, espessura do reservatório, viscosidade, compressibilidade total e fator volume de formação do fluido. Além disso, ele escolherá qual método será utilizado para a geração dos resultados. Através da visualização e interpretação dos gráficos gerados, o programa terá como saída os valores de permeabilidade efetiva, pressão inicial, raio externo do reservatório, índice de produtividade, fator película de formação e efeito de estocagem (caso estes ocorram), além dos gráficos da variação da pressão no poço versus tempo.

O desenvolvimento do programa será feito utilizando a linguagem de programação C++, por se tratar de uma linguagem eficiente e possibilitar o reaproveitamento de códigos já desenvolvidos. Por se tratar de um programa científico, será utilizada uma interface em modo texto, que permitirá a entrada e saída de dados de forma simplificada.

Licença: o presente software tem licença GPL 2.0, conforme consta no site <http://softwarelivre.org>.

2.2.1 Requisitos funcionais

Apresenta-se a seguir os requisitos funcionais.

RF-01	O sistema deverá conter uma base de dados referentes a um teste de crescimento de pressão.
RF-02	O usuário deverá informar o nome do arquivo texto de onde serão lidas as informações do teste de pressão
RF-03	O usuário deverá entrar com os parâmetros do fluido, do reservatório e do poço.
RF-04	O usuário deverá entrar com os parâmetros do fluido, do reservatório e do poço.
RF-05	O usuário deverá ter liberdade para escolher o método de Horner ou MDH.
RF-06	O usuário poderá plotar um gráfico semi-logarítmico. O gráfico poderá ser salvo como imagem ou ter seus dados exportados como texto.

2.2.2 Requisitos não funcionais

RNF-01	Os cálculos devem ser feitos utilizando-se fórmulas provenientes da disciplina de Avaliação de Formações.
RNF-02	O programa deverá ser multi-plataforma, podendo ser executado em <i>Windows</i> , <i>GNU/Linux</i> ou <i>Mac</i> .

2.3 Casos de uso

Um caso de uso descreve um ou mais cenários de uso do software, exemplos de uso, como o sistema interage com usuários externos (atores). Ademais, ele deve representar uma sequência típica de uso do programa (a execução de determinadas tarefas-padrão). Também deve representar as exceções, casos em que o usuário comete algum erro, em que o sistema não consegue realizar as tarefas solicitadas. A Tabela 2.1 mostra os itens a serem incluídos na descrição do caso de uso.

Tabela 2.1: Exemplo de caso de uso

Nome do caso de uso:	Cálculo de parâmetros do reservatório
Resumo/descrição:	Determinação de parâmetros do reservatório através de uma regressão linear semi-logarítmica com dados de teste de crescimento de pressão
Etapas:	1.Importar dados do teste de pressão de arquivo texto. 2. Fornecer dados do sistema poço-reservatório. 3. Selecionar o método de Horner ou método de MDH. 4. Gerar gráficos. 5. Exibir resultados na tela exportar para um arquivo .dat. 6. Comparar os resultados dos dois métodos. 7. Selecionar uma variável e definir um intervalo de variação para a mesma. 8. Gerar novos resultados e analisar a interferência da variação nestes.
Cenários alternativos:	Um cenário alternativo envolve uma entrada errada do usuário (por exemplo, valores de entrada dos dados do fluido como viscosidade, valores de pressão negativos, fator volume de formação menor que a unidade). O programa apresentará um bug quando valores que deveriam ser positivos forem menores que zero. Outro exemplo ocorre na entrada de dados para criação da função semi-logarítmica. O programa apresentará um bug quando for determinar o logaritmo de -1. O software apresentará uma mensagem de erro.

2.3.1 Diagrama de caso de uso geral

O diagrama de caso de uso geral da Figura 2.1 mostra o usuário inserindo os dados do teste de pressão, fornecendo os dados do fluido e do reservatório, necessários para os cálculos dos parâmetros do reservatório a serem determinados e analisando os resultados. Demonstra a interação do usuário com o programa.

2.3.2 Diagrama de caso de uso específico

O diagrama de caso de uso específico da Figura 2.2 mostra o usuário inserindo os dados. O simulador realiza a regressão semi-logarítmica e calcula os parâmetros do reservatório. O usuário escolhe qual método quer utilizar para calcular os parâmetros. Caso escolha primeiro o método de MDH e depois também queira calcular pelo método de Horner, será possível comprar os resultados obtidos por meio deles. E por fim ocorre a análise dos resultados.

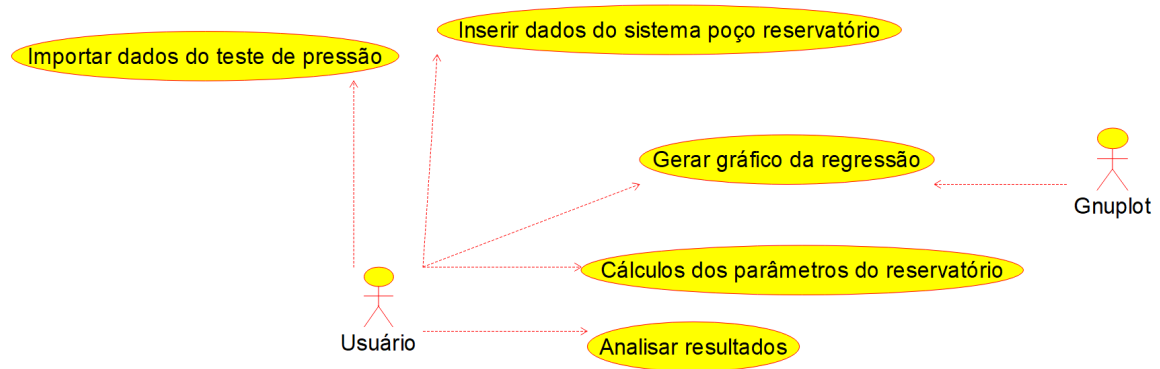


Figura 2.1: Diagrama de caso de uso – Caso de uso geral

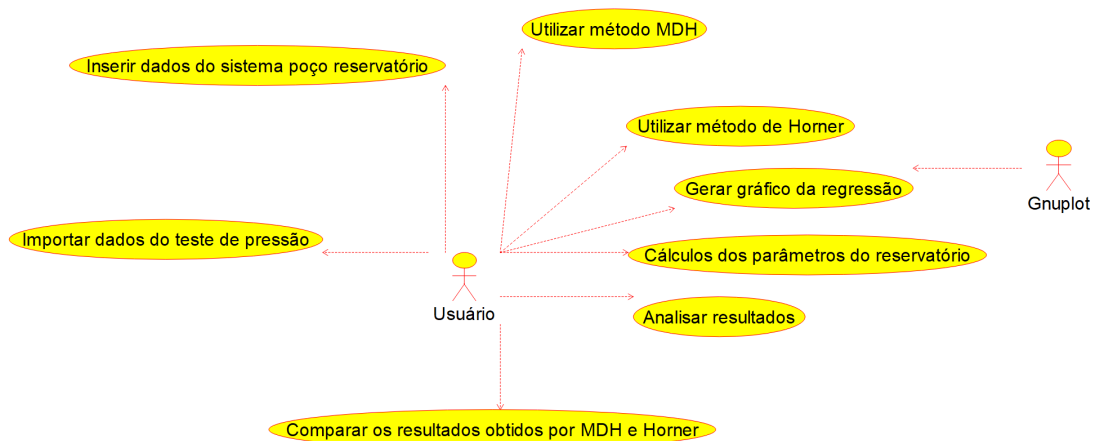


Figura 2.2: Diagrama de caso de uso específico -Escolhendo os dois métodos e comparando os resultados

Capítulo 3

Elaboração

Na elaboração serão apresentados o estudo de conceitos relacionados ao sistema a ser desenvolvido, a análise de domínio e a identificação de pacotes.

3.1 Análise de domínio

- O *software*, com o auxílio do corpo docente, será desenvolvido na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- O *software* envolve conceitos abordados nas disciplinas de Engenharia de Reservatórios, Avaliação de Formações, Cálculo Numérico e Programação Orientada a Objeto em C++.

A Engenharia de Reservatórios estuda o escoamento dos fluidos e permite descrever seu comportamento no interior dos meios porosos que compõem os reservatórios de petróleo. Com isso planeja o desenvolvimento de um campo de petróleo, prevê seu desempenho durante a vida produtiva e analisa seu comportamento propondo correções para otimizar seu desempenho, com o objetivo de maximizar a produção de hidrocarbonetos com o menor custo possível.

Avaliação de Formações são as atividades e estudos que visam definir em termos qualitativos e quantitativos a capacidade produtiva e a valorização das reservas de óleo e gás de uma jazida petrolífera. O monitoramento das vazões e pressões de fundo do poço, durante um teste, e o conhecimento das propriedades dos fluidos, permite que informações a respeito das características da rocha-reservatório e parâmetros de drenagem sejam obtidos.

Os métodos matemáticos utilizados, regressão semi-logarítmica, ajuste de curvas pelo método dos mínimos quadrados, são provenientes da disciplina de cálculo numérico. Esta tem como objetivo estudar e criar algoritmos numéricos para resolução de problemas que podem ser representados por um Modelo Matemático. O objetivo do cálculo numérico é encontrar uma solução aproximada para o problema,

mantendo sobre controle os erros associados com essa aproximação.

3.2 Formulação Teórica

Para determinar os parâmetros de reservatórios é necessário compreender alguns conceitos e formulações matemáticas relacionados às disciplinas citadas. Estes serão explicados abaixo, com a finalidade de elucidar as idéias em que serão desenvolvidas para o funcionamento do *software*.

3.2.1 Teste de Pressão

Um dos métodos mais utilizados na Engenharia de Reservatórios são os testes de pressão. Estes consistem em acompanhar os dados de pressão no poço em função da vazão de produção utilizada. Através desse acompanhamento pode se determinar parâmetros de drenagem e outros fatores que interferem na produção do campo de petróleo.

A avaliação da formação consiste em um conjunto de atividades com vazão controlada, que têm como objetivos:

- obter o fluido contido na formação para análise do mesmo.
- avaliar a capacidade produtiva da formação.
- investigar a existência de danos de formação e efeito de estocagem.
- determinar a extensão do reservatório e sua pressão inicial.

Os testes de pressão seguem as seguintes etapas:

- completar o poço temporariamente para permitir a produção do fluido de forma segura.
- isolar o intervalo a ser testado.
- criar um diferencial de pressão entre poço e reservatório, afim de produzir o fluido.
- promover períodos intercalados de produção e fechamento do poço.
- registro contínuo de vazões em superfície e pressões no poço.

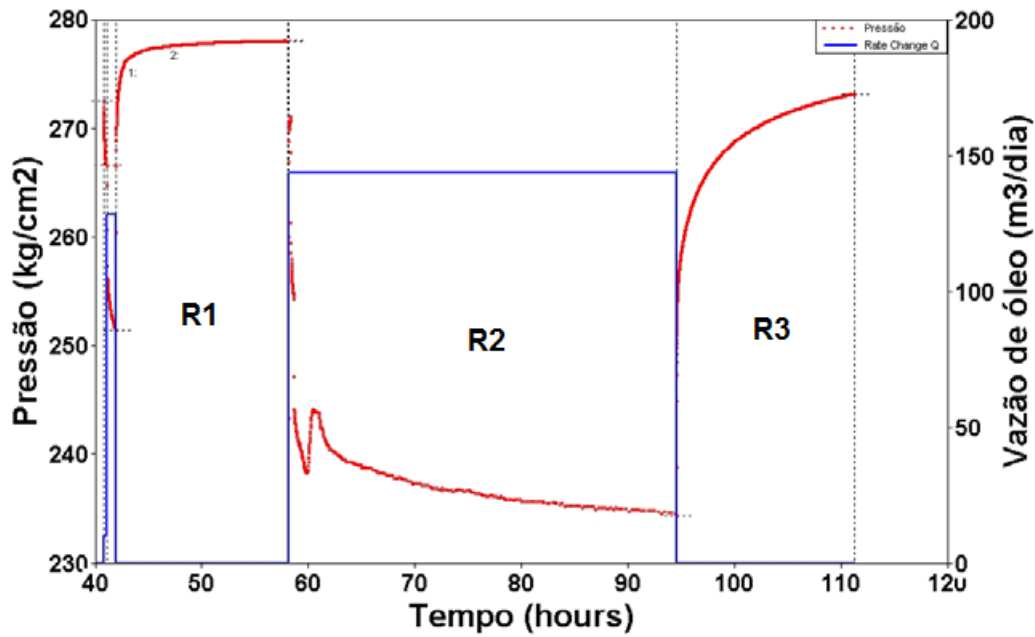


Figure 3.1: Exemplo de teste de poço convencional, onde é possível observar o comportamento da pressão em função da variação da vazão de produção. As regiões 1 e 3 mostram etapas com o poço fechado ($q=0$), onde é possível ver um aumento da pressão no reservatório. Já na região 2, o poço está produzindo com uma vazão constante, causando uma queda na pressão do reservatório.

Os teste de pressão mais comuns são: testes de fluxo (*drawdown*), testes de crescimento de pressão (*buildup*) e testes de injeção e *falloff*.

O software desenvolvido tratará de um teste de crescimento de pressão, a metodologia mais difundida para avaliação de formações.

O teste de crescimento de pressão, baseia-se no registro contínuo das pressões de fundo, após o fechamento de um poço que tenha estado produzindo por um determinado período. A Figura (3.2) ilustra o esquema do teste. Os dados de pressão medidos durante o período de estática contém menos ruído, que os medidos durante o período de fluxo, devido à vazão (q) igual a zero imposta ao poço.

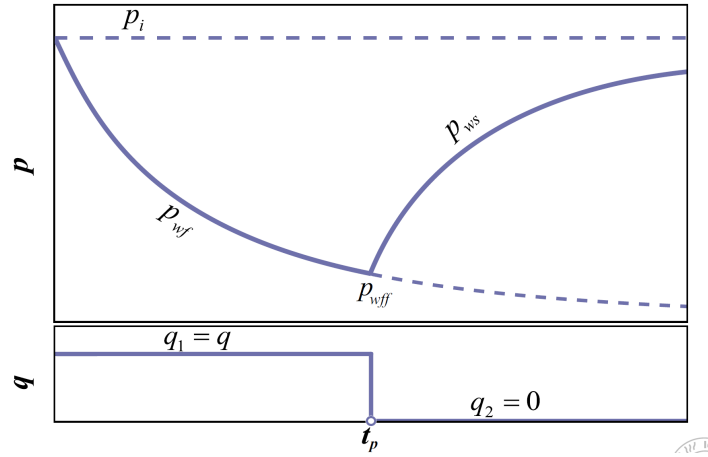


Figura 3.2: Esquema de vazão e comportamento da pressão em um poço submetido a um teste de pressão

Onde:

p_{wf} = pressão no poço durante o período de fluxo.

p_{ws} = pressão durante o período de fechamento.

p_{wff} = última pressão de fluxo, ou seja, no instante em que o poço é fechado.

t_p = tempo de produção (ou de fluxo).

Δt = período de tempo medido a partir do momento em que o poço é fechado.

A base para toda análise e obtenção das equações que regem o comportamento do reservatório é a Equação da Difusividade 3.1, que para geometria radial e fluxo monofásico é dada por:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{k(r)}{\mu} r \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{k(r)}{\mu} C f \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)^2 = \phi C t \frac{\partial p}{\partial t} \quad (3.1)$$

Dentre as inúmeras soluções existentes para determinados tipos de reservatórios existentes e suas propriedades, os testes de pressão são fundamentados na utilização da solução transiente dessa equação, com uma posição fixa no fundo do poço ($r = r_w$), em um reservatório infinito e homogêneo. A análise de testes de crescimento pode ser realizadas pelo método de ajustamento com curvas-tipo e por métodos convencionais e podemos mencionar o método de Horner, método de MDH, método de Agarwal, são utilizados outros derivados para estimativa da pressão média na área de influência de um poço.

Deve-se atentar ao sistema de unidades, para que os parâmetros sejam inseridos com as unidades corretamente e não haja problemas nos cálculos. A Tabela (3.1) mostra as unidades correspondentes de acordo com os sistemas existentes e que devem ser obedecidas.

Tabela 3.1: Variáveis no Sistema de Unidades

Variáveis	Sistema Petrobras	Oilfield
Comprimento	m	ft
Compressibilidade	$(kgf/cm^2)^{-1}$	psi^{-1}
Coefficiente de Estocagem	$\frac{m^3}{(kgf/cm^2)}$	$\frac{bbl}{psi}$
Tempo	h	h
Permeabilidade	md	md
Pressão	kgf/cm^2	psi
Viscosidade	cp	cp
Vazão de Óleo	m^3/d	bbl/d
C_1	0,0003484	0,0002637
C_2	19,03	141,2
C_3	$1/(2\pi)$	0,8936

3.2.2 Método de Horner

Com os dados obtidos da pressão e o tempo em que cada uma foi medida (o teste inteiro pode variar a duração desde algumas horas a alguns dias), gera-se um gráfico semi-logarítmico em que seu coeficiente angular possui uma relação intrínseca com a permeabilidade da formação e estima-se propriedades pelo método de Horner, ilustrado pela Figura 3.2.

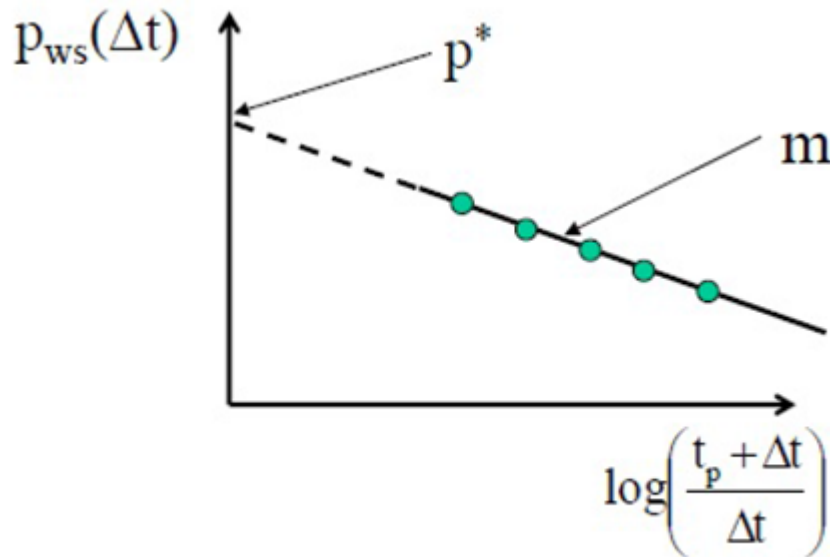


Figura 3.3: Gráfico semi-logarítmico obtido pelo Método de Horner, que fornece parâmetros referentes ao reservatório

As equações apresentadas a seguir para determinação dos parâmetros são vistas em [Adalberto Rosa, 2006].

A permeabilidade, que é definida como a capacidade de um material (tipicamente uma rocha) de transmitir fluídos, pode ser inferida pela equação 3.2. Na equação, q [barris/d]

é a vazão, B [adimensional] o fator volume-formação, h [pés] a altura da formação, μ [cp] a viscosidade do fluido, e m [adimensional] é o coeficiente angular.

$$k = \frac{1.151\alpha_p q B \mu}{m h} \quad (3.2)$$

O fator de película S [adimensional] é definido como uma região ao redor do poço cuja permeabilidade foi alterada, reduzida (por fluido de perfuração/completação, inchamento de argilas, inversão de molhabilidade, etc) ou melhorada (através de processos de acidificação, fraturamento hidráulico, etc.) e se dá pela equação 3.3. É uma equação adimensional, onde ct [1/psi] é a compressibilidade total, rw [pés] é o raio do poço, tp [dias] o tempo de produção do poço, Pwf [psi] é a pressão registrada no fechamento do poço, ΔP_{skin} [psi] é a queda de pressão devido ao dano e n [adimensional] é o coeficiente linear do gráfico. Quanto maior o valor do fator de película, maior o dano, resultando em menor produção e maior queda de pressão.

$$S = \frac{1.151.(m.log(tp + 1) + n - Pwf)}{(-m - log(k/(c_t rw^2) + 3.23)} \quad (3.3)$$

$$\Delta P_{skin} = 0.869.(-m).s$$

A capacidade produtiva de um poço é caracterizada pelo índice de produtividade IP [barris/(dias.psi)], que indica a necessidade de injeção de fluidos para aumento da recuperação. A eficiência de fluxo EF [adimensional] indica o quanto a produção está sendo afetada pelo fator de película do poço. Esses fatores, dados em porcentagem, são importantes para a engenharia de reservatórios, pois definem a viabilidade de produção. São definidos pela equações 3.4 e 3.5, sendo Pi [psi] a pressão inicial do reservatório, indicada pelo gráfico. Valores maiores que 10 para o índice de produtividade são considerados bons.

$$IP = \frac{q}{Pi - Pwf} \quad (3.4)$$

$$EF = \frac{Pi - Pwf - \Delta P_{skin}}{Pi - Pwf} \quad (3.5)$$

O raio efetivo do poço r'_w [pés] é definido como o tamanho teórico do poço incluindo o dano, calculado pela equação 3.6, sua unidade é [m]. Quanto maior o dano, menor o raio efetivo, pois o poço produz menos do que deveria. O raio efetivo de um poço estimulado ($s < 0$) é maior que o raio real, enquanto de um poço danificado ($s > 0$) é menor que o raio real.

$$r'_w = r_w e^{-s}. \quad (3.6)$$

O efeito de estocagem ocorre nos primeiros momentos da produção, fazendo com que

a vazão do poço não seja igual à do reservatório, havendo uma estocagem de fluidos no interior do poço pela expansão e compressão do volume dos hidrocarbonetos. O coeficiente de estocagem C [barris/psi] é descrito pela equação 3.7, e sua duração, t_{wbs} [horas], pela equação 3.8.

$$C = \frac{qB\Delta t}{24(P - P_{wf})} \quad (3.7)$$

$$t_{wbs} = \frac{60.0 + 3.5 * S}{(24C * \alpha_p k h \mu)} \quad (3.8)$$

3.2.3 Método de MDH

O método de MDH (Miller, Dyes & Hutchinson, 1950) fornece meios de se estimar a permeabilidade, o fator de película e, ainda, a pressão média na região drenada pelo poço, através da análise de dados de crescimento de pressão.

A equação da pressão no poço, durante o período de crescimento de pressão, com a aplicação do princípio da superposição é mostrada na Equação :

$$\frac{kh}{C_2 q B \mu} (p_i - p_{ws}) = p_{wD} [(t_p + \Delta t)_D] - p_{wD} (\Delta t_D) \quad (3.9)$$

Se o período de produção é muito maior em relação ao tempo de fechamento, tem-se que:

$$p_{wD} [(t_p + \Delta t)_D] \cong p_{wD} (t_{pD}). \quad (3.10)$$

Assim, para $t_p \gg \Delta t$ a Eq.(3.10), fica simplificada:

$$\frac{kh}{C_2 q B \mu} (p_i - p_{ws}) = p_{wD} (t_{pD}) - p_{wD} (\Delta t_D). \quad (3.11)$$

Para representar o termo de $p_{wD} (\Delta t_D)$, emprega-se a aproximação logarítmica, ou seja, é admitido comportamento de reservatório infinito após o fechamento:

$$p_{wD} (\Delta t_D) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4\Delta t_D}{e^\gamma} \right) + s. \quad (3.12)$$

A Eq.(3.11) se transforma em:

$$\frac{kh}{C_2 q B \mu} (p_i - p_{ws}) = p_{wD} (t_{pD}) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4\Delta t_D}{e^\gamma} \right) + s \quad (3.13)$$

que pode também ser reescrita substituindo no termo logarítmico a definição do tempo adimensional, usando o logaritmo na base 10 e rearranjando os termos, obtendo:

$$p_{ws} = p_i - 1,151 \frac{C_2 q B \mu}{kh} \left[0,8686 p_{wD}(t_{pD}) - \log \left(\frac{4C_1 k}{e^{\gamma} \phi \mu c_t r_w^2} \right) - 0,8686 s \right] + 1,151 \frac{C_2 q B \mu}{kh} \log \Delta t. \quad (3.14)$$

Definindo p_1 a pressão durante o fechamento correspondente a um tempo de fechamento unitário, $\Delta t = 1$, então:

$$p_1 = p_i - 1,151 \frac{C_2 q B \mu}{kh} \left[0,8686 p_{wD}(t_{pD}) - \log \left(\frac{4C_1 k}{e^{\gamma} \phi \mu c_t r_w^2} \right) - 0,8686 s \right]. \quad (3.15)$$

A Eq. (3.14), pode ser compactada como:

$$p_{ws} = p_1 + m \log \Delta t \quad (3.16)$$

em que:

$$m = 1,151 \frac{C_2 q B \mu}{kh} \quad (3.17)$$

Os parâmetros do sistema poço-reservatório são determinados pelo ajuste dos dados a uma linha reta, no gráfico p_{ws} versus $\log \Delta t$, como mostrado na Figura (Com o coeficiente angular m , pode ser calculada a permeabilidade:

$$k = 1,151 \frac{C_2 q B \mu}{mh}. \quad (3.18)$$

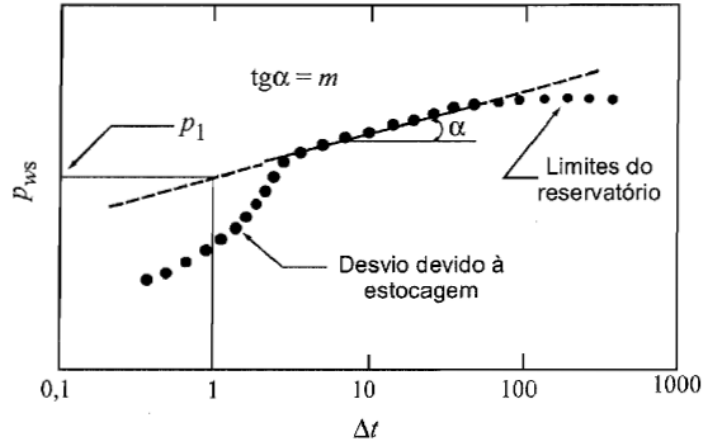


Figura 3.4: Gráfico de MDH

Para obter o fator de película, usa-se a queda de pressão no instante do fechamento, admitindo que o reservatório se comporte como infinito.

$$p_{wD} \equiv \frac{kh}{C_2 q B \mu} (p_i - p_{wff}) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t_{pD}}{e^\gamma} \right) + s \quad (3.19)$$

onde:

p_{wff} = última pressão de fluxo antes do fechamento.

Durante o fechamento, o comportamento da pressão pode ser escrito como:

$$\frac{kh}{C_2 q B \mu} (p_i - p_{ws}) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t_{pD}}{e^\gamma} \right) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4C_1 \eta}{e^\gamma r_w^2} \right) - \frac{1}{2} \ln (\Delta t). \quad (3.20)$$

Onde $\eta = k/\phi \mu C_t$, é a constante de difusividade hidráulica. Fazendo então $\Delta t = 1$, a equação anterior é reescrita:

$$\frac{kh}{C_2 q B \mu} (p_i - p_1) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t_{pD}}{e^\gamma} \right) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4C_1 \eta}{e^\gamma r_w^2} \right). \quad (3.21)$$

Subtraindo a Eq.(3.19) da Eq.(3.21), transformando para o logaritmo na base 10, utilizando a definição de m , explicita-se o fator de película:

$$s = 1,151 \left[\frac{p_1 - p_{wff}}{m} - \log \left(\frac{C_1 \eta}{r_w^2} \right) - 0,3514 \right]. \quad (3.22)$$

3.3 Identificação de pacotes – assuntos

Após explicitar os conceitos, serão desenvolvidos pelo *software* os seguintes conjuntos de assuntos (ou pacotes):

- Pacote TestePressão: apresenta os conceitos do teste de *build-up*. Importa os dados do teste de pressão de um arquivo .dat que serão processados para estimar os parâmetros do reservatório.
- Pacote Estatística: realiza a regressão linear dos dados passados no arquivo .dat. Deve apresentar conexão com o Pacote Reservatório, uma vez que recebe os dados contidos nele.
- Pacote Gráfico: gera os gráficos com a curva semi-logarítmica dos dados da regressão linear feita no Pacote Matemático. Também plota os dados de entrada da pressão versus tempo.
- Pacote Reservatório: é o pacote que contém os dados do sistema poço-reservatório.
- Pacote Simulador: composto de diversas equações, calcula propriedades que podem ser obtidas pela curva semi-logarítmica. Contém, também, os conceitos matemáticos métodos que podem ser utilizados para os cálculos das propriedades, MDH e Horner. Os resultados dessas equações são parte da saída do programa.
- Pacote Resultados: Os parâmetros calculados no Pacote Propriedades são fornecidos ao usuário através de um arquivo .dat e armazenados em um banco de dados. O mesmo é feito com as curvas de pressão x tempo, que são fornecidas ao usuário através de um arquivo de imagem e posteriormente armazenadas.

3.4 Diagrama de pacotes – assuntos

A Figura 3.5 representa o diagrama de pacotes para o simulador de cálculos de parâmetros de reservatório.

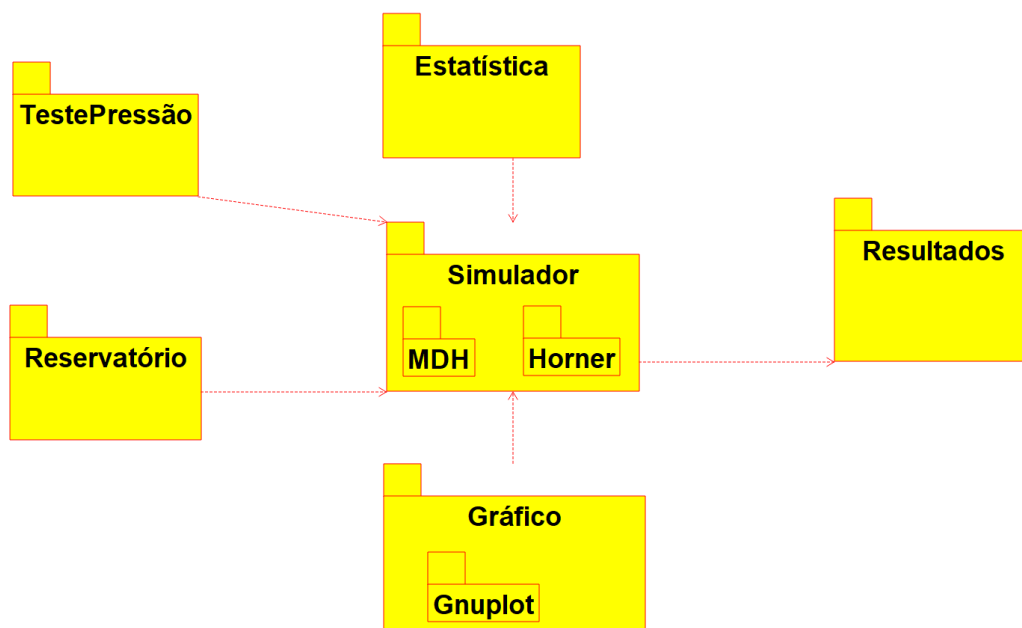


Figura 3.5: Diagrama de Pacotes

Capítulo 4

AOO – Análise Orientada a Objeto

A terceira etapa do desenvolvimento de um software é a AOO – Análise Orientada a Objeto. A AOO utiliza algumas regras para identificar os objetos de interesse, as relações entre os pacotes, as classes, os atributos, os métodos, as heranças, as associações, as agregações, as composições e as dependências.

4.1 Diagramas de classes

O diagrama de classes é apresentado na Figura 4.1.

4.1.1 Dicionário de classes

- Classe CPoco: é a classe que possui as características/atributos do poço, e tem uma função de entrada de dados por parte do usuário.
- Classe CFluido: é a classe responsável por receber as propriedades do fluido do usuário.
- Classe CReservatorio: é a classe com uma função de entrada de dados pelo usuário para informar as características do reservatório.
- Classe CDadosTestePressao: é a classe que recebe os dados de teste de pressão de um arquivo texto, que serão utilizados nos cálculos.
- Classe CAjusteHorner: é a classe responsável por aplicar o método de Horner com os dados obtidos no software.
- Classe CAjusteMDH: é a classe responsável por aplicar o método de MDH com os dados obtidos.
- Classe CEstatistica: é responsável por fazer a média e o desvio padrão de vetores, necessário para a regressão linear dos dados.

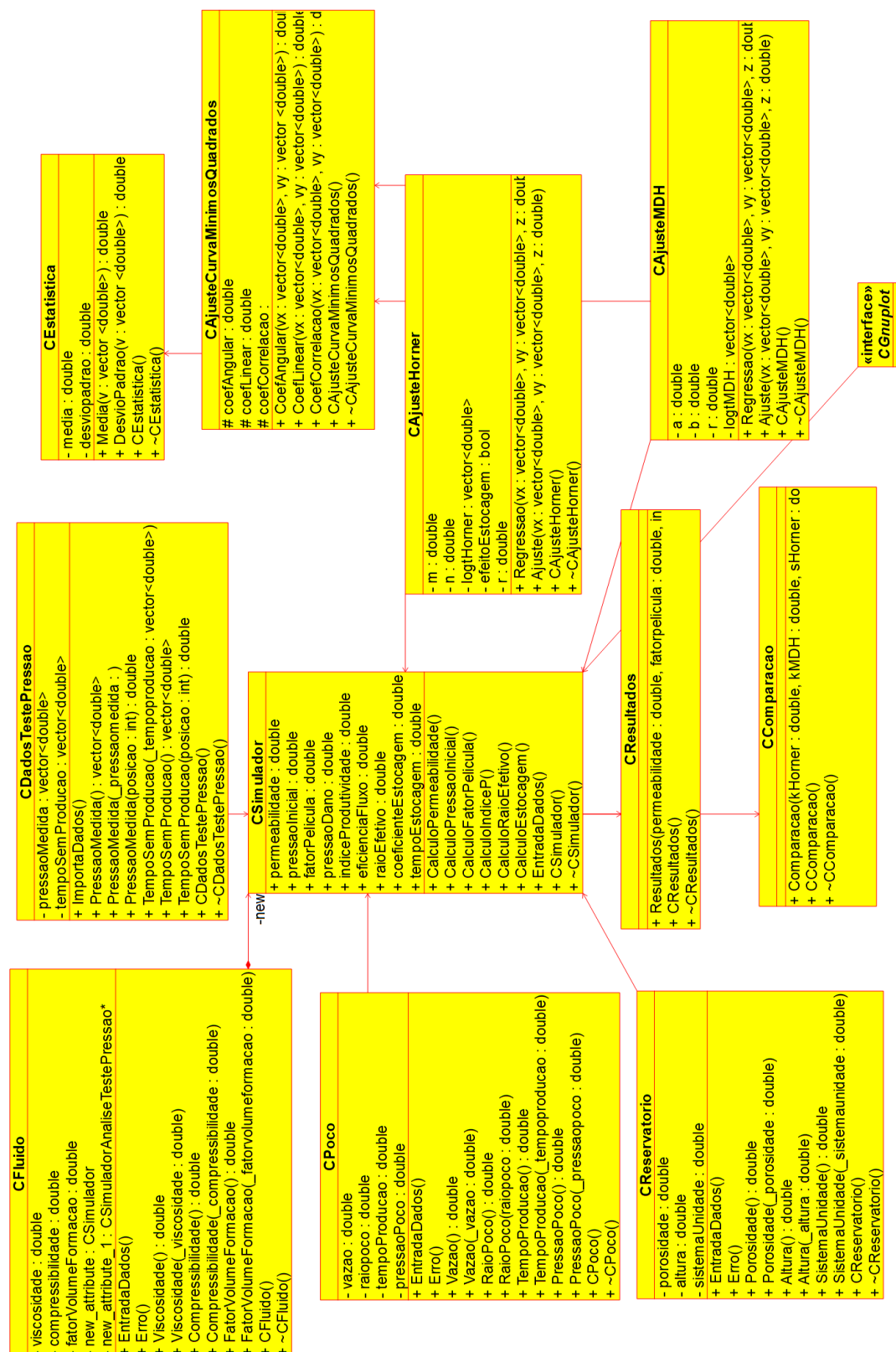


Figura 4.1: Diagrama de classes

- Classe CAjusteCurvaMinimosQuadrados: é a classe que realiza a regressão linear, por meio do método dos mínimos quadrados.
- Classe CSimulador: é a classe principal, que exerce comunicação com os objetos das outras classes para inferir parâmetros do reservatório e calcular as variáveis provenientes de equações de correlação.
- Classe CResultados: é a classe que interpreta os resultados obtidos e caracteriza o reservatório.
- Classe CComparacao: é a classe que compara os valores obtidos pelo método de Horner e MDH.
- O programa externo Gnuplot é responsável pela geração dos gráficos e exportação de imagens.

4.2 Diagrama de sequência – eventos e mensagens

4.2.1 Diagrama de sequência geral

Veja o diagrama de sequência na Figura 4.2.

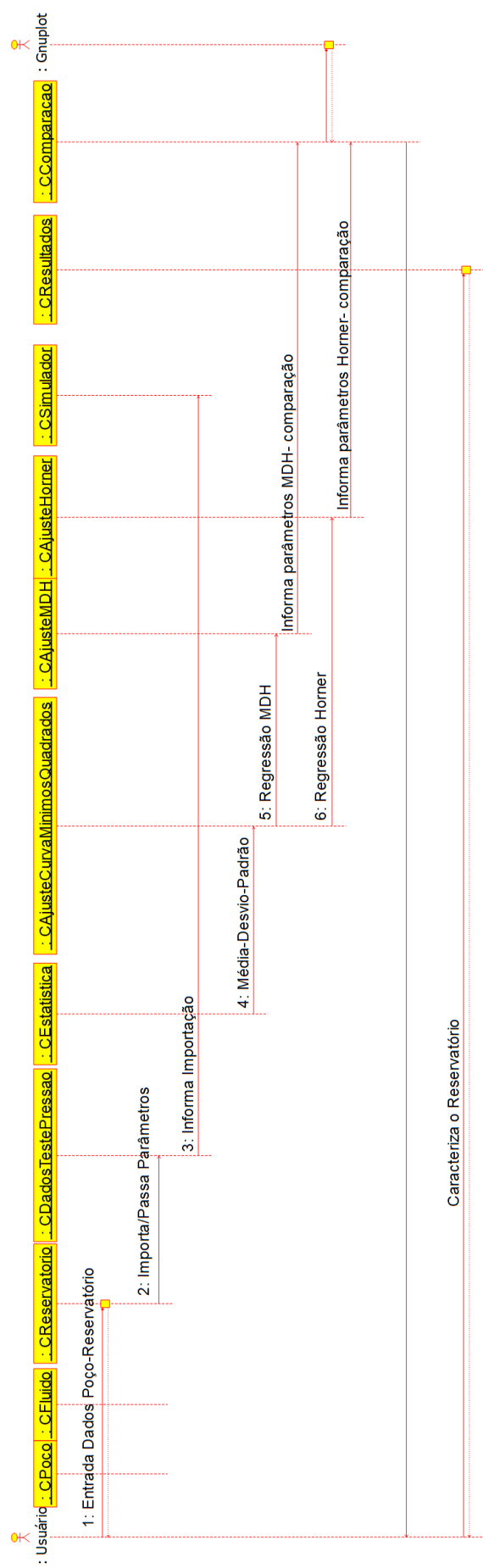


Figura 4.2: Diagrama de sequência

4.3 Diagrama de comunicação

A Figura 4.3 apresenta o diagrama de comunicação. Observe que há muita interação entre os objetos de cada classe, iniciando pela entrada de dados para preencher os objetos de CPoco, CReservatorio e CFluido. Caso não ocorra erro na entrada, a classe Dados-TestePressão importa os dados do arquivo de texto e informa para a classes de ajuste. Esta, por sua vez, utiliza a classe CAjusteCurvaMinimosQuadrados que faz a regressão de dois vetores usando a média e o desvio padrão obtidos da classe CEstadistica. Após a função Ajuste (r), que encontra o coeficiente de estocagem, o Simulador faz os cálculos dos parâmetros do reservatório com esses dados de entrada e de importação. A classe CResultados caracteriza o reservatorio com a função Resultados (permeabilidade, fatorPelicula, indiceProdutividade, raioPoco, raioEfetivo). Além disso, a classe CGnuplot permite gerar os gráficos da regressão e salvá-los. Por fim, com os parâmetros obtidos pelos métodos é possível realizar a comparação por meio da classe CComparacao.

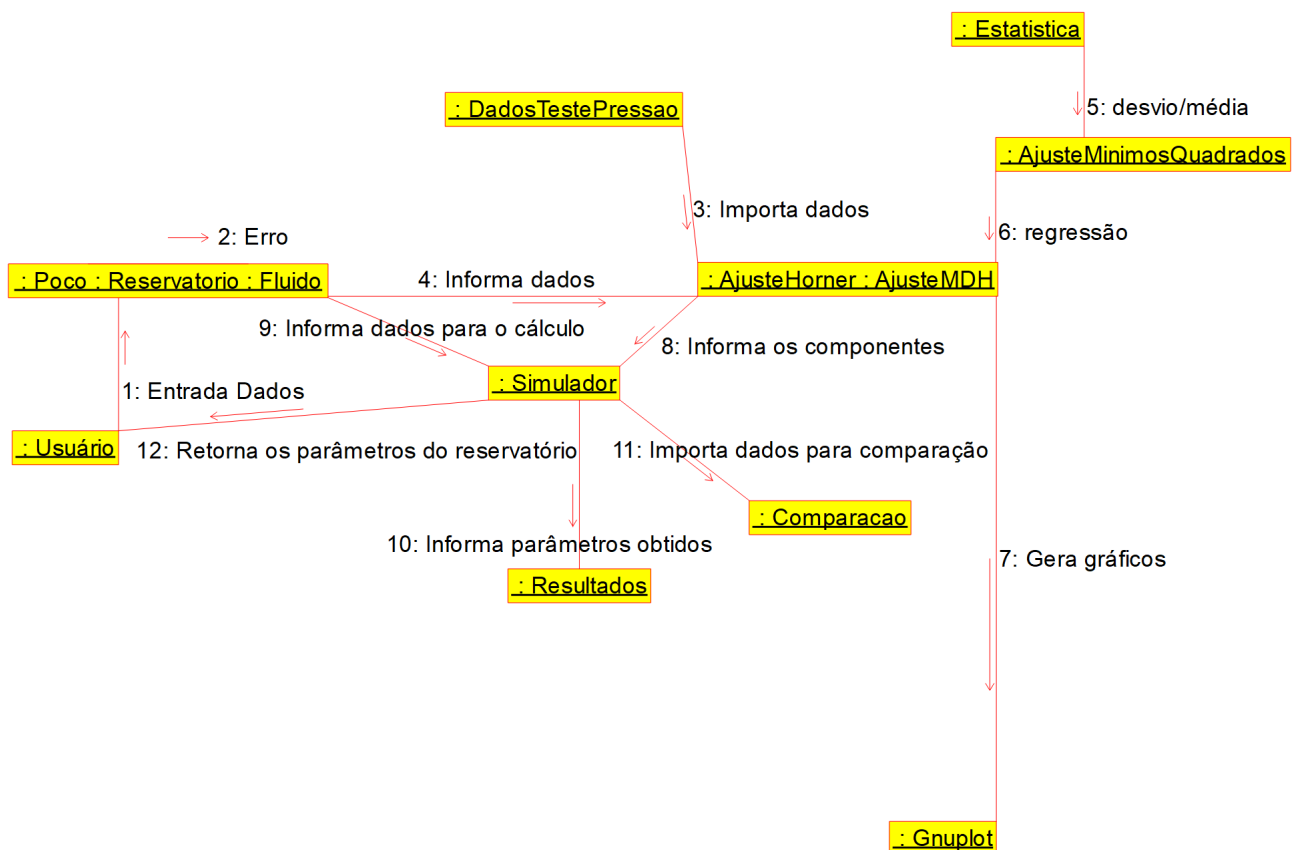


Figura 4.3: Diagrama de comunicação

4.4 Diagrama de máquina de estado

Um diagrama de máquina de estado representa os diversos estados que o objeto assume e os eventos que ocorrem ao longo de sua vida ou mesmo ao longo de um processo. É usado para modelar aspectos dinâmicos do objeto.

Veja na Figura 4.4 o diagrama de máquina de estado para um objeto da classe CComparacao.

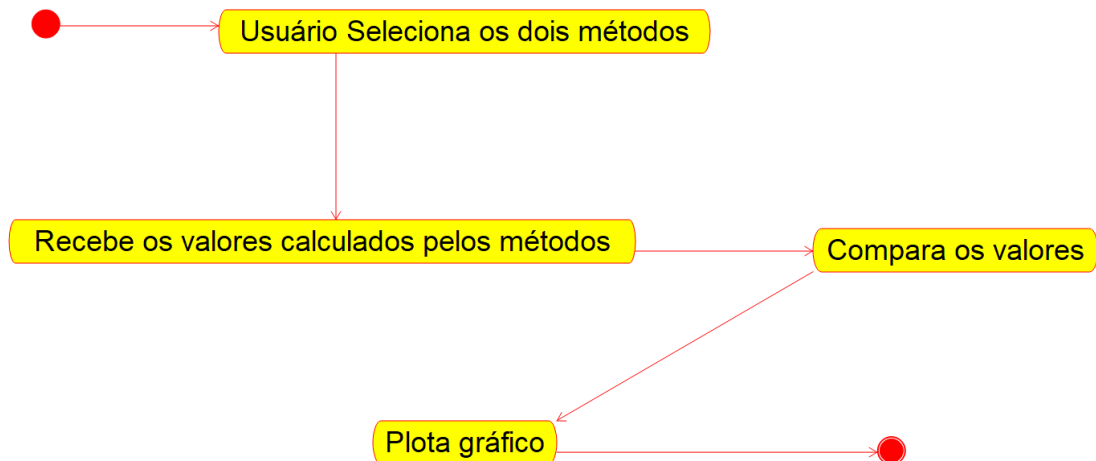


Figura 4.4: Diagrama de máquina de estado.

4.5 Diagrama de atividades

Veja na Figura 4.5 o diagrama de atividades correspondente a uma atividade específica do diagrama da máquina de estado. Os dados de entrada são fornecidos e importados. Não havendo erros, o programa prossegue com os dados para os cálculos pelo método de MDH e de Horner. Posteriormente os parâmetros calculados por ambos são comparados e assim finalizando o processo.

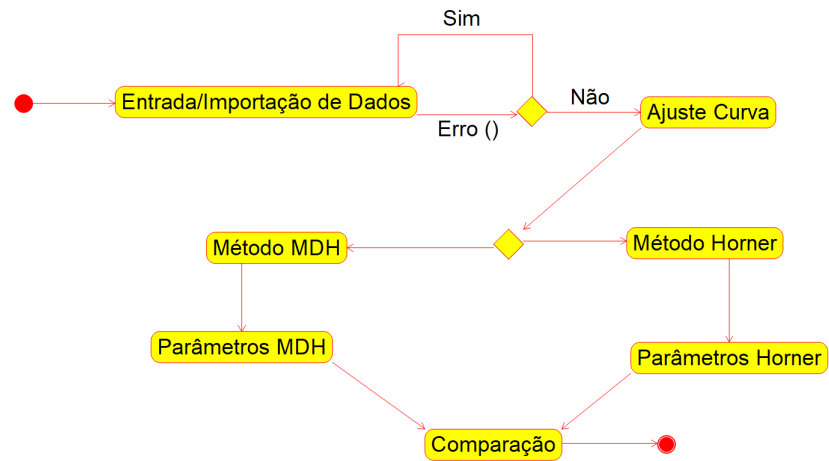


Figura 4.5: Diagrama de atividades da classe CComparacao

Capítulo 5

Projeto

Neste capítulo do projeto de engenharia veremos questões associadas ao projeto do sistema, incluindo protocolos, recursos, plataformas suportadas, implicações nos diagramas feitos anteriormente, diagramas de componentes e implantação. Na segunda parte revisamos os diagramas levando em conta as decisões do projeto do sistema.

5.1 Projeto do sistema

Depois da análise orientada a objeto desenvolve-se o projeto do sistema, qual envolve etapas como a definição dos protocolos, da interface API, o uso de recursos, a subdivisão do sistema em subsistemas, a alocação dos subsistemas ao hardware e a seleção das estruturas de controle, a seleção das plataformas do sistema, das bibliotecas externas, dos padrões de projeto, além da tomada de decisões conceituais e políticas que formam a infraestrutura do projeto.

Deve-se definir padrões de documentação, padrões para o nome das classes, padrões de retorno e de parâmetros em métodos, características da interface do usuário e características de desempenho.

Segundo [?, ?], o projeto do sistema é a estratégia de alto nível para resolver o problema e elaborar uma solução. Você deve se preocupar com itens como:

1. Protocolos

- Neste projeto o software irá se comunicar com o componente externo Gnuplot, que gerará gráficos, permitindo salvar imagens em disco.
- A entrada de dados será efetuada via arquivo de texto e através do teclado.
- Será utilizada a biblioteca padrão da linguagem C++.

2. Recursos

- O programa utiliza o HD, o processador, o teclado, a memória, a tela e os demais componentes internos do computador.

- Será utilizado um arquivo de dados no formato .txt para leitura das informações do teste de pressão.

3. Plataformas

- O programa usará a linguagem C++, portanto este será multiplataforma possuindo suporte em diversos sistemas operacionais.
- O software será desenvolvido no Windows e testado no GNU/Linux.
- O software utilizará a biblioteca externa CGnuplot, permitindo o acesso ao programa Gnuplot, para gerar gráficos.
- O ambiente para montar a interface de desenvolvimento será o software Code-Blocks (Windows). O compilador será o gcc/g++.

5.2 Projeto orientado a objeto – POO

O projeto orientado a objeto é a etapa posterior ao projeto do sistema. Baseia-se na análise, mas considera as decisões do projeto do sistema. Acrescenta a análise desenvolvida e as características da plataforma escolhida (hardware, sistema operacional e linguagem de softwareção). Passa pelo maior detalhamento do funcionamento do software, acrescentando atributos e métodos que envolvem a solução de problemas específicos não identificados durante a análise.

Envolve a otimização da estrutura de dados e dos algoritmos, a minimização do tempo de execução, de memória e de custos. Existe um desvio de ênfase para os conceitos da plataforma selecionada.

Efeitos do projeto no modelo estrutural

- Estabelecer as dependências e restrições associadas à plataforma escolhida.
 - O software pode ser executado nas plataformas Windows e GNU/Linux.
 - O programa depende da instalação do software externo Gnuplot, para o funcionamento do programa.

Efeitos do projeto no modelo dinâmico

- A elaboração do programa foi focada a orientação de objetos e os diagramas foram modificados durante o desenvolvimento do código, com isso não houveram mudanças nessa etapa.

Efeitos do projeto nos atributos

- Atributos para a leitura de dados do disco foram implementados.

Efeitos do projeto nos métodos

- O uso da função de salvar os gráficos gerados em formato .png foi permitida pela classe externa Gnuplot.
- A inserção de dados pelo usuário pelo teclado foi implementado, além da leitura de disco.

Efeitos do projeto nas heranças

- Essa etapa não envolveu mudanças no projeto.

Efeitos do projeto nas associações

- Essa etapa não envolveu mudanças no projeto.

Depois de revisados os diagramas da análise você pode montar dois diagramas relacionados à infraestrutura do sistema. As dependências dos arquivos e bibliotecas podem ser descritos pelo diagrama de componentes, e as relações e dependências entre o sistema e o hardware podem ser ilustradas com o diagrama de implantação.

5.3 Diagrama de componentes

O diagrama de componentes mostra a forma como os componentes do software se relacionam, suas dependências. Inclui itens como: componentes, subsistemas, executáveis, nós, associações, dependências, generalizações, restrições e notas.

Veja na Figura 5.1 o diagrama de componentes. A geração dos objetos depende dos arquivos de classe de extensão .h e .cpp. O simulador acessa as bibliotecas C++. O subsistema biblioteca representa o simulador e contém os demais arquivos das classes presentes. O subsistema biblioteca Gnuplot, um subsistema externo, inclui os arquivos de código da biblioteca CGnuplot e a biblioteca em si. O subsistema banco de dados representa o arquivo que o programa importará os dados a serem manipulados. O software executável a ser gerado depende da biblioteca gerada, dos arquivos da biblioteca CGnuplot, do banco de dados.

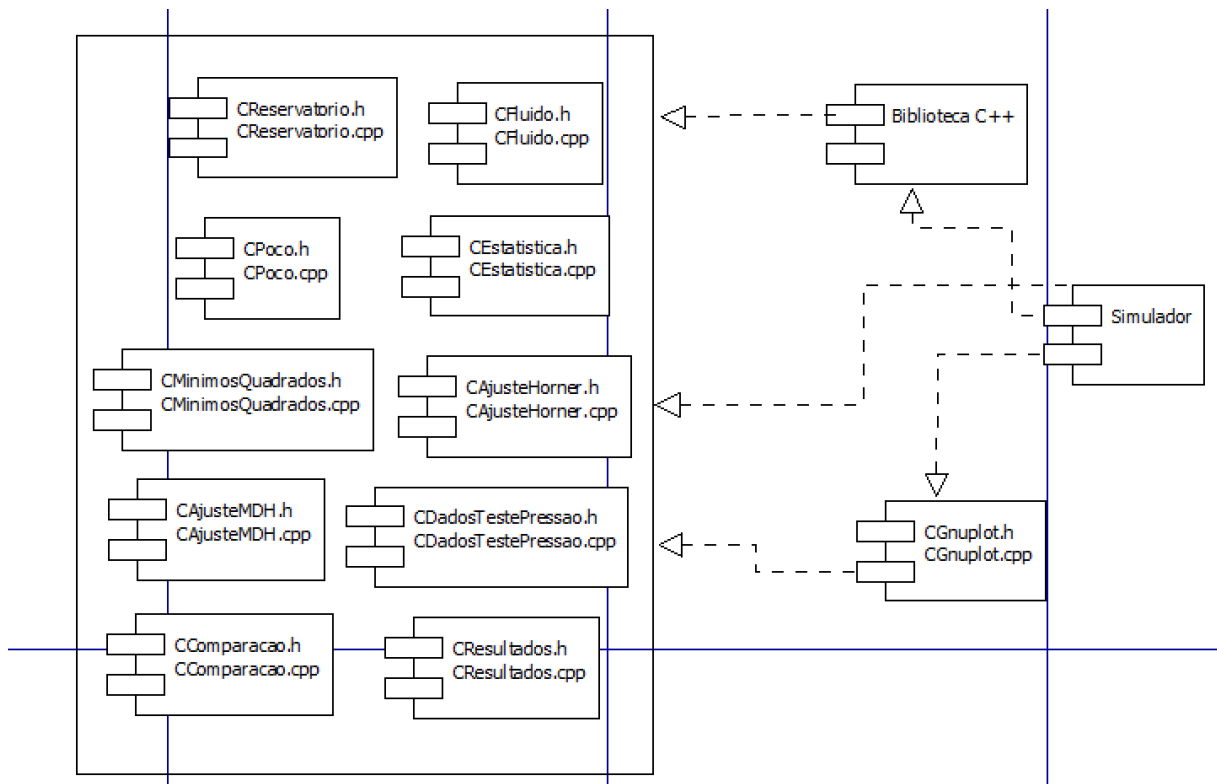


Figura 5.1: Diagrama de componentes

5.4 Diagrama de implantação

O diagrama de implantação é um diagrama de alto nível que inclui relações entre o sistema e o hardware e que se preocupa com os aspectos da arquitetura computacional escolhida. Seu enfoque é o hardware, a configuração dos nós em tempo de execução.

O diagrama de implantação deve incluir os elementos necessários para que o sistema seja colocado em funcionamento: computador, periféricos, processadores, dispositivos, nós, relacionamentos de dependência, associação, componentes, subsistemas, restrições e notas.

Veja na Figura 5.2 o diagrama de implantação do programa. Primeiramente, o simulador acessa os arquivos de dados no disco rígido, contendo as informações registradas pelo teste de pressão. O programa importa os arquivos e utiliza o teclado e o monitor para dispor os insumos e resultados ao usuário, possibilitando a comunicação. Os resultados e gráficos são armazenados no disco rígido.

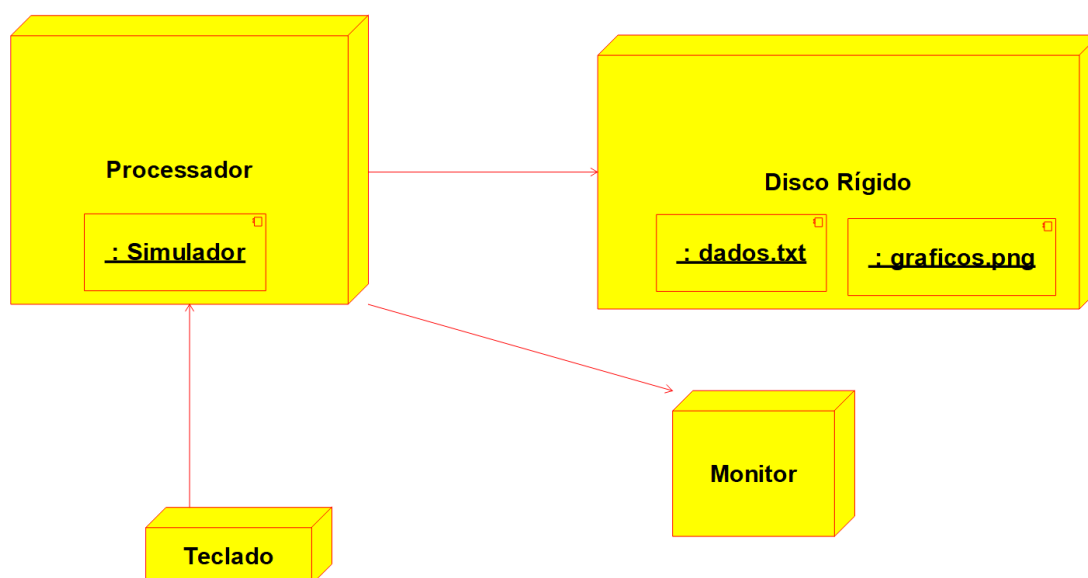


Figura 5.2: Diagrama de implantação

Índice Remissivo

A

Análise orientada a objeto, 18
AOO, 18
Associações, 27
atributos, 26

C

Casos de uso, 4
colaboração, 22
comunicação, 22
Concepção, 3

D

Diagrama de colaboração, 22
Diagrama de componentes, 27
Diagrama de execução, 28
Diagrama de máquina de estado, 23
Diagrama de sequência, 20

E

Efeitos do projeto nas associações, 27
Efeitos do projeto nas heranças, 27
Efeitos do projeto nos métodos, 27
Elaboração, 7
especificação, 3
estado, 23
Eventos, 20

H

Heranças, 27
heranças, 27

M

Mensagens, 20
métodos, 27
modelo, 26

P

Plataformas, 26
POO, 26
Projeto do sistema, 25
Projeto orientado a objeto, 26
Protocolos, 25

R

Recursos, 25