

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

PROJETO ENGENHARIA
DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE
CÁLCULO DO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE POÇOS
HORIZONTAIS E VERTICAIS
TRABALHO DA DISCIPLINA PROGRAMAÇÃO PRÁTICA

Versão 1:
CAROLINA BASTOS E DOUGLAS RIBEIRO
Prof. André Duarte Bueno

MACAÉ - RJ
Agosto - 2021

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Escopo do problema	1
1.2	Objetivos	1
2	Especificação	3
2.1	O que é a especificação?	3
2.2	Nome do sistema/produto	3
2.3	Especificação	3
2.3.1	Requisitos funcionais	4
2.3.2	Requisitos não funcionais	4
2.4	Casos de uso	5
2.4.1	Diagrama de caso de uso geral	5
2.4.2	Diagrama de caso de uso específico	5
3	Elaboração	7
3.1	Análise de domínio	7
3.2	Formulação teórica	8
3.2.1	Produtividade de Poços	8
3.2.2	Índice de Produtividade	8
3.2.3	Efeito Skin	9
3.2.4	Regime Permanente	9
3.2.5	Produtividade de Poços Horizontais	9
3.2.6	Cálculo do IP com anisotropia	11
3.2.7	Poços Verticais Fraturados	11
3.2.8	Modelos de cálculo de IP para poços verticais fraturados	13
3.3	Diagrama de pacotes – assuntos	17
4	AOO – Análise Orientada a Objeto	18
4.1	Diagramas de classes	18
4.1.1	Dicionário de classes	20
4.2	Diagrama de seqüência – eventos e mensagens	21
4.2.1	Diagrama de seqüência geral	21

4.3	Diagrama de comunicação – colaboração	21
4.4	Diagrama de máquina de estado	22
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	30
5.4	Diagrama de implantação	31

Capítulo 1

Introdução

No presente projeto de engenharia desenvolve-se o software Cálculo do Índice de Produtividade de Poços Horizontais e Verticais, um software aplicado a engenharia de petróleo e que utiliza o paradigma da orientação a objetos.

O software é da área de engenharia de poços e permite simular a influência de parâmetros do reservatório e do fluido na produtividade dos poços, podendo os resultados serem comparados para definir qual melhor design de poço para cada cenário.

1.1 Escopo do problema

O projeto de perfuração de um poço horizontal é diferente de um projeto de perfuração de um poço vertical porque a produtividade do poço depende do comprimento do mesmo, além de fatores determinantes em ambos os projetos como permeabilidades, anisotropias, espessura permeável, viscosidade do óleo e vários aspectos relativos à perfuração do trecho horizontal. Para cada diferente cenário, haverá uma diferente solução de poço para desenvolver o campo. E isto engloba além do fator financeiro, a capacidade produtiva desses poços, se será ou não vantajoso a exploração do mesmo.

Por isso, é importante evidenciar em que situações, em termos de produtividade, qual design de poço seria mais recomendado através de uma comparação de resultados, alinhado com um embasamento teórico, sobre diversos parâmetros de reservatório que podem intervir na produtividade do poço horizontal e qual o ganho de produtividade em relação ao poço vertical. Assim os engenheiros de reservatório e de poço podem trabalhar de forma conjunta para escolher a técnica mais apropriada.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste projeto de engenharia são:

- Objetivo geral:

- Desenvolver um projeto de engenharia de software para resolver os diferentes modelos matemáticos de previsão de produtividade de poços horizontais e verticais e a influência dos parâmetros de reservatórios nos mesmos para analisar em que situações, em termos de produtividade, qual design de poço seria mais recomendado através das simulações.
- Objetivos específicos:
 - Modelar física e matematicamente o problema.
 - Modelagem estática do software (diagramas de caso de uso, de pacotes, de classes).
 - Modelagem dinâmica do software (desenvolver algoritmos e diagramas exemplificando os fluxos de processamento).
 - Calcular o Índice de Produtividade (IP) dos poços, a partir dos modelos analíticos de Borisov, Giger, Joshi e Prats.
 - Calcular, em casos que houver *skin*, o raio efetivo do poço (r'_w).
 - Simular a influência de parâmetros do reservatório, como a altura, a anisotropia, a centralização vertical e a viscosidade do fluido nos resultados do IP.
 - Implementar manual simplificado de uso do software.

Capítulo 2

Especificação

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

2.1 O que é a especificação?

Nesta seção são descritas as principais características, além dos requisitos para a utilização do software desenvolvido.

2.2 Nome do sistema/produto

Nome	Cáculo do Índice de Produtividade de Poços Horizontais e Verticais
Componentes principais	Sistema para calcular a influência das propriedades do reservatório e do fluido na produtividade dos poços horizontais e verticais a fim de definir qual melhor design para o poço.
Missão	Simular diferentes cenários do sistema fluido/reservatório e sua influência na produtividade dos poços. Calcular IP dos poços. Gerar gráficos que permita comparar IP de poços com diferentes desigs (horizontal/vertical).

2.3 Especificação

Apresenta-se a seguir a especificação do software.

O projeto a ser desenvolvido consiste de um programa que deverá realizar cálculos de IP de poços horizontais e verticais, além de mostrar os resultados graficamente. Os cálculos serão feitos a partir de modelos matemáticos existentes na literatura e na dinâmica de execução do software, o usuário poderá escolher qual modelo deseja utilizar, qual o tipo de formação a ser atravessada pelo poço e o sistema de unidades adotado. Além disso, o usuário deverá entrar com os dados do reservatório (permeabilidades horizontal e vertical, espessura, comprimento e raio do poço) e viscosidade do fluido - ou poderá inserir esses dados em um arquivo .txt e usá-lo como input do programa. Ao final da simulação o usuário poderá ver os resultados em tela, gerar gráficos e salvá-los como imagem.

2.3.1 Requisitos funcionais

Apresenta-se a seguir os requisitos funcionais.

RF-01	O programa deverá solicitar os dados de entrada (parâmetros do poço, do reservatório e do fluido) ao usuário.
RF-02	O programa também deverá permitir o carregamento desses dados de entrada a partir de um arquivo de disco criado pelo usuário.
RF-03	O usuário deverá ter liberdade para escolher o sistema de unidade que deseja realizar os cálculos (dentre aqueles mais comuns utilizados na engenharia).
RF-04	O usuário deverá ter liberdade para escolher o tipo de formação que o poço irá atravessar (isotrópica ou anisotrópica)
RF-05	O usuário deverá ter liberdade para escolher o modelo matemático para o cálculo do IP.
RF-06	O programa deverá mostrar os resultados dos cálculos de IP na tela.
RF-07	O usuário poderá plotar seus resultados em um gráfico, podendo este ser salvo como imagem.

2.3.2 Requisitos não funcionais

RNF-01	Os cálculos devem ser feitos utilizando-se formulações/modelos matemáticos conhecidos na 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 1.1 apresenta um caso de uso do sistema.

Tabela 2.1: Exemplo de caso de uso

Nome do caso de uso:	Cálculo do IP de um poço horizontal
Resumo/descrição:	Determinar a capacidade produtiva de um poço do tipo horizontal, a partir de um modelo matemático a ser escolhido
Etapas:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entrar com os dados do reservatório e do fluido (permeabilidade, espessura, viscosidade, etc.). 2. Definir o sistema de unidades a ser utilizado. 3. Definir o tipo de formação a ser atravessada pelo poço: isotrópica ou anisotrópica. 5. Definir o modelo matemático mais apropriado para aquele cenário de reservatório/fluido. 6. Analisar resultados. 7. Plotar os resultados em um gráfico.
Cenários alternativos:	Inserir valores negativos para parâmetros do reservatório ou incompatíveis com a ordem de grandeza do problema real. Escolher alguma unidade de medida que seja incompatível com o sistema adotado.

2.4.1 Diagrama de caso de uso geral

O diagrama de caso de uso geral da Figura 2.1 mostra o usuário interagindo com o software para obter o IP de um poço horizontal. Neste caso de uso geral, o usuário insere os dados de entrada (via tela ou através de um arquivo .txt) para então analisar o resultado obtido.

2.4.2 Diagrama de caso de uso específico

O caso de uso Calcular IP de um Poço Horizontal descrito na Figura 2.1 e na Tabela 2.1 é detalhado na Figura 2.2. O usuário pode escolher diferentes métodos ou mudar o design do poço para vertical e então plotar esses diferentes cenários em um gráfico para fazer comparações e definir qual melhor se adequa ao projeto.

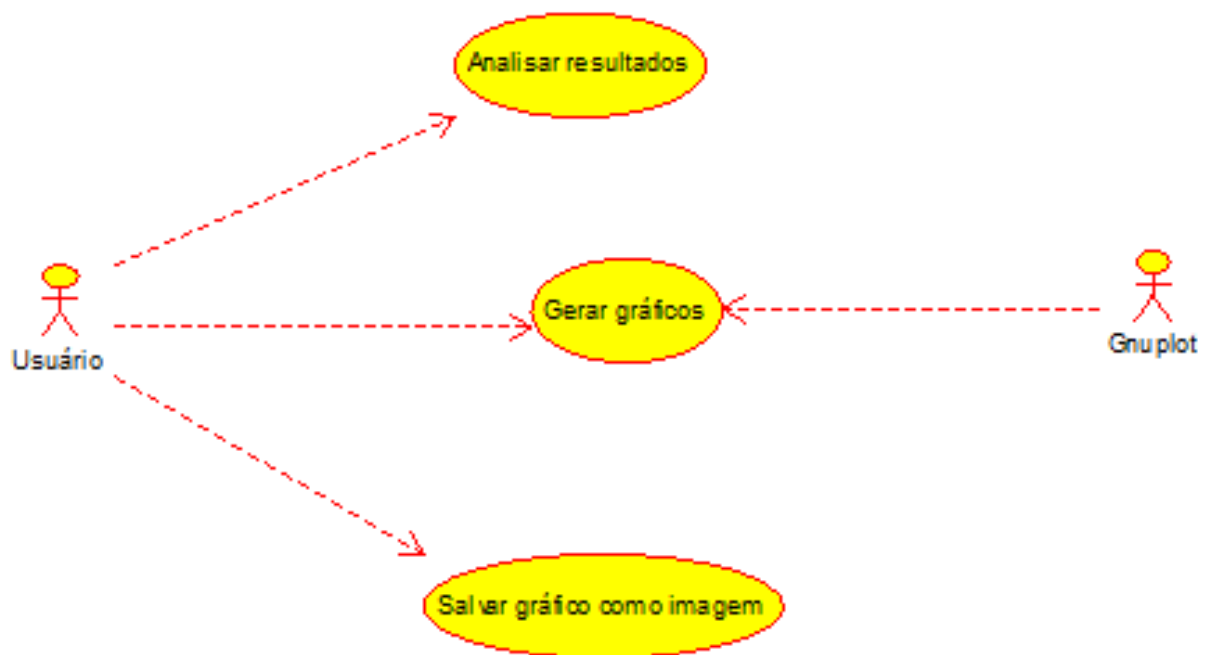


Figura 2.1: Diagrama de caso de uso geral – Cálculo do IP

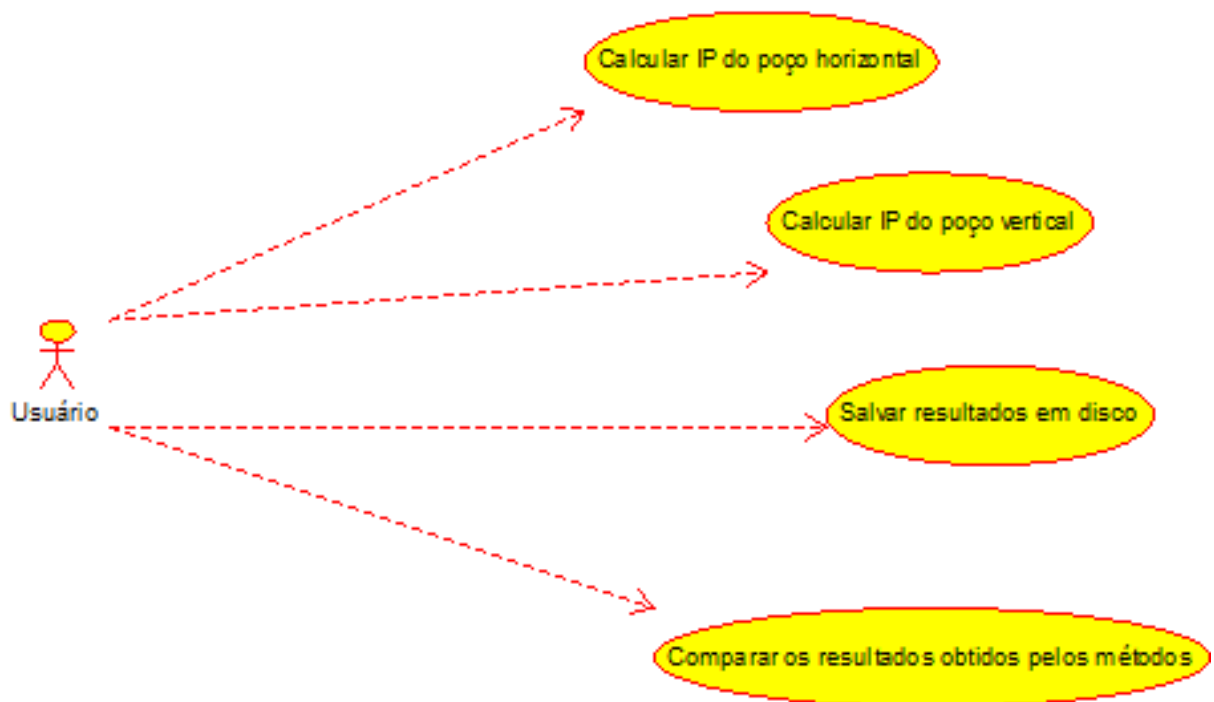


Figura 2.2: Diagrama de caso de uso específico – Escolha do modelo e gerar gráfico com os resultados

Capítulo 3

Elaboração

Depois da definição dos objetivos, da especificação do software e da montagem dos primeiros diagramas de caso de uso, a equipe de desenvolvimento do projeto de engenharia passa por um processo de elaboração que envolve o estudo de conceitos relacionados ao sistema a ser desenvolvido, a análise de domínio e a identificação de pacotes.

Na elaboração fazemos uma análise dos requisitos, ajustando os requisitos iniciais de forma a desenvolver um sistema útil, que atenda às necessidades do usuário e, na medida do possível, permita seu reuso e futura extensão.

Eliminam-se os requisitos "impossíveis" e ajusta-se a idéia do sistema de forma que este seja flexível, considerando-se aspectos como custos e prazos.

3.1 Análise de domínio

A tecnologia de poços horizontais constitui o padrão de perfuração e implementação de poços de desenvolvimento na indústria do petróleo, ao lado da perfuração direcional, principalmente em ambientes offshore, devido ao alto custo de um poço. Antes do avanço da tecnologia para a perfuração de poços horizontais a desvantagem em relação a poços verticais era que apenas uma área poderia ser drenada por um mesmo poço.

A partir do surgimento de novas técnicas de perfuração passaram-se a perfurar poços horizontais multilaterais, assim um poço poderia drenar mais de um reservatório. A partir de um poço vertical perfuram-se vários trechos horizontais em diferentes camadas. O principal motivo para esse tipo é o grande aumento que se dá de produtividade, podendo apontar outras vantagens em relação ao poço vertical como menor gradiente de pressão, menor número de poços, maior exposição ao reservatório, poços de longo alcance, redução da produção de areia, entre outros. Porém, como qualquer outro método há desvantagens, por exemplo, se o poço horizontal for atingido pela água proveniente do contato óleo/água ascendente, dependendo da completação que foi utilizada no poço, ele deverá ser fechado ou transformado em um poço injetor, não podendo haver intervenção ou recompletação.

O projeto de perfuração de um poço horizontal é diferente de um poço vertical, porque

a sua produtividade depende de seu comprimento, além de fatores determinantes em ambos os projetos como viscosidade do óleo e permeabilidade da formação e vários aspectos relativos à perfuração do trecho horizontal.

Este projeto tem como objetivo evidenciar em que situações, em termos de produtividade, qual design de poço seria mais recomendado por meio de um estudo com embasamento teórico sobre diversos parâmetros de reservatório que podem intervir na produtividade do poço horizontal e qual o ganho de produtividade em um poço vertical à estimulação, em especial o fraturamento hidráulico.

Depois de estudar as especificações do sistema e estudos de biblioteca e de disciplinas do curso foi possível identificar nosso domínio de trabalho:

- O software irá calcular vários índices de produtividade para um mesmo reservatório dado por meio dos métodos a depender do caso ser isotrópico ou anisotrópico;
- O software usará conceitos de engenharia de reservatório e da engenharia de poço para que se realize as simulações, aqui iremos ter explanações básicas de quando se usar cada método, porém é necessário que se tenha o conhecimento básico dessas disciplinas para a realização da simulação.
- O software plotará os resultados dos índices de produtividade para poços com diferentes design.

3.2 Formulação teórica

3.2.1 Produtividade de Poços

Inicialmente, serão apresentadas algumas definições de parâmetros para uma boa compreensão de termos e conceitos utilizados no decorrer do projeto.

3.2.2 Índice de Produtividade

O índice de produtividade, de forma simplificada, é dado pela equação 3.1 :

$$IP = \frac{Q}{P_e - P_w} \quad (3.1)$$

Onde:

$Q = \text{vazão} [m^3/d]$

$P_e = \text{pressão estática do reservatório} [kgf/cm^2]$

$P_w = \text{pressão de fluxo do poço} [kgf/cm^2]$

3.2.3 Efeito Skin

Segundo [JOSHI, 1988] o efeito de película ou de skin é um modelo matemático introduzido na indústria de petróleo por Van Everdingen & Hurst com o objetivo de simular uma simulação física originada por um fenômeno real, o dano à formação.

A partir da definição do fator de skin pode-se definir o raio efetivo do poço por meio da equação 3.2:

$$r'_w = r e^{-s} \quad (3.2)$$

Onde:

r'_w = raio efetivo do poço [cm]

r_w = raio do poço [cm]

s = fator de skin

3.2.4 Regime Permanente

As soluções analíticas em estado estacionário ou permanente são a forma mais simples de soluções para poços horizontais. No regime de fluxo permanente, por hipótese admitimos que a pressão em qualquer ponto do reservatório é independente do tempo.

Na realidade são pouquíssimos casos de reservatórios que operam sob as condições do regime de fluxo permanente. Apesar disso, essas soluções são usadas em grande frequência segundo [JOSHI, 1988] pelos seguintes fatos:

1. São de fácil dedução analítica;
2. Podem ser usados para obter soluções para o fluxo transiente, usa-se o artifício de aumentar o raio de drenagem com o tempo;
3. Podem ser usadas para se obter soluções para o fluxo pseudopermanente por meio do emprego do fator de Dietz, que permite o cálculo da pseudopressão para diversas geometrias do reservatório;
4. Podem ser verificadas experimentalmente por meio de modelos de laboratório [ROSA, 2006].

3.2.5 Produtividade de Poços Horizontais

Os métodos abaixo são para formações isotrópicas, ou seja, com a permeabilidade vertical igual à horizontal.

- Borisov:

$$IP = \frac{\frac{2\pi k_h h}{\mu}}{\ln\left(\frac{4r_{eh}}{L}\right) + \left[\left(\frac{h}{L}\right)\ln\left(\frac{h}{2\pi r_w}\right)\right]} \quad (3.3)$$

- Giger:

$$IP = \frac{\frac{2\pi k_h h}{\mu}}{\left(\frac{L}{h}\right) \ln\left(\frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{L}{2r_{eh}}\right)^2}}{\frac{L}{2r_{eh}}}\right) + \ln\left(\frac{h}{2\pi r_w}\right)} \quad (3.4)$$

- Joshi:

$$IP = \frac{2\pi k_h h}{\ln\left(\frac{a + \sqrt{a^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}}{\frac{L}{2}}\right) + \left(\frac{h}{L}\right) \ln\left(\frac{h}{2r_w}\right)} \quad (3.5)$$

Onde:

$$a = \left(\frac{L}{2}\right) \sqrt{0.5 + \sqrt{0.25 + \left(\frac{2r_{eh}}{L}\right)^4}} \quad (3.6)$$

IP = Índice de Produtividade

k_h = permeabilidade horizontal

h = altura do reservatório

μ = viscosidade do óleo

r_{eh} = raio exeterno do reservatório

L = comprimento horizontal do reservatório

r_w = raio do poço

Na literatura também é apresentado uma solução que é independente do raio de drenagem r_{eh} do poço. segundo [SHEDID, 2001]:

$$IP = \frac{\frac{2\pi h k}{\mu B_o}}{\left[\ln\left(\frac{h/2r_w}{L/h}\right) + \left(0.25 + \frac{C}{L}\right)\left(\frac{1}{r_w} - \frac{2}{h}\right)\right]} \quad (3.7)$$

Onde:

B_o = fator volume de formação do óleo

E a contante C é mostrada na figura 3.1 abaixo:

Horizontal well	Value of (C) or equation to be used to calculate the constant (C), ft
Length (L), ft	
>0-1000	270
>1000-3000	$C = 470 - 0.20 * L$

Figura 3.1: Constante C

3.2.6 Cálculo do IP com anisotropia

$$IP = \frac{Q}{\Delta P} = \frac{\frac{2\pi k_h h}{\mu}}{\ln\left(\frac{a + \sqrt{a^2 - (\frac{L}{2})^2}}{\frac{L}{2}}\right) + \left(\frac{\beta h}{L}\right) \ln\left(\frac{\beta h}{2r_w}\right)} \quad (3.8)$$

Onde:

$$\beta = \sqrt{\frac{k_h}{k_v}} \quad (3.9)$$

ΔP é a queda de pressão no reservatório

- Modelo de Renard e Dupuy:

$$IP = \frac{2\pi k_h h}{\mu} \left(\frac{1}{\cosh^{-1}(X) + \left(\frac{\beta h}{L}\right) \left(\ln \left[\frac{h}{2\pi r'_w} \right] \right)} \right) \quad (3.10)$$

Onde:

$$r'_w = \frac{1 + \beta}{2\beta} r_w \quad (3.11)$$

$$X = \frac{2a}{L} \quad (3.12)$$

Isso é usado para uma área elipsoidal, a é dado pela equação 3.6 e β pela equação 3.9.

3.2.7 Poços Verticais Fraturados

Fraturamento Hidráulico

O fraturamento hidráulico é uma técnica usada para estimular poços através da aplicação de uma pressão contra a rocha reservatório causando seu rompimento por tração por uso de um fluido chamado fluido de fraturamento. Durante a operação de fraturamento de um poço vertical não se tem muito controle sobre a altura da fratura, que pode ser muito grande, a depender da resistência oferecida pelas formações adjacentes. Como pode ser visto na figura 3.2(a), a fratura penetra totalmente a formação, isto é, a altura da fratura é igual à da formação e na parte 3.2(b), a fratura diminui a partir do momento em que se distancia do poço.

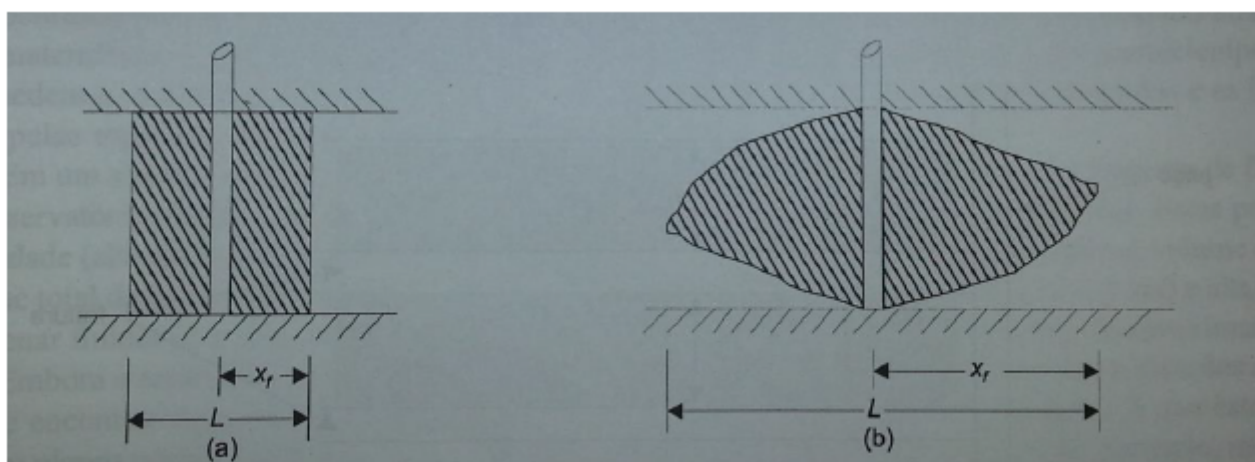


Figura 3.2: Tipos de fratura

Segundo [JOSHI, 1988] do ponto de vista do reservatório, as fraturas artificiais ou induzidas são subdivididas em três categorias diferentes, como mostra a figura 3.3: fraturas com fluxo uniforme (a), fraturas de condutividade infinita (b) e fraturas com condutividade finitas (c).

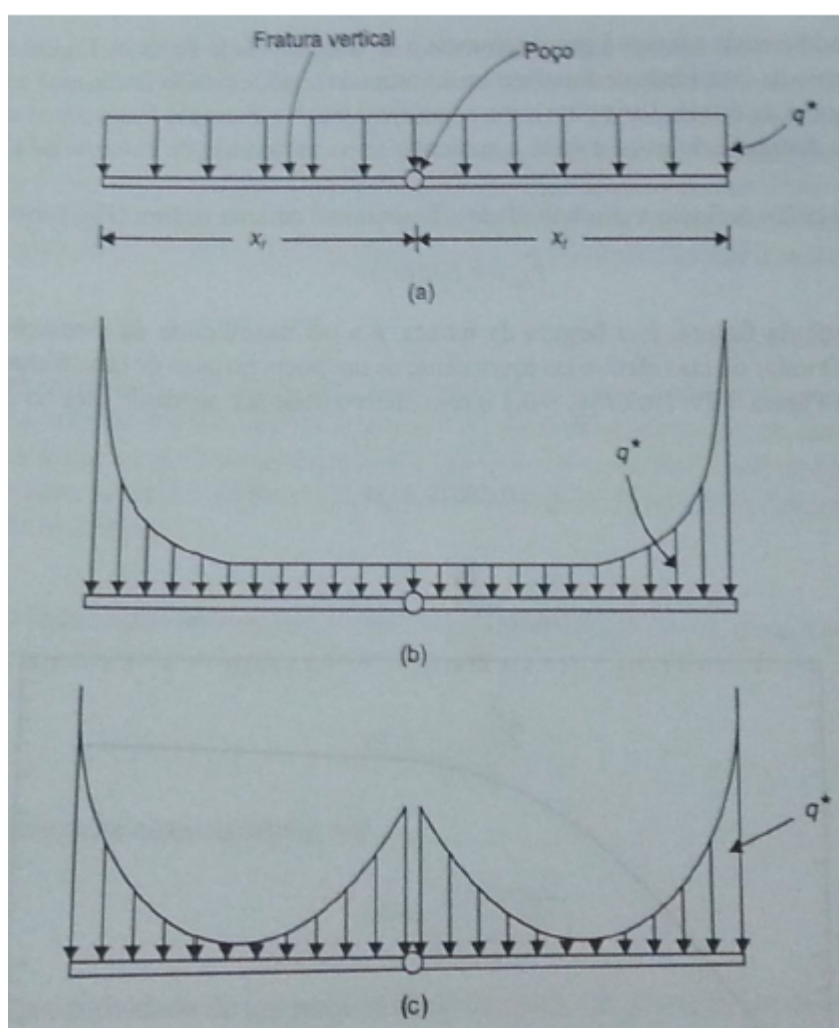


Figura 3.3: Categorias de fraturas

(a) Fratura com fluxo uniforme: O raio efetivo de um poço com fratura sob fluxo uniforme é definido, segundo [JOSHI, 1988], por:

$$r'_w = \frac{L}{2e} = \frac{x_f}{e} \quad (3.13)$$

Onde:

r'_w = raio efetivo do poço

L = comprimento total da fratura

x_f = comprimento de uma fratura

e = logaritmo neperiano

(b) Fratura com condutividade infinita: O raio efetivo de um poço com fratura de condutividade infinita que penetra totalmente é definido, de acordo com Joshi baseado no modelo de Prats, por:

$$r'_w = \frac{L}{4} = \frac{x_f}{2} \quad (3.14)$$

se $\left(\frac{x_f}{x_e}\right) > 0.3$

Onde:

x_e é a metade do comprimento de uma área quadrada drenada

(c) Fratura com condutividade finita: A condutividade adimensional é definida por:

$$F_{CD} = \frac{k_f b_f}{k x_f} \quad (3.15)$$

Onde:

k_f = permeabilidade da fratura

b_f = largura da fratura

k = permeabilidade da formação

x_f = comprimento da fratura

L = comprimento da fratura

Para $F_{CD} < 0.1$, a seguinte equação pode ser usada para calcular o raio efetivo do poço:

$$r'_w = \frac{0.2807 k_f b_f}{k} \quad (3.16)$$

3.2.8 Modelos de cálculo de IP para poços verticais fraturados

A equação do modelo de Prats explicita o ganho de produtividade em poço vertical fraturado em relação a um poço vertical convencional.

• Prats:

$$\frac{IP}{IP_0} = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_{w'}}\right)} \quad (3.17)$$

$$a = \frac{\pi k x_f}{2 k_f w} \quad (3.18)$$

$$r'_{wD} = \frac{r'_w}{x_f} = \frac{r_w e^{-s_f}}{x_f} \quad (3.19)$$

Onde:

IP = índice de produtividade do poço vertical fraturado

IP_0 = índice de produtividade do poço vertical sem fratura

r_e = raio externo

r_w = raio do poço

r'_w = raio efetivo do poço

r'_{wD} = raio efetivo do poço adimensional

$k_f w$ = condutividade da fratura

x_f = comprimento de uma asa da fratura

s_f = parâmetro de Prats

k = permeabilidade do reservatório

No caso particular de condutividade infinita para $a \rightarrow 0$, então $r'_{wD} = 0.5$, assim:

$$\frac{IP}{IP_0} = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{0.5L'}\right)} \quad (3.20)$$

Onde:

L' é o raio da fratura.

O parâmetro a é dado por meio do gráfico da figura 3.4 abaixo:

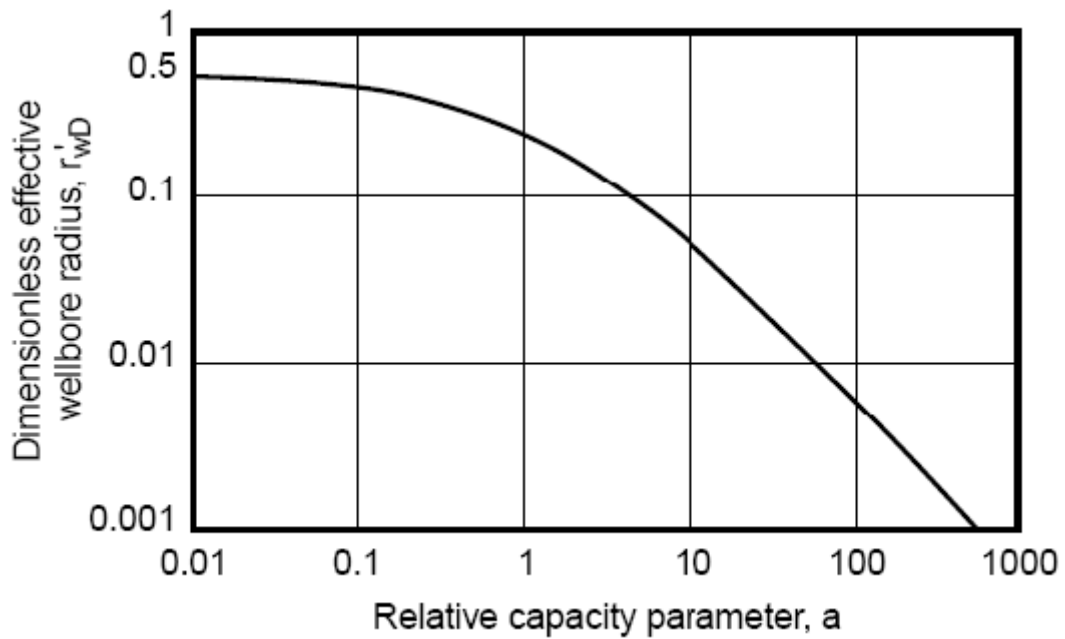


Figura 3.4: Parâmetro a

A equação do modelo de McGuire & Sikora supõe um reservatório em regime de fluxo pseudo-permanente, ou seja, vazão constante e área de drenagem quadrada.

- McGuire & Sikora:

Neste modelo, é usada a condutividade relativa:

$$CR = \frac{w_f k_f}{k} \sqrt{\frac{40}{A}} \quad (3.21)$$

Onde:

w_f = abertura da fratura

k_f = permeabilidade da fratura

k = permeabilidade da formação

A equação de Cinco-Ley desenvolvido em 1978 trata do reservatório em regime de fluxo transiente, com vazão constante no poço e condutividade de fratura infinita.

A condutividade adimensionalizada introduzida pelo modelo é dada pela equação a seguir:

$$C_{fD} = \frac{k_f w}{k_f x} = \frac{\pi}{2a} \quad (3.22)$$

Sendo a a capacidade relativa da fratura (Modelo de Prats). Ou pode ser obtida através do gráfico da figura 3.5.

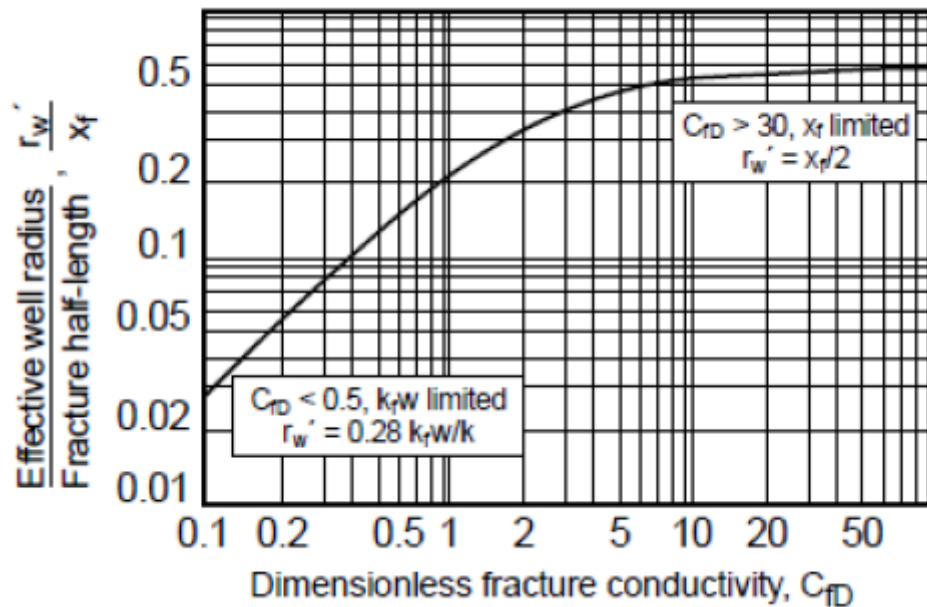


Figura 3.5: Condutividade da fratura C_{fD}

Fraturamento ácido

Nesta modalidade de estimulação é combinado o fraturamento hidráulico e a acidificação matricial. A fratura é propagada através de um processo hidráulico, mas a con-

ductividade da fratura é caracterizada pela reação do ácido com a rocha utilizada, criando tortuosidades nas superfícies de fratura.

Modelo de condutividade para fraturamento ácido:

- Nierode & Kruk (1973)

Desenvolveram uma equação empírica da condutividade da fratura por fraturamento ácido como é apresentada pela equação:

$$kfw = C_1 e^{-C_2 S} \quad (3.23)$$

Sendo:

$$C_1 = 0.265(DREC)^{0.822} = 1.47 \times 10^7 w_i^{2.47} \quad (3.24)$$

$$C_2 = [13.9 - 1.3 \ln(RES)] \cdot 10^{-3} \quad (3.25)$$

para $RES < 20000 \text{ psi}$

$$C_2 = [3.8 - 0.28 \ln(RES)] \cdot 10^{-3} \quad (3.26)$$

para $RES \geq 20000 \text{ psi}$

$$w_i = \frac{XV}{2(1 - \phi)x_f h_f} \quad (3.27)$$

Onde:

kfw = condutividade da fratura

S = pressão de fechamento (closing stress)

$DREC$ = condutividade equivalente à quantidade de rocha dissolvida

RES = resistência da rocha à endentação

w_i = abertura da fratura através da dissolução da rocha pelo ácido antes do fechamento da fratura

X = capacidade de dissolução volumétrica do ácido

V = volume injetado

ϕ = porosidade da formação

x_f = comprimento de asa de uma fratura

h_f = altura da fratura

RES é um parâmetro de deformação da rocha, assim como o módulo de elasticidade E , medido em laboratório por meio de um aparelho chamado penetrômetro.

Para mais informações sobre o assunto, o livro “Well Completion Design” complementar.

3.3 Diagrama de pacotes – assuntos

Com base na análise de domínio do software desenvolvido, foram identificados os seguintes pacotes:

- Pacote de de Dados: O programa irá solicitar os dados de entrada (parâmetros do reservatório e do fluido) ao usuário.
- Pacote de Poço: O usuário irá informar se deseja fazer a simulação com reservatório isotrópico ou anisotrópico.
- Pacote de Conversão : O usuário irá escolher o sistema de unidade que poderá ser *S.I*, petrobras ou americano e este pacote terá métodos de conversão entre essas unidades os quais será mostrado o resultado final.
- Pacote de Métodos de cálculo de IP : Aqui serão encontrados os métodos para o cálculo do índice de produtividade.
- Pacote e Gráficos: Usando um software Gnuplot, será possível gerar gráficos relacionando cada índice de produtividade com cada método.
- Pacote Simulador: Relaciona os pacotes acima, sendo responsável pela criação e destruição dos objetos.

Veja Figura 3.6.

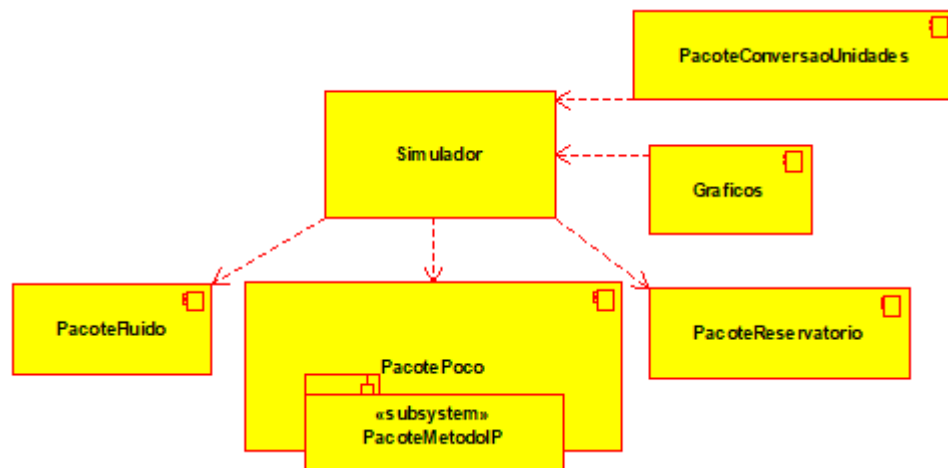


Figura 3.6: Diagrama de Pacotes

Capítulo 4

AOO – Análise Orientada a Objeto

Nesta etapa de desenvolvimento do projeto de engenharia, apresentamos a Análise Orientada a Objeto - AOO. Esta análise mostra as relações entre as classes, os atributos, os métodos e suas associações e consiste em modelos estruturais dos objetos e seus relacionamentos, e modelos dinâmicos, apresentando as modificações do objeto com o tempo. O resultado da análise é um conjunto de diagramas que identificam os objetos e seus relacionamentos.

4.1 Diagramas de classes

O diagrama de classes do software desenvolvido é apresentado na Figura 4.1. Como podemos perceber, ele é constituído de doze classes.



Figura 4.1: Diagrama de classes

4.1.1 Dicionário de classes

- Classe CPoco: Solicita ao usuário os dados do poço e armazena.
- Classe CFluido: Solicita ao usuário os dados do fluido e armazena.
- Classe CReservatorio: Solicita ao usuário os dados do reservatório e armazena.
- Classe CReservatorioVertical: Solicita ao usuário os dados do reservatório vertical e armazena.
- Classe CConversaoUnidades: Realiza a conversão de unidades do sistema SI para o sistema escolhido pelo usuário.
- Classe CGiger: Calcula o IP do poço pelo modelo de Giger.
- Classe CBorisov: Calcula o IP do poço pelo modelo de Borisov.
- Classe CJoshi: Calcula o IP do poço pelo modelo de Joshi.
- Classe CJoshiHorizontal: Calcula o IP do poço horizontal pelo modelo de Joshi.
- Classe CJoshiAnisotropico: Calcula o IP do poço pelo modelo de Joshi em casos de reservatórios anisotrópicos.
- Classe CShedid: Calcula o IP do poço pelo modelo de Shedid.
- Classe CRenard&Dupuy: Calcula o IP do poço pelo modelo de Renard&Dupuy.
- Classe CPocosFraturados
- Classe CAcidificacao: Calcula os parâmetros da fratura e as constantes necessárias para o cálculo do IP se o poço tiver sido submetido ao fraturamento ácido.
- Classe CFraturamentoHidraulico: Calcula os parâmetros da fratura e as constantes necessárias para o cálculo do IP se o poço tiver sido submetido ao fraturamento hidráulico.
- Classe CSimulador: Faz as simulações do índice de produtividades dos poços (classe *main* do programa)
- Classe CGnuplot: Gera uma visualização gráfica dos resultados usando software externo Gnuplot.
- Main: Executa todo o programa.

4.2 Diagrama de seqüência – eventos e mensagens

O diagrama de seqüência enfatiza a troca de eventos, de mensagens e sua ordem temporal. Contém informações sobre o fluxo de controle do software. Costuma ser montado a partir de um diagrama de caso de uso e estabelece o relacionamento dos atores (usuários e sistemas externos) com alguns objetos do sistema.

4.2.1 Diagrama de seqüência geral

O diagrama de seqüência geral do software é mostrado na figura 4.2.

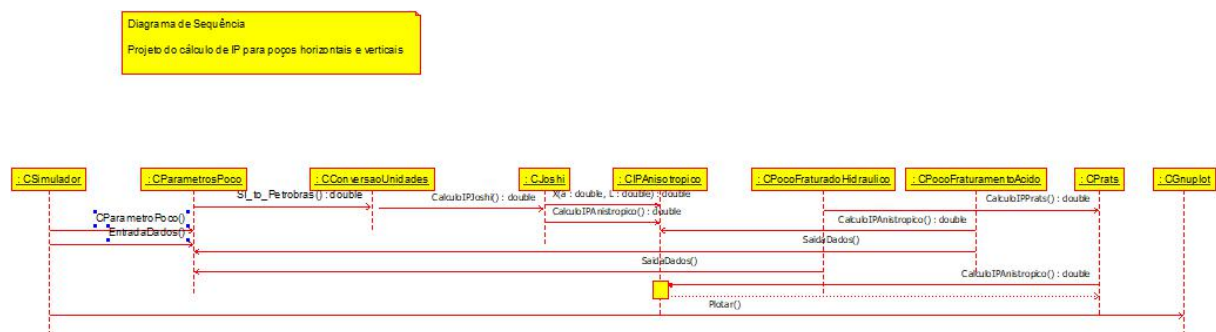


Figura 4.2: Diagrama de seqüência geral

4.3 Diagrama de comunicação – colaboração

No diagrama de comunicação o foco é a interação e a troca de mensagens e dados entre os objetos. Na figura 4.3 o diagrama de comunicação mostra a seqüência do software para um caso em que o modelo de Joshi com anisotropia de permeabilidades é selecionado pelo usuário. Observe que a Classe CSimulador acessa os parâmetros do poços e do reservatório da classe CParametrosPoco, passa os atributos informados pelo usuário para as classes CConversaoUnidades, CIPAnisotropia e CJoshi. A classe CSimulador então, após realizar os cálculo, envia esses resultados para a classe CGnuplot que gera a visualização desses resultados de forma gráfica.

Diagrama de comunicação: Cálculo do IP pelo método de Joshi no sistema de unidades

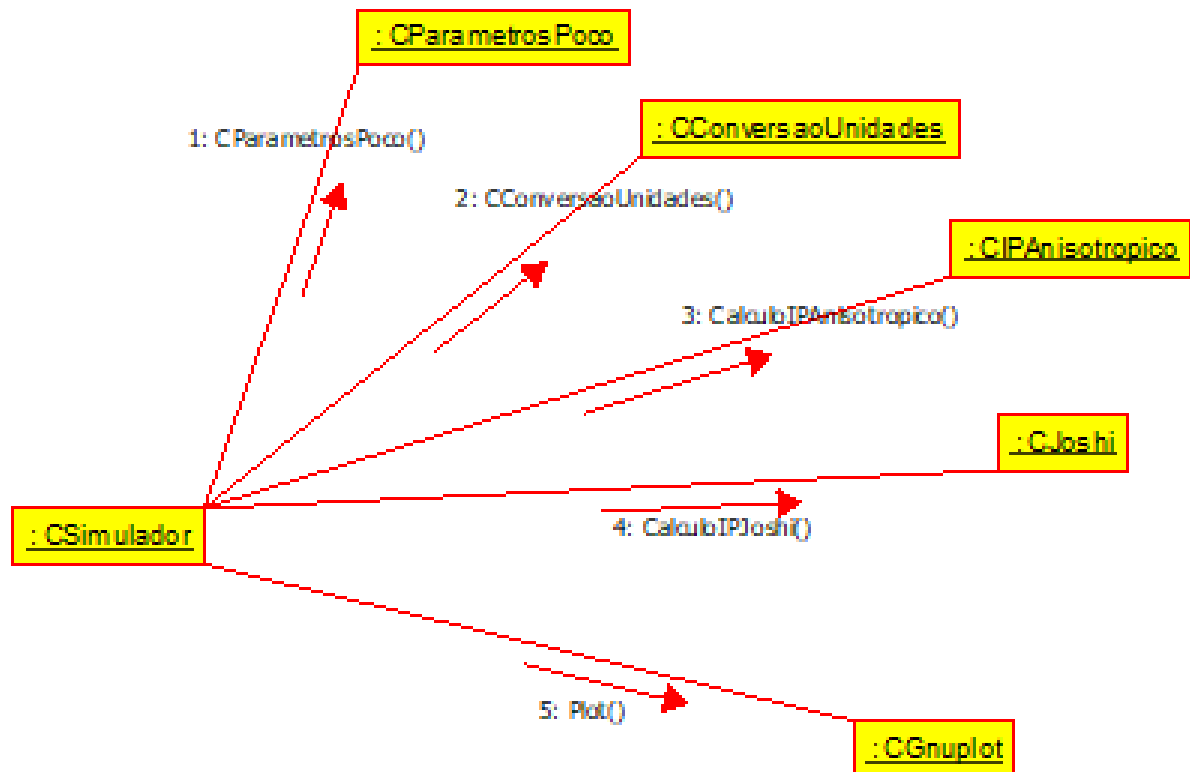


Figura 4.3: Diagrama de comunicação

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 (histórico do objeto). É usado para modelar aspectos dinâmicos do objeto, como mostra a figura 4.4. Observe que, durante a execução do programa, o objeto passa por várias etapas.

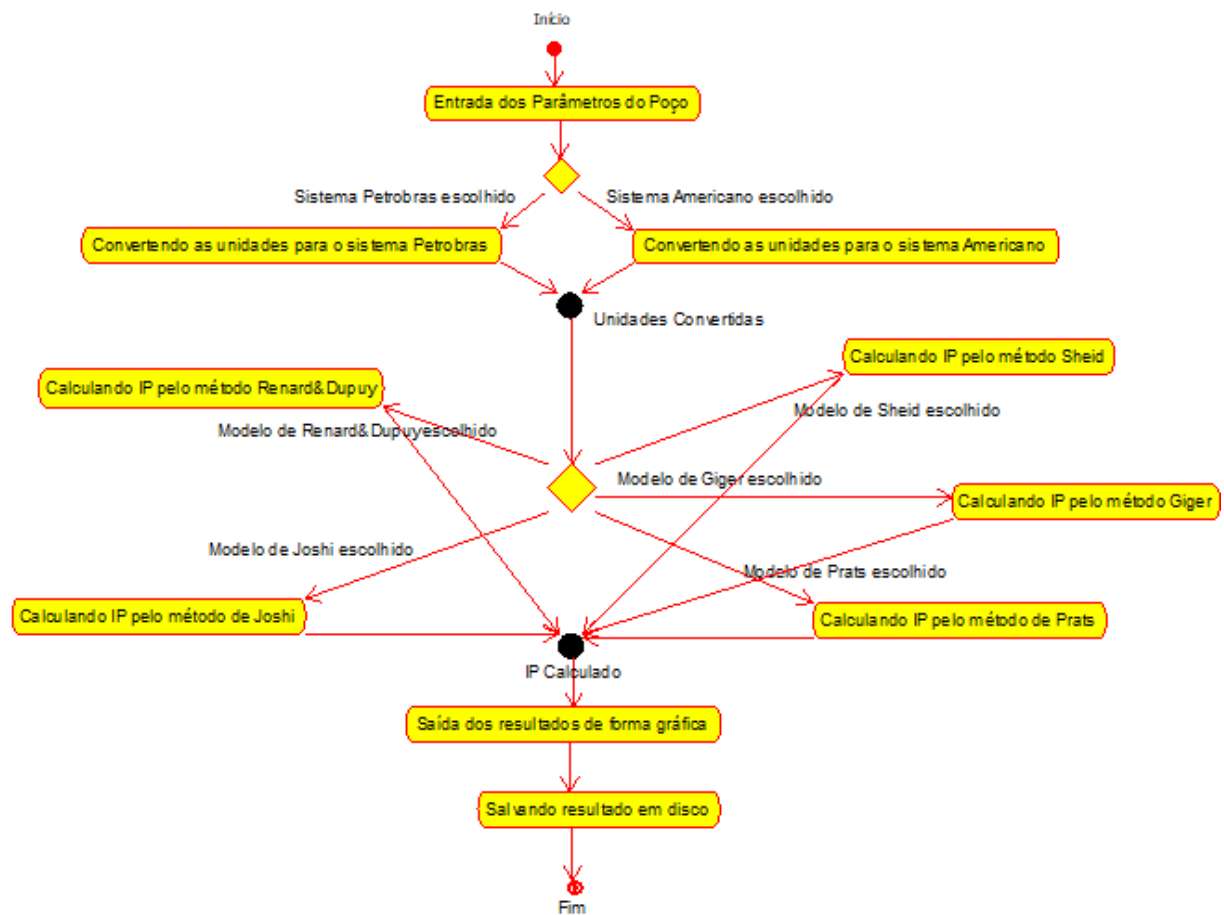


Figura 4.4: Diagrama de máquina de estado

4.5 Diagrama de atividades

O diagrama de atividades da figura 4.5 corresponde a uma atividade específica do diagrama de máquina de estado. Observe que foi escolhido um cenário fictício qualquer em que o poço recebe os atributos de espessura do reservatório, permeabilidade horizontal, viscosidade, raio externo, comprometimento do reservatório, raio do poço, permeabilidade vertical e informações do modelo escolhido e do sistema de unidades adotado. O sistema de unidades escolhido é o Petrobras e o modelo o de Borisov.

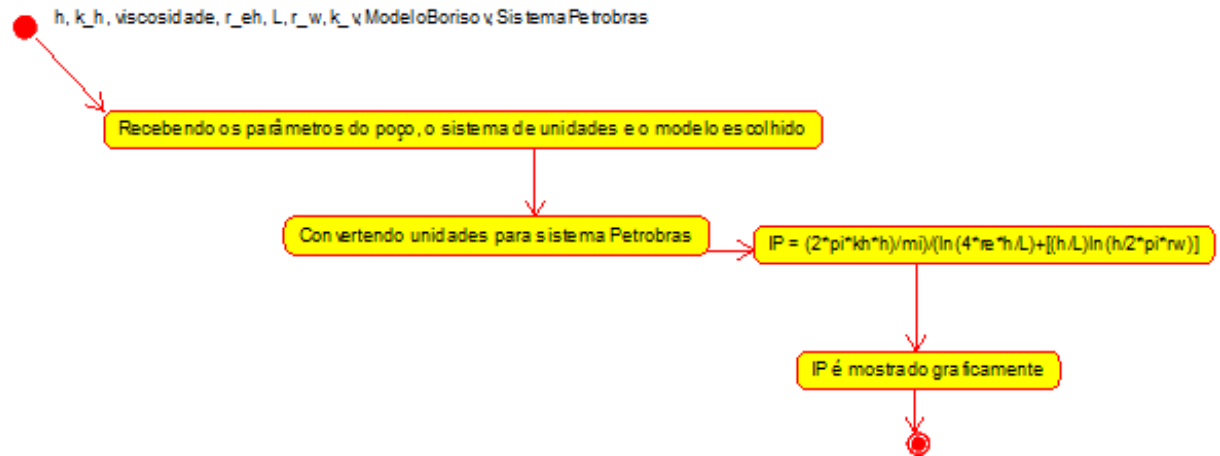


Figura 4.5: Diagrama de atividades

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 [Rumbaugh et al., 1994, Blaha and Rumbaugh, 2006], 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

- No software, o usuário poderá escolher se irá entrar com os dados do problema de forma manual ou se a entrada de dados será feita de modo que se importe arquivos no formato ASCII com extensão .txt.
- A interface utilizada será em modo texto.
- O software irá gerar saída de arquivos no formato ASCII com extensão .txt.

2. Recursos

- Identificação e alocação dos recursos globais, como os recursos do sistema serão alocados, utilizados, compartilhados e liberados. Implicam modificações no diagrama de componentes.
- Neste projeto, o programa irá necessitar de utilizar os componentes internos do computador, como, por exemplo, HD, processador, mouse e teclado.
- Neste projeto será usada tabela com as características do poço.
- Neste projeto, o usuário irá escolher em qual unidade que se queira mostrar os resultados dos índices de produtividade.
- Os gráficos serão gerados no programa externo Gnuplot.

3. Controle

- Neste projeto, o controle será sequencial.
- Não irá haver necessidade de otimização, pois o software e seus componentes trabalham com dados pequenos.
- Identificação e definição de *loops* de controle e das escalas de tempo.
 - Não se aplica.

4. Plataformas

- O software irá funcionar nos sistemas operacionais Windows e GNU/Linux, sendo desenvolvido, sendo desenvolvido no Windows, e estado no Windows e GNU/Linux.
- A linguagem de programação padrão utilizada é C++.
- As bibliotecas que serão utilizadas neste projeto são: `io manip`, `iostream`, `fstream`, `string`, `vector` e outras.
- O projeto será totalmente desenvolvido na IDE Dev C++ na versão 5.11.

5. Padrões de projeto

- Normalmente, os padrões de projeto são identificados e passam a fazer parte de uma biblioteca de padrões da empresa. Entretanto, isso só ocorre após a realização de diversos projetos. Portanto, não se aplica neste caso.

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

- Adicionar nos diagramas de pacotes as bibliotecas e subsistemas selecionados no projeto do sistema (exemplo: a biblioteca gráfica selecionada).
 - Neste projeto foi adicionada a biblioteca gráfico CGnuplot.
- Novas classes e associações oriundas das bibliotecas selecionadas e da linguagem escolhida devem ser acrescentadas ao modelo.
 - Não se aplica a este projeto.
- Estabelecer as dependências e restrições associadas à plataforma escolhida.
 - O *Software* necessita das plataformas GNU/Linux ou Windows para ser executado.
 - No sistema operacional Windows, é necessário a instalação do *Software* Gnuplot para o funcionamento do programa.

Efeitos do projeto no modelo dinâmico

- Revisar os diagramas de seqüência e de comunicação considerando a plataforma escolhida.
 - Estamos revisando a medida que desenvolvemos o código.
- Verificar a necessidade de se revisar, ampliar e adicionar novos diagramas de máquinas de estado e de atividades.
 - Estamos revisando a medida que desenvolvemos o código.

Efeitos do projeto nos atributos

- Atributos novos podem ser adicionados a uma classe, como, por exemplo, atributos específicos de uma determinada linguagem de softwareção (acesso a disco, ponteiros, constantes e informações correlacionadas).
 - Estamos trabalhando na inclusão destes atributos específicos agora.

Efeitos do projeto nos métodos

- Em função da plataforma escolhida, verifique as possíveis alterações nos métodos. O projeto do sistema costuma afetar os métodos de acesso aos diversos dispositivos (exemplo: hd, rede).
 - Estamos verificando a medida que desenvolvemos o código.
- De maneira geral os métodos devem ser divididos em dois tipos: i) tomada de decisões, métodos políticos ou de controle; devem ser claros, legíveis, flexíveis e usam polimorfismo. ii) realização de processamentos, podem ser otimizados e em alguns casos o polimorfismo deve ser evitado.
- Algoritmos complexos podem ser subdivididos. Verifique quais métodos podem ser otimizados. Pense em utilizar algoritmos prontos como os da STL (algoritmos genéricos).
 - Estamos trabalhando na otimização a medida que desenvolvemos o código.
- Responda a pergunta: os métodos da classes estão dando resposta às responsabilidades da classe?
 - Os métodos que foram construídos até essa etapa atual do projeto estão tendo resultados coerentes com o que é abordado na literatura.
- Revise os diagramas de classes, de sequência e de máquina de estado.
 - Estamos revisando a medida que desenvolvemos o código.e vemos necessidade de mudanças.

Efeitos do projeto nas heranças

- Reorganização das classes e dos métodos (criar métodos genéricos com parâmetros que nem sempre são necessários e englobam métodos existentes).
 - Está sendo realizada uma reformulação das classes, separando-as em classes menores e conceitos independentes. Por exemplo, tínhamos elaborado uma classe para cada modelo de cálculo de IP e agora rearranjamos para que fique uma classe reunindo os modelos para poços do tipo horizontal e uma outra classe com os do tipo vertical.
- Abstração do comportamento comum (duas classes podem ter uma superclasse em comum).
 - Não se aplica a este projeto (por enquanto).

- Utilização de delegação para compartilhar a implementação (quando você cria uma herança irreal para reaproveitar código). Usar com cuidado.
 - Não se aplica a este projeto (por enquanto).
- Revise as heranças no diagrama de classes.
 - Não se aplica a este projeto (por enquanto).

Efeitos do projeto nas associações

- Deve-se definir na fase de projeto como as associações serão implementadas, se obedecerão um determinado padrão ou não.
 - Não se aplica a este projeto (por enquanto).
- Se existe uma relação de "muitos", pode-se implementar a associação com a utilização de um dicionário, que é um mapa das associações entre objetos. Assim, o objeto A acessa o dicionário fornecendo uma chave (um nome para o objeto que deseja acessar) e o dicionário retorna um valor (um ponteiro) para o objeto correto.
 - Não se aplica a este projeto (por enquanto).
- Evite percorrer várias associações para acessar dados de classes distantes. Pense em adicionar associações diretas.
 - Não se aplica a este projeto (por enquanto).

Efeitos do projeto nas otimizações

- Faça uma análise de aspectos relativos à otimização do sistema. Lembrando que a otimização deve ser desenvolvida por analistas/desenvolvedores experientes.
 - Inicialmente pensamos em solicitar ao usuário os dados de entrada em sistema SI de unidades, fazer a conversão e então realizar os cálculos do IP. Entretanto, a ordem de execução foi invertida e todos os cálculos serão feitos no sistema SI de unidades e, apenas ao final de todos os cálculos, será realizada a conversão para as unidades determinadas pelo usuário.
- Identifique pontos a serem otimizados em que podem ser utilizados processos concorrentes.
 - A identificação dos pontos a serem otimizados está sendo feita a medida em que desenvolvemos o código.

- Pense em incluir bibliotecas otimizadas.
- Se o acesso a determinados objetos (atributos/métodos) requer um caminho longo (exemplo: A->B->C->D.atributo), pense em incluir associações extras (exemplo: A-D.atributo).
 - Estamos trabalhando nisso a medida em que desenvolvemos o código.
- Atributos auxiliares podem ser incluídos.
- A ordem de execução pode ser alterada.
- Revise as associações nos diagramas de classes.
 - Estamos revisando a medida em que desenvolvemos o código.

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. Exemplos de componentes são bibliotecas estáticas, bibliotecas dinâmicas, dlls, componentes Java, executáveis, arquivos de disco, código-fonte.

Veja na Figura 5.1 um exemplo de diagrama de componentes. Observe que este inclui muitas dependências, ilustrando as relações entre os arquivos.

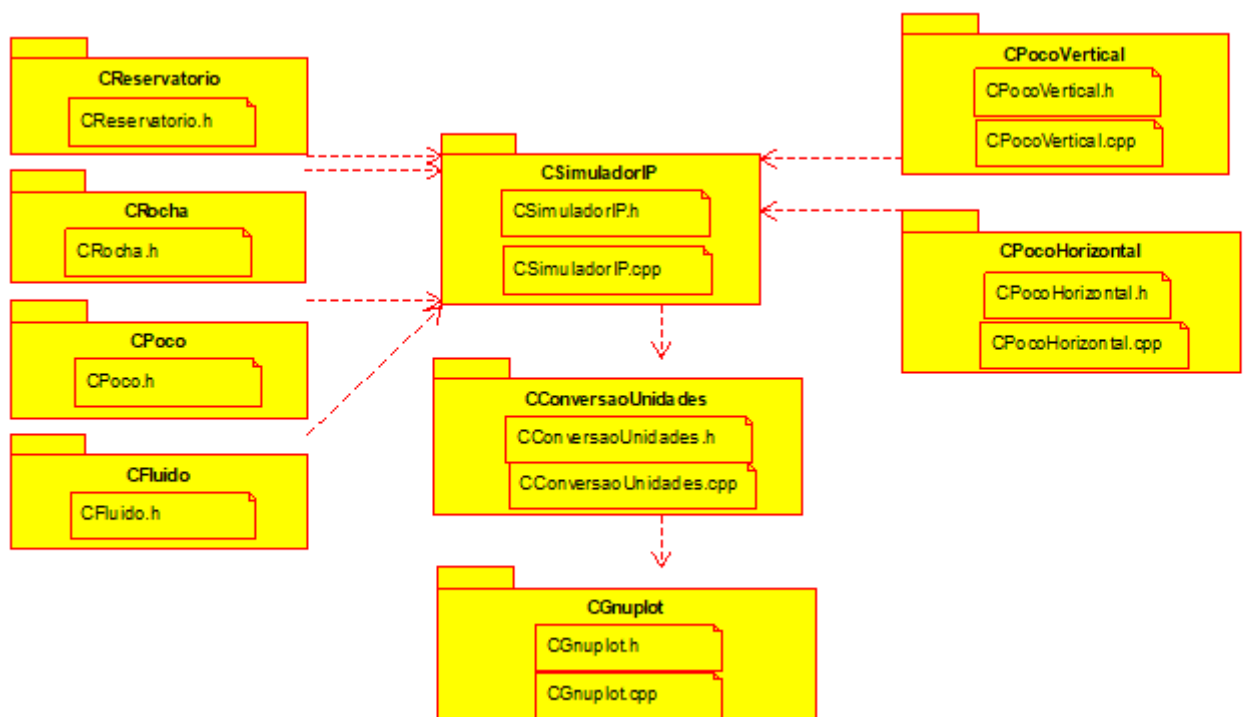


Figura 5.1: Diagrama de componentes

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 um exemplo de diagrama de implantação utilizado.

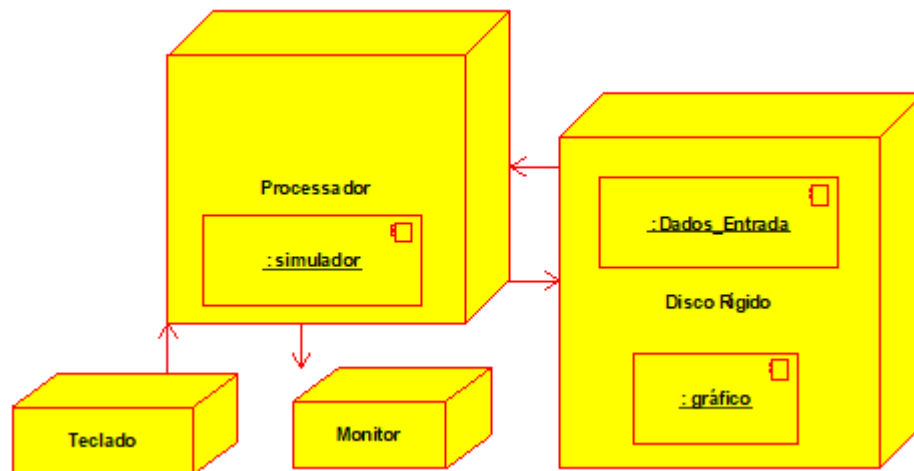


Figura 5.2: Diagrama de implantação

Referências Bibliográficas

- [Blaha and Rumbaugh, 2006] Blaha, M. and Rumbaugh, J. (2006). *Modelagem e Projetos Baseados em Objetos com UML 2*. Campus, Rio de Janeiro. 25
- [JOSHI, 1988] JOSHI, S. D. (1988). *Production Forecasting Methods for Horizontal Wells*. SPE 17850, Tianjin, China. 9, 12, 13
- [ROSA, 2006] ROSA, A. (2006). *Engenharia de Reservatórios de Petróleo*. Editora Interciencia, Rio de Janeiro. 9
- [Rumbaugh et al., 1994] Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., and Lorenzen, W. (1994). *Modelagem e Projetos Baseados em Objetos*. Edit. Campus, Rio de Janeiro. 25
- [SHEDID, 2001] SHEDID, S. A. (2001). *Sensitivity Analysis of Horizontal Well Productivity under Steady-State Conditions*. SPE 72121, Kuala Lumpur. 10

Índice Remissivo

A

Análise orientada a objeto, 18

AOO, 18

Associações, 29

atributos, 27

C

Casos de uso, 5

colaboração, 21

comunicação, 21

Concepção, 3

Controle, 26

D

Diagrama de colaboração, 21

Diagrama de componentes, 30

Diagrama de execução, 31

Diagrama de máquina de estado, 22

Diagrama de sequência, 21

E

Efeitos do projeto nas associações, 29

Efeitos do projeto nas heranças, 28

Efeitos do projeto nos métodos, 28

Elaboração, 7

especificação, 3

Especificações, 3

estado, 22

Eventos, 21

H

Heranças, 28

heranças, 28

M

Mensagens, 21

métodos, 28

modelo, 27

O

otimizações, 29

P

Plataformas, 26

POO, 26

Projeto do sistema, 25

Projeto orientado a objeto, 26

Protocolos, 25

R

Recursos, 25