

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PROJETO DE ENGENHARIA  
DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE  
FERRAMENTA PARA GERAÇÃO DA CURVA DE FLUXO FRACIONÁRIO  
DISCIPLINA LEP-0144: Projeto de Software Aplicado à Engenharia  
Setor de Modelagem Matemática Computacional

Versão 1:  
Fabiane da Silva Barros  
Prof. André Duarte Bueno

MACAÉ - RJ  
Novembro - 2025

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Identificação da Proposta . . . . .	1
1.2	Identificação do Projeto . . . . .	1
1.3	Identificação da Universidade, Instituições e Empresas Participantes . . . . .	2
1.3.1	Universidade . . . . .	2
1.3.2	Equipe . . . . .	2
1.4	Resumo . . . . .	2
1.5	Escopo do Problema . . . . .	3
1.6	Objetivos . . . . .	3
1.7	Justificativas . . . . .	5
1.8	Resultados Esperados . . . . .	5
1.9	Metodologia . . . . .	6
1.10	Mecanismos de Acompanhamento da Execução . . . . .	6
1.11	Informações Adicionais Específicas . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Etapas, Cronograma e Orçamento</b>	<b>1</b>
2.1	Etapas . . . . .	1
2.2	Cronograma . . . . .	2
2.3	Orçamento . . . . .	2
2.4	Informações Extras Mecanismos Gestão . . . . .	2

# Capítulo 1

## Introdução

Apresenta-se aqui a proposta de desenvolvimento de um projeto de engenharia que visa a criação de uma Ferramenta para Geração da Curva de Fluxo Fracionário. Esta ferramenta computacional é essencial para a análise de processos de deslocamento bifásico em meios porosos, como a injeção de água em reservatórios de petróleo para recuperação secundária. Baseada na teoria clássica de Buckley-Leverett, a solução irá modelar a interação entre as propriedades da rocha (permeabilidade relativa) e dos fluidos (viscosidades) para calcular a fração do fluido injetado no escoamento total. O projeto será implementado na linguagem C++ sob o paradigma da orientação a objetos, resultando em um software robusto e didático que fornece dados críticos para a avaliação da eficiência de deslocamento e otimização da produção de hidrocarbonetos.

### 1.1 Identificação da Proposta

#### Número da proposta

- LDSC-2025-2-P??

#### Tipo de investimento /divulgação

- DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE - Versão 1

#### Tipo de instrumento contratual

- Trabalho de disciplina

### 1.2 Identificação do Projeto

#### Título do projeto

- Ferramenta para Geração da Curva de Fluxo Fracionário

## Palavras-chave

- Teoria de Buckley-Leverett
- Fluxo Bifásico
- Permeabilidade Relativa
- Recuperação Secundária
- Modelagem Computacional

## 1.3 Identificação da Universidade, Instituições e Empresas Participantes

### 1.3.1 Universidade

- UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO/UENF
- CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CCT
- DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO - LENEP
- SETOR DE MODELAGEM MATEMÁTICA COMPUTACIONAL
- Representante pela universidade:
  - Professor(a): Prof. André Duarte Bueno

### 1.3.2 Equipe

- Fabiane da Silva Barros / [fabianedas.b@gmail.com] / [(85)994004341]
- Representante pela equipe:
  - Estudante: Fabiane da Silva Barros / [fabianedas.b@gmail.com] / [(85)994004341]

## 1.4 Resumo

Apresenta-se a proposta de desenvolvimento da "Ferramenta para Geração da Curva de Fluxo Fracionário", um software didático e analítico essencial para a análise de processos de deslocamento bifásico em meios porosos, como a injeção de água para recuperação secundária. Baseada na teoria de Buckley-Leverett, a solução modela a interação entre as propriedades da rocha (permeabilidade relativa) e dos fluidos (viscosidades). O desafio tecnológico central é traduzir a equação de fluxo fracionário, altamente não-linear, em um algoritmo computacional preciso. O objetivo é resolver o problema de engenharia de quantificar a eficiência de deslocamento, permitindo a engenheiros e estudantes gerar a curva de

forma rápida, analisar a sensibilidade de parâmetros e aprofundar a compreensão do impacto desses na eficiência do deslocamento. O software será implementado em C++ com orientação a objetos, lendo dados de entrada de arquivos de texto (tabelas ou correlações) e gerando a curva de fluxo fracionário.

## 1.5 Escopo do Problema

- O escopo do projeto foca em resolver um problema fundamental da engenharia de reservatórios: a quantificação da eficiência de deslocamento de óleo por água.
- A ferramenta proposta situa-se como um utilitário de análise, preenchendo a lacuna entre cálculos manuais (demorados e sujeitos a erro) e simuladores de reservatório completos (complexos e de alto custo) para esta análise específica.
- O software se delimita a um modelo 1D, desprezando efeitos capilares e gravitacionais (conforme a teoria clássica de Buckley-Leverett), para focar na correta implementação do cálculo do fluxo fracionário e na análise de sensibilidade dos parâmetros de entrada, como viscosidades e os modelos de permeabilidade relativa.

## 1.6 Objetivos

Os objetivos deste projeto de engenharia são:

- Objetivo geral:
  - Desenvolver um projeto de engenharia de software para criar um modelo computacional que permita a engenheiros e estudantes gerar a curva de fluxo fracionário de forma rápida e precisa, possibilitando a análise de sensibilidade e aprofundando a compreensão sobre como os parâmetros do reservatório impactam a eficiência do deslocamento.
- Objetivos específicos:
  - Modelar física e matematicamente o problema do fluxo fracionário (Teoria de Buckley-Leverett).
  - Modelagem estática do software (diagramas de caso de uso, de pacotes, de classes).
  - Modelagem dinâmica do software (desenvolver algoritmos e diagramas de sequência e atividades exemplificando os fluxos de processamento).
  - Implementar em C++ a leitura e interpretação de dados de entrada (viscosidades e curvas de  $k_r$ ) de arquivos de texto.
  - Implementar o algoritmo de cálculo da curva de fluxo fracionário, incluindo interpolação de dados tabulares.
  - Gerar um arquivo de saída com os dados ( $S_w, f_w$ ) e implementar a visualização automática do gráfico via Gnuplot.

- Realizar simulações para teste e validação do software contra exemplos da literatura.
- Implementar manual simplificado de uso do software.

## 1.7 Justificativas

- A análise da curva de fluxo fracionário é uma das primeiras e mais importantes etapas no estudo de um processo de injeção de água, sendo um conceito-chave na engenharia de reservatórios.
- **Justificativa Técnica:** Atualmente, esta análise é feita manualmente (lenta e suscetível a erros) ou através de simuladores de reservatório comerciais. Simuladores completos são ferramentas superdimensionadas, complexas e de alto custo para esta análise fundamental e específica. Este projeto se justifica por criar uma ferramenta leve, ágil e precisa, focada exclusivamente nesta análise.
- **Justificativa Acadêmica (Didática):** A ferramenta servirá como um software didático de grande valor, permitindo aos alunos de graduação em engenharia de petróleo visualizar instantaneamente o impacto da variação de parâmetros (como viscosidade ou os expoentes de Corey) na forma da curva de fluxo fracionário, algo que é impraticável de se fazer manualmente.
- **Justificativa de Formação:** O projeto é uma oportunidade ideal para aplicar os conceitos de modelagem computacional, paradigmas de orientação a objetos e a linguagem C++ na solução de um problema clássico e real de engenharia.

## 1.8 Resultados Esperados

Espera-se ao final deste projeto um software de engenharia funcional, de caráter didático e analítico, com as seguintes características:

- Um programa executável de linha de comando, compilável em múltiplas plataformas (Windows e Linux).
- A capacidade de ler arquivos de texto simples para configurar a simulação (viscosidades e modelo de permeabilidade).
- Suporte a dois métodos de entrada de permeabilidade relativa: dados tabulares (com interpolação linear) e correlações analíticas (modelo de Corey).
- A correta implementação do cálculo da curva de fluxo fracionário ( $f_w$  vs  $S_w$ ).
- A geração de um arquivo de saída (.csv) com os dados calculados e a plotagem automática do gráfico resultante através de uma interface com o Gnuplot.
- O produto final será acompanhado de um manual de usuário e um manual do desenvolvedor (documentação de código).

## 1.9 Metodologia

A metodologia deste projeto é dividida em duas frentes:

1. Metodologia de Engenharia (Solução do Problema): A solução será baseada na implementação da formulação físico-matemática de Buckley-Leverett. Para os dados de entrada, serão implementados dois modelos computacionais: (1) um algoritmo de interpolação linear para lidar com dados de permeabilidade relativa tabulados e (2) a implementação das equações analíticas das correlações de Corey.
2. Metodologia de Desenvolvimento (Gestão do Projeto): O desenvolvimento do sistema seguirá a metodologia híbrida apresentada na Figura 1.1. As etapas de concepção (0-3) seguem um modelo preditivo (cascata), enquanto a etapa de construção (Etapa 4) utilizará uma abordagem ágil baseada no SCRUM, com ciclos de planejamento, desenvolvimento e entrega de sub-produtos funcionais, conforme detalhado na Seção 1.10.

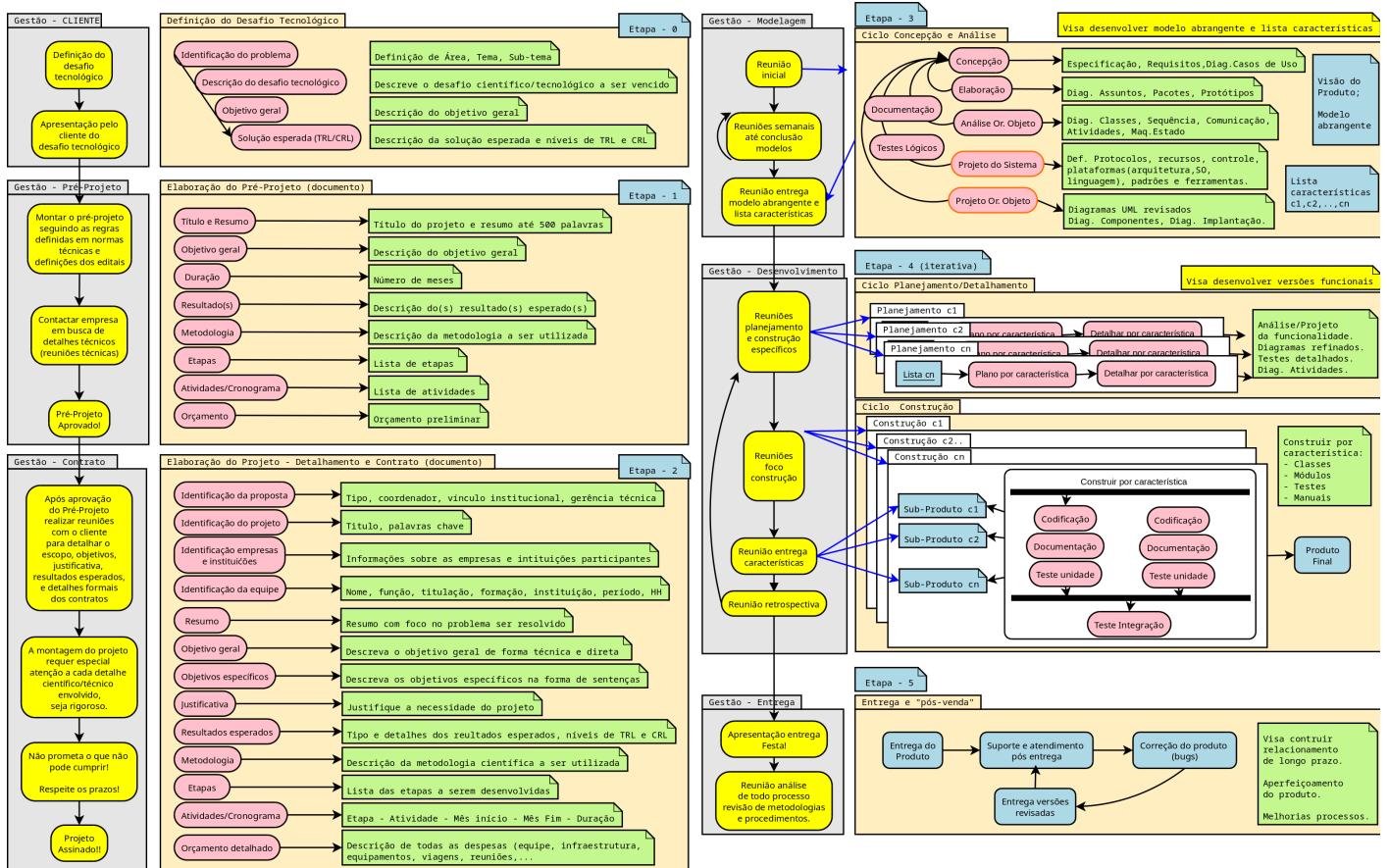


Figura 1.1: Metodologia utilizada no desenvolvimento do sistema

## 1.10 Mecanismos de Acompanhamento da Execução

- Para o acompanhamento da execução do projeto iremos usar a metodologia SCRUM com as atividades do projeto hospedadas no site [github/projects](#).

- Reuniões periódicas com o coordenador.
- Relatórios no final do semestre, com apresentação oral.

## 1.11 Informações Adicionais Específicas

A base teórica para o desenvolvimento deste software repousa sobre a mecânica de fluidos em meios porosos e, especificamente, na teoria de deslocamento imiscível. As equações e conceitos a serem implementados são derivados diretamente de publicações clássicas da engenharia de petróleo, sendo o artigo seminal de Buckley e Leverett (1942)[Buckley and Leverett, 1942] a referência primária.

# Capítulo 2

## Etapas, Cronograma e Orçamento

### 2.1 Etapas

Esta proposta, caso aprovada, será desenvolvida seguindo as etapas abaixo descritas:

- Etapa 0 - Definição do desafio tecnológico
  - Identificação do problema, descrição do desafio tecnológico, objetivo geral e solução esperada (TRL/CRL).
- Etapa 1 - Elaboração do pré-projeto
  - Elaboração da primeira versão do projeto, rascunho inicial (este documento).
- Etapa 2 - Elaboração do projeto - detalhamento e contrato
  - Após aprovação do pré-projeto os alunos detalham o mesmo gerando o projeto. Os dados do pré-projeto podem ser copiados para o projeto, a seguir tudo deve ser detalhado. As etapas associadas devem ser bem definidas. O cronograma deve ser realista. O orçamento deve ser bem realizado.
- Etapa 3 - Modelagem de engenharia:
  - Concepção; Elaboração; Análise Orientada a Objeto; Projeto do Sistema; Projeto Orientado a Objeto.
  - Realização de testes lógicos; Documentação (geração dos documentos de modelagem e diagramas associados).
- Etapa 4 - Ciclos de planejamento, detalhamento e construção/implementação:
  - Detalhamento e construção das "*features*" do software (teremos aqui diversos ciclos de desenvolvimento, a depender a complexidade do sistema a ser desenvolvido).
  - Realização de testes de integração e confecção dos manuais do desenvolvedor e do usuário.
- Etapa 5 - Entrega do produto:

- Verificações finais na documentação e testes.
- Entrega do produto.

## 2.2 Cronograma

Apresenta-se a seguir o cronograma de execução do projeto.

- Exemplo considerando produto desenvolvido em 4-6 meses:

Mês	1	2	3	4	5	6
Etapa 0 - Definição do desafio tecnológico	X					
Etapa 1 - Elaboração do pré-projeto	X	X				
Etapa 2 - Elaboração do projeto - detalhamento e contrato		X	X			
Etapa 3 - Modelagem de engenharia			X			
Etapa 4 - Ciclos de planejamento, detalhamento e implementação			c1	c2	c3	F
Etapa 5 - Entrega do produto (defesa)						D

## 2.3 Orçamento

Este projeto será desenvolvido no âmbito de uma disciplina acadêmica (Introdução ao Projeto de Engenharia) e, como tal, não prevê um orçamento com custos financeiros diretos. Os recursos a ser alocados são:

- Mão de Obra: O desenvolvimento será realizado pela aluna, com uma dedicação estimada de 10 horas semanais ao longo do projeto. Este custo é acadêmico e não financeiro.
- Equipamentos: Será utilizado o computador pessoal da aluna.
- Infraestrutura: Os custos de energia elétrica e acesso à internet da residência da aluna serão absorvidos pela mesma.
- Software: O desenvolvimento utilizará software livre e gratuito (Compilador C++, Gnuplot, Umbrello), não gerando custos de licenciamento.

## 2.4 Informações Extras Mecanismos Gestão

Para garantir o bom andamento e a transparência do projeto, serão adotados mecanismos de gestão ágil. O acompanhamento da execução do projeto utilizará a metodologia SCRUM, adaptada para o contexto acadêmico. As atividades, tarefas e pendências do projeto serão hospedadas e gerenciadas em um quadro de projeto no GitHub (ou ferramenta equivalente, como o Trello). Serão realizadas reuniões periódicas de alinhamento e, ao final de cada semestre, será entregue um relatório de progresso com apresentação oral dos resultados alcançados.

## Referências

---

# Referências Bibliográficas

[Buckley and Leverett, 1942] Buckley, S. E. and Leverett, M. C. (1942). Mechanism of Fluid Displacement in Sands. *Transactions of the AIME*, 146:107–116. 7

# Índice Remissivo