A IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE UMA MAQUETE DE RESERVATÓRIO DE ÓLEO E GÁS PARA O ENSINO-APRENDIZADO EM ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Bruno Ghisleri Neves – brunoneves@id.uff.br
Lucas Souza de Azevedo – lsazevedo@id.uff.br
Matheus Trifilio Lira – matheuslira@id.uff.br
João Felipe Mitre – jf_mitre@id.uff.br
Geraldo de Souza Ferreira – geraldoferreira@id.uff.br
Grupo PetroPET – http://www.petropet.uff.br
Universidade Federal Fluminense – UFF
Escola de Engenharia – TCE
Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – TEQ
Rua Passo da Pátria, 156 - Bloco D - Sala 264
21.210-240 – Niterói – RJ

Resumo: *O presente artigo aborda as atividades relacionadas ao desenvolvimento de um projeto de construção de uma maquete para facilitar a compreensão de temas tratados na disciplina Engenharia de Reservatórios. Este projeto foi realizado no âmbito das atividades do PetroPET – Grupo de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo, e tem como objetivo aprimorar o entendimento e estimular o interesse de novos alunos na compreensão do conteúdo e facilitar a aprendizagem da disciplina. Para alcançar tal propósito, uma equipe do PetroPET foi orientada durante todo o projeto pelo professor da disciplina, que forneceu orientação metodológica e conceitual para construção da maquete. Para a elaboração da mesma foram usados materiais de fácil acesso e baixo custo, tais como isopor, cola, gel e tinta. As cores e as estruturas presentes na maquete buscam representar condições das rochas e do ambiente real de localização de um reservatório de petróleo. Para a construção da maquete, foram realizadas reuniões de trabalho para escolha dos materiais a serem utilizados, para definição da escala e para criação da estrutura da maquete de modo a representar as estruturas em subsuperfície. Ao término do projeto, os resultados de aprendizagem obtidos com a apresentação da maquete para alunos de períodos iniciais do curso foram considerados satisfatórios e promissores.*

Palavras-chave: *Reservatório. Petróleo. Engenharia. Modelo. Maquete*

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios dos profissionais da educação na era atual é cada vez mais despertar o interesse dos alunos nas aulas ministradas. Ao longo do curso de engenharia, os alunos deparam com inúmeras teorias, fórmulas e conteúdos que, muitas vezes, somente são vivenciados a partir de livros e apostilas, antes de iniciar a carreira profissional.

Tendo esta realidade como ponto de partida, os alunos integrantes do PetroPET - Grupo de Educação Tutorial do Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal Fluminense – propuseram uma forma de facilitar o aprendizado dos alunos na disciplina

"Engenharia de Reservatórios", presente na matriz curricular do curso como disciplina obrigatória e possui fundamentos e propriedades importantes para outras disciplinas do curso. Nesta disciplina são estudados os depósitos onde se encontra o petróleo, os assim chamados reservatórios de petróleo. Não é possível fazer contato visual com a configuração geológica dos reservatórios de petróleo, pois os mesmos se localizam em subsuperfície e muitas vezes estão a milhares de metros de profundidade. Tal fato pode gerar dificuldade de aprendizado dos alunos, afinal, assim surge um desafio: como estudar e compreender o comportamento de um reservatório de petróleo sem poder vê-lo, manipula-lo ou conceber sua forma geométrica.

Com este desafio em pauta, teve-se a ideia de projetar uma maquete para ajudar na visualização e explicação de conceitos teóricos da disciplina que são fundamentais para um bom desempenho na solução dos modelos matemáticos existentes.

A maquete é formada por blocos em isopor que representam a disposição das camadas existentes na litologia de um reservatório. Ela é composta de uma parte fixa que funciona como "berço" do reservatório e de duas partes removíveis, a primeira fornece acesso ao fundo do mar, mostrando os equipamentos dispostos, e a segunda concede acesso ao reservatório. O reservatório é removível para que o usuário possa fazer uma análise mais profunda sobre as características do reservatório. Para maior fidelidade conceitual decidiu-se representar a rocha porosa que compõe o reservatório por meio de um pedaço de espuma de poliuretano, cuja forma foi esculpida com base em dados disponibilizados para consulta (OPM, 2017).

2. PETRÓLEO

Petróleo é a nomeação dada para uma mistura de hidrocarbonetos (compostos químicos de carbono e hidrogênio, em quantidades variadas) presentes internamente em rochas porosas (rocha reservatório) seladas por rochas impermeáveis (rochas selantes). Essa mistura, que pode ser gasosa, líquida, sólida ou uma mistura de fases, é proveniente de um acúmulo de matéria orgânica depositada em rochas e "armadilhas" geológicas (trapas) que aprisionam esse material sob condições de temperatura e pressão altíssimas, ambientes onde apenas existe vida bacteriana para conversão da matéria orgânica em petróleo (ROSA *et al.*, 2006).

A partir do início da produção de petróleo, a mistura localizada a muitos metros de profundidade é trazida à superfície, muitas vezes de forma espontânea, devido ao diferencial de pressão muito grande entre as condições encontradas na superfície e no reservatório.

Se a mistura de hidrocarbonetos se encontra no estado gasoso, ao chegar à superfície, recebe o nome de gás natural. Nessas misturas predominam hidrocarbonetos leves, sendo o mais abundante o gás metano (CH_4). No caso de misturas que chegam à superfície na fase líquida à superfície, denominamo-las de óleo cru ou somente óleo.

Um fato curioso de ressaltar é que muitas vezes o gás natural que chega à superfície pode ser encontrado no reservatório tanto na fase gasosa quanto na líquida. Isso ocorre devido às grandes variações de propriedades termodinâmicas da mistura que ocorrem entre o reservatório e a superfície. Para facilitar a compreensão, pode ser feita uma analogia com a água. Em temperaturas muito elevadas, a água se encontra em estado gasoso na forma de vapor d'água. Se a temperatura começar a cair, o vapor d'água começa a condensar transformando-se em água no estado líquido em certa faixa de temperatura. O processo que ocorre com os hidrocarbonetos é análogo a esse exemplo.

3. ANÁLISE LITOLÓGICA E FUNCIONAL DE UM RESERVATÓRIO

3.1. Litologia

O termo litologia se refere ao estudo, descrição e classificação das rochas existentes em uma dada região. As rochas são classificadas em ígneas, metamórficas e sedimentares. As rochas ígneas são formadas a partir da solidificação do magma. As metamórficas originam-se da transformação de outras rochas, sejam ígneas, sedimentares e mesmo metamórficas, devido a processos metamórficos, nos quais a pressão e temperatura têm papel importante. E por último, as rochas sedimentares que são formadas pela consolidação de sedimentos provenientes de uma rocha preexistente que sofreu ações de agentes atuantes na superfície do planeta – como pressão, temperatura, intemperismo entre outros. Estes sedimentos são acumulados em depressões naturais, que dão origem às bacias sedimentares, locais onde ocorrem o petróleo (COSENTINO, 2001).

3.2 Porosidade

Porosidade é a propriedade da rocha relacionada à quantidade de fluido que uma rocha pode acumular. Ela é definida pela relação entre o volume de vazio existente no interior de um dado volume de rocha e este volume.

3.3. Permeabilidade

Permeabilidade é a propriedade que mede a capacidade de uma rocha conduzir fluido em seu interior e é um dos parâmetros mais relevantes a ser calculado. É por meio desta propriedade que entendemos a capacidade da rocha em deixar o fluido "sair" do seu interior.

3.4. Reservatório

Um reservatório de petróleo é uma rocha sedimentar que em seu interior contém óleo ou gás que pode ou não ser explorado e produzido. Pelo fato das rochas sedimentares serem rochas que se formaram a partir de sedimentos acumulados, pode haver espaços vazios em seu interior, nos quais pode ser armazenado um fluido, ou seja, a porosidade em rochas sedimentares é maior que nas rochas ígneas e metamórficas. Além disso, a permeabilidade também é um bom indicador se o reservatório é bom ou não, afinal é por meio daquela que medimos se a rocha permite que o fluido a atravesse. Na indústria do petróleo, é de suma importância o estudo dos reservatórios, pois são nestes que há grandes possibilidades de encontrarmos volumes vantajosos ou óleo ou de gás.

3.5. Engenharia de Reservatórios

A Engenharia de Reservatórios é a área do conhecimento que estuda a previsão do comportamento de um reservatório de óleo ou de gás. Nessa área, estuda-se a queda de pressão que ocorre em um reservatório devido ao início de produção de um poço, utilizando a Equação de Difusividade Hidráulica de Fluidos. Além disso, estudam-se os efeitos que um aquífero, anexo ao reservatório, pode causar na produção, a partir de modelos matemáticos existentes para este assunto. Também se estuda a Equação de Balanço de Materiais, pela qual se pode analisar o possível volume inicial de óleo ou gás em um reservatório e, com isso, avaliar a viabilidade de produção, tentando otimizá-la, criando um ajuste histórico de vazão dos poços produtores (ROSA *et al*, 2006).

4. METODOLOGIA

Com a ideia em mente, o primeiro passo do trabalho foi buscar contato com o professor de Engenharia de Reservatórios para informações preliminares acerca do projeto descrito nesse artigo e as etapas que deveriam ser superadas. Foi realizada uma reunião inicial entre os membros da equipe e o professor a fim de se definir o escopo do projeto, confeccionando-se os documentos que foram apresentados às partes envolvidas, contendo objetivos, produtos a serem entregues, tarefas a serem realizadas, custo estimado e prazo estimado. Feito isso, foi dado início às atividades do projeto, que foram desenvolvidas entre outubro de 2017 e abril de 2018.

Para construção da maquete foram usados os materiais descritos na "Tabela 1".

Tabela 1 – Materiais utilizados.

Placas de Isopor nas espessuras de 5,0, 2,5 e 1,5 cm	Cola de Isopor	Estilete	Lixas
Palitos de Madeira	Trena	Isqueiro	Rolos de Pintura e Pincéis de diferentes tamanhos
Esquadros	Papel Paraná 80g	EPI – Equipamento de Proteção Individual	Arame de metal
Gesso	Tintas para Tecido, à óleo e PVA	Aguarrás	Gel de cabelo

Fonte: Produção própria.

Após a aquisição dos itens citados acima, foi iniciado a execução do projeto. No primeiro dia de trabalho foi feita a esquematização da escala que seria utilizada e a disposição das camadas de isopor de forma que ficassem próximas da realidade. Também foi realizada a seleção dos materiais inicialmente necessários e um *brainstorming* de ideias para o acabamento.

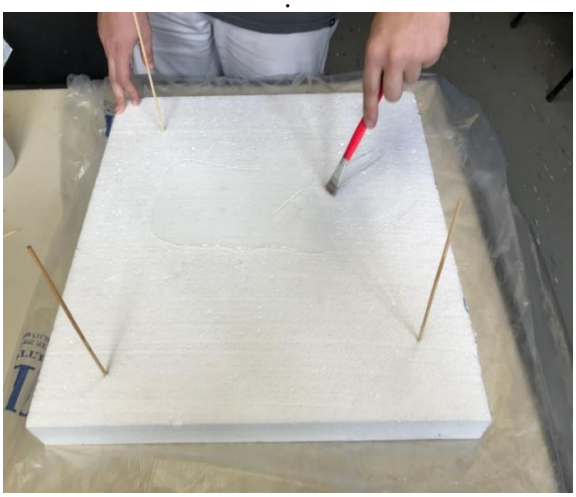
5. RESULTADOS

A maquete foi montada em uma estrutura com 43 cm de altura e base quadrada de 50 cm. A escala utilizada na confecção do projeto foi de 1:12.500. Na maquete, as dimensões representativas de ambiente de um reservatório real são, para a profundidade de lâmina d'água do mar, 15 cm de altura (equivalente a uma profundidade real de 1875 m); 2 cm de altura (250 m), para os sedimentos marinhos consolidados, a partir do fundo do oceano; 5 cm de altura (625 m) representando o aquífero que envolve o reservatório de óleo e gás; 10 cm de altura (1250 m) para a camada de sal e 11 cm de altura (1375 m), representando as rochas selantes (rochas impermeáveis que impedem que o petróleo migre para outras camadas) e rochas anexas ao reservatório.

Nossa estrutura física foi construída segundo uma lógica que lembra "blocos de montar", de modo que suas diversas partes possam ser destacadas para melhor entendimento e visualização pelo usuário.

A partir da definição da escala, iniciou-se o trabalho de montagem da estrutura, começando-se pela lâmina d'água, conforme Figura 1 que fica localizada na parte superior da maquete. Foi realizado o corte de duas placas de isopor de 5 cm de espessura que, posteriormente, foram unidos por cola de isopor. Para fortalecer a estrutura e obter maior aderência da cola, foram usados palitos de madeira.

Figura 1 – Montagem da lâmina d'água.



Fonte: Acervo pessoal.

Encerrada a montagem do bloco que representa a lâmina d'água, foi feita a montagem da camada salina, a base da maquete. Esta camada foi construída de forma análoga à lâmina d'água, unindo-se duas placas de isopor com 5 cm de espessura, utilizando-se cola de isopor e palitos de madeira para maior aderência da cola derramada entre as placas.

Seguindo com a montagem da estrutura física, foram adicionadas mais duas camadas utilizando a placa inteira (50 cm de comprimento), a camada de 2,5 cm de espessura que representa rochas presentes no entorno (anexas) do reservatório, e uma camada de 3 cm de espessura que representa a rocha selante do reservatório, composta pela união de duas placas de 1,5 cm de espessura. Durante esse procedimento foi utilizada apenas a cola de isopor, em vez que, pela pouca espessura das camadas, não foi necessário adicionar palitos de madeira.

Após ser dado um tempo de cerca de 24 horas para consolidação e secagem das camadas montadas anteriormente, iniciou-se a construção e montagem da camada que representa o aquífero que fica ao redor do reservatório. A partir dessa camada, as placas de isopor das rochas anexas, rochas selantes, aquífero e sedimentos marinhos foram divididas ao meio para criação de uma estrutura ou peça removível que permite o acesso ao interior da maquete para representação do reservatório. Com isso uma parte da placa fica presa à estrutura fixa e, a outra parte, destina-se à construção e montagem da peça removível.

Adicionou-se à parte fixa as camadas do aquífero o reservatório com 5 cm de espessura, da rocha selante superior ao reservatório de 3 cm de espessura (união de duas placas com espessura de 1,5 cm), a rocha anexa ao reservatório de 2,5 cm de espessura e camada de areia com 2 cm através da utilização de cola para isopor.

A peça removível foi montada reunindo as outras metades das placas mencionadas acima. Em decorrência do tamanho da peça, foram usados, como nos procedimentos anteriores, palitos de madeira e cola de isopor.

Com isso foi concluída totalmente a estrutura física básica e a peça removível, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura física.

Fonte: Acervo pessoal.

A partir desse ponto, iniciou-se a parte de acabamento da estrutura física. Para criar a representação das heterogeneidades das rochas, buscando-se ter maior fidelidade com a realidade, foram feitos imperfeições e efeitos de crateras com o auxílio de um isqueiro para derreter alguns pontos da placa de isopor referente ao fundo do mar. Como durante a combustão do isopor ocorre liberação de toxinas e fumaças, foi necessária a utilização de máscaras de proteção.

Devido à má compactação das camadas de isopor em alguns pontos e para dar maior veracidade ao modelo, variando as texturas presentes na maquete, foram usados nos vazios entre as placas gesso. As camadas de isopor foram lapidadas com estilete para retirar a aparência de isopor e tornar a textura das placas mais próximas visualmente à de uma rocha. Nessa etapa de acabamento também foi iniciada a "escavação" da camada do aquífero para acoplar o reservatório.

Deu-se início à a manufatura do reservatório. Para esse passo foi utilizada uma espuma de poliuretano reciclada de um estofado antigo pela textura e alta porosidade do material, para deixar o reservatório com um formato e funcionalidade mais próximo da realidade. Para essa etapa também foi necessária a utilização de máscara para proteger as vias aéreas do pó que o material deixava no ar (Figura 3).

Figura 3 – Manufatura do reservatório.

Fonte: Acervo pessoal.

A partir desse ponto foi realizada a parte de pintura da maquete e das peças removíveis. As cores utilizadas nessa etapa são cores fantasias, devido à variedade de tonalidades existentes para os diversos tipos de rochas e a ausência da possibilidade, em muitos dos casos, de existir um testemunho das mesmas para saber a sua tonalidade nos reservatórios reais. Ressalta-se que o testemunho é uma amostra geológica retirada de subsuperfície durante a perfuração para estudo das características e propriedades (FANCHI, 2010), tais como as informadas na seção 3 desse artigo. No caso da pintura do reservatório, foi decidida a utilização de tinta de tecido na cor preta (Figura 4).

Figura 4 – Processo de pintura do reservatório.

Fonte: Acervo pessoal.

Antes de se iniciar a pintura dos isopores, três das laterais da maquete foram forradas com papel paraná 80g para obtenção de melhor acabamento. Para este procedimento, as folhas foram cortadas com estilete, na medida correta de cada uma das três laterais. Posteriormente, depois fixadas com auxílio de cola de isopor (Figura 5).

Figura 5 – Acabamento com papel paraná 80g.

Fonte: Acervo pessoal.

Nas folhas coladas na lateral da maquete, usando demarcação em canetas, foi feita uma representação artística para as camadas geológicas encontradas em subsuperfície, tendo-se como apoio informações e referências obtidas a partir de estimativas e estudos geológicos que envolvem a amostragem indireta (geofísica) e direta (perfuração de poços), com equipamentos adequados (Figura 6).

Figura 6 – Demarcação das camadas.

Fonte: Acervo pessoal.

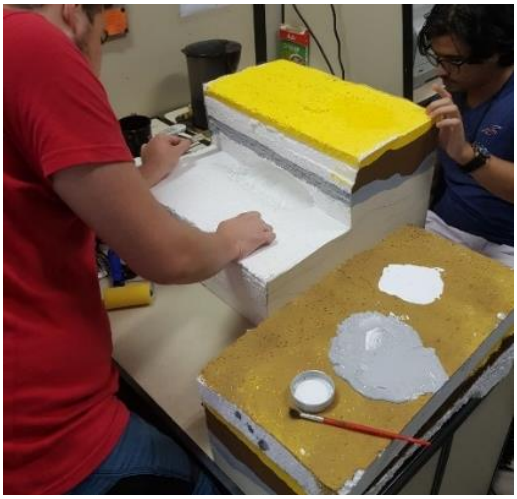
Para a pintura das camadas, foram realizadas misturas com tinta PVA e de tecido nas cores primárias azul, vermelho e amarelo em conjunto com as cores branca e preta. Durante o processo de pintura de parte da camada que representa o mar, decidiu-se ampliar esta camada, que era inicialmente de 10 cm de espessura, para 15 cm de espessura, sendo os 5 cm adicionais com interior oco para acrescentar miniaturas de equipamentos do setor petrolífero que ficam localizados em trabalho no fundo do mar (Figura 7).

Figura 7 – Pintura da camada de mar.

Fonte: Acervo pessoal.

Dando sequência à finalização da maquete, foi feita na camada que representa o mar a adição de gesso nas demarcações geradas pelo isopor, melhorando o acabamento e deixando a peça mais homogênea. Realizou-se a pintura das camadas restantes em cores fantasias, porém não fugindo muito da realidade (Figura 8).

Figura 8 – Pintura das camadas.

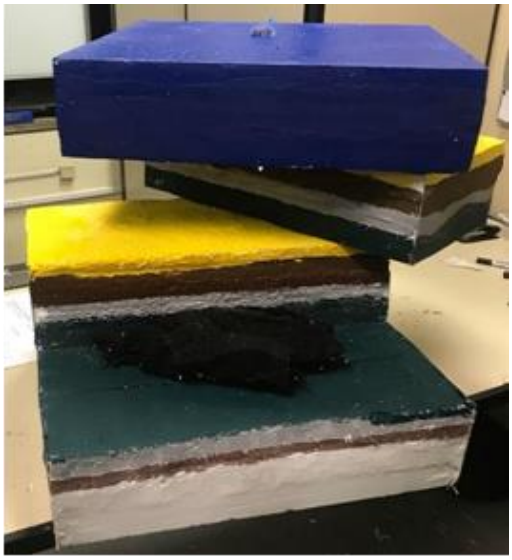


Fonte: Acervo pessoal.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo as atividades de trabalho de montagem da maquete chegado ao seu fim, foi realizada uma apresentação do projeto para alunos do curso, que ainda não possuem familiaridade com o conteúdo da matéria de Engenharia de Reservatórios. Explicando-se os conceitos básicos para a compreensão e fazendo-se uso da nova maquete, foi possível diagnosticar, por meio de um questionário e conversas informais, o resultado positivo que o projeto trouxe para facilitar o entendimento por parte dos alunos. Em termos didáticos, o uso de objetos facilita a compreensão de realidades que não sejam táteis e nem visualmente acessíveis, como um reservatório de petróleo. Por mais que seja apenas uma simulação ou demonstração de algo, no mundo real, impossível de ter a sua geometria e estrutura visualizada, uma representação em miniatura traz uma grande diferença de compreensão e aprendizado para os alunos.

Figura 9 – Conclusão do Projeto.



Fonte: Acervo pessoal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, R. de S., ROSA, A. J., XAVIER. J. A. D. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006

COSENTINO, Luca. **Integrated Reservoir Studies.** 1ª ed. Paris: Editions TECHNIP, 2001

FANCHI, R. JOHN. **Integrated Reservoir Asset Management:** principles and bests practices. 1ª ed. Burlington: Elsevier, 2010

OPM: THE OPEN PORUS MEDIA. **Flow Documentation Manual.** Disponível em: https://opm-project.org/wp-content/uploads/2017/10/OPM-Flow-Documentation-2017-10-Rev-0.pdf. Acesso em: 27 out. 2017.

THE IMPORTANCE OF THE DEVELOPMENT OF AN OIL AND GAS RESERVOIR MODEL FOR TEACHING-LEARNING IN PETROLEUM ENGINEERING

Abstract: *The present article discusses the activities related to the development of a model construction project to make easier the understanding of the topics teached in Reservoir Engineering discipline. This project was performed as one of the activities of PetroPET-Tutorial Group on Petroleum Engineering and aims to improve understanding and stimulate the interest of new students on the discipline learning and comprehension. To achieve this, a team of PetroPET was guided throughout the project by the teacher of the discipline, who provided methodological and conceptual guidance for the construction of the model. For the elaboration of the model, were used materials of easy access and low cost, such as styrofoam, glue, gel and ink. The colors and structures present in the model attempt to represent rock conditions and the real environment of an oil reservoir. For the construction of the model, work meetings were held to select the materials to be used, to define the scale and to create the structure of the model to represent the subsurface structures. At the end of the project, the learning outcomes obtained with the presentation of the model for students of the initial periods of the course were considered satisfactory and promising.*

Key-words: Reservoir, Oil, Engineering, Model