

AVALIAÇÃO DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA ENGENHARIA: APLICAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA VISUALIZAÇÃO DE UM *BLOW OUT*

Ísis Maria Ladeira Marinho – isisladeira@hotmail.com

Elias Enes de Oliveira – eliasenes@hotmail.com

Melissa Alves Fernandes – melissaalvesfernandes@hotmail.com

Márcia P. Velloso – marciavelloso@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:** Este artigo trata da apresentação de um experimento para alunos dos cursos de Engenharia Química e Engenharia de Petróleo da Universidade Federal Fluminense por membros do grupo PetroPET, com intuito de tornar possível uma visualização prática de um fenômeno que ocorre dentro de um poço de petróleo, quando se tem um desequilíbrio de pressões – o blow out – bem como avaliar o nível de conhecimento dos alunos acerca de conceitos básicos relativos à extração de petróleo. Esta avaliação foi feita por meio de questionários aplicados antes e depois da explanação e realização do experimento. Mediante a análise dos resultados, verificou-se que, inicialmente, a maioria dos estudantes demonstrou não possuir conhecimentos acerca dos conceitos em questão, mas, após a explanação, observou-se que a maioria dos estudantes assimilou o conteúdo transmitido. Não menos importante, trata-se aqui de introduzir os alunos do grupo PetroPET ao tripé acadêmico de ensino, pesquisa e extensão através do gerenciamento de um projeto, coleta e análise de dados.*

***Palavras-chave:** blow out, kick, desequilíbrio de pressão, blow out experimental.*

1. INTRODUÇÃO

Devido à forma como o petróleo se encontra armazenado no subsolo, é dada importância nos estudos de reservatórios ao controle de pressões a fim de manter a estabilidade do poço durante a perfuração do mesmo. Os alunos de engenharia que pretendem trabalhar na área precisam ser qualificados para compreender bem a dinâmica de fluxos em um reservatório.

Para implementação dos conceitos sobre os parâmetros que regem a dinâmica do reservatório foi realizado um experimento de educação em engenharia disponível na internet

(SEED, 2003), no qual propicia a concepção e a elaboração de um equipamento simples que permitisse a demonstração, em uma escala reduzida, do influxo indesejável de fluido para o poço, chamado *kick*, que pode evoluir para um *blow out* (erupção).

Esse experimento foi apresentado pelo grupo PetroPET (Programa de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo) para estudantes de graduação da Universidade Federal Fluminense que cursam as disciplinas de Introdução à Engenharia de Petróleo e Introdução à Engenharia Química, e, mediante à explanação de membros do grupo, foi aplicado um questionário referente a conceitos gerais acerca da indústria de petróleo, com a intenção de verificar o grau de conhecimento dos alunos antes e depois da explicação.

Desta forma, pôde-se verificar a absorção do conhecimento teórico por parte dos alunos através de uma visualização prática, bem como fez-se possível que os membros do grupo PetroPET pudessem gerenciar um projeto, coletar e analisar dados.

O gerenciamento dessa atividade didática direcionada aos alunos do 1º período possibilitou agregar o conhecimento e a habilidade dos membros do grupo PET pertencentes a diferentes períodos do curso, obtendo-se assim um projeto dupla-face: para o público alvo, introdutório no que se refere à extração de petróleo e, para o PetroPET, introdutório no que se refere a proporcionar ao grupo a análise, tratamento e interpretação de dados, realização e explanação de um experimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreensão do assunto, é necessário agregar uma base teórica acerca de conceitos no que tange à extração e produção de petróleo:

- Pressão Hidrostática: é aquela exercida pelo peso da coluna hidrostática de um fluido, sendo função da altura da coluna e da massa específica desse fluido, como mostrado na equação (1) (ROCHA & AZEVEDO, 2009):

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

sendo:

P = Pressão: [P(psi)]

ρ = Massa específica: [ρ (lbm/ft³)]

g = Aceleração da gravidade: [g(ft/s²)]

H = Altura: [h(ft)]

- Pressão de Poros: pressão do fluido (petróleo e gás) contido nos espaços porosos da rocha (ROCHA & AZEVEDO, 2009). Também conhecida como pressão de formação, ela é a responsável por "expulsar" o óleo do reservatório quando se tem o início da produção. Como na perfuração o objetivo é chegar ao melhor ponto para se ter a produção de fluido, essa pressão precisa ser compensada pela pressão hidrostática (BOURGOYNE et al., 1986) que o fluido de perfuração causa.

- Pressão de Fratura: pressão que leva à falha da rocha por tração (ROCHA & AZEVEDO, 2009). Na maioria das vezes é ocasionada pela alta densidade do fluido de perfuração. Na perfuração é importante estabelecer condições operacionais de pressão de

modo que o óleo permaneça nos poros da formação, mas de modo que a pressão hidrostática exercida sobre a mesma esteja entre valores que não cheguem a fraturar a formação, pois uma vez fraturada, haverá invasão de fluidos do poço para a formação, levando à perda do óleo que se quer produzir.

- *Kick*: é o influxo de fluido da formação rochosa para dentro do poço (BOURGOYNE *et al.*,1986). Se não controlado, poderá evoluir para o *blow out*. Alguns eventos são identificados como indícios de *kick*, a fim de prevenir o *blow out*, como por exemplo, o aumento do volume de fluido usado no tanque das sondas perfuração.

- *Blow out*: é definido como *blow out* o fluxo incontrolável de fluidos da formação em direção ao poço (BOURGOYNE *et al.*,1986). É o principal e mais temido acidente que pode ocorrer na indústria do petróleo. Este fenômeno será demonstrado em escala reduzida no experimento realizado neste trabalho.

- Fluido de perfuração (BOURGOYNE *et al.*,1986): consiste de uma mistura complexa cujas principais funções são: retirar os fragmentos de rocha produzidos pela broca e carregá-los até a superfície; exercer pressão hidrostática sobre a formação; facilitar a cimentação e a completação; limpar e lubrificar a broca e o sistema perfurador.

- Estabilidade do poço: a estabilidade do poço está garantida quando as condições que definem a janela operacional são respeitadas. Por janela operacional entende-se a faixa de pressão exercida pelo fluido de perfuração dentro do poço, que mantém a integridade desse (ROCHA & AZEVEDO, 2009).

3. O EXPERIMENTO

A seguir são abordadas as etapas da realização do experimento com a explicação de procedimentos necessários à ideia central do *blow out*.

3.1. Montagem do Equipamento

O equipamento segue as instruções de SEED (2003). Consiste em dois tubos: um de diâmetro maior, que representa o poço e outro, de diâmetro menor, usado como manômetro. Esses tubos estão presos em um suporte de madeira e são interligados por uma válvula que permite a passagem ou o bloqueio de fluxo de fluido entre o manômetro e o poço. O poço e o manômetro foram cuidadosamente alinhados em relação ao mesmo ponto de referência horizontal e seus diâmetros são diferentes para não ser preciso uma pressão muito alta para deslocar fluido manométrico, de modo a facilitar a visualização.

Entre a válvula e o manômetro existe uma bexiga de ar resistente, que simula a variação de pressão de um reservatório de petróleo e uma caixa de filme fotográfico que serve como recipiente de água para o manômetro. O recipiente de água, o manômetro e a válvula estão interligados por uma cruzeta, que permite o influxo de ar para o sistema.

O ar é injetado através de uma bomba de colchão inflável e é o responsável por encher o balão e também por equilibrar o nível da água no poço e no manômetro. Para se medir a altura, existem duas fitas métricas graduadas em polegadas ao lado de cada tubo, que tem como objetivo também permitir o cálculo da pressão pelo manômetro, através da equação (1).

Para tornar as conexões herméticas, foram utilizadas colas instantâneas de alta eficiência disponíveis no mercado, fita isolante e fita veda-rosca. A etapa de isolamento é a

mais complicada e foi necessária muita criatividade para criar um sistema em que não ocorra nenhuma invasão e/ou evasão de fluidos.

Um esquema básico do experimento é mostrado na figura 1:

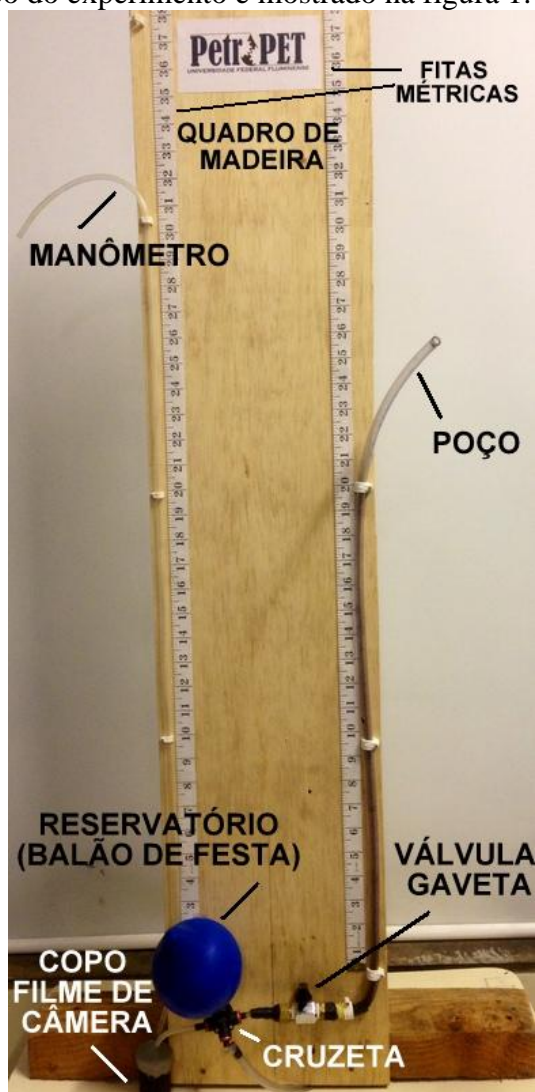


Figura 1- Equipamento Experimental

3.2. Procedimento Experimental

Para realização do experimento são necessários os passos citados a seguir:

Passo 1: Coloca-se fluido, nesse caso água, no tubo de maior diâmetro que irá representar o poço do reservatório, mantendo-se a válvula fechada. O recipiente já contém fluido manométrico, colocado na montagem do experimento.

Passo 2: Enche-se o balão com uma bomba até se obter a pressão desejada no suposto reservatório. Deve-se tomar cuidado, pois o tubo que contém o fluido manométrico tem diâmetro pequeno e por isso, se o balão for cheio com rapidez levará ao fluxo de fluido para fora do tubo, deve-se obstruir a extremidade do tubo para evitar a saída de fluxo.

Passo 3: Abre-se a válvula de gaveta (que está entre o balão e o suposto poço) que conecta os dois tubos. Essa deve ser aberta cuidadosamente para não ocorrer nenhuma mudança abrupta no fluido. Depois espera-se uns instantes até que se estabeleça o equilíbrio entre as fases.

Passo 4: Aperta-se a bexiga de ar até que se tenha a formação de uma bolha de ar dentro do poço, que no experimento podemos identificar como *kick*. Depois se pode apertar a bexiga por completo até espirrar água para fora do tubo, simulando um *blow out*.

3.3. Discussão

Enquanto se coloca fluido no poço, pode-se explicar que o petróleo não está exatamente livre nas condições de reservatório, que ele se encontra “incrustado na rocha reservatório” (ROSA *et al.*, 2006) e, por isso, na maioria das vezes, tem-se uma pressão de formação elevada, além de que outros fluidos como água e gás estão presentes.

À medida que se enche o balão que simula o reservatório com a bomba, explica-se sobre a necessidade que se tem de conhecer as pressões envolvidas na formação, e que ainda só é possível realmente conhecê-las perfurando. Por isso, a engenharia de reservatórios estuda os parâmetros e variáveis associados à fluxos e pressões, com o objetivo de simular e até mesmo prever o comportamento do reservatório.

Na abertura da válvula é possível fazer um paralelo com o início do processo de perfuração, pois haverá por alguns instantes a movimentação de fluidos para se atingir o equilíbrio. Isto é, a perfuração é uma perturbação causada ao sistema que se encontra em equilíbrio. Contudo, o fluido de perfuração entra na dinâmica do processo com uma de suas principais funções equilibrar o sistema, exercendo pressão hidrostática sobre a formação perfurada (BOURGOYNE *et al.*, 1986).

Qualquer perturbação que faça a pressão hidrostática ser menor que a pressão de poro da formação, acarreta um influxo indesejável de fluidos do reservatório para dentro do poço (BOURGOYNE *et al.*, 1986), o que não deve ocorrer na fase da perfuração. São os chamados *kicks* que podem ser reproduzidos experimentalmente apertando levemente a bexiga até que se tenha a formação de uma pequena bolha de ar.

O gás nos reservatórios, em profundidade, está submetido a altas pressões. Quando, durante a perfuração, ele fica submetido a pressões inferiores, ocorre expansão em seu volume (ROSA *et al.*, 2006). Devido a isto, a vazão de retorno monitorada na válvula *choke do BOP* (*Blow Out Preventor*) aumenta, aumentando também o volume dos tanques de lama na sonda de perfuração. Este volume precisa ser observado periodicamente. E, quando observado o *kick*, torna-se necessário a tomada de procedimentos para se retirar o volume de *kick*, a fim de não acarretar um acidente mais grave, o *blow out*.

O fluido de perfuração que está circulando desde o início do processo precisa estar devidamente ajustado em relação à sua densidade para suportar a pressão de poro. Aditivos para aumento do seu peso específico, como a baritina ($BaSO_4$), são utilizados visando o controle da pressão da coluna (THOMAS, 2004).

Embora o Engenheiro Químico esteja mais relacionado às áreas de processamento, refino, projetos de tubulação, ciências dos materiais, oleodutos, vasos de pressão, entre outras, sua atuação na perfuração ocorre de maneira direta. Ele é um dos responsáveis pelo programa do fluido de perfuração para cada fase, o que envolve conhecimentos de hidráulica, classificação de fluidos e interação fluido-rocha.

No fim do procedimento experimental, quando simulado o *blow out*, vale ressaltar que

o acidente é uma consequência dos erros subsequentes que, se não corrigidos, levarão a esse desastre. Também é importante lembrar que o *blow out* não é de responsabilidade de uma pessoa apenas, mas sim de uma equipe. O engenheiro, seja ele de Petróleo ou Químico, precisa estar preparado e possuir o máximo de conhecimento em relação a seus projetos para saber fazer as melhores escolhas para operar nessas situações.

Muitos acidentes são causados por imprudências das próprias empresas que preferem operar de forma rápida e não atendem a normas e padrões de segurança de operação. No entanto, é necessário que os profissionais de campo tenham uma conscientização que o controle dos poços é uma questão fundamental para se ter uma exploração segura de um campo de petróleo, uma vez que não afeta apenas o lado financeiro da empresa, mas também o meio ambiente e a vida de muitas pessoas, caso haja qualquer acidente.

4. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO

As principais dificuldades para construção do aparato experimental e realização do experimento são:

- encontrar material em lojas para confecção do experimento, dentre eles uma cruzeta que tivesse diâmetro compatível com o diâmetro do tubo utilizado, e uma bexiga de ar que pudesse ser usada para fazer o “papel” da pressão do reservatório; esta bexiga não poderia nem opor alta e nem baixa resistência ao ser soprada e enchida; portanto, utilizaram-se duas bexigas para obter o efeito necessário. Além disso, em substituição a uma válvula agulha que tivesse diâmetros de entrada e saída iguais aos tubos, foi utilizada uma válvula de gaveta.

- vedar o sistema hermeticamente, isto é, fazer com que não houvesse nenhum fluxo de fluido para o meio externo ou vice-versa. O recipiente que contém o fluido manométrico foi o mais difícil de vedar, pois nele há duas aberturas, uma que entra ar e outra que sai líquido.

Finalmente, após serem realizados vários testes, foi alcançado o efeito necessário para equilibrar as fases líquida e gasosa que resultou na manutenção da pressão adequada para a realização do experimento.

Após o procedimento de vedação foi necessário um suporte para o equipamento com o objetivo de colocá-lo na vertical. Usou-se madeira comum cortada em medidas precisas em relação ao tamanho da coluna manométrica.

5. METODOLOGIA

A metodologia consistiu na aplicação de um questionário para 79 alunos, sendo 47 alunos de Engenharia de Petróleo e 32 alunos de Engenharia Química, em dois momentos, com o objetivo de avaliar o nível de conhecimentos dos mesmos. As perguntas do questionário foram:

1. De 0 a 5, qual é o seu conhecimento sobre *blow out*?
2. A pressão tem alguma influência sobre o acontecimento do *blow out*?
3. Você sabe o que é *Kick* ?
4. Qual é o valor aproximado do gradiente de pressão para água em atm/metro?

5. O peso da lama de perfuração é um fator que pode gerar *Kick*?
6. O BOP pode provocar *blow out*?

O primeiro momento de aplicação do questionário se deu antes da explanação, apenas com os conhecimentos transmitidos durante o ensino médio, e o segundo momento após a apresentação realizada pelo grupo PetroPET. Desta forma foi possível avaliar como o experimento prático poderia auxiliar na absorção do conhecimento teórico sobre o *blow out*.

6. COLETA E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Os resultados das tabulações dos questionários aplicados para cada pergunta, antes e depois da realização do experimento, são mostrados nas figuras 2 a 7 a seguir.

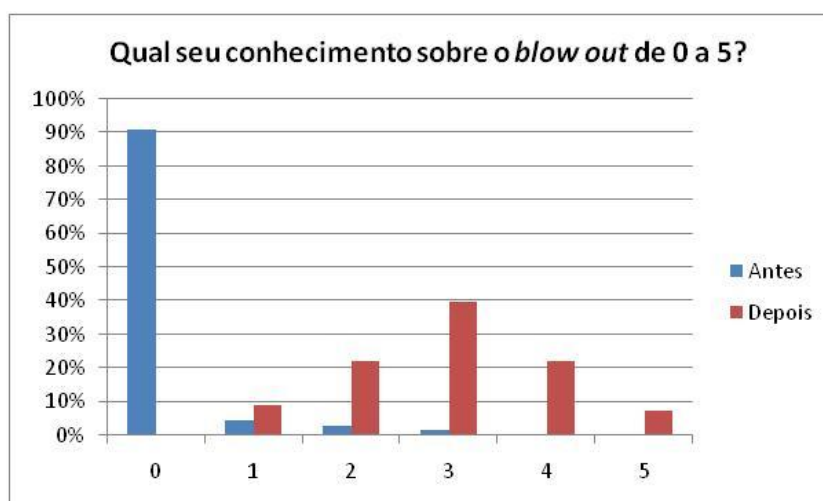


Figura 2- Respostas à pergunta 1, coletadas antes e depois da explicação sobre o assunto

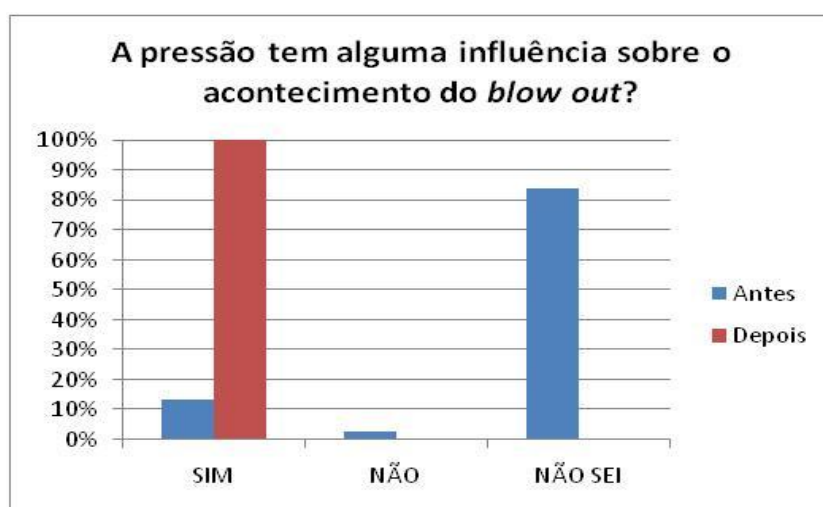


Figura 3- Respostas à pergunta 2, coletadas antes e depois da explicação sobre o assunto.



Figura 4- Respostas à pergunta 3, coletadas antes e depois da explicação sobre o assunto.



Figura 5- Respostas à pergunta 4, coletadas antes e depois da explicação sobre o assunto.



Figura 3- Respostas à pergunta 5, coletadas antes e depois da explicação sobre o assunto.

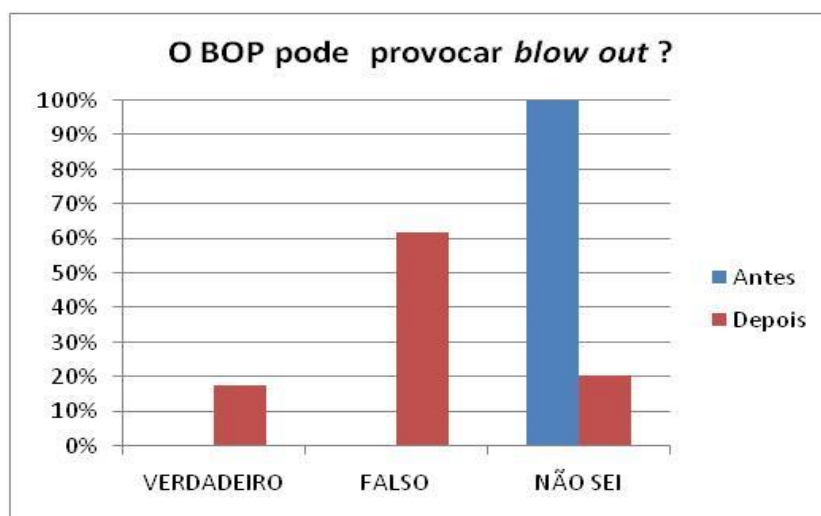


Figura 7- Respostas à pergunta 5, coletadas antes e depois da explicação sobre o assunto.

A partir da análise dos dados coletados, foi possível perceber uma tendência de aumento das respostas corretas, após a realização do experimento e a explanação feita aos alunos. No entanto, a figura 7, referente à pergunta 5: O BOP pode provocar *blow out* ?, mostra que, comparativamente com os outros gráficos, muitos alunos erraram ou não sabiam a resposta. Essa discrepância pode ser entendida pela natureza qualitativa da pergunta proposta, que precisava da interpretação dos conhecimentos passados durante a apresentação dos conceitos.

De modo geral, infere-se que a maioria dos alunos assimilou os conceitos e a teoria apresentada com o experimento. Portanto, através dos dados obtidos, é possível afirmar que a apresentação do experimento para os alunos de graduação contribuiu para o engrandecimento intelectual dos mesmos, permitindo a visualização dos conceitos a serem estudados posteriormente na graduação.

7. CONCLUSÃO

Tendo em vista os objetivos propostos, percebe-se que foi possível realizar uma visualização prática do fenômeno *blow out* em pequena escala e repassar conhecimentos acerca da extração de petróleo de um reservatório.

Por meio da análise dos questionários, notou-se que a maioria dos estudantes demonstrou não ter conhecimento sobre o gradiente de pressão para a água, conhecimento esse que esperava-se que os alunos tivessem, dado que todos cursaram o Ensino Médio. Observa-se aí, portanto, uma defasagem no ensino de Hidrostática durante a vida escolar pré-universitária dos mesmos.

Uma fração considerável dos estudantes respondeu que o BOP pode provocar *blow out* no questionário entregue após a explanação e realização do experimento. Daí conclui-se que não foi entendido que o BOP (*blow out preventer*) é um equipamento preventivo, ou seja, evita o acidente, e não é fator de causa.



Vale ressaltar que não se observou uma diferença significativa entre as respostas dos estudantes de Engenharia Química e de Engenharia de Petróleo, portanto tabularam-se os resultados simultaneamente nos mesmos gráficos. Os estudantes de Engenharia de Petróleo, em geral, aparentaram saber mais sobre os conceitos, mas não significativamente, se comparados aos alunos de Engenharia Química.

Em geral, pode-se dizer que a maioria dos estudantes assimilou o conteúdo a eles transmitido, quer através de explicação, quer através da visualização prática do experimento. Isso pôde ser verificado com a mudança nas respostas entre os questionários aplicados antes e depois das explicações, que demonstraram aquisição de conceitos como *kick*, *blow out*, pressão hidrostática, fluido de perfuração, etc.

Infere-se que todo o desenvolvimento desse projeto constituiu-se de uma tarefa de mão dupla: o repasse de conhecimentos referentes à perfuração de um poço de petróleo, bem como o engajamento e desenvolvimento dos membros do grupo PetroPET no exercício de uma atividade que engloba ensino, pesquisa e extensão.

Como sugestões de trabalhos futuros pretende-se incrementar o experimento, tendo como meta representar cada vez uma aproximação melhor do fenômeno e realizá-lo variando a densidade do fluido, com o intuito de demonstrar a influência da densidade do fluido na perfuração. Tem-se como objetivo também estender a apresentação do experimento à comunidade não acadêmica, como alunos do Ensino Médio.

Agradecimentos

À Deus, pela oportunidade e providência.

Ao Prof. Dr. Geraldo Ferreira, tutor do grupo PetroPET e leme da nossa caminhada.

À Prof. Dra. Márcia Velloso, exemplo de doação à ciência e ao repasse de conhecimento, que não mede esforços para ajudar em nosso desenvolvimento profissional e científico.

À Universidade Federal Fluminense, pelo apoio financeiro à realização das atividades do grupo PetroPET –Programa de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOURGOYNE, Adam T. Jr., MILHEIM, Keith K., CHENEVERT, Martin E., YOUNG, F.S.Jr. *Applied Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers, 1986. SPE Textbook Series, Volume 2.

ROCHA, Luiz Alberto S., AZEVEDO, Cecília Toledo de. *Projetos de Poços de Petróleo: geopressões e assentamentos de colunas de revestimentos*. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2009.

ROSA, Adalberto J.; CARVALHO, Renato de S.; XAVIER, José A. D. *Engenharia de Reservatórios de Petróleo*. Interciência, 2006

SEED. (2003). *SCHLUMBERGER Excellence in Educational Development*. Disponível em: <http://www.planetseed.com/sites/default/files/blowout_pt.pdf>. Acesso em 13 de maio de 2014.

THOMAS, José Eduardo. *Fundamentos de engenharia de petróleo*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2004



TEACHING AND LEARNING EVALUATION IN ENGINEERING: EXPERIMENTAL PROCEDURE APPLICATION TO UNDERSTAND A *BLOW OUT*

Abstract: *This paper deals with the presentation of an experiment for the students of the Universidade Federal Fluminense's Chemical Engineering and Petroleum Engineering courses, in order to practically visualize a phenomena that occurs inside an oil well during a pressure imbalance — known as a blow out — as well as evaluate the student's knowledge of petroleum extractions basic concepts. This evaluation was made with the use of a questionnaire given before and after the explanation and the experiment. Upon analysis of the results, it was verified that initially most students did not demonstrate knowledge about the given concepts. However, after the explanation, it was observed that most students assimilated the content. Equally, this paper deals with introducing PetroPET's group to academic teaching, research, and extension through the project management, data gathering and analysis.*

Key-words: *blow out, kick, pressure imbalance, experimental blow out.*