

“SIMULAÇÃO DO CONTROLE DE POÇOS DE GÁS”

Rodrigo Feliciano Martins Pereira¹ e Paulo Roberto Ribeiro

DEP/FEM/UNICAMP, ¹Caixa Postal 6122, 13083-970, Campinas, SP. rpereira@dep.fem.unicamp.br

A perfuração de poços de petróleo e gás natural, bem como a tecnologia envolvida nessa atividade tem evoluído significativamente nas últimas décadas, no Brasil. O controle de poço é importante na exploração e desenvolvimento de campos de óleo e gás devido a questões de segurança, ambientais e econômicas. O atual cenário de exploração de gás natural na bacia de Santos contempla reservatórios de hidrocarbonetos em profundidades superiores a seis mil metros, implicando-se em condições de elevadas pressões e temperaturas no fundo do poço (pressões da ordem de 12000psi e temperaturas da ordem de 200° C). Durante a perfuração convencional de um poço, se a pressão no interior do poço for menor do que a pressão de poros da formação produtora, ocorrerá o influxo indesejável de fluido da formação para o interior do poço, denominado de *kick*. Se esse influxo não for devidamente controlado, tem-se uma situação de *blowout*, que pode ocasionar perdas humanas, de equipamentos e pode causar desastres ambientais relevantes. Portanto, a simulação de *kicks* é uma ferramenta importante para auxiliar o engenheiro de perfuração durante o controle do poço nessa situação crítica e evitar acidentes, assim como pode ser usado para fins educacionais. O trabalho trata da simulação numérica de um *kick* de gás, de forma a se prever a pressão no *choke* (localizado na superfície) durante o controle de poço, considerando-se um escoamento bifásico gás-líquido, perda de carga por fricção no circuito hidráulico e um gás real. Foram estudados os efeitos de algumas variáveis no controle do poço como o volume inicial do influxo, a profundidade e temperatura do poço, assim como a vazão reduzida de circulação. A motivação do trabalho foi abordar o controle de poços de terra profundos, sob um *kick* de gás metano.

Palavras-Chave: *Kick*, *Perfuração*, *Controle de Poço*

1. INTRODUÇÃO

Durante a perfuração de um poço, deve ser feito um rigoroso controle de todos os parâmetros de operação e um detalhamento bem cauteloso do projeto para se evitar um *blowout*, mantendo-se assim a segurança dos trabalhadores, evitando-se desastres ambientais e a perda de equipamentos, o que causaria grandes prejuízos econômicos. O controle de *kicks* é uma preocupação constante durante o planejamento e execução da perfuração de um poço.

Kick é o influxo indesejável de fluido da formação para o interior do poço, devido à pressão no poço ser menor que a da formação. Quando o influxo é detectado, o poço deve ser fechado e o *kick* circulado para fora do poço. Se o controle poço for perdido, tem-se uma situação de *blowout*, como ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Blowout num poço *onshore*, na Argélia
[www.wellflow.no/Experience]

Algumas das principais causas de kicks são as seguintes:

- Falta de ataque ao poço: caracterizada pela falha em manter o poço cheio de lama durante a retirada da coluna de perfuração do poço.
- Perda de circulação: ocorre quando o fluido de perfuração flui do poço para a formação, o que diminui a pressão hidrostática no poço.
- Pressões anormais e peso do fluido de perfuração insuficiente: para uma zona de pressão anormal, o peso do fluido de perfuração deve ser aumentado.
- Pistoneio: durante a retirada da coluna de perfuração, pode ocorrer um efeito de pistão no poço e a pressão no fundo diminui, permitindo-se assim a ocorrência do kick.

Uma vez detectado o kick, os principais métodos de controle são:

- Método do Engenheiro: a circulação do influxo é feita com uma nova lama de perfuração.
- Método do Sondador: primeiro o influxo é expulso com a lama original e a seguir é bombeada uma lama nova, até o preenchimento total do poço.

O presente trabalho visa simular o comportamento da pressão na superfície, durante a circulação do kick através do método do sondador.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo matemático implementado, foi baseado no trabalho de Nunes (2002).
O influxo de gás foi representado pelo modelo de gás real:

$$PV = Zn\bar{R}T \quad (1)$$

onde P é a pressão, V é o volume, n é o número de moles do gás, T é a temperatura, $\bar{R}$ é a constante universal dos gases e Z é o fator de compressibilidade do gás.

O fator de compressibilidade foi calculado pelo método de Hall-Yarborough (1974).

2.1. Perda de Carga na Região Monofásica

As perdas de carga por fricção, originadas no escoamento do fluido de perfuração através do espaço anular (seção transversal constante ao longo de todo poço) foram desenvolvidas para os modelos reológicos de Bingham e de Potência, de acordo com Bourgoyne et al. (1986).

2.2. Escoamento Bifásico

De modo a se representar a zona contaminada de fluido de perfuração pelo gás invasor, é feita a modelagem do escoamento bifásico. Para o tratamento de escoamentos bifásicos verticais, podem ser considerados quatro padrões de fluxo ascendente (Nunes, 2002):

- Bolhas: a fase gasosa escoar em forma de bolhas na fase líquida contínua, formando um meio homogêneo;
- Pistonado: grandes bolhas, chamadas de bolhas de Taylor, escoam intercaladas por tampões de líquido;
- Agitante: é um escoamento aleatório, no qual ocorre mudança da fase contínua líquida para a de gás em alguns pontos. É um padrão intermediário entre o pistonado e o anular;
- Anular: a fase contínua é de gás que contém pequenas gotas de líquido no seu interior, sendo a parede do tubo coberta por um filme fino de líquido.

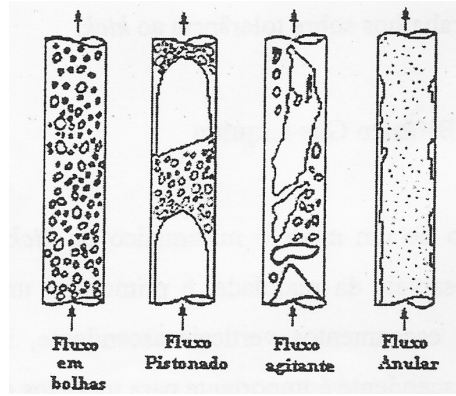


Figura 2 : Padrões de escoamento vertical ascendente.
[Nunes, 2002]

Durante a circulação do kick, também é importante a inclusão das perdas de carga por fricção na zona contaminada, onde o fluido de perfuração está misturado com o gás.

A perda de carga por fricção na região bifásica, baseada na correlação de Beggs e Brill (1973) é dada por:

$$\left(\frac{dp_{bi}}{dL} \right)_{\text{fricção}} = \frac{f_{bi} \rho_{mixt} v_{mixt}^2}{2 g_c d} \quad (2)$$

Onde f_{bi} é o fator de atrito na região bifásica, ρ_{mixt} e v_{mixt} são a densidade e a velocidade da mistura, respectivamente, e g_c é o fator de conversão ($9.87 \frac{kg.m}{kgf.s^2}$).

3. METODOLOGIA

Com base na descrição do modelo apresentada, foi desenvolvido um simulador numérico do controle de poço, durante um kick de gás, que permite a previsão de pressão na superfície, durante o controle do poço. A situação operacional é tal que a sonda está perfurando com a broca no fundo do poço, e no momento em que o kick é detectado, o poço é fechado. É alimentada a pressão no interior da coluna de perfuração (SIDPP) e o ganho nos tanques de lama (*Pit Gain*), sendo feitas as seguintes considerações:

- Não ocorre reação química entre o gás e o fluido de perfuração;
- Fluido de perfuração a base de água;
- A formação portadora de gás está no fundo do poço;
- O padrão de escoamento bifásico é o de bolhas;
- A pressão no fundo do poço é mantida constante e igual à da formação, com uma margem de segurança;
- O fluido está em equilíbrio térmico com a formação;
- Não ocorrem mudanças de fase durante a circulação;
- O kick é removido utilizando-se o método do sondador.

3.1. Condições Iniciais

Primeiramente, é avaliado o comprimento inicial do influxo, com base na fração média inicial de gás. Esses valores permitem a avaliação da pressão média na zona contaminada, que será utilizada para a avaliação da pressão na superfície do espaço anular do poço.

A pressão média inicial é dada por (Nunes, 2002):

$$\bar{P} = \left(\frac{1}{\bar{\alpha} A g H k} \right) \left(P_b + \frac{\rho_m \bar{H}}{\bar{\alpha} A} \right) \left(1 - e^{-(\bar{\alpha} A g H k)} \right) - \left(\frac{\rho_m \bar{H}}{\bar{\alpha} A} \right) \quad (3)$$

Onde, $\bar{\alpha}$ é a fração inicial de gás, A é uma relação entre a massa específica e a pressão do gás, g é a aceleração da gravidade Hk é o comprimento do kick, $\bar{H}$ e ρ são o hold-up e a densidade do fluido de perfuração respectivamente e Pb é a pressão na base do influxo.

3.2 Circulação do Kick

Essa fase corresponde ao bombeamento do fluido invasor até que o topo da zona contaminada atinja a superfície.

A velocidade no topo e na base da região bifásica é dada pela correlação de Griffith para escoamento em bolhas dispersas.

A pressão média na zona contaminada é calculada com o acréscimo da perda de carga por fricção, conforme a Equação 4.

$$\bar{P}(i) = \left(\frac{1}{\bar{\alpha}(i)AgHk} \right) \left(Pb + \frac{\rho_m \bar{H}(i) + \frac{dpbi}{dL}}{\bar{\alpha}(i)Ag} \right) \left(1 - e^{-(\bar{\alpha}(i)AgHk)} \right) - \left(\frac{\rho_m g \bar{H}(i) + \frac{dpbi}{dL}}{\bar{\alpha}(i)Ag} \right) \quad (4)$$

Onde $\frac{dpbi}{dL}$ é a perda de carga por fricção na região bifásica:

Quando o kick atinge a superfície, inicia-se a produção do gás. A primeira circulação é finalizada quando todo gás que entrou no poço é eliminado.

4. RESULTADOS

Foram simulados casos de poços de terra com variação dos seguintes parâmetros:

- Profundidade do poço;
- Volume do influxo;
- Vazão reduzida de circulação.

Os dados do poço base (Figura 4) são dados a seguir:

Profundidade	4000 m
Diâmetro externo do anular	0.250 m
Diâmetro interno do anular	0.127 m
Temperatura na superfície	27 °C
Gradiente geotérmico	0.0248 °C/m
Densidade do fluido de perfuração	1198,26 kg/m³
Viscosidade plástica do fluido	0,015 Pa.s
Tensão de escoamento do fluido	4,8 N/m²
Volume do influxo	6,3596 m³
SIDPP	3,10275 MPa
Fração média inicial de gás	0,75
Gravidade específica do gás metano	0,65 (ar=1)
Vazão reduzida de circulação	0,0126 m³/s

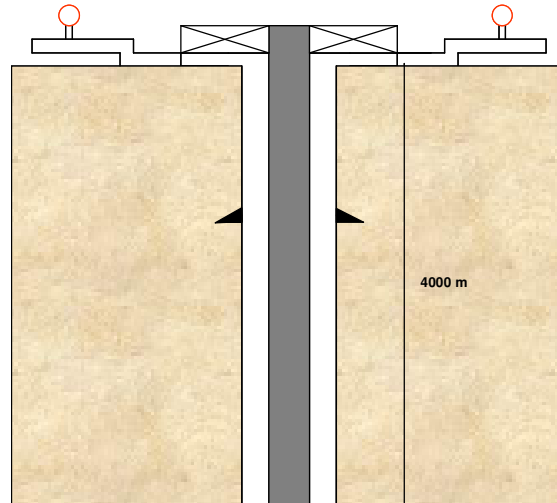


Figura 4: Esquema do poço base

Primeiramente, foram feitas simulações variando-se a profundidade do poço de 4000 a 7000 metros. Tais profundidades implicam em altas pressões no fundo do poço e devido ao gradiente geotérmico considerado, elevadas temperaturas, chegando-se a 14000 psi e 200 °C no fundo do poço de 7000 m de profundidade.

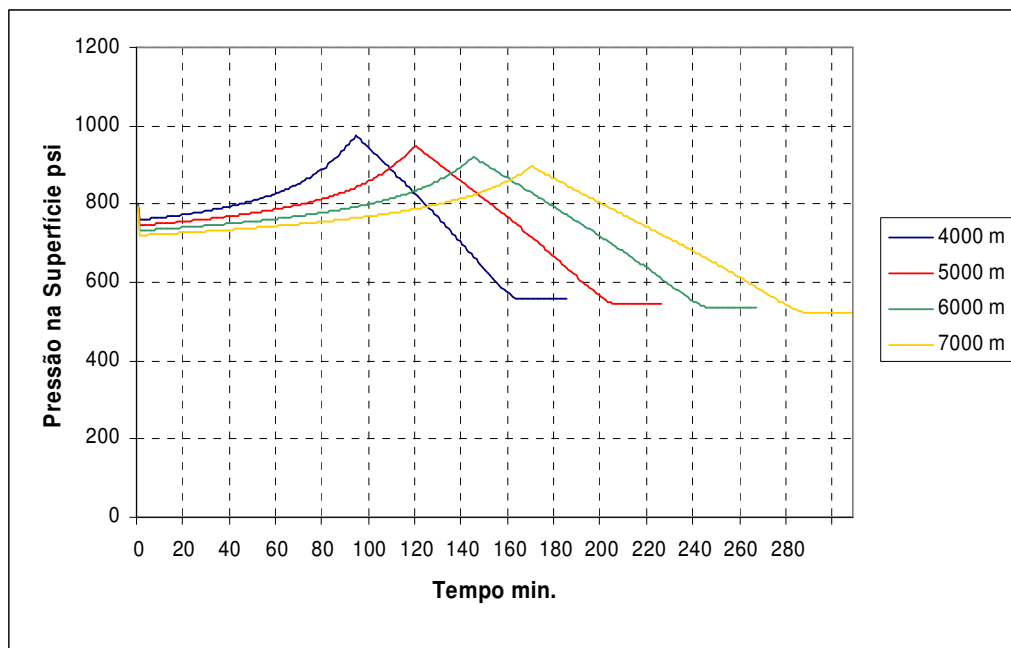


Figura 5: Efeito da profundidade do poço

De acordo com a Figura 5, o pico de pressão (momento crítico que indica a chegada do kick à superfície) diminui com a profundidade. Isso se deve ao fato de que quanto maior a profundidade, maior a perda de carga por fricção. Com o aumento da profundidade também é verificado o atraso da chegada do gás à superfície.

A Figura 6 apresenta o efeito do volume ganho nos tanques no perfil de pressões na superfície. Quanto maior for o influxo, maior será a pressão no choke.

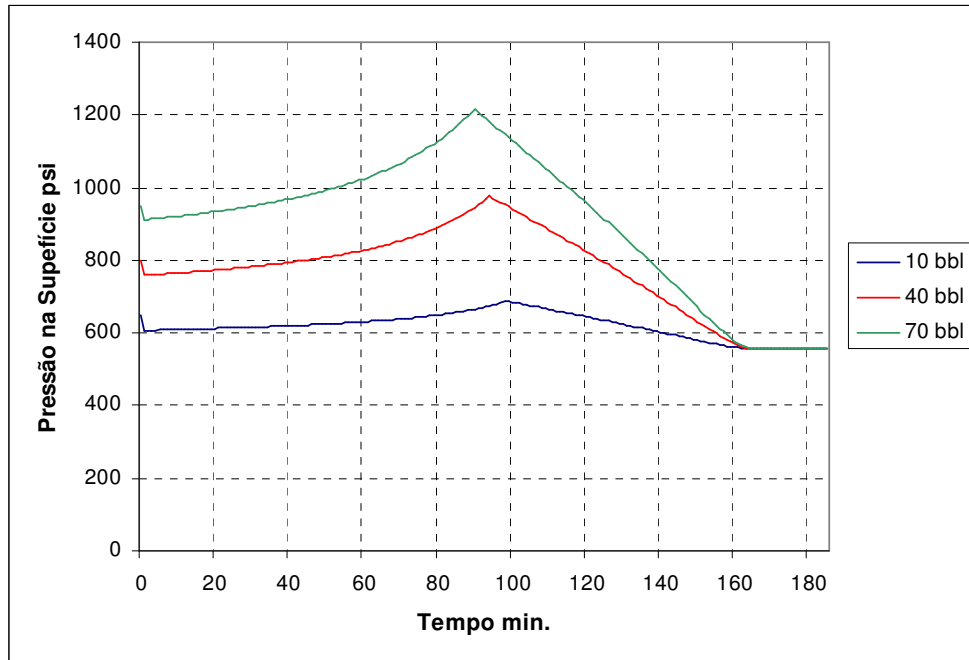


Figura 6: Efeito do volume inicial do kick

O efeito da vazão de circulação de fluido de perfuração durante a retirada do kick de gás pode ser observada na Figura 7. Com o aumento da vazão, há um aumento nas perdas de carga por fricção no espaço anular, o que incorre em menores pressões na superfície. O aumento na vazão também promove uma eliminação mais rápida do fluido invasor de dentro do poço.

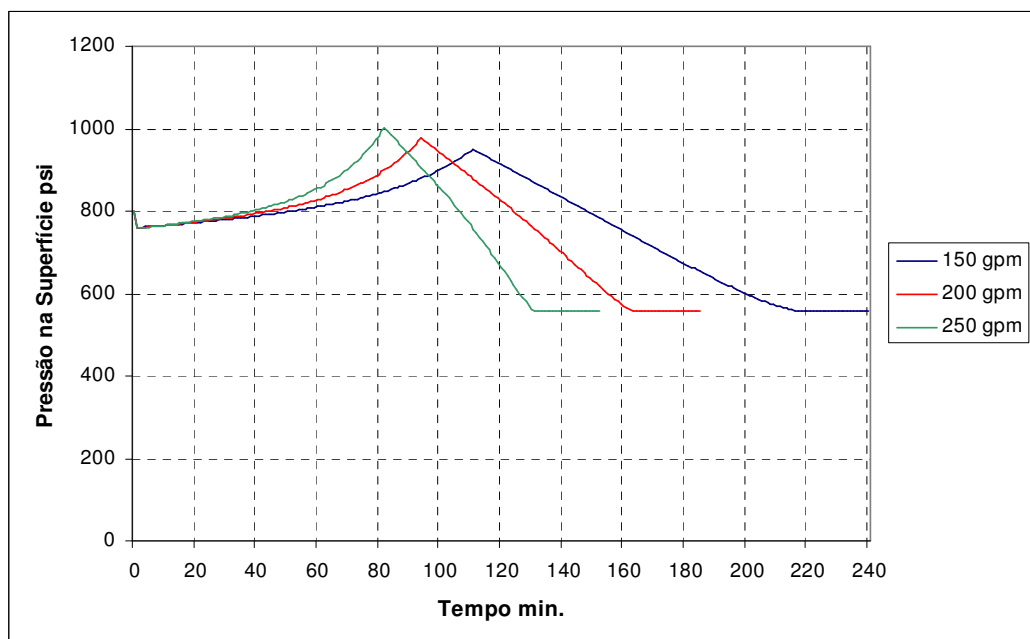


Figura 7: Efeito da vazão reduzida de circulação

5. COMPARAÇÃO

O caso base foi simulado com outro simulador (Santos et al., 2003), sendo a comparação entre os resultados dos dois trabalhos apresentados na Figura 8.

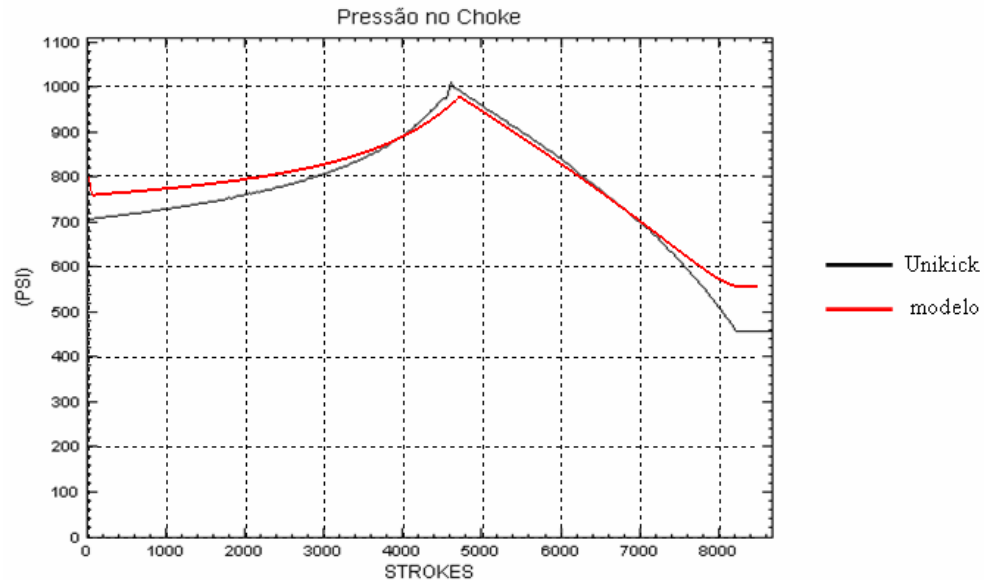


Figura 8: Comparação entre resultados obtidos no Unikick e no modelo

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de simuladores de controle de poços é de grande importância para a segurança de operações de perfuração de poços. A ferramenta computacional permite a simulação de várias situações antes, durante ou numa análise a posteriori do evento de um kick.

A previsão do perfil de pressões em poços de alta temperatura e alta pressão foi realizada, com uma análise de sensibilidade básica de parâmetros: profundidade do poço (4000 a 7000 metros), volume do influxo (10 a 70 barris) e vazão reduzida de perfuração (150 a 250 gal/min).

A comparação de resultados para um caso base foi feita entre o presente modelo e um simulador existente (Santos et al., 2003), o que levou a uma boa concordância.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo suporte financeiro contínuo da PETROBRAS e FINEP/CTPETRO. A infraestrutura computacional foi fornecida pelo DEP/FEM/UNICAMP.

8. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. BEGGS, H. D., BRILL, J.P. A study of Two-Phase Flow in inclined Pipes. Journal of Petroleum Technology, p.607 – 617, Maio 1973.
2. BOURGOYNE Jr., A. T., CHENEVERT, M. E., MILHEIM, K. K., YOUNG Jr., F.S., Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series, Vol. 2, 1986
3. NUNES, J. O. L. Estudo do Controle de Poços em Operações de Perfuração em Águas Profundas e Ultra Profundas, 2002, Dissertação (Mestrado).
4. PAYNE, G. A., PALMER, C. M., BRILL, J. P., BEGGS, H. D. Evaluation of Inclined-Pipe, Two-Phase Liquid Holdup and Pressure-Loss Correlation Using Experimental Data, Journal of Petroleum Technology p1198 – 1208, Maio 1976
5. YARBOROUGH, L., HALL, K. R. How to Solve Equation of State for Z – factors, Oil and Gas Journal, p.86, Fevereiro 1974.
6. SANTOS, O. L. A., A Mathematical Model of a Gas Kick when Drilling in Deep Waters, 1982, Dissertação (Mestrado).

7. SANTOS, O. L. A., SPE, PETROBRAS, MENDES, J. R. P., RIBEIRO, P. R., SPE, UNICAMP The Development and Application of a Software to Assist the Drilling Engineer During Well Control Operations in Deep and Ultra Deep Waters, 2003, Paper SPE 81184.

“GAS WELL CONTROL SIMULATION”

Oil and gas well drilling, as well as the technology involved in this activity, has been significantly developed on last decades in Brazil. Well Control is important in the exploration and development of oil and gas fields due to safety, environmental and economics issues. Because of the actual scenario of natural gas exploration in Santos basin, that contemplates reservoirs as deep as six thousand meters, which implies high pressures and temperatures at the bottom of the well, a study has been made concerning these conditions. During drilling, if the pressure inside the well is not greater than the formation pressure, the occurrence of a kick is possible, the undesirable influx of gas from the formation to the well. If this influx is not correctly controlled, a blowout occurs. A blowout can cause human and equipment losses, and relevant environmental disasters. Therefore, a kick simulator is a great tool to help the drilling engineer prevent accidents during well control in this critical situation, and can be used to educational purposes. This work treats the numerical simulation of a gas kick to estimate the variation of surface pressure during well control, concerning the effects of gas-liquid two-phase flow, friction pressure loss and a real gas approach. The effect of some variables in well control as pit gain, well depth and temperature, and reduced circulation flow where studied. The motivation of this work was to deal with deep onshore well control, during a *kick* of methane gas.

Keywords: *Kick, Drilling, Well Control*

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.