

# 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## TÍTULO DO TRABALHO:

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGILAS BENTONÍTICA E ATAPULGITA NA FORMULAÇÃO DE BARREIRAS DE SEGURANÇA LÍQUIDAS PARA ABANDONO TEMPORÁRIO DE POÇOS DE PETRÓLEO

## AUTORES:

Waleska Rodrigues Pontes da Costa<sup>1</sup>, Ruth Luna do Nascimento Gonçalves<sup>1,\*</sup>, Mário César de Siqueira Lima<sup>1</sup>, Laura Rafaela Cavalcanti de Oliveira<sup>1</sup>, Karine Castro Nóbrega<sup>1</sup>, Anna Carolina Amorim Costa<sup>1</sup>, Tiago Almeida de Oliveira<sup>2</sup>, Michelli Barros<sup>1</sup>, Elessandre Alves de Souza<sup>3</sup>, Luciana Viana Amorim<sup>1</sup>

## INSTITUIÇÃO:

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Petróleo/ Departamento de Estatística, Universidade Federal de Campina Grande, <sup>2</sup>Departamento de Estatística, Universidade Estadual da Paraíba, <sup>3</sup>Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES)

## COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGILAS BENTONÍTICA E ATAPULGITA NA FORMULAÇÃO DE BARREIRAS DE SEGURANÇA LÍQUIDAS PARA ABANDONO TEMPORÁRIO DE POÇOS DE PETRÓLEO

### Resumo

O material mais utilizado como barreira de segurança no abandono de poços de petróleo é o cimento Portland, no entanto, devido a problemas associados à sua integridade a longo prazo e alto custo, o estudo de materiais alternativos tem ganhado espaço na indústria de petróleo. Com isso, este trabalho teve como objetivo desenvolver formulações de fluidos aquosos a partir de argila bentonita e atapulgita para aplicação como barreira de segurança líquida, visando o abandono temporário de poços de petróleo. Os fluidos formulados foram caracterizados quanto ao pH, densidade, comportamento reológico e volume de filtrado em condições de alta pressão e alta temperatura (*high pressure high temperature* - HPHT). Os resultados apontam que as formulações apresentam caráter básico, considerado adequado para a utilização em operações de abandono. Para a densidade, foram observados valores de 9,8 e 9,5pgg, para os fluidos formulados à base de bentonita e atapulgita, respectivamente. A partir da análise dos resultados de comportamento reológico, observa-se que as formulações desenvolvidas se apresentam como alternativas tecnicamente viáveis quanto à sua bombeabilidade, além de não demonstrarem tendência à sedimentação de sólidos. Por fim, quanto ao volume de filtrado, a formulação preparada com atapulgita apresentou valor significativamente alto para esse parâmetro, de 14,1mL, enquanto a formulação preparada com bentonita garantiu controle de filtração mais eficiente, com valor médio de volume de filtrado de 7.6 mL. Esse comportamento encontra-se relacionado à própria conformação física do argilomineral montmorilonita, principal constituinte da bentonita, que, em razão da sua estrutura lamelar, assegura a formação de rebocos menos permeáveis, e, aliada ao desempenho do aditivo polimérico, proporcionam a redução do volume de filtrado, garantindo a manutenção da pressão hidrostática exercida pela coluna de fluido no interior do poço durante as operações de abandono.

Palavras-chave: fluidos aquosos, barreiras de segurança, argilominerais, paligorsquita, montmorilonita, materiais alternativos.

### Abstract

The material most used as a safety barrier in abandonment of petroleum wells is Portland cement, however, problems associated with its long-term integrity and high cost has motivated the study of alternative materials in the petroleum industry. Therefore, this work aimed to develop formulations of water-based fluids using bentonite and attapulgite clays for application as a liquid safety barrier, aiming the temporary abandonment of petroleum wells. The formulated fluids were characterized in terms of pH, density, rheological behavior and filtrate volume under conditions of high pressure and high temperature (*high pressure high temperature* - HPHT). The results indicate that the formulations have a basic character, considered suitable for use in abandonment operations. For density, values of 9.8 and 9.5pgg were observed for fluids formulated with bentonite and attapulgite, respectively. From the analysis of the rheological behavior results it is observed that the formulations developed present themselves as technically viable alternatives in terms of their pumpability, in addition to not

demonstrating a tendency to sedimentation of solids. Finally, regarding the filtrate volume, the formulation prepared with attapulgite presented a significantly high value for this parameter, of 14.1mL, while the formulation prepared with bentonite guaranteed more efficient filtration control, with an average filtrate volume value of 7.6mL. This behavior is related to the physical conformation of the clay mineral montmorillonite, the main constituent of bentonite, which, due to its lamellar structure, ensures the formation of less permeable filter cakes, and, combined with the performance of the polymeric additive, provides a reduction in volume of filtrate, ensuring the maintenance of the hydrostatic pressure exerted by the fluid column inside the well during abandonment operations.

Keywords: water-based fluids, well barrier element, clayminerals, palygorskite, montmorillonite, alternative materials.

## **Introdução**

No final da vida útil de um poço devem ser executados protocolos para seu isolamento, visando a proteção e segurança dos operadores e do meio ambiente (MORAIS *et al.*, 2023). Esse processo, denominado *plug and abandonment* (P&A), pode ser permanente ou temporário, e ocorre quando a produção de hidrocarbonetos deixa de ser economicamente viável (JIANG *et al.*, 2020). Os poços também são temporariamente abandonados em outras etapas de seu ciclo de vida por motivos técnicos, operacionais ou de segurança, podendo permanecer nesse estado por alguns dias ou mesmo anos, até o momento de retomada das atividades ou do abandono permanente (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS, 2017; KAISER, 2017; KHALIFEH e SAASEN, 2020).

Historicamente, as companhias petrolíferas normalmente seguem diferentes diretrizes regulamentadoras (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2016; NORSEK, 2004; OIL & GAS UK, 2015) com o objetivo de selecionar o tipo de material adequado para utilização como barreira, que apresente potencial para reduzir custos e riscos, evitar possíveis falhas, e garantir a integridade do poço tamponado a longo prazo (OSUNDARE *et al.*, 2018; WILLIS, STRUTT e EDEN, 2019). Embora os requisitos para o abandono temporário e permanente sejam os mesmos, a escolha dos elementos de barreira de poço (*well barrier element - WBEs*) pode ser diferente considerando o tempo de abandono, disposição de reentrada ou perspectiva futura (SAIKIA *et al.*, 2019).

Ao longo dos anos, diversas pesquisas foram realizadas visando a aplicação de materiais alternativos ao cimento no abandono de poços, sejam barreiras mecânicas (TVEIT, 2012; LIU *et al.*, 2017; FULKS e CARRAGHER, 2020; JIA, CHEN e ZHAO, 2022) ou, com menor frequência, líquidas (KARAPETOV, MOKHOV e SAVELEV, 2017). A legislação brasileira (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2002) permite a utilização de barreiras líquidas para essa finalidade, desde que a coluna de fluido consiga impedir o influxo de fluidos para dentro do poço.

A experiência quanto à utilização de barreiras líquidas para fase de abandono ainda é limitada e tecnicamente complexa, sendo necessário o desenvolvimento de tecnologias nesta área buscando planejar de forma estratégica métodos que permitam um abandono seguro e com menores custos.

Nesse contexto, estudos realizados no Laboratório de Pesquisa em Fluidos de Perfuração (PEFLAB) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), desde o ano de 2020, sobre materiais alternativos e tecnologias para qualificação desses materiais com perspectiva de serem utilizados como barreiras de segurança em operações de P&A temporário de poços, demonstraram que fluidos minerais salgados apresentam potencial técnico para utilização como barreira líquida em poços *offshore*.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver formulações de fluidos aquosos a partir de argila bentonita e atapulgita para aplicação como barreira de segurança líquida, visando o abandono temporário de poços de petróleo.

## Metodologia

Para a realização deste trabalho foram desenvolvidas duas formulações de fluidos aquosos salgados contendo minerais argilosos (atapulgita ou bentonita) e polímero redutor de filtrado. A Tabela 1 apresenta os componentes dos fluidos e suas respectivas funções. Uma vez que esse estudo compreende uma etapa preliminar para desenvolvimento da formulação do fluido depositado no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) sob número BR 10 2023 019391 9, optou-se por não divulgar os teores de cada aditivo.

Tabela 1 – Componentes dos fluidos aquosos minerais

| <b>Função</b>         | <b>Material</b>           |
|-----------------------|---------------------------|
| Redutor de filtrado   | Polímero                  |
| Fase dispersante      | Salmoura saturada de NaCl |
| Agente Viscosificante | Atapulgita/Bentonita      |
| Alcalinizante         | NaOH                      |

Para o reparo do fluido, o polímero redutor de filtrado foi inicialmente pré-hidratado em água deionizada. Após a pré-hidratação, os fluidos foram preparados em misturador Silverson, modelo L5, adicionando-se os demais componentes, na ordem apresentada na Tabela 1.

Após o preparo, os fluidos foram caracterizados quanto ao pH, densidade, viscosidade plástica e volume de filtrado. O pH foi obtido utilizando um medidor de pH de bancada, da marca LineLab, enquanto as medidas de densidade foram realizadas em balança de lama da marca Fann, modelo 140.

Para obtenção da viscosidade plástica, utilizou-se um viscosímetro rotacional da marca Fann, modelo 35A. Para isso, foram realizadas medidas do ângulo de deflexão da mola nas velocidades de 600, 300, 200, 100, 6 e 3rpm. As leituras obtidas e as velocidades de rotação foram utilizadas para calcular as tensões e as taxas de cisalhamento, respectivamente, com auxílio das equações fornecidas no manual do equipamento, e com esses dados foram plotadas curvas de fluxo para cada formulação estudada. O valor de viscosidade plástica, dado em Poise, corresponde ao coeficiente angular da reta obtida.

O volume de filtrado ( $VF_{HPHT}$ ) desses fluidos foi determinado em um filtro-prensa de alta pressão e alta temperatura (*HPHT – high pressure and high temperature*). Para isso, o fluido foi colocado dentro de uma célula que, por sua vez, foi posicionada em uma jaqueta aquecida à 150°F (65,5°C), e aplicada uma pressão de 100psi (689,5KPa). Assim que a célula atingiu a temperatura da jaqueta, a pressão foi aumentada para 300psi (2068,4KPa) e o ensaio de filtração foi iniciado, com duração de 30 minutos.

## Resultados e Discussão

Os resultados de pH dos fluidos analisados encontram-se apresentados na Figura 1.

De modo geral percebe-se que, independentemente do tipo de argila utilizada, os fluidos apresentaram pH básico, que foi de 10,9 e 13,26, para os fluidos preparados com bentonita e atapulgita, respectivamente.

Segundo Soto *et al.* (2020), o valor do pH está diretamente relacionado ao grau de dispersão das lamelas de argila no fluido e, portanto, afeta a viscosidade e outros parâmetros de desempenho, devendo ser mantido em uma faixa alcalina. Nesse nível, os efeitos adversos de eletrólitos, as taxas de corrosão e a ação bacteriana sobre os materiais orgânicos presentes no fluido são reduzidos.

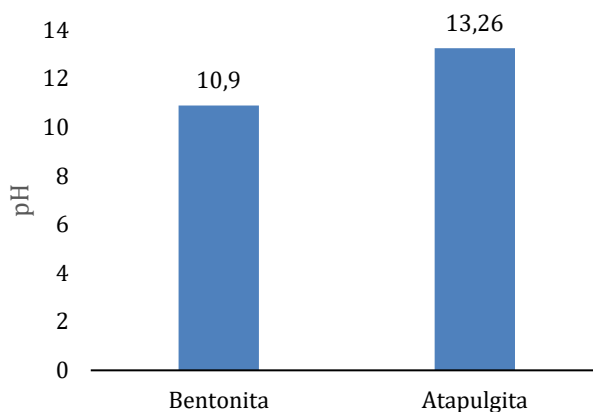


Figura 1 - Ph dos fluidos formulados a partir de bentonita e atapulgita.

Embora as discussões de Soto *et al.* (2020) sejam voltadas para a operação de perfuração de poços, a manutenção de pH também é necessária em operações de abandono, tendo em vista a prevenção da deterioração de equipamentos utilizados em razão da corrosão, bem como a possível necessidade do uso de aditivos para ajuste de determinadas propriedades do fluido.

Os valores de densidade ( $\rho$ ) para as formulações estudadas estão apresentados no gráfico da Figura 2.

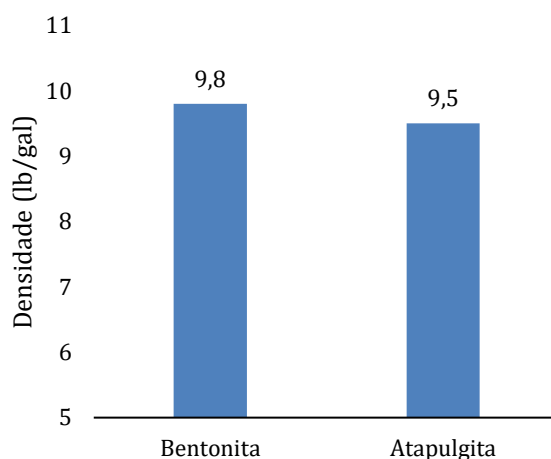


Figura 2 – Densidade dos fluidos formulados a partir de bentonita e atapulgita.

A partir dos resultados apresentados na Figura 2, percebe-se uma pequena variação nos valores de densidade, que foi de 9,8lb/gal para o fluido de bentonita e 9,5lb/gal para o fluido formulado com atapulgita. Desse modo, fica evidenciado que a morfologia dos argilominerais não influencia significativamente essa propriedade.

Os valores de densidade obtidos são considerados satisfatórios, considerando as janelas operacionais de poços que se encontram em condição de abandono atualmente no Brasil. Adicionalmente, a formulação do fluido permite o ajuste dessa propriedade por meio da mudança na saturação da salmoura de NaCl, o que garante uma ampla aplicação desse fluido.

A Figura 3 apresenta o gráfico com os valores de viscosidade plástica (VP) para as formulações estudadas.

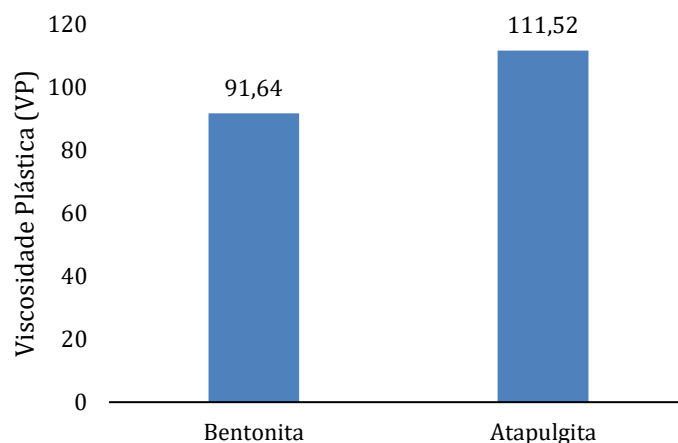


Figura 3 – Viscosidade plástica dos fluidos formulados a partir de bentonita e atapulgita.

Conforme pode ser observado na Figura 4, os fluidos preparados com atapulgita apresentam maior viscosidade plástica. Esse comportamento se deve à forma alongada do mineral, que resulta em propriedades coloidais únicas, especialmente a resistência a altas concentrações de eletrólitos, favorecendo assim o aumento da viscosidade (MURRAY, 2006).

Embora tenha sido observada uma variação considerável de viscosidade plástica para os fluidos estudados, os mesmos atendem aos requisitos operacionais do abandono de poços, relacionados sobretudo à bombeabilidade e manutenção de sólidos em suspensão numa perspectiva de longo prazo. Desse modo, de acordo com essa propriedade, ambas as formulações são consideradas viáveis tecnicamente para aplicação como barreiras de segurança em poços submarinos.

A Figura 4 apresenta o gráfico com os valores de filtrado (VF) para as formulações estudadas.

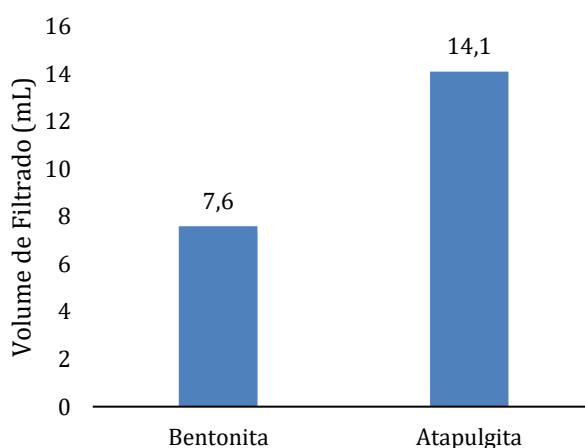


Figura 4 – Volume de filtrado dos fluidos formulados a partir de bentonita e atapulgita.

Os resultados apresentados na Figura 4 demonstram que o fluido preparado contendo argila bentonítica apresentou menores valores de volume de filtrado com relação ao fluido preparado com argila atapulgita. Esse resultado evidencia que a conformação física das partículas de bentonita, em formato de lamelas, que tendem a se alinhar paralelamente com o aumento da pressão, atuam na redução da permeabilidade do reboco de forma mais significativa (CAENN, DARLEY e GRAY, 2017).

O controle de filtrado é uma das propriedades mais importantes quando se fala da utilização de fluidos como barreiras de segurança no abandono temporário de poços. Para essa aplicação, a coluna de fluido deve garantir pressão hidrostática suficiente para manter o poço estável e evitar a migração de fluidos entre as formações, ou até mesmo para dentro do poço. Dessa forma, as formulações estudadas podem ser utilizadas nas operações de abandono, visto que os valores de volume de filtrado observados apresentaram variações que possivelmente não irão comprometer a atividade, no entanto, o fluido formulado com bentonita apresenta desempenho mais promissor com relação a esse parâmetro, uma vez que proporciona maior controle de filtração.

Por outro lado, o volume de filtrado apresentado pela formulação de atapulgita, embora maior, evidencia que esse fluido é promissor no controle de filtração, sobretudo ao se comparar com formulações desse tipo de argila estudadas anteriormente, em que volumes de filtrado em condições de alta pressão e alta temperatura similares ao observado neste trabalho são obtidos apenas com a adição um número significativos de redutores de filtrado (Lijuan *et al.*, 2020), tornando a formulação mais onerosa e com maior complexidade de preparo.

### Conclusões

Com o objetivo de desenvolver formulações de fluidos aquosos a partir de argila bentonita a atapulgita para aplicação como barreira de segurança líquida, visando o abandono temporário de poços de petróleo, pode-se concluir que, apesar de não haver normas que qualificam as barreiras líquidas, as formulações propostas, consideradas de baixa toxicidade, são capazes de atender poços *offshore* com ampla janela operacional e de controlar, de forma eficiente, o volume de filtrado, tornando-as viáveis para essa aplicação.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a PETROBRAS, pelo apoio financeiro à pesquisa, por meio do Projeto TC N° 0050.0120134.21.9.

### Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Portaria n. 25, de 6 de março de 2002. Regulamento de Abandono de Poços Perfurados com Vistas à Exploração ou Produção de Petróleo e/ou Gás. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 mar. 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Portaria n. 46, de 01 de novembro de 2016. Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e/ou Gás. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 nov. 2016.

CAENN, R.; DARLEY, H.C.H.; GRAY, G. R. The Filtration Properties of Drilling Fluids. Composition And Properties Of Drilling And Completion Fluids, [S.L.], p. 245-283, 2017.

FULKS, J.; CARRAGER, P. Alternative abandonment material: bismuth. In: SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition (SPE-202354-MS), 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS, Caderno de boas práticas de E&P: Diretrizes para abandono de poços, IBP, 2017.

JIA, X.; ZHAO, X.; CHEN, B.; EGWU, S. B.; HUANG, Z. Polyanionic cellulose/hydrophilic monomer copolymer grafted silica nanocomposites as HTHP drilling fluid-loss control agent for water-based drilling fluids. Applied Surface Science, v. 578, p. 152089, 2022.

JIANG, J.; LI, J.; LIU, G.; YANG, H.; LI, W.; HE, M. Numerical study on debonding failure of cement plug/formation interface in open-hole temporary abandoned wells. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 34, n. 22, p. 2405-2423, 2020.

KAISER, M. J. Rigless well abandonment remediation in the shallow water US Gulf of Mexico. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 151, p. 94-115, 2017.

KARAPETOV, R. V.; MOKHOV, S. N.; SAVELEV, V. V. On implementation of process fluids to abandon wells in a wide range of densities (Russian). Oil Industry Journal, v. 2017, n. 11, p. 122-125, 2017.

KHALIFEH, M.; SAASEN, A. Introduction. Introduction to permanent plug and abandonment of wells. 2020ª edição, Suíça: Springer, p. 1-9.

LIJUAN, P., XIAOPING, L., WU, L., FUHAO, Z., TONGLIANG, W., HUANG, W., & FUWEI, W. Study on Rheological Property Control Method of “Three High” Water Based Drilling Fluid. International Journal of Engineering, v.33, p.1687-1695, 2020.

LIU, X.; RAMOS, M. J.; NAIR, S. D.; LEE, H.; ESPINOZA, D. N.; VAN OORT, E. True self-healing geopolymer cements for improved zonal isolation and well abandonment. In: SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition (SPE/IADC-184675-MS), The Hague (The Netherlands), 2017.

MORAIS, S. C.; MARQUES, N. N.; CÂMARA, P. C. F.; SOUZA, E. A.; BALABAN, R. C. Versatile hydrolyzed polyacrylamide-polyethyleneimine gels reinforced with glycerol for plugging and abandonment of oil wells. Journal of Molecular Liquids, v. 388, p. 122748, 2023.

MURRAY, H. H. S. PALYGORSKITE AND SEPIOLITE APPLICATIONS. Em: MURRAY, H. H. (Ed.). Applied Clay Mineralogy. [s.l.] Elsevier, 2006. v. 2p. 7–31.

NORSOK Standard D-010, Well integrity in drilling and well operations, 2004.

OIL & GAS UK, Guidelines on qualification of materials for the abandonment of wells – Issue 2, 2015.

OSUNDARE, O.; TEODORIU, C.; FALCONE, G.; ICHIM, A. Estimation of plugging and abandonment costs based on different EU regulations with application to geothermal wells. In: 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford (California), 2018.

## **12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS**

SAIKIA, P. P.; DUTTA, U. A.; GOGOI, P.; MAUT, P. P.; PATHAK, D.; TUMUNG, R.; DUTTA, H. K. Well abandonment and subsequent elimination of sustained B-annulus pressure: a case study. In: SPE Symposium: Decommissioning and Abandonment (SPE-199171-MS), Kuala Lumpur (Malaysia), 2019.

SOTO, D.; LEÓN, O.; URDANETA, J.; MUNÓZ-BONILLA, A.; FERNANDÉZ-GARCÍA, M. Modified starch as a filter controller in water-based drilling fluids. *Materials*, v. 13, p. 1-17, 2020.

TVEIT, H. E. Evaluation of bentonite as an alternative sealing material in oil and gas wells. 2012. 81f. Dissertação (Petroleum Engineering, Drilling Technology). Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, Norwegian University of Science and Technology-NTNU, Noruega.

WILLIS, B. M.; STRUTT, J. E.; Eden, R. D. Long term well plug integrity assurance – a probabilistic approach. In: Offshore Technology Conference (TC-29259-MS), Houston (Texas), 2019.