

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



## TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PLUGUES DE BENTONITA COMO ELEMENTO DE BARREIRA DE SEGURANÇA NO ABANDONO DE POÇOS DE PETRÓLEO *OFFSHORE*

## AUTORES:

Laura Rafaela Cavalcanti de Oliveira<sup>1</sup>, Mário Cesar de Siqueira Lima<sup>1</sup>, Anna Carolina Amorim Costa<sup>1</sup>, Ruth Luna do Nascimento Gonçalves<sup>1</sup>, Renalle Cristina Alves de Medeiros Nascimento<sup>2</sup>, Luciana Viana Amorim<sup>1</sup>

## INSTITUIÇÃO:

<sup>1</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo (UAEPetro), Laboratório de Pesquisa em Fluidos de Perfuração (Peflab), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG),  
<sup>2</sup>Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

## ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PLUGUES DE BENTONITA COMO ELEMENTO DE BARREIRA DE SEGURANÇA NO ABANDONO DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE

### Resumo

Os *pellets* de bentonita surgem como uma alternativa promissora para substituir os tradicionais tampões de cimento no processo de abandono de poços de petróleo, apresentando uma série de vantagens tanto econômicas quanto ambientais e de segurança. No entanto, sua aplicação em poços offshore demanda uma avaliação metódica de diversos fatores, como a adequada disposição no poço por meio de um fluido de deslocamento e a interação com os fluidos presentes na formação geológica. Assim, este estudo se propôs a avaliar o desempenho de plugues hidráulicamente sólidos, obtidos a partir de *pellets* de bentonita, como elementos de barreira de segurança alternativos, visando a preservação da integridade futura de poços de petróleo em ambientes *offshore*. Para alcançar esse objetivo, adotou-se uma metodologia dividida em três etapas distintas: Na primeira etapa, foi realizada uma análise do comportamento dos *pellets* de bentonita em termos de inchamento e expansão. Na segunda etapa, os plugues hidráulicamente sólidos foram produzidos a partir da hidratação dos *pellets* de bentonita, sendo então avaliadas sua resistência mecânica e aderência, considerando o uso de diesel e olefina como fluidos de deslocamento. Por fim, na terceira etapa, foi avaliada a resistência dos plugues a diferentes fluidos da formação, representados por quatro águas de formação sintéticas distintas, formuladas com base em composições típicas encontradas em poços *offshore*. Os resultados obtidos revelaram uma capacidade notável de inchamento e expansão dos *pellets* de bentonita, essenciais para a formação de plugues hidráulicamente sólidos com capacidade de isolamento eficaz. Além disso, os plugues formados demonstraram propriedades mecânicas e de aderência satisfatórias, bem como capacidade de resistir aos fluidos da formação. Essas descobertas destacam o potencial dos *pellets* de bentonita como material selante, ao mesmo tempo em que sugerem a viabilidade do uso de diesel como fluido de deslocamento em operações de abandono de poços *offshore*.

Palavras-chave: abandono de poços, material selante, *pellets* de bentonita, fluido de deslocamento, fluidos da formação.

### Abstract

Bentonite pellets appear as a promising alternative to replace traditional cement plugs in the oil well abandonment process, presenting a series of economic, environmental and safety advantages. However, its application in offshore wells requires a meticulous evaluation of several factors, such as the appropriate arrangement in the well using a displacement fluid and the interaction with the fluids present in the geological formation. Thus, this study aimed to evaluate the performance of hydraulically solid plugs, obtained from bentonite pellets, as alternative safety barrier elements, aiming to preserve the future integrity of oil wells in offshore environments. To achieve this objective, a methodology divided into three distinct stages was developed: In the first stage, an analysis of the behavior of bentonite pellets in terms of advancement and expansion was carried out. In the second stage, hydraulically solid plugs were produced from the hydration of bentonite pellets, and their mechanical resistance and adhesion were then evaluated, considering the use of diesel and olefin as rotation fluids. Finally, in the third stage, the resistance of the plugs to different formation fluids was evaluated,

represented by four different synthetic formation waters, formulated based on typical compositions found in offshore wells. The results obtained revealed a remarkable capacity for advancement and expansion of bentonite pellets, essential for the formation of hydraulically solid plugs with effective insulation capacity. Furthermore, the formed plugs have improved, satisfactory mechanical and performance properties, as well as ability to resist formation fluids. These findings highlight the potential of bentonite pellets as a sealant material, while also suggesting predictions for the use of diesel as a displacement fluid in offshore well abandonment operations.

Keywords: well abandonment, sealing material, bentonite pellets, displacement fluid, formation fluids.

## **Introdução**

As operações de abandono de poços estão geralmente associadas ao fim da vida produtiva de um campo, em que se torna necessário restaurar o perfeito isolamento entre os diferentes intervalos permeáveis das zonas de petróleo e/ou gás e/ou dos aquíferos existentes, prevenindo a migração dos fluidos entre as formações ou para a superfície do terreno ou fundo do mar (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, BIOCOMBUSTÍVEIS E GÁS NATURAL, 2002; TOWLER *et al.*, 2015). O isolamento dessas zonas, que podem estar localizadas próximas aos canhoneados, bem como em zonas intermediárias do poço ou próximas à superfície, tem sido comumente realizado por meio do estabelecimento de tampões de cimento (TOWLER *et al.*, 2015).

O uso do cimento como material selante, embora considerado efetivo e satisfatório quanto às exigências requeridas pelos órgãos reguladores nacionais e internacionais, apresenta limitações relacionadas à possibilidade de contração, susceptibilidade à formação de rachaduras, trincas e degradação mecânica ou química, comprometendo sua integridade e provocando custos elevados para o reparo do tampão (TOWLER *et al.*, 2016). Além disso, do ponto de vista operacional, o uso desse tipo de material demanda custos adicionais, em razão da necessidade de contratação de companhias de serviço para execução da mistura e bombeio do tampão, além do uso de sonda para lançamento do material (TOWLER e EHLERS, 1997).

Uma das alternativas sugeridas ao uso de tampões de cimento no abandono de poços de petróleo consiste no uso da argila bentonítica, que, em razão da sua alta capacidade de inchamento e baixa permeabilidade, vem sendo utilizada no tamponamento de poços sísmicos, poços de água e depósitos de lixo nuclear (OGDEN e RUFF, 1993; TOWLER *et al.*, 2016). As vantagens associadas aos tampões de bentonita quando comparados aos de cimento, compreendem aspectos econômicos, ambientais e de segurança. Sua plasticidade confere-lhes uma maior confiabilidade, assegurando a integridade mesmo diante de rachaduras e trincas (CLARK e SALSURY, 2003; TOWLER *et al.*, 2015). No entanto, para sua aplicação como material selante em poços de petróleo e gás profundos, algumas empresas do setor propuseram sua utilização na forma comprimida, conhecida como *pellets*. A Chevron, empresa do ramo energético, comercializa esse produto para vedação de poços, com o nome comercial de Zonite™.

Embora a eficácia técnica dos tampões de bentonita seja reconhecida (OGDEN e RUFF, 1993; TOWLER e EHLERS, 1997), ainda persistem lacunas no conhecimento que requerem atenção para garantir sua eficácia e segurança, sobretudo em poços de petróleo *offshore*. Nesses ambientes, a disposição adequada do material e a interação com os fluidos da formação apresentam desafios operacionais significativos. Essa disposição deve ocorrer por meio de um fluido de deslocamento até os intervalos definidos no projeto de abandono, de maneira exclusivamente hidromecânica, evitando interações químicas que possam resultar no inchamento prematuro ou na desintegração do material (TOWLER *et al.*, 2016).

Além disso, a presença de águas de formação dos aquíferos nas formações geológicas pode comprometer a integridade da barreira, reduzindo sua efetividade como material selante, principalmente em poços *offshore*. Portanto, torna-se crucial a realização de estudos para avaliar a resistência desses tampões aos fluidos da formação, a fim de garantir a segurança da operação e minimizar os riscos de contaminação ambiental. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de plugues hidráulicamente sólidos, obtidos a partir de *pellets* de bentonita, como elementos de barreira de segurança alternativos, visando a integridade futura de poços de petróleo *offshore*.

### Metodologia

A metodologia dessa pesquisa foi dividida em três etapas distintas: estudo do comportamento dos *pellets*, estudo do comportamento dos plugues considerando os fluidos de deslocamento e estudo da resistência a fluidos da formação.

#### 2.1 Comportamento dos *Pellets*

##### 2.1.1 Inchamento Linear

Foi realizado o ensaio de inchamento linear para medir o grau de inchamento dos *pellets* de bentonita em diferentes condições de imersão utilizando o equipamento Fann *Instrument Company*, *Linear Swell Meter* (LSM), modelo 2100. Os *pellets* foram testados em contato direto com água deionizada e com os meios oleosos, diesel e olefina. Além disso, o ensaio foi realizado em contato com a água deionizada após os *pellets* serem previamente imersos nos meios oleosos por 60 minutos. O tempo total de ensaio foi de 48 horas e os resultados foram processados pelo *software* do equipamento LSM 2100.

##### 2.1.2 Expansão

Para avaliar a expansão dos *pellets* de bentonita, foram realizados ensaios utilizando o *Circular Expansion Cement Curing Kit*, equipado com um molde em forma de coroa circular projetado para simular a expansão de composições de cimento no anular de um poço de petróleo. Inicialmente, o molde foi preenchido com 53 g de *pellets* de bentonita e teve seu comprimento de *gap* medido utilizando um paquímetro digital conforme a metodologia do fabricante e norma API 10B-5. Em seguida, o molde foi imerso em água deionizada. Após 24 horas de imersão, o comprimento do *gap* foi medido novamente. Esse mesmo procedimento foi repetido para amostras de *pellets* previamente imersos nos meios oleosos (diesel e olefina) por 60 minutos.

#### 2.2 Comportamento dos Plugues Hidráulicamente Sólidos

##### 2.2.1 Obtenção dos Plugues

Os plugues foram formados utilizando moldes metálicos bipartidos, seguindo uma proporção volumétrica de 2:3 de *pellets* para água deionizada, que foi determinada após testes preliminares. Para isso, a quantidade total de *pellets* e água deionizada foi dividida em três partes iguais, totalizando 230,5 g de *pellets* e 176 mL de água deionizada.

Adicionalmente, foram obtidos plugues hidráulicamente sólidos por meio da hidratação de *pellets* de bentonita previamente imersos nos meios oleosos (diesel e olefina) por 60 minutos e filtrados brevemente em peneira comum. O tempo de hidratação foi de 24 horas, após o qual os plugues foram desmoldados. Em seguida, foram produzidos corpos de prova por meio do corte manual do plugue em partes com dimensões aproximadas de 35 mm de diâmetro e 15 mm de altura, destinados à realização dos ensaios mecânicos de resistência à compressão e aderência.

##### 2.2.2 Resistência à Compressão

A fim de garantir que o material selante para abandono de poço possua as propriedades mecânicas adequadas para suportar as cargas a que será submetido, é fundamental avaliar a resistência à compressão dos plugues. Para isso, foram realizados ensaios no reômetro Haake Mars 60 da marca Thermo Scientific, utilizando o conjunto de geometria de placa paralela de 35 mm com superfície lisa (P35/Ti).

Durante os ensaios, uma rampa axial foi programada para monitorar a variação de altura ( $\Delta h$ ) entre o rotor e a amostra ao longo de cerca de 2 minutos, até que a compressão total fosse alcançada. A resistência à compressão foi então determinada pela força máxima registrada no momento da ruptura da amostra, representando a força normal máxima aplicada durante esse processo. Todos os dados coletados foram processados utilizando o *software* RheoWin Data Manager.

### 2.2.3 Aderência

A aderência do elemento de barreira aos revestimentos e formações é considerada como fator primordial para garantir que esse permaneça na posição e na profundidade definidas no poço, tornando fundamental compreender seu comportamento adesivo. Para isso, a força de aderência foi avaliada por meio de ensaios conduzidos no reômetro Haake Mars 60, utilizando o conjunto de geometria de placa paralela de 35 mm com superfície lisa (P35/Ti).

Durante os ensaios, uma rampa axial foi programada para aumentar gradualmente a diferença de altura ( $\Delta h$ ) entre o rotor e a amostra a uma velocidade de 0,1 mm/s. A força máxima de aderência foi então registrada quando a amostra se descolou completamente da placa, representando a aderência ao longo do tempo durante esse processo. Todos os dados coletados foram processados utilizando o *software* RheoWin Data Manager.

### 2.3 Resistência a Fluidos da Formação

Para avaliar a resistência dos plugues aos fluidos da formação, foram preparadas quatro águas de formação sintéticas distintas, formuladas com base em composições típicas encontradas em poços *offshore*. Os plugues hidraulicamente sólidos foram obtidos a partir da hidratação dos *pellets* de bentonita, sem imersão prévia e previamente imersos nos meios oleosos (diesel e olefina) por 60 minutos, conforme descrito no tópico 2.2.1.

Os moldes, sem as respectivas bases, foram imersos em béqueres contendo 50 mL de cada uma das quatro águas de formação sintéticas por 60 minutos. Após o período determinado, os plugues foram desmoldados e corpos de prova foram produzidos por meio do corte manual do plugue em partes com dimensões aproximadas de 35 mm de diâmetro e 15 mm de altura. Esses corpos de prova foram utilizados para realizar os ensaios mecânicos de resistência à compressão e aderência, conforme descrito nos tópicos 2.2.2 e 2.2.3, respectivamente.

Sendo assim, para avaliar a resistência à compressão dos plugues e aderência, foram realizados testes em diferentes condições: o Plugue Base (formado por *pellets* sem imersão prévia), o Plugue Diesel (formado por *pellets* previamente imersos em diesel) e os plugues imersos nas águas de formação sintéticas, denominados como Plugue AF1, Plugue AF2, Plugue AF3 e Plugue AF4.

## Resultados e Discussão

### 3.1 Comportamento dos *Pellets*

#### 3.1.1 Inchamento Linear

Os resultados dos testes de inchamento linear estão representados graficamente na Figura 1 a fim de quantificar a porcentagem de inchamento dos *pellets* em função do tempo nas seguintes condições: *pellets* imersos em água deionizada (curva azul), *pellets* imersos em diesel (curva laranja),

*pellets* imersos em olefina (curva amarela), *pellets* previamente imersos em diesel por 60 minutos e posteriormente imersos em água deionizada (curva roxa) e *pellets* previamente imersos em olefina por 60 minutos e posteriormente imersos em água deionizada (curva verde).

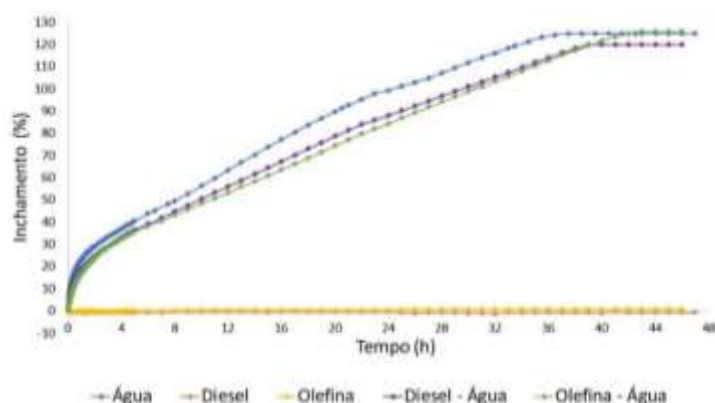


Figura 1: Porcentagem de inchamento linear da amostra de *pellets* de bentonita.

Observou-se, em todas as curvas, exceto nas laranja e amarela, que as primeiras 4 horas do teste registraram a maior taxa de inchamento, o que se explica devido à intensa interação entre a bentonita e a água. Após aproximadamente 36 horas, as curvas de inchamento se estabilizaram. Estudos de Pivovarski *et al.* (2019) indicam que o potencial de inchamento da bentonita é influenciado pelo tempo de imersão na água, com a taxa de inchamento diminuindo conforme o tempo aumenta. Ao final do ensaio, observou-se um aumento no volume dos *pellets* de bentonita de aproximadamente 125% quando em contato com a água deionizada, independentemente da imersão prévia nos meios oleosos.

As curvas laranja e amarela representam a ausência de interação entre os *pellets* e os meios oleosos (diesel e olefina), resultando em nenhum inchamento linear. Esse resultado está em concordância com estudos anteriores de Díaz (1999) e Sharmasarkar, Jaynes e Vance (2000), que atribuíram essa falta de interação à hidrofobicidade dos compostos oleosos e à alta hidrofiliabilidade da bentonita. Por fim, nas curvas roxa e verde, observou-se que embora a presença de moléculas oleosas na superfície dos *pellets* tenha retardado ligeiramente o tempo de inchamento, a formação de uma membrana não foi evidenciada pela imersão prévia nos meios oleosos. Essas curvas mostram uma taxa de inchamento similar às amostras não imersas, indicando que a presença de compostos oleosos pode atrasar ligeiramente o tempo de inchamento, mas não o inibe completamente.

### 3.1.2 Expansão

A partir dos resultados da expansão dos *pellets* de bentonita para cada condição de ensaio, foi evidenciada uma expansão radial volumétrica, medida pelo aumento do *gap* do molde em forma de coroa circular, indicando a hidratação dos *pellets*. Observou-se que a amostra de *pellets* não imersos em meio oleoso e hidratados em água deionizada apresentou a menor expansão (4,79 mm), enquanto as amostras com *pellets* previamente imersos em meios oleosos (diesel e olefina) e hidratados em água deionizada apresentaram os maiores valores de expansão (5,33 mm). Os resultados sugerem que a imersão nos meios oleosos não teve uma influência significativa na expansão total dos *pellets*.

Ao abrir os moldes em forma de coroa circular, verificou-se que, em todas as condições de ensaio, os *pellets* de bentonita expandiram-se completamente, preenchendo todo o espaço anular. Nos ensaios com *pellets* não imersos previamente em meios oleosos, as massas de *pellets* hidratadas mantiveram sua integridade aparente. No entanto, nos ensaios com *pellets* previamente imersos em

meios oleosos, especialmente naqueles com imersão em olefina, a integridade aparente da massa de *pellets* hidratada foi inferior em comparação com as condições anteriores.

### 3.2 Comportamento dos Plugues Hidraulicamente Sólidos

#### 3.2.1 Obtenção dos Plugues

Após a formação dos plugues, procedeu-se à produção de corpos de prova, visando a realização dos ensaios mecânicos de resistência à compressão e aderência. Contudo, para os casos dos plugues formados com *pellets* previamente imersos em olefina, não foi possível obter as amostras devido à fragilidade do plugue. Essa fragilidade pode ser atribuída à molhabilidade dos meios oleosos pela bentonita, o que possivelmente favoreceu a formação de uma película oleosa em torno das partículas de argila. De acordo com Glazacheva, Uspenskaya e Strelnikova (2015), tal fenômeno está associado à adsorção do material ao meio orgânico, que por sua vez está relacionada com a viscosidade da fase oleosa. Estudos realizados por Costa (2019) utilizando o método da gota séssil demonstraram a molhabilidade da argila bentonítica pela olefina, comportamento esperado também para a bentonita analisada neste estudo. Devido à menor viscosidade da olefina em comparação com o diesel, a fração oleosa é mais facilmente adsorvida pelo material, prejudicando a coesão das partículas e inviabilizando o preparo dos corpos de prova para os ensaios mecânicos.

#### 3.2.2 Resistência à Compressão

Embora os resultados de resistência à compressão sejam geralmente reportados em termos de tensão em função da deformação, neste estudo, devido à dificuldade de obter corpos de prova com superfícies uniformes, os resultados foram expressos em termos de força em função da altura do corpo de prova. A Figura 2 apresenta a média das curvas obtidas nos ensaios para cada condição.

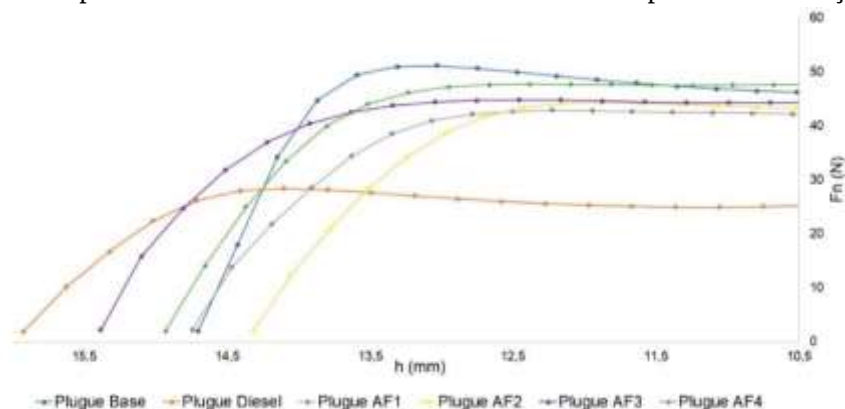


Figura 2: Média das curvas da força normal em função da altura do corpo de prova para diferentes condições dos plugues durante o ensaio de resistência à compressão.

Os resultados mostraram variações significativas na resistência dos plugues em diferentes condições. O Plugue Base apresentou uma resistência média de 51,1N, enquanto o Plugue Diesel mostrou uma resistência equivalente a 28,4N, cerca de 44% menor em comparação com o Plugue Base. Essa redução na resistência pode ser atribuída à diminuição da coesão causada pelo contato com o diesel, embora isso não inviabilize o uso da bentonita para selar poços de petróleo *offshore*, visto que os *pellets* podem ser deslocados por meio do diesel e, em seguida, formar um plugue hidraulicamente sólido.

A influência da salinidade na resistência dos plugues também foi investigada. Os resultados indicaram uma leve queda, entre 5 a 15%, nos parâmetros de resistência dos plugues imersos em águas de formação sintéticas em comparação com o Plugue Base. Segundo Ye *et al.* (2014), isso pode ser atribuído à salinidade da água de formação, pois o aumento da concentração salina resulta na redução

da expansão e da pressão de expansão em macro escala, o que pode comprometer a integridade física do plugue (MCBRIDE, 1994). Dessa forma, a salinidade da água de formação pode afetar a resistência do plugue, ainda que de maneira sutil, diminuindo sua resistência.

### 3.2.3 Aderência

Os resultados dos ensaios de aderência demonstraram que tanto a força quanto a energia de aderência foram influenciadas pelas diversas condições testadas. A Figura 3 ilustra a média das curvas obtidas nos ensaios para cada condição.

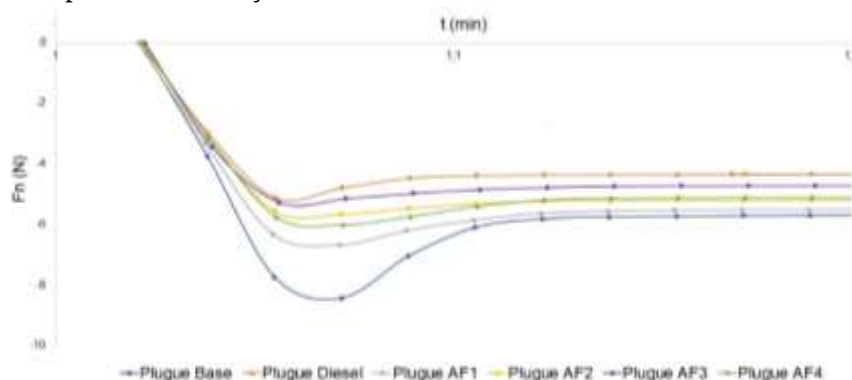


Figura 3: Média das curvas da força normal em função do tempo para diferentes condições dos plugues durante o ensaio de adesão.

A redução significativa de 38% na aderência do Plugue Diesel em relação ao Plugue Base evidencia a diminuição da coesão do plugue causada pelo contato com o meio oleoso. Além disso, a aderência dos plugues em contato com águas de formação sintéticas foi claramente influenciada pela salinidade. Os plugues expostos às águas mais salinas demonstraram uma redução significativa na aderência em comparação com aqueles expostos às águas menos salinas. Os plugues em contato com as águas mais salinas AF2 e AF3 apresentaram uma diminuição de aproximadamente 33% e 37%, respectivamente, na aderência em relação ao plugue base. Enquanto isso, os plugues em contato com as águas menos salinas AF1 e AF4 apresentaram uma redução de cerca de 20% e 28%, respectivamente, em relação ao plugue base, correlacionando-se com os resultados dos ensaios de resistência à compressão.

A análise dessas variações na aderência aponta para fatores importantes, como coesão e adesão do material do plugue. O contato com fluidos apolares, como o diesel, pode comprometer a coesão do material, enfraquecendo sua estrutura e resultando em uma aderência reduzida. Por outro lado, a presença de fluidos polares ou íons na água de formação pode desencadear interações químicas entre o material do plugue e o líquido, afetando sua capacidade de aderir às superfícies do poço.

## Conclusões

Com o objetivo de avaliar o desempenho de plugues hidráulicamente sólidos, obtidos a partir de *pellets* de bentonita, como elementos de barreira de segurança alternativos, visando a integridade futura de poços de petróleo *offshore*, pôde-se concluir que plugues hidráulicamente sólidos podem ser obtidos a partir de *pellets* de bentonita, bem como que o diesel pode ser empregado como fluido de descolamento no abandono de poços *offshore*. Além disso, mesmo diante da redução observada nas propriedades dos plugues formados por *pellets* previamente imersos em diesel e dos plugues em contato

com as águas de formação, foi constatado que esses ainda mantêm sua funcionalidade como barreira, sendo capazes de suportar cargas e apresentar propriedades adesivas satisfatórias.

## **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. **Resolução ANP nº 25**, de 6 de março de 2002.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE SPECIFICATIONS, API 10B-5. **Recommended Practice on Determination of Shrinkage and Expansion of Well Cement Formulations at Atmospheric Pressure**, 2004.
- CLARK, J.; SALSBUURY, B. Well Abandonment Using Highly Compressed Sodium Bentonite-An Australian Case Study. **Exploration and Production Environmental Conference**. OnePetro, 2003.
- COSTA, W. R. P. **Análise do Impacto da Adição de Sólidos às Propriedades de Emulsões Olefinicas Usadas em Fluidos de Perfuração**. Dissertação de Mestrado. Waleska Rodrigues Pontes da Costa. – UFCG/PPGEPM: Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral. p. 102, 2019.
- DÍAZ, F. R. V. Obtenção de argilas organofílicas partindo-se de argila esmectítica e sal quaternário de amônio ARQUAD 2HT-75. **43º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Florianópolis, 1999.
- GLAZACHEVA, E. N.; USPENSKAYA, M. V.; STRELNIKOVA, I. E. Bentonite acrylic copolymers modified as effective oil absorbents. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 196, p. 529-535, 2015.
- MCBRIDE, M. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University Press, New York. 1994.
- OGDEN, F. L., RUFF, J. F., Strength of bentonite water-well annulus seals in confined aquifers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 2, p. 242-250, 1993.
- PIVOVARSKI, R. G.; DAROZ, V.; LUGARINI, A.; FRANCO, A. T.; LOUREIRO, S.; WALDMANN, A. T. A.; MARTINS, A. L. **Testes de Hidratação Estáticos e Dinâmicos de Pellets de Bentonita para P&A. Encontro Nacional de Construção de Poços de Petróleo e Gás – ENAHPE**, 74. Agosto, Serra Negra, São Paulo, Brasil, 2019.
- SHARMASARKAR, S.; JAYNES, W. F.; VANCE, G. F. BTEX sorption by montmorillonite organo-clays: TMPA, ADAM, HDTMA. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 119, 2000.
- TOWLER, B.F.; EHLERS, G.C. Friction factors for hydrated bentonite plugs. **SPE Rocky Mountain Regional Meeting**. One Petro, 1997.
- TOWLER, B.F.; FIROUZI, M.; HOLL, H.G., GANDHI, R., & THOMAS, A. Field trials of plugging oil and gas wells with hydrated bentonite. **SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition**. One Petro, 2016.
- TOWLER, B.F.; FIROUZI, M.; MORTEZAPOUR, A.; HYWEL-EVANS, P.D. Plugging CSG wells with bentonite: Review and preliminary lab results. **SPE Asia Pacific Unconventional Resources Conference and Exhibition**. One Petro, 2015.
- YE, W.M.; ZHENG, Z.J.; CHEN, B.; CHEN, Y.G.; CUI, Y.J.; WANG, J. Effects of pH and temperature on the swelling pressure and hydraulic conductivity of compacted GMZ01 bentonite. **Applied Clay Science**. v. 101, pp. 192-198, 2014.