

## Uso de planejamento experimental fatorial para análise da reologia de fluidos argilosos para perfuração poços de petróleo

### (Use of factorial experimental planning for the analysis of clayey fluid rheology for drilling oil wells)

D. V. Lucena<sup>1</sup>; M.H. F. Ramos; K.P.A.de Queiroz, C. M. R. A. Souto<sup>2</sup>, C. O. Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da  
Paraíba-IFPB-Campus Campina Grande

R. Tranqüilino Coelho Lemos, 671 - Dinamérica, Campina Grande - PB, 58432-300

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campinas Grande-UFMG

R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900

#### Resumo

O estudo da aditivação de fluidos de perfuração é assunto de extrema relevância para a indústria petrolífera e chama a atenção de grandes empresas, no sentido de melhorar a eficiência dos fluidos de perfuração. Outro ponto de grande importância é a possibilidade de melhorar, por meio da aditivação polimérica, as propriedades de fluidos compostos com argilas bentoníticas. *Visando isto, este trabalho se propôs a desenvolver formulações de fluidos hidroargilosos que atendam as especificações da Petrobras com aditivos poliméricos (viscosificante, redutor de filtrado e lubrificante) e avaliar a influência da concentração dos aditivos nos parâmetros reológicos utilizando a ferramenta de planejamento experimental. De acordo com o modelo estatístico e as superfícies de respostas obtidas, observou-se que a reologia é afetada diretamente com a variação da concentração dos aditivos e o viscosificante foi a variável que apresentou maior influência sobre as propriedades analisadas.*

*Palavras chave: argila, fluidos de perfuração, planejamento fatorial, reologia.*

#### Abstract

The study of drilling fluids additivation is an extremely important issue for the oil industry and draws the attention of large companies to improve the efficiency of drilling fluids. Another important point is the possibility of improving properties for compound fluids with bentonite clays through polymer additivation. Aiming at this, this work has proposed to develop formulations of hydroargylous fluids that meet Petrobras specifications with polymer additives (viscosifier, filtrate reducer and lubricant) and to evaluate the influence of the concentration of the additives on the rheological parameters using the experimental planning tool. According to the statistical model and the response surfaces obtained, it was observed that the rheology is directly affected by the additives concentration and the viscosifier was the variable that had the greatest influence on the properties analyzed.

Key words: clay, drilling fluids, factorial planning, rheology.

## INTRODUÇÃO

Sabe-se que no segmento da indústria de petróleo e gás, mais especificamente na atividade de exploração de petróleo, o processo de perfuração de poços se configura como um dos mais difíceis e essenciais para o sucesso de toda a cadeia de operações, afinal, o poço caracteriza-se como meio de interligante entre a superfície e o reservatório, no qual encontra-se o hidrocarboneto, que é o alvo desta indústria (OLIVEIRA & AMORIM, 2015).

Os fluidos de perfuração são comumente chamados de lamas e são indispensáveis para o sucesso da operação de exploração de poços, pois, auxiliam esse processo através do desempenho de diversas funções tais como: remoção dos cascalhos produzidos até a manutenção da estabilidade do poço, além de agir como fluido lubrificante e refrigerador para a broca de perfuração, ou seja, atuam promovendo o equilíbrio do poço garantindo segurança a esta operação (COSTA *et al*, 2018). Diversos tipos de fluidos de perfuração são utilizados, podendo-se destacar os fluidos à base de água e argila (AMORIM, 2003).

Atualmente, um aumento do número de cenários de perfuração envolve reservatórios mais profundos, poços de geometria complexa e um aumento de exigências dos órgãos ambientais. Em vista disso, vem sendo estudados fluidos de perfuração à base de água mais elaborados, que podem oferecer melhor hidráulica de perfuração, estabilidade reológica a altas temperaturas, controle de filtrado e estabilidade de folhelhos (MATTOS & CAMPOS, 2018).

Os fluidos de perfuração base óleo, utilizados há décadas, apresentam vantagens em relação aos fluidos de base aquosa, principalmente no que diz respeito ao controle de lubricidade e reologia, contudo, o aumento das exigências dos órgãos ambientais nos últimos anos tornou cada vez mais restrito o uso desse tipo de fluido (PEREIRA *et al*, 2007).

Esta crescente demanda ambiental resultou em um grande interesse no desenvolvimento de fluidos à base de água de alto desempenho. Para tal, há a necessidade do uso de aditivos com o objetivo de evitar o colapso do poço garantindo bom desempenho dos mesmos. Os fluidos aquosos se tornaram os mais utilizados no setor de perfuração de poços de petróleo, devido ao seu baixo custo, versatilidade e por ocasionarem menores danos ao meio ambiente. Dentre os fluidos aquosos, destacam-se os hidroargilosos (formulados com água e argila) e os poliméricos (compostos por aditivos desta natureza).

A organização do estudo envolvendo mais de uma variável a ser analisada, como no caso da adequação de formulações de fluidos, em muitos casos, gera uma desorganização prática dos experimentos a serem realizados, neste caso o uso de uma ferramenta de planejamento experimental é indicada para minimizar o número de experimentos bem como facilitar a compreensão dos resultados escolhidos.

Assim, podemos indicar que há uma grande demanda em pesquisas para desenvolvimento e aprimoramento de formulações fluidos de perfuração aquosos diante dos desafios atuais enfrentados pela indústria petrolífera nacional, especialmente em casos de perfurações que exigem a obtenção do melhor delineamento de formulação para melhor desempenho do fluido na atividade de perfuração nas mais diversas condições de profundidade e formações geológicas. Pode-se ainda afirmar que o modelamento de experimental possibilita notáveis aumentos na sensibilidade e na seletividade dos resultados obtidos permitindo que as formulações possam ser melhor avaliadas.

O objetivo principal deste projeto é avaliar a influência da concentração de aditivos químicos (viscosificante, redutor de filtrado e lubrificante) nos parâmetros reológicos em fluidos de perfuração aquosos poliméricos e hidroargilosos utilizando a ferramenta de planejamento experimental fatorial.

Para a realização de maneira organizada de uma quantidade mínima necessária de experimentos será utilizado o método de planejamento experimental do tipo  $2^3$  com três

experimentos no ponto central. A análise das superfícies de resposta permitira a determinação das composições de fluidos de perfuração que favorecem a melhoria das propriedades reológicas dos fluidos estudados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

#### *Argilas bentoníticas*

Para a preparação dos fluidos hidroargilosos serão utilizadas três amostras de argilas bentoníticas provenientes do município de Boa Vista-PB, duas amostras de argila natural e uma amostra de argila bentonítica sódica industrializada, denominadas como argilas N1, N2 e I, respectivamente.

#### *Aditivos poliméricos*

Para a preparação dos fluidos de perfuração poliméricos, serão utilizados os seguintes aditivos: viscosificante (goma xantana), redutor de filtrado (carboximetilcelulose de baixa viscosidade), anti-espumante (líquido à base de silicone), bactericida (solução de (tetrakis)hidroximetilfosfônio), selante (calcita), lubrificante (óleo vegetal de alta lubricidade tratado quimicamente com ácidos e neutralizantes alcalinos), controlador de pH (MgO) e inibidores de expansão (sulfato de potássio, acetato de potássio e citrato de potássio).

As amostras dos aditivos serão fornecidas pela Empresa AMC- A Imdex Company Mud.

### Métodos

#### *Planejamento fatorial*

Para o desenvolvimento de fluidos de perfuração hidroargilosos com os aditivos viscosificante, redutor de filtrado e lubrificante (variáveis de entrada) será utilizada uma matriz de planejamento experimental (fatorial) para cada um dos tipos de argila (argila natural e argila industrializada). Para os fluidos poliméricos as variáveis de entrada serão as mesmas e os demais aditivos apresentarão concentrações fixas para todas as formulações desenvolvidas.

As respostas analisadas (variáveis de saída) serão as propriedades reológicas: viscosidade aparente (VA), viscosidade plástica (VP), limite de escoamento (LE) e força-gel (FG). O planejamento fatorial será utilizado neste trabalho visando o desenvolvimento de pesquisas com base em princípios estatísticos e de forma a se obter o máximo de informações realizando o menor número possível de experimentos (BARROS NETO, *et al*, 2003).

A regressão dos dados experimentais será realizada utilizando o programa STATISTICA™ 10.0 (STATSOFT, 2010).

#### *Preparação dos Fluidos de Perfuração Hidroargilosos*

Para preparação dos fluidos hidroargilosos, a argila foi adicionada à água sob agitação constante por 20min, a uma velocidade de 13.000 rpm, em agitador Hamilton Beach, modelo 936. Os aditivos foram adicionados a cada 5min de agitação. Assim, após a adição da argila e passados 5min, foi acrescentada aos fluidos o viscosificante, o redutor de filtrado e, por fim, o

lubrificante. Os fluidos avaliados à temperatura ambiente permanecerão em repouso por 24h, em recipiente fechado.

#### Preparação dos Fluidos de Perfuração Poliméricos

Serão preparados fluidos de perfuração à base de água, com baixo teor de sólidos, compostos pelos aditivos: anti-espumante, viscosificante, redutor de filtrado, controlador de pH, bactericida, lubrificante e selante em agitador mecânico Hamilton Beach, modelo 936.

Os fluidos de perfuração serão preparados de acordo com a prática de campo, que consiste em adicionar os aditivos, um a um, sob agitação a uma velocidade constante de 13.000 rpm em agitador *Hamilton Beach*, modelo 936, obedecendo a ordem descrita acima permanecendo 5 min sob agitação a cada acréscimo de aditivo, com exceção do viscosificante, do redutor de filtrado e do selante, que permanecerão 10 min sob agitação. Os fluidos preparados permanecerão em repouso por 24h, em recipiente fechado.

#### Estudo reológico

As propriedades reológicas serão obtidas em viscosímetro Fann 35A, de acordo com as normas API. Seis valores de deflexão foram lidos conforme os seguintes procedimentos:

- Agitação da amostra por 5 minutos a uma velocidade de 17.000;
- As leituras da deflexão em graus serão realizadas com as seguintes taxas de rotação: 600 e 300 rpm;
- Para obtenção da força gel inicial ( $G_i$ ), o fluido foi submetido a uma taxa de rotação de 600 rpm durante 15 s, em seguida, permaneceu em repouso durante 10 s. Logo após, acionara-se o viscosímetro na taxa de cisalhamento de 3 rpm efetuando-se a leitura;
- Para a obtenção da força gel final ( $G_f$ ), o fluido será submetido a uma taxa de rotação de 600 rpm durante 15 s e em seguida deixado em repouso durante 10 min, logo após, foi efetuada a leitura sob taxa de rotação de 3 rpm.

Com os dados das leituras obtidas no viscosímetro, foram calculadas a viscosidade plástica (VP), limite de escoamento (LE) e a força gel (FG) segundo conforme as equações 1, 2 e 3 abaixo:

$$\begin{array}{ll} \text{Viscosidade plástica (VP): } VP = L600 - L300 \text{ (cP)} & \text{Equação (1)} \\ \text{Limite de escoamento (LE): } LE = L300 - VP \text{ (N/m}^2\text{)} & \text{Equação (2)} \\ \text{Força gel: } FG = G_f - G_i \text{ (N/m}^2\text{)} & \text{Equação (3)} \end{array}$$

Os valores de gel inicial ( $G_i$ ) e gel final ( $G_f$ ) relacionam a velocidade de formação e rigidez dos géis formados, esses valores caracterizam a capacidade do fluido de sustentar os cascalhos formados e é denominada de força gel.

O estudo reológico descrito está de acordo com a norma 13 B-1 da API (2003). O estudo reológico será realizado no Laboratório de Análise de Rochas do IFPB- *Campus* Campina Grande.

#### Levantamento e obtenção de resultados de acordo com a matriz de planejamento elaborada

A regressão dos dados experimentais para o estudo do comportamento das fluidos será realizada utilizando o programa STATISTICA™ 10.0. O tratamento dos dados neste programa propiciará a obtenção das análises de variância e dos modelos matemáticos codificados (equação de regressão) para as variáveis de resposta propostas. Assim, serão definidas as faixas ótimas de concentração dos aditivos para melhor desempenho do fluido a partir da determinação

dos modelos empíricos codificados de regressão linear dos dados experimentais, estabelecimento do coeficiente de determinação ou explicação ( $R^2$ ) além da obtenção da tabela ANOVA, a obtenção de superfícies de resposta que indicarão como cada aditivo se comporta em relação as propriedades reológicas analisadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão apresentados os resultados obtidos com os fluidos preparados com a argila N1, N2 e I, respectivamente, com e sem aditivação polimérica.

Os resultados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, para os fluidos preparados com as argilas N1, N2 e I sem aditivação, mostram que as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) não atendem as normas 13 B-1 da API (2003), e apenas o volume de filtrado (VF) para a argila C está de acordo com as normas supracitadas.

Analisando conjuntamente os resultados dos fluidos preparados com a argila N1, N2 e I, observa-se que a aditivação polimérica resulta em melhoria nas propriedades reológicas e de filtração, tendo como resultados mais significativos para cada argila e que atendem as exigências da norma 13 B-1 da API (2003), os seguintes:

- Argila I: CMC AV-1, CMC AV-2 e CMC AV-3 (0,2, 0,3 e 0,4g),
- Argila N1: CMC AV-2 e CMC AV-3 (0,3 e 0,4g).
- Argila N2 CMC AV-2 e CMC AV-3 (0,3 e 0,4g).
- Ainda analisando os resultados obtidos de VA e VP para as argilas PA, CV e CH, percebe-se que os polímeros a base de celulose fornecem ao sistema argila-água um acréscimo na viscosidade aparente (VA).

Tabela 1 – Propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração preparados com a argila N1, com e sem aditivação polimérica.

Argila	Tipo de Polímero	Sigla	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
	-	PA	10,0	4,0	19,8
N1	CMC- AV	N1- AV1	14,0	5,0	14,0
		N1- AV2	18,5	6,0	11,4
		N1- AV3	19,0	7,5	11,6
	CMC- BV	N1-BV1	6,0	4,0	14,0
		N1-BV2	6,5	5,0	13,2
		N1-BV3	6,8	5,0	13,0
Especificações (Norma 13 B-1 da API (2003))			$\geq 15,0$	$\geq 4,0$	$\leq 18,0$

Tabela 2 – Propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração preparados com a argila CH, com e sem aditivação polimérica.

Argila	Tipo de Polímero	Sigla	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
	-	PA	10,0	4,0	19,8
N2	CMC- AV	N2- AV1	14,0	5,0	14,0
		N2- AV2	18,5	6,0	11,4
		N2- AV3	19,0	7,5	11,6
	CMC- BV	N2-BV1	6,0	4,0	14,0
		N2-BV2	6,5	5,0	13,2
		N2-BV3	6,8	5,0	13,0
Especificações (Norma 13 B-1 da API (2003))			≥15	≥4,0	≤18

No trabalho de HELLER & KEREN (2002), os autores citam a presença de estrutura tridimensionais em polímeros de alto peso molecular ( $> 2 \times 10^5$ ), onde polímeros de igual tamanho de cadeia são grandes o bastante para proporcionar a formação de pontes entre partículas, isto é, o polímero é adsorvido por mais de uma partícula de argila. A adsorção do polímero ocorre sobre a superfície das partículas de argila, fenômeno que ocorre devido à forma irregular do polímero. (GÜNGÖR & ECE, 1999, HELLER & KEREN, 2002).

Segundo GÜNGÖR & ECE (1999), pode ocorrer a intereção entre alças (loops) de polímeros adsorvidos ou a interação de alças com superfícies de outras partículas. Assim, pode-se então explicar intuitivamente, o significativo acréscimo de viscosidade nos fluidos que contêm PAM.

Observa-se diferentes comportamentos para os fluidos aditivados com os CMCs de alta e baixa viscosidade. Para o CMC de alta viscosidade, observa-se a ação viscosificante, enquanto que para o de baixa viscosidade, a ação defloculante, a redução na VA, bem como redutor de filtrado.

Analisando os dados de VF, observa-se que o CMC de baixa viscosidade reduz o volume de filtrado mais acentuadamente que o polímero de cadeia mais longa (CMC AV). O comportamento apresentado pelos fluidos aditivados com o CMC BV está de acordo com os dados de HELLER & KEREN (2002) e Amorim (2003), os quais mostram que polímeros celulósicos de pequeno tamanho de cadeia, utilizado em pequenos teores, tem função de dispersante.

Os resultados da análise da argila natural (sem uso de aditivos) mostram que as argilas não apresentam características promissoras para fluidos base água, podendo ter suas propriedades reológicas melhoradas com a adição de aditivos industriais, segundo estudos na área, tal como o estudo feito por Amorim (2003), no qual os resultados comprovaram que a adição de aditivos industriais se correlaciona com o estado floculado-gel das dispersões de

argilas, como: elevação da viscosidade aparente, plástica, redução do volume do filtrado, estabilização do pH e umidade podendo assim, alcançar os requisitos estabelecidos pela norma.

Tabela 3 – Propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração preparados com a argila PA, com e sem aditivação polimérica.

Argila	Tipo de Polímero	Sigla	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
	-	PA	-	9,5	4,5
I	CMC- AV	PB- AV1	0,2	16,0	5,5
		PB- AV2	0,3	21,5	5,5
		PB- AV3	0,4	20,3	7,5
	CMC- BV	PB-BV1	0,2	6,3	4,5
		PB-BV2	0,3	6,8	5,0
		PB-BV3	0,4	7,3	5,5
		Especificações (Norma 13 B-1 da API (2003))		≥15,0	≥4,0

No trabalho de HELLER & KEREN (2002), os autores citam a presença de estrutura tridimensionais em polímeros de alto peso molecular ( $> 2 \times 10^5$ ), onde polímeros de igual tamanho de cadeia são grandes o bastante para proporcionar a formação de pontes entre partículas, isto é, o polímero é adsorvido por mais de uma partícula de argila. A adsorção do polímero ocorre sobre a superfície das partículas de argila, fenômeno que ocorre devido à forma irregular do polímero. (GÜNGÖR & ECE, 1999, HELLER & KEREN, 2002).

Segundo GÜNGÖR & ECE (1999), pode ocorrer a intereção entre alças (loops) de polímeros adsorvidos ou a interação de alças com superfícies de outras partículas. Assim, pode-se então explicar intuitivamente, o significativo acréscimo de viscosidade nos fluidos que contêm PAM.

Observa-se diferentes comportamentos para os fluidos aditivados com os CMCs de alta e baixa viscosidade. Para o CMC de alta viscosidade, observa-se a ação viscosificante, enquanto que para o de baixa viscosidade, a ação defloculante, a redução na VA, bem como redutor de filtrado.

Analisando os dados de VF, observa-se que o CMC de baixa viscosidade reduz o volume de filtrado mais acentuadamente que o polímero de cadeia mais longa (CMC AV). O comportamento apresentado pelos fluidos aditivados com o CMC BV está de acordo com os dados de HELLER & KEREN (2002) e Amorim (2003), os quais mostram que polímeros celulósicos de pequeno tamanho de cadeia, utilizado em pequenos teores, tem função de dispersante.

Os resultados da análise da argila natural (sem uso de aditivos) mostram que as argilas não apresentam características promissoras para fluidos base água, podendo ter suas

propriedades reológicas melhoradas com a adição de aditivos industriais, segundo estudos na área, tal como o estudo feito por Amorim (2003), no qual os resultados comprovaram que a adição de aditivos industriais se correlaciona com o estado floculado-gel das dispersões de argilas, como: elevação da viscosidade aparente, plástica, redução do volume do filtrado, estabilização do pH e umidade podendo assim, alcançar os requisitos estabelecidos pela norma.

Ao estudar argilas provenientes da região de Pedra Lavrada, PB, TONNESEN *et. al.*, (2012) afirmaram que a adição de aditivos industriais promoveu significativa modificação nos valores das propriedades reológicas, adequando-se a norma.

Após organofilização é observada eficaz incorporação dos sais nas argilas organofílicas, sendo possível quantificar os teores de tensoativos livres e incorporados. Os resultados de reologia, parte II, destacam que algumas amostras apresentaram potencial de uso como viscosificante em fluidos de perfuração base orgânica, tais como, as argilas sódicas que devido ao seu alto grau de inchamento, de até 20 vezes seu volume inicial, atinge espaços interplanares de até 100Å, alta área superficial (até 800 m<sup>2</sup>/g), CTC na faixa de 60 a 170meq/100g e tixotropia, se adequando como viscosificante mineral em fluidos base água.

## CONCLUSÕES

Com o objetivo de estudar a aplicação de argilas do município de Boa Vista em fluidos de perfuração aditivados e base óleo, concluiu-se que:

- os fluidos de perfuração preparados com a argila CH, sem aditivação, apresenta melhor comportamento reológico, quando comparado com as argilas PA e PB, com valores de VP e VF que satisfazem as especificações DA Norma 13 B-1 da API (2003), para uso na perfuração de poços;
- a aditivação polimérica oferece uma melhoria nas propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração preparados com as argilas PA, CV e CH, sendo os melhores resultados obtidos com a incorporação dos polímeros CMC AV;
- é possível o desenvolvimento de fluidos de perfuração argilosos de acordo com a norma a partir de argilas bentoníticas da região de Boa Vista-PB de menor uso para esse fim;
- os fluidos preparados com a argila natural não apresentaram bons resultados em base aquosa, o que deve indicar a necessidade da incorporação de aditivos para um bom desempenho;
- foram desenvolvidos fluidos base óleo com boas propriedades reológicas e,
- as argilas organofilizadas atuam como viscosificantes na base óleo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Apoio Institucional à Pesquisa – Programa Interconecta do IFPB pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

-ALBUQUERQUE, I. S., Uso das argilas bentoníticas de pedra lavrada, PB, em fluidos de perfuração e bases orgânicas, **Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais**, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2013.



-AKKAL, R. *et al*, Rheo-SAXS investigation of organoclay water in oil emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 436, p. 751–762, 2013.

-API, **Norma API Recommended Practice 13B-1**, novembro, 2003.

-GÜNGÖR, N. & KARAOĞLAN, S., Interactions of polyacrylamide polymer with bentonite in aqueous systems, *Materials Letter*, n.48, p.168-175, 2000.

-HERMOSO, J, *et al.*, Influence of viscosity modifier nature and concentration on the viscous flow behaviour of oil-based drilling fluids at high pressure. *Applied Clay Science*, v. 87, p. 14–21, 2014.

-HELLER, H. & KEREN, R. Anionic Polyacrylamide Polymers Effect on Rheological Behavior of Sodium-Montmorillonite Suspensions. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 66, 2002.

-LEAL, C. A., Avaliação das propriedades de fluidos de perfuração aquosos sob condições térmicas variáveis. **Monografia apresentada ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo para o Setor de Petróleo e Gás PRH-25/ANP/MCT**. Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, 2012.

-LEAL, C. A.; NASCIMENTO, R. C. A. M. ; AMORIM, L. V. . Comportamento de dispersões de bentonita sodica a elevadas temperaturas. **7º Congresso Brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em petróleo e gás**, 2013, Aracaju/SE.

-NASCIMENTO, R. C. A. M. Estudo de desempenho de fluidos aquosos sob condições de prisão diferencial. **Dissertação em Ciências e Engenharia de Materiais**. Universidade Federal de Campina Grande, programa de Pós-Graduação, Campina Grande - PB.

-RATKIEVICIUS, L. A., *et al*. Modification of bentonite clay by a cationic surfactant to be used as a viscosity enhancer in vegetable-oil-based drilling fluid, *Applied Clay Science*, v.135, p. 307–312, 2017.

-SILVA, R. P., Estudo de tensoativos na organofilização de argila bentonítica para uso em fluido de perfuração à base de óleo. **Dissertação em Ciência e Engenharia de Petróleo**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, 2016.

-SOUSA, F. K. A.; *et al*. Efeito do armazenamento de argilas esmectíticas nas suas propriedades reológicas, *Cerâmica*, v.63, n°.365, 2017.

-ZHANG, M., LI, L., XU, J., SUN, D., Effect of polyisobutylenesuccinimide on low temperature rheology and dispersibility of clay particles in mineral oil. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. v. 431, p. 133–141, 2013.