



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

EFEITO DE BAIXAS CONCENTRAÇÕES DE ELETRÓLITOS NA REOLOGIA DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO À BASE DE ÁGUA E ARGILAS BENTONÍICAS

Luciana Viana Amorim¹, Josiane Dantas Viana², Kássie Vieira Farias², Kepler Borges França³,
Hélio de Lucena Lira⁴, Heber Carlos Ferreira⁴

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Doutorado em Engenharia de Processos
Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970, Campina Grande, Paraíba
luciana@labdes.ufpb.br - Bolsista ANP/PRH-25

² Universidade Federal de Campina Grande, Graduação em Engenharia de Materiais
josianedantas@bol.com.br; kassievieira@bol.com.br - Bolsista CNPq/PIBIC

³ Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Química
kepler@labdes.ufpb.br

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia de Materiais
helio@dema.ufpb.br; heber@dema.ufpb.br

Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito de baixas concentrações de eletrólitos na reologia de fluidos de perfuração de poços de petróleo à base de água e argilas bentoníticas provenientes das jazidas de Boa Vista, PB. Foram selecionadas sete amostras de argilas bentoníticas, sendo quatro sódicas industrializadas e três naturalmente polycatiônicas que foram tratadas com solução concentrada de Na_2CO_3 . Os fluidos de perfuração foram preparados com 4,86% em massa de argila, segundo as normas da Petrobras, e a seguir aditivados com diferentes teores de $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$. Após cura por 24 horas, foram determinadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) em viscosímetro Fann 35A e o volume de filtrado (VF) em filtro prensa da marca Fann. Para avaliar a influência da adição de cada um dos eletrólitos na reologia dos fluidos foi desenvolvido um planejamento fatorial do tipo $2^2 + 3$ experimentos no ponto central. Os resultados mostraram que a adição do $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ provocou a degradação dos fluidos preparados com as argilas industrializadas, traduzida pela queda nos valores de VA e VP e aumento pronunciado em VF, bem como, o aumento nos valores de VA e queda nos valores de VP nos fluidos preparados com as argilas naturais após tratamento com Na_2CO_3 , conduzindo os fluidos ao estado floculado-gel.

Palavras-Chave: fluidos de perfuração; argilas bentoníticas; propriedades reológicas; cloretos de cálcio e magnésio

The aim of this work is to study the effect of low electrolytes concentration on the rheology of the water based oil well drilling fluids and bentonite clays from Boa Vista, PB. It were selected seven samples of bentonite clays (four from industry and three from natural polycationic clay treated with concentrated Na_2CO_3 solution). The drilling fluids were prepared with a concentration of 4.86 % w/w, according to Petrobras norms and treated with different $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ concentration. After, the drilling fluids were submitted to a cure for 24 hours and measured apparent viscosity (AV), plastic viscosity (PV) and water loss (WL). To study the effect of the electrolyte on the rheology of the dispersions it was developed a factorial design $2^2 + 3$ test in the central point. The results showed that the addition of $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ caused a degradation of the drilling fluids prepared with industrialized clays, as showed by the decrease in AV and PV and great increase in WL. Also, it was observed an increase in AV and a decrease in PV in the drilling fluids prepared with natural clays treated with Na_2CO_3 , conducting a flocculated-gel state.

Keywords: drilling fluids; bentonite clays; rheological properties; calcium and magnesium chloride

1. Introdução

Fluidos de perfuração, também denominados de lamas de perfuração, são utilizados para auxiliar a perfuração de poços de petróleo. A esses fluidos são exigidas propriedades específicas, como viscosidade e tixotropia, normatizadas pela Petrobras (1998), para que possam desenvolver suas funções de forma satisfatória, sem o comprometimento da perfuração e garantindo a máxima produtividade do poço.

Historicamente, a primeira função dos fluidos de perfuração era agir como veículo para remover os detritos ou cascalhos gerados durante a operação de perfuração. Hoje, é reconhecido que os fluidos de perfuração desempenham uma série de funções, todas de extrema importância. Segundo Darley e Gray (1998), os fluidos devem ser capazes de transportar os detritos de perfuração e permitir sua separação na superfície, resfriar e limpar a broca, reduzir o atrito entre a haste de perfuração e as paredes do poço, formar uma camada de baixa permeabilidade (*filter-cake*) nas paredes do poço e auxiliar as avaliações sobre os detritos e as formações perfuradas.

Dentre os diversos tipos de fluidos de perfuração, os tradicionais à base de água e argilas bentoníticas são principalmente utilizados na perfuração de poços terrestres, com profundidades de até 1.500 m. Para o preparo desses fluidos é comum o uso de águas de poços artesianos, perfurados próximos aos poços de petróleo, que em sua maioria apresentam elevada concentração de sais e de outros íons metálicos, como o cálcio e o magnésio, que exercem considerável influência sobre as propriedades reológicas dos fluidos.

Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito de baixas concentrações de eletrólitos na reologia de fluidos de perfuração de poços de petróleo à base de água e argilas bentoníticas provenientes das jazidas de Boa Vista, PB.

2. Materiais

2.1. Argilas Bentoníticas

Foram estudadas quatro amostras de argilas bentoníticas sódicas industrializadas, comercialmente conhecidas por Dolomil, Fungel, Brasgel e Brasgel PA e três amostras de argilas bentoníticas, naturalmente policatiônicas, denominadas de Bofe, Chocolate e Verde-lodo. As amostras são provenientes das jazidas de Boa Vista, PB.

2.1. Aditivos

Foram utilizados o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e os cloretos de cálcio e magnésio ($\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$).

3. Metodologia

3.1. Transformação das Argilas Bentoníticas Naturais em Sódicas

As argilas naturais foram aditivadas com solução concentrada de Na_2CO_3 (0,2g/ml) nas seguintes proporções: 150 meq de Na_2CO_3 /100 g de argila seca para a argila Bofe; 75 meq de Na_2CO_3 /100 g de argila seca para a argila Chocolate e 100 meq de Na_2CO_3 /100 g de argila seca para a argila Verde-lodo. Após 05 dias de cura em câmara úmida com 100 % de umidade relativa, foram preparados os fluidos de perfuração de acordo com o item 3.2.

3.2. Preparação dos Fluidos de Perfuração

Os fluidos de perfuração foram preparados com concentração de 4,86 % em massa de argila (24,3 g de argila em 500 ml de água deionizada), de acordo com a norma N-2605 (Petrobras, 1998a).

3.3. Tratamento dos Fluidos de Perfuração com os Cloretos de Cálcio e Magnésio ($\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$)

Após preparação, os fluidos de perfuração foram tratados com $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ na forma de pó, em proporções entre 10 e 20 meq/100 g de argila seca, segundo o planejamento fatorial do tipo $2^2 + 3$ experimentos no ponto central, contido na Tabela 1. Após adição do $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$, os fluidos foram agitados por 5 min e curados por 24 h em câmara úmida com 100 % de umidade relativa.

Tabela 1. Variáveis de entrada com os níveis utilizados nos experimentos e a matriz de planejamento fatorial

Variáveis De Entrada	Níveis Codificados		
	Nível -1	Ponto Central 0	Nível +1
CaCl_2 (meq)	5	7,5	10
MgCl_2 (meq)	5	7,5	10
Matriz de Planejamento Fatorial			
Experimentos	CaCl_2 (meq)	MgCl_2 (meq)	
1	-1	-1	
2	+1	-1	
3	-1	+1	
4	+1	+1	
5, 6 e 7	0	0	

3.4. Estudo Reológico

Após cura, foram determinadas as viscosidade aparente (VA) e plástica (VP), em viscosímetro Fann 35A, o volume de filtrado (VF), em filtro prensa Fann, e o pH, de acordo com a norma N-2605 (Petrobras, 1998a).

4. Resultados e Discussão

A Tabela 2, apresenta as propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas industrializadas antes e após tratamento com o $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$. Observou-se queda nos valores de VA e VP e aumento nos valores de VF para os fluidos preparados com as argilas Dolomil, Fungel e Brasgel. Dentre as concentrações estudadas, a de 10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2 , foi a que conduziu os fluidos ao maior estágio de contaminação (degradação).

Tabela 2. Propriedades reológicas dos fluidos preparados com as argilas industrializadas antes e após tratamento com o $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$

Fluidos Preparados com a Argila Dolomil				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	10,3	4,5	21,0	9,6
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	10,3	3,5	23,5	9,4
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	10,3	3,5	22,5	9,5
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	10,3	3,0	24,5	9,3
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	10,3	3,5	23,0	9,4
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	10,3	4,0	22,5	9,5
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	10,3	3,5	23,0	9,4
Sem Tratamento	11,8	4,3	20,5	9,9
Fluidos Preparados com a Argila Fungel				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	5,0	3,5	21,3	9,2
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	5,0	3,0	23,3	9,0
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	5,3	3,0	22,8	9,0
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	4,8	3,0	25,5	9,0
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	5,0	3,5	22,5	9,1
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	5,0	3,0	23,0	9,1
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	5,0	3,0	23,0	9,0
Sem Tratamento	6,6	4,3	18,3	9,4
Fluidos Preparados com a Argila Brasgel				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	6,8	4,0	22,5	9,5
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	6,8	3,5	25,0	9,5
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	7,0	3,5	23,0	9,3
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	7,3	4,0	25,8	9,3
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	6,8	4,0	24,0	9,6
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	6,8	4,0	23,5	9,6
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	6,8	4,0	23,0	9,6
Sem Tratamento	8,3	5,0	20,5	9,8
Fluidos Preparados com a Argila Brasgel PA				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	15,5	4,0	18,0	9,4
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	16,8	4,0	19,5	9,2
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	16,3	3,5	18,5	9,2
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	16,8	3,5	19,8	9,1
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	16,0	4,0	19,0	9,4
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	16,3	4,0	19,0	9,4
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	16,5	4,0	18,5	9,3
Sem Tratamento	16,1	4,0	16,3	9,8
Especificação N-2604 (Petrobras, 1998)	$\geq 15,0$	$\geq 4,0$	$\leq 18,0$	$\leq 10,0$

A diminuição nas viscosidades é consequência da sensibilidade do sistema argila-água aos íons cálcio e magnésio, que quando adicionados provocam a troca de cátions, ou seja, o cálcio e o magnésio substituem o sódio nas posições de troca. Essa substituição reduz a espessura da camada de água adsorvida ao redor das partículas de argila, promovendo a sua floculação. Como consequência da perda de viscosidade, tem-se o aumento em VF, devido à diminuição da energia de ligação entre as partículas de argila e as moléculas de água, aumentando a quantidade de água livre no sistema.

Os elevados valores de VF obtidos após o tratamento com o $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ indicam que grande parte da fase contínua (água) do fluido poderá ser perdida para a formação geológica, podendo resultar em graves problemas, a exemplo da perda de circulação, que pode ser definida como a perda total ou parcial do fluido de perfuração para as formações geológicas.

Para os fluidos preparados com a argila Brasgel PA, foram observadas variações significativas após a adição do $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ apenas em VF. Esse comportamento diferenciado deve-se, provavelmente, às condições de processamento a que esta argila foi submetida, podendo ser mencionado o uso de aditivos secundários que tem, dentre outras funções, agir como colóide protetor, ou seja, proteger as partículas de argila dos efeitos floculantes dos sais. Contudo, segundo Ferraz (1977), a eficiência dos agentes protetores torna-se menos eficiente quando grandes concentrações de sais estão presentes.

Os resultados obtidos para os fluidos preparados com as argilas naturais, após aditivagem com Na_2CO_3 , antes e após tratamento com $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$, estão apresentados na Tabela 3. Os resultados mostraram comportamento diferenciado para cada uma das argilas. Para a argila Bofe a concentração de 5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2 foi a que conduziu ao maior estágio de degradação. Para as argilas Chocolate e Verde-lodo, esse estágio foi obtido quando da adição de 10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2 . A adição do $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ conduziu ao estado floculado-gel (estado no qual as associações entre partículas são do tipo face-aresta e aresta-aresta, gerando uma estrutura do tipo castelo-de-cartas) os fluidos preparados com a argila Chocolate e para os fluidos preparados com a argila Verde-lodo, esse estado foi acentuado através do aumento nos valores de VA e VF, com permanência dos valores de VP próximos de 1,0.

Tabela 3. Propriedades reológicas dos fluidos preparados com as argilas naturais antes e após tratamento com o $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$

Fluidos Preparados com a Argila Bofe Aditivada com 150 meq de Na_2CO_3				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	9,3	5,5	19,5	10,0
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	11,5	5,0	15,8	10,0
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	10,5	4,0	17,0	10,0
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	10,8	4,5	17,8	10,0
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	10,8	4,0	18,5	9,9
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	11,0	5,0	16,5	10,0
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	11,0	5,0	16,0	9,8
Sem Tratamento	12,5	4,8	17,7	10,0
Fluidos Preparados com a Argila Chocolate Aditivada com 75 meq de Na_2CO_3				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	21,8	1,5	15,7	10,0
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	23,8	2,0	15,7	9,0
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	23,3	1,5	14,0	9,1
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	22,5	1,5	16,5	9,4
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	22,3	1,5	16,0	9,1
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	23,0	2,0	16,0	9,2
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	23,0	2,0	16,5	9,3
Sem Tratamento	18,5	3,8	16,0	9,9
Fluidos Preparados com a Argila Verde-lodo Aditivada com 100 meq de Na_2CO_3				
Experimentos	Propriedades Reológicas			pH
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	
1 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	17,8	1,5	22,0	9,5
2 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 5$ meq de MgCl_2)	19,0	2,0	21,5	9,7
3 (5 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	17,8	1,0	23,0	9,5
4 (10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2)	20,3	1,0	24,0	9,7
5 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	21,0	1,5	21,8	9,6
6 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	20,5	1,0	21,0	9,7
7 (7,5 meq de $\text{CaCl}_2 + 7,5$ meq de MgCl_2)	21,0	1,5	22,8	9,7
Sem Tratamento	16,9	1,5	22,0	10,2
Especificação N-2604 (Petrobras, 1998)	$\geq 15,0$	$\geq 4,0$	$\leq 18,0$	$\leq 10,0$

O estado floculado-gel observado nos fluidos preparados com as argilas Chocolate e Verde-lodo deve-se, provavelmente, a maior ligação entre as partículas de argila pela presença dos cátions divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} que possuem uma maior tendência à floculação, ou seja, agem como ponte de ligação mantendo as partículas de argila unidas entre si. Além disso, os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , mesmo quando hidratados, diminuem a espessura da camada de água adsorvida pela sua maior carga e pequeno raio iônico. Segundo Souza Santos (1989), a adição dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} diminui o potencial eletrocinético da partícula do argilomineral e a repulsão entre as partículas, formando aglomerados de partículas, tendo-se o fenômeno de floculação.

Comparando os resultados obtidos para os fluidos antes e após aditivação com baixas concentrações de eletrólitos ($\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$), contidos nas Tabelas 2 e 3, com as especificações da Petrobras (1998), observou-se que apenas o preparado com a argila Brasgel PA apresentou propriedades que satisfaz a essa normatização, podendo esta argila ser utilizada com agente tixotrópico em fluidos de perfuração à base de água.

Nas Tabelas 4 e 5, estão apresentados a análise estatística e os modelos matemáticos codificados para as propriedades reológicas dos fluidos estudados, respectivamente. De um modo geral, a análise de significância estatística mostrou que o coeficiente de correlação e o % de variação explicada dos resultados experimentais para VA e para VF foram satisfatórios. Para a VP, os valores obtidos foram baixos. É importante ressaltar que estes resultados são significativos para o nível de 95,0 % de confiança.

Tabela 4. Análise estatística das propriedades reológicas dos fluidos estudados após tratamento com $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$

Amostra	Coeficiente de Correlação			% de Variação Explicada*		
	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)	VA (cP)	VP (cP)	VF (ml)
Dolomil	ND	0,93	0,98	ND	87,5	97,5
Fungel	0,99	0,72	0,97	99,1	52,5	95,5
Brasgel	0,87	0,83	0,88	76,1	70,0	77,9
Brasgel PA	0,87	0,59	0,95	75,6	35,0	89,6
Bofe	0,94	0,75	0,80	88,9	56,4	64,5
Chocolate	0,93	0,33	0,87	87,3	10,9	77,1
Verde-lodo	0,59	0,89	0,66	35,4	80,2	43,6

$$* R^2 = \frac{SQ_R}{SQ_T} \cdot 100$$

Sendo: SQ_R a soma quadrática da regressão, SQ_T a soma quadrática total e ND não determinado por invariância dos resultados.

Tabela 5. Modelos matemáticos codificados das propriedades reológicas dos fluidos tratados com $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$

Fluidos Preparados com a Argila Dolomil	
VP (cP)	$3,64* - 0,75C - 0,75M + 0,25CM$
VF (ml)	$22,86* + 2,25*C + 1,25*M - 0,25CM$
Fluidos Preparados com a Argila Fungel	
VA (cP)	$5,01* - 0,25*C + 0,50M - 0,25*CM$
VP (cP)	$3,14* - 0,25C - 0,25M + 0,25CM$
VF (ml)	$23,06* + 2,35*C + 1,85*M + 0,35CM$
Fluidos Preparados com a Argila Brasgel	
VA (cP)	$6,90* + 0,15C + 0,35M + 0,15CM$
VP (cP)	$3,86* + 0,50CM$
VF (ml)	$23,76* + 2,65C + 0,65M + 0,15CM$
Fluidos Preparados com a Argila Brasgel PA	
VA (cP)	$16,46* + 0,9C + 0,4M - 0,40CM$
VP (cP)	$3,93* - 0,50M$
VF (ml)	$19,04* + 1,40C + 0,40M - 0,10CM$
Fluidos Preparados com a Argila Bofe	
VA (cP)	$10,70* + 0,62*C + 0,12M - 0,47CM$
VP (cP)	$4,57* - 0,50M + 0,25CM$
VF (ml)	$17,30* - 0,72C - 0,12M + 1,12CM$
Fluidos Preparados com a Argila Chocolate	
VA (cP)	$22,81* + 0,30C + 0,05M - 0,70CM$
VP (cP)	$1,93* + 0,12C - 0,12M - 0,12CM$
VF (ml)	$15,77* + 0,62C - 0,22M + 0,62CM$
Fluidos Preparados com a Argila Verde-lodo	
VA (cP)	$19,62* + 0,92C + 0,32M + 0,32CM$
VP (cP)	$1,36* + 0,12C - 0,37M - 0,12CM$
VF (ml)	$22,11* + 0,75M + 0,50CM$

*Estatisticamente significativos ao nível de 95,0 % de confiança.

Sendo: C o aditivo CaCl_2 e M o aditivo MgCl_2 .

Através dos modelos matemáticos codificados, apresentados na Tabela 5, observou-se dentre as propriedades avaliadas (VA, VP e VF), que apenas VF é influenciada de forma estatisticamente significativa com o aumento na concentração de 5 meq a 10 meq de CaCl_2 e de MgCl_2 , ao nível de 95,0 % de confiança. Contudo, como foi apresentado anteriormente, a adição desses eletrólitos influencia grandemente o comportamento reológico dos fluidos de perfuração à base de água e argilas bentoníticas.

A contaminação de fluidos de perfuração, como já mencionado, conduz a sérios problemas e é bastante comum nas plataformas de petróleo. Também como fonte de contaminação podem ser citadas formações de calcário, dolomita e salinas. Visando obter indicações para solucionar esse tipo de problema, estudos com aditivos específicos vêm sendo desenvolvidos na Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, com apoio financeiro da Agência Nacional de Petróleo (Amorim et al., 2002).

Os problemas de perda de circulação também são comuns em perfurações *offshore*. Segundo Lomba (2001), as recentes ocorrências de perdas de circulação durante a perfuração de poços em águas profundas e ultra-profundas chamaram a atenção para a importância da característica não penetrante dos fluidos na viabilização da exploração desses campos. Desta forma, pesquisas realizadas no CENPES/PETROBRAS abordam os principais aspectos que devem ser considerados na formulação de fluidos utilizados nesse tipo de perfuração, ressaltando os problemas decorrentes e as características requeridas para a sua solução.

5. Conclusões

Com o objetivo de estudar o efeito de baixas concentrações de eletrólitos na reologia de fluidos de perfuração de poços de petróleo à base de água e argilas bentoníticas provenientes das jazidas de Boa Vista, PB, concluiu-se que:

- i) a adição do $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ afetou as propriedades reológicas dos fluidos estudados, sendo observada a queda nos valores de VA e VP e o aumento nos valores de VF para os fluidos preparados com as argilas industrializadas e aumento nos valores de VA para os fluidos preparados com as argilas naturais, caracterizando um fluido floculado;
- ii) dentre as concentrações estudadas, a de 10 meq de $\text{CaCl}_2 + 10$ meq de MgCl_2 , foi a que conduziu os fluidos ao maior estágio de contaminação ou degradação e
- iii) o aumento na concentração de 5 meq a 10 meq de CaCl_2 e de MgCl_2 interfere de forma estatisticamente significativa, ao nível de 95,0 % de confiança, o volume de filtrado dos fluidos preparados com duas das amostras de argilas bentoníticas industrializadas, Dolomil e Fungel.

Em resumo, as propriedades reológicas dos fluidos de perfuração preparados com as argilas bentoníticas de Boa Vista, PB são negativamente influenciadas pela adição de baixas concentrações de $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$, podendo conduzir a problemas de perda de circulação durante a operação de perfuração de poços de petróleo.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo - ANP, ao CNPq/CTPETRO, ao MCT, à FINEP, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

7. Referências

- AMORIM, L. V., GOMES, C. M., FARIAS, K. V., VIANA, J. D., FERREIRA, H. C. Uso do CMC como colóide protetor em fluidos de perfuração à base de água e argila. In: *XV Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia de Materiais*, Natal, Brasil: nov., 2002.
- DARLEY, H. C. H., GRAY, G. R. *Composition and properties of drilling and completion fluids*, Gulf Publishing Company, 1988.
- FERRAZ, A. I. *Manual de engenharia dos fluidos de perfuração*, Divisão Magcobar Grupo Oilfield Products Dresser Industries, 1977.
- LOMBRA, R. Fluidos para perfuração em lâminas d'água profundas e ultra-profundas, www.mec.puc-rio.br, Acesso em 25 de novembro de 2002.
- PETROBRAS, Viscosificante para fluido de perfuração base de água na exploração e produção de petróleo. Método, N-2604, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.
- PETROBRAS, Ensaio de viscosificante para fluido de perfuração base de água na exploração e produção de petróleo. Método, N-2605, Rio de Janeiro, Brasil, 1998a.
- SOUZA SANTOS, P. *Ciência e tecnologia de argilas*, Editora Edgard Blücher Ltda, 1989.