

DESENVOLVIMENTO DE FLUIDOS HIDROARGILOSOS DE MELHOR DESEMPENHO¹

Maria Ingrid Rocha Barbosa²
Luciana Viana Amorim³

Resumo

Este trabalho objetiva avaliar o efeito da concentração de argila, bem como da concentração de um composto polimérico, no comportamento reológico e de filtração de fluidos de perfuração visando à obtenção de fluidos de melhor desempenho. Foi estudada uma argila bentonítica nas concentrações de 2,5% e 4,86% e desenvolvido um composto polimérico constituído pela mistura de polímeros comumente utilizados em fluidos de perfuração. A preparação dos fluidos de perfuração e a determinação das propriedades reológicas e de filtração foram realizadas de acordo com as normas de Petrobras. Os resultados evidenciaram que os fluidos preparados com 2,5% de argila aditivada com o composto polimérico apresentam melhor desempenho.

Palavras-chave: Argila bentonítica; Polímero; Reologia.

DEVELOPMENT OF BETTER PERFORMANCE DRILLING FLUIDS

Abstract

The aim of this study is to evaluate the effect of bentonite clays and polymeric compounds concentrations in the rheological and water loss behavior of drilling fluids in order to obtain the best performance. The bentonite clay at 2.5 and 4.86 % w/w concentrations was studied and has developed a polymer compound formed by the mixture of polymers commonly used in drilling fluids. The preparation of drilling fluids and the determination of rheological and filtration properties were performed according to the standard PETROBRAS. The results showed that the fluids prepared with 2.5 % w/w clay treated with polymeric compounds present better performance.

Key words: Bentonite clay; Polymer; Rheology.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Doutorado em Engenharia Química DPQ/FEQ/UNICAMP – ingridroch@gmail.com

³ Pesquisadora Visitante ANP/PRH-25/UFCG – Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES - luciana@cct.ufcg.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os fluidos de perfuração aquosos são formados, geralmente, pela mistura de argilas bentoníticas e vários tipos de polímeros (naturais e/ou sintéticos), introduzidos de acordo com as condições da formação geológica onde o poço está sendo perfurado.⁽¹⁾ Para perfurações simples e pouco profundas, um fluido constituído de água e argila bentonítica, de alto rendimento, em baixa concentração é adequado. Contudo, em situações de difícil perfuração e/ou em grandes profundidades, é necessário um fluido mais elaborado, com introdução de um ou vários aditivos.⁽²⁾ Cada tipo de aditivo possui características diferentes, visando adequar as várias propriedades do fluido às condições de operação da perfuração do poço, ou seja, cada tipo de aditivo atende a propriedades específicas, mas não se consegue adequar a todas as propriedades necessárias.⁽³⁾

Atualmente, o desenvolvimento de fluidos de perfuração está cada vez mais especializado, de forma que todas as propriedades necessárias aos fluidos sejam adquiridas por meio da incorporação de aditivos desenvolvidos especialmente para corrigir e/ou melhorar o desempenho dos fluidos durante a operação de perfuração de poços, garantindo, assim, o sucesso da perfuração.⁽³⁾

No Brasil, as argilas bentoníticas comumente utilizadas no preparo de fluidos de perfuração são provenientes dos depósitos localizados no Município de Boa Vista, PB. Contudo, hoje, as variedades de argilas bentoníticas consideradas nobres, ou de alto rendimento, e, portanto, utilizadas no preparo de fluidos de perfuração, não são mais encontradas em quantidades apreciáveis para exploração. Em grande quantidade, são encontradas apenas as argilas consideradas de qualidade inferior para utilização como agente tixotrópico e viscosificante em fluidos de perfuração, sendo comumente utilizadas em aplicações menos nobres, como aglomerantes para areias de fundição e leito para dejetos de animais.

Visando melhorar a qualidade dos fluidos de perfuração preparados com estas argilas, é freqüente a aditivação do fluido, que ocorre durante a sua preparação nos tanques de lama ou mesmo durante a operação de perfuração, quando é detectada a necessidade de adequação das suas propriedades. Os aditivos são incorporados um a um, de acordo com a propriedade a ser corrigida/otimizada, tornando necessário um tempo maior para conclusão do processo de perfuração.

A prática de aditivação do fluido pode se tornar mais rápida com a utilização de um composto polimérico, formado pela mistura de polímeros de diferentes características. A principal razão para a utilização de compostos poliméricos (composições binárias e ternárias) deve-se à possibilidade de combinar as propriedades de duas ou mais matérias primas com características diferentes, visando obter um produto com propriedades adequadas.⁽³⁾

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração de argila, bem como da concentração de um composto polimérico, no comportamento reológico e de filtração dos fluidos de perfuração visando à obtenção de fluidos de melhor desempenho.

2 MATERIAIS

2.1 Argilas Bentoníticas

Foi estudada uma amostra de argila bentonítica sódica, composta pela mistura das argilas de cor creme e verde-lodo, conhecidas por Bofe e Verde-Lodo, respectivamente, provenientes das jazidas de Boa Vista, PB, industrializada e fornecida pela Empresa Bentonit União Nordeste Ltda – BUN.

2.2 Composto Polimérico

Para a obtenção do composto polimérico foram selecionadas três amostras de aditivos poliméricos: duas de carboximetilcelulose (CMC), sendo uma de alta viscosidade (CMC AV), e a outra de baixa viscosidade (CMC BV) e uma amostra de poliácridamida parcialmente hidrolisada de alto peso molecular (PAM), escolhidas a partir de estudos preliminares realizados por Barbosa.⁽⁴⁾ As amostras de CMC foram fornecidas pela Empresa Denver-Cotia Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. e a amostra de PAM foi fornecida pela Empresa System Mud Indústria e Comércio Ltda.. A Tabela 1 apresenta os dados técnicos dos polímeros.

Tabela 1. Dados técnicos dos polímeros

Amostras	Dados técnicos				
	Função	Aplicação	Composição	Tamanho de cadeia	Viscosidade (cP)
CMC AV	Viscosificante	Água doce	CMC de sódio	Longa	3200*
CMC BV	Defloculante e redutor de filtrado	Água doce	CMC de sódio	Curta	260***
PAM	Viscosificante	Água doce e salgada	Copolímero de acrilato de sódio e acrilamida	Longa	3200*

Viscosidade medida em viscosímetro Brookfield LVF a 30 rpm, pino 3, solução aquosa 1% com correção de umidade. **Viscosidade medida em viscosímetro Brookfield LVF a 30 rpm, pino 2, solução aquosa 1% com correção de umidade. *Viscosidade medida em viscosímetro Brookfield LVF a 30 rpm, pino 2, solução aquosa 1% com correção de umidade.*

3 METODOLOGIA

3.1 Dimensionamento de Composições do Composto Polimérico

As composições foram formuladas com os polímeros PAM, CMC BV e CMC AV empregando a metodologia de modelagem de misturas do planejamento experimental proposta por Cornell⁽⁵⁾ e apresentada por Campos⁽⁶⁾ e Barbosa et al.⁽⁷⁾ Para definir as composições foi utilizado um planejamento em rede simplex {3,2}, aumentado com pontos no interior, totalizando dez composições. As composições estão apresentadas na Tabela 2.

3.2 Preparação dos Fluidos de Perfuração

Para a preparação dos fluidos, a argila foi misturada manualmente com o composto polimérico em pó, nas composições estudadas (Tabela 2) e essa mistura foi adicionada à água sob agitação a 10.000 rpm. A seguir, o fluido permaneceu sob

agitação a 17.000 rpm por 20 min em agitador da marca Hamilton Beach, modelo 936. Após preparação, os fluidos permaneceram em repouso durante 24 h.

Os fluidos foram preparados com concentração de 2,5 e 4,86 % de argila, ou seja, 12,5 g e 24,3 g de argila em 500 mL de água deionizada, respectivamente. As velocidades de agitação, o tempo de agitação e o agitador são os recomendados pela norma N-2605 da Petrobras.⁽⁸⁾ A mesma metodologia foi seguida para os fluidos preparados com a argila bentonítica sem aditivação.

O composto polimérico foi adicionado à argila bentonítica nas concentrações de 0,05, 0,10 e 0,15 g/24,3 g de argila seca e 0,4, 0,6 e 0,8 g/12,5 g de argila seca. No texto essas concentrações serão tratadas por 0,05, 0,10, 0,15, 0,4, 0,6 e 0,8 g.

Tabela 2. Dimensionamento das composições do composto polimérico

Composições	PAM (%)	CMC BV (%)	CMC AV (%)
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	33,33	33,33	33,33
8	66,66	16,66	16,66
9	16,66	66,66	16,66
10	16,66	16,66	66,66

3.3 Estudo Reológico dos Fluidos de Perfuração

O estudo reológico dos fluidos, com e sem aditivação polimérica, foi realizado determinando as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e o limite de escoamento (LE), em viscosímetro Fann 35A, e o volume de filtrado em filtro prensa Fann, de acordo com a norma N-2605 da Petrobras.⁽⁸⁾

3.4 Estudo Estatístico

Na representação do ajuste de valores de resposta (VA, VP, VF e LE), utilizou-se os modelos linear (Equação 6), quadrático (Equação 7) e cúbico (Equação 8), para a escolha de modelos estatisticamente significativos,

$$Y (x_1, x_2, x_3) = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (6)$$

$$Y (x_1, x_2, x_3) = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (7)$$

$$Y (x_1, x_2, x_3) = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (8)$$

sendo Y a estimativa da resposta VA, VP, VF e LE, b o coeficiente da equação determinado conforme Cornell⁽⁵⁾ e x a proporção dos componentes na mistura.

3.5 Otimização Matemática

As equações de regressão foram sujeitas às restrições apresentadas pelas especificações da Petrobras⁽⁹⁾ para fluidos à base de água e argila utilizados na perfuração de poços de petróleo (VA ≥ 15,0 cP, VP ≥ 4,0 cP e LE ≤ 1,5 x VP).

A solução simultânea das equações de regressão, sujeitas a estas restrições, foi obtida usando o software Matlab (6.5). Em termos gráficos, representado em diagrama triangular dos componentes, trata-se de encontrar a intersecção das

superfícies de resposta das propriedades, sendo possível a determinação da região viável que conduzirá a composições que satisfazem todas as restrições e que são adequadas para obter fluidos de acordo com as normas da Petrobras.⁽⁹⁾

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as Figuras 1, 2, 3 e 4, observa-se, de modo geral, que a aditivação polimérica da argila bentonítica melhora as propriedades dos fluidos de perfuração, quando comparado ao resultado do fluido preparado com a bentonita sem polímero. Quando os aditivos poliméricos são adicionados em água, esses são dispersos fazendo com que a cadeia polimérica seja hidratada e assuma uma configuração que pode ser alongada ou enovelada, dependendo das características do polímero. Essa hidratação do polímero é responsável pelo aumento da viscosidade do sistema e redução no VF. Quando se tem a presença de argilas bentoníticas, ocorre a formação de uma camada de solvatação entre as cargas negativas do polímero e as cargas positivas presentes nas arestas das partículas de argila, blindando-as e fazendo com que ocorra uma repulsão mútua entre elas, tornando o sistema disperso, defloculado ou estável. Porém, para elevados valores de VA, que caracteriza um estado floculado, há uma redução na distância entre as partículas de argila devido a sua adsorção às cadeias dos polímeros e, quanto maior o tamanho da cadeia polimérica, maior o estado de floculação alcançado, pois várias partículas adsorvem na mesma cadeia gerando o fenômeno de encapsulamento.⁽¹⁾

Uma análise geral das Figuras 1 e 2 (resultados dos fluidos preparados com 4,86% de argila), mostra que as composições 1, 4, 5, 7, 8 e 10 apresentam os melhores resultados. Dentre elas, as composições 4, 7 e 10 evidenciam a interação entre os polímeros que compõem a mistura, com resultados satisfatórios que atendem as especificações da Petrobras⁽⁹⁾ para fluidos de perfuração à base de água,⁽⁹⁾ enquanto que as composições 1, 5 e 8, embora apresentem resultados dentro das especificações da Petrobras,⁽⁹⁾ conduzem o sistema a um estado de maior floculação, por apresentarem uma maior quantidade de PAM. Os altos valores de LE resultam do elevado teor de sólidos presente em sua composição, visto que o LE depende da VP dos fluidos e que esta propriedade é uma medida da fricção resultante do choque das partículas entre si e, portanto, quanto maior o teor de sólidos, maior a tensão cisalhante necessária para que este inicie o escoamento.

A aditivação da argila com a composição polimérica 1 conduz os fluidos, preparados com 4,86% de argila, a um estado de floculação elevado, acentuado à medida em que se aumenta a concentração desse aditivo. Esse comportamento deve-se ao fato de que a PAM é um polímero aniônico, de cadeia muito longa, que tem como principal função viscosificar os fluidos. O mesmo acontece com os fluidos preparados com a argila aditivada com as composições 5 e 8, nas concentrações mais elevadas (0,10 e 0,15 g). Esse tipo de comportamento indica que polímeros de cadeia muito longa formam estruturas tridimensionais com as partículas de argila, evidenciado pelo forte efeito exercido sobre a VA das suspensões argilosas.⁽¹⁰⁾

Os fluidos preparados com 4,86% de argila aditivada com a composição 2 apresentam redução em VA e VF, comparado ao fluido preparado com a argila sem aditivação. Esse comportamento deve-se ao fato da CMC BV ser um polímero de cadeia curta, que possui como principal função reduzir a taxa de filtração.⁽¹⁾ Polímeros de cadeia curta agem geralmente como defloculantes, pois proporcionam neutralização de parte das cargas positivas das partículas de argila, uma a uma, recobrando-as nas extremidades e aumentando a distância entre elas.⁽¹¹⁾

Com 0,05 g da composição 4, 0,10 g da composição 7 e 0,15 g da composição 10, para os fluidos preparados com 4,86 % de argila, obtêm-se fluidos que atendem adequadamente a todas as especificações.⁽⁹⁾ O comportamento observado por esses fluidos evidencia a interação entre os três aditivos que compõem a mistura, confirmando as funções para as quais cada tipo de aditivo é indicado.

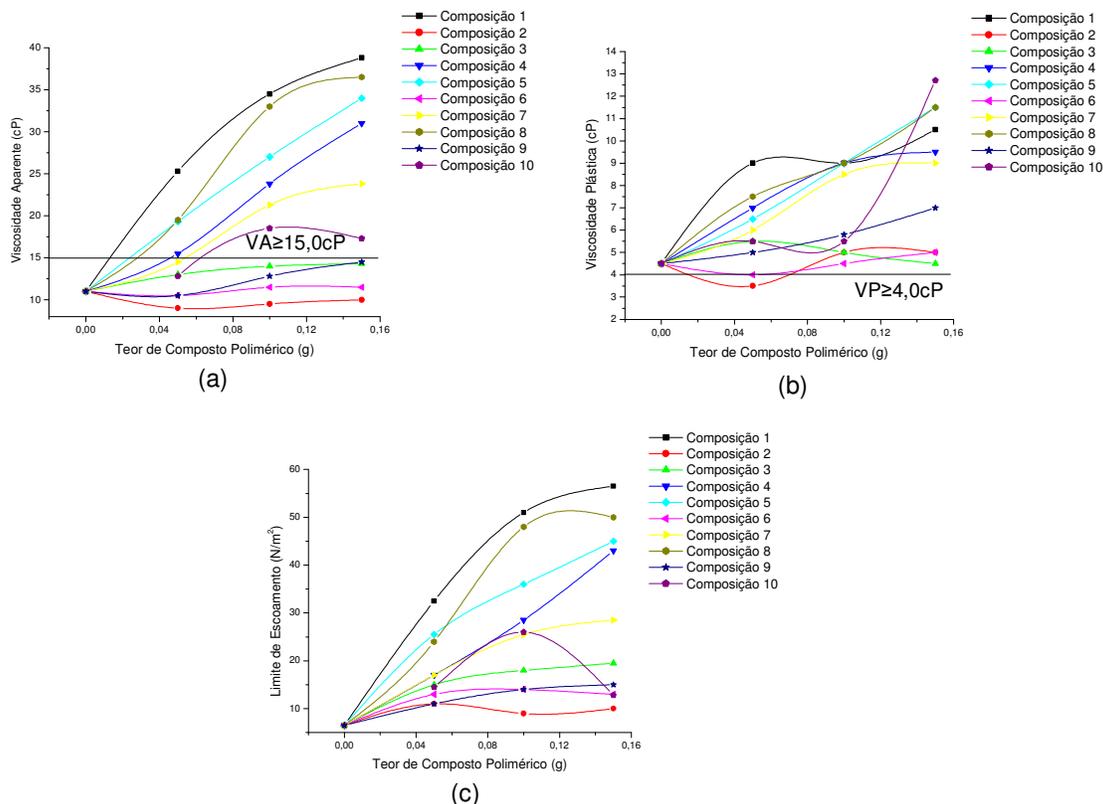


Figura 1. Propriedades reológicas dos fluidos preparados com 4,86% de argila aditivada com o composto polimérico nas diferentes composições estabelecidas pelo delineamento de misturas (a) VA, (b) VP e (c) LE.

Para os fluidos preparados com 2,5% de argila (Figuras 3 e 4), observa-se que, para a concentração de 0,4 g do composto polimérico, embora os valores de VP, VF e LE dos fluidos estejam de acordo com os limites especificados,⁽⁹⁾ os fluidos não atendem às especificações⁽⁹⁾ devido aos baixos valores de VA (inferiores a 15 cP) que apresentam. Esses valores resultam da baixa quantidade de argila utilizada no preparo dos fluidos, o que torna necessário uma maior concentração de composto polimérico para adequação das propriedades. Para a concentração de 0,6 g do composto polimérico, os melhores resultados são obtidos quando a argila é aditivada com as composições 5, 7, 8 e 10, satisfazendo a todas as propriedades especificadas (VA, VP, VF e LE) pela Petrobras,⁽⁹⁾ e, para 0,8 g de composto polimérico, as composições 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 atendem as especificações supracitadas para uso em fluidos de perfuração de poços de petróleo. Ao contrário dos fluidos preparados com 4,86% de argila, os fluidos com 2,5% de argila apresentam valores de LE que satisfazem as especificações da Petrobras.⁽⁹⁾ O teor de sólidos, cujo valor deve ser mantido no mínimo possível, é uma propriedade que deve ser controlada com rigor, visto que o seu aumento implica no aumento de

várias outras propriedades, como densidade, viscosidade e forças géis, além de aumentar a probabilidade de ocorrência de problemas como desgaste dos equipamentos de circulação, fratura das formações devido à elevação da pressão hidrostática, prisão da coluna e redução da taxa de penetração.⁽¹²⁾

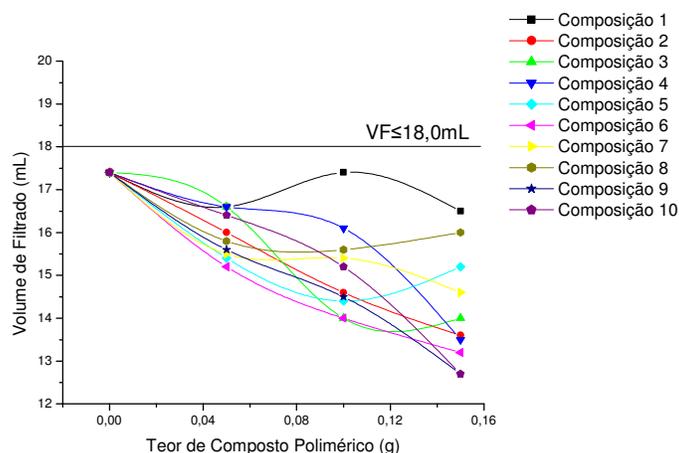


Figura 2. VF dos fluidos preparados com 4,86% de argila aditivada com o composto polimérico nas diferentes composições estabelecidas pelo delineamento de misturas.

Em revisão apresentada por Heller e Keren⁽¹⁰⁾ e como observado por Somasudaran, Healy e Fuerstenau,⁽¹³⁾ polímeros aniônicos, como a PAM, podem flocular suspensões de argila pela formação de pontes entre as partículas, porém essa floculação depende de propriedades dos polímeros, como peso molecular (PM) e densidade de carga. Quanto maior o PM e a densidade de carga, maior a probabilidade de formação de pontes entre partículas.

Segundo Pereira,⁽¹¹⁾ a PAM é um dos polímeros mais utilizados no setor de poços de água por contribuir fortemente na doação de viscosidade ao fluido. Porém, o estado de floculação apresentado pelos resultados indica que a incorporação de quantidade elevada deste aditivo proporciona a formação de pontes. Como observado por Amorim et al.⁽¹⁴⁾ e Barbosa,⁽¹⁵⁾ as longas cadeias poliméricas da PAM adsorvem nas superfícies das partículas de argila diminuindo as distâncias entre elas levando à floculação do sistema.

Comparando os resultados dos fluidos preparados com a argila aditivada com os polímeros isolados, composições 1 (100% de PAM), 2 (100% de CMC BV) e 3 (100% de CMC AV), com os resultados obtidos com os fluidos preparados com a argila aditivada com as composições 4 (50% de PAM + 50% de CMC BV), 7 (33,33% de PAM + 33,33% de CMC BV + 33,33% de CMC AV) e 10 (16,66% de PAM + 16,66% de CMC BV + 16,66% de CMC AV), observa-se a influência de cada tipo de polímero sobre o comportamento reológico dos fluidos de perfuração, ou seja, que a CMC BV atua diminuindo o VF, enquanto a CMC AV e a PAM atuam na viscosificação dos fluidos, sendo estes comportamentos definidos de acordo com o tamanho de cadeia dos polímeros.

A análise conjunta dos resultados mostra que os fluidos preparados com 2,5% de argila aditivada com 0,8 g das composições 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 apresentam melhor desempenho na correção/melhoria das propriedades reológicas e de filtração, evidenciando o benefício de se fazer uso de misturas de polímeros para obtenção de um composto com propriedades adequadas para aditivação de

bentonitas, mostrando que as argilas de qualidade inferior encontradas nos jazimentos de Boa Vista, PB, a exemplo das argilas Bofe e Verde-lodo, atualmente empregadas em aplicações menos nobres, como aglomerantes para areias de fundição, podem ser utilizadas na preparação de fluidos à base de água para perfuração de poços.

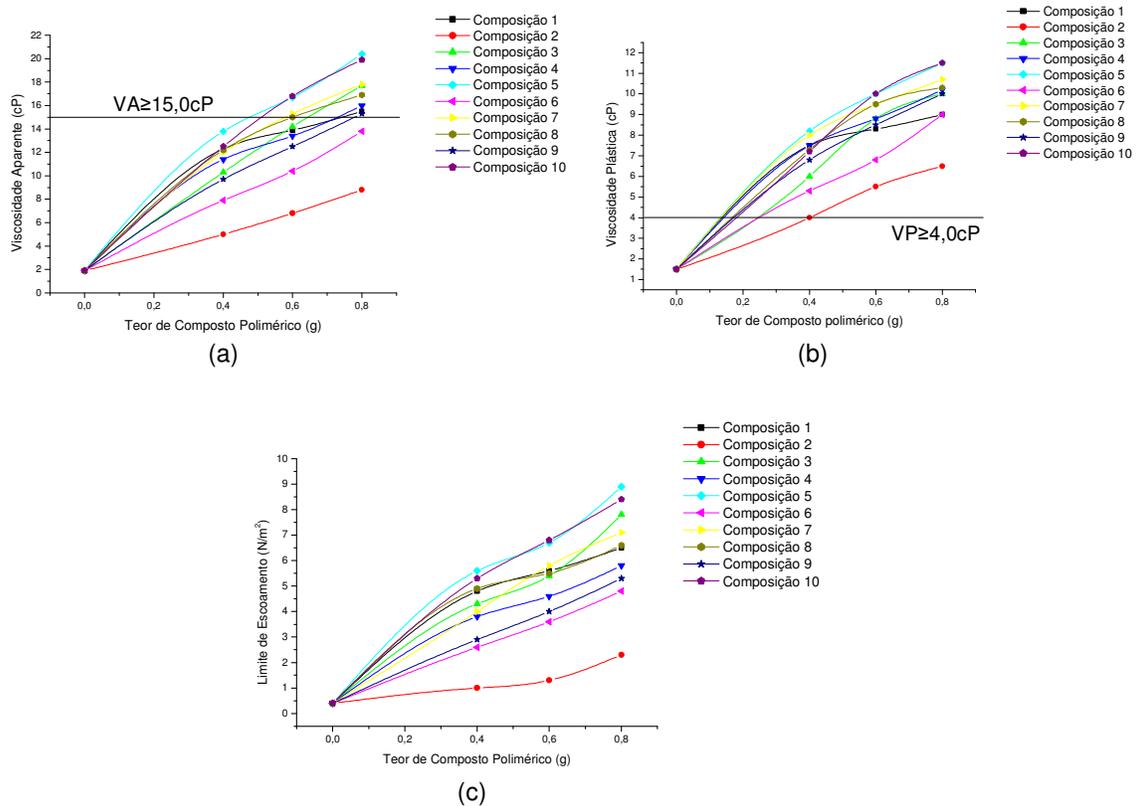


Figura 3. Propriedades reológicas dos fluidos preparados com 2,5% de argila aditivada com o composto polimérico nas diferentes composições estabelecidas pelo delineamento de misturas (a) VA, (b) VP e (c) LE.

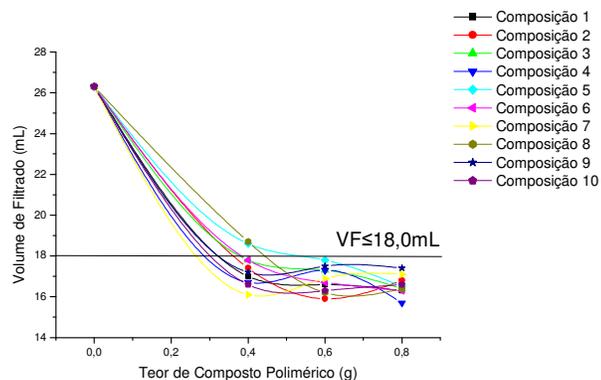


Figura 4. VF dos fluidos preparados com 2,5% de argila aditivada com o composto polimérico nas diferentes composições estabelecidas pelo delineamento de misturas.

Os resultados de comportamento reológico e de filtração apresentados pelos fluidos estudados foram usados para calcular, iterativamente, até serem obtidos modelos estatisticamente significativos, os coeficientes das equações de regressão que relacionam VA, VP, VF e LE com as proporções dos polímeros presentes no composto polimérico. Os modelos foram ajustados para representar as respostas sobre uma superfície, com o objetivo de encontrar modelos que descrevam o comportamento reológico das misturas com a menor margem de erro possível, quando comparados com os resultados reais dos experimentos.

A avaliação da eficiência dos modelos foi feita por meio da análise dos parâmetros estatísticos principais, teste F, valor p, coeficiente de múltipla determinação (R^2) e coeficiente de múltipla determinação ajustado (R^2_A), das propriedades VA, VP, LE e VF. De acordo, com essas estatísticas e com os resultados experimentais foram obtidas equações de regressão de acordo com os modelos linear, quadrático e cúbico especial, correlacionando as proporções dos polímeros presentes no composto polimérico com VA, VP, VF e LE (Tabelas 3 e 4).

Analisando os termos estatisticamente significativos dos modelos matemáticos, observa-se que as frações de polímeros possuem efeito sinérgico nos valores de VA, VP, VF e LE. Esse efeito pode ser confirmado pelos resultados experimentais, nos quais se percebe a influência de cada tipo de aditivo nas propriedades. Ressalta-se que esses resultados são significativos ao nível de 95% de confiança.

Em todas as equações de regressão obtidas para os modelos, percebe-se a forte influência da PAM (P_1) sobre as propriedades reológicas e de filtração dos fluidos. Contudo, os dados reológicos evidenciaram a ação de cada um dos aditivos e sua influência sobre VA, VP e VF; os polímeros de alta viscosidade (PAM e CMC AV) atuam mais fortemente no aumento das viscosidades, enquanto que o de baixa viscosidade (CMC BV) age na redução das perdas por filtração.

A solução do sistema de inequações formado pelas equações de regressão (Tabelas 3 e 4) e pelas restrições estabelecidas pela Petrobras,⁽⁹⁾ conduziu a composições que, de acordo com os modelos matemáticos escolhidos, são adequadas para produzir fluidos que atendam as normas da Petrobras.⁽⁹⁾

Tabela 3. Modelos matemáticos codificados para as propriedades reológicas, VA,VP, LE e VF dos fluidos preparados com 4,86 % de argila aditivada com as diferentes concentrações do composto polimérico

0,05g do composto polimérico	
VA	$= 25,43P_1^* + 8,95P_2^* + 12,87P_3^* - 7,86P_1P_2^* - 0,83P_1P_3^* - 3,77P_2P_3^*$
VP	$= 8,97P_1^* + 3,52P_2^* + 5,52P_3^* + 2,99P_1P_2^* - 3,01P_1P_3^* - 1,92P_2P_3^* + 6,88P_1P_2P_3^*$
LE	$= 16,41P_1^* + 5,39P_2^* + 7,31P_3^* - 9,59P_1P_2^* + 3,44P_1P_3^* - 0,59P_2P_3^* - 27,32P_1P_2P_3^*$
VF	$= 16,51P_1^* + 15,93P_2^* + 16,8P_3^* + 1,08P_1P_2^* - 4,37P_1P_3^* - 3,93P_2P_3^*$
0,10g do composto polimérico	
VA	$= 37,64P_1^* + 9,07P_2^* + 15,04P_3^*$
VP	$= 9,00P_1^* + 4,90P_2^* + 4,82P_3^* + 7,81P_1P_2^* + 7,64P_1P_3^* - 2,55P_2P_3^*$
LE	$= 27,09P_1^* + 3,76P_2^* + 9,82P_3^*$
VF	$= 17,26P_1^* + 14,46P_2^* + 14,25P_3^* - 0,16P_1P_2^* - 4,96P_2P_3^* - 0,98P_1P_3^* + 18,21P_1P_2P_3^*$
0,15g do composto polimérico	
VA	$= 39,56P_1^* + 9,42P_2^* + 13,82P_3^* + 26,75P_1P_2^* + 30,35P_1P_3^* - 4,71P_2P_3^* - 104,18P_1P_2P_3^*$
VP	$= 10,62P_1^* + 4,98P_2^* + 4,48P_3^* + 6,76P_1P_2^* + 15,76P_1P_3^* + 0,48P_2P_3^*$
LE	$= 31,43P_1^* + 4,73P_2^* + 9,03P_3^*$
VF	$= 16,38P_1^* + 12,68P_2^* + 13,52P_3^*$

Sendo: P_1 , P_2 e P_3 – proporções dos polímeros PAM, CMC BV e CMC AV, respectivamente. * Estatisticamente significativos ao nível de 95,0 % de confiança.

Tabela 4. Modelos matemáticos codificados para as propriedades, VA, VP, LE e VF dos fluidos preparados com 2,5% de argila, aditivada com as diferentes concentrações do composto polimérico.

0,4g do composto polimérico
$VA = 11,93P_1 + 5,14P_2 + 10,51P_3 + 11,5P_1P_2 + 10,63P_1P_3 + 2,67P_2P_3$ $VP = 7,2P_1 + 4,15P_2 + 6,01P_3 + 7,63P_1P_2 + 6,16P_1P_3 + 2,45P_2P_3$ $LE = 4,67P_1 + 0,98P_2 + 4,44P_3 + 3,49P_1P_2 + 4,61P_1P_3 + 0,43P_2P_3$ $VF = 17,43P_1 + 17,46P_2 + 17,48P_3 - 1,03P_1P_2 + 5,03P_1P_3 + 0,28P_2P_3 - 35,58 P_1P_2P_3$
0,6g do composto polimérico
$VA = 13,53P_1 + 6,97P_2 + 14,57P_3 + 11,81P_1P_2 + 10,61P_1P_3 + 0,68P_2P_3 + 42,56P_1P_2P_3$ $VP = 8,16P_1 + 5,63P_2 + 8,93P_3 + 7,58P_1P_2 + 5,79P_1P_3 - 0,86P_2P_3 + 24,78P_1P_2P_3$ $LE = 5,34P_1 + 1,26P_2 + 5,54P_3 + 5,39P_1P_2 + 5,78P_1P_3 + 2,8P_2P_3$ $VF = 16,39P_1 + 16,21P_2 + 17,11P_3 + 4,41P_1P_2 + 2,61P_1P_3 + 0,65P_2P_3 - 20,75P_1P_2P_3$
0,8g do composto polimérico
$VA = 14,99P_1 + 9,06P_2 + 18,01P_3 + 15,82P_1P_2 + 15,71P_1P_3 + 4,26P_2P_3$ $VP = 8,79P_1 + 6,66P_2 + 10,13P_3 + 9,96P_1P_2 + 8,11P_1P_3 + 3,86P_2P_3$ $LE = 6,2P_1 + 2,34P_2 + 7,83P_3 + 5,9P_1P_2 + 7,68P_1P_3 + 0,36P_2P_3$ $VF = 16,23P_1 + 16,97P_2 + 16,32P_3 - 3,18P_1P_2 + 0,30P_1P_3 - P_2P_3 + 29,96P_1P_2P_3$

Sendo: P_1 , P_2 e P_3 – proporções dos polímeros PAM, CMC BV e CMC AV, respectivamente. * Estatisticamente significativos ao nível de 95,0 % de confiança.

Essas composições são mostradas por meio da intersecção das áreas definidas para cada propriedade individual (VA, VP, VF e LE), apresentando a região (região viável, em vermelho) de composições que, possivelmente, atende as normas da Petrobras,⁽⁹⁾ ou seja, todas as composições que se encontram na região viável, provavelmente, produzem fluidos de perfuração à base de água e argila aditivada com polímeros que atendem as especificações vigentes.⁽⁹⁾

Para os fluidos preparados com 4,86% em massa de argila aditivada com composto polimérico e para os fluidos preparados com 2,5% em massa de argila aditivada com 0,4 g de composto polimérico não há intersecção entre as propriedades estudadas (VA, VP, LE e VF), não sendo possível a obtenção de composições que atendam as especificações da Petrobras.⁽⁹⁾ Com aumento da concentração de composto polimérico, na aditivação da argila bentonítica (Figura 5) é possível a obtenção de uma maior região de composições, no diagrama ternário, que atendam adequadamente às especificações para uso na preparação de fluidos de perfuração à base de água.⁽⁹⁾

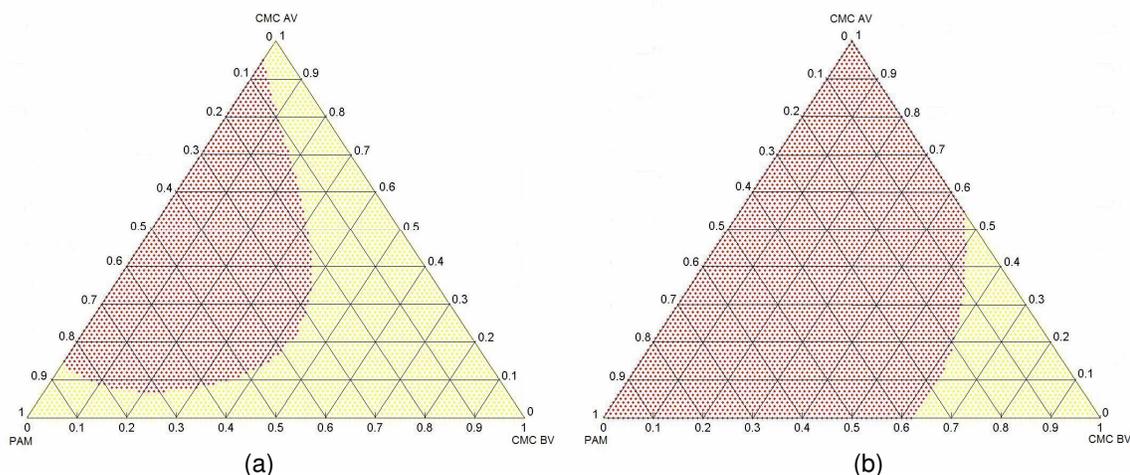


Figura 5. Intersecção das superfícies de resposta de VA, VP, LE e VF, mostrando as composições adequadas para uso em fluidos de perfuração, para os fluidos preparados com a argila aditivada com (a) 0,6 g e (b) 0,8 g de composto polimérico.

Com o objetivo de validar os modelos e os resultados obtidos com a resolução das equações, foram selecionadas composições, dentro da região viável (região em vermelho), para os fluidos preparados com a argila aditivada com 0,6 g (Figura 5 (a)) e 0,8 g (Figura 5 (b)) de composto polimérico. A Tabela 5 mostra as composições de teste, os valores preditos pelos modelos e os valores obtidos experimentalmente (valores observados).

Analisando a Tabela 5 percebe-se que, de acordo com os resultados experimentais obtidos (valores observados), os modelos escolhidos são significativamente eficazes para a previsão dos resultados das propriedades estudadas, com valores experimentais bem próximos dos valores previstos pelos modelos.

Tabela 5. Composições de teste dos modelos e os respectivos valores preditos e observados

Fluidos preparados com a argila aditivada com 0,6g do composto polimérico										
Proporções de polímeros nas composições de teste			Valores preditos				Valores observados			
P ₁ (%)	P ₂ (%)	P ₃ (%)	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)	LE (N/m ²)	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)	LE (N/m ²)
20	20	60	15,2	9,7	16,9	5,9	15,3	9,5	16,5	5,8
70	10	20	16,0	9,7	16,9	6,2	15,0	9,3	17,1	5,8
60	30	10	15,2	9,6	17,0	5,5	15,0	9,5	16,5	5,4
40	20	40	16,7	10,2	16,8	5,7	15,0	9,5	16,2	5,5
Fluidos preparados com a argila aditivada com 0,8g do composto polimérico										
Proporções de polímeros nas composições de teste			Valores preditos				Valores observados			
P ₁ (%)	P ₂ (%)	P ₃ (%)	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)	LE (N/m ²)	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)	LE (N/m ²)
10	20	70	17,9	10,6	16,7	7,3	19,7	11,8	16,8	7,9
80	10	10	17,2	10,2	16,3	7,1	17,2	9,5	16,0	7,2
30	60	10	15,3	9,9	16,5	5,4	16,1	10,5	15,8	5,5
40	20	40	19,1	11,3	17,0	7,8	19,1	11,3	17,0	7,8
Especificações ⁽⁹⁾							≥15,0	≥4,0	≤18,0	≤1,5xVP

Sendo: P₁, P₂ e P₃ – proporções dos polímeros PAM, CMC BV e CMC AV, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, ficou evidenciado que fluidos aquosos preparados com 2,5% de argila bentonítica, proveniente das jazidas de Boa Vista, PB, aditivada com um composto polimérico, apresentam melhor desempenho, com propriedades reológicas e de filtração de acordo com as especificações da PETROBRAS, do que os preparados com concentração de argila de 4,86% aditivada ou não com polímeros.

AGRADECIMENTOS

À ANP, ao MCT, à FINEP, ao CTBRASIL, ao CNPq/CTPetro, ao PRH-25, às Empresas System Mud Indústria e Comércio Ltda. e Denver-Cotia Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. e ao LABDES.

REFERÊNCIAS

- 1 Amorim, L. V. Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo, Tese de Doutorado, CCT, UFCG, Campina Grande – PB, 2003.

- 2 Amorim, L. V. Carboximetilcelulose – CMC, Disponível em: <www.perfuradores.com.br>, Acesso em: 10 de maio de 2006.
- 3 Barbosa, M. I. R. Bentonitas Aditivadas com Polímeros para Aplicação em Fluidos de Perfuração. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, UAEMA/CCT/UFCG. Campina Grande, PB, 2006.
- 4 Barbosa, M. I. R. Desenvolvimento de Aditivos Poliméricos para Formulação de Compósitos com Bentonitas, Seminário submetido ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. UAEMA/CCT/UFCG, 2005.
- 5 Cornell, J.A. Experiments with Mixtures: Designs, Models and the Analysis of Mixtures Data, 3rd edition, New York: John Wiley and Sons, 2002.
- 6 Campos, L. F. A. Reologia de Misturas de Argilas Bentoníticas Aditivadas para Obtenção de Fluidos de Perfuração de Poços de Petróleo, Exame de Qualificação submetido ao Curso de Doutorado em Engenharia de Processos, CCT/UFCG, Campina Grande, PB, 2006.
- 7 Barbosa, M. I. R.; Amorim, L. V.; Barboza, K. R. A.; Ferreira, H. C. Estudo de Composições Poliméricas para Aditivação em Fluidos de Perfuração à Base de Água e Argila. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Santos, SP, 2006.
- 8 Petrobras, Argila ativada para fluido de perfuração à base de água na exploração e produção de petróleo, Método, N-2605, 1998.
- 9 Petrobras, Viscosificante para Fluido de Perfuração a Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo, Especificação, N-2604, 1998a.
- 10 Heller, H.; Keren, R. Anionic Polyacrylamide Polymers Effect on Rheological Behavior of Sodium-Montmorillonite Suspensions, Soil Sci. Am. J. 66:19-25, 2002.
- 11 Pereira, E. Química dos Polímeros e Aplicações – Partes I, II, III e IV, Disponível em: www.systemmud.com.br, Acesso em: julho de 2002.
- 12 Thomas, J. E. e Colaboradores. Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Editora Interciência, Rio de Janeiro, Petrobras, 2001.
- 13 Somasundaran, P.; Healy, T.W.; Fuerstenau, D.W. The Aggregation of Colloidal Alumina Dispersion by Adsorbed Surfactant Ions, Journal of Colloid and Interface Science n. 22, v. 6, p. 599-605, 1996.
- 14 Amorim, L. V.; Pereira, E.; Gomes, C. M.; Viana, J. D.; Farias, K. V.; Barbosa, M. I. R.; França, K. B.; Lira, H. L.; Ferreira, H. C. Aditivos Poliméricos como Fator de Proteção e Reabilitação de Fluidos Hidroargilosos. Anais do XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Petrópolis, RJ, 2003.
- 15 Barbosa, M.I.R. Proteção e Reabilitação de Fluidos Hidroargilosos, Relatório de Estágio Integrado, DEMa/CCT/UFCG, 2004.