

## Aplicação do planejamento experimental no estudo de fluidos inibidos isentos de cloro: Parte II

D. V. Lucena<sup>1\*</sup>, L. V. Amorim<sup>2</sup>, H. L. Lira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais, Bolsista IBP/PRH-25/ANP/UFCG

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, UFCG

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia de Materiais, UFCG

Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro: Universitário, CEP: 58109-900, Campina Grande – PB

(Recebido em 22/03/2011; revisado em 28/07/2011; aceito em 16/08/2011)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da concentração de aditivos químicos (viscosificante, redutor de filtrado, lubrificante e selante) nos parâmetros reológicos e de filtração em fluidos de perfuração aquosos inibidos com sais de potássio isentos de cloro utilizando a ferramenta de o planejamento experimental. Neste trabalho, os inibidores estudados são o acetato e o citrato de potássio. Para a realização de maneira organizada de uma quantidade mínima necessária de experimentos foi utilizado o método de planejamento experimental do tipo  $2^4$  com três experimentos no ponto central. A parte I desta série sobre o estudo de fluidos inibidos com sais isentos de cloro enfocou o uso do sal sulfato de potássio como inibidor de expansão. A análise das superfícies de resposta permitiu a determinação das composições de fluidos de perfuração que favorecem a melhoria das propriedades reológicas e de filtração dos fluidos estudados. Além disto, pode-se verificar que os fluidos preparados com o inibidor acetato de potássio apresentaram valores de viscosidades aparente e plástica e de volume de filtrado inferiores aos dos fluidos preparados com citrato de potássio.

**Palavras-chave:** Planejamento experimental; fluidos aquosos; inibidores de expansão.

### Abstract:

The aim of this work is to use experimental plan to evaluate the influence of chemical additives concentration (viscosifier, filtrate reducer, lubricant and sealant) in the rheological parameters and filtration in aqueous drilling fluids inhibited with potassium salts free of chlorine. In this work, the studied inhibitors were potassium acetate and citrate. To optimize the number of minimum experiments it was used the experimental plan  $2^4$  type with three measures in the central point. Part I of this series about the study of inhibited fluids with salts free of chlorine focused on the use of potassium sulphate as expansion inhibitor. The response surface analysis allowed the estimation of drilling fluid compositions that produce better rheological and filtration properties of the studied fluids. Moreover, it could be verified that the fluids prepared with potassium acetate as inhibitor presented values of apparent and plastic viscosities and filtrate volume inferior to the fluids prepared with potassium citrate.

**Keywords:** Experimental plan, aqueous fluids, expansion inhibitors.

### 1. Introdução

Grande parte dos problemas enfrentados durante a perfuração dos poços de petróleo está associada à instabilidade causada pela interação entre as formações argilosas e o fluido utilizado para atravessá-las. As consequências variam desde o desmoronamento das paredes e alargamento do poço até seu completo fechamento [1]. Dessa forma, a estabilidade de poços de petróleo vem sendo estudada considerando os aspectos mecânicos e químicos da

rocha, principalmente, com relação às interações fluido-folhelho [2].

Na perfuração de poços com folhelhos hidratáveis, quando é viável a utilização de fluidos à base de água (preferenciais devido ao baixo custo e baixo impacto ambiental), há a necessidade da utilização de inibidores de argilas. Chamam-se inibidores de inchamento os compostos químicos capazes de reduzir, de forma eficaz, a hidratação das argilas [3].

Os inibidores de uso mais comum em fluidos de perfuração são os de natureza inorgânica, como os sais de

\*Email: [daniellymateriais@yahoo.com.br](mailto:daniellymateriais@yahoo.com.br) (D. V. Lucena)

sódio (NaCl) e de potássio (KCl). Os cátions desses sais possuem diâmetro menor que o da água e tendem a ficar entre as camadas de argila, evitando, assim, a hidratação da mesma [4].

As mudanças recentes nas leis governamentais a respeito da poluição de ar, água limpa, eliminação de lixo, saúde ocupacional e segurança ditaram e dirigiram a indústria de petróleo a reavaliar todos os aspectos relacionados à perfuração e à produção. Estas mudanças afetaram extremamente as escolhas dos produtos usados nos fluidos de perfuração.

Os produtos não devem somente executar e atender as especificações mínimas, mas devem também atender os padrões ambientais do governo. Os interesses da produção e da exploração a respeito das avaliações dos danos e do prospecto da formação influenciam extremamente nas escolhas do produto [5].

Tendo em vista a vertente ambiental, se faz necessário encontrar alternativas aos inibidores do tipo cloreto. Este estudo foi iniciado com na Parte I deste artigo, e nele pode-se observar que os fluidos preparados com o KCl, como inibidor de expansão, apresentaram propriedades reológicas e de filtração semelhantes aos fluidos preparados com o sulfato de potássio como inibidor. Este comportamento pode indicar que a natureza do inibidor não influencia diretamente nas propriedades reológicas e de filtração dos fluidos [6].

A utilização do método de planejamento fatorial em estudos que abrangem muitas variáveis, como é o caso do desenvolvimento de fluidos de perfuração, é de extrema importância, pois torna possível o planejamento e a realização de maneira organizada de uma quantidade mínima necessária de experimentos, economizando tempo e recursos financeiros [7].

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da variação de aditivos químicos (viscosificante, redutor de filtrado, lubrificante e selante) nos parâmetros reológicos e de filtração em fluidos de perfuração aquosos inibidos com sais de potássio isentos de cloro.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Materiais

Para a preparação dos fluidos de perfuração foram utilizados os aditivos listados na Tabela 1.

Conforme citado na Parte I deste artigo o fluido padrão (FP) utilizado foi obtido por Farias (2009), fazendo uso de aditivos utilizados pela PETROBRAS, que apresentam inibidores com presença de cloro [8].

### 2.1. Métodos

#### 2.1.1. Planejamento Fatorial

Com o objetivo de verificar a influência das variáveis de entrada (viscosificante, redutor de filtrado, lubrificante e selante) sobre as propriedades reológicas e de filtração de fluidos de perfuração à base de água, foi utilizado o

planejamento fatorial do tipo  $2^4$  com três experimentos no ponto central, totalizando 19 experimentos.

A matriz de planejamento experimental utilizada para o estabelecimento das composições a serem desenvolvidas está apresentada na Tabela 2. As composições dos fluidos preparados com os Inibidores I e II foram denominadas respectivamente de composições B e C.

Os níveis das variáveis de entrada utilizadas em ordem crescente (-1, 0, +1) foram: 0,75, 1,125 e 1,5 gramas/ 350 mL de água para o viscosificante (V), 2,5, 3,0 e 3,5 gramas/ 350 mL de água para o redutor de filtrado (R), 1,0 %, 2,0 % e 3,0%/ 350 mL de água para o lubrificante (L) e 15,0, 20,0 e 25,0 gramas/ 350 mL de água para o selante (S).

A regressão dos dados experimentais foi realizada utilizando o programa STATISTICA™ (STATSOFT) [9].

Tabela 1: Aditivos e concentrações utilizadas nas formulações dos fluidos de perfuração

Aditivos	Unidades	Faixa de concentração
Anti-espumante	gotas	6
Viscosificante	g/350mL*	0,75 a 1,5
Redutor de filtrado	g/350mL*	2,5 a 3,5
Controlador de Ph	g/350mL*	1,0
Inibidor de argila I (acetato de potássio)	g/350mL*	16,0
Inibidor de argila II (citrato de potássio)	g/350mL*	16,0
Bactericida	g*	0,7
Lubrificante	g/350mL*	1,0 a 3,0
Selante	g/350mL*	15,0 a 25,0

#### 2.2.2. Preparação dos fluidos de perfuração

Foram desenvolvidos fluidos de perfuração à base de água, compostos pelos aditivos citados no item 2.1.

Os fluidos de perfuração foram preparados de acordo com a prática de campo, descrita na metodologia contida na Parte I deste artigo, ressaltando-se que as composições foram formuladas ora com o Inibidor I ora com o Inibidor II.

Os aditivos e as faixas de concentrações que foram utilizados no desenvolvimento das formulações dos fluidos inibidos também se encontram apresentados na Tabela 1.

#### 2.2.3. Estudo reológico

Foram determinadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) em viscosímetro Fann modelo 35 A, conforme metodologia descrita na Parte I deste artigo.

#### 2.2.4. Volume de filtrado

A determinação do volume de filtrado segue também a metodologia encontrada na Parte I deste artigo [7].

Tabela 2: Matriz de planejamento fatorial 2<sup>4</sup>, com três repetições no ponto central

Fluidos	Viscosificante (V)	Redutor de Filtrado (R)	Lubrificante (L)	Selante (S)
F1	-1	-1	-1	-1
F2	+1	-1	-1	-1
F3	-1	+1	-1	-1
F4	+1	+1	-1	-1
F5	-1	-1	+1	-1
F6	+1	-1	+1	-1
F7	-1	+1	+1	-1
F8	+1	+1	+1	-1
F9	-1	-1	-1	+1
F10	+1	-1	-1	+1
F11	-1	+1	-1	+1
F12	+1	+1	-1	+1
F13	-1	-1	+1	+1
F14	+1	-1	+1	+1
F15	-1	+1	+1	+1
F16	+1	+1	+1	+1
F17	0	0	0	0
F18	0	0	0	0
F19	0	0	0	0

### 3. Resultados e Discussão

As propriedades reológicas (viscosidade aparente (VA), viscosidade plástica (VP)), e de filtração (volume de filtrado (VF)), obtidos com os fluidos inibidos estão apresentados nas Figuras 1 e 2. As linhas em destaque presentes nas Figuras supracitadas representam a faixa de valores de cada uma das propriedades analisadas para o fluido denominado de Padrão (FP).

O fluido Padrão apresentou grande variação nas propriedades reológicas, esse fato se deve provavelmente à grande variação da margem das concentrações dos aditivos nas formulações estudadas.

Pode-se observar que os fluidos F2B, F3B, F4B, F6B, F8B, F10B, F11B, F12B F16B, F7C, F8C, F10C, F11C, F12, F14C e F16C apresentaram propriedades condizentes com o padrão, ou seja, apresentaram propriedades reológicas e de filtração de acordo com as faixas estabelecidas pelo FP.

Observou-se que com o aumento do teor de redutor de filtrado há uma redução no volume de filtrado, porém também foi observado um aumento significativo nos valores das propriedades reológicas [7]. Em maiores concentrações, como a de 3,5 g/ 350 mL de água, o aditivo passa a agir como viscosificante, justificando os altos valores observados das propriedades reológicas [8].

Os valores de VA para os fluidos preparados com o inibidor I (acetato de potássio), variaram de 27,0 cP para o fluido F13B a 63,0 cP para o fluido F12B. Para os fluidos preparados com o Inibidor II, os valores de VA variaram de 35,5 cP para o fluido F5C a 67,5 cP para o fluido F16C; esses fluidos apresentam em suas formulações as menores e as maiores concentrações de viscosificante e redutor de filtrado,

respectivamente. Os valores de VP e VF também seguiram a mesma tendência observada para a VA, ou seja, apresentaram um aumento nas propriedades avaliadas com o aumento da concentração do viscosificante e do redutor de filtrado.

O que diferencia os inibidores é o fato de ocorrência ou não de hidrólise pelos sais que foram adicionados, gerando um aumento leve no pH; o acetato de potássio gera hidrólise, já o citrato de potássio gera hidrólise, contudo com menor intensidade. Medidas de pH realizadas para as composições com as maiores concentrações de todos os aditivos, comprovaram essa afirmação. Deste modo, pode-se afirmar que a ocorrência de hidrólise promove alteração do pH dos fluidos, modificando assim suas propriedades reológicas, explicando deste modo as alterações nas viscosidades em função da natureza dos inibidores utilizados. Alterações que promovam o aumento de pH, mesmo que pequenas, diminuem os valores da viscosidades, essa observação explica os distintos comportamentos observados para os fluidos com diferentes inibidores.

Para a VA e VP, verificou-se que os fluidos inibidos com citrato de potássio apresentaram desempenho superior aos fluidos inibidos com acetato de potássio.

Isso pode ser explicado pelo fato de que o acetato gera hidrólise e é um íon que altera a mecânica do fluido em fluxo, pois, afeta a hidratação dos polímeros viscosificantes, citrato apresenta comportamento semelhante, porém essa alteração da mecânica do fluido em fluxo ocorre em menor intensidade, assim os fluidos com acetato apresentam resultados de menor viscosidade em comparação ao resultado do citrato.

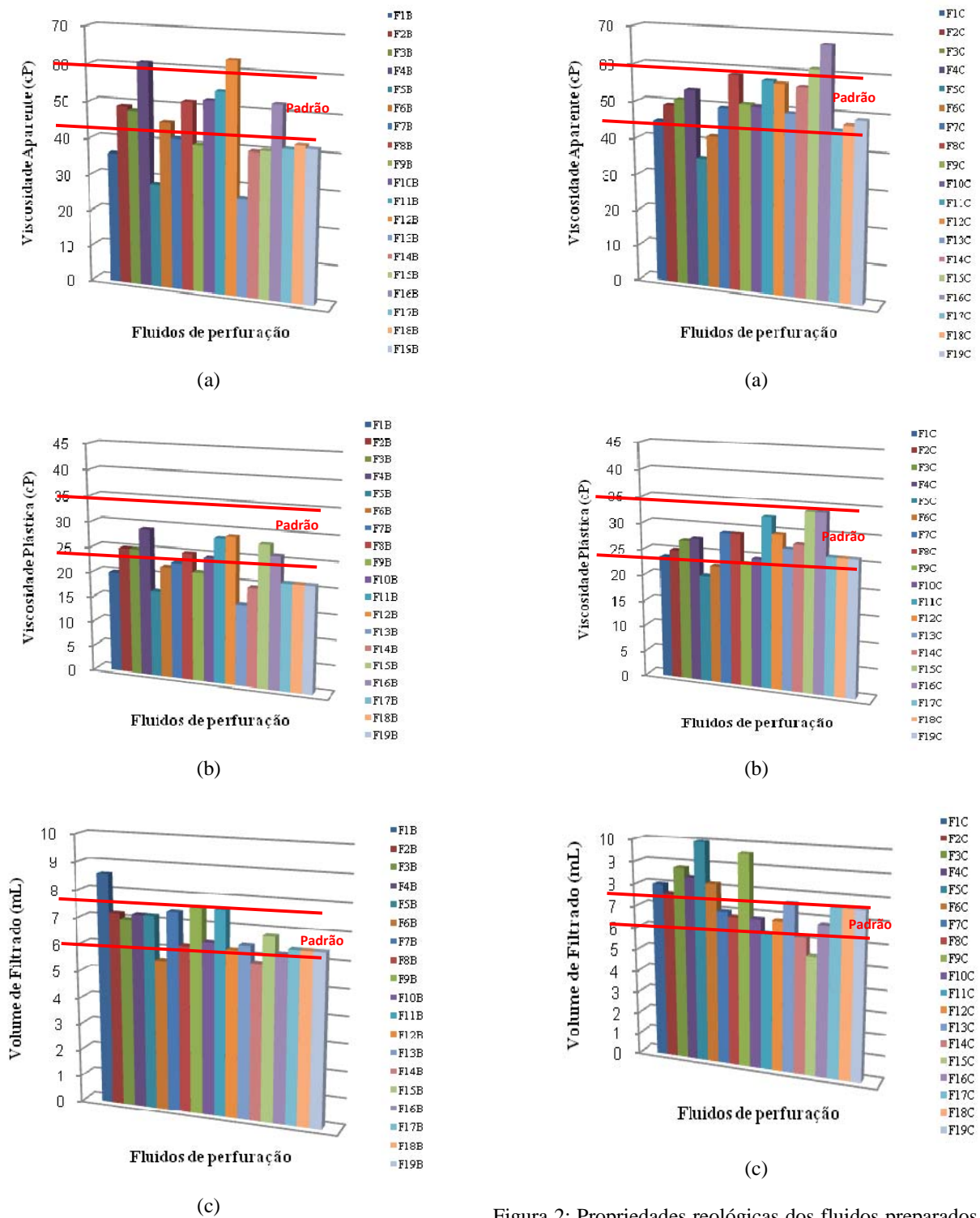


Figura 1: Propriedades reológicas dos fluidos preparados com o Inibidor I; a) Viscosidade aparente (VA); b) Viscosidade plástica (VP) e c) Volume de filtrado (VF).

Figura 2: Propriedades reológicas dos fluidos preparados com o Inibidor II; a) Viscosidade aparente (VA); b) Viscosidade plástica (VP) e c) Volume de filtrado (VF).

Para o volume de filtrado, observou-se que os fluidos com o Inibidor I obtiveram valores menores que os fluidos com o Inibidor II. Isso também é explicado pelo mesmo fato

descrito acima, porém, nesse caso o leve aumento no pH é benéfico, pois, a maior interação entre o inibidor e os polímeros viscosificantes produz uma maior retenção da água no fluido e isso resulta em valores menores de filtrado.

Portanto, os resultados apresentados neste trabalho comprovam a possibilidade de desenvolvimento de fluidos inibidos com eficiência compatível com os fluidos utilizados pelo setor de perfuração.

Realizando-se a análise do planejamento experimental, e dos diagramas dele extraídos, constatou-se que a variação de concentração do redutor de filtrado é o efeito de maior importância para as propriedades reológicas e de filtração, e que os maiores valores de VA e VP e menores valores de VF são atingidos com os maiores valores de concentração de

redutor de filtrado, ou seja, o aumento na concentração do redutor de filtrado interfere de forma estatisticamente significativa nas viscosidades aparente e plástica e no volume de filtrado, ao nível de 95,0 % de confiança.

As Tabelas 3 e 4 apresentam as análises de variância e os modelos matemáticos codificados para as propriedades reológicas (VA, VP) e para o volume de filtrado (VF) dos fluidos de perfuração estudados com os Inibidores I e II, respectivamente.

Através dos resultados do planejamento é possível determinar os coeficientes de regressão (Tabelas 3 e 4) para as três respostas de interesse e assim realizar análises e construir as superfícies de resposta.

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) e modelos matemáticos da VA, VP e VF dos fluidos preparados com o Inibidor I (acetato de potássio)

Fonte de variação	Níveis codificados		
	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
Coefficiente de correlação (R)	0,997	0,999	0,993
% de variação explicada	99,5	99,9	98,7
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	5,11	99,69	1,80
Modelos matemáticos codificados para os fluidos preparados com acetato de potássio			
$VA \text{ (cP)} = 45,67* + 12,28*V + 11,78*R - 9,72*L + 1,09S - 1,41VR + 0,72*VL - 0,97*VS - 0,53*RL + 1,03RS - 2,96*LS - 0,47VRL + 0,34VRS + 0,47*VLS + 0,72RLS$			
$VP \text{ (cP)} = 23,69* + 1,31*V + 3,00*R - 1,63*L + 10,44*S - 0,75*VR - 0,25*VL - 0,69*VS + 0,44*RL + 0,75*RS - 0,125*LS - 0,31*VRL - 0,25VRS + 0,00VLS + 0,44RLS$			
$VF \text{ (mL)} = 6,84* - 0,98*V - 0,025*R - 0,775*L - 0,43*S + 0,23VR - 0,025*VL + 0,025*VS + 0,43*RL + 0,175RS + 0,125LS - 0,125VRL - 0,275VRS + 0,375*VLS - 0,175RLS$			
*estatisticamente significativa com 95,0% de confiabilidade.			

Tabela 4: Análise de variância (ANOVA) e modelos matemáticos da VA, VP e VF dos fluidos preparados com o Inibidor II (citrato de potássio)

Fonte de variação	Níveis codificados		
	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
Coefficiente de correlação (R)	0,996	0,997	0,998
% de variação explicada	99,35	99,59	99,68
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	3,52	5,58	7,19
Modelos matemáticos codificados para os fluidos preparados com citrato de potássio			
$VA \text{ (cP)} = 52,17* + 2,17*V + 4,82*R + 0,32L + 4,17*S + 0,016VR + 1,39*VL - 0,64*VS + 1,86RL - 0,36RS + 2,02*LS + 0,24VRL - 0,11VRS + 0,39VLS - 0,64RLS$			
$VP \text{ (cP)} = 27,31* + 0,19*V + 3,00*R + 0,69*L + 1,81*S - 0,50VR - 0,19VL - 0,31VS + 0,50*RL + 0,38RS + 0,94*LS + 0,13VRL - 0,13VRS + 0,19VLS - 0,625*RLS$			
$VF \text{ (mL)} = 7,56* - 0,78*V - 0,63*R - 0,425*L - 1,33*S + 0,58*VR - 0,13VL + 0,275*VS - 0,68*RL - 0,48*RS - 0,38*LS + 0,13VRL + 0,23VRS + 0,63*VLS + 0,38*RLS$			
*estatisticamente significativa com 95,0% de confiabilidade.			

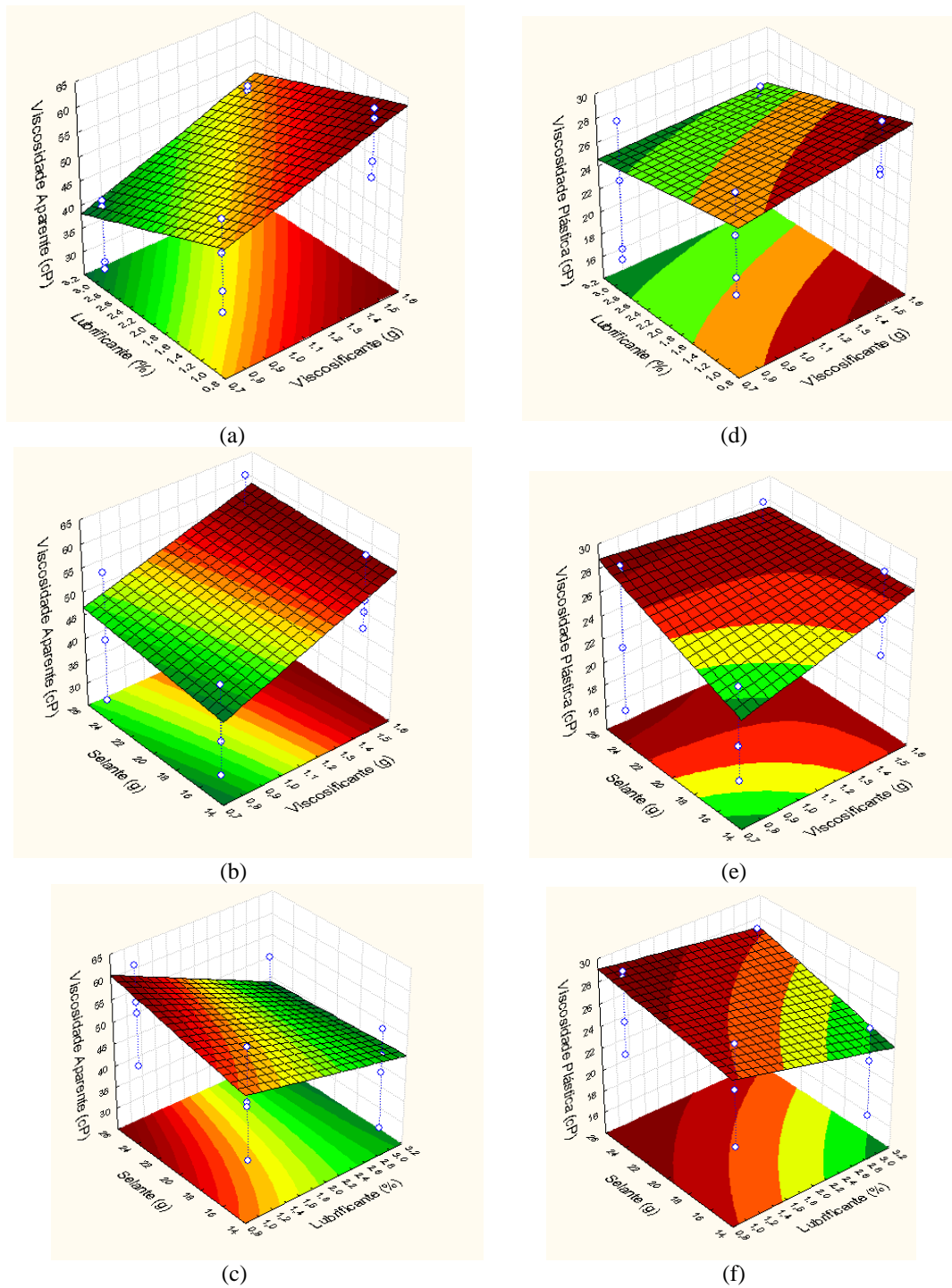


Figura 3: Superfícies de resposta para a VA (a), (b) e (c); VP (d), (e) e (f), fixando-se o redutor de filtrado em 3,5 g/ 350 mL de água (+1) para os fluidos preparados com o acetato de potássio como inibidor

Pela análise da ANOVA apresentada nas Tabelas 3 e 4, observa-se que os modelos descrevem as respostas VA, VP e VF, em função das variáveis estudadas, com parâmetros estatisticamente significativos. A porcentagem de variação

explicada para os fluidos preparados com acetato de potássio como inibidor é de 99,5 %, 99,7% e 98,7 % para as respostas VA, VP e VF, respectivamente. Para os fluidos preparados

com citrato de potássio como inibidor, os valores são 99,3%, 99,6% e 99,7% para as mesmas propriedades.

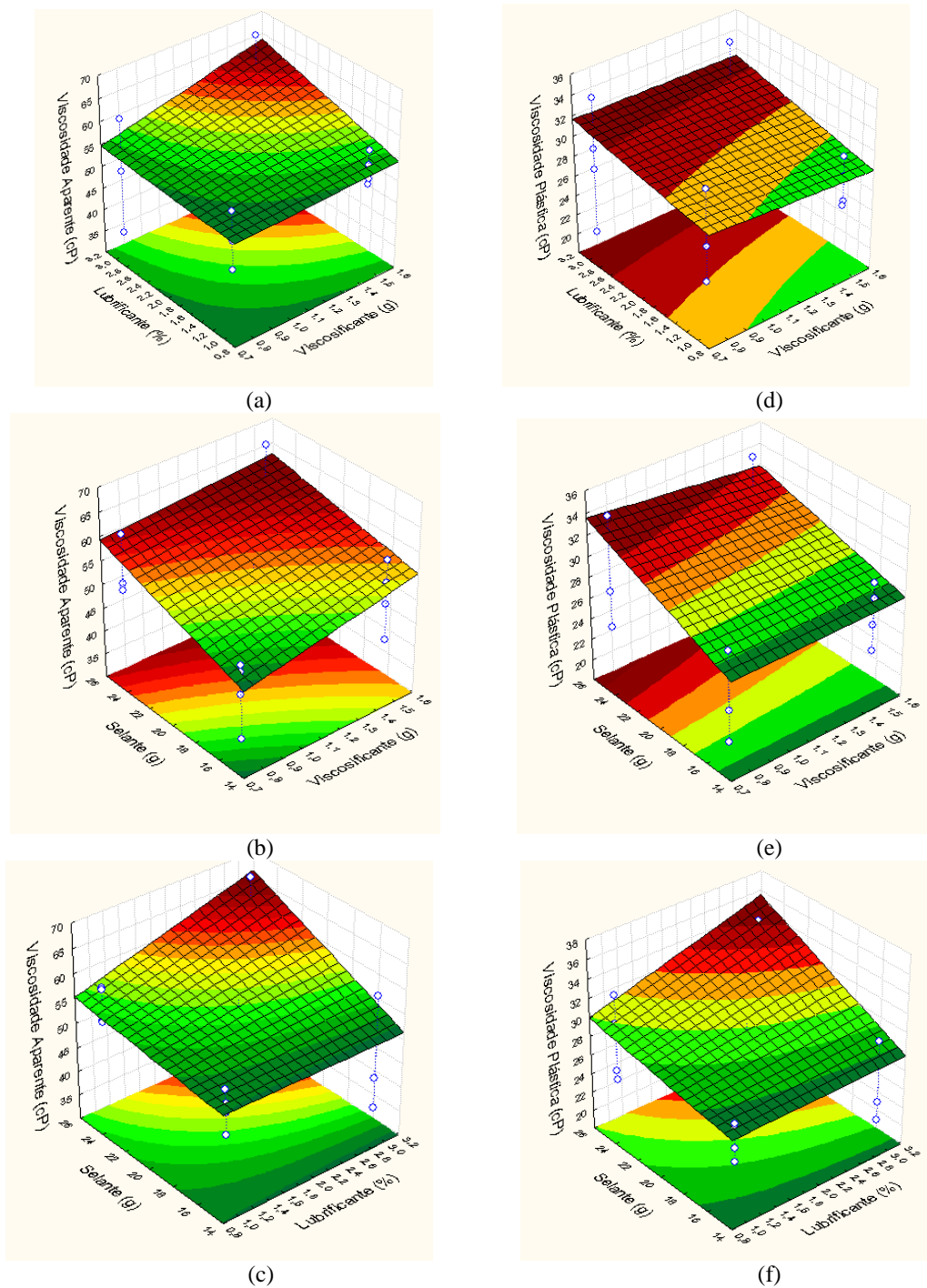


Figura 4: Superfícies de resposta para a VA (a), (b) e (c); VP (d), (e) e (f), fixando-se o redutor de filtrado em 3,5 g/ 350 mL de água (+1) para os fluidos preparados com o citrato de potássio como inibidor

Pela análise da Tabela 3, observou-se que os modelos matemáticos obtidos para a VA, VP e VF dos fluidos preparados com o acetato de potássio são estatisticamente significativos, pois, a razão entre o teste  $F_{\text{calculado}}$  e o teste  $F_{\text{tabelado}}$ , foi superior a 1 para todas as propriedades avaliadas. Além disso, para as propriedades reológicas, ou seja, VA e VP foram obtidos modelos preditivos, uma vez que as razões entre o teste  $F_{\text{calculado}}$  e o teste  $F_{\text{tabelado}}$  apresentaram valores superiores a 5.

Por meio da análise da Tabela 4, observou-se que os modelos matemáticos obtidos para a VA, VP e VF dos fluidos preparados com o Inibidor II são estatisticamente significativos e preditivos para a viscosidade plástica e para o volume de filtrado, pois, para estas propriedades a razão entre o teste  $F_{\text{calculado}}$  e o teste  $F_{\text{tabelado}}$  foi superior a 5.

Objetivando encontrar as faixas das variáveis em estudo que mostrem uma tendência de melhores valores de propriedades reológicas foram obtidas as superfícies das Figuras 3 e 4, que mostram os efeitos das variáveis de entrada, viscosificante, lubrificante e selante, fixando-se a variável redutor de filtrado no nível +1 (3,5 g/350mL de água).

As Figuras 3 (a) e 3 (d) e as Figuras 4 (a) e 4 (d), mostram o efeito do lubrificante e do viscosificante, com a concentração do selante fixa no ponto central (20 g/ 350 mL de água). Observou-se maiores valores de VA e VP nas formulações com maior concentração de lubrificante e com a concentração de viscosificante elevada, obteve-se menores valores de VA e VP para os fluidos preparados com o Inibidor II. Os fluidos preparados com o Inibidor I apresentaram

comportamento contrário, os maiores valores de VA e VP para esses foram encontrados para menores concentrações de lubrificante.

Nas Figuras 3 (b) e 3 (e) e 4 (b) e 4 (e) estão representados o efeito do viscosificante e do selante, com a concentração do lubrificante fixa no ponto central (0). Observou-se comportamento semelhante ao observado anteriormente, ou seja, o aumento nas concentrações de selante e viscosificante promoveu maiores valores de VA e VP, para os fluidos inibidos com citrato de potássio, e menores valores de VA e VP para fluidos inibidos com acetato de potássio.

O efeito do lubrificante e do selante, tendo o viscosificante fixo no ponto central (1,125 g) é mostrado nas Figuras 3 (c) e (f) e 4 (c) e (f). Observou-se que para os fluidos contendo citrato de potássio o comportamento se repete, ou seja, o aumento no teor dos aditivos leva a um aumento nos valores das propriedades reológicas. Para os fluidos com acetato de potássio o aumento do teor de lubrificante leva a uma queda nos valores de VA e VP.

As Figuras 5 e 6 foram obtidas para encontrar as faixas das variáveis em estudo que minimizem o volume de filtrado. Estas superfícies de resposta mostram os efeitos das variáveis viscosificante, lubrificante e selante, fixando-se a variável redutor de filtrado (variável de maior influência) no nível +1 (3,5 g).

A partir da análise das Figuras 5 e 6 pode-se indicar que a elevação no teor dos aditivos tende a uma diminuição nos valores de volume de filtrado

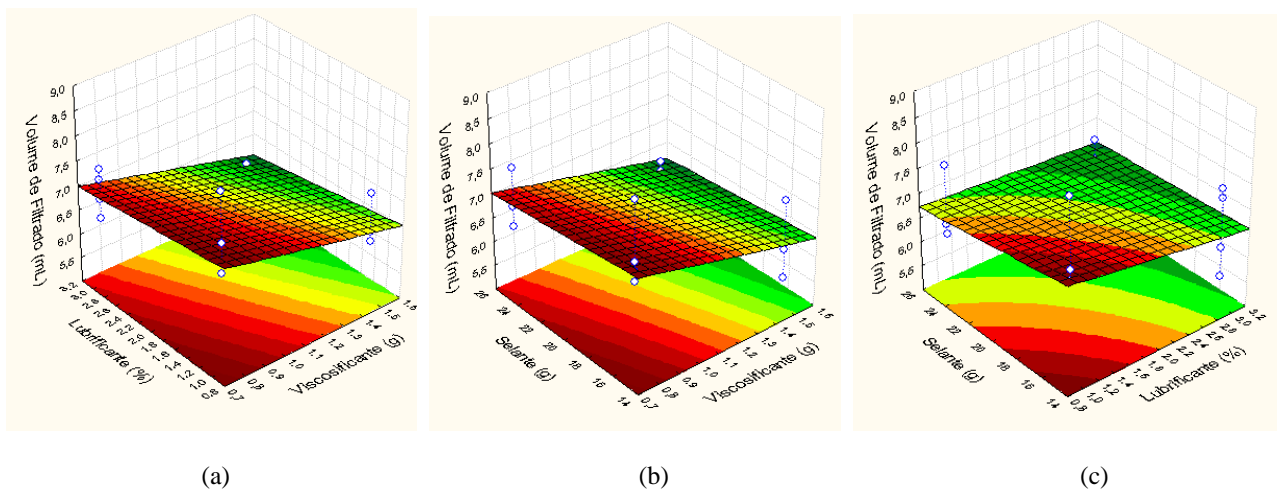


Figura 5: Superfícies de resposta para o VF, fixando-se o redutor de filtrado em 3,5 g/350mL de água (+1), para os fluidos preparados com acetato de potássio como inibidor



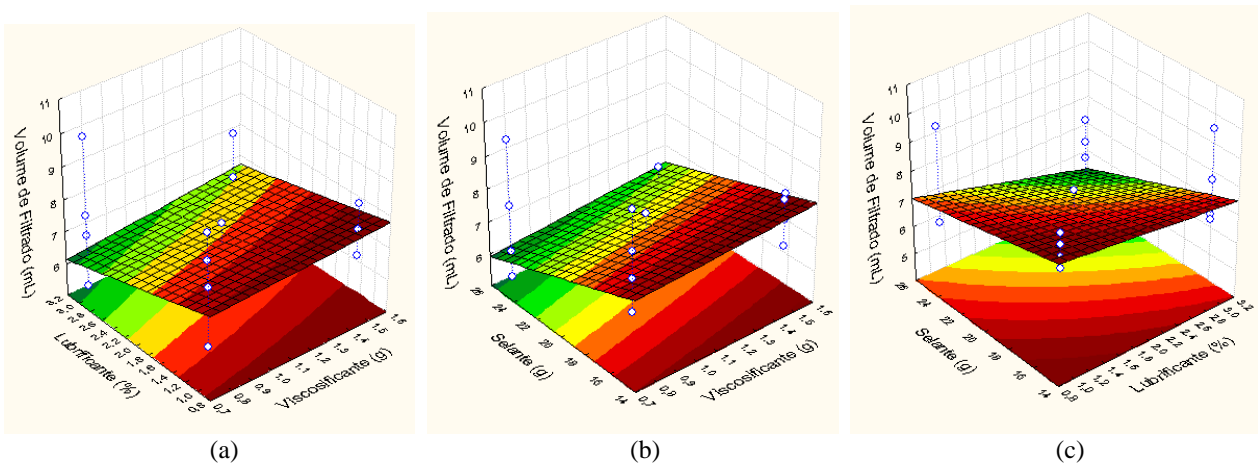


Figura 6: Superfícies de resposta para o VF, fixando-se o redutor de filtrado em 3,5 g/ 350 mL de água (+1) para os fluidos preparados com citrato de potássio como inibidor

#### 4. Conclusões

Com o objetivo de estudar a influência dos aditivos viscosificante, redutor de filtrado, lubrificante e selante no comportamento reológico e de filtração de fluidos inibidos com acetato e citrato de potássio (isentos de cloro), e fazer uso do planejamento fatorial para avaliar o efeito das composições obtidas na reologia e propriedades de filtração dos fluidos, conclui-se que:

- os fluidos F2B, F3B, F4B, F6B, F8B, F10B, F11B, F12B, F16B, F7C, F8C, F10C, F11C, F12, F14C e F16C apresentaram as propriedades reológicas e de filtração dentro da faixa estabelecida pelo padrão utilizado ou com comportamento superior;
- as quantidades de Inibidores I e II (16g/ 350mL de água) aqui empregadas foram inferiores as empregadas em fluidos a base de cloro (cerca de 30 g/ 350 mL de água);
- o estudo dos fluidos por meio das superfícies de resposta apontou que quanto maior a concentração de aditivos (viscosificante, redutor de filtrado, lubrificante e selante) nos fluidos maiores são os valores de VA e VP e menores os valores de VF para os fluidos inibidos com citrato de potássio, e que o aumento do teor de lubrificante prejudica as propriedades reológicas dos fluidos preparados com acetato de potássio.

#### Referências

- [1] LOMBA, R. F. T.; SÁ, H. M. S.; PEREZ, R. C. Desenvolvimento de metodologia de testes para avaliação da interação folhelho-fluido de perfuração, *Organic Geochemistry*, PETROBRAS, 2000.
- [2] CORRÊA, C. C.; NASCIMENTO, R. S. V.; MARQUES de SÁ, C. H., Estudo das interações químicas e mecânicas entre rocha-fluido de perfuração que contribuem para a instabilidade dos poços de petróleo. *Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, 2004, Salvador. ANP, 2004. 7p.
- [3] SERRA, A.C.S., *A Influência de Aditivos de Lama de Perfuração Sobre as Propriedades Geoquímicas de Óleos*. Rio de Janeiro: Tese de doutorado-UFRJ. 2003. 163p.
- [4] FARIAS, K. V., *Influência de Umectante Aniônico na Reologia e Espessura de Reboco de Fluidos Hidroargilosos*, Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Química, CCT/UFCG, Campina Grande, 2006.
- [5] ENGLAND, A.A., Chevron Services Co., *The Characterization of a Drilling Fluid Additive*, SPE/IADC Drilling Conference, 28 February-2 March, Dallas, Texas Copyright 1988.
- [6] BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E., *Planejamento e otimização de experimentos*. Campinas, SP, Editora da Unicamp, 1996.
- [7] LUCENA, D. V. et al., Aplicação do planejamento experimental no estudo de fluidos inibidos isentos de cloro- Parte I, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.5.3, 2010.
- [8] FARIAS, K. V. et al., Desenvolvimento de fluidos aquosos para aplicação em perfuração de poços de petróleo – Parte I, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.4.1, 2009.
- [9] STATSOFT, Inc. STATISTICA for Windows, version 5.0, 2000, 1 CD.