

## **Desenvolvimento de compostos bentonita/polímeros para aplicação em fluidos de perfuração – Parte 2**

AMORIM, L.V.<sup>II</sup>; BARBOSA, M.I.R.<sup>I</sup>; FERREIRA, H.C.<sup>III</sup>

<sup>I</sup>DPQ/FEQ/UNICAMP

Cidade Universitária Zeferino Vaz, Caixa Postal 6066, Campinas, SP

e-mail: [ingridroch@gmail.com](mailto:ingridroch@gmail.com)

<sup>II</sup>Programa de Recursos Humanos (PRH-25) da Agência Nacional do Petróleo ANP – UFCCG

Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB. CEP: 58.109-970

e-mail: [luciana@cct.ufcg.edu.br](mailto:luciana@cct.ufcg.edu.br)

<sup>III</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – UFCCG

e-mail: [heber@dema.ufcg.edu.br](mailto:heber@dema.ufcg.edu.br)

---

### **RESUMO**

Os depósitos de bentonita da Paraíba constituem um dos mais importantes do país. Essas argilas são empregadas, dentre outras aplicações, como viscosificante em fluidos de perfuração. Contudo, atualmente, alguns tipos de argila encontradas nesses depósitos não apresentam os parâmetros exigidos pela PETROBRAS e a aditivação polimérica surge como alternativa para adequar essas propriedades. Sendo assim, este trabalho objetiva o desenvolvimento de compostos bentonita/polímeros para uso em fluidos de perfuração à base de água. Para tanto, foram estudadas uma amostra de argila bentonítica sódica industrializada da Paraíba, Brasil, duas amostras de carboximetilcelulose (CMC) e uma amostra de poliácridamida (PAM). O dimensionamento do composto polimérico (misturas de dois e três polímeros) foi elaborado por meio do planejamento experimental, sendo estudadas dez diferentes composições. Os compostos poliméricos, em três diferentes concentrações, foram misturados à argila seca. Em seguida, foram preparados os fluidos de perfuração e determinadas as viscosidades aparente e plástica, o limite de escoamento e o volume de filtrado de acordo com as normas da PETROBRAS. Os resultados das análises mostraram que a aditivação da bentonita com o composto polimérico permite obter uma mistura com melhores propriedades reológicas e de filtração. Finalmente, esse procedimento permite o uso de argilas bentoníticas de qualidade inferior em fluidos de perfuração de poços de petróleo.

**Palavras-chave:** Fluidos hidroargilosos; compostos poliméricos; reologia.

---

## **Bentonite/polymer compound development to application in drilling fluids – Part 2**

### **ABSTRACT**

The most important bentonite clays sources are placed at Paraíba state, Brazil. These clays are largely used as viscosity agent in drilling fluids. Unfortunately for some kinds of available clay their parameters are far from PETROBRAS standard. Treatments based on polymeric addition consist on method to improve such parameters. In order to improve these parameters, this work proposes a methodology to develop bentonite/polymers compound for use in water based drilling fluids. Besides the raw clay others samples have been evaluated: i) one sample of a commercial bentonite; ii) two samples of carboximethyl cellulose (CMC) and iii) one sample of partially-hydrolyzed polyacrylamide (PAM). Based on experimental planning, ten compositions of polymeric compound (mix of two and three polymers) have been evaluated. For each composition of polymeric compound three different concentrations was added to clay. All experimental fluids have been evaluated accordingly with PETROBRAS standard to determine apparent and plastic viscosity, yield stress, and water loss. The results of the analysis show that by polymeric treatment of bentonite clay with compound polymeric allow to obtain a mixture with improved rheologic properties. Finally, this procedure allows to use low quality bentonite clays for drilling fluids application.

**Key words:** Water based drilling fluids; polymeric compounds; rheology.

## 1 INTRODUÇÃO

Os depósitos de bentonitas localizados na Paraíba, Município de Boa Vista, durante décadas foram considerados os maiores do Brasil. Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, as reservas (medida+indicada) de bentonita em 2004 no Brasil totalizaram aproximadamente 47 milhões de toneladas, das quais 25,3% das reservas medidas encontram-se no Estado da Paraíba, sendo então o terceiro maior depósito de bentonita do país [1]. Estas argilas vêm sendo exploradas há cerca de 40 anos e, hoje, muitas das variedades, principalmente as consideradas de melhor qualidade, não são mais encontradas. Como conseqüência, os produtos industrializados apresentam queda nas suas propriedades e a maioria não atende as especificações da PETROBRAS [2] para uso em fluidos de perfuração. Esse fato contribui fortemente para a prática da aditivação polimérica dos fluidos com o objetivo de melhorar as suas propriedades reológicas, garantindo, assim, o sucesso da perfuração.

Os fluidos de perfuração podem ser conceituados como composições frequentemente líquidas destinadas a auxiliar o processo de perfuração de poços de petróleo, poços tubulares e operações de sondagem [3], sendo indispensáveis durante essas atividades, por desempenharem uma série de funções essenciais, como: resfriar e lubrificar a broca de perfuração, limpar o fundo do poço dos detritos gerados durante a perfuração e transportá-los para a superfície, estabilizar o poço e permitir uma adequada avaliação da formação geológica [4].

Os fluidos de perfuração base água são formados, geralmente, pela mistura de argilas e vários tipos de polímeros (naturais e/ou sintéticos), introduzidos de acordo com as condições da formação geológica onde o poço está sendo perfurado [3]. A principal função da água em fluidos de perfuração é oferecer o meio de dispersão para os materiais coloidais que controlam as viscosidades, limite de escoamento, forças géis e filtrados em valores adequados para conferir ao fluido uma boa taxa de remoção dos sólidos perfurados e capacidade de estabilização das paredes do poço [5]. Cada tipo de polímero possui características diferentes visando adequar todas as propriedades do fluido às condições de operação da perfuração do poço, visto que, cada tipo de aditivo (polímero) atende a propriedades específicas, mas não a todas as propriedades necessárias. Esta aditivação do fluido ocorre durante a sua preparação nos tanques de lama ou mesmo durante a operação de perfuração quando é detectada a necessidade de adequação/melhoria das suas propriedades. Dentre os inúmeros aditivos utilizados, destacam-se os aditivos orgânicos celulósicos e não-celulósicos, a exemplo do carboximetilcelulose (CMC) e da poliacrilamida parcialmente hidrolisada (PAM) que atuam, dependendo das suas características, como viscosificante, redutor de filtrado, lubrificante, inibidor e/ou encapsulador de argilas hidratáveis.

Por esta razão, dentre as diversas técnicas de análise e planejamento experimentais, o uso do delineamento de misturas vem crescendo continuamente, despertando interesse nas universidades e indústrias [6]. Nesse tipo de experimento os componentes são misturados, em quaisquer proporções, e uma resposta é obtida para cada conjunto de componentes. Assume-se, geralmente, que esta resposta é função somente das proporções, como por exemplo, massa e volume dos componentes presentes na mistura e não da quantidade total da mistura [7].

O propósito geral em um experimento com misturas é tornar possível a estimativa das propriedades de um sistema multicomponente, a partir de um número limitado de observações obtidas de combinações pré-selecionadas dos componentes na tentativa de se determinar quais delas, de alguma maneira, otimizam a resposta [7] e também verificar como as respostas ou propriedades de interesse são afetadas pela variação das proporções dos componentes da mistura. Nesse caso, as proporções dos componentes não são independentes, pois sua soma deve totalizar 100% [8].

Com os resultados obtidos no delineamento de misturas, podem-se utilizar polinômios simplificados para relacionar a propriedade de interesse às diversas proporções utilizadas. Isso possibilita a previsão quantitativa das propriedades de qualquer formulação no sistema estudado, realizando somente alguns experimentos [9].

Em estudo apresentado por Barbosa e colaboradores é possível observar que a utilização de composições binárias de polímeros, na aditivação de argilas bentoníticas melhora as propriedades da argila, possibilitando sua utilização no preparo de fluidos de perfuração de poços de petróleo [10]. Esse fato evidencia, portanto, a viabilidade de se obter um composto formado por duas ou mais matérias-primas de características diferentes, que melhore a qualidade da bentonita, obtendo um produto com propriedades adequadas para uso no preparo de fluidos de perfuração de poços. Sendo assim, este trabalho visa dar continuidade ao estudo acima mencionado e objetiva o desenvolvimento de compostos bentonita/polímeros para aplicação em fluidos de perfuração.

## 2 MATERIAIS

### 2.1 Argila Bentonítica

Foi estudada uma amostra de argila bentonítica sódica industrializada, fornecida pela Empresa Bentonit União Nordeste Ltda. – BUN, situada na Avenida Assis Chateaubriand, 3877, Campina Grande, PB.

### 2.2 Aditivos Poliméricos

Foram estudadas três amostras de aditivos poliméricos no estado sólido (na forma de pó): dois aditivos à base de celulose, conhecidos por carboximetilcelulose, sendo uma amostra de baixa viscosidade (CMC BV) e uma amostra de alta viscosidade (CMC AV), e uma amostra de aditivo não-celulósico, a poliácridamida parcialmente hidrolisada (PAM). As amostras de CMC foram fornecidas pela Empresa Denver-Cotia Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda., localizada na Estrada Fernando Nobre, 600-A, Rio Cotia, Cotia, SP, e a amostra de PAM foi fornecida pela Empresa System Mud Indústria e Comércio Ltda., localizada na Rua Otávio Muller, 204, Carvalho, Itajaí, SC.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Dimensionamento 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 [8]. 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 1.

**Tabela 1:** Matriz de planejamento de composições de polímeros

Composições	Proporções dos polímeros no composto polimérico		
	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

### 3.2 Preparação dos Fluidos de Perfuração

Os fluidos de perfuração foram preparados com concentração de 4,86% em massa de argila (24,3g de argila em 500 mL de água deionizada) de acordo com a norma N-2605 da PETROBRAS [11].

A mesma metodologia foi seguida para os fluidos aditivados com o composto polimérico nas composições apresentadas na Tabela 1. Nesse caso, as argilas, na concentração supracitada, foram misturadas manualmente com o composto polimérico em pó nas concentrações de 0,05 g, 0,1 g e 0,15 g/24,3 g de argila seca. As pesagens foram realizadas em balança com precisão de 4 casas decimais. No texto essas concentrações serão tratadas por 0,05, 0,1, e 0,15 g.

### 3.3 Estudo Reológico

Foram determinadas 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 [11].

### 3.4 Estudo Estatístico

Na representação do ajuste de valores de resposta (VA, VP, VF e LE), foram utilizados os modelos linear (Equação 1), quadrático (Equação 2) e cúbico especial (Equação 3), para a escolha de modelos estatisticamente significativos:

$$Y(x_1, x_2, x_3) = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (1)$$

$$Y(x_1, x_2, x_3) = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (2)$$

$$Y(x_1, x_2, x_3) = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3)$$

sendo Y a estimativa das respostas VA, VP, VF e LE, b o coeficiente da equação determinado conforme Cornell e x a proporção dos componentes na mistura [8].

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 e a Figura 1 apresentam o comportamento reológico e de filtração dos fluidos preparados com a argila com e sem aditivação polimérica. Os resultados mostram que a argila sem aditivação não é adequada para uso na preparação de fluidos de perfuração de poços de petróleo por não apresentar valor de VA de acordo com o mínimo especificado pela PETROBRAS [2].

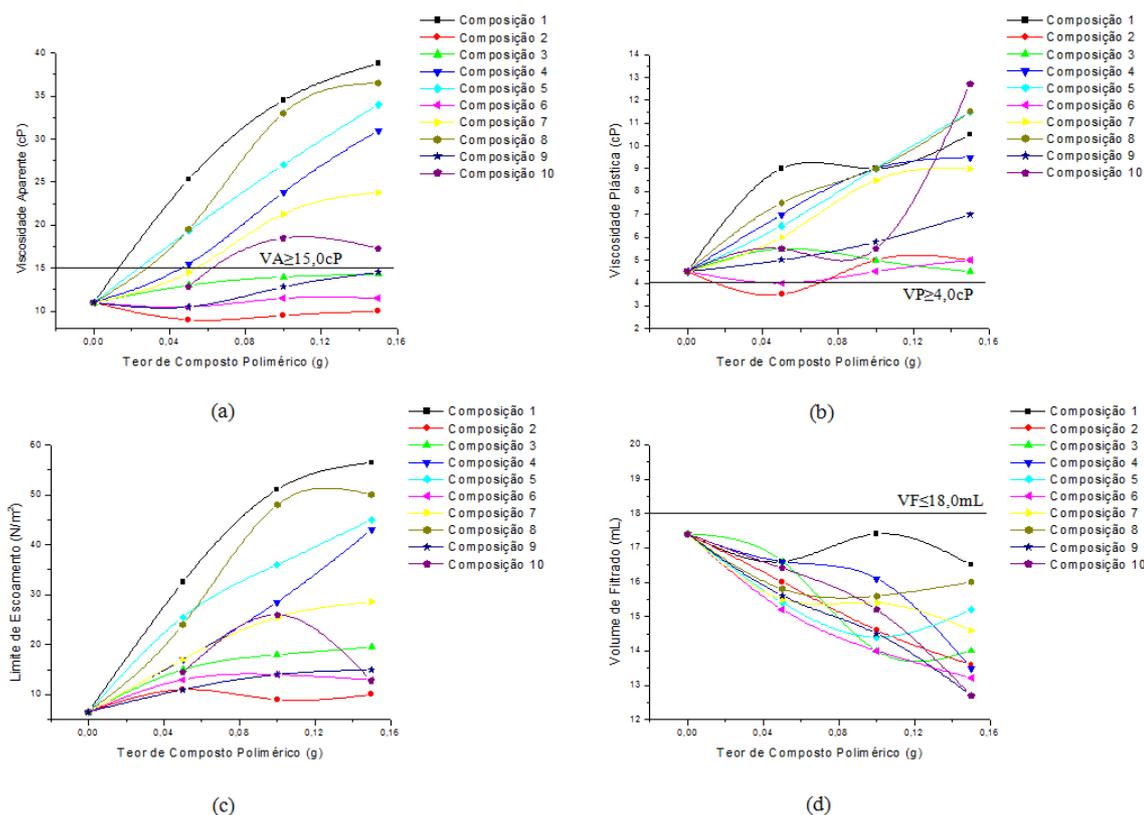
Uma análise geral da Tabela 2 e Figura 1 mostra que as composições 1 (100% de PAM), 4 (50% de PAM + 50% de CMC BV), 5 (50% de PAM + 50% de CMC AV), 7 (33,33% de PAM + 33,33% de CMC BV + 33,33% de CMC AV), 8 (66,66% de PAM + 16,66% de CMC BV + 16,66% de CMC AV) e 10 (16,66% de PAM + 16,66% de CMC BV + 66,66% de CMC AV) apresentam os melhores resultados. Dentre elas, as composições 4, 7 e 10 evidenciam a interação entre os polímeros que compõem o composto polimérico, com resultados satisfatórios que atendem as especificações da PETROBRAS para fluidos de perfuração à base de água [2], enquanto que as composições 1, 5 e 8, embora apresentem resultados dentro das especificações da PETROBRAS [2], conduzem o sistema a um estado de maior floculação, por apresentarem uma maior quantidade de PAM. Os altos valores de LE obtidos com estes fluidos resultam do elevado teor de sólidos presentes em sua composição, visto que o LE depende da VP dos fluidos e que esta, por sua vez, é uma medida da fricção resultante do choque entre as partículas e, portanto, quanto maior o teor de sólidos, maior a tensão cisalhante necessária para que este inicie o escoamento.

Com a concentração de 0,05 g da composição 4, 0,10 g da composição 7 e 0,15 g da composição 10, consegue-se obter um fluido que atende a todas as especificações [2]. O comportamento observado por estes fluidos evidencia a interação entre os três aditivos que compõem a mistura, confirmando as funções para as quais cada tipo de aditivo é indicado. Com 0,15 g da composição 10, incorporada à argila, se obtém um fluido que atende a todas as propriedades especificadas pela PETROBRAS [2] para uso na perfuração de poços.

Os resultados experimentais (Tabela 2) foram utilizados para calcular, iterativamente, até serem obtidos modelos estatisticamente significativos, os coeficientes das equações de regressão de acordo com os modelos linear, quadrático e cúbico especial, correlacionando as proporções de polímeros presentes no composto polimérico com VA, VP, LE e VF. Os modelos matemáticos (estatisticamente significativos), para as concentrações estudadas do composto polimérico, correlacionando os valores de VA, VP, LE e VF com as proporções dos polímeros, são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 2:** Comportamento reológico e de filtração dos fluidos preparados com a argila com e sem o composto polimérico

Teor de composto polimérico (g)	Composição	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)	LE (N/m <sup>2</sup> )
----	---	11,0	4,5	17,4	6,5
0,05	1	25,3	9,0	16,6	16,3
	2	9,0	3,5	16,0	5,5
	3	13,0	5,5	16,6	7,5
	<b>4</b>	<b>15,5</b>	<b>7,0</b>	<b>16,6</b>	<b>8,5</b>
	<b>5</b>	<b>19,3</b>	<b>6,5</b>	<b>15,4</b>	12,8
	6	10,5	4,0	15,2	6,5
	7	14,5	6,0	15,5	8,5
	<b>8</b>	<b>19,5</b>	<b>7,5</b>	<b>15,8</b>	12,0
	9	10,5	5,0	15,6	5,5
	10	12,8	5,5	16,4	7,3
0,1	1	34,5	9,0	17,4	25,5
	2	9,5	5,0	14,6	4,5
	3	14,0	5,0	14,0	9,0
	<b>4</b>	<b>23,8</b>	<b>9,0</b>	<b>16,1</b>	14,8
	5	27,0	9,0	14,4	18,0
	6	11,5	4,5	14,0	7,0
	7	<b>21,3</b>	<b>8,5</b>	<b>15,4</b>	<b>12,8</b>
	8	33,0	9,0	15,6	24,0
	9	12,8	5,8	14,5	7,0
	<b>10</b>	<b>18,5</b>	<b>5,5</b>	<b>15,2</b>	13,0
0,15	1	38,8	10,5	16,5	28,3
	2	10,0	5,0	13,6	5,0
	3	14,3	4,5	14,0	9,8
	4	31,0	9,5	13,5	21,5
	5	34,0	11,5	15,2	22,5
	6	11,5	5,0	13,2	6,5
	<b>7</b>	<b>23,8</b>	<b>9,0</b>	<b>14,6</b>	14,8
	8	36,5	11,5	16,0	25,0
	9	14,5	7,0	12,7	7,5
	<b>10</b>	<b>17,3</b>	<b>7,5</b>	<b>12,7</b>	<b>9,8</b>
<i>Especificações da PETROBRAS [2]</i>		$\geq 15,0$	$\geq 4,0$	$\leq 18,0$	$\leq 1,5 \times VP$



**Figura 1:** Comportamento reológico e de filtração dos fluidos preparados com a argila aditivada com as composições poliméricas (a) VA, (b) VP, (c) LE e (d) VF.

Analisando os termos estatisticamente significativos dos modelos matemáticos apresentados na Tabela 3, observa-se que as frações de polímeros possuem efeito sinérgico nos valores de VA, VP, VF e LE. Esse efeito pode ser confirmado pelos dados apresentados na Tabela 2, na qual se percebe a influência de cada tipo de aditivo nas propriedades. É importante ressaltar que esses resultados são significativos ao nível de 95% de confiança.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os gráficos comparativos entre os resultados preditos pelos modelos, apresentados na Tabela 3, e os resultados obtidos experimentalmente para as concentrações de composto poliméricos estudadas. Os gráficos apresentados nas Figuras 2, 3 e 4 mostram que os experimentos realizados de acordo com a metodologia de modelagem de misturas proposta por Barros Neto e colaboradores [7], de maneira geral, ajusta-se aos modelos matemáticos obtidos para cada variável, com resultados experimentais bem próximos do esperado.

Para os fluidos preparados com a argila aditivada com o composto polimérico se observa, de modo geral, melhor comportamento reológico e menor perda por filtração, quando comparado aos resultados do fluido preparado com a argila sem aditivação. Isto acontece devido a hidratação e alongamento das cadeias poliméricas, responsável pelo aumento da viscosidade do sistema e redução no VF. Quando se tem a presença de argilas bentoníticas associada a polímeros de cadeia curta, 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, neutralizando-as e fazendo com que ocorra uma repulsão mútua entre elas, tornando o sistema disperso, defloculado ou estável [3]. Polímeros de cadeia longa, ou muito longa, formam estruturas tridimensionais com as partículas de argila, podendo tornar o sistema floculado. Esse comportamento também pode ser explicado através dos mecanismos de estabilização eletrostática e eletroestérica. A estabilização eletrostática ocorre como consequência da repulsão entre as cadeias do polímero ligadas às partículas de argila, enquanto que, a estabilização eletroestérica ocorre como consequência do aumento da distância mínima de separação entre as partículas de argila que estão envolvidas pelas cadeias poliméricas e pelas interações de caráter elétrico repulsivo entre as cadeias do polímero [12].

**Tabela 3:** Modelos matemáticos codificados para as propriedades reológicas, VA e VP, e VF dos fluidos preparados com a argila aditivada com as diferentes concentrações do composto polimérico

<b>Fluidos preparados com a argila aditivada com 0,05g do composto polimérico</b>	
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	$= 16,51P_1^* + 15,93P_2^* + 16,8P_3^* + 1,08P_1P_2^* - 4,37P_1P_3^* - 3,93P_2P_3^*$
<b>Fluidos preparados com a argila aditivada com 0,10g do composto polimérico</b>	
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	$= 17,26P_1^* + 14,46P_2^* + 14,25P_3^* - 0,16P_1P_2^* - 4,96P_2P_3^* - 0,98P_1P_3^* + 18,21P_1P_2P_3^*$
<b>Fluidos preparados com a argila aditivada com 0,15g do composto polimérico</b>	
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.

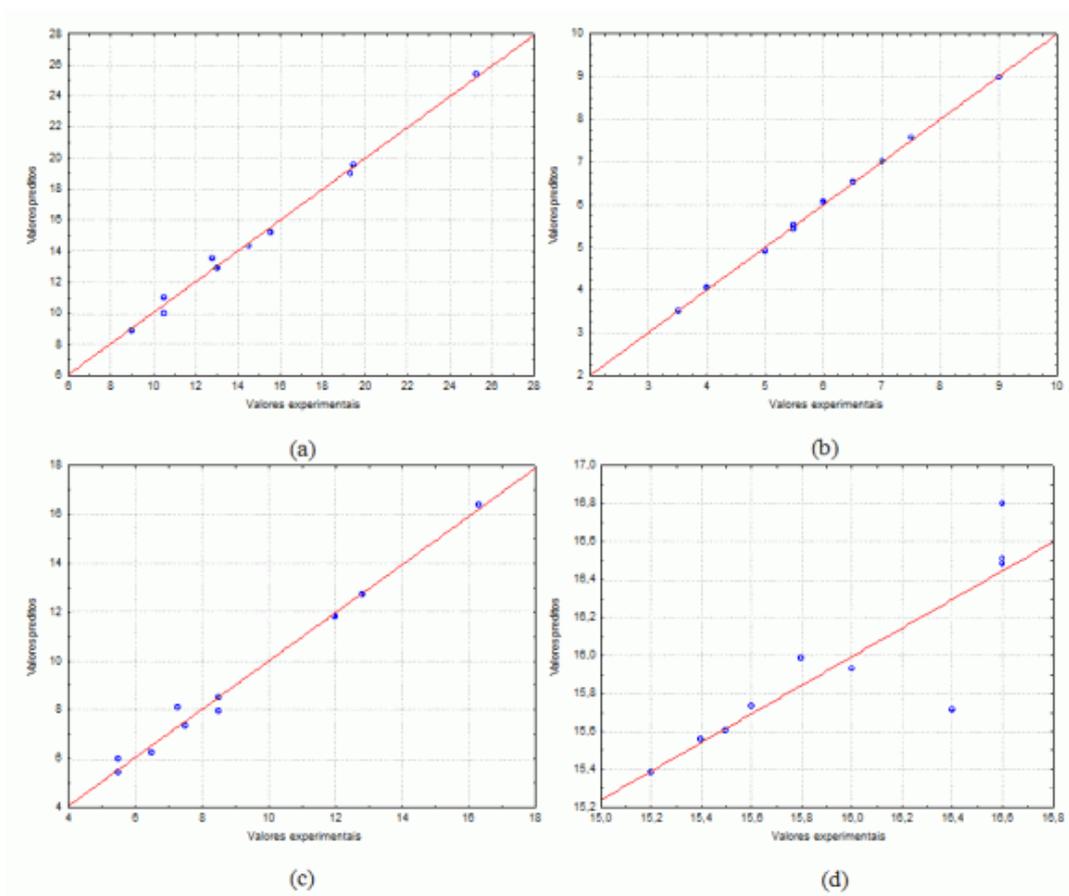
\* Estatisticamente significativos ao nível de 95,0 % de confiança.

Os fluidos preparados com a argila aditivada com a composição 1 (100% de PAM) conduz o sistema argila-água 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 a viscosificação dos fluidos. O mesmo acontece com os fluidos preparados com a argila aditivada com as composições 5 (50% de PAM + 50% de CMC AV, ambos de cadeia longa) e 8 (66,66% de PAM + 16,66% de CMC BV + 16,66% de CMC AV), 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 [13].

Os fluidos preparados com a argila aditivada com a composição 2 (100% de CMC BV) apresentam redução em VA e VF, comparado ao resultado obtido com o fluido preparado com a argila sem aditivo polimérico. Esse comportamento deve-se ao fato do CMC BV ser um polímero de cadeia curta, que possui como principal função reduzir as taxas de filtração [3]. Polímeros de cadeia curta agem geralmente como defloculantes, pois proporcionam neutralização de parte das cargas positivas das partículas de argila, uma a uma, recobrindo-as nas extremidades e aumentando a distância entre elas [14].

Por meio dos resultados, observa-se que a combinação de matérias-primas de características diferentes conduz a obtenção de composições adequadas à aditivação de bentonitas. Esse comportamento é evidenciado quando se compara os resultados obtidos com os fluidos preparados com a argila aditivada com a composição 1 (100% PAM) aos resultados dos fluidos preparados com a argila aditivada com as demais composições. Um exemplo é a presença do CMC BV (polímero de cadeia curta) que além de reduzir as perdas por filtração, reduz a ação viscosificante da PAM (cadeia muito longa), evitando, de maneira geral, que o sistema atinja um grau de floculação elevado.

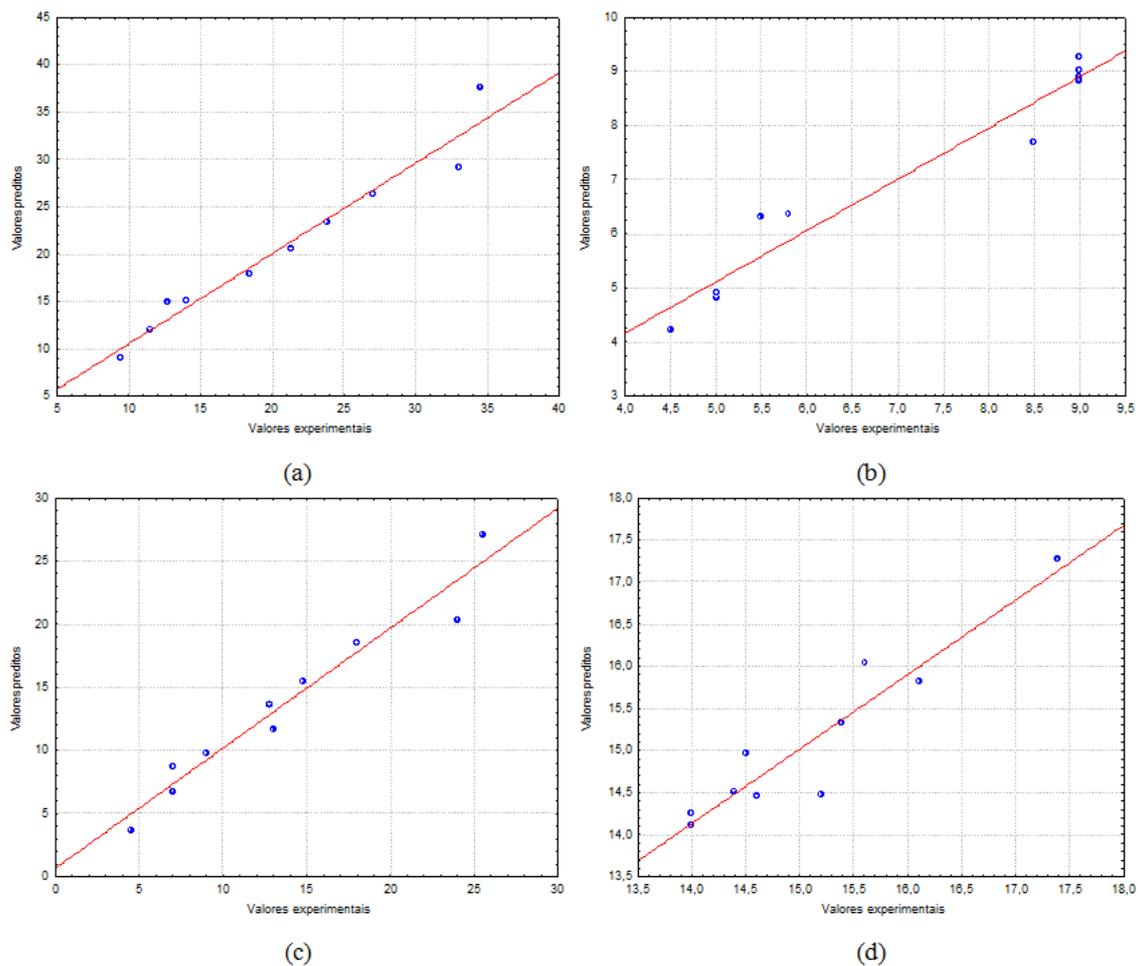
Em todas as equações de regressão obtidas para os modelos apresentados na Tabela 3 e analisando os gráficos das Figuras 2, 3 e 4, percebe-se a forte influência da PAM ( $P_1$ ) sobre as propriedades reológicas e de filtração dos fluidos. Contudo, os dados reológicos evidenciaram a ação de cada um dos aditivos e sua influência sobre as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e sobre o volume de filtrado (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.



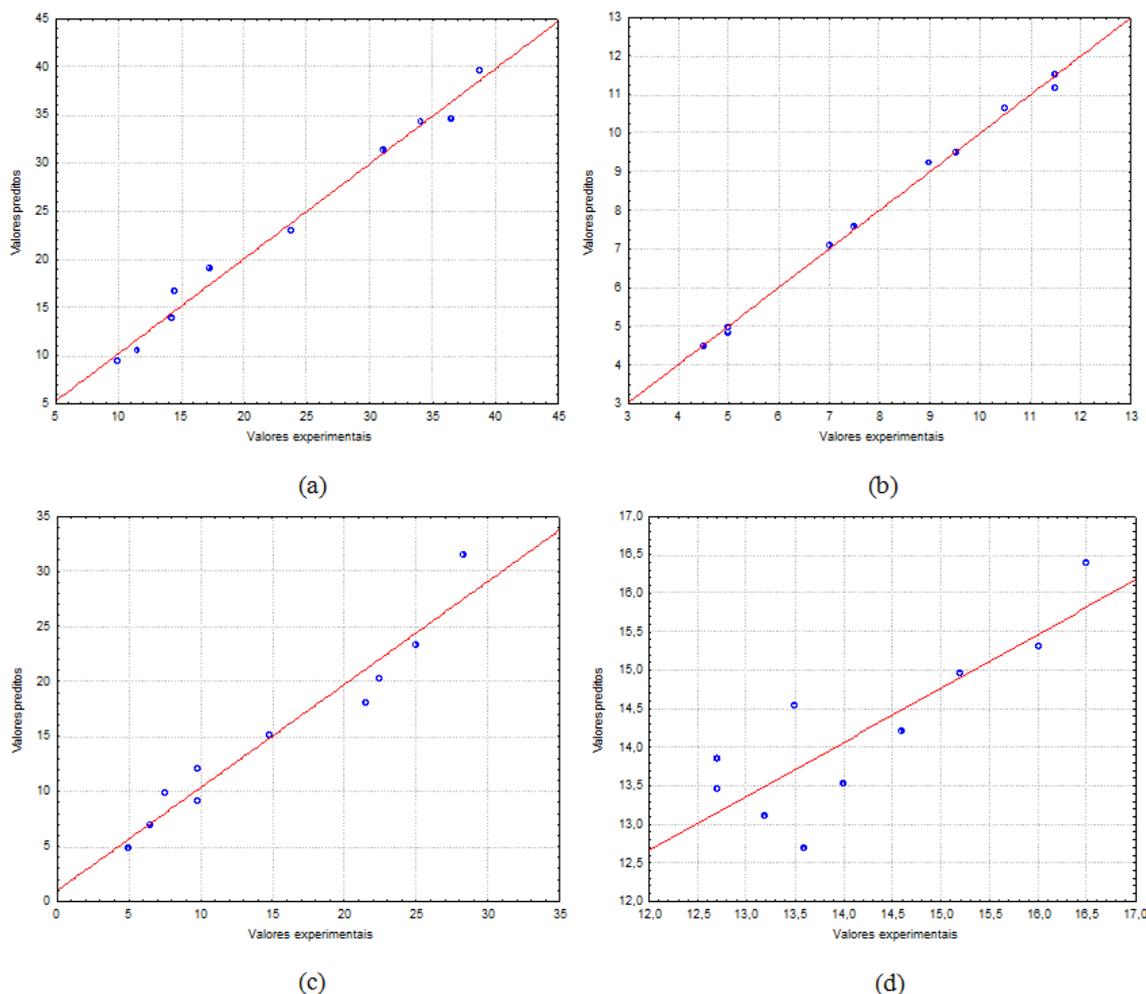
**Figura 2:** Gráficos comparativos entre os valores preditos pelos modelos e os valores experimentais para os fluidos preparados com a argila aditivada com 0,05g de composto polimérico para (a) VA, (b) VP, (c) LE e (d) VF.

Em resumo, os modelos matemáticos apresentados na Tabela 3 podem ser considerados como sendo estatisticamente significativos para descrever o comportamento das variáveis estudadas, em função das proporções de polímeros no composto polimérico.

Os resultados apresentados evidenciam, portanto, que a mistura de polímeros de diferentes características conduz a definição de composições adequadas à aditivação de bentonitas, fazendo com que essas possam ser utilizadas para a aplicação em fluidos de perfuração à base de água atendendo as propriedades especificadas pela PETROBRAS [2].



**Figura 3:** Gráficos comparativos entre os valores preditos pelos modelos e os valores experimentais para os fluidos preparados com a argila aditivada com 0,10g de composto polimérico para (a) VA, (b) VP, (c) LE e (d) VF.



**Figura 4:** Gráficos comparativos entre os valores preditos pelos modelos e os valores experimentais para os fluidos preparados com a argila aditivada com 0,15g de composto polimérico para (a) VA, (b) VP, (c) LE e (d) VF.

## 5 CONCLUSÃO

Com os resultados deste trabalho conclui-se que:

- i) a aditivação da bentonita com o composto polimérico nas composições 4 (50% de PAM + 50% de CMC BV), no teor de 0,05 g, 7 (33,33% de PAM + 33,33% de CMC BV + 33,33% de CMC AV), no teor de 0,1 g e 10 (16,66% de PAM + 16,66% de CMC BV + 66,66% de CMC AV) no teor de 0,15 g, melhora as propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração;
- ii) os modelos matemáticos, que descrevem o comportamento das propriedades VA,VP, LE e VF em função das proporções de polímeros no composto polimérico, são estatisticamente significativos e
- iii) a aditivação polimérica atribui às argilas bentoníticas provenientes de Boa Vista, PB consideradas de qualidade inferior uma nova aplicação, viabilizando, portanto, o desenvolvimento de compostos bentonita/polímeros para uso na perfuração de poços de petróleo.

## 6 AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional do Petróleo - ANP, ao MCT, à FINEP, ao CTBRASIL, ao CNPq/CTPetro e ao PRH-25 pelo apoio financeiro; às Empresas System Mud Indústria e Comércio Ltda. e Denver-Cotia Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. pelo fornecimento dos aditivos e ao LABDES pelo o uso de suas instalações e incentivo à pesquisa.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] OLIVEIRA, M.L., Bentonita. [www.dnppm.gov.br](http://www.dnppm.gov.br), Acesso em outubro de 2005.
- [2] PETROBRAS, *Argila ativada para fluido de perfuração à base de água na exploração e produção de petróleo*, Especificação, N-2604, 1998.
- [3] AMORIM, L.V., *Melhoria, proteção e recuperação da reologia de fluidos hidroargilosos para uso na perfuração de poços de petróleo*, Tese de D.Sc., CCT/UFMG, Campina Grande, 2003.
- [4] LUMMUS, J.L., AZAR, J.J., *Drilling fluids optimization a practical field approach*, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1986.
- [5] THOMAS, J.E., *Fundamentos de engenharia de petróleo*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, PETROBRAS, 2001.
- [6] ZAUBERAS, R.T., GOMES, P.L.S., DINIZ, C.A.R., BOSCHI, A.O., “Planejamento estatístico de experimentos aplicado ao desenvolvimento de formulações para revestimentos cerâmicos”, *Revista Cerâmica*, v. 50, pp. 33-37, 2004.
- [7] BARROS NETO, B., SCARMINIO, I.E., BRUNS, R.E., *Planejamento e otimização de experimentos*, 2ª edição, Editora Unicamp, São Paulo, 1996.
- [8] CORNELL, J.A., *Experiments with mixtures-designs, models, and the analysis of mixtures data*, 2nd edition, Wiley, New York, 1990.
- [9] SCHABBACH, L.M., OLIVEIRA, A.P.N., FREDEL, M.C., HOTZA, D., “Seven-component lead-free frit formulation”, *American Ceramic Society Bulletin*, v. 82, pp.47-50, 2003.
- [10] BARBOSA, M.I.R., AMORIM, L.V., BARBOZA, K.R.A., FERREIRA, H.C., “Desenvolvimento de compósitos bentonita/polímeros para aplicação em fluidos de perfuração – Parte 1”, *Revista Matéria*, v. 12, n. 2, pp. 367–372, 2007.
- [11] PETROBRAS, *Argila ativada para fluido de perfuração à base de água na exploração e produção de petróleo*, Método, N-2605, 1998a.
- [12] OLIVEIRA, I.R., STUART, A.R., PILEGGI, R.G., *et al.*, *Dispersão e Empacotamento de partículas, princípios e aplicações em processamento cerâmico*, Fazenda Arte Editorial, São Paulo, 2000.
- [13] HELLER, H., KEREN, R., “Anionic Polyacrylamide Polymers Effect on Rheological Behavior of Sodium-Montmorillonite Suspensions”, *Soil Science Society of American Journal*, 66, pp. 19–25, 2002.
- [14] PEREIRA, E., *Química dos Polímeros e Aplicações – Partes I, II, III e IV*, [www.systemmud.com.br](http://www.systemmud.com.br), Acesso em julho de 2002.