

# BENTONITAS ADITIVADAS COM POLÍMEROS PARA USO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO À BASE DE ÁGUA

Maria Ingrid Rocha Barbosa<sup>1</sup>; Luciana Viana Amorim<sup>2</sup>; Klevson Ranniet de Almeida Barboza<sup>3</sup>; Eugênio Pereira<sup>4</sup>; Heber Carlos Ferreira<sup>5</sup>

**Resumo** – Este trabalho objetiva avaliar o comportamento de bentonitas aditivadas com polímeros em fluidos de perfuração à base de água. Foram estudadas três amostras de argilas bentoníticas sódicas industrializadas, denominadas A, B e C, e sete amostras de aditivos poliméricos, sendo cinco amostras de carboximetilcelulose (CMC) de diferentes graus de viscosidade, uma amostra de poliacrilamida parcialmente hidrolisada (PAM) e uma amostra, industrializada, composta pela mistura de CMC e PAM, denominada de MISTA. Os polímeros foram misturados às argilas na forma de pó e em seguida os fluidos de perfuração foram preparados de acordo com as normas da Petrobras. Foram determinadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), em viscosímetro Fann 35A, e do volume de filtrado (VF) em filtro prensa Fann. Os resultados mostraram que a aditivação polimérica das argilas bentoníticas possibilita a obtenção de um produto com propriedades que atendam as especificações da Petrobras para uso na perfuração de poços.

**Abstract** – The aim of this work is to evaluate the behavior of bentonites treated with polymers in water-clay based drilling fluids. Three industrialized sodic bentonite clay samples, called A, B and C, and seven polymer additives samples, being five samples of carboxymethylcellulose (CMC) with different viscosities degrees, one sample of partially-hydrolyzed polyacrylamide (PAM) and one sample, industrialized, composed for the mixture of CMC and PAM, called of MISTA, were studied. The polymers had been mixed to clays in the powder form and after that the drilling fluids had been prepared in accordance the Petrobras standards. The apparent and plastic viscosities and water loss were measured by using viscosimeter Fann 35A and filter press Fann, respectively. The

---

<sup>1</sup> Aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Eng. de Materiais (Bolsista ANP/PRH-25): Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970 Campina Grande, PB, (83) 3310-1180, ingrid@labdes.ufcg.edu.br.

<sup>2</sup> Pesquisadora Visitante ANP/PRH-25/UFCG – luciana@labdes.ufcg.edu.br

<sup>3</sup> Aluno de Graduação em Engenharia de Materiais/ Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais/Centro de Ciências e Tecnologia/Universidade Federal de Campina Grande – ranniet@gmail.com

<sup>4</sup> Diretor técnico da System Mud Indústria e Comércio Ltda.: Rua Otávio Muller, 204, 88307-610, Itajaí, SC, (47) 3346-5510 - eugenio@systemmud.com.br

<sup>5</sup> Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais/Centro de Ciências e Tecnologia/Universidade Federal de Campina Grande – heber@dema.ufcg.edu.br

results showed that the bentonites treated with polymers makes possible the attainment of a product with properties in accordance the Petrobras specifications for to wells drilling.

**Palavras-Chave** – Bentonitas, aditivos poliméricos, fluidos de perfuração.

## INTRODUÇÃO

Os fluidos de perfuração, também chamados de lamas, podem ser conceituados como composições frequentemente líquidas destinadas a auxiliar o processo de perfuração de poços de petróleo, poços tubulares e operações de sondagem [1]. São indispensáveis durante as atividades de perfuração [2], pois desempenham uma série de funções essenciais, dependentes diretamente das suas propriedades físicas, químicas e reológicas, ou seja, densidade, viscosidade, consistência de gel, controle de filtrado e reboco e inibição das argilas hidratáveis.

Os fluidos à base de água são classificados de acordo com a natureza da água e os aditivos empregados no preparo do fluido [3]. Geralmente, possuem concentrações de água superiores a 90,0% e aditivos especiais como argila, barita, polímeros, dispersantes, soda cáustica, entre outros, introduzidos de acordo com as condições da formação geológica onde o poço está sendo perfurado [1]. A principal função da água em fluidos de perfuração é oferecer o meio de dispersão para os materiais coloidais, principalmente argilas e polímeros, que controlam a viscosidade, limite de escoamento, forças géis e filtrado em valores adequados para conferir ao fluido uma boa taxa de remoção dos sólidos perfurados e capacidade de estabilização das paredes do poço [3]. Grande parte do desenvolvimento dos fluidos de perfuração à base de água foi impulsionada principalmente para satisfazer condições de estabilidade e pressão do poço e remoção de detritos [4].

A bentonita é a argila comercial mais utilizada em fluidos à base de água doce, sendo adicionada para desempenhar uma ou várias das seguintes funções: aumentar a capacidade de limpeza do poço; reduzir processos de filtrações da fase contínua do fluido nas formações permeáveis; formar uma camada fina de baixa permeabilidade nas paredes do poço (reboco); promover a estabilidade do poço e evitar ou superar a perda de circulação [5]. As funções que os fluidos de perfuração devem desempenhar são mais facilmente alcançadas com o uso de dispersões de bentonita, em virtude das excelentes propriedades coloidais e tixotrópicas que esta argila apresenta [6]. A bentonita proporciona assim uma alta capacidade de transporte e suspensão dos detritos gerados durante a operação de perfuração [7].

No Brasil, as argilas mais utilizadas no preparo de fluidos de perfuração são as argilas bentoníticas provenientes dos jazimentos localizados no Município de Boa Vista, PB. Segundo os últimos dados do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM [8], o volume destes

jazimentos correspondem a cerca de 25,3% das reservas medidas nacionais, fazendo com que o Estado ocupe a posição de terceiro maior produtor do país.

Os polímeros são usados em fluidos de perfuração desde 1930, quando foi introduzido para controle de filtrações. Desde então, a sua aceitabilidade vem aumentando à medida que tornam-se cada vez mais especializados, compondo grande parte dos sistemas à base de água nos dias de hoje [9].

Os polímeros comumente empregados no preparo de fluidos são hidrossolúveis e podem ser naturais, naturais modificados ou sintéticos. Dentre os mais utilizados encontram-se o carboximetilcelulose (CMC, polímero celulósico) e a poliacrilamida parcialmente hidrolisada (PAM, polímero sintético) [9].

O CMC promove a redução das perdas por filtração das formações geológicas que estão sendo perfuradas. A redução de filtrado e da espessura do reboco com o uso do CMC é alcançada através da formação de uma película polimérica ao redor das partículas de argila, estabilizando-as e mantendo-as dispersas no meio líquido [9]. Celulose é insolúvel em água e difícil de hidrolizar devido a sua estrutura cristalina. Modificações químicas da celulose tornam o polímero solúvel e resistente à ação de enzimas hidrolíticas [10]. As propriedades do CMC dependem do grau de substituição (DS), do grau de polimerização (DP), da uniformidade da substituição e da pureza final do produto [9]. O grau de polimerização (DP), que é o número de vezes que a estrutura anelar é repetida, define o peso molecular. Quanto maior o DP, maior será a viscosidade do CMC, podendo-se citar o CMC de alta viscosidade, que possui um maior DP que o CMC de baixa viscosidade [7].

A PAM, quimicamente inibe e encapsula argilas hidratáveis, além de melhorar o poder de lubricidade do fluido [11]. Este polímero hidrossolúvel é empregado numa vasta gama de aplicações, como tratamento de água, embalagem de comida, adesivos, produção de papel [12], onde as características do polímero numa interface sólido-líquido têm um papel importante [13].

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de bentonitas aditivadas com polímeros para uso em fluidos de perfuração à base de água.

## **MATERIAIS**

### **Argilas Bentoníticas**

Foram estudadas três (03) amostras de argilas bentoníticas sódicas, compostas por misturas de argilas provenientes das jazidas de Boa Vista, PB, denominadas por A, B e C, industrializadas e fornecidas pela Empresa Bentonit União Nordeste Ltda – BUN, situada na Avenida Assis Chateaubriand, 3877, Campina Grande, PB.

## **Aditivos Poliméricos**

Foram estudadas sete (07) amostras de aditivos poliméricos: cinco amostras de carboximetilcelulose (CMC) de diferentes graus de viscosidade, sendo duas amostras de CMC de alta viscosidade, denominadas de CMC AV-107 e CMC AV-108, uma amostra de média viscosidade, denominada de CMC MV, e duas amostras de baixa viscosidade, denominadas CMC BV-110 e CMC BV-111, uma amostra de poliacrilamida parcialmente hidrolisada (PAM) e uma amostra composta pela mistura de CMC e PAM, denominada de MISTA. 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 as amostras de PAM e MISTA foram fornecidas pela Empresa System Mud Indústria e Comércio Ltda, localizada na Rua Otávio Muller, 204, Carvalho, Itajaí, SC.

## **METODOLOGIA**

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

A preparação dos fluidos de perfuração seguiu as seguintes etapas: i) inicialmente, foi feita a mistura da argila bentonítica com o polímero em pó manualmente; ii) essa mistura foi adicionada à água sob agitação a velocidade de 10.000 rpm e iii) após a adição da bentonita aditivada com o polímero, o fluido permaneceu sob agitação a 17.000 rpm durante 20 minutos. Foi utilizado um agitador de alta rotação da marca Hamilton Beach, modelo 936. Após preparação, os fluidos permaneceram em repouso durante 24 h.

Os fluidos foram preparados com concentração de 4,86 % em massa de argila, ou seja, 24,3 g de argila em 500 mL de água deionizada, de acordo com a norma N-2605 [14]. As velocidades de agitação, o tempo de agitação e o agitador são os recomendados pela norma N-2605 [14].

A mesma metodologia foi seguida para os fluidos preparados apenas com a argila bentonítica.

Os polímeros foram adicionados às argilas bentoníticas nas seguintes concentrações: i) 0,04%, 0,06% e 0,08% para as amostras de CMC e ii) 0,01%, 0,02% e 0,04% para as amostras de PAM e MISTA.

### **Estudo Reológico dos Fluidos de Perfuração**

O estudo reológico dos fluidos, com e sem polímero, foi realizado segundo a norma N-2605 [14], que consiste nas seguintes etapas: agitar a dispersão durante 5 minutos em agitador mecânico na velocidade entre 16.000 rpm e 19.000 rpm, em seguida transferir a suspensão para o recipiente

do viscosímetro Fann modelo 35A, acioná-lo na velocidade de 600 rpm durante 2 minutos e efetuar a leitura, logo após mudar para 300 rpm, fazendo a leitura após 15 segundos. A viscosidade aparente (VA) é o valor obtido na leitura a 600 rpm dividido por 2, dada em cP, e a viscosidade plástica (VP) é a diferença das leituras realizadas a 600 rpm e a 300 rpm, dada também em cP. O volume do filtrado (VF) foi determinado em filtro prensa da marca Fann, com aplicação de uma pressão da ordem de 7,0 kgf/cm<sup>2</sup> (100 psi) durante 30 minutos. Os resultados são expressos em mL.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas de 1 a 3 estão apresentados os resultados obtidos com os fluidos de perfuração preparados com as argilas A, B e C, com e sem aditivação polimérica.

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

<b>Tipo de Polímero</b>	<b>Teor de polímero (%)</b>	<b>VA (cP)</b>	<b>VP (cP)</b>	<b>VF (mL)</b>
-	-	9,5	4,5	21,4
AV-107	<b>0,04</b>	<b>16,0</b>	<b>5,5</b>	<b>14,0</b>
	<b>0,06</b>	<b>21,5</b>	<b>5,5</b>	<b>13,2</b>
	<b>0,08</b>	<b>20,3</b>	<b>7,5</b>	<b>13,4</b>
AV-108	0,04	14,3	5,5	14,0
	<b>0,06</b>	<b>18,3</b>	<b>6,5</b>	<b>13,6</b>
	<b>0,08</b>	<b>20,0</b>	<b>8,0</b>	<b>13,0</b>
MV	0,04	10,5	5,0	14,0
	0,06	14,8	7,0	13,4
	<b>0,08</b>	<b>16,5</b>	<b>6,5</b>	<b>13,6</b>
BV-110	0,04	6,3	4,5	16,0
	0,06	6,8	5,0	14,8
	0,08	7,3	5,5	14,8
BV-111	0,04	10,3	5,5	15,4
	0,06	12,0	6,5	13,0
	0,08	13,3	7,5	14,0
PAM	0,01	27,8	9,0	19,9
	0,02	38,0	11,0	22,2
	0,04	43,0	14,5	16,2
MISTA	0,01	11,3	5,5	19,2
	0,02	16,5	6,5	19,0
	0,04	34,0	6,5	16,8
<b>Especificações [15]</b>		<b>≥15,0</b>	<b>≥4,0</b>	<b>≤18,0</b>

Os resultados das propriedades reológicas e de filtração dos fluidos preparados com as argilas A, B e C, sem aditivação polimérica, mostram que a argila C (Tabela 3) apresenta melhores

valores de VA, VP e VF, estando VP e VF de acordo com os valores especificados para uso na perfuração de poços [15].

A análise dos resultados mostra que, de modo geral, os fluidos preparados com as argilas A, B e C, aditivadas com polímeros, apresentam melhoria nas propriedades reológicas e de filtração quando comparados aos fluidos preparados com as argilas sem aditivo, aumentando VA e VP e reduzindo VF. Os melhores resultados foram obtidos com as bentonitas aditivadas com os CMCs AV-107, AV-108, nas concentrações de 0,06% e 0,08%, e MV, para a concentração de 0,08% (Tabelas 1, 2 e 3).

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

<b>Tipo de Polímero</b>	<b>Teor de polímero (%)</b>	<b>VA (cP)</b>	<b>VP (cP)</b>	<b>VF (mL)</b>
-	-	10,0	4,0	19,8
AV-107	0,04	14,0	5,0	14,0
	<b>0,06</b>	<b>18,5</b>	<b>6,0</b>	<b>11,4</b>
	<b>0,08</b>	<b>19,0</b>	<b>7,5</b>	<b>11,6</b>
AV-108	0,04	13,5	5,0	13,6
	<b>0,06</b>	<b>17,3</b>	<b>6,0</b>	<b>12,2</b>
	<b>0,08</b>	<b>18,8</b>	<b>7,5</b>	<b>11,8</b>
MV	0,04	10,0	5,5	13,8
	0,06	14,0	7,0	11,8
	<b>0,08</b>	<b>15,5</b>	<b>7,0</b>	<b>12,0</b>
BV-110	0,04	6,0	4,0	14,0
	0,06	6,5	5,0	13,2
	0,08	6,8	5,0	13,0
BV-111	0,04	9,5	5,5	13,0
	0,06	11,3	6,5	12,2
	0,08	12,0	7,0	12,8
PAM	0,01	28,5	8,5	17,6
	0,02	36,0	9,5	17,6
	0,04	39,5	10,0	17,5
MISTA	0,01	9,5	4,5	18,4
	<b>0,02</b>	<b>15,8</b>	<b>5,5</b>	<b>17,2</b>
	0,04	31,0	6,5	14,0
<b>Especificações [15]</b>		<b>≥15,0</b>	<b>≥4,0</b>	<b>≤18,0</b>

Quando os aditivos poliméricos são adicionados em meio aquoso, estes são dispersos fazendo com que a cadeia polimérica seja hidratada e assuma uma configuração alongada. Esse alongamento é responsável pelo aumento da viscosidade do sistema e redução no VF. Quando tem-se 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,

neutralizando-as e fazendo com que ocorra uma repulsão mútua entre elas, tornando o sistema disperso, defloculado ou estável [1]. 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 [16].

Os fluidos de perfuração preparados com as argilas aditivadas com CMC BV-110, apresentam redução na VA e no VF, enquanto que os fluidos preparados com as argilas aditivadas com CMC BV-111 apresentam aumento na VA e diminuição em VF (Tabelas 1, 2 e 3), comparando com os resultados das argilas sem aditivo polimérico, sendo VF a propriedade que sofre a maior influência deste tipo de aditivo.

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

<b>Tipo de Polímero</b>	<b>Teor de polímero (%)</b>	<b>VA (cP)</b>	<b>VP (cP)</b>	<b>VF (mL)</b>
-	-	11,0	4,5	17,4
AV-107	0,04	14,8	6,0	12,8
	<b>0,06</b>	<b>18,8</b>	<b>5,5</b>	<b>11,6</b>
	<b>0,08</b>	<b>19,3</b>	<b>8,0</b>	<b>11,3</b>
AV-108	0,04	13,8	5,5	12,7
	<b>0,06</b>	<b>18,0</b>	<b>6,0</b>	<b>11,6</b>
	<b>0,08</b>	<b>18,8</b>	<b>8,0</b>	<b>11,6</b>
MV	0,04	10,8	5,5	13,2
	0,06	14,3	7,0	12,0
	<b>0,08</b>	<b>15,3</b>	<b>7,5</b>	<b>12,0</b>
BV-110	0,04	6,3	4,5	13,6
	0,06	7,3	5,0	13,0
	0,08	7,8	5,5	12,7
BV-111	0,04	10,3	5,5	13,6
	0,06	11,8	6,5	12,8
	0,08	12,8	7,0	12,6
PAM	0,01	25,3	9,0	16,6
	0,02	34,5	9,0	17,4
	0,04	50,3	14,5	15,0
MISTA	0,01	10,3	5,5	16,4
	0,02	13,5	5,5	16,4
	0,04	28,5	5,5	15,6
<b>Especificações [15]</b>		<b>≥15,0</b>	<b>≥4,0</b>	<b>≤18,0</b>

O comportamento apresentado pelos fluidos, preparados com as argilas aditivadas com os CMCs de baixa viscosidade (CMC BV-110 e CMC BV-111), deve-se ao fato de serem polímeros de cadeia curta, que possuem como principal função reduzir a taxa de filtração [1]. Esses polímeros 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 [9].

Os fluidos de perfuração preparados com as argilas aditivadas com PAM mostram que a presença e o aumento na concentração deste aditivo conduzem o sistema a um estado floculado; motivo pelo qual este aditivo foi estudado em concentrações inferiores aos demais. Isto ocorre porque a PAM é um polímero de cadeia muito longa, por seu alto peso molecular, que pode ocasionar o estado de floculação através dos efeitos de encapsulamento [9], formação de pontes [17] e quando segmentos de uma mesma cadeia polimérica são adsorvidos às superfícies de diferentes partículas de argila [18].

A PAM é um dos polímeros mais utilizados no setor de poços de água por contribuir fortemente na doação de viscosidade ao fluido [9]. Porém, o estado de floculação apresentado pelos resultados indica que a incorporação deste aditivo proporciona a formação de pontes. As longas cadeias poliméricas da PAM ligam-se às superfícies das partículas de argila diminuindo as distâncias entre elas, levando à floculação do sistema, o que é indesejável para a perfuração de poços [1], [20]. Desta forma para o seu uso é necessário um controle na sua concentração.

Estudo sobre o efeito de diferentes concentrações de PAM nas propriedades reológicas de sistemas bentonita-água, apresenta três possibilidades para as interações entre as moléculas de PAM e as partículas de argila: (i) a troca aniônica entre as hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) presentes nas superfícies das partículas de argila e os ânions carboxílicos ( $\text{COO}^-$ ) do polímero, (ii) a formação de ligações hidrogênio entre as hidroxilas da superfície da partícula e o grupo  $\text{C} = \text{O}$  do polímero e (iii) o estabelecimento de pontes envolvendo íons divalentes a partir de forças eletrostáticas [20].

Os fluidos preparados com as argilas aditivadas com o MISTA mostram comportamento semelhante aos CMCs AV-107, AV-108 e MV, embora o MISTA seja composto por frações de CMC e de PAM, quando adicionado em pequenas concentrações; o aumento na concentração deste aditivo conduz o sistema a um estado de floculação, assim como a PAM, indicando que para concentrações mais altas as características da PAM se sobressaem.

Uma análise conjunta dos resultados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 mostra que, dentre as argilas bentoníticas estudadas, a argila C é a que apresenta melhor comportamento reológico sem a presença de aditivos poliméricos, com valores de VP e VF de acordo com os limites especificados para uso na perfuração de poços de petróleo [15]. Contudo, essa argila, por apresentar VA inferior ao mínimo especificado (15cP) não passa pelos controles rígidos da Petrobras.

Após aditivação das argilas com os polímeros, observou-se grande melhoria do comportamento reológico dos fluidos apresentando viscosidades (VA e VP) e taxa de filtração (VF) de acordo com a especificação da Petrobras [15], bem como que dentre os aditivos de cadeia longa, o CMC AV-108 e a PAM atuam de forma mais eficiente no aumento das viscosidades (VA e VP) dos fluidos, e que, dentre os aditivos de cadeia curta, o CMC BV-111 atua de forma mais eficiente na redução de VF.

## CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar o comportamento de bentonitas aditivadas com polímeros para uso em fluidos de perfuração à base de água, concluiu-se que:

- os fluidos de perfuração preparados com a argila C, sem aditivação, apresenta melhor comportamento reológico, quando comparado com as argilas A e B, com valores de VP e VF que satisfazem as especificações da Petrobras para uso na perfuração de poços;
- de modo geral, a aditivação polimérica das argilas bentoníticas melhora as propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração preparados com as argilas A, B e C aditivadas, sendo os melhores resultados obtidos com a incorporação dos CMCs AV-107, AV-108 e MV;
- os polímeros CMC AV-108, CMC BV-111 e PAM atuam de forma mais eficiente no desempenho das funções para as quais são indicados;
- os menores valores de volume de filtrado obtidos com os CMCs AV 107 e 108 demonstram serem estes capazes de estabelecer tal controle de forma mais efetiva que os CMCs BV 110 e 111, desmontando uma teoria estabelecida há décadas e provinda da indústria do petróleo que os CMCs de baixa viscosidade são melhores que os de alta viscosidade na redução do filtrado das bentonitas e
- é notória a vantagem do uso de CMC AV em detrimento ao CMC BV no que tange aos valores mais elevados de VA obtidos, o que reforça ainda mais a necessidade de um estudo aprofundado deste item.

Em resumo, concluiu-se que a aditivação das argilas bentoníticas com polímeros possibilita a obtenção de um produto com propriedades que atendam as especificações para uso na perfuração de poços, o que poderá proporcionar um custo-benefício extremamente favorável em relação ao uso da bentonita isolada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Amorim, L. V., Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo, Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande, PB, dezembro de 2003. Orientadores: Heber Carlos Ferreira, Hélio de Lucena Lira e Kepler Borges França.
- [2] Lummus, J. L. & Azar, J. J., *Drilling Fluids Optimization A Practical Field Approach*, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1986.
- [3] Thomas, J. E., *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, Petrobras, 2001.
- [4] Serra, A. C. S., *A Influência de Aditivos de Lama de Perfuração Sobre as Propriedades Geoquímicas de Óleos*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ/CENPES/PETROBRAS, Rio de Janeiro, Agosto de 2003. Orientadores: Eugênio Vaz dos Santos Neto e Luiz Landau.
- [5] Darley, H. C. H. & Gray, G. R., *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluid*, Fifth Edition, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1988.
- [6] Alderman, N. J., *The Rheological Properties of Water-Based Drilling Fluids*, The Royal Society of Chemical Conference, *Proceedings of the 3th International Symposium on Chemical in Oil Industry*, p. 33 – 49, 1988.
- [7] Caenn, R. & Chillingar, G. V., *Drilling Fluids: State of the Art*, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 14, 221-230, 1996.
- [8] Oliveira, M. L., Bentonita, Disponível em: [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br), Acesso em: outubro, 2005.
- [9] Pereira, E., *Química dos Polímeros e Aplicações – Partes I, II, III e IV*, Disponível em: [www.systemmud.com.br](http://www.systemmud.com.br), Acesso em: julho, 2002.
- [10] Sreenath, H. K. *Hydrolysis of Carboxymethyl Celluloses by Cellulases*, *Lebensm – Wiss. U-Technol* – 26, 224-228, 1993.
- [11] Strickland, R., *Drilling Fluid Additives for Bentonite Drilling Fluids*, *National Driller*, v 25 i 4 p 68 (2), 2004.
- [12] Inyang, H. I. & Bae, S., *Polyacrylamide sorption opportunity on interlayer and external pore surfaces of contaminant barrier clays*, *Chemosphere* 58, 19–31, 2005.
- [13] Pefferkom, E. *Polyacrylamide at Solid/Liquid Interfaces*. *Journal of Colloid and Interface Science* 216, 197–220, 1999.
- [14] Petrobras, *Argila Ativada para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo, Método, N-2605*, 1998.
- [15] Petrobras, *Argila Ativada para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo, Especificação, N-2604*, 1998.

- [16] Oliveira, I.R., Studart, A.R., Pileggi, R.G. & Pandolfelli, V.C., Dispersão e Empacotamento de Partículas, Princípios e Aplicações em Processamento Cerâmico, Fazenda Arte Editorial, São Paulo, p. 30-31, 2000.
- [17] 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.
- [18] Luckham, P.F. & Rossi, S., The Colloidal and Rheological Properties of Bentonite Suspension, Advances in Colloid and Interface Science n. 82, p. 43-92, 1999.
- [19] Barbosa, M.I.R., Proteção e Reabilitação de Fluidos Hidroargilosos, Relatório de Estágio Integrado, DEMa/CCT/UFCG, julho de 2004.
- [20] Güngör, N. & Karaođlan, S., Interaction of Polyacrylamide Polymer with Bentonite in Aqueous Systems, Materials Letters n. 48, p. 168-175, 2001.