

## **Estudo Comparativo entre Variedades de Argilas Bentoníticas de Boa Vista, Paraíba**

Luciana Viana Amorim<sup>1</sup>, Josiane Dantas Viana<sup>2</sup>, Kássie Vieira Farias<sup>3</sup>,  
Maria Ingrid Rocha Barbosa<sup>2</sup>, Heber Carlos Ferreira<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Recursos Humanos (PRH25) da Agência Nacional do Petróleo ANP  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

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

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – UFCG

e-mail: [josianeviana@hotmail.com](mailto:josianeviana@hotmail.com); [ingrid@labdes.ufcg.edu.br](mailto:ingrid@labdes.ufcg.edu.br)

<sup>3</sup>Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – UFCG

e-mail: [kassievieira@hotmail.com](mailto:kassievieira@hotmail.com)

<sup>4</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – UFCG

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

---

### **RESUMO**

Os depósitos de argilas bentoníticas da Paraíba se constituem no maior e mais importante jazimento deste bem mineral do Brasil. Suas ocorrências estão situadas no Município de Boa Vista e seus depósitos encontram-se nas minas Lages, Bravo, Juá e Canudos. As bentonitas de Boa Vista ficaram conhecidas pela sua capacidade de inchar na presença de água, desenvolvendo géis tixotrópicos após tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , bem como pela sua variedade de cores. Este trabalho tem como objetivo apresentar a caracterização mineralógica e as propriedades reológicas de três variedades de argilas bentoníticas de Boa Vista, denominadas de Bofe, Chocolate e Verde-lodo, provenientes cada uma delas de duas diferentes minas. As argilas foram caracterizadas por meio de ensaios de análise química, análise térmica diferencial e análise termogravimétrica. O estudo reológico foi realizado por meio da determinação das viscosidades aparente e plástica, em viscosímetro Fann 35A e o volume de filtrado em filtro-prensa Fann em dispersões com 4,86% em massa de argila aditivadas com diferentes teores de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Os resultados mostraram que embora as argilas provenientes das diferentes minas apresentem cores e composição mineralógica semelhantes, apresentam propriedades reológicas bastante diferentes após tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Esse comportamento diferenciado classifica e condiciona a aplicação industrial de cada variedade de argila.

**Palavras chaves:** Argilas bentoníticas, composição mineralógica, propriedades reológicas.

---

## **A Comparative Study Between Several Kinds of Bentonite Clays From Boa Vista, Paraíba**

### **ABSTRACT**

The deposits of bentonite clays at Paraíba are the bigger and more important deposits of this type of mineral in Brazil. It is located in Boa Vista city and can be found in Lages, Bravo, Juá, and Canudos mines. These clays became well known because of their capacity of swelling in the presence of water, developing thixotropic gels after treatment with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , as well as by their different colours. The aim of this work is to present a comparative study of the mineralogical composition and rheology of three bentonite clays namely Bofe, Chocolate and Verde-lodo, each one from two different mines of Boa Vista, PB. The clays were characterized by chemical analysis, differential thermal analysis and thermogravimetric analysis. The natural bentonite clays were transformed into sodium bentonite by addition of different concentrations of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . The dispersions were prepared with 4.86wt% in order to measure their apparent and plastic viscosities by Fann 35A viscosimeter and water loss by pressing-filter. The results showed that the bentonite clays from different mines present similar colours and mineralogical composition, but their rheological properties became different after treatment with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . This difference at this behavior allows to classify and to indicate the industrial application of each type of clay.

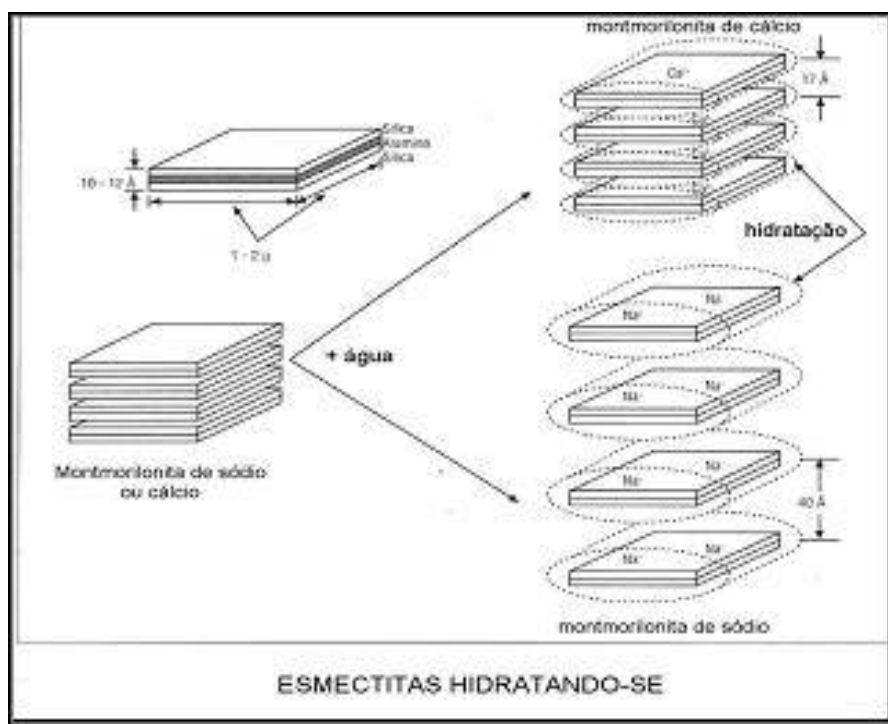
**Keywords:** Bentonite clays, mineralogical composition, rheological properties.

## 1 INTRODUÇÃO

As argilas bentoníticas são conhecidas há centenas de anos e receberam esta denominação graças à localização do primeiro depósito comercial em Fort Benton, Estado de Wyoming, Estados Unidos [1]. Segundo os geólogos, a bentonita é formada pela desvitrificação e alteração química de cinzas vulcânicas. Por muito tempo, estudiosos utilizaram a origem dessas argilas como parte da sua definição, mas, como em alguns países seus depósitos não foram originados pela ação vulcânica, outra definição passou a ser utilizada; bentonita é qualquer argila composta predominantemente pelo argilomineral montmorilonita, do grupo da esmectita, e cujas propriedades são estabelecidas por este argilomineral [2].

A montmorilonita é constituída por camadas compostas de duas folhas de silicato tetraédricas, com uma folha central octaédrica de alumina. No espaço entre as camadas encontram-se moléculas de água adsorvidas e os cátions trocáveis, que podem ser  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e/ou  $\text{Na}^+$ . Se o cátion predominante é o  $\text{Ca}^{2+}$ , a argila é denominada de bentonita cálcica e se o cátion é o  $\text{Na}^+$ , recebe a denominação de bentonita sódica. Não são comuns as argilas magnesianas, mas há ainda um terceiro tipo denominado de bentonitas policatiônicas, nas quais estão presentes os três cátions supracitados. Argilas desse tipo são as encontradas no Brasil.

As argilas que possuem o  $\text{Na}^+$  como cátion predominante, apresentam a propriedade de inchar na presença de água, aumentando várias vezes o seu volume inicial, isto porque o  $\text{Na}^+$  permite que várias moléculas de água sejam adsorvidas, aumentando a distância entre as camadas e, conseqüentemente, separando as partículas de argila umas das outras. No caso das argilas cálcicas ou policatiônicas, a quantidade de água adsorvida é limitada e as partículas continuam unidas umas às outras por interações elétricas e de massa (Figura 1) [3]. Esta diferença pode ser observada quando as argilas sódica, cálcica e policatiônica estão em meio aquoso. Após agitação e repouso, as sódicas apresentam-se em um sistema homogêneo, com todas as partículas dispersas no meio líquido (defloculado), enquanto que as cálcicas apresentam-se floculadas, com uma camada de água límpida sobre a camada de argila depositada no fundo do recipiente (Figura 2). As bentonitas possuem ampla aplicação industrial, sendo utilizadas na confecção de materiais de alto valor agregado, como cosméticos e fármacos, em tintas, vernizes, fertilizantes de solos, descoramento de óleos e graxas, como aglomerantes para areias de fundição, como agente catalítico de craqueamento, entre outros. Contudo, as bentoníticas sódicas destacam-se pela sua importância na indústria de exploração de petróleo e de poços tubulares, para produção de água, como constituinte dos fluidos de perfuração.



**Figura 1:** Representação da hidratação da montmorilonita cálcica e da motmorilonita sódica [3].

Segundo os últimos dados divulgados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, a Paraíba é hoje a maior fonte de argilas bentoníticas, estando seus jazimentos localizados principalmente no

Município de Boa Vista. Suas reservas totalizam cerca de 16 milhões de toneladas de argila e a quantidade de bentonita bruta e beneficiada (bentonita sódica) produzida na Paraíba representa 96 % da produção nacional. Os 4 % restantes são produzidos no Estado de São Paulo [4].

Os depósitos de bentonitas de Boa Vista, PB encontram-se nas minas de Lages, Bravo, Juá e Canudos. Estas argilas ficaram conhecidas pela sua capacidade de inchar na presença de água, desenvolvendo géis tixotrópicos, após tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , bem como pela sua variedade de cores. Quando da sua descoberta, ainda no início da década de 60, era possível encontrar em praticamente todas as minas, argilas de tonalidades rósea, creme, vermelha, amarela, cinza, verde claro, verde escuro e chocolate. Atualmente, apenas três variedades mineralógicas podem ser encontradas em quantidades apreciáveis; são as denominadas de Chocolate, Verde-lodo e Bofe [5].



**Figura 2:** Argila bentonítica seca e em meio aquoso.

Ao longo dos anos, diversos estudos foram realizados para conhecer a composição mineralógica das argilas bentoníticas de Boa Vista, PB [6, 7]. Os últimos estudos, desenvolvidos em 2001 na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, mostraram que as bentonitas são compostas predominantemente por argilominerais do grupo da esmectita e impurezas de quartzo. Em algumas variedades encontram-se também caulinita e illita. A presença de argilominerais não esmectíticos e minerais acessórios têm influência marcante nas propriedades reológicas das argilas [8].

Este trabalho tem como objetivo comparar a composição mineralógica e as propriedades reológicas de três variedades de argilas bentoníticas, denominadas de Bofe, Chocolate e Verde-lodo, provenientes cada uma delas de duas diferentes minas localizadas no Município de Boa Vista, Paraíba.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais

Foram estudadas três variedades mineralógicas de argilas bentoníticas naturais policatiônicas das jazidas do Município de Boa Vista, PB, denominadas de Bofe, Chocolate e Verde-lodo. As amostras foram extraídas, de forma representativa, das minas Bravo, Lages, Juá e Tonito. A Tabela I apresenta as variedades mineralógicas, a denominação e a procedência das amostras estudadas. A amostra Chocolate1 foi composta por 50 % da variedade Chocolate proveniente da mina Lages e 50 % da variedade Chocolate proveniente da mina Juá. Após a etapa de preparação descrita abaixo, as amostras foram misturadas e homogeneizadas manualmente.

**Tabela 1:** Variedade mineralógica, denominação e minas de procedência das argilas bentoníticas do Município de Boa Vista, PB

Variedades mineralógicas	Denominação das amostras	Minas de procedência
Bofe	Bofe1	Juá
	Bofe2	Bravo
Chocolate	Chocolate1	Lages e Juá
	Chocolate2	Bravo
Verde-lodo	Verde-lodo1	Juá
	Verde-lodo2	Bravo

## 2.2 Métodos

Preparação das amostras – As amostras de argilas naturais foram secas em estufa a  $60\text{°C} \pm 2$  durante um período de 7 dias. A seguir, foram moídas em moinho de rolos e passadas em peneira ABNT N° 200 (0,074mm).

Análise química – As análises químicas das amostras de argilas naturais foram realizadas segundo os métodos clássicos no Laboratório de Análises Mineraias - LAM, do CCT/UFCG, Campina Grande, PB.

Análises térmicas – As análises térmicas diferenciais (ATD) e termogravimétricas (ATG) das amostras de argilas naturais foram realizadas em equipamento da marca BP Engenharia, modelo RB 3000, operando a  $12,5\text{°C}/\text{min}$ . A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de  $1000\text{°C}$  e o padrão utilizado nos ensaios de ATD foi o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado.

Transformação das argilas bentoníticas naturais em sódica - As argilas bentoníticas naturais foram aditivadas com solução concentrada de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0,2g/mL) nas seguintes concentrações: 75, 100, 125 e 150 meq de  $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$  g de argila seca. Após 05 dias de cura, em câmara úmida com 100 % de umidade relativa, foram preparadas as dispersões de acordo com o item a seguir.

Preparação das dispersões – As dispersões das argilas bentoníticas após transformação em sódicas foram preparadas com concentração de 4,86 % em massa de argila (24,3 g de argila em 500 mL de água deionizada) de acordo com a norma N-2605 [9]. Após preparação, permaneceram em repouso por 24 h, e, em seguida, realizado o estudo reológico como descrito abaixo.

Estudo reológico - Foram determinadas as viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), em viscosímetro Fann 35A e o volume de filtrado em filtro prensa Fann, segundo a norma N-2605 [9].

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química – Através dos resultados (Tabela 2), foram observadas diferenças significativas nas composições químicas das amostras de diferentes minas, sendo a principal diferença encontrada nos teores de PR e MgO, ou seja, apenas as amostras provenientes da mina Bravo (Bofe2, Chocolate2 e Verde-lodo2) apresentam MgO em quantidades apreciáveis e menores teores de PR. Observou-se ainda que as amostras provenientes da mina Bravo apresentam menores teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ .

A PR representa a perda de água intercalada, a perda de água de hidroxilas dos argilominerais, matéria orgânica e carbonatos [10]. Como mencionado acima, as amostras da mina Juá apresentaram menores teores de PR, indicativo de que possuem menor umidade e menor quantidade de componentes voláteis, como hidroxilas, matéria orgânica ou mesmo carbonatos.

**Tabela 2:** Composição química das amostras de argilas naturais e industrializadas

Amostras	Determinações (%)								
	PR	RI	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
Bofe1	18,42	1,79	54,97	6,83	16,82	Traços	Traços	0,38	0,15
Bofe2	9,38	1,18	67,02	4,80	15,10	Traços	2,02	0,28	0,08
Chocolate1	20,47	2,74	46,10	7,66	21,09	Traços	Traços	1,68	0,22
Chocolate2	11,56	1,06	54,74	8,00	21,35	Traços	2,02	0,50	0,12
Verde-lodo1	15,43	2,20	45,68	8,78	23,65	Traços	Traços	1,82	1,99
Verde-lodo2	11,64	3,06	49,88	6,87	25,41	Traços	4,02	0,42	0,45

Sendo: PR – perda ao rubro e RI – resíduos insolúveis.

As amostras estudadas apresentaram teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variando entre 4,80 %, para a amostra Bofe2 a 8,78 %, para a amostra Verde-lodo1. Estes teores são típicos das argilas do Município de Boa Vista, PB e, provavelmente, provenientes do reticulado cristalino da illita, que contém cerca de 4,00 % a 6,00 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e dos argilominerais do grupo da esmectita, ou seja, montmorilonita ou membro da série isomórfica nontronita-beidelita, segundo dados de SOUZA SANTOS [10].

Dentre as amostras estudadas, apenas a Verde-lodo1 apresentou teor de  $\text{K}_2\text{O}$  de 1,99 %, valor bastante superior aos apresentados pelas demais amostras. A presença do potássio pode interferir no comportamento reológico de argilas bentoníticas, caso o processo de secagem das amostras seja realizado a temperaturas superiores a 60 °C, conduzindo a baixas umidades. Quando isto ocorre, a água interlamelar é expulsa e a argila pode adquirir a estrutura cristalina próxima à da mica moscovita. Sob esta condição, a penetração de água entre as camadas é dificultada, não sendo possível a dispersão da argila em água. Contudo, a secagem das amostras foi controlada e realizada a temperatura de aproximadamente 60 °C, de forma a evitar problemas de re-hidratação.

Uma análise conjunta dos resultados mostra que as amostras estudadas apresentam composição química típica de argilas bentoníticas.

Análise Térmica – As curvas termodiferenciais apresentam picos endotérmicos intensos em temperaturas entre 146°C (Bofe1, Figura 3(a)) e 178°C (Verde-lodo1, Figura 3(e)) característicos da presença de água adsorvida.

Para as amostras Bofe1 (Figura 3(a)), Chocolate1 (Figura 3(c)) e Verde-lodo1 (Figura 3(e)) foi observada a presença de “ombro” a aproximadamente 220°C, 240°C e 230°C, respectivamente, característico da presença de água coordenada aos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , confirmando a natureza policatiônica dessas argilas.

Para as argilas Bofe2 (Figura 3(b)), Chocolate2 (Figura 3(d)) e Verde-lodo2 (Figura 3(f)), provenientes da mina Bravo, não foi observada a presença deste ombro, embora sua composição química apresente teores apreciáveis de  $\text{MgO}$ . Para todas as amostras foram observadas transformações térmicas em temperaturas próximas a 550°C, características da presença de hidroxilas estruturais das argilas ricas em ferro, indicativo da presença de argilominerais montmoriloníticos, muito provavelmente do tipo nontronita, e picos endo-exotérmicos em aproximadamente 850°C e 915°C, característicos da destruição do reticulado cristalino e formação de quartzo, respectivamente. Esses eventos são característicos das argilas dioctaédricas.

As curvas termogravimétricas apresentaram inflexões relacionadas a perda de água livre e coordenada e perda de hidroxilas. As argilas Bofe1 e Bofe2, Chocolate1 e Chocolate2, Verde-lodo1 e Verde-lodo2, provenientes das diferentes minas, apresentaram perdas de massa bastante semelhantes, contudo, apenas as amostras Bofe1, Chocolate1 e Verde-lodo1 apresentaram valores próximos aos da perda ao rubro (PR), obtidos através das análises químicas (Tabela 2).

Em resumo, as amostras estudadas apresentaram termogramas bastante similares e típicos de argilas bentoníticas, de natureza policatiônica, com presença do argilomineral montmorilonita, muito provavelmente nontronita, na forma dioctaédrica.

Comportamento reológico – Os resultados das propriedades reológicas, VA e VP, e de filtração, VF das dispersões preparadas com as argilas das diferentes minas aditivadas com solução concentrada de carbonato de sódio estão contidos na Tabela 3 e na Figuras 4, 5 e 6.

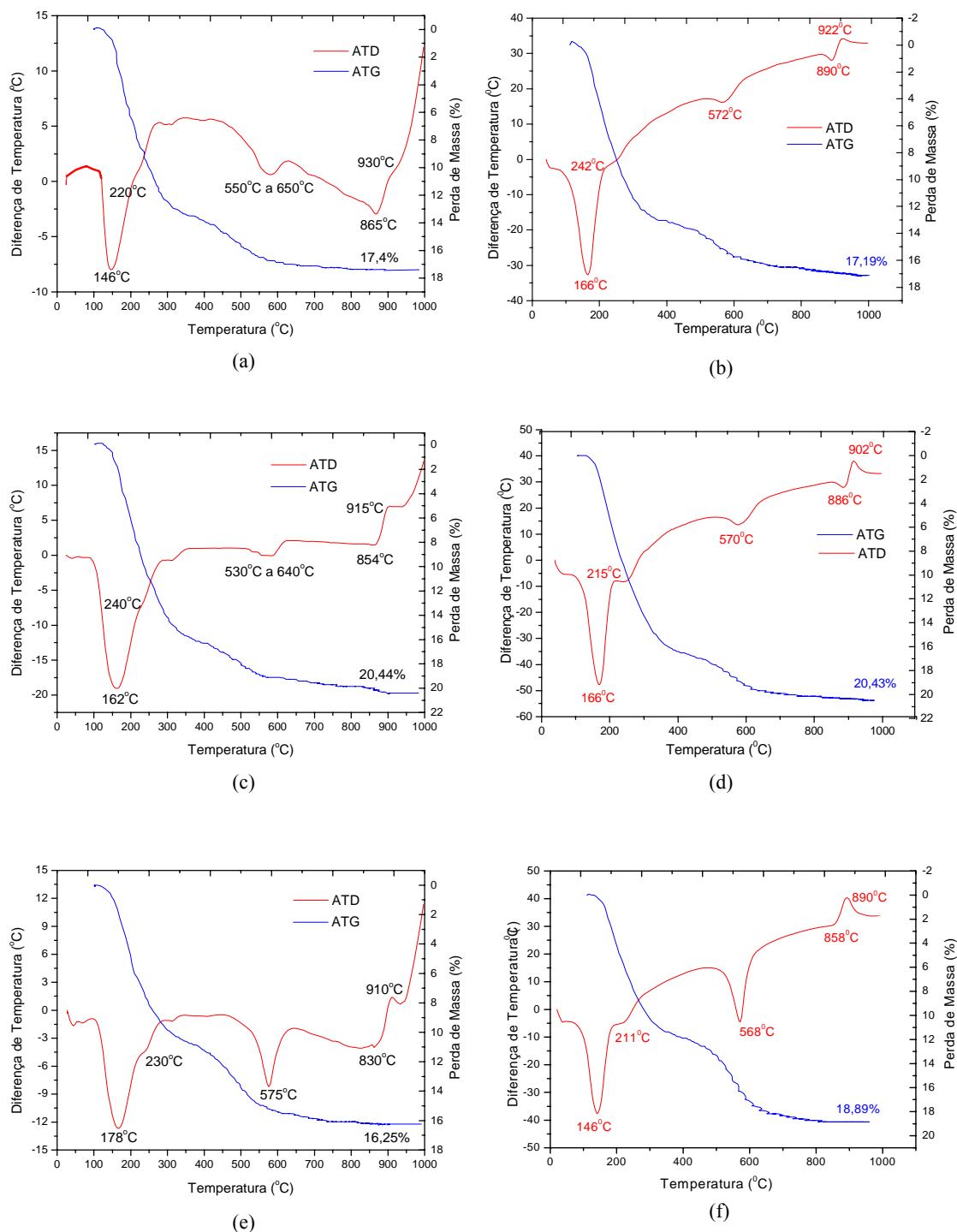
Através dos resultados obtidos observou-se que as argilas de mesmo tipo e provenientes de diferentes minas apresentam comportamentos reológico diferentes. Para a variedade mineralógica denominada de Bofe, os dados reológicos evidenciaram que as argilas Bofe1 (Figura 4(a)) e Bofe2 (Figura 4(b)), após tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , apresentam comportamento inverso, ou seja, para a argila Bofe1, o aumento no teor de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  proporciona acréscimos nos valores de VA (os valores de VP e VF não apresentaram variações significativas), enquanto que para a argila Bofe2, é observada a diminuição nos valores de VA, VP e VF com o aumento no teor de aditivo ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Comparando os resultados de VA, VP e VF com as especificações da PETROBRAS [11] para uso como fluidos de perfuração à base de água, observou-se que nenhuma das condições estudadas atende por completo os limites propostos na norma. Das dispersões estudadas, a preparada com a argila Bofe1, tratada com 150meq de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /100g de argila seca, foi a que apresentou VP e VF de acordo com a especificação supracitada, contudo VA encontra-se abaixo de 15cP, valor mínimo exigido.

Em estudos realizados com as argilas bentoníticas de Boa Vista, PB, AMORIM [8] sugeriu uma classificação quanto aos estados desenvolvidos pelas dispersões hidroargilosas em função do teor de solução concentrada de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Essa classificação foi baseada no comportamento reológico e na aparência das dispersões antes e após troca por sódio. De acordo com esta classificação, as dispersões preparadas com as argilas Bofe1 e Bofe2, independente do teor de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  utilizado, apresentam estado parcialmente defloculado. Ainda segundo AMORIM [8], o estado parcialmente defloculado pode ser definido como um estado intermediário entre os estados defloculado e floculado, no qual as partículas de argila estão dispersas no meio líquido com poucas interações elétricas e de massa. E acrescenta, ainda, que neste estado, as forças



atrativas entre as partículas de argila, que promovem a sua aglomeração, foram parcialmente vencidas pelas forças repulsivas originárias da transformação da argila policatiônica em sódica.



**Figura 3:** Termogramas das argilas naturais (a) Bofe1, (b) Bofe2, (c) Chocolate1, (d) Chocolate2, (e) Verde-lodo1 e (f) Verde-lodo2.

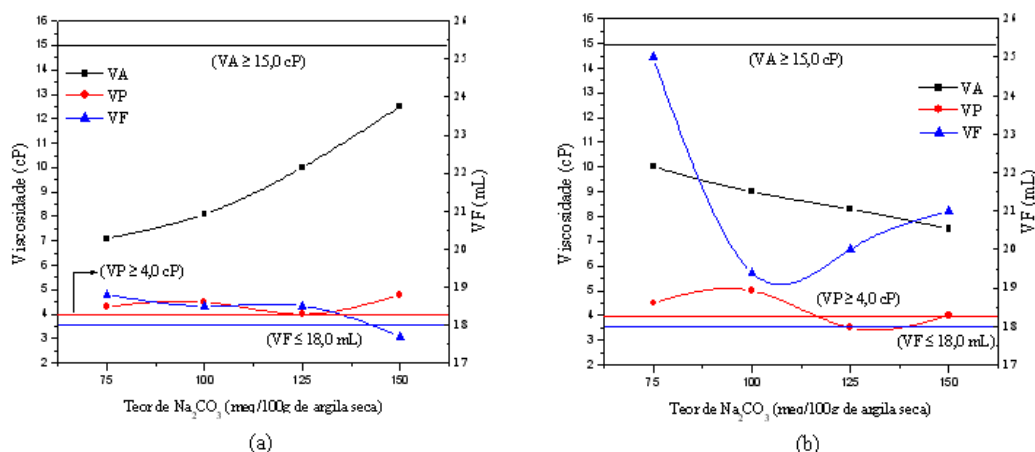
Para a variedade mineralógica denominada de Chocolate, os dados reológicos apresentados pelas argilas Chocolate1 (Figura 5(a)) e Chocolate2 (Figura 5(b)), após aditivação com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , são completamente diferentes. Esta diferença é bastante marcante para as variáveis VA e VP. Assim como observado com as dispersões da argila Bofe, o aumento do teor de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  eleva os valores de VA das dispersões preparadas com a Chocolate1 e com a Chocolate2. Embora as dispersões das duas argilas

apresentem elevada viscosidade aparente e baixa viscosidade plástica, os valores de VA e de VP apresentados pela argila Chocolate2 são, respectivamente, superiores e inferiores aos da argila Chocolate1, para os mesmos teores de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Esta disparidade de valores deve-se, provavelmente, a maior população de cargas presente na superfície das partículas da argila Chocolate2, que promove fortes interações elétricas mesmo após o tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**Tabela 3:** Propriedades reológicas, viscosidades aparente (VA) e plástica (VP), e de filtração, volume de filtrado (VF), das dispersões das argilas naturais policatiônicas aditivadas com solução concentrada de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  em diferentes teores

Amostras	Teor de $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (meq/100 g de argila seca)	VA (cP)	VP (cP)	VF (mL)
Bofe1	75	7,1	4,3	18,8
	100	8,1	4,5	18,5
	125	10,0	4,0	18,5
	150	12,5	4,8	17,7
Bofe2	75	10,0	4,5	25,0
	100	9,0	5,0	19,4
	125	8,3	3,5	20,0
	150	7,5	4,0	21,0
Chocolate1	75	18,5	3,8	16,0
	100	19,6	3,0	15,3
	125	18,8	2,3	15,8
	150	21,5	1,3	16,5
Chocolate2	75	24,2	1,0	14,7
	100	27,8	0,5	15,7
	125	35,1	0,0	15,3
	150	39,0	0,0	16,1
Verde-lodo1	75	12,9	2,0	22,5
	100	16,9	1,5	22,0
	125	18,9	1,3	23,5
	150	20,4	1,0	23,8
Verde-lodo2	75	18,0	2,3	18,3
	100	20,1	1,8	18,0
	125	19,8	1,5	21,0
	150	17,5	1,5	20,8
Especificação N-2604 [11]		$\geq 15,0$	$\geq 4,0$	$\leq 18,0$

Comparando estes resultados com a classificação sugerida por AMORIM [8], as dispersões da argila Chocolate1 tratada com 75meq de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /100g de argila seca apresenta estado parcialmente floculado. Para maiores concentrações de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , bem como para as dispersões preparadas com a argila Chocolate2, independente do teor de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , as dispersões apresentam estado floculado-gel. Segundo AMORIM [8], dispersões parcialmente floculadas são aquelas que apresentam estado intermediário entre os estados floculado e defloculado. Nos sistemas parcialmente floculados, estão presentes interações elétricas e de massa entre as partículas de argila, contudo as dispersões apresentam capacidade de escoamento, fluidez e tixotropia, características necessárias nos fluidos de perfuração hidroargilosos.



**Figura 4:** Viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e volume de filtrado (VF) das dispersões preparadas com as argilas (a) Bofe1 e (b) Bofe2

O estado floculado-gel é alcançado quando a quantidade de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> adicionada é suficientemente alta e promove o aumento na intensidade das interações elétricas entre as partículas pela redução ou colapso da dupla camada difusa, bem como novas interações entre partículas, gerando uma estrutura do tipo castelo-de-cartas, na qual as interações presentes são do tipo face-a-aresta e aresta-a-aresta [8, 11]. Ao contrário das dispersões com estado parcialmente floculado, as dispersões floculadas-gel não apresentam capacidade de escoamento e fluidez, sendo seu uso indesejável como fluidos de perfuração.

Comparando os resultados apresentados pelas dispersões da argila Chocolate1 (Figura 5(a)) com as especificações da PETROBRAS [11], observou-se que para o teor de 75 meq de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/100g de argila seca os valores de VA e VF encontram-se de acordo com os limites propostos, e a VP (3,8cP) praticamente igual ao mínimo exigido que é de 4,0cP. As demais dispersões, embora apresentem VA e VF de acordo com as especificações, apresentam valores de VP muito abaixo de 4,0cP.

Para as dispersões da argila Chocolate2 (Figura 5(b)), observou-se que os valores de VA e de VF são, respectivamente, superiores e inferiores aos limites sugeridos, contudo, como mencionado anteriormente, as dispersões apresentam estado de elevada floculação (floculado-gel), caracterizado pelos elevados valores de VA e pelos valores muito baixos de VP. É importante ressaltar que as dispersões da argila Chocolate2 tratadas com 125 e 150 meq de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/100g de argila seca apresentam o estado de maior floculação, caracterizado pelos valores nulos de VP. Esta condição torna as dispersões preparadas com essa argila inadequadas ao uso como fluido de perfuração de poços de petróleo.

Para a variedade mineralógica denominada de Verde-lodo, observou-se que, também neste caso, têm-se diferentes comportamentos reológicos para as argilas provenientes de diferentes minas, Verde-lodo1 (Figura 6(a)) e Verde-lodo2 (Figura 6(b)). As diferenças são menos pronunciadas do que aquelas observadas com as variedades Chocolate e Bofe e residem nos valores de VA e de VF, que para as dispersões preparadas com a argila Verde-lodo1 são, respectivamente, inferiores e superiores aos das dispersões preparadas com a argila Verde-lodo2.

De acordo com a classificação sugerida por AMORIM [8], as dispersões das argilas Verde-lodo1 e Verde-lodo2 apresentam-se no estado floculado-gel.

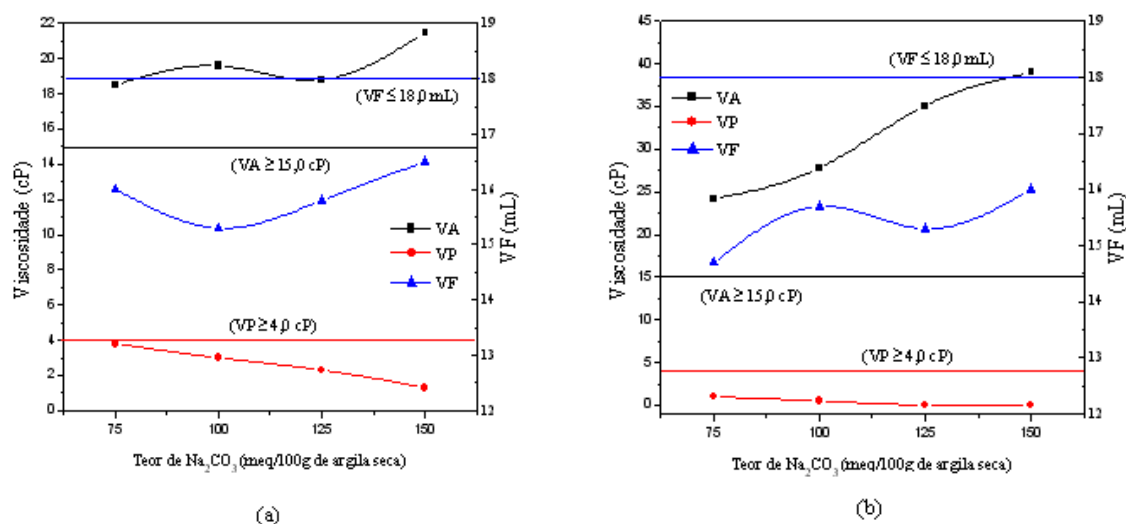
É importante ressaltar que o estado floculado-gel ocorre não somente quando os valores de VA são muito elevados, como observado nas dispersões da argila Chocolate2 (Figura 5(a)), mas também quando os valores de VP são muito baixos, próximos e abaixo de 1,0 cP, como observado nas dispersões das argilas Chocolate1 (Figura 5(a)), Chocolate2 (Figura 5(b)), Verde-lodo1 (Figura 6(a)) e Verde-lodo2 (Figura 6(b)). Nos dois casos, têm-se sistemas rígidos, de elevada consistência e difícil fluidez, com fortes interações elétricas e de massa entre as partículas de argila, desenvolvendo uma estrutura do tipo castelo-de-cartas como explicada anteriormente.

Comparando os resultados apresentados pelas dispersões preparadas com as argilas Verde-lodo1 e Verde-lodo2 com as especificações da PETROBRAS [11], observou-se que apenas os valores de VA (com exceção da argila Verde-lodo1 tratada com 75 meq de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/100g de argila seca) são superiores ao mínimo proposto de 15,0 cP. Os valores de VP são inferiores ao mínimo de 4,0 cP, enquanto que os valores de VF (com exceção da argila Verde-lodo2 tratada com 100 meq de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/100g de argila seca) são superiores a 18,0 mL, máximo permitido.

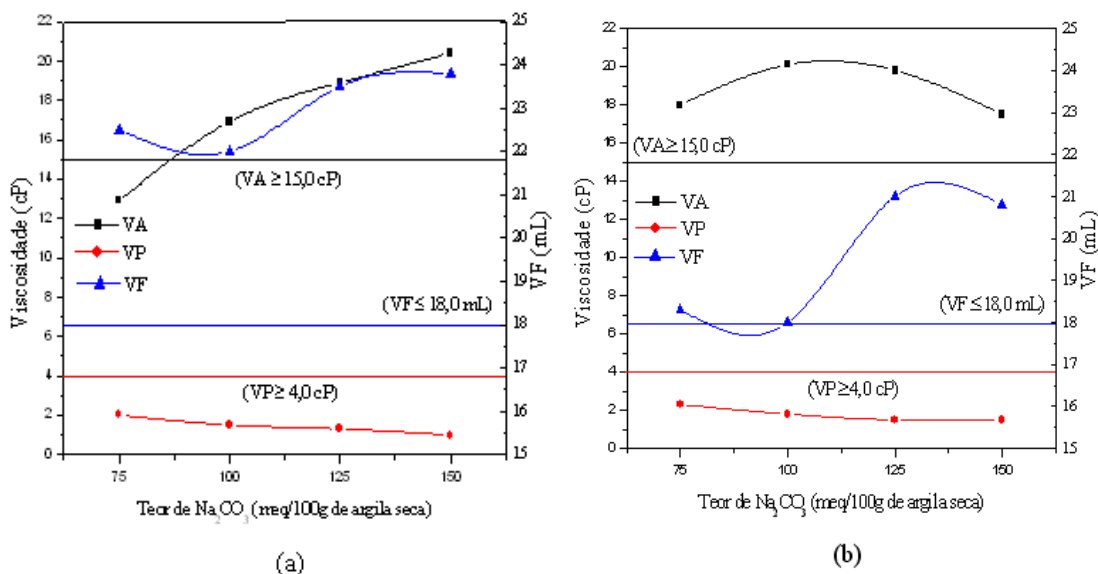


Em resumo, observou-se que as propriedades reológicas e de filtração das dispersões preparadas com as variedades mineralógicas de argilas bentoníticas de Boa Vista, PB não atendem às especificações da PETROBRAS [11] para uso como agente viscosificante e tixotrópico em fluidos à base de água para perfuração de poços de petróleo. Contudo, estudos realizados pelo Grupo de Pesquisa, Fluidos de Perfuração, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, têm mostrado que é possível corrigir estas variáveis mediante uso de aditivos poliméricos [8, 12], bem como por meio de misturas de duas ou mais espécies mineralógicas de argilas bentoníticas [13]. Em resumo, as amostras estudadas apresentaram termogramas bastante similares e típicos de argilas bentoníticas, de natureza policatiônica, com presença do argilomineral montmorilonita, muito provavelmente nontronita, na forma dioctaédrica.

Uma análise conjunta dos resultados apresentados neste trabalho mostrou que as espécies mineralógicas denominadas de Bofe1 e Bofe2, Chocolate1 e Chocolate2 e Verde-lodo1 e Verde-lodo2, provenientes de diferentes minas dos jazimentos do Município de Boa Vista, PB possuem cores semelhantes, composições mineralógicas típicas das argilas bentoníticas da Paraíba e semelhantes entre si, com pequenas variações nos teores dos policátions trocáveis, contudo comportamentos reológicos bastante diferentes após tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Este comportamento diferenciado classifica os tipos de argila em argilas nobres, aquelas de melhor qualidade, e argilas menos nobres, aquelas de qualidade inferior. Esta denominação é comum entre os beneficiadores e produtores de argilas industrializadas da região que consideram a variedade mineralógica Chocolate como sendo a argila de melhor qualidade, e as variedades Bofe e Verde-lodo, como as argilas de qualidade inferior. São também de acordo com esta classificação as aplicações industriais de cada tipo de argila. As argilas mais nobres são empregadas em maior quantidade na produção de bentonitas sódicas para uso como constituinte em fluidos de perfuração, principalmente, se estes são destinados à indústria de extração de petróleo, enquanto que as argilas menos nobres são utilizadas, principalmente, como aglomerantes para moldes de fundição, rejeito de dejetos animais e para produção de bentonitas sódicas a serem empregadas em fluidos para perfuração de poços artesianos e operações de sondagem.



**Figura 5:** Viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e volume de filtrado (VF) das dispersões preparadas com as argilas (a) Chocolate1 e (b) Chocolate2



**Figura 6:** Viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e volume de filtrado (VF) das dispersões preparadas com as argilas (a) Verde-lodo1 e (b) Verde-lodo2

#### 4 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho concluiu-se que as espécies mineralógicas denominadas de Bofel e Bofe2, Chocolate1 e Chocolate2 e Verde-lodo1 e Verde-lodo2, provenientes de duas diferentes minas dos jazimentos do Município de Boa Vista, PB possuem cores e composições mineralógicas semelhantes, contudo comportamentos reológicos bastante diferentes após tratamento com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo – ANP, ao MCT, a FINEP, ao CNPq (Processo No 309873/03-7), ao CNPq/CTPETRO pelo apoio financeiro e ao LABDES pelo uso de suas instalações e apoio à pesquisa.

#### 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] DARLEY, H.C.H., GRAY, G.R., *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*, 5 Edition, Houston, Gulf Publishing Company, 1988.
- [2] GRIM, R.E., NUVEM, N., *Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
- [3] LUMMUS, J.L., AZAR, J.J., *Drilling Fluids Optimization A Practical Field Approach*, Oklahoma, PennWell Publishing Company, Tulsa, 1986.
- [4] TRINDADE, M.H.A., “Bentonita”, [www.dnpm.org.br](http://www.dnpm.org.br). Acesso em setembro de 2001.
- [5] AMORIM, L.V., PEREIRA, E., “Bentonita da Paraíba: A Exaustão de uma Riqueza Brasileira”, *ABAS Informa*, nº 147, Mar. 2004.
- [6] SOUZA SANTOS, P., “Estudo Tecnológico de Argilas Montmoriloníticas do Distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba”, *Tese para Concurso à Cátedra de Química Industrial*, DEQ, EPUSP, São Paulo, SP, Brasil, 1968.

- [7] GOPINATH, T.R., SCHUSTER, H.D., SCHUCKMANN, W.K. “Clay Mineralogy and Geochemistry of Continental Bentonite and Their Geological Implications, Boa Vista, Campina Grande, PB”, *Revista Brasileira de Geociências*, v. 18, n. 3, pp. 345-352, Set. 1988.
- [8] AMORIM, L.V., “Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo”, *Tese de D.Sc., Engenharia de Processos/UFCG*, Campina Grande, PB, Brasil, 2003.
- [9] PETROBRAS, “Ensaio de Viscosificante para Fluido de Perfuração Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo”, Método, N-2605, 1998.
- [10] SOUZA SANTOS, P., *Ciência e Tecnologia de Argilas*, vol. 2, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1992.
- [11] PETROBRAS, “Viscosificante para Fluido de Perfuração Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo”, Especificação, N-2604, 1998.
- [12] AMORIM, L.V., PEREIRA, E. “Bentonita – Parte II: Saiba Como Corrigir as Bentonitas de Qualidade Inferior e Quanto Custa”, *ABAS Informa*, nº 148, Abr. 2004.
- [13] VIANA, J.D., AMORIM, L.V., FERREIRA, H.C. “Argilas Bentoníticas da Paraíba: Dimensionamento de Misturas para Fluidos de Perfuração”, In: *Anais do 2º Congresso em Ciência de Materiais do Mercosul*, Joinville, Set. 2004.