

# 10. Bentonita

Adão Benvindo da Luz<sup>1</sup>  
Cristiano Honório de Oliveira<sup>2</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

O termo bentonita, segundo a literatura, foi pela primeira vez aplicado a um tipo de argila plástica e coloidal de uma rocha descoberta em Fort Benton, Wyoming-EUA. Embora, originalmente, o termo bentonita se referisse à rocha argilosa descoberta, atualmente designa argila constituída principalmente do argilomineral montmorilonita. Este argilomineral faz parte do grupo esmectita, uma família de argilas com propriedades semelhantes. O termo bentonita também é usado para designar um produto com alto teor de esmectita. A bentonita pode ser cálcica ou sódica, e apresenta uma característica física muito particular: expande várias vezes o seu volume, quando em contato com a água, formando géis tixotrópicos. Alguns cátions provocam uma expansão tão intensa que as camadas dos cristais podem se separar até a sua célula unitária. O sódio provoca a expansão mais notável.

As principais jazidas de bentonita em operação no Brasil estão localizadas no município de Boa Vista, Estado da Paraíba. Existem outros depósitos de bentonita, no município de Vitória da Conquista-BA, com possibilidade de aproveitamento econômico.

As bentonitas de Boa Vista são cálcicas e para serem utilizadas, industrialmente, precisam ser ativadas com carbonato de sódio (barrilha), para serem transformadas em sódicas. Esse processo foi desenvolvido e patentado na Alemanha, no ano de 1933, pela empresa Erbsloh & Co e é atualmente utilizado pelos países que não dispõem de bentonita sódica natural.

A produção brasileira de bentonita beneficiada aumentou de 178 mil t para cerca de 200 mil t, entre 2001 e 2003. (Já alcançou 275 mil t em 1999.) O consumo aparente em 2003 foi de 291 mil t. As importações resultaram em déficit comercial de US\$ 10 milhões. O Estado da Paraíba tem se mantido como o

---

<sup>1</sup> Eng. de Minas/UFPE, Dr. Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT

<sup>2</sup> Químico/UFRJ, D.Sc. Química/UFRJ, (ex)Bolsista do CETEM, Engenheiro da Petrobrás

principal produtor, onde operam nove empresas, com quatro atuando tanto na lavra como no processamento. A Bentonit União do Nordeste S.A. responde por quase 90% da produção de bentonita (Oliveira, 2004).

Da bentonita consumida nos EUA, 25% é usada como *pet litter* (absorvente de dejetos de animais domésticos), 21% como agente tixotrópico de fluidos de perfuração de poços de petróleo e d'água, 21% como aglutinante de areias na indústria de fundição, 15% como aglomerante na pelotização de minério de ferro e 18% em outros usos (USGS, 2004). No Brasil, não se dispõe de estatística precisa dos diferentes usos da bentonita. Além das aplicações acima, podemos acrescentar o descoramento de óleos vegetais, minerais e animais, entre outras.

## 2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Esmectita é o termo dado a um grupo de minerais constituído por: montimorilonita, beidelita, nontronita, hectorita e saponita. Cada um desses minerais forma uma estrutura similar, mas cada um é quimicamente diferente. A nontronita, por exemplo, é uma esmectita rica em ferro e a hectorita é rica em lítio. O mineral mais comum nos depósitos econômicos do grupo da esmectita é a montimorilonita. As variedades cálcicas e sódicas, baseadas no cátion trocável, são as mais abundantes.

Do ponto de vista estrutural, os argilominerais da bentonita são constituídos de unidades empilhadas que compreendem camadas de sanduíches de íons coordenados octaedralmente entre duas camadas de íons coordenados tetraedralmente.

No município de Greybull, ao norte do estado de Wyoming - EUA, quase na fronteira com o estado de Montana, encontra-se em lavra uma mina de bentonita pertencente à empresa Wyoming Bentonite (WYO-BEN, INC). As bentonitas de Wyoming são sódicas, de alta capacidade de inchamento e, portanto, os tipos mais eficientes para lama de perfuração. As propriedades de alta viscosidade da hectorita fazem desta uma argila bastante adequada para lama de perfuração (Luz *et al.*, 2001a)

A bentonita na região de Wyoming ocorre em rochas do cretáceo e terciário. A bentonita é uma rocha composta essencialmente de uma argila cristalina, tendo as características de um mineral formado pela desvitrificação de um material ígneo e vítreo, normalmente um tufo ou cinza vulcânica. Esse material normalmente contém proporções variadas de grãos de cristais acessórios

que foram originalmente fenocristais num vidro vulcânico. Esses minerais geralmente são feldspatos (ortoclásio e oligoclásio), biotita, quartzo, piroxênio, zircônio e vários outros tipos de minerais, característicos de rochas vulcânicas (Elzea e Murray, 1995; Luz *et al.*, 2001a).

Uma das formas de caracterizar a bentonita (esmetcita sódica) é baseada na sua capacidade de inchamento, quando se adiciona água. A bentonita, tendo o sódio como elemento dominante ou como um íon tipicamente trocável, apresenta uma alta capacidade de inchamento e tem as características de uma massa, quando adicionada água. Esse é o caso das bentonitas sódicas do estado de Wyoming-EUA. Quando a bentonita tem o cálcio como íon predominante, apresenta menor capacidade de inchamento. As bentonitas sódicas/cálcicas, denominadas mistas, incham de forma moderada e formam géis de menor volume do que as bentonitas sódicas. Dessa forma, as bentonitas são classificadas como de alto inchamento ou sódica, baixo inchamento ou cálcica e de moderado inchamento ou tipo mista.

As bentonitas das minas de Boa Vista-PB apresentam-se cobertas por uma camada de solo argiloso, variando de 1 a 10 m. Nos níveis onde é feita a lavra, as argilas se apresentam em camadas de cores variadas, por vezes formando estratificações ou zonas uniformes. Localmente, essas argilas recebem as denominações de: *chocolate*; *verde lodo*, *vermelha*; *sortida* ou *mista* e *bofe* ou *leve* (Luz *et al.*, 2001b).

### **3. LAVRA E PROCESSAMENTO**

#### **3.1. Lavra e Processamento de Bentonita nos Estados Unidos**

A bentonita conhecida como de Wyoming é lavrada nos três principais distritos mineiros que atravessam os estados de Wyoming, Montana e South Dakota. As cinco usinas que produzem bentonita sódica na região constituem o distrito mineiro de bentonita sódica mais antigo do mundo ( Elzea e Murray, 1994).

A lavra da bentonita na região é feita a céu aberto, normalmente usando o método de lavra por tira (*strip mining*), como ilustrado na Figura 1. A espessura da camada de bentonita varia de 2 a 3 m e apresenta um comprimento de 2 a 5 km.



**Figura 1: Frente de lavra típica de uma mineração de bentonita em Greybull, Estado de Wyoming-EUA (Luz *et al.* 2001a).**

Na lavra são empregados trator e *motor-scraper* para fazer o decapeamento. O carregamento da bentonita é feito com pá carregadeira e o transporte dessa até a unidade de processamento é feito em caminhões fora de estrada. Na lavra são empregados trator e motor-scraper para fazer o decapeamento. O carregamento da bentonita é feito com pá carregadeira e o transporte dessa até a unidade de processamento é feito em caminhões fora de estrada. Em uma frente de lavra típica na região podem ser identificadas sete tipos de bentonita (verde, amarela etc). A lavra de cada tipo de bentonita depende muito do uso que se requer do produto a ser obtido (lama de perfuração, areia de fundição, pelletização de minérios de ferro etc.).

Na estação chuvosa é praticamente impossível trabalhar na frente de lavra, devido ao estado escorregadio da superfície do solo. Para superar esse problema operacional, lavra-se determinado volume de bentonita, nos períodos secos, e estoca-se no pátio da usina, para processamento na estação chuvosa.

O processamento da bentonita na região ao norte de Wyoming consiste de britagem, secagem, moagem e ensacamento. Os diferentes tipos de argila bentonítica provenientes da frente de lavra são estocados em pilhas no pátio da usina. Dependendo do produto que se deseja obter, é feita a blendagem no próprio pátio e a seguir a bentonita é submetida a britagem e secagem em forno rotativo, onde a umidade é reduzida de 30 para 10%. O produto da secagem é submetido a moagem em moinho tipo Raymond, em circuito fechado com

classificador pneumático, obtendo-se um produto com granulometria abaixo de 200 malhas, a seguir acondicionado em sacos de 50 ou 100 lb (23 ou 45 kg).

Normalmente, os produtos obtidos no processamento da bentonita são submetidos a ensaios de controle de qualidade, em laboratório contíguo à própria usina. No caso de produtos voltados para lama de perfuração, os ensaios são executados segundo normas API e os mais comuns são: viscosidade plástica usando viscosímetro Brookfield; determinação de filtrado API; resíduo em 200 malhas; ensaios de inchamento; ensaios de rendimento. No caso da caracterização de produtos para outras finalidades, são executados ensaios de absorção d'água; de absorção de óleo etc.

### **3.2. Lavra e Processamento de Bentonita no Brasil**

Nas minerações de bentonita no Estado da Paraíba, a preparação das frentes de lavra tem início com a remoção do capeamento, realizado com tratores e pá carregadeira. O estéril da mina é transportado por caminhões fora de estrada, para locais onde comprovadamente não exista bentonita.

Na mina Bravo, bem como nas demais da região de Boa Vista, a lavra é feita a céu aberto, em bancadas que atingem no máximo 2,5 m de altura. As operações de desmonte e carregamento são executadas com o auxílio de pá carregadeira de esteira. A bentonita é lavrada e transportada por caminhões fora de estrada, para pilhas de estoque localizadas próximo à mina. Esse procedimento deve-se ao fato de que, na estação chuvosa, algumas vezes as atividades de lavra são paralisadas devido às condições precárias de tráfego nas minas (Luz *et al.*, 2001b).

Segundo àqueles autores, o beneficiamento das bentonitas da Paraíba consta de: desintegração, adição de 2,5 a 3% em peso de barrilha, homogeneização, laminação ou extrudagem, cura (2 a 10 dias), secagem, moagem, classificação pneumática e ensacamento (Figura 2). Não existe, atualmente, uma uniformidade no processamento das bentonitas da Paraíba. Algumas empresas fazem a adição da barrilha a seco, outras a úmido. A secagem e o tempo de ativação variam de empresa para empresa; algumas secam ao sol outras usam secador rotativo.

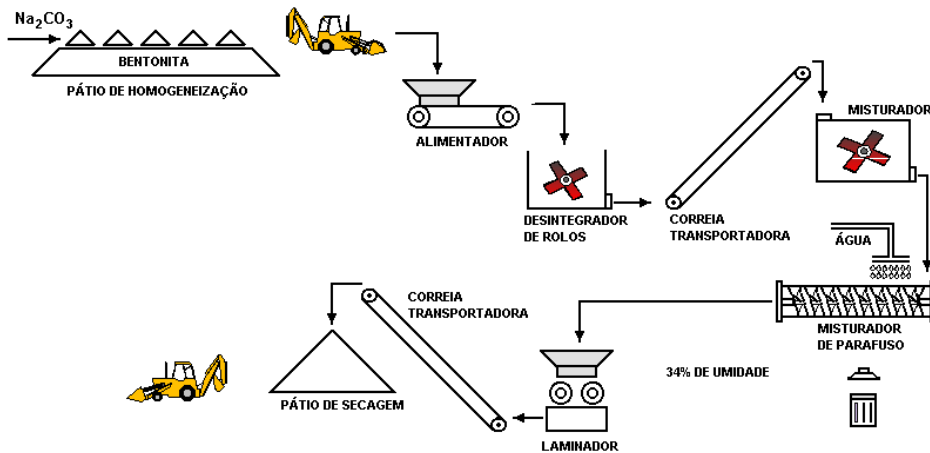


Figura 2: Fluxograma de processamento de bentonita (PB) (Luz *et al.*, 2001b).

#### 4. USOS E FUNÇÕES

Os principais usos da bentonita são apresentados a seguir:

- Agente tixotrópico de fluidos de perfuração de poços de petróleo e d'água;
- Pelotização de minérios de ferro;
- Aglomerante de areias de moldagem usadas em fundição;
- Descoramento de óleos vegetais, minerais e animais;
- Impermeabilização de bacias;
- *Pet litter*.

**Fluido de Perfuração:** As funções da bentonita quando usada como fluido de perfuração (Darley e Gray, 1988) são : (i) refrigerar e limpar a broca de perfuração; (ii) reduzir a fricção entre o colar da coluna de perfuração e as paredes do poço; (iii) auxiliar na formação de uma torta de filtragem nas paredes do poço, de baixa permeabilidade, de forma a controlar a perda de filtrado do fluido de perfuração, contribuindo para evitar o desmoronamento do poço; (iv) conferir propriedade tixotrópica à lama de perfuração, ajudando a manter em suspensão as partículas sólidas, principalmente quando cessa, temporariamente, o movimento da coluna

de perfuração ou o bombeamento da lama de perfuração; e (v) conferir viscosidade à lama de perfuração, para auxiliar no transporte dos cascalhos do fundo do poço para a superfície. As argilas organofílicas (bentonitas modificadas com surfactantes-sais orgânicos de amins quaternárias) são usadas em fluidos de emulsão inversa, onde a fase contínua é constituída por óleo mineral de baixa toxidez, N –Parafina. Esse tipo de fluido é recomendado para aplicações especiais, em poços que atravessam formação contendo camadas de folhelho.

***Pelotização de minérios de ferro:*** A pelletização de minério de ferro usa entre 6 e 8 kg de bentonita sódica, ou smectita cálcica ativada com carbonato de sódio, para cada tonelada de minério de ferro. A bentonita tem como função promover uma ligação entre as partículas minerais, conferindo resistência mecânica às pelotas verdes e, após a queima, às calcinadas (Harben e Kuzvart, 1996).

***Aglomerante de areias de moldagem:*** Conforme Harben e Kuzvart (1996), na preparação de moldes de fundição a bentonita sódica (bentonita cálcica pode ser usada em temperaturas mais baixas de fundição) é usada como ligante na proporção de 4 a 6% e tem a função de promover a aglutinação da areia de quartzo, conferindo as propriedades físicas (porosidade, refratariedade etc.) requeridas dos moldes de fundição.

***Descoramento de óleos:*** As argilas bentoníticas, principalmente quando calcinadas, apresentam alta adsorção (capacidade de atrair e manter íons ou moléculas de gás ou líquido) e absorção (capacidade de incorporar material). A esmectita (montmorilonita) cálcica após ativação ácida (HCl ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) aumenta as suas propriedades sorptivas e é usada no descoramento, desodorização e desidratação de óleos vegetais, minerais e animais.

***Impermeabilização de bacias:*** A bentonita devido a suas propriedades de plasticidade, impermeabilidade, resistência à compressão e baixa compressibilidade, é usada na engenharia civil como cobertura de aterros, impermeabilização de bacias etc.

***Pet litter:*** A função da bentonita aqui deve-se a uma alta capacidade para adsorver e manter íons ou moléculas de gás ou líquido, bem como a capacidade de absorver e incorporar material. Acresce a capacidade de controlar os odores dos dejetos de animais domésticos.

## 5. ESPECIFICAÇÕES

*Fluido da Perfuração:* A bentonita típica de Wyoming: é o produto preferido para uso em perfuração e exploração de gás e petróleo. É também usado na abertura de poços e em fundação de concreto. A Tabela 1 mostra as especificações típicas. Algumas características requeridas dos produtos são apresentadas em seqüência:

- Manufaturado para atender as especificações da Seção 4, norma API 13A;
- Gerar viscosidade a 200 malhas;
- Produzir excelentes características de perda de fluido;
- Ajudar a estabilizar as paredes do poço ou trincheira.

**Tabela 1: Especificações de bentonita típica de Wyoming para perfuração de poços de petróleo frente às especificação requeridas pelas normas API.**

Especificações dos Produtos	Especificações API, 13-A, Seção 4-1990	Bentonita Típica de Wyoming
Rendimento em Barril (*)	-	96±5
Viscosidade a 600 rpm	30 min	36±6
Perda d`água	15 cm <sup>3</sup> max	13,5±1
% peso passante em 200 malhas	-	80±4
Resíduo em 200 malhas, peneira U.S N° 200, a úmido	4,0% max.	3,0±0,5
% Umidade	10%	7±1
pH	-	9,0±1,0
Tensão do Gel -10 Seg	-	4±1
Tensão do Gel – 10 min	-	12±3
Viscosidade Plástica	-	-
Limite de Escoamento, lb/200 ft	-	-

(\*) Barris de lama com 8 cP de viscosidade plástica preparados com 1 t curta (200 lb) de bentonita.



No caso de bentonita natural típica de Wyoming para perfuração de poços para água, é desejável o uso de uma bentonita sódica de alta qualidade e que não se altere. Esse tipo de bentonita é requerida para monitorar poços de perfuração d'água, onde aditivos químicos podem afetar as análises químicas. É também usada em exploração de gás e petróleo, lama de trincheira, paredes de diafragma e como misturas aditivas de solos. As características requeridas são:

- Gerar viscosidade a 200 malhas;
- Atender ou exceder as especificações API 13A, Seção 5;
- Melhorar as características de perda de fluido;
- Auxiliar na estabilização das paredes do poço ou trincheira;
- Não ter aditivos que influenciem as análises químicas.

As análises químicas de uma bentonita típica para uso em perfuração de poços de água são apresentadas na Tabela 2:

**Tabela 2: Bentonita para perfuração de poços de água.**

Composto	Teor (%)
SiO <sub>2</sub>	61,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5
Na <sub>2</sub> O	2,3
CaO	0,4
MgO	1,7
TiO <sub>2</sub>	0,2
K <sub>2</sub> O	0,1
Outros	0,07
H <sub>2</sub> O	7,8
P.F.	4,4

Fonte: Petrobrás

*Bentonita para Pelotização:* Estão apresentadas a seguir as especificações de bentonita de alta sílica (Tabela 3) e média sílica (Tabela 4), para pelotização de minério de ferro. As especificações de bentonita para pelotização de minério de ferro não são padronizadas e vários ensaios são usados (Elzea e Murray, 1994), que servem para avaliar suas propriedades tecnológicas.

**Tabela 3: Especificações e análise de uma bentonita típica de alta sílica para pelotização de minério de ferro.**

Parâmetro	Especificação	Resultado <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	52% máx.	48,86%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14-16%	16,00%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15% mín.	15,97%
CaO	1,5% mín.	1,70%
Na <sub>2</sub> O	2,4% mín.	3,73%
TiO <sub>2</sub>	1,0-2,0%	2,00%
K <sub>2</sub> O	0,06 - 0,20%	0,17%
MgO	2,0% mín.	2,40%
Perda ao fogo	12% máx.	8,88%
Umidade	12% máx.	9,95%
Índice de inchamento livre	30% mín.	32%
Densidade	2,4 - 2,5	2,3325
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	961,20 mín.	1185,48
Montmorillonita	80% mín.	95,32%
pH (suspensão aquosa a 5%)	9,5 mín.	10,2
Absorção de água teste de placa – 2h <sup>(1)</sup>	400 min( Norma ASTM)	485
Malha	% peso	% peso
< 325	70,0 mín.	79,4
< 100	99,5	99,5

Fonte: CVRD

(1) Plate Water Absorption (2h) Witnessed at Shipper's lab.

(2) Análise física e química de uma bentonita típica usada pela CVRD, na pelotização de minério de ferro.

**Tabela 4: Especificação e análise de uma bentonita típica de média sílica para pelletização de minério de ferro.**

Parâmetro	Especificação	Resultado
SiO <sub>2</sub>	45% ± 2%	46,98%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14% mín	16,52%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15% mín	17,06%
CaO	1,5% mín	1,62%
Na <sub>2</sub> O	2,8% mín	3,74%
TiO <sub>2</sub>	2,0% mín	2,31%
K <sub>2</sub> O	0,06 - 0,20%	0,20%
MgO	1,5 - 2,0%	2,00%
Perda ao fogo	12% máx	9,07%
Umidade	12% máx	10,20%
Índice de inchamento livre	30 mín	30
Densidade	2,4 máx.	2,3346
Desidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	961,20 mín.	1185,48
Montmorillonita	80% mín	95,30%
pH (suspensão aquosa 5%)	9,5 mín	10,20%
Absorção de água em placa (2h) certificada no laboratório de embarque	420 min ± 100 (ASTM)	500
Malha	% peso	% peso
< 325	70% mín	80,03%
< 100	99,5% mín	99,6

Fonte: CVRD

*Bentonita para Fundição:* A seguir, encontram-se as especificações de uma bentonita natural sódica (Argentina) e uma bentonita sódica ativada (Boa Vista-PB) usadas na Fundição Tupy, em Joinville-SC, como aglomerantes de areias de moldagem para fundição (Tabela 5.)

**Tabela 5: Especificações de bentonita para fundição.**

<b>Características</b>	<b>Sódica Natural</b>	<b>Sódica Ativada</b>
Umidade original (%)	8,0 – 12,0	8,0 – 12,0
Absorção de azul de metileno (ml)	mín. 50,0	mín. 50,0
Densidade	0,70 – 0,85	0,65 – 0,80
Teor de partículas grossas retido em 0,075 mm (%)	máx. 15,0	máx. 15,0
Reação benzidina	azul intenso	verde
Inchamento (%)	mín. 30,0	mín. 30,0
Estabilidade térmica (550° C) (%)	mín. 70,0	mín. 70,0
(1) RCV (N/cm <sup>2</sup> )	mín. 12,0	mín. 13,0
(2) RTU (N/cm <sup>2</sup> )	mín. 0,28	mín. 029
Permeabilidade (cm <sup>4</sup> /g/min)	140 - 160	160 - 205

Fonte: Fundição Tupy, Joinvile-SC

(1) RCV: Resistência a compressão a verde (teste realizado com mistura padrão de areia (100 partes), bentonita (5 partes) e água para dar uma compactabilidade de 45%.

(2) RTU: Resistência a tração a úmido.

*Bentonita para pet litter*: Algumas características requeridas são apresentadas em seqüência:

- Absorção de líquido 5 vezes o seu peso;
- Controle de odor, ou seja, a capacidade de promover a desodorização;
- Ausência de pó;
- Apresentar cor clara;
- Apresentar partículas arredondadas (1 a 2 mm) para prover maior conforto ao animal.

## **6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Como minerais e materiais alternativos à bentonita, podem ser citados, em função do uso:

- Fluido de perfuração na indústria de petróleo: é influenciado pelo preço do petróleo e pelas tecnologias de exploração. O uso de fluidos de perfuração onde a fase contínua é um polímero, e não água, vem contribuindo para reduzir o consumo de bentonita nesta aplicação;
- Na pelletização de minérios, os polímeros orgânicos, já disponibilizados há mais de 20 anos, apresentam como atrativo a isenção de sílica, possibilitando a produção de pelotas com baixíssimo teor de sílica. Devido ao preço, no entanto, ainda não ameaçam a bentonita nesta utilização;
- Na indústria de fundição, como aglutinante de areia de moldagem, o uso de polímeros orgânicos se restringe a situações especiais de fundição. No longo prazo, a bentonita deve continuar sendo o principal material para esse fim.

Por outro lado, vale registrar que cresce, nos EUA, o uso de bentonita na formulação de material para *pet litter*, ocupando espaço de outros minerais como atapulgita, sepiolita e zeólita.

### **AGRADECIMENTOS**

Aos técnicos da CVRD, Marcio Torres Moreira Penna e Luciano Guido de Macedo, pela colaboração no provimento de informações técnicas sobre especificações de bentonita para pelletização. Ao engenheiro da Fundição Tupy, Isaiás Masiero, pelo fornecimento de informações sobre as especificações de bentonita para fundição.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- DARLEY, H. C.. GRAY. G. R. (1988). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, Fifth Edition, 634p, Gulf Publishing Company, Houston-USA, p.1-37.
- ELZEA, J e MURRAY, H. H. (1995). Bentonite, In: Industrial Mineral and Rocks, AIME, p.223-246.
- HARBEN, P., KUSZVZART, M. (1996). Clays: Bentonite and Hectorite. In: Industrial Minerals – A Global Geology, p.128-138, Industrial Minerals Information Ltd., Metal Bulletin PLC, London.

LUZ, A. B., MAGALHÃES, C. A. M. e MACHADO, A. O. D. (2001a). Relatório de viagem aos EUA preparado para o Projeto CTPetro-UFPE/CETEM, RV-10/01-CETEM.

LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A. e NETO, M. A. A.(2001b). Bentonita: UBM – União Brasileira de Mineração. In: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil, p.373-376, Editores: João A Sampaio, Adão B. da Luz e Fernando F. Lins, CETEM/MCT, 398p.

OLIVEIRA, M. L. (2004). Bentonita. Sumário Mineral DNPM, p.41-42

USGS (2004). Clays. Mineral Commodity Summaries, p.48-49.