

2ª Edição revisada e ampliada

EDITORES: ADÃO BENVINDO DA LUZ & FERNANDO A. FREITAS LINS

ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS

usos e especificações



SUMÁRIO

PARTE I: INTRODUÇÃO GERAL

01. PANORAMA DAS ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL 3
Fernando A. Freitas Lins

02. DESEMPENHO FUNCIONAL DOS MINERAIS INDUSTRIAIS: 25
DESAFIOS TECNOLÓGICOS, FERRAMENTA DE MARKETING E ESTRATÉGIA DE VALORIZAÇÃO
Renato R. Ciminelli

PARTE II: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES

03. AGALMATOLITO 69
Adão Benvindo da Luz, Paulo Tomedi e Rodrigo Martins

04. AMIANTO 79
*Normando Claudino Moreira de Queiroga, William Bretas Linares, Joselito Dasio da Silva
e Adão Benvindo da Luz*

05. AREIA INDUSTRIAL 103
Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins

06. AGROMINERAIS - ENXOFRE 125
*Gildo de Araújo Sá C. de Albuquerque (in memoriam), Ronaldo Simões L. Azambuja (in memoriam.)
e Fernando A. Freitas Lins*

07. AGROMINERAIS - FOSFATO 141
Francisco E. Lápido Loureiro, Marisa Bezerra de Mello Monte e Marisa Nascimento

08. AGROMINERAIS - POTÁSSIO 175
Marisa Nascimento, Marisa Bezerra de Mello Monte e Francisco E. Lápido Loureiro

09. AGROMINERAIS - ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES MINERAIS 205
ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A AGRICULTURA
*Éder de Souza Martins, Claudinei Gouveia de Oliveira, Álvaro Vilela de Resende e Marcello
Silvino Ferreira de Matos*

10. ARGILA - ATAPULGITA E SEPIOLITA 223
Adão Benvindo da Luz e Salvador Luiz M. de Almeida

11. ARGILA - BENTONITA 239
Adão Benvindo da Luz e Cristiano Honório de Oliveira

12. ARGILA - CAULIM	255
<i>Adão Benvindo da Luz, Antônio Rodrigues de Campos, Eduardo Augusto de Carvalho, Luis Carlos Bertolino e Rosa Bernstein Scorzelli</i>	
13. BARITA	295
<i>Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho Magalhães Baltar</i>	
14. BAUXITA	311
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
15. BERILO	339
<i>Marcelo Soares Bezerra e Júlio de Rezende Nesi</i>	
16. CALCÁRIO E DOLOMITO	363
<i>João Alves Sampaio e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
17. CIANITA REFRACTÁRIA	389
<i>Caroline Meira Lopes de Castro Joffily e Claudinei Gouveia de Oliveira</i>	
18. CROMITA	403
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
19. DIAMANTE	427
<i>Mario Jorge Costa e Adão Benvindo da Luz</i>	
20. DIATOMITA	451
<i>Silvia Cristina Alves França, Adão Benvindo da Luz e Paulo Francisco Inforçati</i>	
21. FELDSPATO	467
<i>Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins e José Mario Coelho</i>	
22. FLUORITA	487
<i>João Alves Sampaio, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Mônica Calixto de Andrade</i>	
23. GIPSITA	505
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Flavia de Freitas Bastos e Adão Benvindo da Luz</i>	
24. GRAFITA	527
<i>João Alves Sampaio, Paulo Fernando Almeida Braga e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
25. HALITA	551
<i>Paulo Roberto Cabral de Melo, Renato Senna de Carvalho e Dorival de Carvalho Pinto</i>	

26. LÍTIU	585
<i>Paulo Fernando Almeida Braga e João Alves Sampaio</i>	
27. MAGNESITA	605
<i>Luís Rodrigues Armôa Garcia, Paulo Roberto Gomes Brandão e Rosa Malena Fernandes Lima</i>	
28. MANGANÊS	633
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade, Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Márcio Torres Moreira Penna</i>	
29. MICA	649
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio e Patrícia Maria Tenório Cavalcante</i>	
30. NEFELINA SIENITO	663
<i>João Alves Sampaio, Sílvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga</i>	
31. QUARTZO	681
<i>Pedro Luiz Guzzo</i>	
32. RMIS: ROCHAS E MINERAIS PARA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	723
<i>Mônica Calixto de Andrade, João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Alberto Buoso</i>	
33. RMIS: ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA	747
<i>Marsis Cabral Junior, José Francisco Marciano Motta, Amilton dos Santos Almeida e Luiz Carlos Tanno</i>	
34. RMIS: ARGILA PLÁSTICA PARA CERÂMICA BRANCA	771
<i>José Francisco Mariano Motta, Adão Benvindo da Luz, Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Marcelo Soares Bezerra, Marsis Cabral Júnior e José Mario Coelho</i>	
35. TALCO	793
<i>Ivan Falcão Pontes e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
36. TERRAS-RARAS	817
<i>Simon Rosental</i>	
37. TITÂNIO: MINERAIS DE TITÂNIO	841
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Dorival de Carvalho Pinto</i>	
38. VERMICULITA	865
<i>José Fernandes de Oliveira Ugarte, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	
39. ZEOLITAS NATURAIS	889
<i>Nélio das Graças de Andrade da Mata Resende, Marisa Bezerra de Mello Monte e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
40. ZIRCONITA	917
<i>Luiz Carlos Bertolino, Nely Palermo, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	

PARTE III: OS MINERAIS E O MEIO AMBIENTE

41. MINERAIS APLICADOS À TECNOLOGIA AMBIENTAL: MINERAIS VERDES 933
Silvia Cristina Alves França, José Fernandes de Oliveira Ugarte e Adriana de A. Soeiro da Silva
42. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL A POEIRAS DE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS 961
Zuleica Carmen Castilhos, Reiner Neumann e Olívia Bezerra

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 11

Argila – Bentonita

Adão Benvindo da Luz¹
Cristiano Honório de Oliveira²

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 montmorillonita. 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 possui 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. Com efeito, foi inaugurado neste município, no distrito de Padroso, em 2007, o empreendimento mineral da Companhia Brasileira de Bentonita-CBB, de propriedade da Geosol, empresa especializada em sondagens e perfuração de poços artesianos. A jazida foi arrendada da CBPM. A CBB apresenta capacidade de produção de pelo menos 60 mil t/ano de bentonita ativada.

As bentonitas de Boa Vista são cálcicas e o seu uso industrial exige que sejam ativadas com carbonato de sódio (barrilha), para serem transformadas em sódicas. Esse processo foi desenvolvido e patenteado na Alemanha, no ano de

¹Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

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

1933, pela empresa Erbsloh & Co e é atualmente utilizado pelos países que não dispõem de bentonita sódica natural.

De 2005 para 2006, a produção brasileira de bentonita beneficiada aumentou 6,4%, ou seja de 221 mil t para 236 mil t. O consumo aparente de bentonita beneficiada, em 2006, foi de 222 mil t. As importações resultaram em déficit comercial de US\$ 13,5 milhões. O Estado da Paraíba mantém-se como o principal produtor, contribuindo em 2006, com 86,5% de toda a bentonita produzida no País (Resende *et al.*, DNPM/2007). Segundo este, 13 empresas atuam nesse segmento, sendo a Bentonit União do Nordeste a maior delas.

Os EUA lideram a produção mundial. Em 2006 produziram 4,62 Mt. O consumo aparente no mesmo ano foi de 3,39 Mt (USGS, 2007), equivalendo a um consumo per capita de 11,3 kg/hab. Para efeito de comparação, o consumo brasileiro fica em torno de 1,2 kg/hab.

Os principais usos da bentonita são: 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* etc. A distribuição do consumo de bentonita varia significativamente de acordo com o país. Mais adiante serão apresentados os principais usos no Brasil e, a título de comparação, nos EUA.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Esmectita é o termo dado a um grupo de minerais constituído por: montimorillonita, beidelita, nontronita, hectorita e saponita. Cada mineral forma uma estrutura similar, entretanto 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 montimorillonita. 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 (esmetita 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, possui elevada capacidade de inchamento e tem as características de uma massa, quando se adiciona água. Esse é o caso das bentonitas sódicas do estado de Wyoming-EUA. Quando a bentonita tem o cálcio como íon predominante, possui 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 ocorrem cobertas por uma camada de solo argiloso, variando de 1 a 10 m. Nos níveis onde é feita a lavra, as argilas ocorrem em camadas de cores variadas, por vezes formando estratificações ou zonas uniformes. Localmente, essas argilas recebem as seguintes denominações: de: *chocolate*; *verde lodo*, *vermelha*; *sortida* ou *mista* e *bofe* ou *leve* (Luz *et al.*, 2001b).

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

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).



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

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 o comprimento entre 2 a 5 km.

Na lavra são empregados trator e *motor-scraper* para fazer o decapeamento. O carregamento da bentonita é feito com carregadeira frontal 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 identificados sete tipos de bentonita (verde, amarela etc.). A lavra de cada tipo 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 à 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 direcionados 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.

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 carregadeira frontal. O estéril da mina é transportado, por caminhões fora de estrada, para locais onde comprovadamente não exista bentonita.

Na mina Bravo e 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 a impossibilidade de tráfego nas minas (Luz *et al.*, 2001b).

Segundo os mesmos autores, o beneficiamento das bentonitas da Paraíba consta de: desintegração, adição de 2,5 a 3% em peso de barrilha, homogeneização, laminação ou extrusão, 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.

Oleofilização de Bentonitas

Na perfuração de poço de petróleo que atravesse camadas de folhelho, recomenda-se trabalhar com fluidos de perfuração onde a fase contínua é óleo. Neste caso, a bentonita usada para preparar esse fluido de perfuração deve ser organofílica.

Para obtenção desse tipo de argila organofílica, a sua superfície é modificada pela reação da bentonita ou hectorita, com surfactantes do tipo tetraalquil amônio catiônico. Uma modificação de superfície, muito comum também, é obtida com o surfactante triálquilaril amônio catiônico (Eisenhour and Reisch, 2006).

Aranha (2007) estudou a oleofilização de bentonitas (montmorillonitas) da região de Campina Grande-PB, usando dois agentes de lipofilização, com polaridades distintas. As argilas organofílicas obtidas foram testadas na remoção de óleo residual de água de produção de petróleo e os resultados se mostraram promissores.

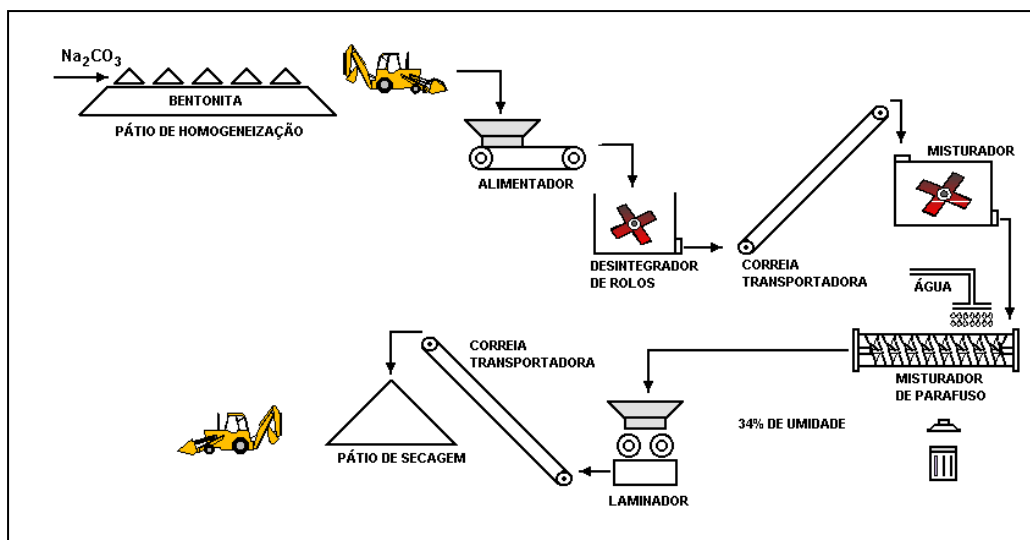


Figura 2 – Fluxograma de processamento de bentonita (PB)
(Luz *et al.*, 2001b).

4. USOS E FUNÇÕES

No ano de 2006, da bentonita consumida nos EUA, 26% é usada como *pet litter* (absorvente de dejetos de animais domésticos), 22% como agente tixotrópico de fluidos de perfuração de poços de petróleo e d'água, 23% como aglutinante de areias na indústria de fundição, 13% como aglomerante na pelletização de minério de ferro e 16% em outros usos (USGS, 2007).

No Brasil, dados preliminares sobre o consumo de bentonita bruta, apresentaram a seguinte distribuição (Resende *et al.*, DNPM 2007): pelletização (45,2%); extração de petróleo e gás (22%); fabricação de filtros (10,5%); fundição (7,2%); construção civil (4,8%); cosméticos (3,8%); tintas, esmaltes e vernizes (1,8%), cerâmica branca (0,5%), outros não especificados (4,2%).

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;
- (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 aminas 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 esmectita 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 (montmorillonita) cálcica após ativação ácida (HCl ou H₂SO₄) 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 às 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, neste caso, deve-se a uma alta capacidade para adsorver e manter íons ou moléculas da 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. Na Tabela 1 constam as especificações típicas. Algumas características requeridas dos produtos são apresentadas, em seqüência:

- (i) manufaturado para atender as especificações da Seção 4, norma API 13A;
- (ii) gerar viscosidade a 200 malhas;
- (iii) produzir excelentes características de perda de fluido;
- (iv) 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 ³ 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 s	-	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:

- (i) gerar viscosidade a 200 malhas;
- (ii) atender ou exceder as especificações API 13A, Seção 5;
- (iii) melhorar as características de perda de fluido;
- (iv) auxiliar na estabilização das paredes do poço ou trincheira;
- (v) 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 (%)	Composto	Teor (%)
SiO ₂	61,4	MgO	1,7
Al ₂ O ₃	18,1	TiO ₂	0,2
Fe ₂ O ₃	3,5	K ₂ O	0,1
Na ₂ O	2,3	Outros	0,07
CaO	0,4	H ₂ O	7,8
P.F.	4,4	-	-

Fonte: Petrobrás.

Bentonita para Pelotização - A seguir, estão descritas as especificações de bentonita de alta sílica (Tabela 3) e média sílica (Tabela 4), para pelotização de minério de ferro. Estas especificações 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 ⁽²⁾
SiO ₂	52% máx.	48,86%
Al ₂ O ₃	14-16%	16,00%
Fe ₂ O ₃	15% mín.	15,97%
CaO	1,5% mín.	1,70%
Na ₂ O	2,4% mín.	3,73%
TiO ₂	1,0-2,0%	2,00%
K ₂ 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 ³)	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 ⁽¹⁾	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 pelotização de minério de ferro.

Parâmetro	Especificação	Resultado
SiO ₂	45% ± 2%	46,98%
Al ₂ O ₃	14% mín	16,52%
Fe ₂ O ₃	15% mín	17,06%
CaO	1,5% mín	1,62%
Na ₂ O	2,8% mín	3,74%
TiO ₂	2,0% mín	2,31%
K ₂ 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
Densidade aparente (kg/m ³)	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.

Características	Sódica Natural	Sódica Ativada
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 ²)	mín. 12,0	mín. 13,0
(2) RTU (N/cm ²)	mín. 0,28	mín. 0,29
Permeabilidade (cm ⁴ /g/min)	140 - 160	160 - 205

Fonte: Fundição Tupy, Joinville-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:

- (i) absorção de líquido 5 vezes o seu peso;
- (ii) controle de odor, ou seja, a capacidade de promover a desodorização;
- (iii) ausência de pó;
- (iv) possuir cor clara;
- (v) possuir 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:

- (i) Como 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;
- (ii) Na pelletização de minérios, os polímeros orgânicos, já disponibilizados há mais de 20 anos. O atrativo maior é 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.
- (iii) 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.

Tendências Futura - Nos últimos anos, crescem as pesquisas visando o uso da esmectita como carga funcional nos polímeros. Para esse tipo de aplicação, as partículas individuais de esmectita são dispersas em uma matriz polimérica, resultando em um material compósito argila-polímero. Tendo em vista que a espessura das placas de argila estão próxima de 1 nm, o material compósito formado pode ser denominado de nanocompósito. O uso desse tipo de material tem ainda um mercado limitado, mas espera-se um crescimento, na medida que o mercado se adapte a essa nova tecnologia (Eisenhour and Reisch, 2006).

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, Isaías Masiero, pelo fornecimento de informações sobre as especificações de bentonita para fundição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANHA, I. B. (2007). Preparação, caracterização e propriedades de argilas organofílicas, Tese de Doutorado, Programa de Química Orgânica do Instituto de Química – UFRJ, 2007.
- 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.
- EISENHOUR, D., REISCH, F. (2006). Bentonite. In: Industrial Minerals & Rocks, Ed. Jéssica Elzea Kogel, Nikhil C. Trivedi, James M. Barker and Stanley T. Krukowski, p. 357-368, 2006.
- HARBEN, P., KUSZVZART, M. (1996). Clays: Bentonite and Hectorite. In: Industrial Minerals – A Global Geology, Industrial Minerals Information Ltd., Metal Bulletin PLC, London, p. 128-138.
- 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, Editores: João A Sampaio, Adão B. da Luz e Fernando F. Lins, CETEM/MCT, 398p, p. 373-376.
- RESENDE, M. M, SILVA, L. R., CANO, T. M. (2007). Bentonita. Sumário Mineral DNPM.
- USGS (2007). Clays. U. S. Mineral Commodity Summaries, January 2007, p. 46-47.