

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**A JAZIDA DE BENTONITA DE BAÑADO DE
MEDINA, MELO, URUGUAI.
GEOLOGIA, MINERALOGIA E APLICAÇÃO
INDUSTRIAL**

LUIZ DELFINO TEIXEIRA ALBARNAZ

ORIENTADOR – Prof. Dr. André Sampaio Mexias

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus– Instituto de Geociências,
Universidade federal do Rio Grande do Sul

Profª. Dra. Marcia Elisa Boscato Gomes – Instituto de Geociências,
Universidade federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Carlos Otávio Petter - Departamento de Engenharia de Minas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2009

Albarnaz, Luiz Delfino Teixeira

A jazida de bentonita de Bañado de Medina, Melo, Uruguai.
Geologia, mineralogia e aplicação industrial. / Luiz Delfino Teixeira
Albarnaz. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2009.
[70 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande
do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2009.

Orientação: Prof. Dr. André Sampaio Mexias.

1. Bentonita. 2. Montmorilonita. 3. Gênese. 4. Aplicação
tecnológica. 5. Uruguai. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Miriam Alves CRB Prov. 10/3108

À Giselda, Fabrício, Filipe e Alice

Agradecimentos:

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de realizar este mestrado em um excelente ambiente de trabalho, com todo o suporte humano e material para a pesquisa.

Ao pessoal docente do curso de Geologia pela dedicação e paciência.

Ao Professor Dr. André Sampaio Mexias, amigo e companheiro de início de carreira profissional, que após 23 anos me acolheu como seu orientando, abrindo para mim seu coração e sua casa, onde hoje me sinto como de sua família.

Ao Professor Dr. Norberto Dani, um verdadeiro mestre, que, com seus ensinamentos e dedicação foi fundamental para a qualificação de meu mestrado. Sua percepção de que a ciência deve ser suporte para o emprego racional dos recursos minerais, ajudou muito para que este mestrado possa servir de base no planejamento da utilização industrial do jazimento de Bañado de Medina .

Ao Professor Dr. Milton Formoso, um exemplo de vida e um balizador de nosso caminho como pesquisador e ser humano.

Ao Professor Dr. Nelson Lisboa pelos conhecimentos transmitidos, especialmente no campo, e pelas oportunidades de discussão, além das geológicas, também das tradições culinárias gaúchas.

Ao Professor Dr. Marcus Remus ex-colega de Unisinos que me recebeu e apoiou neste mestrado.

Ao pessoal do laboratório de Difração de raios x, Renato, Jorge e Paula.

Aos amigos do laboratório de Geoquímica: Ronaldo, Julio Rosa, Julio Zeitter e Luiz Flores.

Aos graduandos Gabriel, Gustavo e Kellen.

Ao Engenheiro Regis Amaral do Laboratório de Fundição do Centro Tecnológico da UFRGS e ao Engenheiro Tunas da empresa Drescon, da Paraíba, pela colaboração na obtenção dos dados referentes às propriedades tecnológicas da bentonita de Bañado de Medina.

No Uruguai, onde durante muitos anos coletei dados que vieram a compor esta dissertação, meu reconhecimento, em primeiro lugar, ao Engenheiro José Pedro Argenzio (em memória) que foi um pioneiro no estudo das bentonitas de Banhado de Medina e na busca de suas aplicações tecnológicas.

Ao Engenheiro Gustavo Eguren, de Melo, um amigo que durante todo tempo foi meu suporte para o desenvolvimento do trabalho.

Ao amigo, proprietário da indústria de Calcário Vigor, Sr. Nelsis Coradini que me proporciono às condições para meus primeiros trabalhos na área.

Aos proprietários da empresa Calcário Razzera, Srs. Mario Razzera, Jeovane Razzera (em memória) e Ivan Razzera.

Ao grande amigo José (sondador, assador, um verdadeiro cavalheiro), entusiasta e competente, a quem devemos a possibilidade de obter os dados que as sondagens nos ofereceram.

E finalmente ao CNPq - processo: 481087/2007-9, Projeto Fapergs/Pronex 408253 e o Programa de Bolsas de Pós-Graduação-REUNI da UFRGS.

Resumo:

A Jazida Bañado de Medina localizada a sudoeste da cidade de Melo (Uruguai) se constitui na primeira ocorrência na região com potencial para exploração comercial de bentonita. Através de uma campanha de 31 furos de sondagem foi possível delimitar um bloco cuja espessura da camada de bentonita atinge até 6,6 m. Os furos permitiram visualizar um pacote dentro da seqüência permiana do Rio do Rasto delimitada superiormente e inferiormente por arenitos, protegida de processos erosivos devido aos falhamentos que mantiveram este material em blocos abatidos do terreno. A cubagem realizada revelou nos 9,5 ha prospectados uma reserva medida de 580000 toneladas com distribuição contínua e apresentado cobertura de estéril do tipo arenito/siltito da ordem de 1,60m até 11,60m de espessura. O objetivo deste trabalho é mostrar os dados obtidos envolvendo o estudo da mineralogia, composição química, contaminantes, fatores controladores da jazida e propriedades tecnológicas deste material. Estratigraficamente a jazida situa-se dentro da Formação Rio do Rasto, porção superior do Membro Serrinha (Formação Yaguari, Membro Vila Viñoles na nomenclatura uruguaia). Foi possível compartimentar a bentonita em 4 camadas de acordo com critérios texturais, estruturas sedimentares e cor. Mineralogicamente, as camadas são compostas predominantemente por esmectita dioctaédrica cálcica e traços de quartzo e feldspato. Os resultados químicos mostram uma esmectita com baixo teor em ferro, com cerca de 76% da carga interfoliar proveniente da substituição a nível octaédrico, classificando-se como uma alumínio montmorilonita. Foi avaliado a capacidade de troca de cátions (valores entre 118 e 124 meq/100g) e sua correlação com domínios 2EG, 1EG e 0EG. Os resultados mostram uma montmorilonita de baixa carga. Seu uso tecnológico foi testado para a aplicação em moldes de fundição e como fluido de perfuração. Os resultados apontaram índices adequados de estabilidade térmica, Palavras chave: Bentonita, montmorilonita, gênese, aplicação tecnológica, Uruguai.

Abstract:

A bentonite deposit occurs in Bañado de Medina, Melo Uruguay and seems be the first case of commercial occurrence in this region. 31 drill holes allowed delimiting a thickness until 6,6 m and a reserve about 580.000 t of bentonite in this deposit. The aim of this paper is to display the mineralogical, geochemical studies also other factors which are important for the exploitation of this clay material. The clay deposit is in the Permian Rio do Rastro Formation, in the upper part of the Serrinha Member (Yaguary formation, Vila Viñoles member – Uruguayan equivalent stratigraphy). The bentonite consists of four beds according to sedimentary structure, color and texture. The bentonite deposit is in contact (at the base and top) with fine sandstones and a fault system preserved the bentonite from later erosive processes. X-ray diffraction data show that the bentonite is formed by more than 90% of smectite and is Ca-dioctahedral smectite. The chemical analysis displays a smectite with low content of Fe^{+3} and 76% of interfoliar charge mainly associated to an octahedral replacement of Al^{+3} by Mg^{+2} constituting an Al-montmorillonite. The cation exchange charge is between 118 and 124 meq/100mg. The montmorillonite is highly predominant low charge type (2EG). The technological use was tested for foundry and drill hole fluid. The results indicate adequate thermal stability, good swelling properties and green strength for foundry use.

Keywords: Bentonite, montmorillonite, genesis, technological applications, Uruguay.

- **Sumário**

Agradecimentos:	ii
Resumo:	iv
Abstract:	v
I - Introdução.....	1
II - Principais depósitos de bentonita na América do Sul.....	3
IV - Objetivos gerais do Trabalho	12
V- Metodologia.....	13
1 - Mapeamento regional	13
2 – Sondagem.....	13
3 - Descrição macroscópica	14
4 - Difractometria de raios X.....	14
5 - Capacidade de Troca Catiônica pelo Íon NH_4^+	15
7 - Ensaio tecnológicos.....	16
Bibliografia:	18
Carta de encaminhamento do artigo	20
Artigo submetido à Revista Pesquisas	22
Resumo:	23
Abstract.....	24
1 - Introdução.....	25
2 – Localização	27
3 - Trabalhos anteriores	27
4 – Metodologia	28
5 – Geologia da área	30
6 – Contexto geológico do depósito e cubagem	33
7 – Mineralogia.....	38

8 –Propriedades tecnológicas.....	46
9 – Conclusões	49
10 - Agradecimentos	50
11 – Bibliografia	51
Discussão e Conclusões :	54
Bibliografia:	57

Lista de Figuras

<i>Figura 1 – Representação esquemática da estrutura da esmectita (DANA, 1983).</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2- Principais ocorrências de bentonita na América do Sul. (1)Aceguá-Melo, (2)Abra Del Despeñadero, (3)Península de Santa Elena, (4)Bacia de Campos-RJ (5), Neuquén, (6)Paraíba.</i>	<i>4</i>
<i>Figura 3 – Camada de Bentonita em Abra Del Despeñadero – Formação Tunas.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 4 – Diagrama de Winchester & Floyd (1977) mostrando os campos de classificação das bentonitas do Marco “3-dedos (círculos) e dos basaltos da Formação Cabriúnas (quadrados) da Bacia de Campos e outras rochas ígneas mais jovens (demais símbolos)......</i>	<i>7</i>
<i>Figura 5 – Seqüência de camadas na Formação Colón Cura (Departamento de Zaballa).</i>	<i>8</i>
<i>Figura 6 - DRX de de bentonita das minas 7 de Maio e Cerro Bandera - Nat./s.a: natural seca ao ar – Mag/glic: homogeneizada com magnésio / glicolada.</i>	<i>9</i>

Lista de figuras do artigo:

<i>Figura 1 – Mapa geológico e de localização dos Campos A e B na região de Bañado de Medina – Uruguai, adaptado de Gomez et al. (1980) e Bossi et al. (1998)......</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2 – Coluna estratigráfica comparativa entre as nomenclaturas usadas no Brasil e no Uruguai. ...</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3 – Mapa dos poços de sondagem e espessura das camadas.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4 – Perfil A – B mostrando o as camadas de bentonita.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5 - Contato por falha entre a bentonita (bloco abatido) e o arenito siltoso (bloco soerguido), evidenciando o fraturamento próximo a linha de falha.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6 – Contato entre o Membro Morro Pelado e o membro Serrinha (bentonita)</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7 – Características macroscópicas diferenciais entre as camadas de bentonita.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8 - (A) Difratomogramas de raios-X (DRX) ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2, amostra total, modo natural, intervalo de 2° a 32°2θ. Sm (esmectita), Qz (quartzo), Fk (K feldspato), Pl (plagioclásio). (B) O posicionamento do pico 060 é típico de esmectita dioctaédrica.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9 - Difratomogramas de raios-X (DRX) ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2. Fração <2µm, Saturado com Ca, modo glicolado. CuKa, intervalo de 2° a 32°2θ.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10 - Difratomogramas de raios-X (DRX) ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2. Fração <2µm, Saturado com Ca, K e K-Ca no modo seca ao ar e ao etileno glicol. CuKa, intervalo de 2° a 32°2θ.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 11 - Difratomogramas de amostras K-saturadas, fração <2µm, saturado com Ca e posteriormente com K, CuKa. (A) Padrões de difratogramas das amostras orientadas e tratadas com etilenoglicol, coletadas ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2, intervalo de 2° a 24°2θ. (B) Decomposição do pico d001 do difratograma da amostra 450 A, seca ao ar após saturação com KCl. (C) Decomposição do pico d001 do difratograma da amostra 450 A, tratada com etileno glicol após saturação com KCl.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 12 - (A) Participação dos domínios 0EG, 1EG e 2EG no empilhamento das folhas da esmectita Bañado de Medina e valores de capacidade de troca de cátions (CTC) das amostras em diferentes</i>	

profundidades (valores em meq/100g). (B) Correlação positiva entre o CTC e a proporção de folhas do tipo 2EG. (C) Correlação negativa entre o CTC e a proporção de folhas do tipo 0EG.45

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Composição química da bentonita cálcica do grupo Ancón – próximo a Guayaquil. 6

Tabela 2 – Análises químicas e Capacidade de troca de cátions (CIC) das bentonitas de Neuquén –

Argentina..... 8

Tabela 3 - Resultado dos ensaios tecnológicos nas bentonitas da Província de Neuquén -Argentina. 10

Tabela 4 - Análises químicas das bentonitas da Região de Boa Vista e de Wyoming. 11

Lista de tabelas do artigo:

Tabela 1 - Análise química de amostra típica da bentonita Bañado de Medina e valores calculados para a fórmula química aproximada. 46

Tabela 2 – Resultado comparativo de ensaios tecnológicos entre a bentonita de Bañado de Medina e

uma bentonita de Neuquén na Argentina 48

Sobre a estrutura desta dissertação:

Esta dissertação de Mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido a um periódico nacional. Sua organização compreende as seguintes partes principais:

Introdução. Introdução ao tema, contendo descrição geral dos objetivos e o estado da arte, além de metodologia, com uma ampla revisão bibliográfica.

Corpo principal: Artigo Científico submetido à Revista Pesquisas:

“A JAZIDA DE BENTONITA DE BAÑADO DE MEDINA, MELO, URUGUAI.
GEOLOGIA, MINERALOGIA, APLICAÇÃO TECNOLÓGICA”

Considerações Finais. Síntese dos resultados que serviram de base para as conclusões e referências bibliográficas.

I - Introdução

Bentonita é uma rocha, constituída essencialmente por argilominerais do grupo das esmectitas. Originam-se mais freqüentemente da desvitrificação e alteração química de cinzas vulcânicas (Darley & Gray, 1988) e podem apresentar outros componentes, tais como: outros argilominerais (caolinita, illita), feldspatos, anfibólios, cristobalita, quartzo, sendo que o total de componentes não argilosos dificilmente é superior a 10%. Podem apresentar cores variadas, tais como: branco, cinza, amarelo, marrom, verde e azul (GRIM, 1968). A origem do nome (KNIGHT, 1898) refere-se a um depósito de argila esmectítica na região de Fort Benton, Wyoming (USA) composto por rochas de idade Cretácea (100 m.a.), produto de alteração de cinza vulcânica

Estas cinzas vulcânicas, transportadas via atmosfera, teriam sido depositadas em lagos, lagoas, zonas marinhas pouco profundas gerando esmectita (bentonitas) ou em pântanos, gerando caolinita (*tonstein*).

As bentonitas normalmente formam camadas de poucos centímetros, mas eventualmente podem gerar camadas de vários metros, como nos depósitos de Wyoming, na província de Neuquén na Argentina e no depósito de Bañado de Medina no Uruguai. A extensão lateral do depósito vai depender da energia da erupção e da força das correntes aéreas.

Para a geração de bentonitas, é importante que o ambiente deposicional seja de fraca energia. A origem vulcânica é evidenciada pela presença de quartzo-beta, biotita, sanidina, plagioclásio e fragmentos vítreos.

As esmectitas apresentam-se como um “*sanduíche*” formado por duas folhas de tetraedros de sílica envolvendo uma folha de octaedros de alumínio, estrutura de tipo 2:1 (Fig. 1). Na estrutura, podem ocorrer substituições de íons por outros de mesmo ou diferente número de oxidação. Nos tetraedros, o íon Al^{3+} pode aparecer substituindo o Si^{4+} , enquanto nos octaedros os íons Mg^{2+} , Fe^{2+} e/ou Fe^{3+} podem substituir o Al^{3+} (GUNGOR, 2000; MURRAY, 2000). Esse tipo de substituição provoca um desbalanceamento elétrico que é compensado por cátions, como Na^{+1} e Ca^{2+} , que se posicionam entre as camadas e são intercambiáveis, dando origem às denominações de bentonitas sódica e cálcica. Algumas bentonitas, menos comuns, podem apresentar íons

H^+ , K^+ e Mg^{2+} como cátions de compensação. O desbalanceamento de carga na superfície de uma esmectita pode variar de 0,2 a 0,6 por unidade de célula (GRIM, 1962).

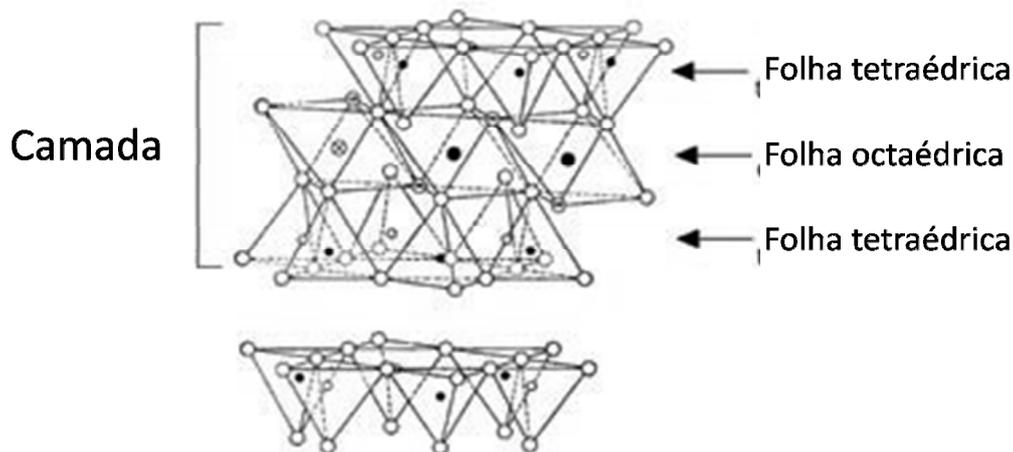


Figura 1 – Representação esquemática da estrutura da esmectita (DANA, 1983).

As bentonitas, em geral, caracterizam-se por apresentar: (1) partículas muito finas; (2) elevada carga superficial; (3) alta capacidade de troca catiônica; (4) elevada área superficial e (5) inchamento (afastamento das camadas) quando em presença de água. Nessas argilas, as superfícies das camadas estão disponíveis para hidratação e troca de cátions (LUCKHAM & ROSSI, 1999). Essas características resultam nas propriedades que determinam o seu aproveitamento industrial.

As bentonitas podem apresentar maior ou menor capacidade de inchamento. Essa propriedade depende de muitos fatores, tais como: natureza do cátion interplanar, carga da camada, natureza dos sítios geradores de carga, interstratificação e presença de contaminantes (sais solúveis, substâncias orgânicas, etc.). De uma forma geral, o fator mais importante costuma ser a natureza do cátion interplanar, uma vez que se o cátion sódio, que se hidrata muito facilmente, estiver presente em quantidades apreciáveis, a esmectita apresenta alta capacidade de inchamento, enquanto se outros cátions estiverem presentes a hidratação será menos intensa (DARLEY E GRAY, 1988).

A bentonita possui características peculiares e importantes para um diversificado campo de utilização industrial, destacando-se usos como: (a) componente de fluidos utilizados para perfuração de poços de petróleo (b) aglomerante de areias de moldagem usadas em fundição; (c) pelotização de minério de ferro; (d) descoramento de

óleos e clarificação de bebidas; (e) impermeabilizante de solos; (f) absorvente sanitário para animais de estimação; (g) carga mineral, em produtos farmacêuticos, rações animais, produtos cosméticos e outros; (h) agente plastificante para produtos cerâmicos, (i) composição de cimento, entre outros (MURRAY, 2000).

II - Principais depósitos de bentonita na América do Sul

Os principais depósitos de bentonita na América do Sul estão inseridos em formações com idades desde o Permiano até o Terciário. Estas ocorrências serão descritas a seguir segundo a ordem cronológica de sua formação (Fig. 02):

- 1 - Região de Aceguá, sul do Brasil, e região de Melo, norte do Uruguai. Idade Permiana.
- 2 - Região de Abra Del Despeñadero – Sierras Australes – Província de Buenos Aires. Idade Permiana.
- 3 - Península de Santa Elena, Equador. Idade Cretácea.
- 4 - Bacia de Campos, Rio de Janeiro. Idade Cretácea.
- 5 - Departamento de Zaballa, Província de Neuquén. Argentina – com idade Mioceno – Pleistoceno.
- 6 - Região de Boa Vista, estado da Paraíba, de idade Terciária (Plioceno – Oligoceno).

As bentonitas de Melo (Uruguay) e Aceguá (Brasil) são descritas por Calarge (2001) como sendo composta por esmectita com cinco tipos diferentes de folhas, segundo o grau de expansibilidade após saturação com K^+ e K^+ seguido de Ca^{2+} . Na bentonita há evidências de duas deposições de vidro vulcânico riodacítico. Também, segundo a autora, as camadas seriam predominantemente de alta carga. Calarge et al. (2003) posicionam as bentonitas da região de Aceguá (Brasil) e de Melo Uruguai como de idade Permiana superior, incluídas dentro do pacote de rochas sedimentares da Formação Rio do Rastro (Brasil) e Formação Yaguary (Uruguai). Nesse período o arco vulcânico localizado no norte da Patagônia (Argentina) apresenta um episódio de intensa atividade ligada ao choque de placas tectônicas. Estas erupções são especialmente explosivas em função da natureza félsica de seu magma. Segundo os

autores, a relação entre as razões de Zr/TiO_2 X Nb/Y locados no diagrama de Winchester and Floyd (1977) indicam que o vidro vulcânico possuía uma composição dacítico-riodacítica.



Figura 2- Principais ocorrências de bentonita na América do Sul. (1)Aceguá-Melo, (2)Abra Del Despeñadero, (3)Península de Santa Elena, (4)Bacia de Campos-RJ (5), Neuquén, (6)Paraíba.

Segundo os autores, a formação Rio do Rastro e Yaguary são compostas por arenitos fluviais associados com dunas eólicas e argilitos típicos de ambientes lagunares relacionados com a transgressão durante o Permiano superior. Calarge et al. (2006) ressaltam que a compactação durante o soterramento tornou a camada de bentonita um sistema fechado empobrecida em potássio no qual a ilitização diagenética foi inibida. As variações nas abundâncias em elementos maiores, menores e ETR no depósito maciço de argila sugerem que este foi originado de duas quedas sucessivas de cinza. A abundância de elementos incompatíveis é consistente com a de um vidro vulcânico fracionado a partir de um ambiente geológico de subducção/colisão.

As bentonitas da região de Abra Del Despeñadero – Sierras Australes – Província de Buenos Aires, Argentina, são descritas por Formoso et al. (2001), como de idade Permiana (270 m.a.) e provêm das alterações de materiais piroclásticos originado pelo evento que gerou o arco vulcânico localizado a SW da área. Sua origem está associada à colisão entre a Placa Patagônica e a porção sul do continente Gondwânico. As análises por difratometria de raios-X dessas bentonitas mostram a presença de illita e esmectita (montmorilonita). A reflexão 060 é 1,504 – 1,502 Å (esmectita dioctaédrica).

As bentonitas estão incluídas dentro de um pacote que apresenta alternância entre sucessões de arenitos e argilitos. Nessa sucessão sedimentar, materiais piroclásticos alterados estão associados com sedimentos argilosos intercalados com arenitos.(fig.3)

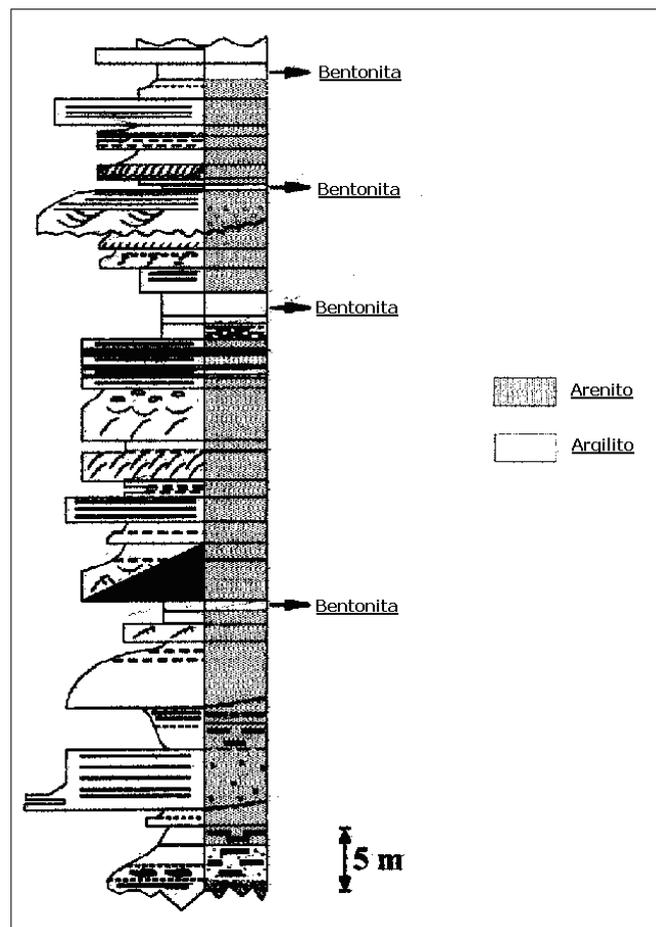


Figura 3 – Camada de Bentonita em Abra Del Despeñadero – Formação Tunas.

As camadas de argilitos ocorrem como dois tipos: argilas siliciclásticas e variedades piroclásticas. As variedades piroclásticas apresentam fragmentos de vidro em uma matriz de esmectita.

As bentonitas da Península de Santa Elena, Equador, são apresentadas por Morales et al. (2004) como incluídas em sedimentos do grupo Ancón de idade cretácea. Segundo os autores, estas argilas foram caracterizadas através de análises químicas, DRX (figura 6), análise térmica diferencial e gravimétrica (ATD e ATG) e capacidade de troca de cátions (CTC). Essas bentonitas têm predominantemente o cálcio e o magnésio como cátions interfoliares trocáveis, sendo o teor de potássio indicativo da presença de illita (tabela 1).

Os teores de sílica (maior que 65%) sugerem a presença de quartzo e feldspato (não especificado pelos autores). Morales et al. (2004) relatam que essa bentonita, ativada com ácido sulfúrico (sem especificação pelos autores), deu boa resposta para descoloração de óleos vegetais.

Tabela 1 – Composição química da bentonita cálcica do grupo Ancón – próximo a Guayaquil.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
Bentonita	65,8	15,3	5,25	2,00	1,68	1,12	0,84

O depósito de bentonita da Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil é descrito por Alves (2005) como uma seqüência sedimentar vulcanoclástica do Cretáceo Superior (80 m.a.) Essa bentonita é definidora de dois marcos estratigráficos: o Marco “3 dedos” e o Marco “3 B”. Segundo a autora, a bentonita foi observada em um furo de sondagem com 2.700 metros de profundidade em camadas com 1 a 2 metros de espessura. Dados de porosidade mostram valores altos em função da alta microporosidade do arranjo cristalino das partículas do argilomineral. Sua baixa resistividade é o resultado do alto teor de água e ausência de carbonatos. A DRX mostra a predominância de camadas mistas illita/esmectita que supõem uma atuação incipiente da diagênese sobre os sedimentos em função do soterramento. A presença de esfoliação esferoidal e ausência de fissilidade e bioturbação indicam que o argilomineral não é detritico, mas produto de alteração ‘in situ’. Ainda segundo a autora, as altas

concentrações de Ti (5.660-9.000 ppm) e Zr (1.268 - 9.895 ppm) são típicas de rochas alcalinas. As estruturas petrográficas e as análises químicas apontam para três grandes episódios de suprimento de cinzas vulcânicas com composição equivalente aos traquitos, distintas de outras rochas vulcânicas e ígneas presentes na bacia de Campos (figura 4)

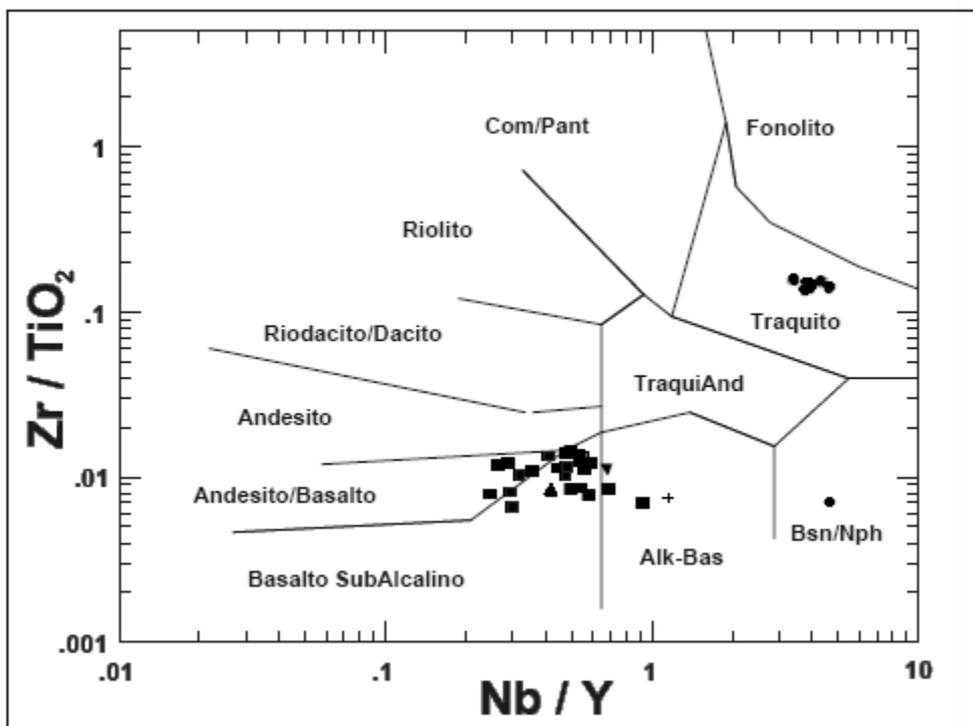


Figura 4 – Diagrama de Winchester & Floyd (1977) mostrando os campos de classificação das bentonitas do Marco “3-dedos (círculos) e dos basaltos da Formação Cabriúnas (quadrados) da Bacia de Campos e outras rochas ígneas mais jovens (demais símbolos).

Os depósitos de bentonita do Departamento de Zaballa, Província de Neuquén, Argentina, estão incluídas na formação Colón Cura, de idade Terciária (Mioceno e Pleistoceno) segundo Impiccini et al. (2002). Segundo os autores, as camadas de bentonita apresentam-se como estratos lenticulares de 2 a 15 metros de espessura, sendo a maioria aflorantes. Estes estratos estão incluídos dentro de uma seqüência continental com arenitos e argilitos (fig 5) e são produto da alteração de materiais piroclásticos vítreos em ambiente úmido confinado. Neste caso, é possível explicar as expressivas espessuras de bentonita em função da proximidade do centro vulcânico localizado a SW da área. Sua origem esta associada à colisão entre a Placa Patagônica e a porção sul do continente Gondwânico.

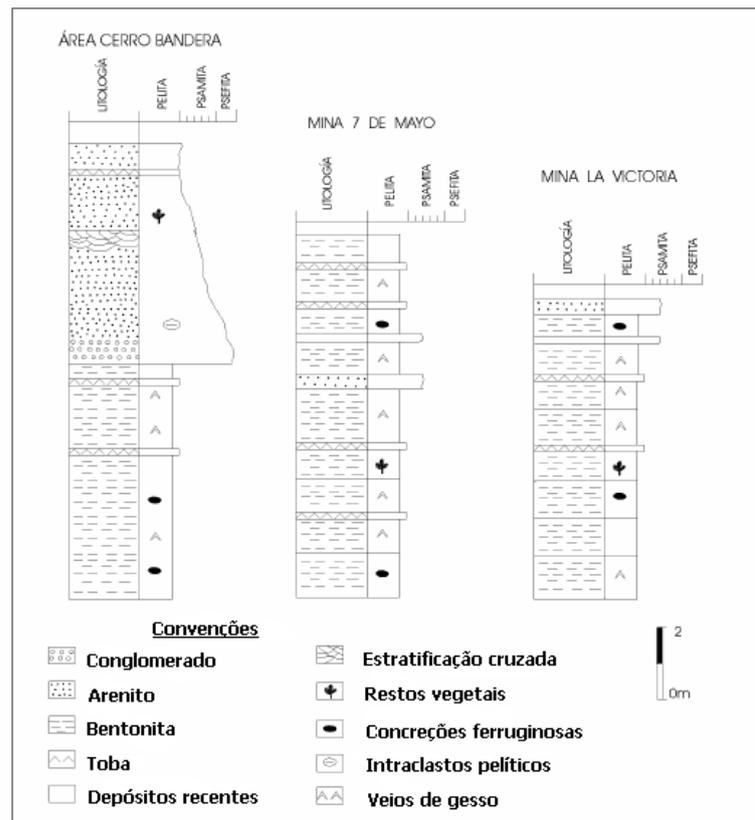


Figura 5 – Seqüência de camadas na Formação Colón Cura (Departamento de Zaballa).

A tabela 2 mostra que as análises químicas dessa bentonita apresentam o sódio como principal cátion trocável, sendo o cálcio, potássio e magnésio secundariamente trocáveis. Os teores de Fe_2O_3 , entre 4,9 e 7,3%, são comparáveis aos da bentonita da Paraíba (tab. 4).

Tabela 2 – Análises químicas e Capacidade de troca de cátions (CIC) das bentonitas de Neuquén – Argentina.

Yacimiento	Cerro Bandera	Petrel	Olascoaga II	La Victoria	Soledad	7 de Mayo	7 de Mayo (< 2 μ)
PPC	4,7	4,9	2,8	4,8	5,0	7,4	9,1
SiO_2	60,8	60,6	58,3	62,4	62,0	63,5	56,7
Al_2O_3	17,8	19,5	18,5	19,1	18,0	16,1	19,0
Fe_2O_3	7,1	6,5	7,3	5,8	4,9	5,5	7,3
CaO	1,1	1,2	1,5	1,6	2,2	2,3	1,5
MgO	2,3	1,8	1,3	1,6	2,0	1,6	2,2
Na_2O	3,7	3,1	2,4	2,8	3,0	2,8	3,3
K_2O	1,6	0,6	0,5	1,8	1,1	0,3	0,0
CIC (meq/100g)	70,0	73,0		68,0	80,0	78,0	

As análises dessa bentonita por DRX (fig. 6) mostram a predominância de esmectita dioctaédrica com quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e cristobalita (opala CT) como acessórios.

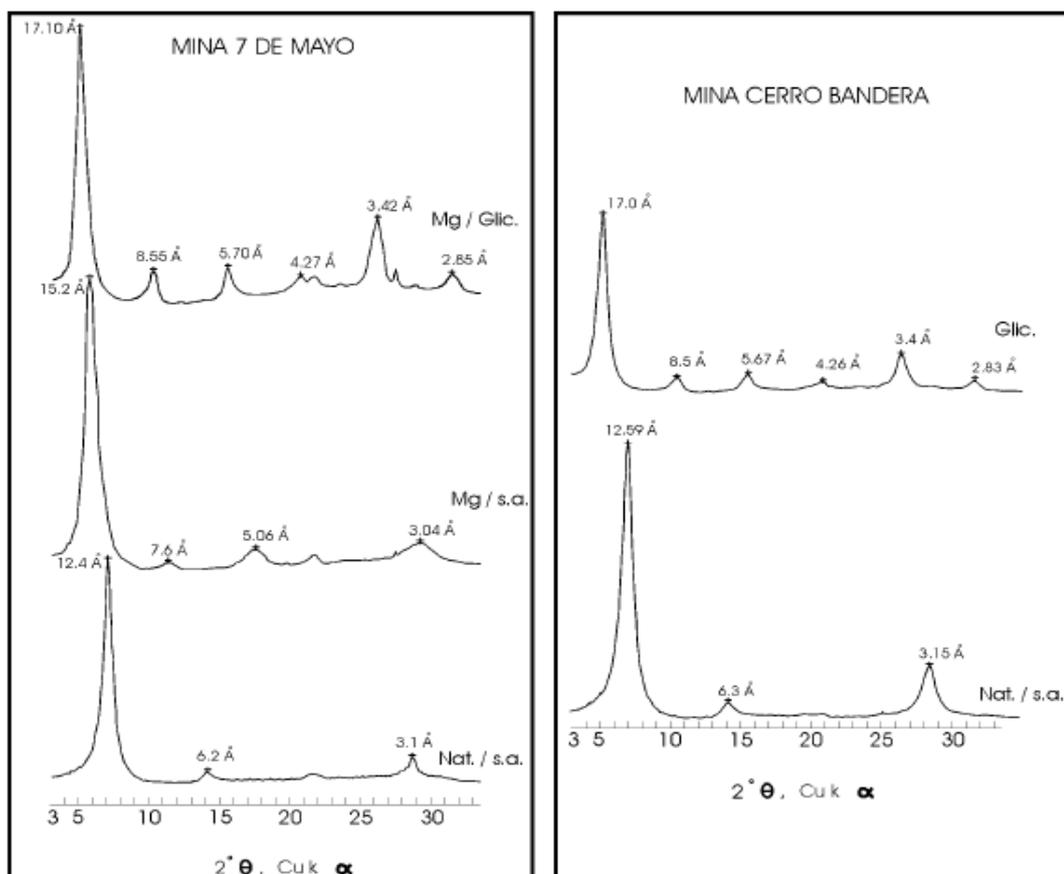


Figura 6 - DRX de bentonita das minas 7 de Maio e Cerro Bandera - Nat./s.a: natural seca ao ar – Mag/glic: homogeneizada com magnésio / glicolada.

Na Tabela 3 são mostrados os testes dessas bentonitas para utilização como aglomerante de areias para moldes de fundição e para fluido de perfuração. Os resultados indicam o uso dessas bentonitas para a fundição, especialmente pelos valores dos testes de Resistência à compressão a verde, Resistência à compressão a seco e Resistência à tração a úmido. O resultado obtido no teste de filtrado indica que essas bentonitas não são aptas a serem utilizadas para fluidos de perfuração.

Tabela 3 - Resultado dos ensaios tecnológicos nas bentonitas da Província de Neuquén -Argentina.

Mina	pH	Impurezas %#200	I ml/2g	RCV Kg/cm ²	RCS Kg/cm ²	RTU N/m ²	AM Nat ml	ET a 550° C(%)	F (ml)
Cerro Bandera	8,3	2,6	27	1,36	2,65		48,4	55,3	13,1
La Victoria	8,4	2,5	24	1,36	2,65	36,2	48,4	25,5	15,0
Soledad	8,7	2,6	28	1,13	2,09	29,9	46,3	22	20,0
7 de Mayo	8,4	2,4	28	1,25	2,34	28,9	45,8	40,4	14,5

I: inchamento; RCV: resistência à compressão a verde; RCS: resistência à compressão a seco; RTU: resistência à tração a úmido; AM Natural: absorção de azul de metileno natural; ET: estabilidade térmica; F: Filtrado.

As bentonitas da região de Boa Vista, Paraíba, Brasil, são apresentadas me um trabalho de Porto et al. (2002). Esses depósitos são identificadas pela diversidade de cores que lhe dão o nome: “chocolate”, “bofe”, “chocobofe”, “lodo”. Sua origem está ligada a rochas vulcânicas de idade Terciária (Mioceno e Oligoceno) que apresenta estruturas vulcânicas bem preservadas como pillow lavas e pillow brechas.

Segundo Porto (op. cit.), o pacote seria composto por:

- a) uma unidade vulcânica inferior (olivina-basalto);
- b) uma unidade intermediária pelítica composta por argilas bentoníticas sobrepostas por material siliciclástico;
- c) um derrame de olivina basalto que capeia todo o pacote.

O resultado de análises por DRX mostra estratificados (sem detalhamento pelo autor) entre argilominerais do grupo da esmectita e ilita, clorita e eventualmente caolinita.

Os resultados das análises químicas (tab.4), análises termogravimétricas e termodiferencial mostram que a esmectita é rica em Fe⁺³ ou uma nontronita, sendo que uma parte do ferro da “chocolate” está na forma de oxi-hidróxidos de ferro.

Segundo os autores, a homogeneidade das camadas argilosas, ausência de estruturas de escorregamento e níveis oxidados sugere um ambiente lacustrino com breves exposições subaéreas.

Diferentemente das bentonitas clássicas originadas de alteração de cinzas vulcânicas transportadas via atmosfera, as bentonitas da Paraíba parecem ser originadas da alteração de rochas vulcânicas extrusionadas em ambiente subaquático.

Tabela 4 - Análises químicas das bentonitas da Região de Boa Vista e de Wyoming.

	Verde lodo	Chocolate Bravo	Wyoming
Al ₂ O ₃ (%)	20.50	15.80	18.10
CaO (%)	0.43	0.63	0.40
Fe ₂ O ₃ (%)	9.20	10.40	3.50
K ₂ O (%)	1.30	0.42	0.10
MgO (%)	2.3	2.8	1.7
Na ₂ O (%)	0.45	0.75	2.30
P ₂ O ₅ (%)	0.05	0.23	n. disponível
SiO ₂ (%)	53.6	54.3	61.4
TiO ₂ (%)	1.2	0.8	0.2
MnO (%)	0.04	0.01	n. disponível
Perda ao Fogo (%)	10,03	12,68	4.4
Total (%)	99,1	98.8	n. disponível

O conteúdo de ferro é muito maior na bentonita da Paraíba (brasileira), tipo verde-lodo e chocolate Bravo com relação à de Wyoming (americana).

- mais silício na americana que na brasileira.
- a americana apresentou o sódio 5 vezes mais elevado que a verde lodo e 3 vezes o teor da chocolate.
- o potássio mostrou-se muito superior nas bentonitas brasileiras (13 e 4 vezes).

Como a análise química foi realizada em rocha total, os teores devem estar associados a outros minerais como quartzo, feldspato, ilita e caolinita.

Os municípios de Boa Vista e Campina Grande, ambos no estado da Paraíba, são responsáveis por mais de 90% da comercialização da bentonita bruta no país.

IV - Objetivos gerais do Trabalho

Sob o enfoque da geologia da região o trabalho se propõe a buscar o posicionamento da camada de bentonita, que integra a fase de deposição fluvio-lacustre da Formação Rio do Rastro e de sua fácies Superior, Membro Serrinha, de idade Permiana, criando desta forma um critério de prospecção para outros depósitos similares na região.

Através do resultado de observações de campo e também de descrições macroscópicas dos testemunhos de sondagem, buscou-se evidências de transporte dos sedimentos e feições de acamadamento que indicassem uma origem detrítica para o material original ou na ausência destas características, uma alteração “in situ” desses materiais.

O trabalho buscou identificar feições estruturais, como falhas com deslocamento de blocos, que estejam associadas a uma preservação de partes do depósito, e erosão de outros setores, justificando a ocorrência de espessuras de 6,5 m de bentonita.

O estudo também buscou identificar a assembléia de minerais presentes na camada de bentonita, utilizando a difração de raios x.

Através das análises macroscópicas obtidas através dos testemunhos de sondagens e DRX buscou-se caracterizar tipos diferenciados de camadas de bentonita dentro do pacote total desta argila.

A existência de interestratificados, a sondagem das características das folhas de esmectita e a identificação do tipo de carga presente, basearam-se na análise detalhada de DRX, obtidos após saturação com CaCl_2 e KCl .

A pesquisa teve como objetivo também associar a medida de capacidade de troca catiônica (CTC) dos argilominerais com suas propriedades tecnológicas.

Buscando integrar todos os dados obtidos com uma aplicação industrial para esta bentonita, foram medidas suas características tecnológicas para utilização como aglomerante de moldes de fundição.

V- Metodologia

1 - Mapeamento regional

Embasado no trabalho de Bossi et al. (1998) foram realizados trabalhos de campo na região de Melo com a finalidade de posicionar a camada de bentonita dentro do pacote das rochas sedimentares gondwânicas que ocorrem na região. Estes trabalhos de campo consistiram basicamente de perfis em afloramentos de cortes de estrada entre as localidades de Aceguá e Bañado de Medina, passando pela cidade de Melo. Também se avançou com o perfil cerca de 20 km no sentido Oeste, a partir da área de estudo, em direção a localidade de Fraile Muerto.

Estes perfis permitiram observar a evolução do ambiente de sedimentação das rochas desta região, que passa de ambiente marinho, redutor, para um ambiente fluvial oxidante, com o concomitante aumento de energia. Segundo dados obtidos neste trabalho, pode posicionar a camada de bentonita na transição desses dois ambientes.

A concordância do controle estrutural do pacote de argila bentonítica nesta área, observado pelo resultado das sondagens com as estruturas regionais também pode ser observado através deste mapeamento.

2 – Sondagem

Foi executado um programa de sondagem rotativa na área de estudo segundo uma malha regular de 50 metros, totalizando 31 furos de sondagem.

Estas perfurações foram realizadas com sonda mecânica, no diâmetro de 3 polegadas, sem injeção de água, com coroa de vídia e barrilete com capacidade de recuperação de 70 cm de testemunho.

3 - Descrição macroscópica

As amostras dos testemunhos foram descritas no campo buscando identificar a camada de bentonita e seu contato com o siltito superior e com o arenito da base do depósito.

Três Poços de sondagem foram selecionados por sua representatividade em relação ao depósito determinadas pelas características de campo. Os testemunhos desses poços foram descritos com maior detalhe buscando identificar textura e estruturas que indicassem as condições de formação da camada de bentonita. Estas descrições macroscópicas também serviram para selecionar as amostras que foram analisadas em laboratório.

4 - Difractometria de raios X

O equipamento utilizado foi um Difrátômetro de Raios-X da marca **SIEMENS-BRUKER-AXS, Modelo D5000**, ano 1989, fabricado na Alemanha, com goniômetro q-q. A radiação é $K\alpha$ em tubo de Cobre nas condições de 40 kV e 25 mA.

Uma identificação mineralógica de rotina por difratometria de raios X (DRX) foi realizada em amostras do pó da rocha, na forma não orientada, e em preparações não orientadas na fração $<2\mu\text{m}$ (seca ao ar -SA- e saturada com etilenoglicol-EG-).

Para esta identificação mineralógica, foram utilizadas amostras obtidas nos testemunhos de sondagem. Foram selecionados pontos no perfil que apresentavam características macroscópicas que indicavam mudanças mineralógicas. O detalhamento foi executado em 7 amostras do poço MED-BC1-2. Inicialmente, fez-se uma avaliação utilizando o método do pó em amostras não orientadas. Para o estudo em amostra orientada, a bentonita foi desagregada e dispersa em ultrassom com água deionizada. As frações menores que $20\mu\text{m}$ e $2\mu\text{m}$ foram separadas através de técnicas de decantação e centrifugação (Moore e Reynolds, 1997). As frações separadas foram saturadas com Ca^{2+} e K^{+} por dispersão em soluções 1N de CaCl_2 e KCl . Amostras saturadas com KCl foram novamente submetidas à troca de cátion com solução CaCl_2 1N (Meunier et al,

2004). Foram preparadas várias montagens de lâminas orientadas de cada amostra, naturais e saturadas com Ca, K e K-Ca. As amostras orientadas foram submetidas a tratamentos posteriores como a solvatação com etilenoglicol e o aquecimento por duas horas na temperatura de 540°C. Para a determinação do parâmetro “b” (amostras dos poços MED-BC1-2 e MED-B2) foram utilizadas frações <2 µm. Estas amostras foram não orientadas através da passagem das partículas em uma peneira de abertura de 200 mesh, caindo sobre uma lâmina de vidro nas mais variadas posições (tipo “castelo de cartas”). A partir da fração menor que 2 µm, procedeu-se a uma montagem não orientada para a avaliação do parâmetro “b” da esmectita.

A decomposição dos difratogramas foi realizado nas amostras saturadas com base na metodologia estabelecida por Lanson (1997), assumindo a substituição do difratograma original por um difratograma modelado a partir de um número mínimo de reflexões elementares Gaussianas e Lorentzianas, baseado na posição, intensidade e largura do pico a meia altura. O grau de ajustamento entre o difratograma experimental e o modelado nesta metodologia foi sempre superior a 99% de coincidência.

5 - Capacidade de Troca Catiônica pelo Íon NH_4^+

Os testes de capacidade de troca de cátions (CTC) foram executados no laboratório de Geoquímica da UFRGS. Foram analisadas amostras naturais e a fração <2µm.

Princípio do Método

Os argilominerais são filossilicatos que apresentam um déficit de carga em seu edifício cristalino e para compensar atraem os elementos de carga positiva. Eles podem adsorver de forma reversível os cátions como H^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ (com exceção NH_4^+) se apresentam nas águas naturais, tanto na superfície como igualmente no espaço interfoliar.

A aptidão desses argilominerais de sorver os cátions dissolvidos reside na dissociação dos grupamentos funcionais, fenômeno dependente do pH do meio. Sendo assim, a fim de poder comparar os resultados obtidos pelos diferentes laboratórios, o pH 7 foi escolhido como referência para a determinação da capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC é definida como o número de milequivalentes grama (meq. g) ou cmole de carga /Kg (nova unidade oficial). Norma AFNOR X 31.130 (1985)

O objetivo é de fazer absorver um cátion determinado por contato entre uma solução concentrada deste cátion e a argila estudada, posteriormente, é dosada a quantidade deste cátion fixado pelas folhas deste mineral. Para isto, é removido o grupo de cátions trocáveis por uma solução de sal de amônio.

Em uma etapa seguinte é avaliado o amônio absorvido por esta solução por meio de uma destilação com MgO.

7 - Ensaios tecnológicos

Com a finalidade examinar seu potencial para aproveitamento industrial foram enviadas 4 amostras, na forma natural, sem nenhum tipo de tratamento, ao laboratório de controle de qualidade da DRESCON, empresa produtora de bentonita na Paraíba. Três delas provenientes do poço MED-BC1-2 e correspondentes ao topo, parte mediana e base da camada de bentonita e 1 amostra do poço MEB-B2 correspondente à parte mediana da camada de bentonita.

O resultado apresentou os valores das principais propriedades para sua utilização como aglomerantes de areia para moldes de fundição e como fluido para perfuração de poços..

Também foi selecionada uma amostra representativa da bentonita do jazimento, retirada da cava experimental aberta próxima ao poço BC-23. Esta amostra foi ativada (método descrito) e enviada ao laboratório de fundição do Centro Tecnológico da UFRGS para medir suas propriedades como aglomerante de areias para fabricação de moldes de fundição.

Procedimento para ativação:

- Foram tratadas 2,5 Kg de amostra de bentonita natural;
- desagregação em britador de mandíbulas lisas;
- cominuição em pulverizador Reinald;
- secagem em estufa a 50° C durante 4 horas;
- ativação a úmido;
- 5% de Carbonato de Sódio comercial (*barrilha leve*);
- pesagem da amostra seca: 2,5 kg;
- prepara-se uma solução com 2,5 litros de água e 125 g de carbonato de sódio;

- a solução é misturada à amostra seca com o auxílio de pá manual até homogeneização;

- deixada em contato por 14 horas;

- após é seca em estufa a temperatura de 50° C, até umidade de 12 %.

- moagem em moinho de ágata.

O teste para moldes de fundição foi selecionado em função de o jazimento estar relativamente próximo do mercado consumidor deste tipo de bentonita (sul do Brasil).

Bibliografia:

- ALVES, D. BARBOSA. 2005. Sedimentação vulcanoclástica do Cretáceo superior da Bacia de Campos, sudeste do Brasil. III Simpósio de vulcanismo e ambientes associados. Cabo Frio – RJ.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMANN, P. 1998. Carta geológica del Uruguay. Faculdade de Agronomia.
- CALARGE, L 2001. Estudo mineralógico e geoquímico de bentonitas do sul da bacia do Paraná (Aceguá, Brasil e Melo, Uruguai). Tese de doutorado em Geociências. Porto Alegre. Instituto de geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- CALARGE, Liane M.; MEUNIER, Alain; FORMOSO, Milton L. 2003 A bentonite bed in the Aceguá (RS, Brazil) and Melo (Uruguay) areas: a highly crystallized montmorillonite. *Journal of south American Earth Sciences* 16. 187-198.
- CALARGE, Liane M.; MEUNIER, Alain; LANSON, Bruno; FORMOSO, Milton L.L. 2006. Chemical signature of two Permian volcanic ash deposits within a bentonite bed from Melo, Uruguay. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 78(3) 525-541.
- DANA, J.D., 1983. *Manual de Mineralogia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 642p.
- DARLEY, H.C.H.; GRAY, G.R. 1998. *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. Fifth Edition, Gulf Publishing Company, 643 p.
- FORMOSO, M. L. L.; CALARGE, L. M; MISUSAKI, A. M; MEUNIER, A.; ALVES, D. B; ZALBA, P.; ANDREIS, R.; BOSSI, J. 2001. Occurrence of bentonites in Southern South America. *A Clay Odyssey. Proceedings of the 12th International Clay Conference*, p. 93-100.
- GÜNGÖR, N. 2000 Effect of the adsorption of surfactants on the rheology of Na-bentonite slurries. *Journal of Applied Polymer Science*, 75, 107-110.
- IMPICCINI, Agnes; VALLÉS, Jorge. 2002. Los depósitos de Bentonita de Barda Negra y Cerro Bandera, departamento Zaballa, provincia de Neuquén, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(3). 305 – 314.
- KNIGHT, W.C., 1898. *Bentonite*. *Engineering and Mining Journal*, 66(17): 491.

- LANSON, B. 1997. Decomposition of experimental X-ray diffraction patterns (profile fitting): a convenient way to study clay minerals: *Clay and clay minerals*, v.45, p.132-146, 1997.
- LUCKHAM, P.F.; ROSSI, S. 1999. The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 82, 43-92.
- MEUNIER, A.; LANSON, B.; VELD, B. 2004. Composition variation of illite-vermiculita smectite mixed-layer minerals in a bentonite bed from Charente (France). *Clay Minerals*, 39, 317-332.
- MORALES, A.; DRUMMOND, A.; MENDES, J. C.; CARRÓN, P..2004. Estado del Arte de la Bentonita de la provincia del Guaynas y su proyección a la Península De Santa Elena, Ecuador. *Revista Tecnológica*. Vol. 17, No 1.
- MURRAY, H.H. 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science*, 17, 207-221.
- PORTO, J. P. P.; ARANHA, ISABELE B. 2002 Caracterização Cristaloquímica preliminar de bentonitas Brasileiras. X Jornada de Iniciação Científica.
- WINCHESTER, J. A.; FLOYD, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20:325-343

Carta de encaminhamento do artigo



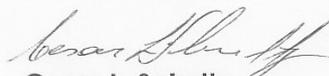
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
REVISTA *PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS*
Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS

Porto Alegre, 10 de fevereiro de 2009.

Prezados colegas:

Atestamos que o trabalho "**A jazida de bentonita de Bañado de Medina, Melo, Uruguai. Geologia, mineralogia e utilização tecnológica**", enviado por V. Sas. a esta Revista, foi recebido e encaminhado para dois consultores *ad hoc*, dando início à sua fase de avaliação, visando posterior publicação.

Atenciosamente,



Cesar L. Schultz
Editor-Adjunto.

Ilmos. Srs.
Luiz Delfino Albarnaz
Norberto Dani
Milton L.L. Formoso
André S. Mexias
Nelson A. Lisboa
N/U

Artigo submetido à Revista Pesquisas

A jazida de Bentonita de Bañado de Medina, Melo, Uruguai. Geologia, mineralogia e utilização tecnológica.

ALBARNAZ, LUIZ DELFINO¹; DANI, NORBERTO¹; FORMOSO,
MILTON¹; MEXIAS, ANDRÉ¹; LISBOA, NELSON AMORETTI¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Geociências. Av.
Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre – RS. CEP 91.540-900 – Brasil

Resumo:

A Jazida Bañado de Medina localizada a sudoeste da cidade de Melo (Uruguai) se constitui na primeira ocorrência na região com potencial para exploração comercial de bentonita. Através de uma campanha de 31 furos de sondagem foi possível delimitar um bloco cuja espessura da camada de bentonita atinge até 6,6 m. Os furos permitiram visualizar um pacote dentro da seqüência permiana do Rio do Rasto delimitada superiormente e inferiormente por arenitos, protegida de processos erosivos devido aos falhamentos que mantiveram este material em blocos abatidos do terreno. A cubagem realizada revelou nos 9,5 ha prospectados uma reserva medida de 580.000 toneladas com distribuição contínua e apresentado cobertura de estéril do tipo arenito/siltito da ordem de 1,60m até 11,60m de espessura. O objetivo deste trabalho é mostrar os dados obtidos envolvendo o estudo da mineralogia, composição química, contaminantes, fatores controladores da jazida e propriedades tecnológicas deste material. Estratigraficamente a jazida situa-se dentro da Formação Rio do Rasto, porção superior do Membro Serrinha (Formação Yaguari, Membro Vila Viñoles na nomenclatura uruguaia). Foi possível compartimentar a bentonita em 4 camadas de acordo com critérios texturais, estruturas sedimentares e cor. Mineralogicamente, as camadas são compostas predominantemente por esmectita dioctaédrica cálcica e traços de quartzo e feldspato. Os resultados químicos mostram uma esmectita com baixo teor em ferro, com cerca de 76% da carga interfoliar proveniente da substituição a nível octaédrico de Al^{3+} por Mg^{2+} , classificando-se como uma alumínio montmorilonita. Foi avaliada a capacidade de troca de cátions (valores entre 101 e 116 meq/100g) e sua correlação com domínios 2EG, 1EG e 0EG. Os resultados mostram uma montmorilonita de baixa carga. Seu uso tecnológico foi testado para a aplicação em moldes de fundição e como fluido de perfuração. Os

resultados apontaram índices adequados de estabilidade térmica, inchamento e Resistência a Tração a Úmido, quando ativada com 5% de carbonato de sódio.

Palavras chave: bentonita, montmorilonita, gênese, aplicação tecnológica, Uruguai

Abstract

A bentonite deposit occurs in Bañado de Medina, Melo Uruguay and seems be the first case of commercial occurrence in this region. 31 drill holes allowed to delimit a thickness until 6,6 m and a reserve about 580.000 t of bentonite in this deposit. The aim of this paper is to display the mineralogical, geochemical studies and also other factors which are important for the exploitation of this clay material. The clay deposit is in the Permian Rio do Rastro Formation, in the upper part of the Serrinha Member (Yaguary Formation, Vila Viñoles Member – Uruguayan equivalent stratigraphy). According to the sedimentary structure, color and texture the bentonite consists of four beds. The bentonite deposit is in contact (at the base and top) with fine sandstones and siltstones and a fault system preserved the bentonite from later erosive processes. X-ray diffraction data show that the bentonite is formed by more than 90% of smectite and is Ca-dioctahedral smectite. The chemical analysis displays a smectite with low content of Fe^{3+} and 76% of interfoliar charge mainly associated to an octahedral replacement of Al^{3+} by Mg^{2+} constituting an Al-montmorillonite. The cation exchange charge is between 118 and 124 meq/100mg. The montmorillonite is highly predominant low charge type (2EG). The technological use was tested for foundry and drill hole fluid. The results indicate adequate thermal stability, good swelling properties and green strength for foundry use.

Keywords: bentonite, montmorillonite, genesis, technological application, Uruguay.

1 - Introdução

Argilas associadas com a Formação Rio do Rasto no Rio Grande do Sul e Uruguai tem sido objeto de interesse científico constante dentro do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Associado a estudos estratigráficos e paleontológicos locais, ocorrências de argilas na forma de lentes centimétricas foram identificadas e classificadas como bentonita (Pintaude e Formoso, 1972). A possibilidade das argilas encontradas serem bentonitas aumentaram o interesse de estudos mais detalhados nesta área, visando à caracterização da origem vulcânica como a definição das propriedades dessas argilas, pois é conhecido que as reservas do Brasil deste material são limitadas, não atendendo as necessidades do País nas suas diversas aplicações industriais. Os trabalhos nesta linha sofreram um grande impulso com os estudos realizados a partir do final da década de 90 (Calarge, 2001) que mostraram a similaridade composicional entre a bentonita encontrada em Aceguá (Brasil) com a existente em Melo (Uruguai), diferenciando-se principalmente na maior espessura da camada de bentonita na região de Melo. Embora as bentonitas observadas em Melo atingissem até 1 metro de espessura, a sua distribuição em área era muito reduzida e sem interesse econômico. Neste contínuo estudo destes materiais, estabeleceram-se duas linhas principais de atividades: 1) caracterização mineralógica e química desses materiais; 2) levantamentos no terreno para estabelecer o posicionamento estratigráfico dentro da Formação Rio do Rasto e para a localização de novas ocorrências. Mais recentemente, baseado em informações de relatórios de pesquisa realizados na década de 70 (Gómez et al. 1980, inédito), o projeto conseguiu atrair o interesse de mineradores que patrocinaram uma nova campanha de sondagem na região de Melo, mais precisamente na localidade de Bañado de Medina. Os dados obtidos nessas perfurações mostram que a camada de bentonita possui espessuras da ordem de mais de 5 metros, mudando totalmente as perspectivas até então existentes para a região e ampliando a possibilidade de uma aplicação econômica. Assim, todo o esforço da pesquisa se voltou para a Jazida de Bañado de Medina, cujos resultados envolvendo a caracterização mineralógica e química, gênese, cubagem e propriedades tecnológicas, se constituem no objetivo principal deste trabalho.

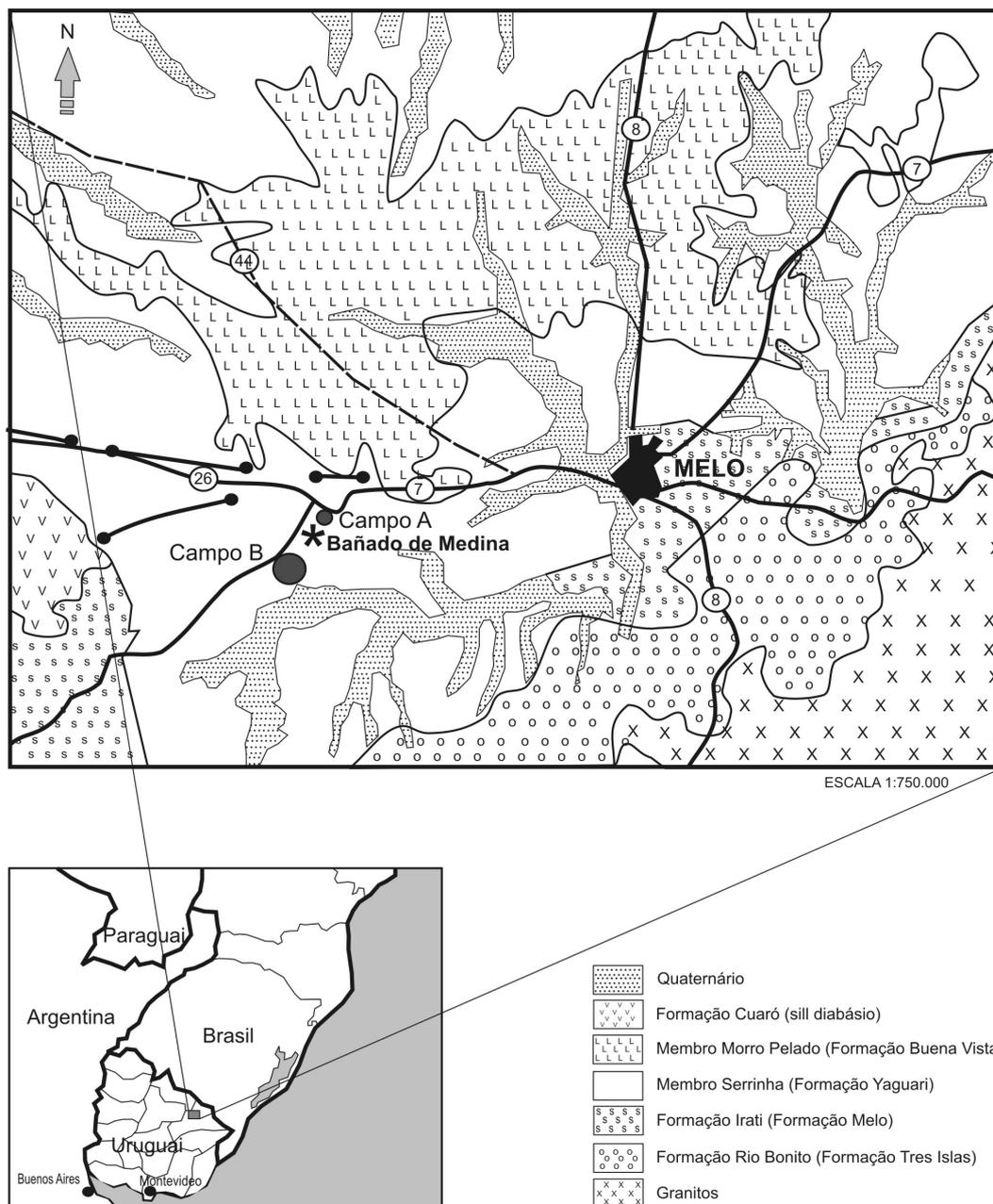


Figura 1 – Mapa geológico e de localização dos Campos A e B na região de Bañado de Medina – Uruguai, adaptado de Gomez et al. (1980) e Bossi et al. (1998).

2 - Localização

A Jazida Bañado de Medina localiza-se no norte do Uruguai, no Departamento de Cerro Largo, município de Melo, tendo como coordenadas centrais 32°24'39" de latitude sul e 54°22'04" de longitude oeste. Este ponto pode ser atingido a partir da cidade de Melo, rumando-se para leste pela Ruta 7 até atingir o povoado de Bañado de Medina. A partir da intersecção com a Ruta 26 percorresse mais 2 km até a jazida em estudo, Campo B (figura 01).

As bentonitas encontram-se inseridas na seqüência de estratos que compõem a Formação Rio do Rasto, estando totalmente inclusas nesta formação, sendo possível a sua identificação em apenas alguns pontos do terreno, como em cortes das estradas principais da região. Este aspecto sempre dificultou a sua observação direta em superfície, sendo que a melhor visualização da ocorrência é aquela realizada através de furos de sondagens, como os que o projeto teve acesso neste estudo.

3 - Trabalhos anteriores

As argilas esmectíticas da região de Melo são conhecidas desde 1940, sendo os primeiros trabalhos publicados por Goñi (1952). Posteriormente, Bossi (1960) descreve detalhadamente as ocorrências. Neste período, as argilas chegaram a ser empregadas como carga na fabricação de sabão doméstico. Melissari et al. (1966) avaliaram o emprego desta argila para moldes de fundição mediante a ativação com sais de sódio e apresentaram uma estimativa de reserva na ordem de 20.000 toneladas. Gómez et al. (1980, inédito), trabalhando na área de Bañado de Medina, determinaram duas áreas com interesse especial, denominando-as em Campo A e B (figura 1). Através da análise térmica diferencial (ATD), esses autores identificaram as argilas como sendo montmorilonitas (nome do grupo das esmectitas utilizado nesta época) e procederam outros testes para avaliar as propriedades tecnológicas das argilas, além de estimarem a existência na região de reservas da ordem de 100 000 a 1 000 000 de toneladas para o campo B. Neste mesmo período, o material coletado próximo ao Campo B foi parcialmente empregado pela empresa "Química San Fernando" estabelecida em

Montevidéo que produzia cerca de 300 toneladas/mês de bentonita ativada alcalina e ácida, utilizada na clarificação de óleos e vinhos. A atual pesquisa utilizou as informações desse relatório para reavaliar o Campo B através de uma malha de sondagem.

A exposição parcial das argilas do Campo A permitiu a Calarge (2001) amostrar e descrever aspectos estruturais e geoquímicos da esmectita, fazendo uma comparação com as argilas com características similares encontradas na localidade de Aceguá (Brasil). Os dados geoquímicos desse trabalho, principalmente envolvendo elementos traços e terras raras permitiram relacionar a bentonita como sendo originada a partir de material vulcânico de composição riolítica a dacítica em ambiente geológico do tipo colisão/subducção (Calarge et al. 2003, Calarge et al. 2006).

4 - Metodologia

A metodologia empregada teve como objetivo fornecer dados para caracterização da jazida a nível de terreno, permitindo a sua visualização espacial através de um programa de sondagem no Campo B, cuja delimitação inicial foi baseada em informações obtidas a partir do relatório inédito de Gómez et al. (1980). As sondagens forneceram as amostras para estudos complementares em laboratório. Os furos de sondagens foram planejados para atingirem a camada de siltito inferior, onde eram interrompidos. Posteriormente, os testemunhos foram enviados para o laboratório visando à determinação da sua faciologia e para a coleta de amostras para estudos em laboratório. Procedeu-se também levantamentos regionais visando à inserção da Jazida Bañado de Medina no contexto estrutural e estratigráfico da área. Como resultados mais importantes desta etapa, destacam-se a visualização espacial e a cubagem da jazida.

Os estudos envolvendo a composição das amostras de rochas sedimentares e de bentonitas da Formação Rio do Rasto, compreenderam o emprego da microscopia ótica e principalmente a difratometria de raios-X. Nesta última técnica, inicialmente fez-se uma avaliação da mineralogia através de amostras coletadas ao longo do perfil de sondagem utilizando o método do pó em amostras não orientadas. Para o estudo em amostra orientada, a bentonita foi desagregada e dispersa em

ultrassom com água deionizada. As frações menores que 20 μm e 2 μm foram separadas através de técnicas de decantação e centrifugação (Moore e Reynolds, 1997). As frações separadas foram saturadas com Ca e K por dispersão em soluções 1N de CaCl_2 e KCl. Amostras saturadas com KCl foram novamente submetidas à troca de cátion com solução CaCl_2 1N (Meunier et al, 2004). Foram preparadas várias montagens de lâminas orientadas de cada amostra, naturais e saturadas com Ca, K e K-Ca. As amostras orientadas foram submetidas a tratamentos posteriores como a solvatação com etilenoglicol e o aquecimento por duas horas na temperatura de 540°C. A partir da fração menor que 2 μm , procedeu-se a uma montagem não orientada para a avaliação do parâmetro “b” da esmectita.

A decomposição dos difratogramas foi realizado nas amostras saturadas com base na metodologia estabelecida por Lanson (1997), assumindo a substituição do difratograma original por um difratograma modelado a partir de um número mínimo de reflexões elementares Gaussianas e Lorentzianas, baseado na posição, intensidade e largura do pico a meia altura. O grau de ajustamento entre o difratograma experimental e o modelado nesta metodologia foi sempre superior a 99% de coincidência.

Os testes de capacidade de troca de cátions (CTC) foram executados no Laboratório de Geoquímica da UFRGS na fração $<2\mu\text{m}$ a partir da troca dos cátions interfoliares com NH_4^+ . A análise química envolvendo a concentração dos elementos maiores foram feitas por espectrometria de fluorescência de raios -X a partir de pastilhas fundidas e a perda ao fogo avaliada através da gravimetria, segundo metodologia utilizada junto ao Laboratório de Geoquímica da UFRGS.

Os ensaios tecnológicos foram feitos em amostras significativas da jazida de bentonita Bañado de Medina e direcionados para uma possível utilização em moldes de fundição. As amostras foram previamente ativadas com carbonato de sódio na proporção de 3% e 5% em peso da amostra seca no Laboratório de Controle de Qualidade da Mineração Drescon (Paraíba) e no Laboratório de Fundição (LAFUN) do Centro Tecnológico da UFRGS.

5 – Geologia da área

A jazida Bañado de Medina situa-se na unidade geomorfológica Depressão Rio Ibicuí–Rio Negro, dentro do domínio da seqüência de rochas que compõem a bacia intracratônica do Paraná (figura 01). A evolução estratigráfica e estrutural da Bacia do Paraná evidencia um controle a partir das direções herdadas do embasamento, estabelecendo um arcabouço formado por lineamentos orientados preferencialmente na direção NE-SW, resultantes de suturas tectônicas ligadas a faixas móveis neoproterozóicas–eopaleozóicas que circundam o cráton central da Bacia do Paraná (Milani, 1997). Especificamente, em relação ao Paleozóico Superior da Bacia do Paraná, as informações sugerem a existência de um processo de aproximação de diferentes massas continentais, culminando com a consolidação do Pangea (Scotese et al. 1979, apud Lavina, 1991). No Brasil, o Permiano Superior da Bacia do Paraná é representado pelo Grupo Passa Dois, que compreende formações sedimentares depositadas predominantemente em ambiente marinho como a Formação Irati, Serra Alta e Teresina, culminando superiormente com a Formação Rio do Rasto, depositada em ambiente transicional e continental (Menezes, 2000). A tendência de continentalização observada durante o período de deposição do Grupo Passa Dois, se traduz num processo de regressão do mar intracontinental associado à tectônica tardi-Herciniana, marcada por processos como a elevação contínua do continente Pangea e pelo registro de um intenso vulcanismo durante o Permiano Médio e Superior, provavelmente do tipo explosivo e relacionado a zonas de subducção ativas nas margens dos continentes (Ramos, 1988, Lavina, 1991, Kay et al., 1989, Calarge, 2001).

Embora as unidades estratigráficas tenham denominações diferenciadas na coluna do Uruguai e na do Brasil, a correlação entre ambas é direta (Andreis et al. 1986), porém, algumas particularidades, envolvendo principalmente a Formação Rio do Rasto, devem ser consideradas para evitar problemas de interpretação (figura 2). Na estratigrafia brasileira, o Rio do Rasto foi identificado inicialmente por White (1908) e elevado posteriormente à categoria de formação por Gordon Jr. (1947) subdividindo-a numa unidade inferior denominada de Membro Serrinha, seguida superiormente pelo Membro Morro Pelado. No contexto uruguaio, a Formação Rio do Rasto se distribui em duas formações distintas, denominadas de Formação Yaguari e Formação Buena Vista. A Formação Yaguari, que contém as bentonitas, esta dividida no Uruguai numa unidade inferior (Membro San Diego) e numa unidade superior (Membro Vila Viñoles), sendo

que esta última abriga as camadas de bentonita. Já a unidade denominada no Brasil de Membro Morro Pelado, vem a se constituir no Uruguai numa formação isolada denominada de Formação Buena Vista (figura 2). Observações no terreno, envolvendo principalmente afloramentos no eixo formado pela estrada que une as cidades de Bagé (RS) e Melo (Uruguai), e no que se refere ao posicionamento estratigráfico das camadas de bentonita, estabelecem que a compartimentação estratigráfica adotada no Uruguai seja a mais conveniente para o estudo das bentonitas, colocando-as dentro do Membro Vila Viñoles da Formação Yaguari, que no Brasil seria equivalente a uma unidade inexistente que poderia ser denominada de Membro Serrinha Superior da Formação Rio do Rasto. Bossi e Navarro (1987) descrevem o Membro San Diego como sendo formado por fácies predominantemente pelíticas com coloração escura, própria de um ambiente redutor e de baixa energia, sendo que a passagem para o Membro Vila Viñoles é gradativa e marcada por um aumento da participação de siltitos e arenitos com tons predominantemente avermelhados, denotando uma crescente continentalização e o predomínio de ambientes oxidantes.

A distribuição das unidades geológicas na área de estudo pode ser visualizado na figura 01 (Bossi et al. 1998), sendo que a Jazida Bañado de Medina encontra-se dentro da seqüência que compõe a Formação Yaguari. São expressivos os contatos por falhamentos entre as unidades que afloram na área, seguindo principalmente duas direções, a NE e a NW. Alguns desses falhamentos estão identificados na figura 01 como lineamentos, sendo que outros não demarcados podem ser inferidos através da observação da existência de contatos retilíneos entre as formações. Próximo à Jazida de Bañado de Medina ocorrem diques com direção geral NW e sill de diabásio, pertencentes provavelmente ao evento Serra Geral e associado a reativações de antigas zonas de fraqueza do embasamento. Outra consequência da tectônica rígida identificada na região é a perturbação na continuidade lateral das camadas, sendo freqüente a existência de movimentos verticais, formando uma sucessão de blocos soerguidos e rebaixados, que limitam a extensão lateral dos estratos, tanto na escala regional como na escala local.

6 – Contexto geológico do depósito e cubagem

A pesquisa da argila na região do Campo B (figura 1) foi realizada através de uma malha de sondagem regular com células de 50 m de lado (figura 3).

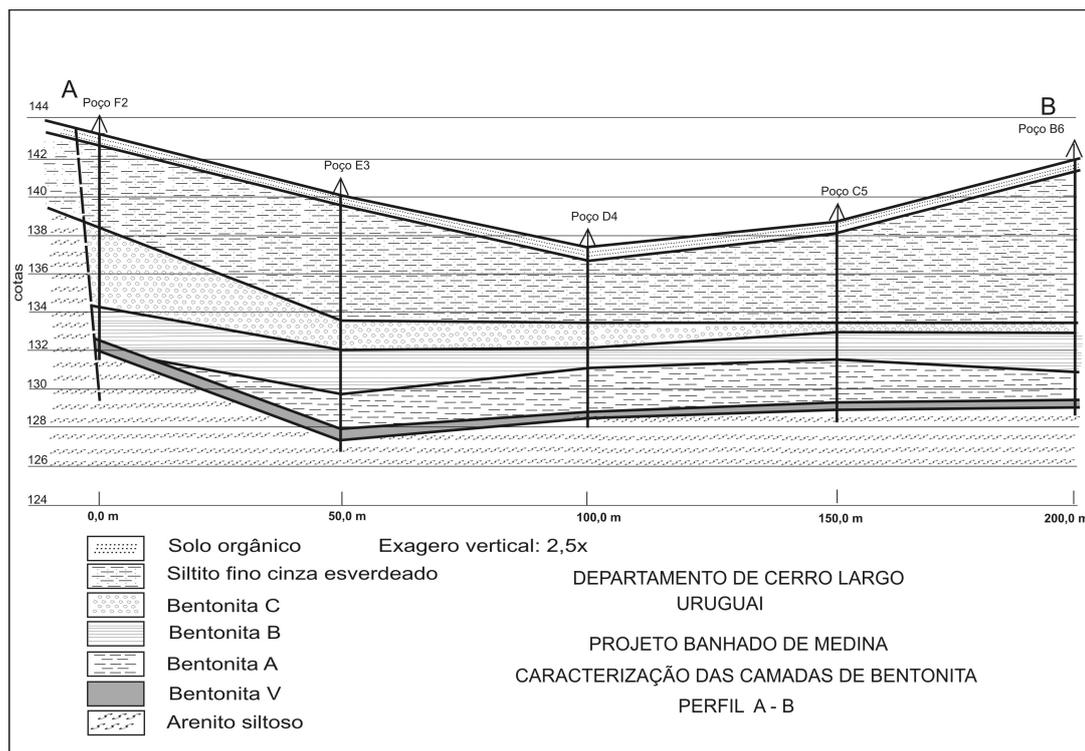


Figura 7 – Perfil A – B mostrando o as camadas de bentonita.

Em superfície, não é observada a exposição direta da argila estando o jazimento encaixado na parte baixa de um terreno caracterizado por uma morfologia em coxilhas com declividades suaves. O solo é do tipo vertissolo a litossolo siltico argiloso com abundante concentração de matéria orgânica, resultando numa cor, em geral preta. Através das sondagens foi possível estabelecer para a Jazida Bañado de Medina uma seqüência de camadas horizontalizadas ou levemente basculadas devido a processos tectônicos posteriores. As camadas apresentam espessuras variadas, podendo o jazimento ser compartimentado a partir do topo em solo orgânico (até 1 m de

espessura), camadas de siltito, camada de argilito e novamente, ao final dos poços, camadas de arenito fino. Nos poços, a camada superior de siltito que capeia as camadas de argilito apresenta espessuras que podem atingir até 8 m e possui cores desde cinzas claras a avermelhadas, muito provavelmente relacionadas com diferentes níveis de oxidação do ferro. A camada de argilito possui um contato superior com a camada de siltito e inferior com o arenito fino do tipo nítido, demarcando uma passagem brusca. A espessura do argilito no interior da jazida chega até 6,5 m (Figura 3 e 4) e apresenta diferentes litofacies que foram descritas principalmente através de caracteres macroscópicos como a cor e estruturas.

Em geral, a cor do argilito é rosada, estruturalmente maciço e por ser formado em quase sua totalidade por argila esmectítica é denominado no jazimento como camada de bentonita, termo aqui considerado na concepção mais ampla dada por Grim & Guven (1978). O arenito inferior que baliza o final do argilito nesta seção pode ser observado diretamente em afloramento circundante ao jazimento Bañado de Medina, quando assume tonalidades com cores vermelhas sendo fortemente cimentado com carbonato. Monitorando a espessura da camada de argilito (figura 3), observa-se que a jazida esta compreendida numa área de aproximadamente 9,5 hectares acompanhando a declividade de um flanco de uma coxilha. A espessura da camada de argilito diminui bruscamente em direção as partes mais elevadas do terreno, onde desaparece, estando o depósito confinado ao vale entre as duas coxilhas. Embora a espessura da camada de argilito diminua na direção sul, o limite neste quadrante não ficou bem estabelecido. O comportamento da camada de argilito indica uma descontinuidade que é atribuída à existência de falhamentos com componente vertical de movimento, que controlam o depósito. O falhamento *F-F1* de direção NW, assinalado na figura 3, pode ser observado diretamente no terreno através de trincheiras que interceptam o plano de falha, permitindo a identificação do bloco abatido e do elevado como assinalado na figura 5.

O perfil AB, abrangendo poços situados ao longo do eixo longitudinal do jazimento evidencia que a camada de argilito encontra-se confinada entre uma camada superior e inferior de siltito e arenito fino (figura 4). Observações dos testemunhos de sondagens indicam que a camada superior de siltito é contínua ao longo de toda a jazida, interpretando-se como uma deposição dentro do evento de sedimentação da Formação Rio do Rasto. Desta forma, a disposição das camadas mostra que alguns dos falhamentos que controlam o jazimento estavam ativos durante a sedimentação, tendo

este mecanismo propiciado a preservação da bentonita e muito provavelmente promovido a acumulação através de processos de sedimentação subaquosa dos materiais que teria originado as argilas (cinza vulcânica). A superfície entre o siltito superior e a bentonita, exposta no flanco oeste e noroeste da jazida se constitui numa discordância erosiva, marcada por uma mudança drástica no ambiente de sedimentação, que passa de um regime de baixa energia, com capacidade apenas de depositar folhelhos e argilitos para um regime de alta energia, evidenciado por marcas de onda e estratificação cruzada acanalada. Na área da jazida, a discordância marca a passagem da Formação Yaguari (Membro Vila Viñoles) para a Formação Buena Vista, sendo que dentro da nomenclatura brasileira seria a passagem do Membro Serrinha para o Membro Morro Pelado (figura 6).

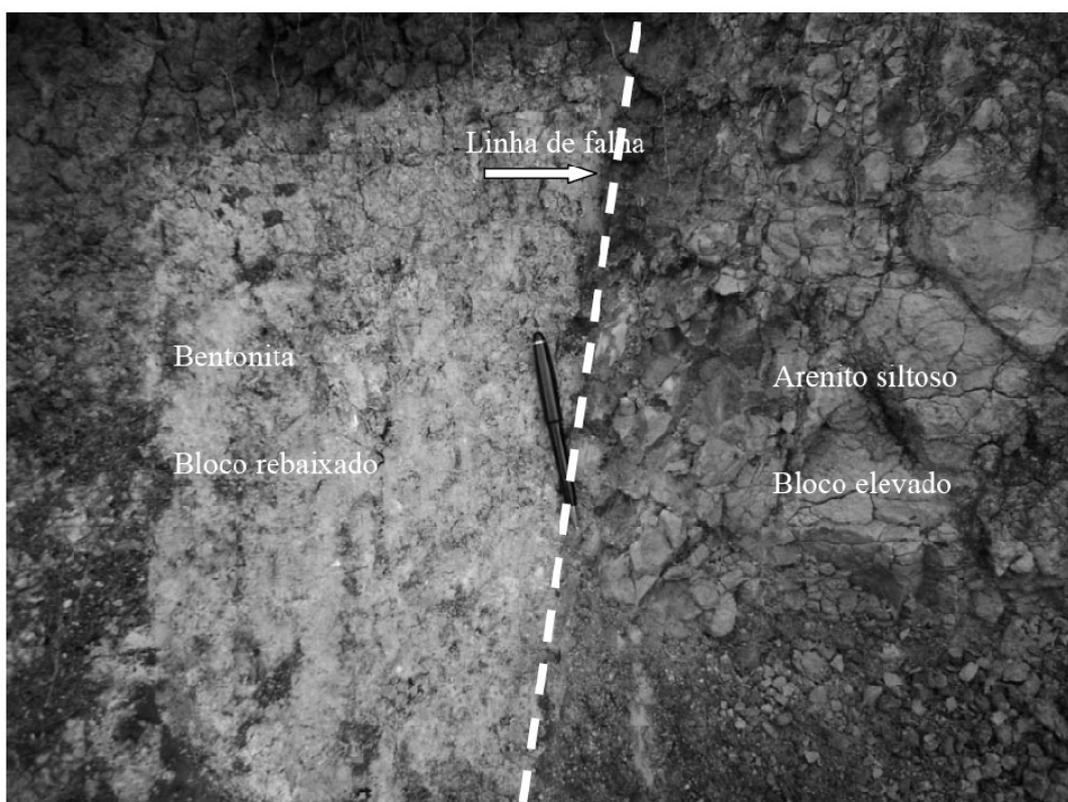


Figura 5 - Contato por falha entre a bentonita (bloco abatido) e o arenito siltoso (bloco soerguido), evidenciando o fraturamento próximo a linha de falha.



Figura 6– Contato entre o Membro Morro Pelado e o membro Serrinha (bentonita)

As observações na camada de bentonita indicam uma compartimentação que inicia na parte basal com uma camada de 30 cm, diretamente em contato com o arenito fino inferior. Texturalmente compacta e de cor violácea, estende-se por todo o jazimento e demarca a base do pacote de bentonita, sendo denominada de *bentonita V* (fig. 04). Sobreposta aparece uma camada de bentonita de cor rosada, com espessura de até 2 m, porém, sua distribuição é irregular, estando ausente em alguns setores do jazimento. Apresenta-se homogênea, não tendo sido observado laminações, recebendo a denominação de *bentonita A*. Seguindo em direção ao topo, ocorre uma litofacies com características diferenciadas, especialmente pelo surgimento de laminações centimétricas a milimétricas, dando origem a uma estratificação paralela e horizontal na forma de um ritmito com laminações com cores avermelhadas e creme. Esta camada é denominada de *bentonita B* (figura 07), e caracteristicamente possui mais silte e uma distribuição mais constante na jazida que a *bentonita A*, atingindo espessuras que chegam até 1,5m. Por fim, na parte superior da camada de argilito, em contato direto com o siltito superior, é possível a individualização de uma litofacies com colorações, variando entre roxo e marrom avermelhado, freqüentemente com intraclastos

centimétricos de argilito tipo *bentonita B*. Esta camada foi denominada de *bentonita C* e apresenta espessuras variáveis ao longo da jazida, não sendo incomum intervalo de até 3 m. A identificação de intraclastos de argilito dentro de uma matriz também argilosa é interpretada como feições ligadas ao retrabalhamento intrabaciaal associado com a reativação dos falhamentos, com conseqüente aumento da energia de transporte do meio, promovendo a erosão dos blocos falhados elevados e uma remobilização e possível concentração dos sedimentos em setores rebaixados do relevo.

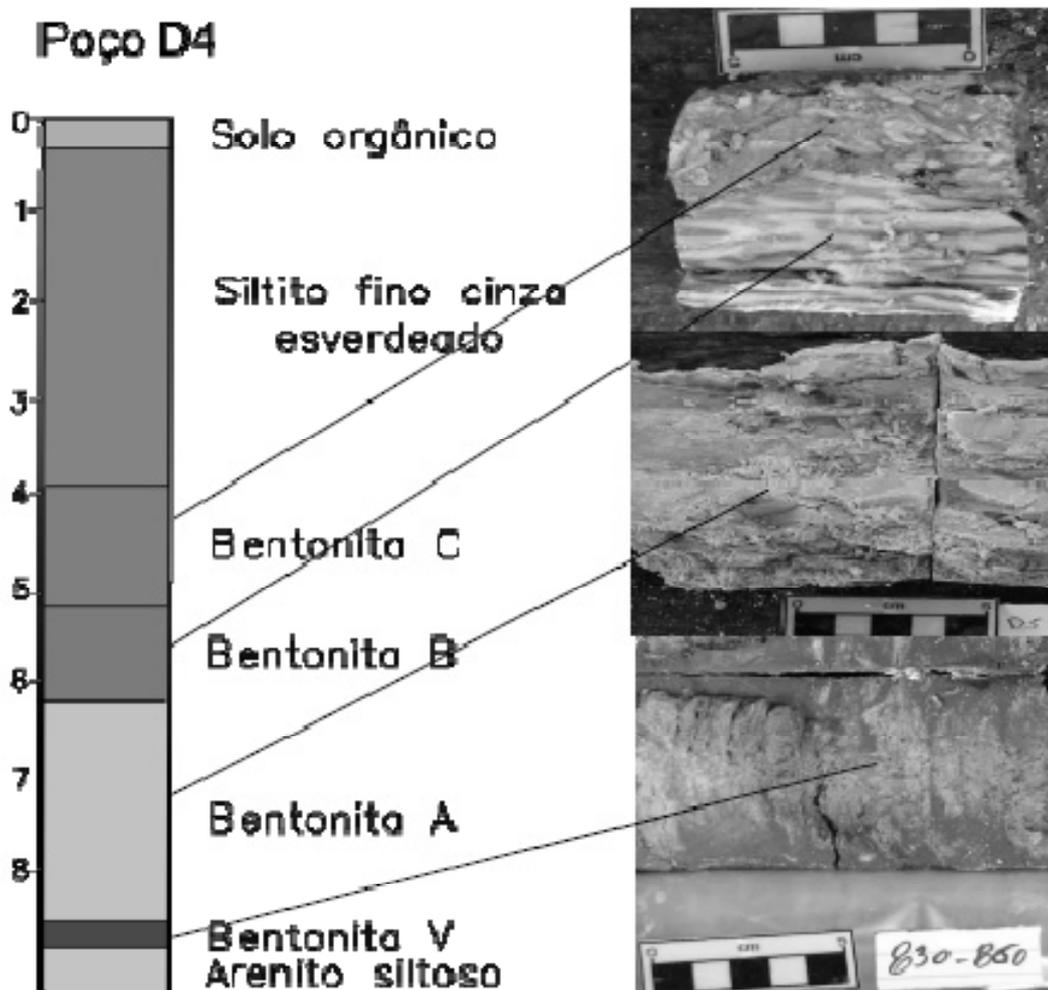


Figura 7 – Características macroscópicas diferenciais entre as camadas de bentonita

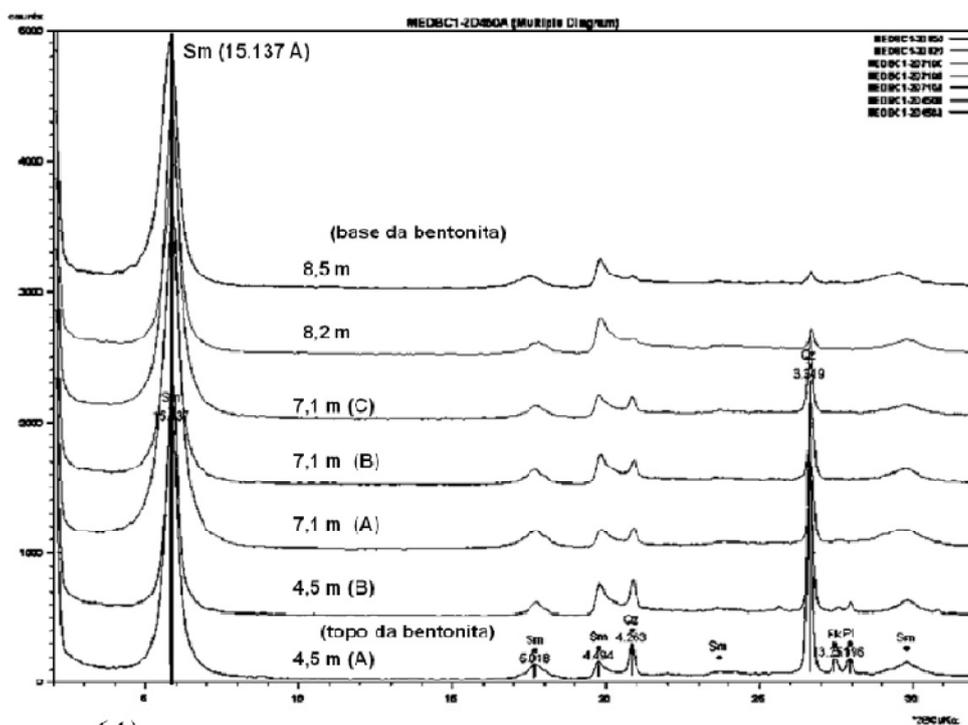
Os elementos levantados permitem correlacionar o ambiente de sedimentação dos argilitos da seqüência de rochas que compõem o jazimento como do tipo lagunar com uma taxa de aporte de terrígenos muito baixa. Como inferido em geral para a parte intermediária e superior da Formação Rio do Rasto, as condições eram

oxidantes e associadas a um clima árido que favoreceu a transformação da cinza vulcânica em esmectita. Acumulações de bentonita com a espessura observada neste jazimento são difíceis de serem explicadas somente através do aporte direto da cinza vulcânica, porém, a identificação de diferentes litofácies ao longo do perfil viabiliza um modelo de deposição da cinza em diferentes episódios. A identificação de blocos elevados e abatidos e de processos de retrabalhamento intrabaciais permite admitir a existência de mecanismos de transporte e acumulação de cinzas vulcânicas e material fino num regime sedimentar, cuja fase final de deposição subaquosa estaria concentrada em depressões, muito provavelmente lagos tectônicos, tornando plausível neste modelo a existência de grandes espessuras de bentonita.

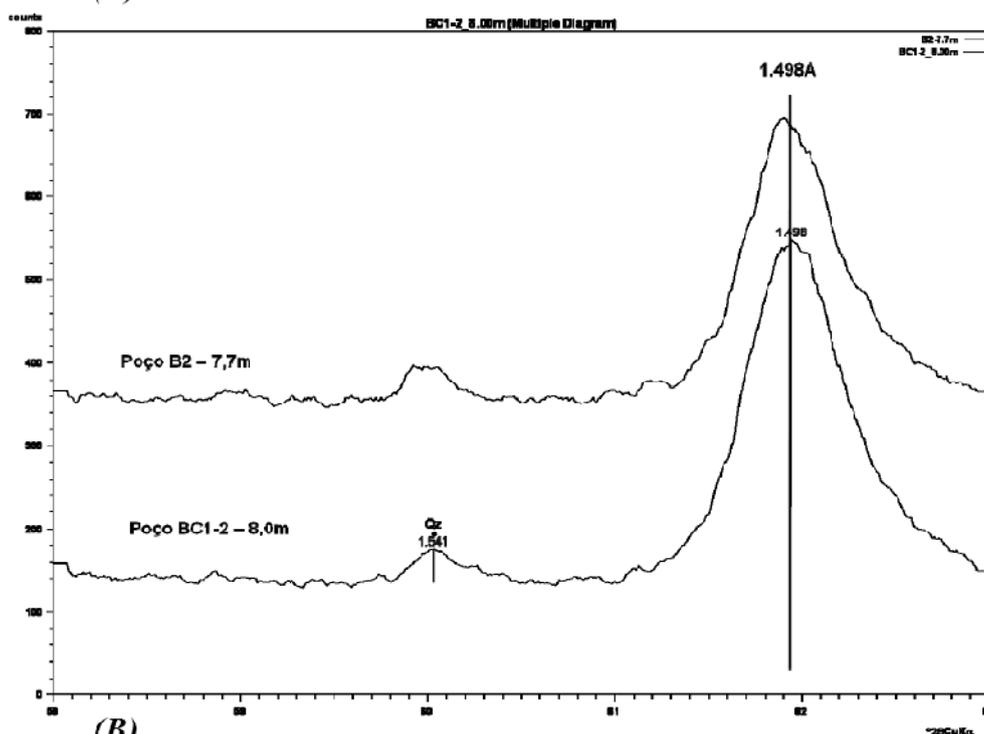
Este contexto caracteriza a jazida de bentonita como situada em um bloco falhado abatido que preservaram a atuação dos processos erosivos posteriores que originaram os pacotes sedimentares da parte superior da Formação Rio do Rasto. Utilizando os dados obtidos pelos 31 poços de sondagem na área de 9,5 ha, que foi objeto deste estudo (fig. 4), foi possível medir a reserva de bentonita. O valor calculado foi de 580.000 toneladas. Esta reserva está em subsuperfície, sendo que 44% do jazimento possui de 1 a 5 metros de capeamento estéril, 44% possui de 5 a 10 metros de capeamento e 12% do jazimento tem mais de 10 metros de material estéril subjacente. Este material estéril sobre a camada de bentonita é um siltito argiloso pouco consolidado e de fácil remoção.

7 - Mineralogia

Através da difratometria de raios-X (DRX), constata-se que ao longo dos perfis, a mineralogia principal da bentonita é formada por esmectita, quartzo e feldspato. Na difratometria, salienta-se em todos os níveis um pico com espaçamento basal de 15Å, próprio de uma esmectita cujo cátion intercâmara predominante é o cálcio. Na porção superior da bentonita, aparecem linhas mais intensas do quartzo, feldspato e plagioclásio, indicando uma maior concentração desses minerais, cuja participação diminui em direção à parte inferior da camada (figura 8A).



(A)



(B)

Figura 8 -(A) Difratogramas de raios-X (DRX) ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2, amostra total, modo natural, intervalo de 2° a $32^\circ 2\theta$. Sm (esmectita), Qz (quartzo), Fk (K feldspato), Pl (plagioclásio). (B) O posicionamento do pico 060 é típico de esmectita dioctaédrica.

A esmectita se constitui no único argilomineral identificado em todas as amostras e se caracteriza por um pico d_{001} intenso na região de 15Å em todas as amostras coletadas ao longo do perfil. Outra característica constante da esmectita é a posição do d_{060} em 1.498 Å, indicando serem dioctaédricas (fig. 8B). A esmectita pode ser classificada como dioctaédrica cálcica.

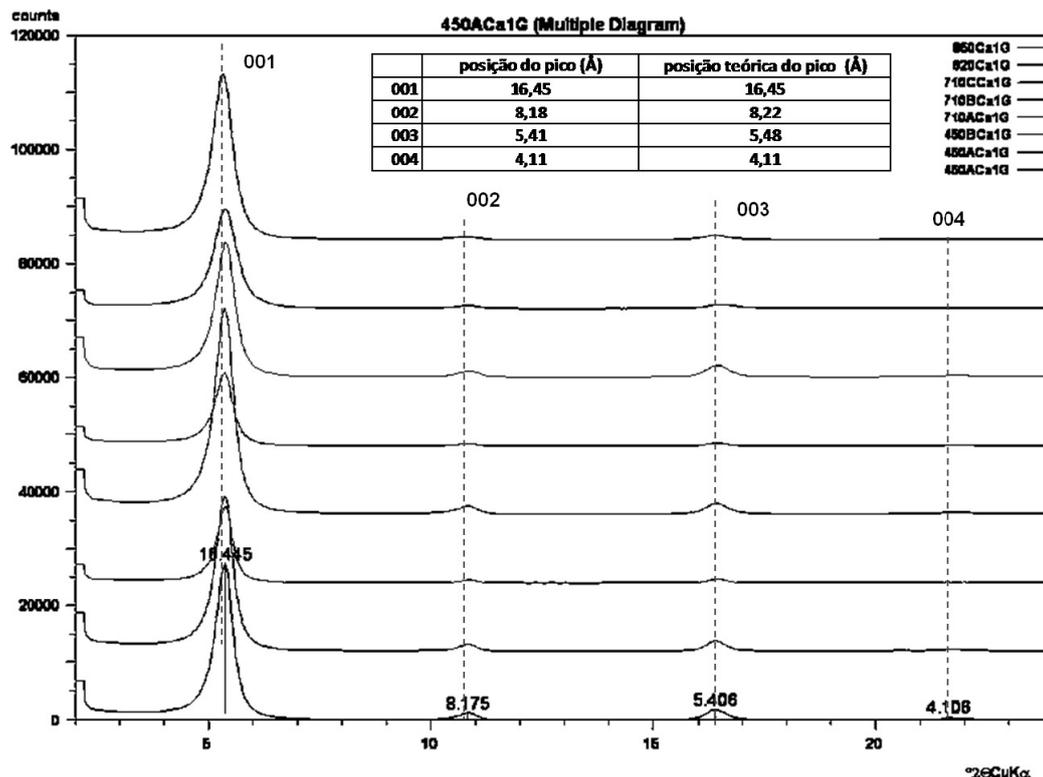


Figura 9 - Difrátogramas de raios-X (DRX) ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2. Fração <math><2\mu\text{m}</math>, Saturado com Ca, modo glicolado. CuK α , intervalo de 2° a $32^\circ 2\theta$.

A pureza do argilomineral pode ser constatada através da análise dos padrões de difração obtidos em amostras orientadas da fração menor que 2 μm , após saturação com Ca e submetidas à glicolação (figura 9). Ao longo do perfil, a esmectita nesta condição assume um espaçamento basal de 16,445 Å próprio de esmectitas que admitem duas camadas de glicol no espaçamento intefoliar, com um pico d_{001} intenso e simétrico, indicando um elevado grau de cristalinidade. As demais reflexões basais harmônicas ocorrem a 8,18Å (d_{002}), 5,41Å (d_{003}) e 4,11Å (d_{004}), cuja comparação com o posicionamento teórico dos picos (fig. 9), evidencia uma série racional com

posicionamentos muito próximos aos esperados para essas reflexões, caracterizando uma esmectita pura, sem evidência de interestratificado tipo I/S.

As amostras saturadas com CaCl_2 (Cálcio – saturação 1) da fração menor que $2\mu\text{m}$ foram submetidas à nova saturação com KCl (Potássio) e, posteriormente, novamente saturadas com CaCl_2 (Cálcio – saturação 2), seguindo a metodologia de Meunier et al. 2004. Os resultados obtidos ao longo do perfil de bentonita (poço BC1-2, figura 3) se reproduziram de maneira similar em todas as amostras, demonstrando a homogeneidade da esmectita. Para ilustrar o comportamento da esmectita de Bañado de Medina, escolheu-se os resultados obtidos com a amostra 450A do poço BC1-2 (figura 10). Observa-se que os padrões de difração são drasticamente modificados após a saturação com K (Fig. 10). A reflexão d_{001} da esmectita nesta condição passa de $11,79\text{\AA}$, seca ao ar para valores em torno de $13,50\text{\AA}$ tratada com etileno glicol, com picos menos intensos e mais abertos que os padrões de difração obtidos após a saturação com cálcio (Cálcio – saturação 1). A linha de base do difratograma (*background*) se eleva em direção aos baixos ângulos e as reflexões harmônicas d_{002} e d_{003} tendem a desaparecer indicando um empilhamento de domínios de duas ou mais camadas de esmectita com arranjo caótico (Moore & Reynolds, 1989). A entrada do íon K no espaçamento interfoliar possivelmente provocou na esmectita o aparecimento de diferentes domínios com cargas e graus de hidratação contrastantes (Meunier et al. 2004). As modificações observadas no padrão de difração e principalmente a fixação do potássio não são irreversíveis, pois, as amostras K-saturadas submetidas a uma nova saturação com Ca^{2+} (Cálcio – saturação 2), readquirem as propriedades iniciais da esmectita (fig. 10), com apenas uma modificação quanto à maior largura do pico d_{001} . Este comportamento demonstra que a esmectita de Bañado de Medina permaneceu com uma estrutura aberta e não apresentou em seu edifício cristalino a predominância de setores mais evoluídos, que poderiam reter irreversivelmente o potássio. É surpreendente que a ação da diagênese (considerando que este material tem originalmente uma idade Permiana) não foi intensa o suficiente para transformar as esmectitas em argilominerais do tipo interestratificado ilita/esmectita (IS), sendo que provavelmente os seus efeitos se deram no sentido de influenciar na elevada cristalinidade da esmectita. Em síntese, os resultados obtidos através das saturações com CaCl_2 e KCl e principalmente pela dificuldade em fixar o K em sua estrutura mostram que as esmectitas da Jazida Bañado de Medina são predominante do tipo baixa carga. Para investigar o comportamento da esmectita, optou-se por avaliar os difratogramas

através da técnica de desconvolução de picos (Lanson 1997), principalmente nos padrões gerados após a saturação com potássio que apresentou um pico d_{001} menos intenso e com forte assimetria.

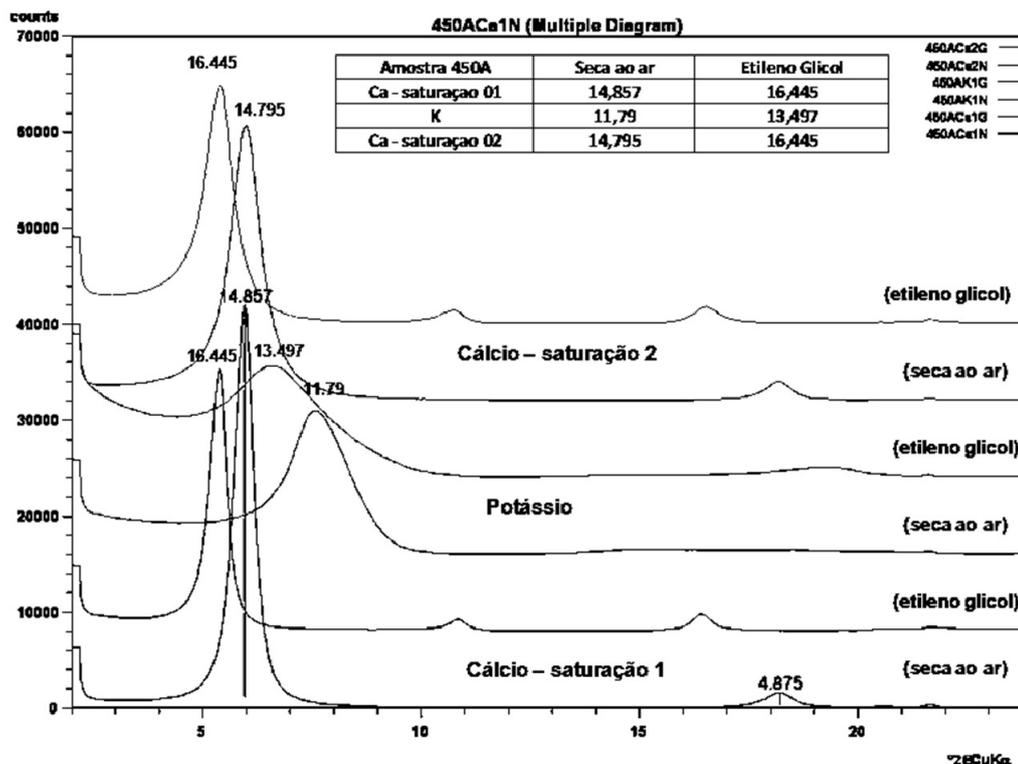


Figura 10 - Difratoogramas de raios-X (DRX) ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2. Fração $<2\mu\text{m}$, Saturado com Ca, K e K-Ca no modo seca ao ar e ao etileno glicol. CuK α , intervalo de 2° a $32^\circ 2\theta$.

Na saturação com KCl, a esmectita da Jazida Bañado de Medina apresentou um comportamento diferenciado a nível de domínios do mineral. O padrão de difração nas amostras saturadas com K coletadas ao longo do nível de bentonita do poço BC1-2 (figura 11A) evidencia que todas as amostras apresentaram modificações acentuadas, com o pico d_{001} se tornando assimétrico, em direção a região dos baixos ângulos, sendo largo e sem os harmônicos. O processo de desconvolução do pico d_{001} , amostra seca ao ar (figura 11B), estabelece que a melhor coincidência do difratograma experimental ($d_{001}=11,79\text{\AA}$), com o teórico se deu a partir de uma decomposição englobando três curvas Gaussianas básicas. Uma delas, de maior intensidade ($11,56\text{\AA}$) é a determinante do posicionamento do pico principal e as outras duas com menor intensidade relacionam-se com a assimetria do pico d_{001} e produziram um espaçamento de $14,11\text{\AA}$ e $10,17\text{\AA}$. Na amostra tratada com etileno glicol (figura 11C), observa-se que

a melhor coincidência do difratograma experimental ($d_{001}=13,497\text{\AA}$), com o teórico se deu a partir de uma decomposição em que a curva mais intensa teve um espaçamento de $13,60\text{\AA}$, associada a outras duas curvas com menor intensidade com espaçamento de $17,12\text{\AA}$ e $11,66\text{\AA}$.

O pico mais intenso na amostra seca ao ar, localizada a $11,66\text{\AA}$ e no tratamento com etileno glicol, localizado a $13,60\text{\AA}$, corresponderia a domínios do edifício cristalino da esmectita com potássio interfoliar com uma camada de água na amostra seca ao ar ($11,66\text{\AA}$) e com uma camada de etilenoglicol (1EG) na amostra tratada com etileno glicol ($13,60\text{\AA}$). Adicionalmente, os picos localizados respectivamente a $10,17\text{\AA}$ e $11,66\text{\AA}$ corresponderiam à proporção de esmectita que devido à entrada de K no espaço interfoliar, se comportou como uma espécie de *illite like*, ou 0EG. Por fim, o terceiro pico que na amostra seca ao ar e tratada com etilenoglicol aparece a $14,11$ e $17,12\text{\AA}$ respectivamente é interpretado como sendo domínios da montmorilonita em que muito provavelmente não houve a substituição do Ca interfoliar pelo K, permanecendo com as características da esmectita original, dando origem a domínios do tipo 2EG.

Procedendo a integração em área de cada uma das curvas que compõem o pico experimental, pode-se avaliar a participação de cada um dos domínios de esmectita no cômputo geral da amostra. Estes valores normalizados estão sumarizados na figura 12A, podendo observar-se que existem variações entre as amostras de diferentes profundidades do perfil, porém, sempre com a mesma tendência, ou seja, predomínio de domínios no empilhamento da esmectita com folhas do tipo 1EG (em média 69% das camadas), seguido de folhas que apresentaram comportamento 2EG (15%) e 0EG (15%). As frações menores que $2\mu\text{m}$, no modo natural (não saturadas), foram submetidas à determinação da capacidade de troca de cátions (CTC), sendo que os valores encontrados em meq/100g das amostra estão relacionados na figura 12A. Observa-se que as variações encontradas no CTC das amostras têm uma tendência de se correlacionar positivamente com a proporção de folhas do tipo 2EG (figura 10B) e negativamente com folhas do tipo 0EG (figura 10C), podendo esta observação refletir em variações das propriedades tecnológicas da bentonita ao longo do perfil.

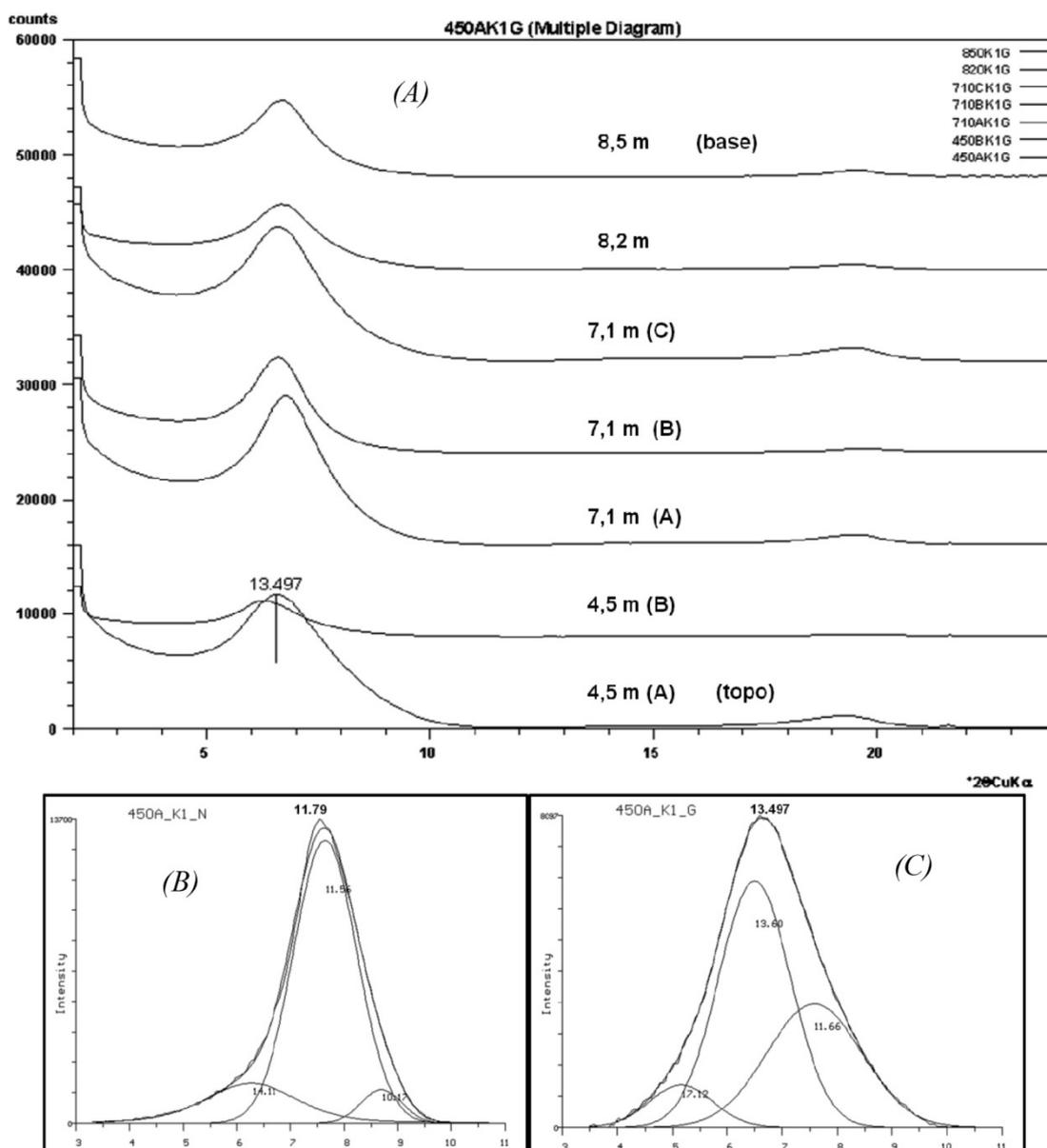


Figura 11 - Difratomogramas de amostras K-saturadas, fração $<2\mu\text{m}$, saturado com Ca e posteriormente com K, CuK α . (A) Padrões de difratogramas das amostras orientadas e tratadas com etilenoglicol, coletadas ao longo do perfil do furo de sondagem BCI-2, intervalo de 2° a $24^\circ 2\theta$. (B) Decomposição do pico d001 do difratograma da amostra 450 A, seca ao ar após saturação com KCl. (C) Decomposição do pico d001 do difratograma da amostra 450 A, tratada com etileno glicol após saturação com KCl.

profundidade	amostra	2EG (%)	1EG (%)	0EG (%)	total em %	CTC
4.5 m	450A	10	60	30	100	109.71
4.5 m	450B	9	73	18	100	101.65
7.1 m	710A	15	69	16	100	
7.1 m	710B	25	65	10	100	110.71
7.1 m	710C	12	75	13	100	103.67
8.2 m	820	24	62	14	100	116.75
8.5 m	850	11	82	7	100	
	média	16	67	17		

(A)

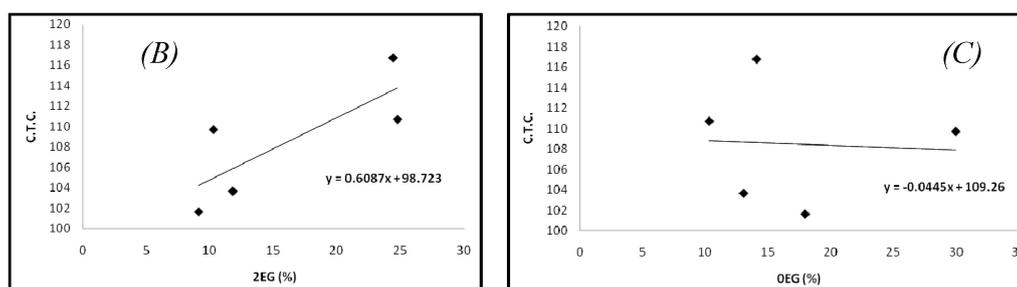


Figura 12 - (A) Participação dos domínios 0EG, 1EG e 2EG no empilhamento das folhas da esmectita Bañado de Medina e valores de capacidade de troca de cátions (CTC) das amostras em diferentes profundidades (valores em meq/100g). (B) Correlação positiva entre o CTC e a proporção de folhas do tipo 2EG. (C) Correlação negativa entre o CTC e a proporção de folhas do tipo 0EG.

Quimicamente, foi analisada a amostra típica da bentonita de Bañado de Medina (amostra MEDB2-970A, fração total) cujos valores encontrados estão na tabela 01. Com base nesses valores, calculou-se a fórmula química com base em meia célula unitária, considerando-se $O_{10}(OH)_2$ e o ferro total como Fe^{3+} . Observa-se que 76% da carga provém da folha octaédrica, sendo a substituição na folha tetraédrica muito pouco significativa, sendo que a carga interfoliar em torno de 0,38 por $O_{10}(OH)_2$ mostra que a montmorilonita posiciona-se no pólo das esmectitas de baixa carga. Estas características associadas com os dados de difração mostram que a esmectita da Jazida Bañado de Medina é dioctaédrica e corresponde a uma Al-montmorilonita (Newman & Brown, 1987). Estas características posicionaria a montmorilonita, num modelo proposto por Ddani et al (2005) como sendo bentonitas desenvolvidas a partir de cinza vulcânica depositada em posição distal em relação ao centro vulcânico e transformadas em condições de baixa profundidade e temperatura.

Tabela 1 - Análise química de amostra típica da bentonita Bañado de Medina e valores calculados para a fórmula química aproximada.

amostra	MEDB2-97	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P.F.	total
Análise Química		59.64	17.75	0.08	3.94	0.03	6.54	2.46	0.11	9.32	99.87
		Si	IV Al	VI Al	Fe+3	Mn	VI Mg	VI cations	Ca	K	
Fórmula química		3.91	0.09	1.28	0.19	0.001	0.64	2.111	0.17	0.009	
Carga octaédrica			-0.292								
Carga tetraédrica			-0.09								
Carga interfoliar			0.382								

8 -Propriedades tecnológicas.

As bentonitas possuem características peculiares e importantes para um diversificado campo de utilização industrial, destacando-se usos como: (a) componente de fluidos utilizados para perfuração de poços de petróleo (b) aglomerante de areias de moldagem usadas em fundição; (c) pelotização de minério de ferro; (d) descoramento de óleos e clarificação de bebidas; (e) impermeabilizante de solos; (f) absorvente sanitário para animais de estimação; (g) carga mineral, em produtos farmacêuticos, rações animais, produtos cosméticos e outros; (h) agente plastificante para produtos cerâmicos, (i) composição de cimento, entre outros (MURRAY, 2000).

No Brasil, os usos mais importantes das bentonitas são para aglomerante de moldes de fundição, como componente em fluido de perfuração de poços e na pelotização de minério de ferro.

Embora diversos trabalhos tenham sido feitos envolvendo a bentonita das regiões de Melo (Uruguai) e Aceguá (Brasil), inclusive ressaltando as possíveis aplicações tecnológicas desta argila, concretamente não foram encontrados dados ou resultados de testes que pudessem mostrar estas propriedades. Neste item o objetivo é divulgar os resultados de testes preliminares com a bentonita de Bañado de Medina, comparando estes dados com os obtidos em bentonitas provenientes de outros jazimentos, permitindo estabelecer o potencial destas argilas no campo da aplicação industrial.

Em função da proximidade do jazimento de Bañado de Medina com pólos importantes da indústria da fundição no Brasil (especialmente a região de Joinville em Santa Catarina) e considerando que essas indústrias importam expressiva quantidade de bentonita, da Argentina, os testes foram direcionados para este uso.

A esmectita do jazimento de Bañado de Medina apresenta o cálcio como cátion intrafoliar. Devido a esta característica, para seu uso na fundição, é necessário proceder à ativação desta argila através da adição de carbonato de sódio que promove a troca do cálcio pelo sódio, potencializando suas propriedades tecnológicas. Para medir estas propriedades foram realizadas análises em laboratório após a ativação da bentonita.

As amostras analisadas no laboratório da empresa Drescon, na Paraíba, foram enviadas na forma natural e neste laboratório foram tratadas com 3% (em peso de amostra seca) de carbonato de sódio e moídas (90% menor que 200 mesh). A amostra analisada pelo laboratório de fundição do Centro de Tecnologia da UFRGS foi tratada nos laboratórios do Instituto de Geociências da UFRGS com 5% (em peso de amostra seca) de carbonato de sódio, sendo posteriormente seca e moída.

Na ativação industrial, os valores utilizados de carbonato variam de 2% a 5% em peso de argila seca. A quantidade de carbonato de sódio usada é em função da aplicação que a bentonita terá após a ativação. Os resultados são mostrados na tabela 2.

As amostras testadas no laboratório da Drescon (ativada com 3% de carbonato de sódio) apresentaram características que atendem, parcialmente, as especificações das indústrias da fundição como: Resistência à Tração a Úmido e a Resistência a Compressão a Verde (RTU e RCV), Absorção de Azul de Metileno (AAM original), alta estabilidade térmica, porém baixo inchamento (mínimo de 27 ml). Esta amostra também apresentou baixa viscosidade, inferior a (30 ml de L 600), e filtrado acima de 18ml, não atendendo as normas da Petrobrás para fluidos de perfuração de poços. (Tabela 3)

A amostra analisada no laboratório de fundição da UFRGS (ativada com 5% de carbonato de sódio) apresentou resultados dentro das exigências da indústria da fundição (tabela 3). Com o aumento de concentração de carbonato de sódio (de 3% para 5%) na ativação, conseguiu-se otimizar propriedades como o inchamento e a resistência à tração a úmido (RTU). Este incremento nos valores das propriedades analisadas, especialmente do inchamento, deve-se, provavelmente, a concentração maior de carbonato de sódio, estabelecendo uma maior efetividade da substituição do Ca^{+2} pelo Na^{+2} (provavelmente pela maior facilidade de hidratação do sódio em relação ao cálcio, Darley e Gray, 1998). Também o aumento do pH, com maior concentração de carbonato de sódio, promove uma ataque mais efetivo na estrutura da esmectita, favorecendo sua

dispersão. Esta relação direta entre o aumento do teor de carbonato de sódio na ativação, o aumento do pH da argila e o inchamento, foi observada por Alves et. al. (2008).

Na amostra analisada no laboratório de fundição da UFRGS, a Resistência à Compressão a Verde (RCV) apresenta menor valor com relação ativada com 3% de carbonato de sódio, possivelmente em função da deficiente moagem (35% maior que 200 mesh) nesta amostra.

Tabela 2 – Resultado comparativo de ensaios tecnológicos entre a bentonita de Bañado de Medina e uma bentonita de Neuquén na Argentina

Amostra	H	Inch	L600	L300	Filt.	pH	AAM	IE	RCV	RTU	RTV	PG	AAAt	P
BC1-2-630*	15,2	18,0	6,0	4,0	20,8	9,61	52,2	76,4	10,5	0,271				
BC1-2-710*	14,4	19,0	6,0	3,0	21,6	9,49	51,2	86,5	13,5	0,296				
BC1-2-800*	14,8	20,0	5,0	3,0	21,4	9,52	55,2	73,2	14,0	0,28				
BC-2 770*	15,1	18,0	5,0	3,0	21,1	9,60	52,2	74,5	11,0	0,266				
MED**	5,9	34							10,0	0,35	2,1	35	10,6	125
B.Arg.		28				8,4	45,8	40,4		0,289		2,4		
Pr.M.	3-5	27							12,0	0,27	2,0	12% Max		120

*Amostras analisadas no laboratório da Drescon-Paraíba. **Amostra analisada no laboratório de fundição da UFRGS. B.Arg. Bentonita da Mina 7 de Mayo-Neuquén Argentina. Segundo Impiccini (2002).

Pr. M.: Propriedades mínimas exigidas pela indústria da fundição.

H=umidade (%), Inch= inchamento, Filt= filtrado (ml), AAM=absorção de azul de metileno (ml).

IE= estabilidade térmica (%), RCV= resistência à compressão a verde (n/cm²), RTU=Resistência à tração a úmido (n/cm²), RTV= resistência à tração a verde (n/cm²), PG= partículas grossas (%maior 270 mesh).

AAAt=argila ativa (%).

O alto valor da Estabilidade Térmica vem corroborar com a análise mineralógica que aponta ser esta bentonita, ao longo do perfil estudado, uma argila constituída por montmorilonita pura, sem evidências de interestratificados, com alta cristalinidade e alto grau de ordenamento. Quando comparada com a bentonita da Argentina, sódica natural, de idade Terciária (tabela 3), a estabilidade térmica da bentonita de Bañado de Medina, de idade Permiana, é bastante superior. Possivelmente o maior tempo sob os efeitos da diagênese tenham organizado mais a estrutura da bentonita de Bañado de Medina, resultando em sua estabilidade térmica mais elevada.

Com relação ao inchamento a bentonita sódica natural da Argentina apresenta valores semelhantes à bentonita de Bañado de Medina ativada com 3% de carbonato de sódio e valores inferiores se comparada com a bentonita de Bañado de Medina que foi ativada com 5% de carbonato de sódio. Este resultado apóia a possibilidade de que o inchamento é favorecido não somente pela troca mais efetiva do cálcio pelo sódio (e no caso da sódica natural, pela presença do sódio na posição

interfoliar) mas também pelo ataque que o carbonato de sódio promove na superfície do argilomineral durante a ativação.

9 – Conclusões

Ocorrências de camadas de bentonita associadas com seqüências sedimentares Permianas da Bacia do Paraná são descritas em vários trabalhos (Coutinho et al. 1991; Ferrando e Andreis, 1986; Milani, 2000). A Jazida Bañado de Medina (próximo a cidade de Melo, Uruguai) se destaca neste contexto pela espessura incomum da camada de bentonita, com boas perspectivas de uma exploração comercial deste tipo de rocha.

Estratigraficamente, a bentonita encontra-se dentro da Formação Rio do Rasto, mais especificamente, na porção superior do Membro Serrinha. Utilizando a nomenclatura uruguaia, a bentonita em estudo encontra-se no Membro Vila Viñoles da Formação Yaguari (Permiano Superior). Além deste critério estratigráfico, os resultados mostram uma forte correlação do depósito com falhamentos, encontrando-se a jazida em blocos rebaixados do terreno e portanto, preservados de processos erosivos.

Numa área de 9,5 ha, foram realizados 31 furos de sondagens, espaçados regularmente em 50 m que mostram que a bentonita encontra-se confinada entre uma camada superior de silte e arenito fino e inferiormente por arenito fino, sendo os contatos nítidos. As espessuras de bentonita registradas nos poços variaram de 6,6 m até 0,5 m, com uma cobertura de silte e arenito que variou entre 1,60m e 11,50m.

A bentonita apresenta diferenças quanto à coloração e estruturas sedimentares e estes critérios foram utilizados para dividi-la em litofácies, denominando-se de bentonita V, camada compacta e de cor violácea diretamente em contato com o arenito inferior, seguido de camadas de bentonita denominadas de A, B e C. A bentonita A é maciça e possui coloração rosada. A bentonita B apresenta caracteristicamente finas laminações horizontais com aspecto de ritmito. A bentonita C superior apresenta fortes evidências de retrabalhamento na forma de intraclastos centimétricos de argilito tipo bentonita B. A identificação de blocos elevados e abatidos e de processos de retrabalhamento intrabaciais permite admitir a existência de

mecanismos de transporte e acumulação de cinzas vulcânicas e material fino num regime sedimentar, cuja fase final de deposição subaquosa estaria concentrada em depressões, muito provavelmente lagos tectônicos, tornando plausível neste modelo a existência de grandes espessuras de bentonita.

Mineralogicamente, a bentonita de Bañado de Medina é composta por camadas com elevada concentração de esmectita dioctaédrica cálcica. Quartzo e feldspato ocorrem como minerais traços contaminantes com uma tendência de aumentar a participação destes em direção ao topo da camada. Os resultados químicos mostram uma esmectita com baixo teor em ferro, com cerca de 76% da carga interfoliar proveniente da substituição a nível octaédrico, principalmente pela entrada do magnésio, com baixa substituição a nível tetraédrico, classificando-se como uma alumínio montmorilonita. Foi avaliada a capacidade de troca de cátions e os valores encontrados para a esmectita na fração $<2\mu\text{m}$ variou entre 101 e 116 meq/100g. Após tratamento com KCl e CaCl_2 a montmorilonita de Bañado de Medina apresentou modificações no espaçamento interfoliar, principalmente com a entrada de K, porém, foram totalmente reversíveis, mostrando serem predominantemente esmectitas de baixa carga, não apresentando em seu edifício cristalino a predominância de setores mais evoluídos, que poderiam reter irreversivelmente o potássio e sua correlação com domínios 2EG, 1EG e 0EG.

Foram feitos testes para aplicação tecnológica da bentonita, levando em consideração as necessidades do mercado consumidor do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Existe uma expressiva demanda por bentonita para aplicação em moldes de fundição e os resultados neste campo foram promissores, atingindo índices adequados de estabilidade térmica, inchamento e resistência a tração a úmido após um procedimento de ativação com 5% de carbonato de sódio.

10 - Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - processo: 481087/2007-9, Projeto Fapergs/Pronex 408253 e o Programa de Bolsas de Pós-Graduação-REUNI da UFRGS.

11 - Bibliografia

- ALVES, T.S.; ZANINI, A.E.; CARVALHO, L. H.; VEZARIO, M.V. 2008.** Influência da acidez no inchamento e reologia de argilas no estado da Bahia. Congresso Brasileiro de Engenharia e ciência dos materiais. 112-012.
- ANDREIS, R.R.; FERRANDO, L.; HERBIST, R. 1996** Terrenos carboníferos y Pérmicos de La República Oriental Del Uruguay. El sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay, Academia Nacional del Uruguay, Córdoba, Argentina, pp. 309-343.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMANN, P. 1998.** Carta geológica del Uruguay. Faculdade de Agronomia.
- BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1987.** Esquema preliminar sobre la evolución geológica del Uruguay durante el período Cámbrico. Actas X Congreso Geológico Argentino. I :346-350. Tucumán. Argentina.
- CALARGE, L.M. 2001.** Estudo mineralógico e geoquímico de bentonitas do sul da bacia do Paraná (Aceguá, Brasil e Melo, Uruguai). Tese de doutorado em Geociências. Porto Alegre. Instituto de geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- CALARGE, L.M.; MEUNIER, A.; FORMOSO, M. L.L. 2003** A bentonite bed in the Aceguá (RS, Brazil) and Melo (Uruguay) areas: a highly crystallized montmorillonite. Journal of south American Earth Sciences 16 . 187 -198.
- CALARGE, L.M.; MEUNIER, A.; LANSON, B.; FORMOSO, M.L.L. 2006.** Chemical Signature of two Permian volcanic ash deposits within a bentonite bed from Melo, Uruguay. Anais da Academia Brasileira de ciências. 78(3) 525-541.
- COUTINHO, J.M.V.; HACHIRO, J.; COIMBRA, A.M.; SANTOS, P.R. 1991.** Ash-fall derived vitroclastic tuffaceous sediments in the Permian of the Paraná Basin and their provenance. In: Ulbrich, H. & Rocha-Campos, A. C. (eds.). *Gondwana Seven*. São Paulo, Universidade de São Paulo, p. 147-160.
- DARLEY, H.C.H.; GRAY, G.R. 1998.** Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. Fifth Edition, Gulf Publishing Company, 643 p.
- DDani, M.; MENIEUR, A.; ZAHRAQUI, M.; BEAUFORT, D.; WARTITI, M.; FONTAINE, C.; BOUKILI, B.; MAHI, B. 2005.** Clay mineralogy and chemical

composition of bentonites from the Gourougou volcanic massif (northeast Morocco). *Clay and clay Minerals*, vol. 53. No 3, 249 –266.

FERRANDO, L. A. & ANDREIS, R. R. 1986. Nueva estratigrafía em el Gondwana de Uruguay. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROCARBUROS, 1, 1986, Buenos Aires. Actas...Buenos Aires, Asociación Geologica Argentina, v. 1, p. 295-322.

GOMEZ, C.; HEINZE, V. & THEUNE, C. 1980. Informe sobre las arcillas montmorilloníticas en Bañado de Medina (departamento de Cerro Largo). Relatório – Dirección Nacional de Minería y Geología – Montevideo.

GOÑI, JC. 1952. Estudo mineralógico de algumas argilas do Uruguai. C.I.P.E.A. XIX Congresso Internacional de Geologia, Fasc XVIII: 47-56.

GORDON Jr., M. 1947. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Notas Preliminares e Estudos, DNPM/DGM, Rio de Janeiro nº 38, p.1-20.

GRIM, R.E.; GUVEN, N. 1978. Bentonites, geology, mineralogy, properties and use. Amsterdam: Elsevier. 256 p.

IMPICCINI, A.; VALLÉS, J. 2002. Los depósitos de Bentonita de Barda Negra y Cerro Bandera, departamento Zaballa, provincia del Neuquén, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(3). 305 – 314.

KAY, S.M.; RAMOS, V.A.; MPODOZIS, C.; SRUOGA, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in the North America? *Geology*, 17: 324-328.

LANSON, B. 1997. Decomposition of experimental X-ray diffraction patterns (profile fitting): a convenient way to study clay minerals: *Clay and clay minerals*, v.45, p.132-146, 1997.

LAVINA, E.L.1991. Geologia sedimentar e paleogeografia do Neo Permiano e EoTriássico (intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 333p.

MENEZES, J.R.C. 2000. Estratigrafia do Neopermiano da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul: Geologia do Rio Grande do Sul. Michel Holz; Luiz Fernando De Ros. Editores – Porto Alegre CIGO/UFRGS. 323-334.

- MEUNIER, A.; LANSON, B.; VELD, B.** 2004. Composition variation of illite-vermiculita smectite mixed-layer minerals in a bentonite bed from Charente (France). *Clay Minerals*, 39, 317-332.
- MILANI, E. J.** 1997. Evolução Tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul - ocidental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de doutorado, 2 volumes.
- MOORE, D; REYNOLDS, R.C. Jr.**1997. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, 2^a ed. Oxford University Press, New York.
- MURRAY, H.H.** 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applies clay Science*, 17, 207-221.
- NEWMAN, A.; BROW, G.** 1987 The chemical constitution of clays. En: *Chemistry of clays and clay Minerals*, Newman, A. (Ed.): Mineralogical Society, Monograph No 6: 1-128. London.
- PINTAUDE, D.A.; FORMOSO, M.L.L.**1972. Ocorrência de argila montmorilonítica em Aceguá-RS. Porto Alegre: Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. 40 p. (Boletim 57).
- RAMOS, V.A.** 1988. Late Proterozoic – Early Paleozoic of South America: a collisional history. *Episodes*, 11 (3): 168-174.
- WHITE, I.C.** 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I, p.1-300; Parte II, p. 301-617.

Discussão e Conclusões :

Rochas sedimentares possuem um critério de prospecção ligado de forma muito estreita a estratigrafia. A Jazida de bentonita de Bañado de Medina está inserida dentro de um pacote de rochas sedimentares de idade Permiana da Formação Rio do Rastro. Esta formação tem correspondência na coluna estratigráfica do Uruguai, porém com algumas peculiaridades que tornam a coluna proposta por Bossi e Navarro (1997) mais adequada por diferenciar as fácies que, no caso da nomenclatura brasileira, estão incluídas dentro do Membro Serrinha. No contexto uruguaio, a Formação Rio do Rastro se distribui em duas formações distintas, denominadas de Formação Yaguari e Formação Buena Vista. A Formação Yaguari, que contém as bentonitas, esta dividida no Uruguai numa unidade inferior (Membro San Diego) e numa unidade superior (Membro Vila Viñoles), sendo que esta última abriga as camadas de bentonita. Já a unidade denominada no Brasil de Membro Morro Pelado, vem a se constituir no Uruguai numa formação isolada denominada de Formação Buena Vista.

A passagem do Membro San Diego, formado por fácies predominantemente pelíticas com cor escura, próprio de um ambiente redutor e de baixa energia, para o Membro Vila Viñoles é observada na área de estudo. Sua evolução é gradativa e marcada por um aumento da participação de siltitos e arenitos com tons predominantemente avermelhados, denotando uma crescente continentalização e o predomínio de ambientes oxidantes.

Os trabalhos de campo evidenciaram que a ocorrência de bentonita na região de Bañado de Medina está restrita a uma rocha bem definida, o Membro Vila Viñoles da Formação Yaguari.

Nessa região da Jazida de Bañado de Medina, são também expressivos os contatos por falhamentos entre as unidades que afloram na área, seguindo principalmente duas direções, a NE e a NW. Estes falhamentos se expressam freqüentemente na forma de movimentos verticais, formando uma sucessão de blocos soerguidos e rebaixados, que limitam a extensão lateral dos estratos, tanto na escala regional como na escala local. Este fator estrutural, com basculamento de blocos, pode ter sido decisivo na preservação de pacotes de bentonita como o da jazida de Bañado de

Medina. Durante os trabalhos de descrição dos furos de sondagens e de mapeamento, ficou evidente que os falhamentos identificados foram atuantes durante o processo de deposição, gerando regiões rebaixadas no terreno e condições de retrabalhamento de dentro das bacias de deposição. Também, estes sistemas de falhas foram decisivos para propiciar a formação de blocos rebaixados no terreno que preservaram os pacotes sedimentares que contem as bentonitas.

Embora não tenha sido o foco principal do trabalho, a origem da bentonita de Bañado de Medina pela alteração de cinza vulcânica, transportada via atmosfera, é apoiada em dados de campo e de laboratório.

O perfil que pode atingir mais de 6,0 metros da bentonita de Bañado de Medina apresenta-se sem estruturas que indiquem um transporte importante. As camadas basais são extremamente homogêneas, sem acamadamentos visíveis, indicativos de uma sedimentação por precipitação. Apenas na parte superior da camada de bentonita, aparecem intraclastos da própria argila indicando um transporte intrabaciais de pequena extensão.

Calarge (2001) analisando os elementos traços da bentonita de uma área cerca de 2 km da área do presente trabalho sugeriu uma origem a partir de um vidro riolítico que teria origem em vulcanismo Permiano, na região oeste da América do Sul.

Além disso, análises de laboratório por DRX mostram que a esmectita que compõe o jazimento é muito pura, não apresentando diferenças cristaloquímicas ao longo do perfil estudado. Estudos de detalhe dessa esmectita evidenciam sua complexidade, pois Calarge (2001) encontrou evidências que essa esmectita apresenta domínios que variam desde baixa até alta carga interfoliar, enquanto os estudos atuais mostraram que a esmectita da jazida de Bañado de Medina no campo B, é predominantemente de baixa carga.

Estudos mineralógicos apoiados nas análises químicas realizadas permitem classificar a bentonita de Bañado de Medina como uma alumínio-montmorilonita.

Foram feitos testes para aplicação tecnológica da bentonita, levando em consideração as necessidades do mercado consumidor do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Os resultados mostraram índices adequados de estabilidade térmica, inchamento e resistência a tração a úmido após um procedimento de ativação com 5% de carbonato de sódio. As propriedades tecnológicas foram otimizadas

significativamente quando sua ativação foi realizada com 5% de carbonato de sódio em relação às amostras ativadas com 3% de carbonato de sódio. Este incremento nos valores das propriedades analisadas, especialmente do inchamento, deve-se, provavelmente, a concentração maior de carbonato de sódio, estabelecendo uma maior efetividade da substituição do Ca^{2+} pelo Na^{2+} provavelmente pela maior facilidade de hidratação do sódio em relação ao cálcio (Darley e Gray, 1998). Também o aumento do pH, com maior concentração de carbonato de sódio, promove uma ataque mais efetivo na estrutura da esmectita, favorecendo sua dispersão.

O alto valor da estabilidade térmica vem corroborar com a análise mineralógica que aponta ser esta bentonita de Bañado de Medina, ao longo do perfil estudado, uma argila constituída por montmorilonita pura, sem evidências de interestratificados, com elevada cristalinidade e alto grau de ordenamento.

Também foi observado um desempenho melhor das propriedades tecnológicas da bentonita de Bañado de Medina ativada com 5% de carbonato de sódio em relação à bentonita, sódica natural, da Mina 7 de Mayo de Neuquén, Argentina, de idade Terciária (Impiccini 2002). Com relação à estabilidade térmica, a bentonita de Bañado de Medina, de idade Permiana, apresentou valores bastante superiores. Possivelmente o maior grau de diagênese tenha organizado mais a estrutura da bentonita de Bañado de Medina, resultando em sua estabilidade térmica mais elevada.

Com relação ao inchamento, a bentonita sódica natural da Argentina apresenta valores semelhantes à bentonita de Bañado de Medina ativada com 3% de carbonato de sódio e valores inferiores se comparada com a bentonita de Bañado de Medina que foi ativada com 5% de carbonato de sódio. Este resultado apóia a possibilidade de que o inchamento é favorecido não somente pela troca mais efetiva do cálcio pelo sódio (e no caso da sódica natural, pela presença do sódio na posição interfoliar) mas também pelo ataque que o carbonato de sódio promove na superfície do argilomineral durante a ativação.

Os dados preliminares levantados neste trabalho indicam que esta jazida de bentonita possui um potencial econômico que deve ser mais bem avaliado. A reserva de 580.000 toneladas medida pelos resultados das sondagens, e a proximidade com centros importantes de consumo de bentonita, especialmente para moldes de fundição, justificam o aprofundamento da investigação sobre suas características de composição e as implicações nas propriedades tecnológicas.

Bibliografía:

BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1987. Esquema preliminar sobre la evolución geológica del Uruguay durante el período Cámbrico. Actas X Congreso Geológico Argentino. I :346-350. Tucumán. Argentina.

CALARGE, L 2001. Estudo mineralógico e geoquímico de bentonitas do sul da bacia do Paraná (Aceguá, Brasil e Melo, Uruguai). Tese de doutorado em Geociências. Porto Alegre. Instituto de geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

DARLEY, H.C.H.; GRAY, G.R. 1998. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. Fifth Edition, Gulf Publishing Company, 643 p.

IMPICCINI, Agnes; VALLÉS, Jorge. 2002. Los depósitos de Bentonita de Barda Negra y Cerro Bandera, departamento Zaballa, provincia del Neuquén, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57(3). 305 – 314.