Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

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

Luiz Delfino Albarnaz, Norberto Dani, Milton Formoso, André Mexias, Nelson Lisboa

Pesquisas em Geociências, 36 (3): 263-281, set./dez., 2009.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17838>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2009.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

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

Luiz Delfino ALBARNAZ, Norberto DANI, Milton L.L. FORMOSO, André MEXIAS & Nelson, A. LISBOA

1. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre, RS. CEP 91.540-900 - Brasil. E-mail: delfino.albarnaz@gmail.com

Recebido em 03/2009. Aceito para publicação em 12/2009.

Versão online publicada em 16/08/2010 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - O depósito de bentonita da região de Bañado de Medina, situado 18 km a sudoeste da localidade de Melo, no Uruguai, constitui a primeira ocorrência na região com potencial para exploração comercial. O objetivo deste trabalho é apresentar dados referentes à mineralogia, composição química, tipos de contaminantes e fatores de controle dos depósitos, bem como algumas propriedades tecnológicas deste material. Com base em 31 furos de sondagem, foi possível a delimitação de uma camada de bentonita que localizadamente possui uma espessura de até 6,6m. A descrição dos furos, juntamente com trabalhos de campo, permitiu estabelecer um depósito de bentonita limitado inferior e superiormente por camadas de arenito dentro da Formação Rio do Rasto (Permiano Superior da Bacia do Paraná). O depósito foi protegido dos processos erosivos posteriores num bloco tectonicamente rebaixado, definido regionalmente por estruturas tectônicas antigas do embasamento com direções NE e NW. A reserva medida nos 9,5 ha de área prospectados é de 580.000 t, sendo formada por uma camada contínua de bentonita com cobertura de arenito/siltito da ordem de 1,60m até 11,60m de espessura. A bentonita Bañado de Medina resulta dos eventos finais do Membro Serrinha da Formação Rio do Rasto (Membro Vila Viñoles da Formação Yaguari, na nomenclatura uruguaia). De acordo com a textura, estruturas sedimentares e cor, a camada de bentonita foi dividida em quatro unidades. A determinação da mineralogia por difratometria de Raios-X mostra a predominância de esmectita dioctaédrica cálcica seguida de quartzo e feldspato, por vezes como minerais traços. Os resultados químicos indicam uma esmectita com baixo teor em Fe^{3+} e com cerca de 76% da carga interfoliar proveniente da substituição em nível octaédrico de Al^{3+} por Mg^{2+} , classificando-se como uma Al-montmorilonita. Foi avaliada a capacidade de troca de cátions (valores medidos entre 101 e 116 meq/100g) e sua relação com domínios 2EG, 1EG e 0EG. A montmorilonita com grande predominância é a do tipo baixa carga (2EG). Seu uso tecnológico foi testado para aplicação em moldes de fundição e como fluido de perfuração. Os resultados apontaram índices adequados de estabilidade térmica, inchamento e resistência à tração a úmido, quando ativada com 5% de carbonato de sódio.

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

Abstract - BAÑADO DE MEDINA BENTONITE DEPOSIT, MELO, URUGUAY. GEOLOGY, MINERALOGY AND TECHNOLOGICAL UTILIZATION. The bentonite deposit found in the region of Bañado de Medina, 18 km southwest of the locality of Melo, in Uruguay, is the first one of commercial potential in that region. The aim of this work is to present mineralogy, chemical composition, types of contaminants and factors that control the deposits and technological properties of the bentonite. A promising exploration block was defined based on 31 boreholes, resulting in the delimitation of a bentonite bed that is locally 6.6 m thick. Field studies and borehole analysis have enabled the recognition of a bentonite deposit enclosed by sandstone beds in the sedimentary sequence of the Rio do Rasto Formation (Upper Permian of Paraná Basin). Such deposit was protected against subsequent erosion in tectonically depressed blocks, defined regionally by old basement, NE- and NW-trending tectonic structures. The reserve measured in the 9.5 ha area of the prospected block was estimated to be 580,000 tons, formed by a continuous bentonite bed with 1.60 m to 11.60 m thick sandstone

/siltstone cover. The Bañado de Medina bentonite represents the final events of the Serrinha Member from the Rio do Rasto Formation (Vila Viñoles Member from the Yaguari Formation, in the equivalent Uruguayan nomenclature). According to texture, sedimentary structures and color criteria, the bentonite bed was divided in four units. Mineralogy evaluated by X-ray diffraction shows the predominance of dioctahedral calcium smectite followed by quartz and feldspar, sometimes as trace minerals. The chemical analyses indicate a smectite of low Fe^{3+} content and 76% of interfoliar charge, mainly associated to octahedral replacement of Al^{3+} by Mg^{2+} , classified as Al-montmorillonite. The cation exchange capacity (measured values between 101 and 116 meq/100g) was evaluated in relation to 2EG, 1EG and 0EG domains. The montmorillonite is predominantly of the low charge type (2EG). Technological uses for foundry and drilling fluid were tested. The results indicate adequate thermal stability, good swelling properties and green strength when the bentonite is treated with 5% sodium carbonate.

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

1. Introdução

Argilas associadas com a Formação Rio do Rasto no Rio Grande do Sul e Uruguai têm sido objeto de interesse científico constante no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Estas ocorrências de argilas na forma de lentes centimétricas foram identificadas e classificadas como bentonita (Pintaúde & Formoso, 1972) na localidade de Aceguá, na fronteira do Brasil com o Uruguai. Estudos mais detalhados foram empreendidos nesta visando a caracterização da origem vulcânica destas argilas, bem como à determinação de suas propriedades tecnológicas, pois é conhecido que as reservas do Brasil deste material são limitadas, não atendendo a demanda 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, no Brasil com a existente em Melo, no Uruguai (campo A, Fig. 1), diferenciando-se principalmente na maior espessura da camada de bentonita na região de Melo. Esta ocorrência ainda não apresentava interesse econômico em função de sua distribuição em área ser reduzida. 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 (campo B, Fig. 1). Os dados obtidos nessas perfurações mostram

que a camada de bentonita possui espessuras que variam de 1 a 6,5 m, 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.

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 $32^{\circ}24'39''$ de latitude sul e $54^{\circ}22'04''$ de longitude oeste. A jazida é atingida a partir da cidade de Melo, rumando-se para leste pela Ruta 7 até o povoado de Bañado de Medina. A partir da intersecção com a Ruta 26 percorre-se mais 3,6 km até a jazida em estudo, Campo B (Fig. 1).

As bentonitas encontram-se inseridas na sequência de estratos que compõem a Formação Rio do Rasto, 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, e a melhor visualização da ocorrência é aquela realizada através de furos de sondagens, como os estudados neste projeto.

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).

3. Trabalhos anteriores

As argilas esmetíticas da região de Melo são conhecidas desde 1940 (Goñi, 1952). 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 de Campo A e Campo B (Fig. 1). Através da análise térmica diferencial (ATD), esses autores identificaram as argilas como sendo montmorilonitas (nome do grupo das esmetitas 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 t para o campo B. Neste mesmo período, o material coletado próximo ao Campo B foi parcialmente empregado pela empresa “Química San Fernando” estabelecida em Montevideo que produzia cerca de 300 t/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 esmetita, fazendo uma comparação com as argilas de 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. Método

O método empregado teve como objetivo fornecer dados para caracterização da jazida em 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). A pesquisa da argila na região do Campo B (Fig. 1) foi realizada através de uma malha de sondagem regular com células de 50 m de lado (Fig. 3) que 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 a 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 de microscopia ótica e, principalmente, de 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 & 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 cela unitária da esmectita.

A decomposição dos difratogramas foi realizada 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 μm a partir da troca dos cátions interfoliares com NH_4^+ . As análises químicas 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 no Laboratório de Geoquímica da UFRGS.

Os ensaios tecnológicos foram feitos em amostras de bentonita tipo ‘A’ (Fig. 7) 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 de Fundição do Centro Tecnológico da UFRGS.

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 - UFRGS com 5% (em peso de amostra seca) de carbonato de sódio, sendo posteriormente seca e moída.

5. Geologia da área

A jazida Bañado de Medina situa-se na unidade geomorfológica Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro, no domínio da sequência de rochas que compõem a bacia intracratônica do Paraná (Fig. 1). 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 (Milani, 2000). 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.* 19-79, *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.*, 1996), porém, algumas

particularidades envolvendo principalmente a Formação Rio do Rasto devem ser consideradas para evitar problemas de interpretação (Fig. 2). Na estratigrafia brasileira, o Rio do Rasto foi identificado inicialmente por White (1908) como “Camadas Vermelhas do Rio do Rasto”, sendo posteriormente elevado à categoria de formação por Gordon Jr. (1947), que a subdividiu 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, está dividida no Uruguai numa unidade inferior (Membro San Diego) e numa unidade superior (Membro Vila Viñoles), que 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 (Fig. 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 é a mais conveniente para o estudo das bentonitas, colocando-as no Membro Vila Viñoles da Formação Yaguari, que no Brasil seria equivalente ao Membro Serrinha Superior da Formação Rio do Rasto. Bossi e Navarro (19-87) descrevem o Membro San Diego como sendo formado por fácies predominantemente pelíticas com coloração escura, própria de um ambiente redutor e de baixa energia. 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.

		NOMENCLATURA BRASIL		NOMENCLATURA URUGUAI	
PERMIANO	JURO-CRETÁCEO		Formação Botucatu	Formación Tacuarembó	
	SUPERIOR		Membro Morro Pelado	Formação Rio do Rasto	Formación Buena Vista
		Membro Serrinha		Formación Yaguari
			Superior (bentonita) Inferior		Membro Vila Viñoles (bentonita) Membro San Diego
	INFERIOR		Formação Irati	Formación Melo
		Formação Rio Bonito	Formación Tres Islas	

Figura 2. Coluna estratigráfica comparativa entre as nomenclaturas usadas no Brasil e no Uruguai.

A distribuição das unidades geológicas na área de estudo pode ser visualizada na figura 1 (Bossi *et al.*, 1998), onde a Jazida Bañado de Medina encontra-se dentro da sequência que compõe a Formação Yaguari. São expressivos os contatos por falhas entre as unidades que afloram na área, seguindo principalmente as direções NE e NW. Algumas dessas falhas estão identificadas na figura 1 como lineamentos, enquanto outros, não demarcados, podem ser inferidos através da observação de contatos retilíneos entre as formações. Próximo à jazida de Bañado de Medina ocorrem diques com direção geral NW e soleira de diabásio, pertencentes provavelmente ao evento Serra Geral e associados 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 frequente a existência de movimentos verticais resultando numa 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

No Campo B (Fig. 1), a exposição direta da argila não é observada em superfície, 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 sequência de camadas horizontalizadas ou levemente basculadas devido a processos tectônicos posteriores. O bloco estudado apresenta camadas com espessura variadas, que são definidas a partir do topo em direção à base em solo com matéria orgânica, camada de siltito, camada de argilito (bentonita) e camada de arenito fino. As sondagens mostram que a camada de siltito que capeia as camadas de argilito pode atingir até 8 m de espessura e possui cores desde cinza clara até avermelhadas, muito provavelmente relacionadas com diferentes níveis com hematita dispersa. O contato entre a camada de argilito e o arenito fino é nítido e brusco. A espessura do argilito, nas porções mais centrais do bloco, chega até 6,5 m (Fig. 3 e 4) e apresenta diferentes litofácies que foram descritas principalmente através de características macroscópicas, como a cor e estruturas.

Em geral, o argilito é maciço, tem cor rosada, e é formado, em quase sua totalidade, por argila esmectítica. Esta camada foi denominada de bentonita, termo aqui considerado na concepção mais ampla dada por Grim & Guven (1978). O arenito inferior ao argilito nesta seção pode ser observado diretamente em afloramento circundante ao jazimento Bañado de Medina, quando assume tonalidades de vermelho com cimento

carbonático. A camada de argilito (Fig. 3), compreende uma área de aproximadamente 9,5 ha acompanhando a declividade do flanco de uma coxilha. A espessura da camada de argilito diminui bruscamente em direção às 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 no sentido sul, o limite neste sentido ainda não ficou bem estabelecido. O comportamento da

camada de argilito indica uma descontinuidade que é atribuída à existência de falhas, com componente vertical de movimento, que controlam o depósito. A falha *F-F1* de direção NW, assinalada na figura 3, pode ser observada 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.

Figura 3. Mapa com a malha de poços de sondagem e espessura das camadas.

Figura 4. Perfil geológico A - B com indicação das camadas de bentonita.

Figura 5. Contato por falha entre a bentonita (bloco abatido) e o siltito (bloco soerguido), evidenciando o fraturamento próximo à linha de falha. Vista em Perfil.

O perfil AB, abrangendo poços situados ao longo do eixo norte-sul, evidencia que a camada de argilito encontra-se confinada entre uma camada superior e inferior de siltito e arenito fino (Fig. 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 algumas das falhas que controlam o jazimento estavam ativas 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

teriam originado as argilas (cinza vulcânica). A superfície entre o siltito superior e a bentonita, exposta no flanco oeste e noroeste da jazida, constitui uma 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, o que corresponderia, na nomenclatura brasileira, à passagem do Membro Serrinha para o Membro Morro Pelado (Fig. 6).

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. 4). Sobreposta, ocorre 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 observadas laminações, e recebe a denominação de *bentonita A*. Seguindo em direção ao topo, ocorre uma litofácies 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 intercaladas com cores avermelhadas e creme. Esta camada é denominada de *bentonita B* (Fig. 7), caracteristicamente com mais silte, com distribuição mais constante na jazida que a *bentonita A*, e espessuras de 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 litofácies com coloração variando entre roxo e marrom avermelhado, frequentemente com intraclastos centimétricos de argilito tipo *bentonita B*. Esta camada foi

denominada de *bentonita C* e apresenta espessura variável ao longo da jazida, não sendo incomum alcançar até 3 m. Intraclastos de argilito em matriz também argilosa são interpretados como feições ligadas ao retrabalhamento intrabacinal associado com a reativação das falhas, com consequente 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. Perfil litológico do poço B1 com indicação dos 4 tipos de bentonita identificados.

Os elementos levantados permitem correlacionar o ambiente de sedimentação dos argilitos da sequência 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 explicar somente pelo 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 intrabacinal permitem 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-se plausível neste modelo a existência de grandes espessuras de bentonita.

Utilizando os dados obtidos nos 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 é de 580.000 toneladas. Esta reserva está em subsuperfície, sendo que 44% do jazimento possui de 1 a 5 m de capeamento estéril, 44% possui de 5 a 10 m de capeamento e 12% do jazimento mais de 10. Este capeamento está representado por siltito argiloso pouco consolidado e, portanto, 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 feldspatos. O espaçamento basal de 15Å, observado em todos os níveis, indica uma esmectita cujo cátion intercamada predominante é o cálcio. Na porção superior da bentonita, aparecem os picos do quartzo e dos feldspatos, indicando uma maior concentração desses minerais, diminuindo de intensidade em direção à base desta camada (Fig. 8A). 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.

A ausência de interestratificados (tipo

ilita-esmectita) 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 (Fig. 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 espaço interfoliar, 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}), coincidentes com o posicionamento teórico dos picos (Fig. 9).

As amostras saturadas com CaCl₂ (Cálcio - saturação 1) da fração menor que 2µm foram submetidas a nova saturação com KCl (Potássio) e, posteriormente, novamente saturadas com CaCl₂ (Cálcio - saturação 2), seguindo a metodologia de Meunier *et al.* (2004). Os resultados obtidos ao longo do perfil de bentonita (poço BC1-2, Fig. 3) se reproduziram de maneira similar em todas as amostras, demonstrando a homogeneidade da esmectita em todo o depósito. Para ilustrar o comportamento da esmectita de Bañado de Medina, elegeram-se os resultados obtidos com a amostra 450A do poço BC1-2 (Fig.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 11,79Å, seca ao ar para valores em torno de 13,50Å 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, 1997). 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 Ca²⁺ (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 setores com

alta carga, 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), e provavelmente os seus efei-

tos 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 predominantemente do tipo baixa carga.

Figura 8. (A) Difrátogramas de raios-X 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 esmectitas dioctaédricas.

Figura 9. Difratomogramas de raios-X ao longo do perfil do furo de sondagem BC1-2. Fração <2μm, saturado com Ca, modo glicolado. CuKα, intervalo de 2° a 32°2θ.

Figura 10. Difratomogramas de raios-X 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. CuKα, intervalo de 2° a 32°2θ.

Para investigar o comportamento da esmectita, optou-se por avaliar os difratogramas através da técnica de decomposição 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.

Na saturação com KCl, a esmectita da Jazida Bañado de Medina apresentou um comportamento diferenciado em 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 (Fig. 11A) evidencia que todas as amostras apresentaram modificações acentuadas, com o pico d_{001} se tornando assimétrico em direção à região dos baixos ângulos, sendo largo e sem os harmônicos. O processo de decomposição do pico d_{001} , amostra seca ao ar (Fig. 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} , apresentando espaçamentos de $14,11\text{\AA}$ e $10,17\text{\AA}$. Na amostra tratada com etileno glicol (Fig. 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, localizado a $11,56\text{\AA}$, 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 e com uma camada de etilenoglicol (1EG) na amostra tratada com etileno glicol. Nas figuras 11B e 11C, os picos localizados 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 illita (*illite like*), ou 0EG. Por fim, os resultados da decomposição mostram um 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 indicativo

de domínios da montmorilonita em que muito provavelmente não houve a substituição do Ca interfoliar pelo K, permanecendo com as características da esmectita original e 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-se observar 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 meq/100g), e os valores obtidos 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 (Fig. 10B) e negativamente com folhas do tipo 0-EG (Fig. 10C), podendo esta observação refletir em variações das propriedades tecnológicas da bentonita ao longo do perfil.

Análises químicas de bentonitas típicas de Bañado de Medina (amostra MEDB2-970A, fração total) permitiram calcular a fórmula química com base em meia célula unitária, considerando-se $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 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. A carga interfoliar em torno de 0,38 por $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ mostra que a montmorilonita posiciona-se no polo das esmectitas de baixa carga. Estes aspectos posicionam a bentonita de Bañado de Medina, seguindo o modelo proposto por Ddani *et al.* (2005) como sendo desenvolvidas a partir de cinza vulcânica depositada em posição distal em relação ao centro vulcânico e transformadas em condições de baixa profundidade e temperatura. Estas características associadas com os dados de difração mostram que a esmectita da Jazida Bañado de Medina é dioctaédrica e corresponde a uma Almontmorilonita (Newman & Brown, 1987).

Figura 11. Difratogramas de raios X de amostras K-saturadas, fração <2µm, saturadas 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.

profundidade	amostra	2EG (%)	1EG(%)	0EG (%)	total em %	CTC
4.5 m	450A	10	60	30	100	110
4.5 m	450B	9	73	18	100	102
7.1 m	710A	15	69	16	100	-
7.1 m	710B	25	65	10	100	111
7.1 m	710C	12	75	13	100	104
8.2 m	820	24	62	14	100	117
8.5 m	850	11	82	7	100	
valor médio		15	69	15	(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 (meq/100g) das amostras em diferentes profundidades. (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.

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

Amostra MEDB2-970	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
Fórmula química	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Fe ⁺³	Mn	Mg ^{VI}	Σ octaéd.	Ca	K	
	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									

** Ver observações na Tabela 2

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) pelletização 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) produção 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 pelletização de minério de ferro.

Goñi (1952) e Gomez *et al.* (1980) citam que as bentonitas de Melo (Uruguai) e Aceguá (Brasil) são adequadas a possíveis aplicações tecnológicas, porém, concretamente, não foram encontrados dados ou resultados de testes que pudessem mostrar estas propriedades. Desta forma, o presente trabalho, realizado com a bentonita de Bañado de Medina, compara os resultados obtidos com as propriedades das bentonitas provenientes de jazimentos explorados comercialmente, permitindo estabelecer o potencial destas argilas no campo da aplicação industrial.

Em função da proximidade do jazimento de Bañado de Medina com polos 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.

Como a esmectita do jazimento de Bañado de Medina apresenta o cálcio como cátion intrafoliar, para seu uso na fundição é necessário ativá-la com carbonato de sódio para a remoção do cálcio, potencializando suas propriedades tecnológicas. Para medir estas propriedades, foram realizadas análises em laboratório após a ativação da bentonita.

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 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 às especificações das indústrias de fundição, como: resistência à tração a úmido e resistência à compressão a verde (RTU e RCV), Absorção de Azul de Metileno (AAM original), alta Estabilidade Térmica (ET), 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 às normas da Petrobrás para fluidos de perfuração de poços.

A amostra analisada no laboratório de fundição da UFRGS (ativada com 5% de carbonato de sódio) apresentou resultados dentro das exigências da indústria de fundição. Com o aumento da concentração de carbonato de sódio (de 3% para 5%) na ativação, conseguiu-se otimizar propriedades como o inchamento. Este incremento nos valores das propriedades analisadas, especialmente do inchamento, deve-se, provavel-

mente, à concentração maior de carbonato de sódio, estabelecendo uma maior efetividade da substituição do Ca^{+2} pelo Na^{+1} , provavelmente pela maior facilidade de hidratação do sódio em relação ao cálcio (Darley & Gray, 1998). Também o aumento do pH, com maior concentração de carbonato de sódio, promove uma ataque mais efetivo na estrutura da esmectita, favorecendo a entrada das moléculas de água no espaço interfoliar com o consequente aumento do volume. 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 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.

O alto valor da ET vem corroborar 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 as bentonitas de idade terciária da Argentina, de composição sódica natural, a ET da bentonita de Bañado de Medina, de idade permiana, é bastante superior. É possível que o maior tempo sob os efeitos da diagênese tenha organizado mais a estrutura da bentonita de Bañado de Medina, resultando em sua ET mais elevada.

Com relação ao inchamento, a bentonita sódica natural da Argentina apresenta valores semelhantes aos da 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.

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

Amostra	H	I	L600	F	pH	AAM	IE	RCV	RTU	RTV	PG	AAt
BC1-2-630*	15,2	18,0	6,0	20,8	9,61	52,2	76,4	10,5	0,271			
BC1-2-710*	14,4	19,0	6,0	21,6	9,49	51,2	86,5	13,5	0,296			
BC1-2-800*	14,8	20,0	5,0	21,4	9,52	55,2	73,2	14,0	0,28			
BC-2-770*	15,1	18,0	5,0	21,1	9,60	52,2	74,5	11,0	0,266			
MED**	5,9	34						10,0	0,35	2,1	35	10,26
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	

*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 (Impiccini & Valles, 2002).

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

H=umidade (%), I= inchamento, L600= viscosidade (ml), F= filtrado (ml), AAM=absorção de azul de metileno (ml), IE= estabilidade térmica (%), RCV= resistência à compressão a verde (n/cm^2), RTU=Resistência à tração a úmido (n/cm^2), RTV= resistência à tração a verde (n/cm^2), PG= partículas grossas (%maior 270 mesh), AAt=argila ativa (%).

9. Conclusões

Ocorrências de camadas de bentonita associadas com sequências sedimentares permianas da Bacia do Paraná são descritas em vários trabalhos (Coutinho *et al.*, 1991; Ferrando & Andreis, 1986; Milani, 2000). A Jazida Bañado de Medina (próximo à 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 material.

Estratigraficamente, a bentonita situa-se na Formação Rio do Rasto, mais especificamente na porção superior do Membro Serrinha. Utilizando-se 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 falhas, localizando-se a jazida em blocos rebaixados do terreno e, portanto, preservados de processos erosivos. A bentonita é limitada por uma camada superior de siltito e arenito fino e inferiormente por arenito fino, sendo os contatos nítidos. As espessuras de bentonita registradas nos poços variam de 6,6 m até 0,5 m, com uma cobertura de siltito e arenito que varia 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, seguida 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, de processos de retrabalhamento intrabacinal e de estruturas tipo ritmito permitem admitir a existência de mecanismos de transporte e acumulação de cinzas vulcânicas e material fino num regime sedimentar, cuja fase final de deposição sub-aquosa estaria concentrada em depressões, muito provavelmente lagos tectônicos, tornando plausível neste modelo a existência de grandes espessuras de bentonita.

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 em nível octaédrico, principalmente pela entrada do magnésio, com baixa substituição em nível tetraédrico, classificando-se como uma Al-montmorilonita. A capacidade de troca de cátions encontrada para a esmectita na fração <2µm variou entre 101 e 116 meq/100g. Após tratamento com KCl e CaCl₂ a montmorilonita de Bañado de Medina apresentou modificações no espaçamento interfoliar, principalmente com a entrada de potássio, porém, esta substituição foi totalmente reversível, evidenciando que as esmectitas são predominantemente do tipo baixa carga. Os resultados mostram que as esmectitas não apresentam no seu

edifício cristalino a predominância de setores mais evoluídos, que poderiam reter irreversivelmente o potássio.

Testes de aplicação tecnológica indicam índices adequados de estabilidade térmica, inchamento e resistência à tração a úmido após um procedimento de ativação com 5% de carbonato de sódio, atendendo às necessidades do mercado consumidor do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Agradecimentos - Os autores agradecem ao CNPq - processo nº 481087/2007-9, Projeto Fapergs/Pronex nº 408253 e ao Programa de Bolsas de Pós-Graduação-REUNI da UFRGS.

Referências

- 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. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 18, 2008, *Anais ...* Porto de Galinhas, ABM. v.1.
- Andreis, R.R., Ferrando, L. & Herbist, R. 1996 Terrenos carboníferos y pérmicos de la República Oriental del Uruguay. In: Archangelsky, S. (Ed.). *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*. Montevideo. Facultad de Agronomía. Escala 1: 500.000.
- Bossi, J. & Navarro, R. 1987. Esquema preliminar sobre la evolución geológica del Uruguay durante el período Cámbrico. In: CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO, 10., 1987. Tucumán. *Actas...* Tucumán. AGA. v. 1.
- Calarge, L.M. 2001. *Estudo mineralógico e geoquímico de bentonitas do sul da bacia do Paraná (Aceguá, Brasil e Melo, Uruguai)*. Porto Alegre. 133 p. Tese de doutorado em Geociências, 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(2). p. 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). p. 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. 1988. Composition and properties of drilling and completion fluids. Fifth Edition, Houston, Gulf Publishing Company. 634 p.
- Ddani, M., Meunier, A., Zahraquiz, 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*, 53 (3). p. 249 - 266.
- Ferrando, L.A. & Andreis, R.R. 1986. Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROCARBUROS, 1., 1986, Buenos Aires. *Actas...*, Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, v. 1.
- Gomez, C., Heinze, V. & Theune, C. 1980. *Informe sobre las arcillas montmorilloníticas en Bañado de Medina (departamento de Cerro Largo)*. Relatório Inédito - Dirección Nacional de Minería y Geología - Montevideo.
- Goñi, J.C. 1952. Estudo mineralógico de algumas argilas do Uruguai. In: Congresso Internacional de Geologia, 19, 1952, Argel, *Anais ... Argel*, CIPEA. v. 38. p. 47 - 56.
- Gordon Jr., M. 1947. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos*, 38.
- Grim, R.E. & Guven, N. 1978. Bentonites, geology, mineralogy, properties and use. Amsterdam, Elsevier. 256p.
- Impiccini, A. & Valles, 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). p. 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 (4).
- 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.
- Lavina, E.L. 1991. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neo Permiano e EoTriássico (intervalo Kazaniano -Scythiano) da Bacia do Paraná*. Porto Alegre. 333 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Menezes, J.R.C. 2000. Estratigrafia do Neopermiano da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. pgs 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. p. 317-332.
- Milani, E. J. 2000. Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, pgs. 275-302.
- Moore, D. & Reynolds, R.C. Jr. 1989. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, 2th. New York, Oxford University Press. 198p.
- Murray, H.H. 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applies Clay Science*, 17. p. 207 - 221.
- Newmann, A. & Brow, G. 1987 The chemical constitution of clays. In: Newman, A.C.D. (Ed.). *Chemistry of Clays and Clay Minerals*, Mineralogical Society, London p. 1-128.
- Pintaúde, D.A. & Formoso, M.L.L. 1972. *Ocorrência de argila montmorilonítica em Aceguá-RS*. Porto Alegre, Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. (Boletim 57).
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic - Early Paleozoic of South America: a collisional history. *Episodes*, 11 (3). p. 168 - 174.
- COMISSÃO DE ESTUDOS DAS MINAS DE CARVÃO DE PEDRA DO BRAZIL. 2008. *Relatório final apresentado a S. Ex. o Sr. Dr. Lauro Severiano Müller, Ministro da Indústria, Viação e Obras Públicas por I. C. White, chefe da comissão 1 de julho de 1904 a 31 de maio de 1906*. Tradução de Carlos Moreira. Belo Horizonte: CPRM. 617 p. Edição Comemorativa 100 anos do Relatório White.