

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**IGOR DE MATTOS CARVALHO**

**ESTUDO GEOLÓGICO COMPARATIVO ENTRE AS BENTONITAS DE  
REGIÃO DE MELO (URUGUAI) E DA REGIÃO DE VITÓRIA DA CONQUISTA  
(BAHIA).**

**Caçapava do Sul  
2017**

**IGOR DE MATTOS CARVALHO**

**ESTUDO GEOLÓGICO COMPARATIVO ENTRE AS BENTONITAS DE  
REGIÃO DE MELO (URUGUAI) E DA REGIÃO DE VITÓRIA DA CONQUISTA  
(BAHIA).**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia  
da Universidade Federal do Pampa,  
como requisito parcial para obtenção  
do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Msc. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

**Caçapava do Sul  
2017**

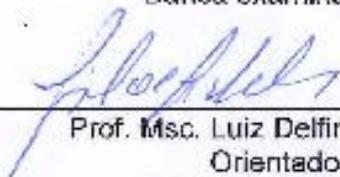
**IGOR DE MATTOS CARVALHO**

**ESTUDO GEOLÓGICO COMPARATIVO ENTRE AS BENTONITAS DE  
REGIÃO DE MELO (URUGUAI) E DA REGIÃO DE VITÓRIA DA CONQUISTA  
(BAHIA).**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia  
da Universidade Federal do Pampa,  
como requisito parcial para obtenção  
do Título de Bacharel em Geologia.

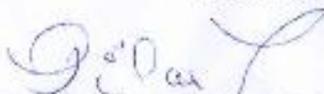
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04/07/2017.

Banca examinadora:



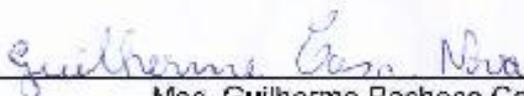
---

Prof. Msc. Luiz Delfino Albamaz  
Orientador  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida  
UNIPAMPA



---

Msc. Guilherme Pacheco Casa Nova  
UNIPAMPA

## 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. A bentonita estudada aparece no Membro Serrinha, pertencente à Formação Rio do Rasto, que faz parte do Permiano Superior da Bacia do Paraná. 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, plagioclásio e feldspato alcalino aparecem em menores quantidades. Os resultados químicos indicam uma esmectita com baixo teor em ferro (2,01% até 3,94%), teores significativos em  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$ , pois os valores são considerados altos de  $Mg^{2+}$  entre 4,57% e 6,54% e os valores de  $Al^{3+}$  aparecem com teores 14,64% e 17,75%. O depósito de bentonita de Pradoso localiza-se a cerca de 16 km a Oeste de Vitória da Conquista. Na área do depósito, interpreta-se que o gnaiss e intercalações básicas ocorram na borda do Planalto de Vitória da Conquista, em estado alterado, com sinais incipientes de esmectita esverdeada. A análise mineralógica por difratometria de raio-X indica montmorillonita, caulinita, vermiculita e quartzo. A análise química mostra teores significativos de alumínio, magnésio e ferro. A bentonita tipo B do depósito de Vitória da Conquista é a que apresenta os maiores quantidades de montmorillonita, chegando a 95% do total da amostra. É importante ressaltar que as duas bentonitas possuem quartzo, mas a bentonita de Bañado Medina possui quantidades mais significativas. Este conteúdo diferenciado de quartzo interpreta-se como refletindo a composição da rocha fonte, a cinza vulcânica composição rio-dacítica, (Calarge, 2001) na bentonita de Bañado de Medina e uma rocha básica (anfíbolito) no depósito da Bahia. Os depósitos comparados neste trabalho estão localizados há mais de 2400 km de distância.

Palavras-Chave: bentonita; difratometria de raio-X; análise química; comparação.

## ABSTRACT

The bentonite deposit in the Bañado de Medina region, located 18 km southwest of the town of Melo in Uruguay, is the first occurrence in the region with potential for commercial exploitation. The studied bentonite appears in the Serrinha Member, belonging to the Rio do Rasto Formation, which is part of the Upper Permian of the Paraná Basin. According to the texture, sedimentary structures and color, the bentonite layer was divided into four units. The determination of mineralogy by X-ray diffraction shows the predominance of dioctahedral calcium smectite followed by quartz, plagioclase and alkali feldspar appear in smaller amounts. The chemical results indicate a smectite with a low iron content (2.01% up to 3.94%), significant contents in Mg<sup>2+</sup> and Al<sup>3+</sup>, since the values are considered high of Mg<sup>2+</sup> between 4.57% and 6.54% and Values of Al<sup>3+</sup> appear with levels of 14.64% and 17.75%. The Pradoso bentonite deposit is located about 16 km west of Vitória da Conquista. In the deposit area, it is interpreted that the gneiss and basic intercalations occur on the edge of the Vitória da Conquista Plateau, in an altered state, with incipient signs of greenish smectite. The mineralogical analysis by X-ray diffraction indicates montmorillonite, kaolinite, vermiculite and quartz. The chemical analysis shows significant levels of aluminum, magnesium and iron. The type B bentonite of the Vitória da Conquista deposit is the one with the highest amounts of montmorillonite, reaching 95% of the total sample. It is important to emphasize that the two bentonites have quartz, but the bentonite of Bañado Medina has more significant amounts. This differentiated content of quartz is interpreted as reflecting the composition of the source rock, the volcanic ash composition of the river-dacitic (Calarge, 2001) in the bentonite of Bañado de Medina and a basic rock (amphibolite) in the Bahia deposit. The deposits compared in this work are located more than 2400 km away.

Keywords: Bentonite; X-ray diffractometry; chemical analysis; comparison.

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| 2. OBJETIVOS .....   | 2  |
| 2.1. Objetivos Gerais .....  | 2  |
| 2.2. Objetivos Específicos .....   | 2  |
| 3. JUSTIFICATIVA.....  | 2  |
| 4. ÁREA DE ESTUDO .....  | 3  |
| 4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....   | 3  |
| 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO .....  | 6  |
| 4.2.1. VITÓRIA DA CONQUISTA (BA).....  | 6  |
| 4.2.2. MELO (URUGUAI).....   | 9  |
| 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 11 |
| 5.1. ARGILAS .....   | 11 |
| 5.2. CLASSES DAS ESMECTITAS .....  | 12 |
| 5.3. BENTONITA.....  | 12 |
| 5.4. PRODUÇÃO E PRINCIPAIS RESERVAS DE BENTONITA .....                                   | 14 |
| 5.5. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E PRINCIPAIS USOS DA BENTONITA .....                      | 15 |
| 5.6. ATIVAÇÃO ÁCIDA.....   | 18 |
| 5.7. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX) .....  | 19 |
| 5.8. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X .....  | 19 |
| 5.9. ESTADO DA ARTE.....   | 20 |
| 5.9.1. BAÑADO MEDINA, MELO.....  | 20 |
| 5.9.2. PRADOSO, VITÓRIA DA CONQUISTA (BA).....   | 21 |
| 6. MATERIAIS E METODOS .....   | 23 |
| 6.1. ANÁLISES QUÍMICAS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....                                 | 23 |
| 6.2. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX) .....  | 24 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 24 |
| 7.1. TIPOS DE BENTONITAS VISUALMENTE DESCRITAS .....                                     | 24 |
| 7.2. ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA (DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X) E PARAMETROS QUÍMICOS..... | 27 |
| 7.3. SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS ENTRE AS BENTONITAS .....                                  | 35 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 38 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 40 |

## 1. INTRODUÇÃO

Bentonita é um termo genérico que foi sugerido por Knight (1898) para denominar um tipo de argila plástica e coloidal com ocorrência em Fort Benton no estado de Wyoming (USA). Depois de seco e moído, esse material aumentava diversas vezes o seu volume quando entrava em contato com água, ou seja, ele possuía elevado grau de adsorção de água (GRIM; GUVEN, 1978).

Segundo Grim e Guven (1978), bentonita é uma rocha constituída basicamente de argilominerais do grupo das esmectitas, independente da sua origem geológica. A estrutura cristalina é bem particular, possui duas folhas de tetraedros e uma folha central de octaedros. O grupo das esmectitas é composto por: montmorilonita, volconscoita, nontronita, beidelita, saponita, sauconita e hectorita. O que diferencia uma bentonita da outra é que alguns elementos podem substituir o silício da folha tetraédrica ou o alumínio da folha octaédrica (SOUZA SANTOS, 1992).

Este tipo de argila apresenta uma grande diversidade de usos, dentre os quais podemos citar com maior importância os usos em: aditivos reológicos para fluidos de perfuração de poços de petróleo, ligante de areias para moldes de fundição de metais e ligantes de finos para minério de ferro (SOUZA SANTOS, 1992).

O mercado de bentonita hoje na atualidade está concentrado nos EUA, sendo o maior produtor mundial. Grécia, Rússia, Alemanha e Turquia, também são grandes produtores. O Brasil apresentou uma produção de bentonita tratada com carbonato de sódio em 2014 de 405.169 toneladas, que é equivalente a 3,4% da produção mundial. A distribuição bruta da produção teve a seguinte repartição geográfica: Paraíba (60,8%), Bahia (39,2%). Visto que não há bentonitas sódicas naturais no Brasil, o processo de beneficiamento por ativação ácida é bem comum no país (TOMIO, 1999).

Esta pesquisa busca comparar as características das bentonitas que ocorrem em Melo no Uruguai que são resultados de alteração de cinza vulcânica com as bentonitas produto de alteração de anfibólito que ocorrem em Vitória da Conquista (BA).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Gerais**

O objetivo deste trabalho é caracterizar a bentonita, encontrada na região de Vitória da Conquista (BA) para identificar suas composições mineralógicas e químicas, e compará-la com a bentonita da região de Melo (Uruguai). Como ambas as ocorrências são derivadas de rochas diferentes e com idades bem diferentes.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Comparação da composição química entre as bentonitas de Vitória da Conquista e de Bañado Medina.
- Realizar uma análise de parâmetros geoquímicos para determinação das bentonitas e para correlação de elementos.
- Caracterização e comparação mineralógica das argilas esmectíticas de ambos os depósitos por difração de Raio-X (DRX).

## **3. JUSTIFICATIVA**

Pela crescente tendência do emprego da bentonita, estes dois depósitos apresentam grande potencial econômico, e com a tendência do mercado de bentonita crescer nos próximos anos. O que mais aumentaria o interesse em bentonita é as suas diversas aplicações. Segundo Souza Santos (1992), as bentonitas apresentam mais de uma centena de usos industriais.

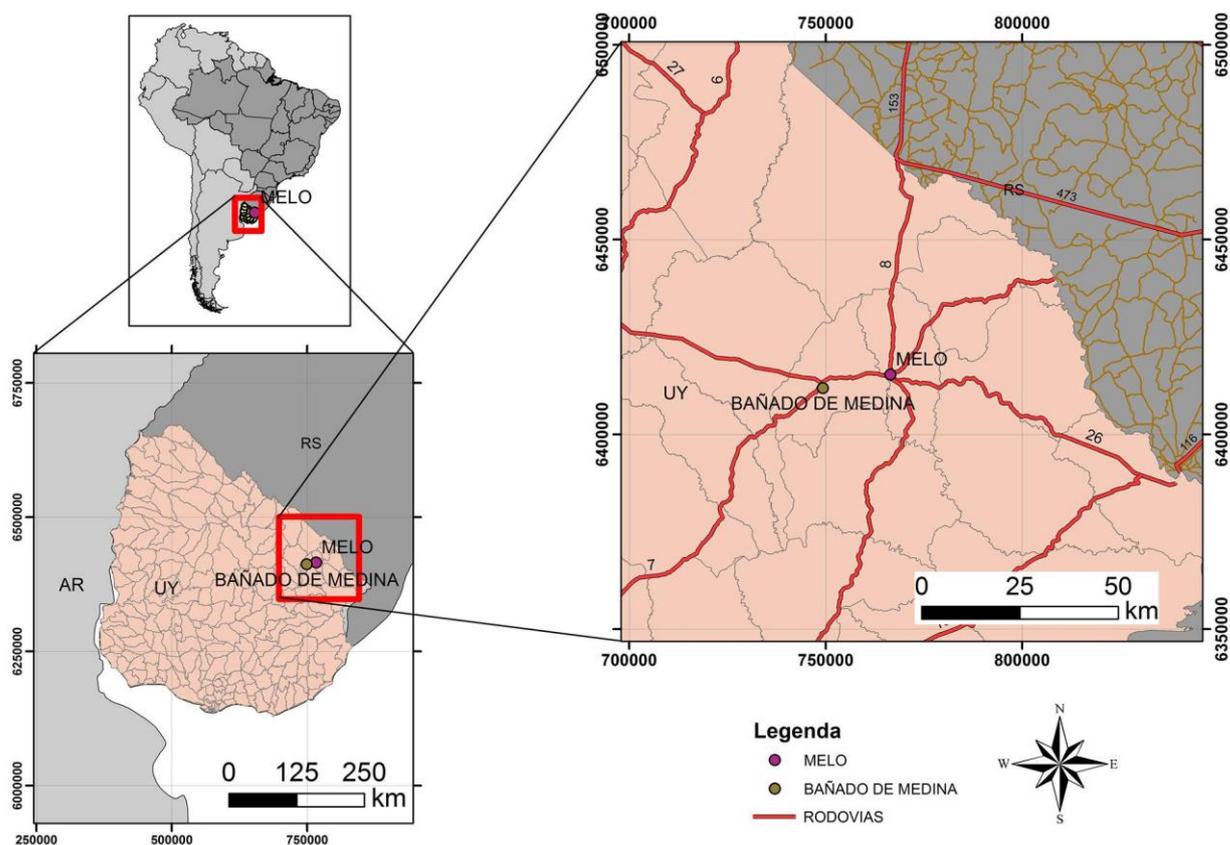
Cabe ressaltar que são raros os trabalhos científicos que buscaram comparar bentonitas de depósitos tão distantes na América do Sul, trazendo maior entendimento geológico e nos diversos tipos de aplicação da bentonita.

Neste sentido, esta pesquisa vem com importância, pois, poderá contribuir para um aumento do conhecimento científico sobre esse tipo de argila que é usada em diversos setores.

## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

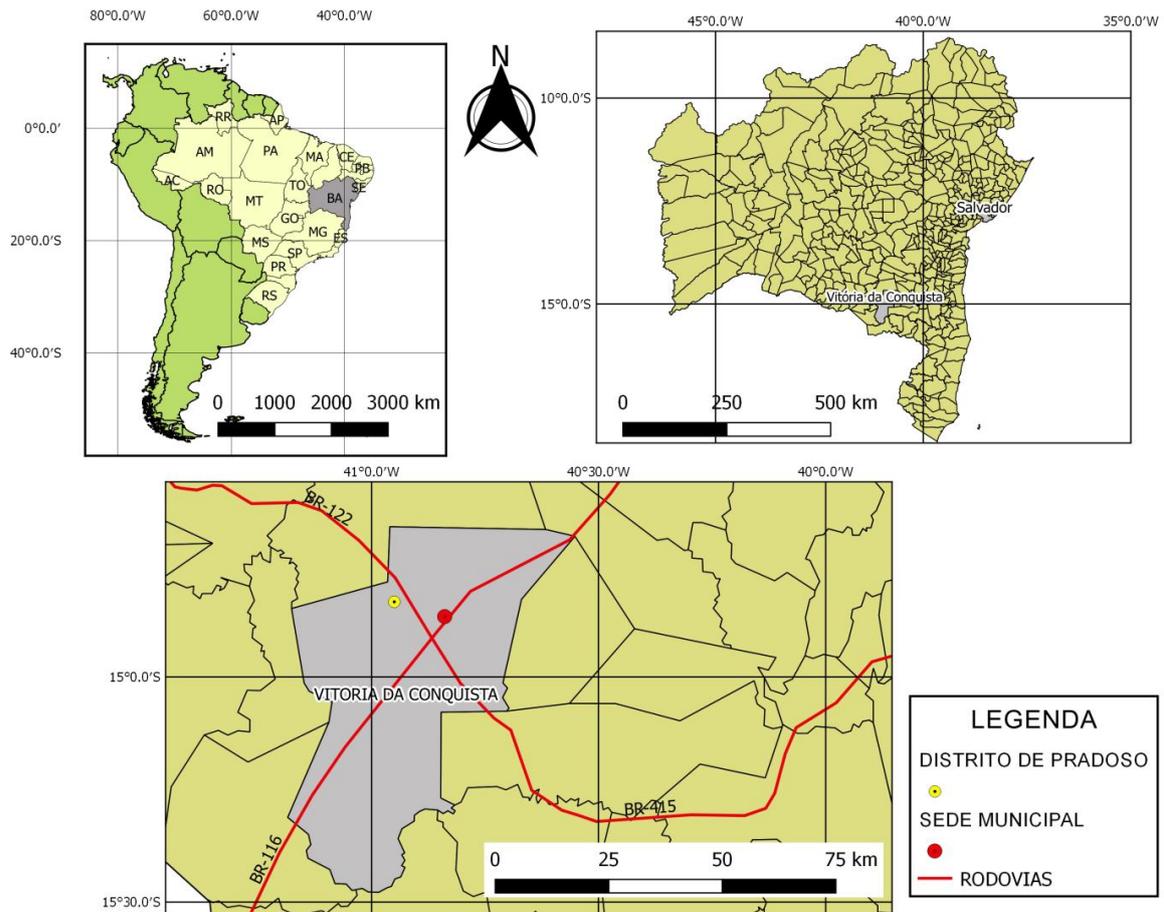
Figura 1- Mapa de localização e acesso de Melo (Uruguai).



Fonte: Autor.

O depósito de bentonita de Bañado de Medina está localizado a, aproximadamente, 18 km a sudoeste da cidade de Melo, capital do Departamento de Cerro Largo, no noroeste do Uruguai, tendo como coordenadas centrais  $32^{\circ}24'39''$  de latitude sul e  $54^{\circ}22'04''$  de longitude oeste (Figura 1).

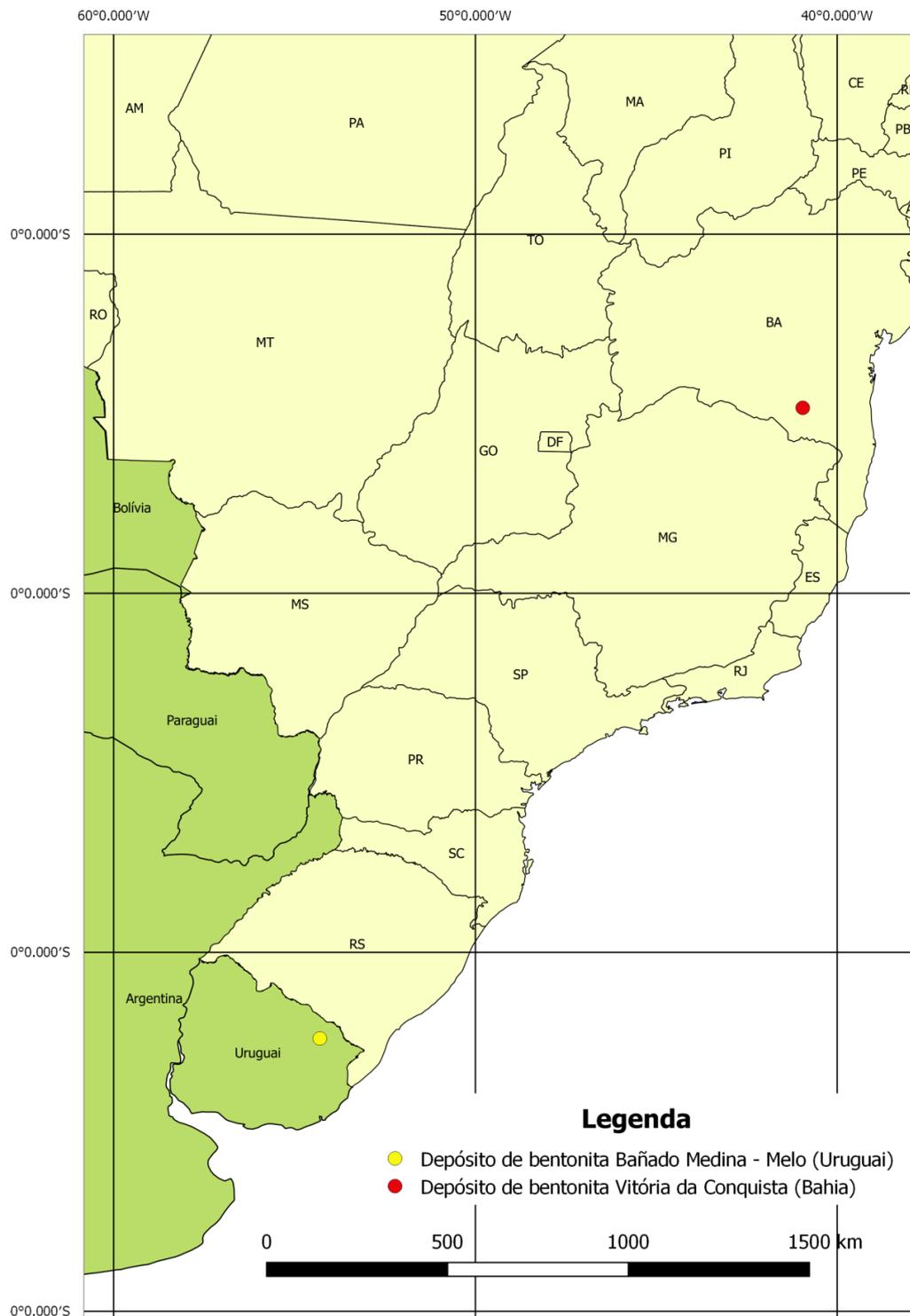
Figura 2- Mapa de localização de Vitória da Conquista-Bahia, (Brasil).



Fonte: Modificado DNIT.

O município de Vitória da Conquista está situado na mesorregião Centro Sul Baiana e na microrregião de Vitória da Conquista, distando 512 km por vias rodoviárias da Capital Salvador. Segundo dados do IBGE (2010), possui uma população de 306.866 habitantes. Vitória da Conquista divide seus 3204,26 Km<sup>2</sup> entre a sede e os onze distritos, sendo eles: Cercadinho, Inhobim, Veredinha, São João da Vitória, Dantilândia, Cabeceira da Jibóia, Iguá, Bate-Pé, São Sebastião, José Gonçalves e por fim, o distrito de Pradoso, onde está localizada a jazida de bentonita, localizado na porção oeste do município estando situado entre as latitudes 14° 41' S e 14° 55' S e entre as longitudes 40° 55' W e 41° 10' W (Figura 2). A partir da BR 116, em Vitória da Conquista, chega-se ao local pela BA 262 (estrada para Brumado), mais 5 km de acesso secundário.

Figura 3 - Mapa de localização mostrando os depósitos estudados.



Fonte: Modificado DNIT.

Na figura 3, podemos observar a grande distância que existe entre os dois depósitos, que é de 2400 km em linha reta.

## 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

### 4.2.1. VITÓRIA DA CONQUISTA (BA)

O Cráton do São Francisco está localizado na porção centro-nordeste do país, abrangendo em sua maior parte os estados de Minas Gerais e Bahia, e caracteriza uma unidade tectônica do embasamento da plataforma sul-americana (Barbosa *et al.*, 2003). Este cráton constituía uma única peça em conjunto com uma porção africana antes do surgimento do oceano Atlântico no Cretáceo, devido à justaposição dos continentes americano e africano, sendo esta junção denominada de Cráton do São Francisco-Congo, formando a parte ocidental do continente Gondwana. Este Supercontinente foi gerado por um conjunto de placas que, no final do Neoproterozóico, se amalgamaram através de diversas colisões diacrônicas (Alkmim, 2004). O Cráton do São Francisco é delimitado pelas faixas brasileiras Rio Preto a noroeste, Araçuaí a sudeste, Riacho do Pontal e Sergipana a Norte, e Brasília a sul e oeste, e ainda, a leste faz contato com as bacias do Almada, Jequitinhonha, Camamú e Jacuípe, compondo a margem continental desse cráton, (Almeida, 1977 e 1981).

A região sul do Estado da Bahia apresenta rochas com idades variadas, compreendidas desde o Arqueano até o recente. Elas estão distribuídas em dois compartimentos geotectônicos, representados pelo Cráton do São Francisco e o Orógeno Araçuaí. A falha do Planalto de Potiraguá constitui a interface onde esses compartimentos fazem contatos. As unidades litológicas reconhecidas na região são representadas por um embasamento granulítico e migmatítico arqueano-paleoproterozóico, magmatismo alcalino e rochas metassedimentares atribuídas ao Neoproterozóico, e sedimentos recentes, (Almeida, 1977).

A maior parte do município de Vitória da Conquista está localizada no ambiente denominado Planalto de Vitória da Conquista que apresenta uma estrutura geológica composta, parcialmente, por rochas cristalinas. Estas estão representadas pelas formações Pré-Cambrianas do Complexo Caraíba-Paramirim (Pré-Cambriano Inferior), presente, principalmente, nas áreas que correspondem aos Patamares do Médio Rio de Contas, Piemonte Oriental do Planato de Vitória da Conquista e áreas isoladas na parte cimeira do Panalto; pelo Grupo Contendas-Mirante (Pré-Cambriano Médio), representado pela

Formação Rio Gavião, que aflora no sentido NE - SO e pela Formação Areão que aparece na parte norte do município; e pelo Supergrupo São Francisco (Pré-Cambriano Superior) representado pelo Grupo Macaúbas na parte Sudeste/Sul. A parte central está recoberta por uma cobertura detrítica, de idade Cenozóica sobre as rochas do Complexo Cristalino. Representadas por material amarelado, detrítico, conglomerático, mal consolidado, com espessura variável, podendo atingir 8 metros junto a Serra do Marçal (CBPM, 2011).

O depósito de bentonita situa-se à borda de dissecação da cobertura do Planalto de Vitória da Conquista, como mostra a figura 4. Esta cobertura horizontalizada, de idade terció-quaternária, é constituída por depósitos detríticos de areia, com níveis de argila, cascalho e crostas de laterita, que chegam a espessura de 20m ou mais, cobrindo vastas áreas do altiplano. Nas proximidades do depósito, em áreas descobertas do Planalto e mais baixas, aparecem ortognaisses e migmatitos (Complexo Gavião), do paleo-arqueano. Esses gnaisses mostram frequentes enclaves e estreitas intercalações de rochas básicas escuras (anfíbolitos), com sinais incipientes de alteração em esmectita esverdeadas (CBPM, 2011).

Dentro da área do depósito, ocorre uma grande placa horizontalizada de quartzito, com limites escarpados. Os quartzitos, sericíticos e conglomeráticos, fazem parte da Unidade Bate Pé, do Neoproterozóico, que ocorrem nas imediações do depósito, em cotas mais baixas e em faixas descontínuas interrompidas por falhas. A geologia circundante e a geometria da área do depósito de bentonita, revelada pelo mapa e perfis, reforçadas pelas características e variações verticais das argilas, sugerem que as mesmas foram originadas pelo intemperismo de uma lente horizontalizada de rocha básica (anfíbolitos), intercalada nos gnaisses (CBPM, 2011) .

Num estágio inicial, a rocha básica teria sido alterada, em um clima árido e de pouca e de pouca drenagem, com redução de Mg e Ca, produzindo-se clorita, vermiculita e montmorilonita, sucessivamente. Num estágio tardio, sob clima subtropical e boa drenagem, esses cátions teriam sido lixiviados em meio ácido, mais próximos à superfície, transformando a montmorilonita gradativamente em caulinita e hidróxidos de ferro (CBPM, 2011).

Figura 4- Mapa geológico da região do depósito de Vitória da Conquista (BA)



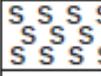
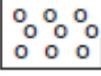
Fonte: CBPM (2011).

#### 4.2.2. MELO (URUGUAI)

O depósito de Bañado de Medina encontra-se na unidade geomorfológica Depressão Rio Ibicuí - Rio Negro, associado a uma sequência de rochas denominada Formação Yaguari, que compõe a bacia intracratônica do Paraná. 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 e opaleozóicas que circundam a região central da bacia (Milani, 1997). São evidenciadas perturbações na continuidade lateral das camadas de bentonita, observadas na forma de sucessões de blocos soerguidos e rebaixados, produtos de movimentos verticais vinculados ao tectonismo, que limitam a extensão lateral dos estratos, em escala regional e local. 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).

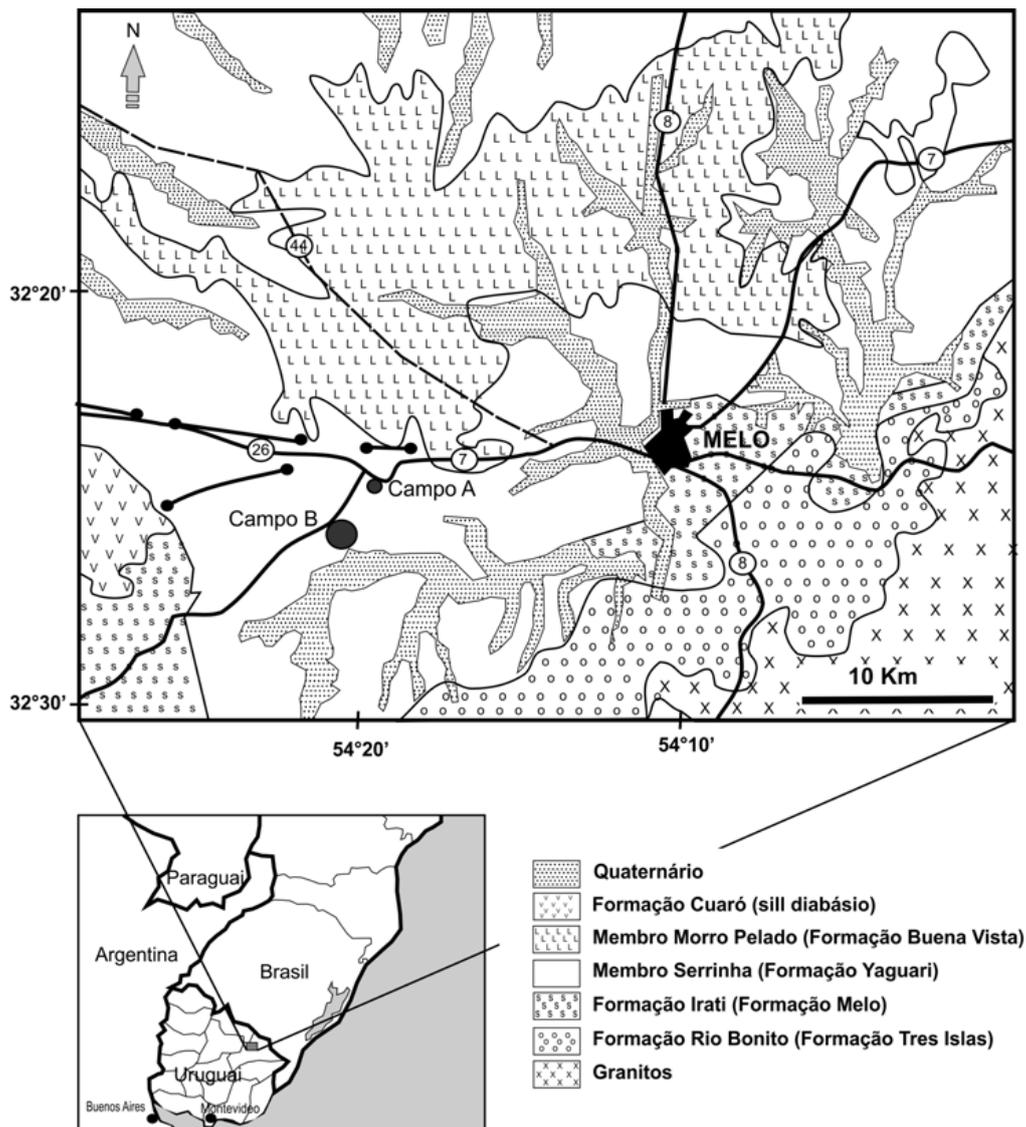
Na tabela 1 e na figura 5, extraídas de Albarnaz (2009) podemos ver a correlação entre a estratigrafia brasileira e a uruguaia e o mapa geológico da região. A Formação Rio do Rasto foi identificada inicialmente por White (1908) e elevado posteriormente à categoria de formação por Gordon Jr. (1947) subdividindo-a 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, está 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.

Tabela 1 - Correlação entre as colunas estratigráficas do Brasil e do Uruguai.

| Correlação entre as Colunas estratigráficas do Brasil e do Uruguai |   |   |                        |                                       |
|--|---|---|------------------------|---------------------------------------|
|  |   | NOMENCLATURA BRASIL   | NOMENCLATURA URUGUAI   |                                       |
| PERMIANO   | ATMOCENÉTICO  |  Formação botucatu   | Formación Tacuarembó   |                                       |
|  | SUPERIOR  |  Membro Morro Pelado | Formación Buena Vista  |                                       |
|  |   | Superior (Bentonita)  | Formação Rio do Rastro | Membro Vila Viñoles                   |
|  |   | Membro Serrinha Inferior  |                        | Formación Yaguari<br>Membro San Diego |
|  | INFERIOR  |  Formação Irati      | Formación Melo         |                                       |
|  |  Formação Rio Bonito | Formación Tres Islas  |                        |                                       |

Fonte: Albarnaz (2009).

Figura 5- Mapa geológico da região do depósito de Melo (Uruguai).



Fonte: Gomez *et al.* (1980) e Bossi *et al.* (1998).

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. ARGILAS

O termo argila não tem significado genético, sendo empregado com diferentes sentidos. É usado para os materiais que resultam diretamente da ação da meteorização e/ou da ação hidrotermal ou que se depositaram como sedimentos fluviais, marinhos, lacustres ou eólicos. As argilas denominadas residuais ou primárias ocorrem no lugar em que se formam a partir de uma rocha-mãe (magmática, metamórfica ou sedimentar), enquanto as argilas

sedimentares ou secundárias a distância maior ou menor do local de formação a partir de uma rocha-mãe (PRADO, 2011).

Argilas são materiais naturais e terrosos, de granulação fina e formada quimicamente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. São constituídas por partículas cristalinas extremamente pequenas, de um número restrito de materiais conhecidos como argilominerais, podendo conter ainda matéria orgânica, sais solúveis, partículas de quartzo, pirita, calcita, outros minerais residuais e minerais amorfos, (SOUSA *et al*, 2011).

Porém a definição de maior aceitação, considerada argila como uma rocha constituída essencialmente por minerais argilosos, podendo apresentar outros minerais não argilosos, além de matéria orgânica e outras impurezas, que quando misturada com água em quantidade adequada se torna plástica. Após a secagem, torna-se consistente e rígida, e após a queima de 1000°C adquire grande dureza, (FERNANDES *et al*, 2013).

## 5.2. CLASSES DAS ESMECTITAS

Esmectita é o termo dado a um grupo de minerais constituído por: montmorillonita, beidelita, nontronita, hectorita e saponita. Cada mineral forma uma estrutura similar, entretanto quimicamente diferente. Por exemplo, a hectorita é a esmectita rica em lítio, a nontronita é rica em ferro, a montmorillonita e a beidelita são ricas em alumínio e a saponita é rica em magnésio. O mineral mais comum nos depósitos econômicos do grupo da esmectita é a montmorillonita. As variedades cálcicas e sódicas, baseadas no cátion trocável, são as mais abundantes. Do ponto de vista estrutural, os argilominerais da bentonita são constituídos de unidades empilhadas que compreendem camadas de sanduíches de íons coordenados octaedralmente entre duas camadas de íons coordenados tetraedralmente, (LUZ *et al*, 2008).

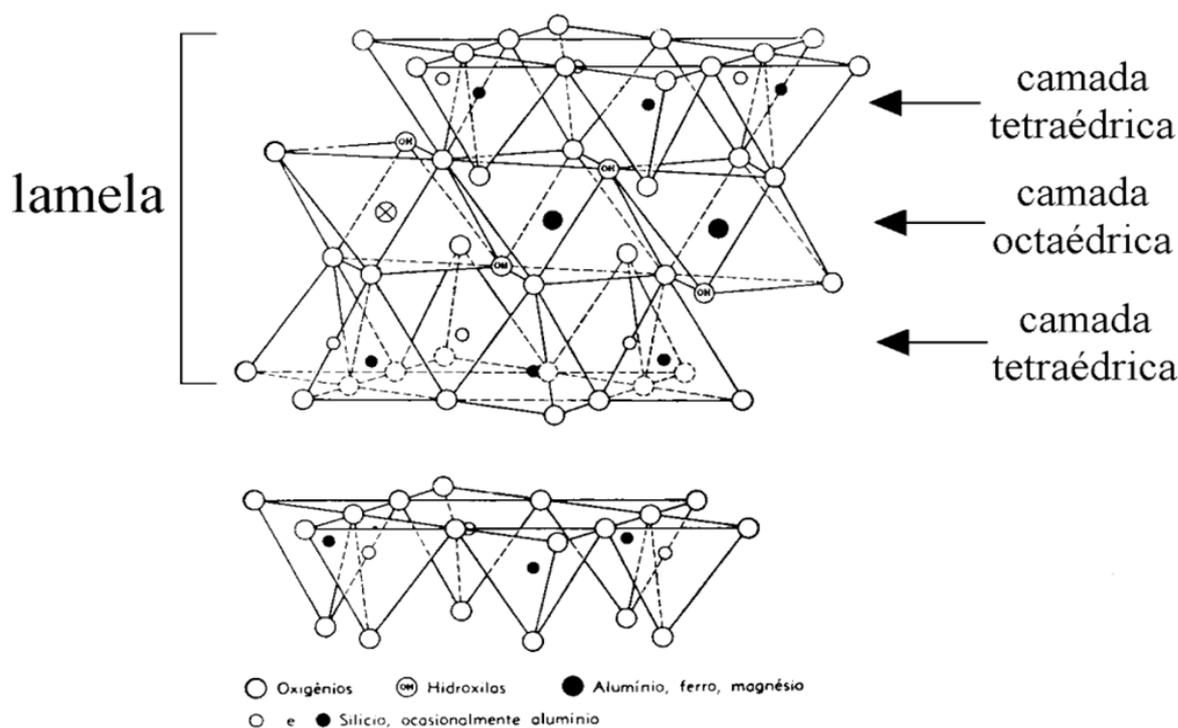
## 5.3. BENTONITA

Ross e Shannon (1926) definiram as bentonitas como rochas constituídas por argilominerais formados pela desvitrificação e subsequente alteração química de matérias de origem ígnea, tais como tufo, ou cinza vulcânica. Nesta monografia será usada a definição de Grim e Guvem (1978), segundo a qual as bentonitas são constituídas basicamente de argilominerais esmectíticos, independentemente da sua origem geológica.

As bentonitas podem ser sódicas ou cálcicas, e possuem uma propriedade física muito particular: expande várias vezes o seu volume quando entra em contato com a água, formando géis tixotrópicos. Alguns cátions provoca a expansão tão intensa que as camadas dos cristais podem se separar até a sua célula unitária, o sódio provoca a expansão mais notável, tornando a bentonita sódica mais valiosa no mercado, (LUZ *et al*, 2008).

As bentonitas são formadas por duas folhas de tetraedro de sílica envolvendo uma folha de tetraedro de alumínio, formando um “sanduiche”, essa estrutura é do tipo 2:1, como é visto na figura 3. Podem ocorrer substituições de íons por outros, com diferente ou mesmo número de oxidação. Nos tetraedros o íon  $Al^{3+}$  pode substituir o  $Si^{4+}$ . Enquanto os octaedros dos íons  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  podem substituir o íon  $Al^{3+}$ , (GUNGOR, 2000; (MURRAY, 2000). Essas substituições provocam desbalanceamento elétrico que é compensado por cátions de  $Na^{1+}$  ou de  $Ca^{2+}$ , que se posicionam entre as camadas e são intercambiáveis, o que dá origem as denominações de bentonita sódica ou cálcica. Bentonitas menos comuns podem apresentar íons de  $Mg^{2+}$ ,  $H^+$  ou  $K^+$  como cátions de compensação, (GRIM, 1962).

Figura 6- Diagrama esquemático dos argilominerais esmectíticos.



Fonte: Dana (1983)

#### 5.4. PRODUÇÃO E PRINCIPAIS RESERVAS DE BENTONITA

As reservas mundiais de bentonita são abundantes nos países produtores e, por isso, suas estimativas não vêm sendo publicadas. As reservas medidas nacionais foram estimadas em 34.9 Mt, com as seguintes participações estaduais nas reservas, representadas na figura 6: Paraná concentra (44,7%), o estado de São Paulo (24,2%), Paraíba (20,8%), Bahia (8,4%) e Rio Grande do Sul (2,0%), segundo sumário mineral de 2014 do DNPM.

Figura 7- Gráfico tipo pizza mostrando os estados com as maiores reservas.



Fonte: DNPM, 2014/ adaptado pelo autor.

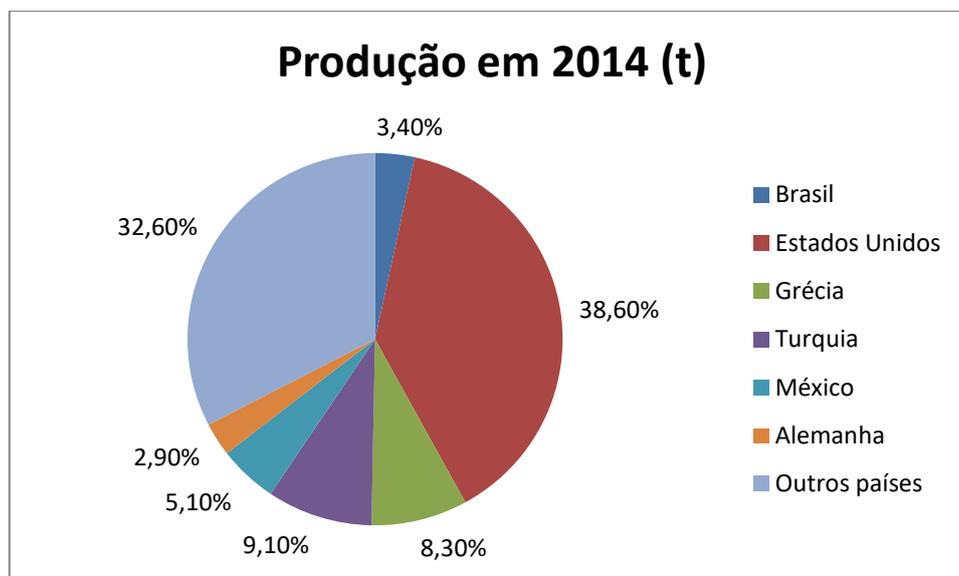
A produção mundial em 2014 teve um aumento de aproximadamente 1,6% em relação ao ano anterior, de acordo com os dados *Mineral Commodity Summaries – 2015* (USGS). Na figura 7 podemos visualizar os maiores produtores do ano de 2014. A produção nacional manteve-se estável de um ano para o outro, segundo a Tabela 2.

Tabela 2-Principais reservas medidas até 2014 e produtores de 2014 e 2013.

| Discriminação  | Reservas (10 <sup>3</sup> t)                      | Produção (t)   |                   |                   |
|----------------|---|----------------|-------------------|-------------------|
|                |   | 2013           | 2014              | 2014 (%)          |
| <b>Países</b>  | <b>2014</b>                                       | <b>2013</b>    | <b>2014</b>       | <b>2014 (%)</b>   |
| <b>Brasil</b>  | <b>34.916</b>                                     | <b>403.351</b> | <b>405.169</b>    | <b>3,4</b>        |
| Estados Unidos | As reservas mundiais de Bentonita são abundantes. | 4.350.000      | 4.660.000         | 38,6              |
| Grécia         |   | 1.000.000      | 1.000.000         | 8,3               |
| Turquia        |   | 1.100.000      | 1.100.000         | 9,1               |
| México         |   | 618.000        | 620.000           | 5,1               |
| Alemanha       |   | 375.000        | 350.000           | 2,9               |
| Outros países  |   | 3.360.000      | 3.935.000         | 32,6              |
| <b>Total</b>   |   | <b>nd</b>      | <b>10.696.428</b> | <b>11.394.168</b> |

Fonte: DNPM/DIPLAM e *USGS-Mineral Commodity Summaries 2015*

Figura 8- Gráfico tipo pizza sobre a produção de 2014.



Fonte: DNPM/DIPLAM e *USGS-Mineral Commodity Summaries 2015*/ adaptado pelo autor.

## 5.5. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E PRINCIPAIS USOS DA BENTONITA

As esmectitas mais comumente utilizadas para fins tecnológicos são a Na-montmorilonita e a Ca-montmorilonita. Outros tipos menos comuns de esmectitas utilizadas para determinadas aplicações industriais são a saponita, uma Mg-montmorilonita, e a hectorita, uma Li-montmorilonita. A espessura da camada de água entre as camadas estruturais da montmorilonita varia de acordo com o conjunto de cátions trocáveis existentes. A espessura da camada

de água em uma Na-montmorilonita é de cerca de 2,5 Å, e em Ca-montmorilonitas e saponitas é de cerca de 4,2 a 4,5 Å.

As Na-montmorilonitas são conhecidos pela sua alta viscosidade, capacidade de inchamento, tixotropia, impermeabilidade e dispersabilidade. Ca-montmorilonitas apresentam uma alta capacidade de absorção e ao serem submetidas a processos de ativação ácida dão origem a bleaching earths de alta qualidade (Murray, 2006). As saponitas são relativamente raras e têm propriedades semelhantes às Ca-montmorilonitas. A hectorita é uma variedade de montmorilonita extremamente rara, e possui propriedades semelhantes a Na-montmorilonita, entretanto, apresenta uma viscosidade mais elevada.

Os maiores depósitos de Na-montmorilonita estão localizados no Wyoming e em Montana, nos Estados Unidos. Outros depósitos de ocorrência natural de Na-bentonitas são pequenos e relativamente raros. As aplicações industriais mais importantes das Na-bentonitas são seu uso como principal componente em lamas de perfuração, moldes de fundição, na peletização do minério de ferro, construção de barreiras de argila e na fabricação de argilas organofílicas e nanoargilas (Murray, 2006).

Atualmente, as principais aplicações industriais das Ca-bentonitas são na confecção de moldes de fundição, absorção de água e óleo, transporte de herbicidas, inseticidas e pesticidas, e na fabricação de bleaching earths, após ter sido submetida a um processo de ativação ácida (Murray, 2006). Ca-bentonitas ativadas são amplamente utilizadas no refino de óleos minerais, vegetais e animais, tendo como funções principais desodorizar, desidratar, neutralizar e descolorir. A ativação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> é a mais comumente utilizada, mas em alguns casos, a ativação com HCl também é utilizada.

No refino de óleos vegetais, o principal objetivo do uso de argilas ativadas com ácidos é a eliminação de uma série de contaminantes provenientes principalmente de organismos vegetais que dão cor, odor ao óleo, muitas vezes indesejáveis (Díaz & Santos, 2001). O processo de ativação ácida da montmorilonita é responsável pelo aumento da sua superfície específica e porosidade, otimizando desta maneira, a capacidade de adsorção de impurezas. Estima-se que mais de 800.000 toneladas de argila ativada são produzidas anualmente (Murray, 2006).

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

Na Tabela 3 representa as principais aplicações industriais, explicando exatamente a função da bentonita na aplicação e também mostra o tipo de bentonita utilizada em cada aplicação.

Tabela 3- Principais funções, aplicações industriais e tipo de bentonita utilizada.

| <b>APLICAÇÃO INDUSTRIAL</b>                  | <b>PRINCIPAIS FUNÇÕES</b>  | <b>BENTONITA UTILIZADA</b>   |
|--|--|--|
| Fluído para perfuração de poços de sondagem. | Refrigera a broca da perfuração, mantém a estabilidade das paredes do furo de sondagem em poços (petróleo e d'água) e na prospecção de minério . | Sódica natural   |
| Pelletização de minério de ferro.            | Promove uma ligação entre as partículas minerais , conferindo resistência mecânica às pelotas  | Sódica natural e artificial  |
| Ligante em areia para fundição               | Usadas em moldes de fundição, promove a aglutinação da areia.  | Sódica natural (mais utilizada) e artificial. Cálctica apenas em baixas temperaturas |
| Granulados sanitários                        | Capacidade de controlar os odores dos dejetos de animais domésticos  | Cálctica   |
| Ração animal                                 | Pelletização da ração.   | Sódica   |
| Desodorização e desidratação de óleos.       | Empregada na filtragem de azeites e óleos vegetais minerais e animais.   | Ácida  |
| Clarificação de bebida                       | Clareia vinhos e cervejas  | Ácida  |
| Construção civil                             | Fundações, estaqueamentos e paredes de diafragma, servindo como impermeabilizante.   | Sódica natural   |
| Cerâmica                                     | Age como plastificante, conferindo um aumento da resistência mecânica.   | Sódica natural   |
| Material de limpeza                          | Aditivo para detergentes, sabonetes e sabões.  | Sódica natural e cálcica   |
| Cosméticos                                   | Aditivo para formulas de cosméticos  | Sódica natural e cálcica   |

Fonte: Tomio(1999); Luz e Oliveira (2005)

## 5.6. ATIVAÇÃO ÁCIDA

Uma das modificações químicas mais comuns das argilas, utilizadas tanto para fins industriais como científicos, é a sua ativação ácida. O processo de ativação ácida consiste no tratamento da argila com uma solução de ácido mineral, geralmente HCl. O objetivo principal é a obtenção de materiais parcialmente dissolvidos com maior área superficial específica, porosidade e acidez de superfície (Komadel, 2003). Além disso, o processo promove a eliminação de impurezas cimentantes adsorvidas naturalmente nos cristais, a substituição dos cátions trocáveis por H<sup>+</sup>, a abertura das bordas dos cristais e a lixiviação dos cátions octaédricos (Morales-Carrera, Varajão, Gonçalves & Stachissini, 2009). Os materiais obtidos após o tratamento são amplamente disponíveis, e importantes fontes sólidas relativamente baratas de prótons, eficazes em uma série de reações e processos industriais. O ataque ácido de argilas também ocorre naturalmente, como por exemplo, na interação entre a drenagem ácida de minas com os argilominerais.

Em esmectitas, o grau de cristalinidade do material reduz com a ativação ácida, ocorrendo inicialmente um aumento da área superficial e, depois, uma diminuição com a continuação do tratamento. O aumento da capacidade de adsorção das esmectitas com o tratamento ácido é principalmente devido ao aumento da acidez de Brønsted. Os grãos de argila tornam-se doadores de prótons H<sup>+</sup> (Falaras, Lezou, Seiragakis & Petrakjs, 2000).

Do ponto de vista industrial, o termo “argilas ativadas” era reservado principalmente para bentonitas tratadas com ácido. As bentonitas sempre possuíram um grande número de mercados, e a bentonita ativada foi um produto tradicional durante muitas décadas. O material geralmente consiste em uma Ca-bentonita tratada com ácidos inorgânicos para substituir os íons de cálcio divalente por íons de hidrogênio monovalente, e lixiviar os íons férricos, ferrosos, de alumínio e magnésio, alterando assim as camadas da esmectita, e aumentando a superfície específica e a porosidade do material. Isso resulta na produção de *bleaching earths*, argilas especialmente adequadas para um conjunto de aplicações de branqueamento e descoloramento (Falaras, Lezou, Seiragakis & Petrakjs, 2000).

### 5.7. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

A difratometria de raios X é utilizada para a identificação das fases minerais não determinadas por microscopia óptica, como os argilominerais e óxidos de ferro. A técnica consiste em utilizar raios X que, ao atingirem um material, espalham-se elasticamente, sem perda de energia. O fóton de raio X, após atingir o material, muda sua trajetória sem perda de energia ou mudança de fase. Se os átomos do material analisado estiverem ordenados em uma estrutura cristalina, e a distância entre seus planos cristalinos forem próximas ao comprimento de onda da radiação incidente, a difração dos fótons formará um padrão, que será comparado a um banco de dados de minerais. Como cada substância tem um conjunto de distâncias diferentes e características, é possível diferenciar e identificar todas as substâncias cristalinas por este método (Hardy & Tucker, 1995).

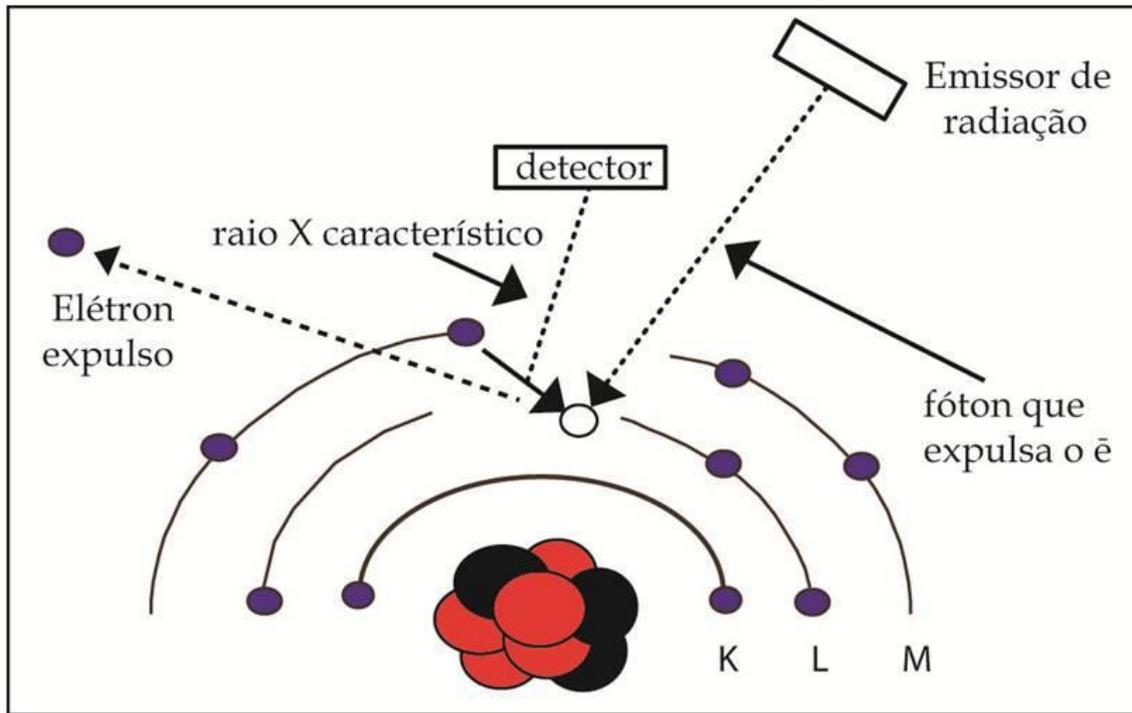
Para a realização da análise são preparadas lâminas orientadas, desta forma privilegiam-se as faces 001 para a identificação de argilominerais, que são deixadas para secagem natural em local protegido de poeira e contaminação e depois analisadas em um difratômetro de raios X. Normalmente, para cada amostra são preparadas duas lâminas, uma para a análise por meio do método natural e glicolado e outra para o método calcinado. A amostra orientada natural é borrifada com etileno glicol para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Os resultados obtidos são denominados de difratograma de amostra orientada glicolada. Quando a amostra orientada natural é aquecida a 550 °C para avaliar argilominerais sensíveis ao aquecimento, os resultados obtidos são denominados de difratograma de amostra orientada calcinada (Hardy & Tucker, 1995).

### 5.8. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

A análise química pela técnica de espectrometria de fluorescência de raios X tem como objetivo a obtenção dos percentuais em peso dos óxidos de elementos maiores e menores que compõem o material em estudo. Na técnica de fluorescência de raios X, a amostra é bombardeada com fótons de alta energia, provenientes do tubo de raios X, de maneira que interferimos em toda eletrosfera, de forma extremamente energética (figura 9). O fenômeno

relevante para a espectrometria de fluorescência de raios X trata-se da reorganização de toda eletrosfera depois dos fótons de raios X incidentes terem arrancado um elétron da camada mais interna (Hardy & Tucker, 1995).

Figura 9- Interação do feixe de raios X com os átomos dos elementos químicos.



Fonte: Extraído de Rasera (2011).

## 5.9. ESTADO DA ARTE

### 5.9.1. BAÑADO MEDINA, MELO

As esmectitas da região de Melo são conhecidas desde 1940 (Goñi, 1952), e foi ainda nesse período que as argilas foram empregadas como carga na fabricação de sabão doméstico. A utilização dessa argila para moldes de fundição mediante a ativação com sais de sódio foi avaliada por Melissari et al. (1966), apresentando uma estimativa de reserva em torno de 20.000 toneladas.

Gómez et al. (1980) determinou duas áreas com interesse especial na região de Bañado de Medina e as denominou de Campo A e Campo B (Figura 5). Foi graças à análise térmica diferencial (ATD) realizada por esses autores que estas argilas foram identificadas como sendo montmorilonitas. Foram realizados, também, testes para avaliar as propriedades tecnológicas das argilas, além de estimarem a existência de reservas da ordem de 100.000 a 1.000.000 de toneladas no campo B. O material coletado próximo ao campo B foi parcialmente empregado pela empresa “Química San Fernando”,

estabelecida em Montevideu, para a produção de bentonita ativada alcalina e ácida para a clarificação de óleos e vinhos.

No campo A, a exposição parcial das argilas permitiu a Calarge (2001) amostrar e descrever os aspectos estruturais e geoquímicos da esmectita, fazendo uma comparação com as argilas de características similares encontradas no município de Aceguá, no Rio Grande de Sul. Os dados geoquímicos obtidos nesse trabalho 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).

Segundo Albarnaz (2009), utilizando dados obtidos nos 31 poços de sondagem na área de 9,5 ha, que foi objeto de seu estudo, fez a medição da reserva de bentonita. O valor calculado é de 580.000 toneladas. Esta reserva esta em subsuperfície, sendo que 44% do jazimento têm de 1 a 5 m de capeamento estéril, outros 44% possui de 5 a 10 m de capeamento e 12% do jazimento mais de 10 m. Este capeamento esta representado por siltito argiloso pouco consolidado e, conseqüentemente, fácil de ser removido.

Marques *et al* (2013) realizaram estudo para planejamento de lavra para melhor aproveitamento econômico e visando o menor dano ambiental. Foi concluído que o uso de uma escavadeira para a remoção da capa do minério, reduziria o tempo gasto para alcançar a produção desejada e diminuiria o tempo os gastos. Também iria permitir a mineração em situações onde a decapagem é maior, com isso aumentaria a utilização do depósito e o retorno financeiro seria maior.

#### 5.9.2. PRADOSO, VITÓRIA DA CONQUISTA (BA)

De acordo Sampaio (1982), no ano de 1980 foram requeridas pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) quatro áreas para pesquisa de cianita<sup>18</sup> no município de Vitória da Conquista. Em agosto de 1981, foi enviado para o local, geólogos para verificar informações sobre a existência de argila verde exposta por afloramentos naturais ou em escavações, suspeitando-se tratar da bentonita. A ocorrência da bentonita no município foi então confirmada pela CBPM no mesmo ano, numa reserva medida de 3,7 milhões de toneladas.

Na perspectiva de serem caracterizados importantes depósitos de bentonita foi desenvolvido o projeto Serra do Vital, uma alusão à localidade pertencente ao Distrito de Pradoso onde foi detectado o mineral. O projeto tinha como objetivos avaliar as reservas de argila na área inicial numa investigação local e prospectar outras ocorrências, numa área adjacente mais ampla, com 64 km<sup>2</sup>, constituindo assim uma investigação regional.

De acordo Sampaio (1982), autor do referido projeto, antecedendo as atividades de campo foram realizados trabalhos preparatórios, que abrangeram a coleta de informações gerais sobre o bem mineral e a área a ser pesquisada. Nessa fase houve contato com os proprietários das terras, no sentido de obter autorização para a realização dos trabalhos.

O Estado comprou 50 ha da família que era proprietária da reserva inicial. De acordo informações atuais dos moradores do distrito, esta terra foi adquirida por um valor inferior ao que realmente valia, considerando a presença da bentonita, fato que foi omitido no momento da compra (JESUS, 2008).

Após o período de investigação inicial deu-se início ao programa de desenvolvimento tecnológico, através de convênios com o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), no Rio de Janeiro, com o intuito de aprimorar o processo de tratamento da bentonita para ser empregada em perfuração de poços de petróleo e como aglomerante para areia de fundição e pelletização de minérios. Embora consideradas promissoras as informações iniciais, deixava ainda uma margem de risco muito grande quanto ao dimensionamento do depósito e das possíveis variações que pudessem ocorrer quanto à qualidade do material.

Segundo o autor, a bentonita testada apresentou excelente resposta como clarificante de óleos vegetais e minerais e como aglomerante de areias de fundição e na pelletização de minério de ferro, após tratamento químico adequado. No mesmo período foi desenvolvido por Oliveira (1994) estudo econômico- financeiro, indicando um projeto com capacidade para 10000 t/ ano de forma viável.

Essas informações foram divulgadas no Informativo Oportunidades Minerais de autoria da CBPM em edição específica sobre a bentonita, “visando atrair as empresas privadas potencialmente interessadas em investir nessas oportunidades, para viabilização e implantação de empreendimentos minero

industriais produtivos” (CBPM, 1993, p. 1). O informativo divulga a localização e extensão da jazida, a caracterização do depósito e resultados de ensaios tecnológicos. Além desses dados, também são enfatizadas as vantagens econômicas em face da localização e dimensão do depósito em comparação a Paraíba, principal produtor nacional.

Entre 2003, cria-se a Companhia Brasileira de Bentonita Ltda (CBB), subsidiária da Geosol, e começa o trabalho de prospecção para re-investigação da área, dados divulgados por Grossi – Sad e Cezário (2005). Nesse relatório os autores trazem o levantamento topográfico, mapeamento geológico, trabalho de sondagem, descrição de testemunhos e amostragem, e em anexo ao documento consta as licenças ambientais e autorização de supressão de vegetação nativa.

Em agosto de 2007, a CBB entra em operação industrial nas instalações situadas na Estrada Santa Helena, na fazenda Samambaia, Serra do Vital (figura 7, 8, 9), local onde se encontra a mina. Para o projeto foram investidos 30 milhões de reais financiados pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB). Com uma capacidade instalada para produção de até 120 mil toneladas/ano, a CBB tem sua produção inicial voltada para três segmentos principais: argilas para fluido de perfuração, pelletização de minério de ferro e fundição. Considerado o mais moderno parque industrial de bentonita sódica ativada da América Latina (CBB, 2011).

## **6. MATERIAIS E METODOS**

As principais ferramentas para o desenvolvimento do trabalho foram: análises químicas e difratometria de raios-X. Com a intenção de identificação das principais fases minerais (silicatos, sulfetos/sulfatos e óxidos), pois esses métodos são muito confiáveis para identificação de argilominerais.

### **6.1. ANÁLISES QUÍMICAS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X**

As análises químicas das bentonitas de Vitória da Conquista (BA) foram retiradas da “Série Arquivos Abertos” publicado pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). Os dados químicos de Bañado Medina (Uruguai) foram adquiridos por meio da colaboração do meu orientador Prof. Msc. Luiz Delfino Albarnaz, nas quais ele havia utilizado na sua tese de mestrado.

## 6.2. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

Os dados de difratometria de raios-X foram adquiridos por meio da colaboração do meu orientador Prof. Msc. Luiz Delfino Albarnaz, fornecendo análises das bentonitas de Melo (Uruguai), nas quais ele havia utilizado na sua tese de mestrado. As análises de difratometria das bentonitas de Vitória da Conquista (BA), foram retiradas da “Série Arquivos Abertos” publicado pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e também de DRX inéditos obtidos de amostras coletadas na região e executados no laboratório de difração de Raios-X no Instituto de Geociências da UFRGS.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1. TIPOS DE BENTONITAS VISUALMENTE DESCRITAS

Nas descrições macroscópicas realizadas, foram identificados os seguintes tipos visuais principais de bentonita presente no distrito de Pradoso (Vitória da Conquista-BA), em graduação do topo para a base:

**TIPO A:** Argila do topo, macia, cerosa e plástica, predominantemente avermelhada (impregnada com hidróxidos de ferro, goethita), com massas esverdeadas (montmorilonita) e manchas esbranquiçadas ou amarelada (caulinita), gradando em profundidade para o tipo B.

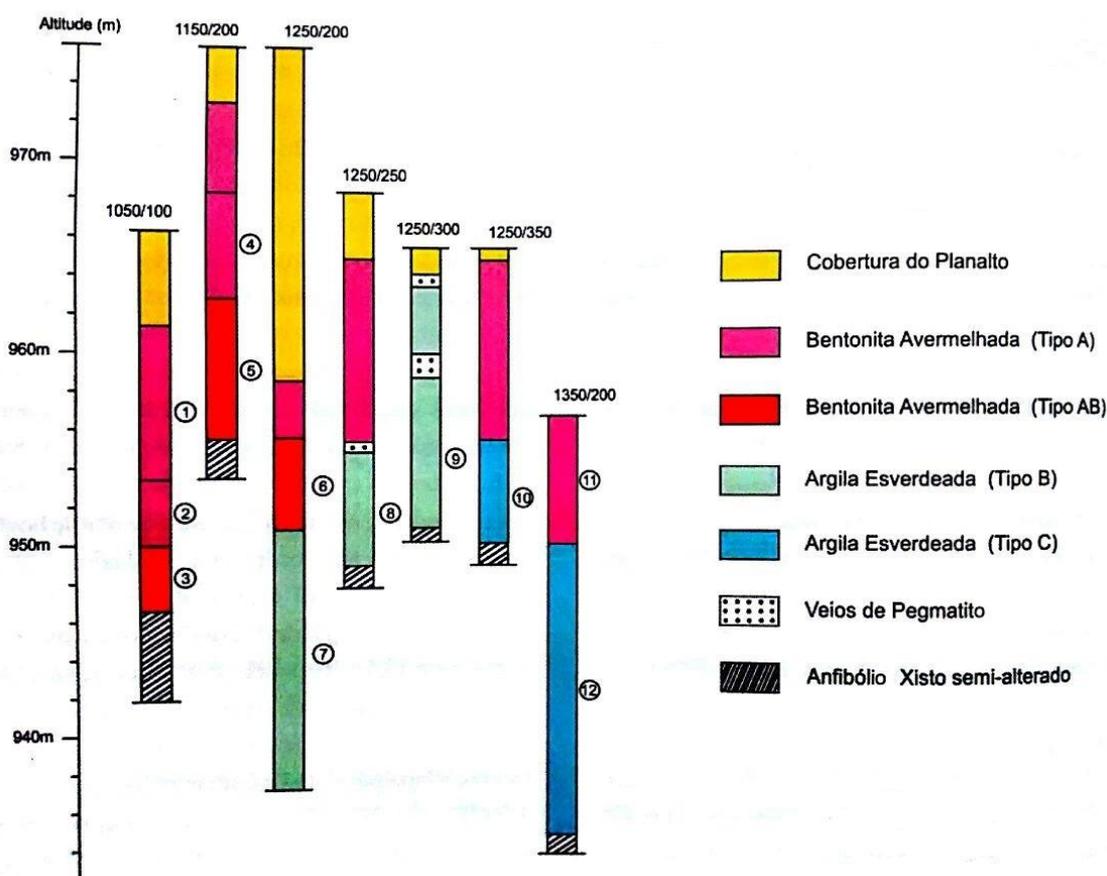
**TIPO B:** Argila intermediária, macia, cerosa e muito plástica, verde-claro e verde-avermelhado, com predomínio de montmorilonita. Ocasionalmente podem aparecer pequenos intervalos (até 10 cm) com impregnações de um mineral preto terroso (óxido de Mn, pirolusita) e pequenos nódulos silicosos.

**TIPO C:** Argila de fundo do depósito, abaixo do tipo B, caracteristicamente micácea, verde-amarelado ou marrom amarelado, de aspecto terroso, muito impura e pouco plástica. Predomina nas bordas do corpo, especialmente na borda W, onde os tipos superiores foram removidos pela erosão, muitas vezes interdigitando com o anfibólito basal.

**TIPO D:** Argila de distribuição mais restrita, que pode aparecer em qualquer nível, de cores variadas (verde-claro, amarela ou vermelha), com manchas brancas (caulínicas) presença de moscovita e de veios de quartzo, denunciando a frequente proximidade de veios associados de pegmatito.

A figura 10 mostra a espessura de cada tipo de bentonita nos furos estudados. Podemos observar a Bentonita A sendo a que mais aparece nos furos.

Figura 10- Locação de amostras estudadas de Vitória da Conquista.



Fonte: CBPM (2011).

Nas descrições macroscópicas realizadas no distrito de Bañado Medina (Melo-Uruguai), foram identificados os seguintes tipos visuais principais de bentonita, gradando da base para o topo, como é observado na figura 11:

**TIPO V:** 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

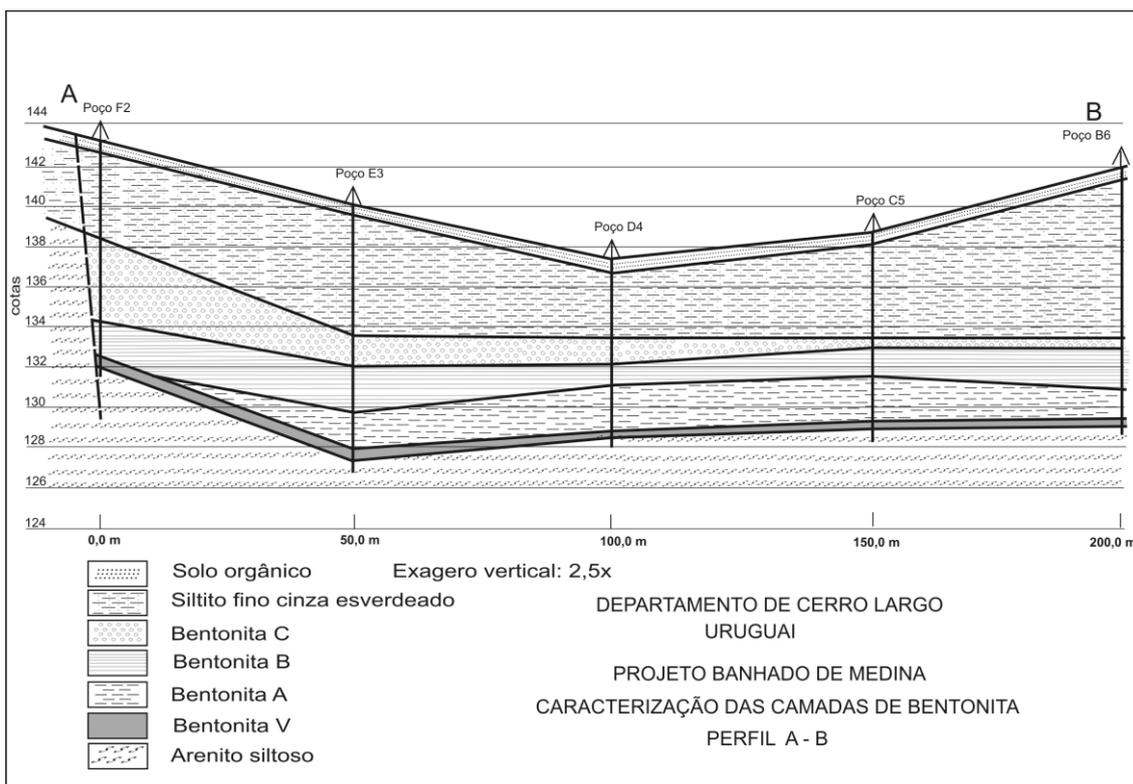
de cor violácea, estende-se por todo o jazimento e demarca a base do pacote de bentonitas.

**TIPO A:** 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.

**TIPO B:** 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 ritmo com laminações com cores avermelhadas e creme. Caracteristicamente possui mais silte e uma distribuição mais constante na jazida que a bentonita A, atingindo espessuras que chegam até 1,5m.

**TIPO C:** Na parte superior da camada de argilito, em contato direto com o siltito superior, é possível a individualização de uma litofácies com colorações, variando entre roxo e marrom avermelhado, frequentemente com intraclastos centimétricos de argilito tipo bentonita B. apresenta espessuras variáveis ao longo da jazida, não sendo incomum intervalo de até 3 m.

Figura 11- Perfil das amostras estudadas de Bañado Medina.



Fonte: Albarnaz (2009).

## 7.2. ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA (DIFRATOMETRIA DE RAIO-X) E PARAMETROS QUÍMICOS

### VITÓRIA DA CONQUISTA (BAHIA)

A tabela 4 mostra o resultado de análises químicas e mineralógicas (difratometria de raio-x) em 20 amostras selecionadas na fase inicial do projeto. Foi possível observar que: os teores mais elevados foram  $\text{SiO}_2$  que varia entre 44,1 e 59,7%. E o segundo teor mais alto seria  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , variando entre 11,8 e 22,8%.

Quanto aos valores de  $\text{Na}_2\text{O}$  apresentam teores baixos, as amostras variam entre 0,05 e 0,15%. E o teor de  $\text{CaO}$  variou entre 0,1 e 1,5%. A presença do sódio e do cálcio em argilas montmoriloníticas ocorre geralmente na forma de cátions trocáveis. As amostras apresentam teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 6,4 a 15,2%, são provavelmente provenientes dos argilominerais do grupo da esmectita, membros da série isomórfica nontronita-beidelita, ambas com teores mais altos de ferro. As amostras ainda apresentam teores de  $\text{MgO}$  entre 2,0 e 9,9%. O magnésio também pode ocorrer como cátion trocável nos

argilominerais esmectíticos. Com relação aos teores de K<sub>2</sub>O, apresentam variação entre 0,02 e 1,11%. A presença de alto teor de K pode interferir no comportamento reológico da bentonita, caso o processo de secagem seja superior aos 60°C.

A última coluna da Tabela 4 foi acrescentada adotando o critério de parâmetros químicos (figura 11) para identificar os tipos de bentonita de cada amostra. Argilas com relação CaO/MgO > 0,4 apresentam vermiculita como principal contaminante e são tipo C. Aquelas com CaO/MgO < 0,4 e SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) > 1,9 são essencialmente montmoriloníticas (tipo B). Aquelas com esta última relação abaixo de 1,7, com caulinita e hidróxidos de Fe como principais contaminantes, são do tipo A. O tipo intermediário AB apresenta esta relação entre 1,7 e 1,9. Os tipos intermediários mistos terão valores próximos a estes limites.

Tabela 4 - Resultados de análises químicas e difratométricas de Vitória da Conquista.

| Amostra       | Química% |                  |                                |                                |     |       |                   | Difratometria    |            | Tipo |
|---------------|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-------|-------------------|------------------|------------|------|
|               | S/W      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Principais |      |
| 600/325-8     | 44,1     | 16,1             | 13,6                           | 1                              | 2,1 | 0,09  | 0,17              | mo               | -          | C    |
| 600/425-1     | 44,8     | 19,9             | 13,4                           | 0,1                            | 2   | 0,09  | 0,69              | mo, c            | -          | A    |
| 800/225-1     | 49,2     | 19,9             | 15,2                           | 0,3                            | 2,4 | 0,12  | 0,23              | q, mo, c         | c, q       | A    |
| 800/225-4     | 54       | 16,7             | 8,9                            | 0,6                            | 2,1 | 0,06  | 0,15              | mo, c, cl        | -          | B    |
| 900/225-3     | 53,7     | 13,4             | 10,3                           | 0,4                            | 9,9 | 0,09  | 0,84              | c, mo            | mv, q      | B    |
| 1000/25-3     | 52,5     | 21,6             | 8,7                            | 0,2                            | 2,7 | 0,06  | 0,03              | mo, c            | -          | AB   |
| 1000/25-7     | 54,3     | 19,4             | 9,7                            | 0,3                            | 2,7 | 0,05  | 0,33              | mo               | q          | AB   |
| 1000/125-2    | 48,9     | 19,9             | 7,6                            | 0,2                            | 3   | 0,08  | 0,09              | mo               | c          | AB   |
| 1000/125-3    | 49       | 20               | 6,4                            | 0,5                            | 3,3 | 0,05  | 0,11              | mo, c            | c          | AB   |
| 1000/125-1    | 49       | 19               | 9,3                            | 0,2                            | 2,4 | 0,15  | 0,14              | mo               | -          | AB   |
| 1000/225-4    | 52,4     | 12,1             | 13,6                           | 0,6                            | 4,8 | 0,06  | 0,05              | mo               | c          | B    |
| 1100/225-6    | 52,4     | 16,1             | 12                             | 0,6                            | 2,9 | 0,08  | 1,11              | q, mo, c         | q, c       | AB   |
| 1200/225-1    | 45,9     | 21,9             | 9                              | 0,1                            | 2,4 | 0,07  | 0,03              | mo               | -          | A    |
| 1200/225-2    | 48,5     | 20,6             | 6,7                            | 0,1                            | 2,4 | 0,08  | 0,03              | mo               | c          | AB   |
| 1200/325-11   | 55       | 17,8             | 10,9                           | 0,6                            | 2,5 | 0,07  | 0,1               | mo               | c          | B    |
| 1200/325-12   | 55,1     | 20,1             | 9,8                            | 0,7                            | 3,1 | 0,05  | 0,12              | mo               | c          | AB   |
| 1300/225-1    | 51,9     | 18,9             | 9                              | 1,1                            | 3,2 | 0,07  | 0,02              | mo               | c          | AB   |
| 1300/225-4    | 47       | 22,8             | 9,9                            | 1,5                            | 2   | 0,06  | 0,03              | mo               | c, q       | C    |
| 1400/225-6    | 53       | 17,9             | 8,5                            | 0,3                            | 3,1 | 0,12  | 0,02              | mo               | q, c       | B    |
| 1400/225-8    | 59,7     | 11,8             | 10,7                           | 0,3                            | 3,1 | 0,07  | 0,27              | mo, q            | -          | B    |
| <b>Médias</b> | 51       | 18,3             | 10,2                           | 0,5                            | 3,1 | 0,079 | 0,228             | -                | -          | -    |

Observação: mo: montmorilonita, c: caulinita, q: quartzo, mv: musconita e cl: clorita.

Fonte: CBPM- Bentonita de Vitória da Conquista, série Arquivos Abertos.

Na Tabela 5, podemos observar os parâmetros químicos selecionados refletem as variações mineralógicas entre os tipos de bentonita. Foram calculados  $\text{CaO/MgO}$ ,  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}+\text{CaO})$ . A relação  $\text{CaO/MgO}$  reflete bem a presença significativa de vermiculita, que aparece na bentonita tipo C, com resultados acima de 0,4. A relação  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  é indicativa da relação montmorillonita/ (caulinita + hidróxidos de Fe), com valores  $<1,7$  para a bentonita do tipo A e C, para a bentonita tipo B aparece valores  $>1,9$  e para a bentonita tipo AB são valores entre 1,7 e 1,9. A relação  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}+\text{CaO})$  também distingue bem os tipos A e B, como assinala a Tabela 3.

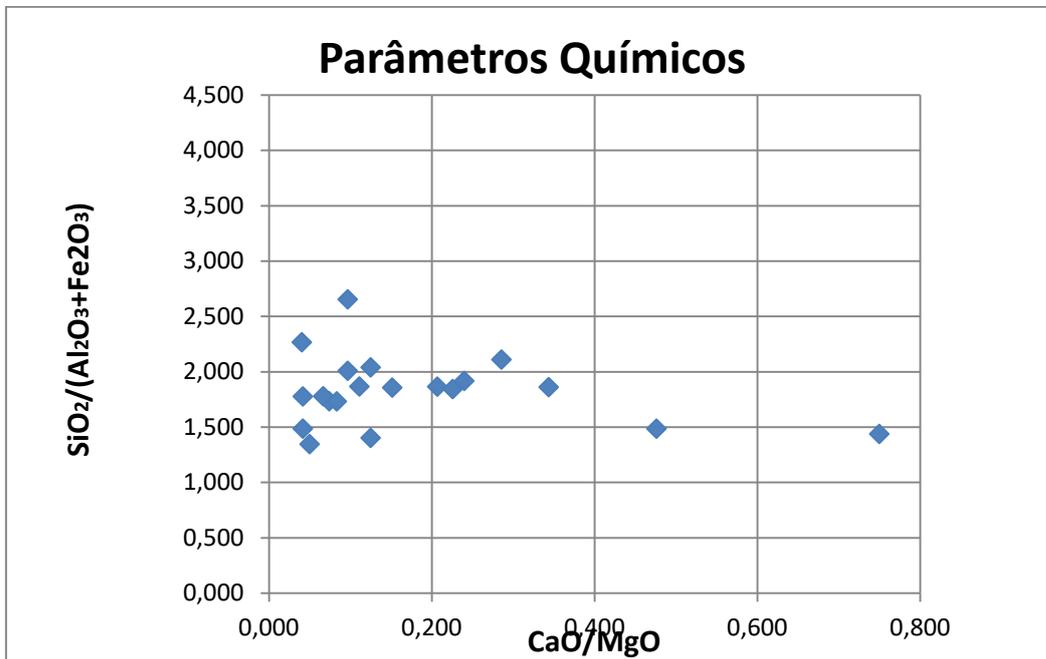
Tabela 5- Parâmetros químicos das amostras de Vitória da Conquista.

| Amostra       | Parâmetros Químicos |              |   | Tipo         |   |
|---------------|---------------------|--------------|---|--------------|---|
|               | S/W                 | CaO/MgO      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(MgO+CaO) |              | SiO <sub>2</sub> /(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |
| 600/325-8     |                     | 0,476        | 5,194                                     | 1,485        | C   |
| 600/425-1     |                     | 0,050        | 9,476                                     | 1,345        | A   |
| 800/225-1     |                     | 0,125        | 7,370                                     | 1,402        | A   |
| 800/225-4     |                     | 0,286        | 6,185                                     | 2,109        | B   |
| 900/225-3     |                     | 0,040        | 1,301                                     | 2,266        | B   |
| 1000/25-3     |                     | 0,074        | 7,448                                     | 1,733        | AB  |
| 1000/25-7     |                     | 0,111        | 6,467                                     | 1,866        | AB  |
| 1000/125-2    |                     | 0,067        | 6,219                                     | 1,778        | AB  |
| 1000/125-3    |                     | 0,152        | 5,263                                     | 1,856        | AB  |
| 1000/125-1    |                     | 0,083        | 7,308                                     | 1,731        | AB  |
| 1000/225-4    |                     | 0,125        | 2,241                                     | 2,039        | B   |
| 1100/225-6    |                     | 0,207        | 4,600                                     | 1,865        | AB  |
| 1200/225-1    |                     | 0,042        | 8,760                                     | 1,485        | A   |
| 1200/225-2    |                     | 0,042        | 8,240                                     | 1,777        | AB  |
| 1200/325-11   |                     | 0,240        | 5,742                                     | 1,916        | B   |
| 1200/325-12   |                     | 0,226        | 5,289                                     | 1,843        | AB  |
| 1300/225-1    |                     | 0,344        | 4,395                                     | 1,860        | AB  |
| 1300/225-4    |                     | 0,750        | 6,514                                     | 1,437        | C   |
| 1400/225-6    |                     | 0,097        | 5,265                                     | 2,008        | B   |
| 1400/225-8    |                     | 0,097        | 3,471                                     | 2,653        | B   |
| <b>Médias</b> |                     | <b>0,182</b> | <b>5,837</b>                              | <b>1,823</b> |   |

O gráfico de dispersão da Figura 12 é composto pelos eixos com os parâmetros seguintes:  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  e  $\text{CaO/MgO}$ . Argilas com relação  $\text{CaO/MgO} > 0,4$  apresentam vermiculita como principal contaminante e são tipo C. Aquelas com  $\text{CaO/MgO} < 0,4$  e  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 1,9$  são essencialmente montmoriloníticas (tipo B). Aquelas com esta última relação

abaixo de 1,7, representam as bentonitas tipo A. O tipo intermediário AB apresenta esta relação entre 1,7 e 1,9 de  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ .

Figura 12- Gráfico de dispersão dos Parâmetros Químicos  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  e  $\text{CaO/MgO}$ .



Fonte: autor.

Através dos difratogramas DRX1 e DRX2 (figuras 13 e 14 respectivamente), podem ter o exemplo de composição da bentonita encontrada em Vitória da Conquista- Bahia. Podemos observar no difratograma DRX1, figura 9, que a mineralogia principal da bentonita é formada por esmectita, caulinita, plagioclásio e calcita. Já no difratograma DRX2, na figura 10, podemos constatar que a mineralogia principal é esmectita e caulinita. Os dois difratogramas mostram ausência de quartzo, que é característica marcante na Bentonita de Vitória da Conquista – BA.

Figura 13 - Difratoograma de Vitória da Conquista - BA.

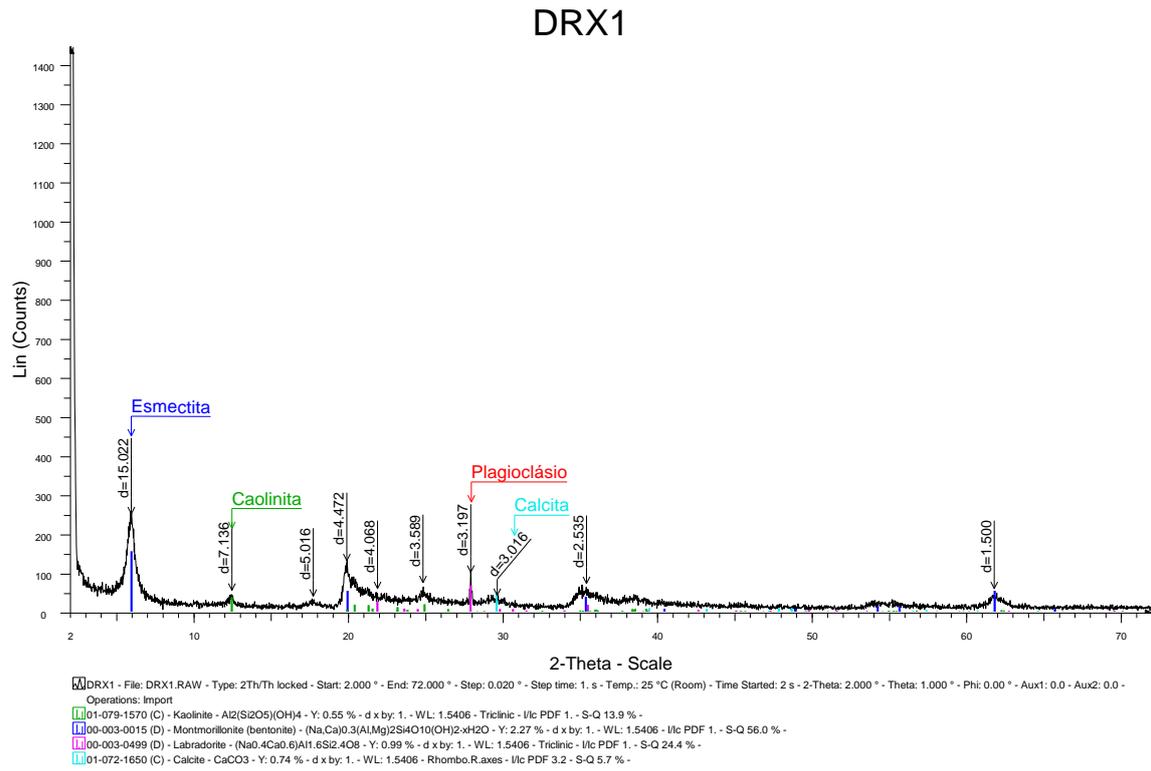
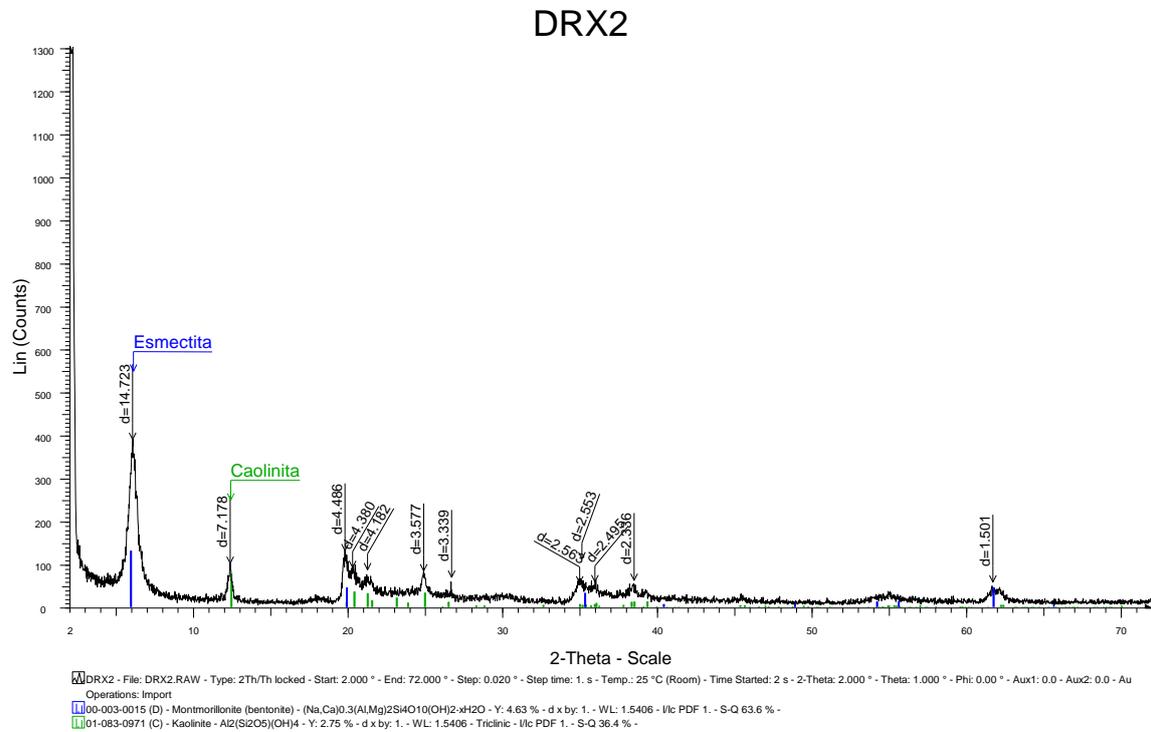


Figura 14 - Difratoograma 2 de Vitória da Conquista – BA.

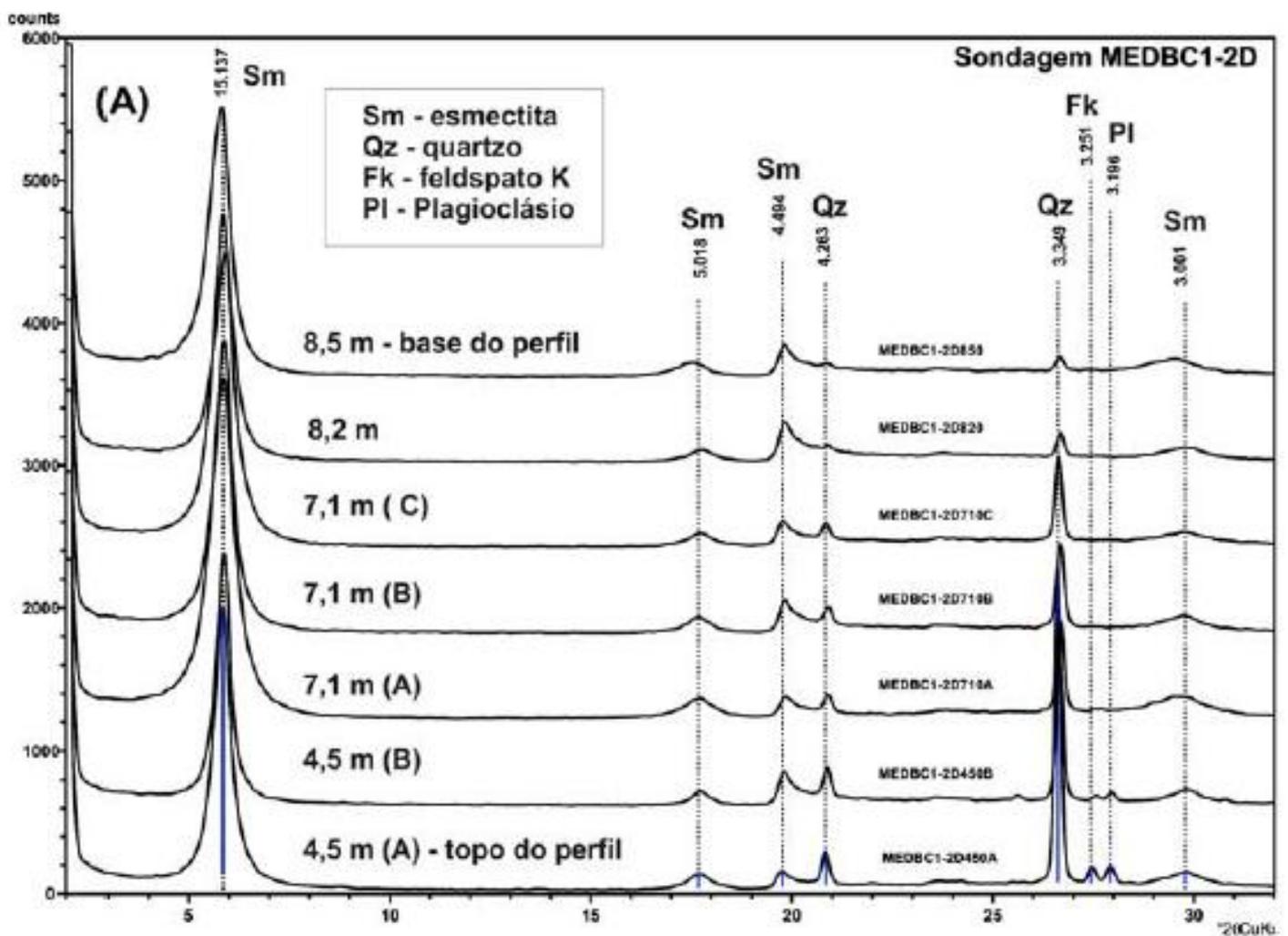


## BAÑADO MEDINA (URUGUAI)

A figura 14 mostra a análise de difratometria de raio-x de um furo de sondagem localizado em Bañado Medina (Uruguai). Cada linha representa a análise de uma profundidade do furo onde estava contida a bentonita.

Na difratometria, mostra que em todos os níveis tem-se um pico com espaçamento basal de 15Å, específico de uma esmectita da qual o cátion 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 a parte inferior da camada.

Figura 6 - Difratometria de raio-x de um furo de sondagem, localizado no depósito de Bañado Medina (Uruguai).



Fonte: Albarnaz (2009).

A tabela 6 mostra os resultados das análises químicas de três amostras de Bañado Medina. Foi possível observar que: os teores mais elevados foram  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sendo mais de 75% das amostras, sendo provavelmente do argilomineral e da sílica presente na cinza vulcânica. Quanto aos valores de  $\text{TiO}_2$ , são de 0,08 até 0,11%, que não altera significativamente as propriedades tecnológicas da bentonita. As amostras apresentam teores  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 2,01 e 3,94%, relativamente baixo indicando que essas esmectitas não são nontronita-beidelita, ambas com teores mais altos de ferro.

As amostras ainda apresentam teores de  $\text{MgO}$  entre 4,57 e 6,54%, que são valores relevantes podendo indicar ser montmorilonita, aonde existe maior presença de magnésio. Com relação aos teores de  $\text{K}_2\text{O}$ , apresenta teores variando entre 0,11 e 0,18%, considerados baixos. A presença de alto teor de K pode interferir no comportamento reológico da bentonita, como foi citado acima.

A perda ao rubro (perda ao fogo ou perda da massa obtida após calcinação) representa a perda de água intercalada, perda de água de hidroxilas dos argilominerais, matéria orgânica e carbonatos. As amostras estudadas apresentam teores entre 6,78 e 11,36%.

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 6 - Análise química de amostra típica da bentonita Bañado de Medina e valores calculados para a fórmula química aproximados.

| Amostra          | Química %      |                         |                         |      |      |                |                      |       |        |
|------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------|------|----------------|----------------------|-------|--------|
|                  | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | CaO  | MgO  | $\text{TiO}_2$ | $\text{K}_2\text{O}$ | P.F.  | TOTAL  |
| <b>MEDB2-97</b>  | 59,64          | 17,75                   | 3,94                    | 2,46 | 6,54 | 0,08           | 0,11                 | 9,32  | 99,87  |
| <b>BC12-850</b>  | 60,13          | 17,29                   | 3,82                    | 2,56 | 6,38 | 0,11           | 0,18                 | 11,36 | 101,86 |
| <b>BC12-630B</b> | 70,61          | 14,64                   | 2,01                    | 2,06 | 4,57 | 0,1            | 0,11                 | 6,78  | 100,98 |
| <b>MÉDIAS</b>    | 63,46          | 16,56                   | 3,25                    | 2,36 | 5,83 | 0,096          | 0,13                 | 9,15  | -      |

Fonte: Albarnaz (2009).

Na Tabela 7, foi confeccionada com os parâmetros químicos CaO/MgO,  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}+\text{CaO})$ . A relação CaO/MgO que aparece com resultados entre 0,37 e 0,45. A relação  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  apresenta dois valores entre 2,7 e 4,24. A correlação  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}+\text{CaO})$  apresenta números entre 1,97 até 2,2.

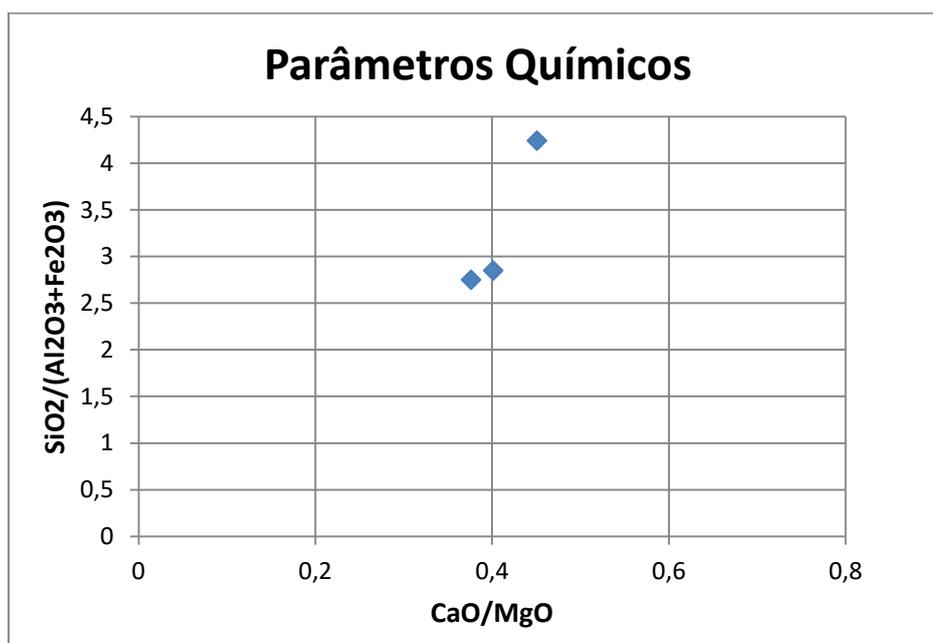
Tabela 7 - Parâmetros químicos das amostras de Bañado Medina.

| Amostras         | Parâmetros Químicos |   |  |
|------------------|---------------------|---|--|
|                  | CaO/MgO,            | $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}+\text{CaO})$ | $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ |
| <b>MEDB2-97</b>  | 0,376146789         | 1,972222222                                     | 2,749654219  |
| <b>BC12-850</b>  | 0,401253918         | 1,934004474                                     | 2,848413074  |
| <b>BC12-630B</b> | 0,450765864         | 2,208144796                                     | 4,240840841  |
| <b>MÉDIAS</b>    | 0,404802744         | 2,021978022                                     | 3,20343261   |

Fonte: Autor.

A Figura 15 representa gráfico de dispersão de  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  e CaO/MgO. Porém são pouquíssimas amostras que foram utilizadas, deixando os dados menos representativos. Duas amostras apresentaram  $\text{CaO/MgO} > 0,4$ . Aquela com  $\text{CaO/MgO} < 0,4$  e  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 4$  é a amostras que mais se diferencia. As outras duas amostras representam resultados muito parecidos, próximos de  $\text{CaO/MgO} \sim 0,4$  e  $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \sim 2,5$ .

Figura 7- Gráfico de dispersão dos Parâmetros Químicos  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  e CaO/MgO.



Fonte: Autor.

### 7.3. SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS ENTRE AS BENTONITAS

Através dos resultados (Tabela 8), foram observadas diferenças significativas nas composições químicas das amostras de diferentes minas. As amostras de Vitória da Conquista apresentam valores mais baixos de  $\text{SiO}_2$  do que as amostras de Bañado Medina, isso ocorre porque a rocha que formou a bentonita baiana é uma anfíbolito, que contém menos sílica que o protólito da bentonita Uruguai que é cinza vulcânica de composição rio-dacítica (Calarge, 2001). Os valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são bem próximos, com diferenças pouco relevantes, sendo que as amostras de Vitória da Conquista possui uma porcentagem ligeiramente maior.

Outra grande diferença bem evidente e importante de ser salientada é em relação aos valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mostrando que a bentonita de Vitória da Conquista possui entre 9,8 e 15,2% e bentonita de Bañado Medina possui valores >4%. Essa diferença mostra que a esmectita baiana é rica em ferro, podendo ser nontronita. Os valores de  $\text{CaO}$  são mais significativos para as amostras da bentonita uruguaia, variando entre 2,06 e 2,56%. E os valores da bentonita baiana não passam de 1%.

Em relação aos valores de  $\text{MgO}$ , podemos notar ele em maior quantidade na bentonita de Bañado Medina, com valores entre 4,57 e 6,54%, e os valores de Vitória da Conquista varia entre 2,8 e 4,8%. Já os valores de  $\text{TiO}_2$  são muito baixos para ambas as bentonitas (entre 0,08% e 0,11% para Bañado Medina e para Vitória da Conquista aparece como elementos traços), o que não altera significativamente as suas propriedades tecnológicas. Os valores de potássio são bem parecidos, considerados baixos. Os valores de  $\text{Na}_2\text{O}$  quase não são relevantes para usarmos na comparação. A perda ao rubro (perda ao fogo ou perda da massa obtida após calcinação) não será possível usar para comparação, pois os valores de Vitória da Conquista não estão disponíveis, mas provavelmente são bem parecidos.

Tabela 8 - Composição química das amostras de argilas naturais de Vitória da Conquista e de Bañado Medina.

| Amostra   | Química %        |                                |                                |      |      |                  |                  |                   |       |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------------------|-------------------|-------|
|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | TiO <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P.F.  |
| <b>Vitória da Conquista 1<br/>(800/225-1)</b>   | 49,2             | 19,9                           | 15,2                           | 0,3  | 2,4  | traços           | 0,23             | 0,12              |       |
| <b>Vitória da Conquista 2<br/>(1000/225-4)</b>  | 52,4             | 12,1                           | 13,6                           | 0,6  | 4,8  | traços           | 0,05             | 0,06              |       |
| <b>Vitória da Conquista 3<br/>(1200/325-12)</b> | 55,1             | 20,1                           | 9,8                            | 0,7  | 3,1  | traços           | 0,12             | 0,05              |       |
| <b>Bañado Medina 1<br/>(MEDB2-97)</b>           | 59,64            | 17,75                          | 3,94                           | 2,46 | 6,54 | 0,08             | 0,11             | nd                | 9,32  |
| <b>Bañado Medina 2<br/>(BC12-850)</b>           | 60,13            | 17,29                          | 3,82                           | 2,56 | 6,38 | 0,11             | 0,18             | nd                | 11,36 |
| <b>Bañado Medina 3<br/>(BC12-630B)</b>          | 70,61            | 14,64                          | 2,01                           | 2,06 | 4,57 | 0,1              | 0,11             | nd                | 6,78  |

Fonte: Autor.

A difração de raios X das bentonitas em sua forma integral permitiu a caracterização das fases cristalinas presentes (Tabela 6). Esmeclita, quartzo foram visualizados em ambas as bentonitas, sendo os constituintes mais significativos, ressaltando que o quartzo é um mineral mais representativo na bentonita de Bañado Medina. Ainda as DRX mostraram que apenas a bentonita de Vitória da Conquista apresentou outros argilominerais além da esmeclita: caulinita, calcita, clorita e vermiculita. Sendo que plagioclásio e feldspato alcalino só aparecem na bentonita de Bañado Medina.

Tabela 9 - Fases cristalinas encontradas nas bentonitas segundo a DRX.

| FASES                 | BENTONITA                    |                        |
|-----------------------|------------------------------|------------------------|
|                       | VITÓRIA DA CONQUISTA<br>(BA) | BAÑADO MEDINA<br>(URU) |
| ESMECTITA             | X                            | X                      |
| CAULINITA             | X                            |                        |
| QUARTZO               | X                            | X                      |
| FELDSPATO<br>ALCALINO |                              | X                      |
| MICA                  | X                            |                        |
| CALCITA               | X                            |                        |
| PLAGIOCLÁSIO          |                              | X                      |
| VERMICULITA           | X                            |                        |
| CLORITA               | X                            |                        |

Fonte: Autor.

A figura 16 mostra as fórmulas químicas estruturais das bentonitas estudadas no trabalho. Podemos observar que a bentonita de Vitória da Conquista não possui titânio e manganês, em compensação ela possui uma quantidade maior de ferro em sua composição, também contém magnésio em

sua fórmula. Podemos caracterizar ela com uma típica Ca-Mg montmorillonita. E a bentonita de Bañado Medina seria classificada como Al montmorillonita. Estas diferenciações refletem a composição química dos protólitos de cada uma das bentonitas estudadas.

Figura 8 - Fórmula estrutural química das bentonitas

| Fórmula estrutural química  |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Bañado Medina</b>        | $[Si_{3.94}Al_{0.06}](Al_{1.40}Fe^{3+}_{0.11}Ti_{0.02}Mg_{0.49}Mn_{0.01})O_{10}(OH)_2Na_{0.01}K_{0.08}Ca_{0.18}$ |
| <b>Vitória da Conquista</b> | $[Si_{3.77}Al_{0.23}](Al_{1.33}Fe^{3+}_{0.36}Mg_{0.31})O_{10}(OH)_2Na_{0.01}Mg_{0.13}Ca_{0.13}$                  |

Fonte: Albarnaz (2009)/ Moreira, Scott, *et al.* (1985)/ modificado pelo autor.

A tabela 10 mostra a posição de cada uma das bentonitas estudadas no tempo geológico. Fica evidente a grande diferença de idade que a rocha matriz de cada bentonita possui. O protólito da bentonita de Vitória da Conquista seria um gnaiss/anfibolito pertencente ao Paleoarqueano, com idade entre 3,6 a 3,2 bilhões de anos. A fonte da bentonita de Bañado Medina seria cinza vulcânica, pertencente ao permiano, com idade aproximada de 290 a 248 milhões de anos.

Tabela 10 - Tempo geológico com indicação da origem das bentonitas.

| ÉONS         | ÉRAS              | PERÍODOS       | IDADES        |                                |                         |
|--------------|-------------------|----------------|---------------|--------------------------------|-------------------------|
| Fanerozóico  | Cenozóico         | Quaternário    | 2,58 Ma       |                                |                         |
|              |                   | Neogeno        |               |                                |                         |
|              |                   | Paleogeno      | 66 Ma         |                                |                         |
|              | Mesozóico         | Cretáceo       |               |                                |                         |
|              |                   | Jurássico      |               |                                |                         |
|              |                   | Triássico      |               |                                |                         |
|              | Paleozóico        | Permiano       | <b>290 Ma</b> |                                | Bentonita Bañado Medina |
|              |                   | Carbonífero    |               |                                |                         |
|              |                   | Devoniano      |               |                                |                         |
|              |                   | Siluriano      |               |                                |                         |
|              |                   | Ordoviciano    |               |                                |                         |
| Cambriano    |                   | 541 Ma         |               |                                |                         |
| Proterozóico | Neoproterozóico   | Edicárico      |               |                                |                         |
|              |                   | Criogeniano    |               |                                |                         |
|              |                   | Toniano        | 1000 Ma       |                                |                         |
|              | Mesoproterozóico  | Steniano       |               |                                |                         |
|              |                   | Ectasiano      |               |                                |                         |
|              | Paleoproterozóico | Calymmiano     | 1600 Ma       |                                |                         |
|              |                   | Statheriano    |               |                                |                         |
|              |                   | Orosiriano     |               |                                |                         |
|              | Rhyaciano         |                |               |                                |                         |
|              | Sideriano         | 2500 Ma        |               |                                |                         |
| Arqueano     | Neoarqueano       |                |               |                                |                         |
|              | Mesoarqueano      |                |               |                                |                         |
|              | Paleoarqueano     | <b>3600 Ma</b> |               | Bentonita Vitória da Conquista |                         |
|              | Eoarqueano        |                |               |                                |                         |
| Hadeano      |                   |                | ~4600 Ma      |                                |                         |

Fonte: modificado da Carta Cronoestratigráfica Internacional (2017).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho analisou argilas esmectíticas de depósitos diferentes, um localizado em Bañado Medina (Uruguai) e o outro depósito em Vitória da Conquista (Bahia). Foi apresentada análises químicas e de difratometria de Raio-X, com o objetivo de encontrar diferenças nas argilas estudadas. A análise estatística dos dados químicos foi aplicada com o intuito de ajudar na classificação do tipo de bentonita encontrado em cada depósito, também,

comparando e correlacionando as concentrações presentes nas análises químicas.

A bentonita de Bañado Medina é produto da alteração de cinza vulcânica, associada à Formação Rio do Rasto, pertencente ao Permiano Superior da Bacia do Paraná, como estudos anteriores já haviam descrito. A argila esmectítica de Vitória da Conquista é produto da alteração de anfibolitos que aparece intercalando com gnaisses, pertencentes à composição de rochas do Paleoarqueano do Cratón São Francisco.

Com base no DRXs das amostras dos dois depósitos, podemos perceber que a rocha fonte influenciou decisivamente na composição das bentonitas estudadas. As análises mostraram que a bentonita de Bañado Medina não possui outros argilominerais além da esmectita. De outra forma as DRXs na bentonita de Vitória da Conquista apresentam caulinita e vermiculita, que são importantes argilas, além da montmorillonita. Outra diferenciação importante foi à presença de muscovita na bentonita da Bahia em contrapartida a bentonita de Bañado Medina contém K-feldspato e plagioclásio. Estes dados devem ter importantes implicações nas propriedades tecnológicas destas bentonitas e merecem futuros estudos.

É importante ressaltar que as duas bentonitas possuem quartzo, mas a bentonita de Bañado Medina possui quantidades mais significativas. Este conteúdo diferenciado de quartzo nos dois depósitos reflete a composição da rocha fonte, a cinza vulcânica na bentonita de Bañado de Medina e uma rocha básica (anfíbólito) no depósito da Bahia.

Os dados comparados neste trabalho podem contribuir para um maior conhecimento sobre estes dois depósitos de bentonita que estão no mesmo continente, porém, localizados há mais de 2400 km de distância. Como sugestão para trabalhos futuros, sugiro levar em conta estas análises apresentadas e agregar um estudo comparativo com suas aplicações tecnológicas.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARNAZ, L.D.T., DANI, N., FORMOSO, M.L.L., MEXIAS, A.S. & LISBOA, N.A. **A jazida de bentonita de Bañado de Medina, Melo, Uruguai. Geologia, mineralogia e utilização tecnológica.** Pesquisas em Geociências, 36(3): 263-281, 2009.

ALMEIDA F.F.M. **O Cráton do São Francisco.** Rev. Bras. Geoc., 7(4): 349-364, 1977.

ALMEIDA F.F.M, BRITO NEVES B.B, CARNEIRO C.D.R. **The origen and evolution of the South American Platform.** Earth Sci. Rev., 50:77-111, 2000.

BARBOSA, J.S.F & SABATÉ, . **Colagem Paleoproterozóica de placas Arqueanas do crátondo São Francisco na Bahia.** Revista Brasileira de Geociências, 33(1- suplemento): 7-14, 2003.

CALARGE, L. **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, 2001.

CALARGE, L.M., MEUNIER, A. & FORMOSO, M.L.L. **A Bentonite Bed in the Aceguá (RS, Brazil) and Melo (Uruguay) Areas: a highly crystallized montmorillonite.** Journal of South American Earth Sciences, 16(2): 187-198, 2003.

CALARGE, L.M., MEUNIER, A., LANSON, B. & FORMOSO, M.L.L. **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, 2006.

CLARKE, G.M. **Special Clays.** Ind. Miner., v. 216, 25-51, 1985.

CBB,COMPANHIA BRASILEIRA DE BENTONITA. **Projeto industrial.** Vitória da Conquista, BA: CBB, 2005. Não paginado.

DANA, J.D. **Manual de Mineralogia.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 642p, 1983.

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

DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. London, Longman, 696p, 1992.

FERNANDES, A. C.; PENHA, F. G. **Aplicação de argilas modificadas na adsorção de poluentes**. Congic. Natal, jul. 2013.

GOÑI, J.C. **Estudo mineralógico de algumas argilas do Uruguai**. In: Congresso Internacional de Geologia, 19, 1952, Argel, Anais. Argel, CIPEA. v. 38. p. 47 – 56, 1952.

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

HARDY, R; TUCKER, M. **X-ray powder diffraction of sediments**, In: Techniques in sedimentology (M. TUCKER), Blackwell Science, Oxford. p. 191 – 228, 1995.

KAHN H., **PMI 2201: Difração de Raios X**. (2011)

KNIGHT, W.C. **Bentonite**. Engineering and Mining Journal, 66(17): 491, 1898.

KOMADEL, P. **Chemically modified smectites**. Clay Minerals. 38: 127-138, 2003.

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

LUZ, ADÃO.B; OLIVEIRA, CRISTIANO.H. BENTONITA. In: \_\_\_\_\_. **Rochas & minerais industriais: Usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 207 a 230.

MARQUES, Renato Da Silva; ALBARNAZ, Luiz Delfino T.; SOUZA, Luis Eduardo. **Modelagem e Planejamento de Lavra de Depósitos de Argila**

**Bentonítica-Estudo de Caso: Bañado Medina, Melo**, Uruguai. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 3, n. 3, 2011.

MILANI, E.J. **Evolução Tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. Porto Alegre, 225p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

MORALES-CARRERA, A.M., VARAJÃO, A.F.D.C., GONÇALVES, M.A. & STACHISSINI, A.S. 2009. **Argilas bentoníticas da Península de Santa Elena, Equador: pilarização, ativação ácida e seu uso como descolorante de óleo de soja**. Química Nova, 2009.

MOREIRA, Marcos Donadello. **Bentonita de Vitória da Conquista: da descoberta ao aproveitamento industrial**. Série de Arquivos Abertos, CBPM, Salvador, 2011.

MOREIRA, Marcos Donadello; SCOTT, P.W. *et al.* **Evaluation of a Bentonite from Bahia State – Brazil**. In: Extrative Industry Geology, Nottingham – Inglaterra, 1985. p.111-129.

MURRAY, H.H. **Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview**. Applied Clay Science, 17, 207-221, 2000.

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.

PRADO, CAROLINA M. O. **Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no estado de Sergipe**. 82 f. Dissertação ( Mestrado em Química) – Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

PINTAÚDE, D.A. & FORMOSO, M.L.L. **Ocorrência de Argila Montmorilonítica em Aceguá-RS**. Porto Alegre: Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. 40 p. (Boletim, 57), 1972.

RASERA, Luiz Gustavo. **Avaliação do depósito e das propriedades tecnológicas das Bentonitas de Melo, Uruguai**. 2011.

SOUZA, S., P., **Tecnologia de argilas**, Ed. Edgard Blücher, Vol 3, São Paulo, 1992.

TOMIO, Alexandre. **A Mineração no Mercosul e o Mercado de Bentonita..** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999. 105 f.

USGS. **Clays**. U. S. Mineral Commodity Summaries, January 2007, p. 46-47, 2007.