

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

JORGE ALBERTO COSTA

**CARACTERIZAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS EM
MATÉRIA PRIMA CERÂMICA DA FORMAÇÃO RIO DO
RASTO, BACIA DO PARANÁ, NOS MUNICÍPIOS DE
TURVO E MELEIRO, SUDESTE DE SANTA CATARINA.**

ORIENTADORES

Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Prof. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes

Porto Alegre - 2010

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

**CARACTERIZAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS EM
MATÉRIA PRIMA CERÂMICA DA FORMAÇÃO RIO DO
RASTO, BACIA DO PARANÁ, NOS MUNICÍPIOS DE
TURVO E MELEIRO, SUDESTE DE SANTA CATARINA.**

JORGE ALBERTO COSTA

ORIENTADORES

Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Prof. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann

Dr. Helio Costet de Mascheville Lengler

Prof. Dr. Norberto Dani

Dissertação de Mestrado apresentada na
forma de artigo como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em
Geociências.

Costa, Jorge Alberto

Caracterização dos argilominerais em matéria prima cerâmica da Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná, nos municípios de Turvo e Meleiro, Sudeste de Santa Catarina. / Jorge Alberto Costa. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010.

[79 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Prof. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes.

1. Argilominerais. 2. Indústria Cerâmica. 3. Caracterização Mineralógica. 4. Bacia do Paraná. I. Título.

Catlogação na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

Agradecimentos

Agradeço primeiramente às pessoas que colaboraram para a elaboração da dissertação e ao transcurso do mestrado principalmente aos orientadores André Mexias e Márcia Boscato pela paciência e insistência.

Aos colegas: Edgar companheiro de campo, Rosemary, Larissa e Margareth que sempre me deram imenso apoio no avanço do mestrado, aos colegas do laboratório as amigas Paula, Dedi, Diji, Elissa, ao João, Renato outros tantos que passaram pelo laboratório. Aos motoristas Jarson, Adalto e Mário. A Mariah incentivadora do mestrado.

Ao Professor Juan Flores incentivador ao trabalho em SC, a Rosaura Piccoli que também "abriu as portas" da região do estudo, Prof. Norberto Dani um apoiador, professor Lisboa um incentivador, ao professor Milton Formoso que trouxe novas (e antigas, mas esclarecedoras) "visões" sobre a geoquímica.

Aos Geólogos Helio Lengler que abriu as portas da Colorminas e Jorge Christ da Cerâmicas Eliane.

A CAPES que patrocinou a bolsa neste período.

A UFRGS, ao IG e ao PPGGeo que possibilitaram na realização deste trabalho.

Ao Ten Cel Eduardo Gurgel Garcia Augusto chefe da 1ª DL que doou as fotografias aéreas da planície costeira sul de SC.

Resumo

Atualmente a região de Criciúma é um grande pólo produtor de cerâmicas de qualidade, produzindo mais de 50% das exportações brasileiras de pisos e revestimentos cerâmicos, é um setor de sofisticada tecnologia de produção. Para o controle de qualidade do produto é fundamental a homogeneidade da composição mineralógica a partir do controle geológico na extração das matérias primas pelas mineradoras. Com a motivação de conhecimento das frentes de lavras foram aplicadas técnicas para a caracterização mineralógica em detalhe do material extraído de minas localizadas nos municípios de Turvo e Meleiro/SC, destinado à produção de cerâmicas pelas empresas da região. As rochas são argilitos cinza escuros intercalados com siltitos da Formação Rio do Rasto da Bacia do Paraná. Foram coletadas amostras dispostas verticalmente e analisadas através de difração de raios X para determinação mineralógica semiquantitativa em rocha total pelo método do pó e na fração < 2 e < 4 μm orientadas para identificação dos argilominerais pelas faces $hkl = 00l$. Foram feitas laminas delgadas para análise petrográfica através de microscopia ótica. Fragmentos foram analisados ao microscópio eletrônico de varredura por meio de imagens de elétrons secundários. Análises químicas de rocha total e da fração < 4 μm foram realizadas por espectrometria de fluorescência de raios X. Por microsonda eletrônica foram feitas microanálises químicas pontuais. A partir destes dados foi identificado o argilomineral montmorilonita do grupo da esmectita como argilomineral predominante, o interestratificado I/S e a illita diagenética, além de quartzo, mica, feldspato potássico e plagioclásio como minerais detríticos abundantes. As análises mostram a existência de variação da composição mineralógica verticalmente com grande aumento da montmorilonita para a base e aumento do feldspato potássico para o topo na frente de lavra de Turvo e a presença do interestratificado I/S na base e esmectita e illita/mica para o topo na mina de Meleiro. Estudos de detalhe por difratometria de raios X (determinação do parâmetro b) e microanálises WDS por microsonda eletrônica permitiram identificar como montmorilonita a espécie argilomineral do grupo das esmectitas. Desta forma sabendo-se que deve haver homogeneidade nos lotes da matéria prima explorada é fundamental a amostragem e caracterização mineralógica, sendo

fundamental o controle geológico na exploração mineira. Através deste estudo espera-se facilitar o reconhecimento de áreas potenciais para a mineração e melhor adequação dos tipos de argilominerais estudados às necessidades da indústria cerâmica.

Palavras chave: Argilominerais; Indústria Cerâmica; Caracterização Mineralógica; Bacia do Paraná.

Abstract

Currently the region of Criciúma/SC state is a great center of producing ceramics of quality, producing more than 50% of the Brazilian exportations of floor and ceramic coatings being a sector of sophisticated production technology. For the quality control of the product the homogeneity of the mineralogical composition from the geologic control in the extraction of raw materials is very important. With the motivation in the knowledge about the fronts it has been applied techniques for a detail mineralogical characterization of the material extracted in a mine located at Turvo and Meleiro city/SC, used as raw material in to the ceramics production by the companies in the region. The studied deposit is composed of intercalated gray clays with fine sandstones of Rio do Rasto Formation, in the Paraná Basin. Fourteen samples were collected and analyzed by petrographical analysis by microscopy methods. Analysis by X-ray diffraction (XRD) for mineralogical semiquantitative determination in total fraction by powder method and the analysis of oriented samples in the fractions < 2 and $< 4 \mu\text{m}$ for identification of the clay minerals using 00l reflexions. Analysis by scanning electron microscopy (SEM) by secondary electrons allowed getting apparent three-dimensional image of sample's fragment. The chemical composition was determined by X-ray fluorescence spectrometer. Petrographic observations in thin section were also performed. Scanning electron microscope images was obtained in samples fragments by secondary electron method. Electron microprobe microanalysis was performed in one thin section. From this analysis were identified diagenetic smectite and illite as clay minerals predominant and the presence of quartz, mica, K-feldspar and plagioclase as detrital minerals. The analysis showed that there is a vertical variation in the mineralogical composition in the same exploitation front, with a large increase of smectite at the base and increasing K-feldspar to the top at Turvo mine and the occurrence of interstratified I/S in the base and smectite plus illite-mica at the top of Meleiro mine. Studies in detail by X-ray diffraction (determination of the b-parameter) and microanalysis by wavelength dispersive X-ray spectroscopy have identified montmorillonite clay mineral as the smectite mineral specie. Knowing that there should

be uniformity in storages of raw material used, sampling and mineralogical characterization is fundamental in geological control of the mine. By this study we expect to favor the recognition of new potential areas for exploitation and better adequacy of the studied clay mineral types to the needs of the ceramic industry.

Keywords: Clay Minerals; Ceramic Industry; Mineralogical Characterization; Paraná Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista do local da extração mineral (seta) no morro testemunho com o nível de base coincidente aos depósitos quaternários (tracejado vermelho). Foto da mina próxima ao rio Jundiá, em Turvo/SC.....	17
Figura 2 - Trator de esteira de lâmina frontal e escarificador na traseira, o britador ao fundo da fotografia (seta) e o lote de material em descanso sob a lona amarela. Área de manuseio do material da mina de Turvo.....	18
Figura 3 - Área de manuseio do material com o britador e sob a lona o material em descanso da mina de Meleiro.....	19
Figura 4 - Modelo das estruturas 1:1 e 2:1 (Meunier, 2005).....	20
Figura 5 - Modelo da estrutura 2:1 em (a). Estrutura 2:1 ou 2:1:1 em (b) (Meunier, 2005).....	22
Figura 6 - Diagrama esquemático do ordenamento e regularidade de interestratificados tipo: $R=0$, $R=1$ e $R>1$ (Meunier, 2005).	22
Figura 7 - Deslocamento dos picos, em difratograma na condição glicolada, de um argilomineral interestratificado I/S, causado pelo incremento do componente ilítico (Meunier, 2005).	23
Figura 8 - Distribuição das supersequências estratigráficas da Bacia do Paraná tendo em destaque do círculo vermelho a região do presente estudo (modificado de Milani, 1997).....	24
Figura 9 - Coluna estratigráfica da Supersequência Gondwana I com o posicionamento o Grupo Passa Dois (modificado de Milani, 1997).	25
Figura 10 - Rocha cor cinza escuro com variações para marrom e fraturamento subvertical na mina de Turvo.	28
Figura 11 - Nível contínuo de oxidação numa matriz maciça da mina de Turvo.....	29
Figura 12 - Camada de tempestito na mina de Turvo.	29
Figura 13 - Fraturamento conchoidal e uma concreção da mina de Turvo.	30
Figura 14 - Frente da lavra onde foram coletadas as 14 amostras nas diferentes alturas do perfil da mina de Turvo.	30
Figura 15 - Frente da lavra da mina de Meleiro apresentando estratificação planoparalela milimétrica a dessimétrica subhorizontal.....	31
Figura 16 - Concreções centimétricas a métricas e fraturamento conchoidal na mina de Meleiro.	32
Figura 17 - Localmente lentes milimétricas de calcário (escala cabo do martelo) na mina de Meleiro.....	33
Figura 18 - Local onde foram retiradas as 22 amostras da base até o topo (no percurso da seta vermelha) e das lentes de calcário (seta verde) no perfil da mina de Meleiro.	33
Figura 19 - Mapa geológico simplificado do local da mina de Turvo. Legenda: em cinza claro ormação Rio do Rasto, em cinza escuro Formação Botucatu, em preto Formação Serra Geral e em branco os depósitos do Quaternário (modificado da CPRM, 2007).....	47
Figura 20 - Coluna litoestratigráfica parcial da Bacia do Paraná (Schneider <i>et al.</i> , 1974).	48
Figura 21 - Fotomicrografia onde aparece mica detrítica com pequena deformação. ...	54
Figura 22 - Difratograma da rocha total: (S) esmectita, (i/m) ilita/mica, (Q) quartzo e (PI) plagioclásio.....	54

Figura 23 - Difratoograma da análise da fração < 4 µm na forma orientada natural, glicolada e calcinada (aquecida).....	56
Figura 24 - Variação da proporção dos minerais da fração < 4 µm em relação à altura do perfil da mina e Turvo.	57
Figura 25 - Imagem do MEV, crescimento de esmectita sobre um grão de feldspato detrítico (setas).	60
Figura 26 - Imagem do MEV mostrando mica detrítica com crescimento incipiente de argilomineral sobre o grão (setas).	60
Figura 27 - Difratoograma da fração < 0,5 µm na forma pulverizada e sem orientação: montmorilonita (M), illita/mica (i/m) (dioctaédrica), plagioclásio (Pl) e quartzo (Q).....	61
Figura 28 - Difratoograma do parâmetro b da fração < 0,5 µm na forma pulverizada e sem orientação: montmorilonita (esmectita dioctaédrica como espécie mineral)..	62
Figura 29 - Difratoograma de uma amostra de rocha total da mina de Meleiro.....	67
Figura 30 - Difratoogramas de uma amostra da mina de Meleiro mostrando a expansão na condição glicolada (em azul) de 14,64 Å para 16,04 Å evidenciando a identificação do interstratificado I/S	67
Figura 31 - Difratoograma NEWMOD para modelamento composicional mineralógico proporcional da interstratificação I/S, com aproximadamente 20% de illita.....	68
Figura 32 - Variação da proporção dos argilominerais da fração < 2 µm em relação à altura do perfil da mina de Meleiro (modificado de Bercht, 2009).....	71
Figura 33 - Parte da carta da CPRM, na seta superior a mina de Meleiro e seta inferior a mina de Turvo.....	72
Figura 34 - Cópia parcial do Mapa Geológico de Santa Catarina, na seta vermelha o local da mina de Meleiro e seta azul o local da mina de Turvo e a mineração de argila já existente.	73
Figura 35 - Mapa geológico simplificado com a interpretação das fraturas obtidas a partir das fotografias aéreas na escala 1:60.000, de 1965/66 modificadas (Krebs, 2004).....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da litologia das amostras coletadas no perfil da mina de Meleiro.	33
Tabela 2 - Distribuição das amostras coletadas no perfil da mina de Turvo.....	53
Tabela 3 - Mineralogia da rocha total normatizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX do perfil da mina de Turvo.....	55
Tabela 4 - Mineralogia da fração < 4 µm normatizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX do perfil da mina de Turvo.....	57
Tabela 5 - Composição química principal da rocha total.....	58
Tabela 6 - Composição química principal da fração < 4 µm.....	59
Tabela 7 - Mineralogia da rocha total normatizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX do perfil da mina de Meleiro (modificado de Bercht, 2009).....	66
Tabela 8 - Mineralogia da fração < 2 µm normatizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX da mina de Meleiro. As amostras que contém o interestratificado I/S além de esmectita estão assinaladas com * (modificado de Bercht, 2009).....	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Revestimento cerâmico.....	14
1.2	Mineração das argilas.....	17
1.3	Argilominerais.....	20
1.4	Geologia da área.....	24
1.5	Materiais e métodos.....	28
1.5.1	Mina de Turvo.....	28
1.5.2	Mina de Meleiro.....	31
1.5.3	Preparação das Amostras para Análise.....	34
1.5.4	Métodos.....	36
1.6	Referências.....	39
2	ARTIGO CIENTÍFICO.....	43
2.1	Resumo.....	44
2.2	Abstract.....	45
2.3	Introdução.....	46
2.4	Aspectos Geológicos.....	48
2.5	Materiais e Métodos.....	50
2.6	Resultados e Discussão.....	53
2.7	Conclusões.....	63
2.8	Referências.....	64
2.9	Carta de encaminhamento do artigo.....	65
2.10	Resultados na mina de Meleiro.....	66
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
3.1	Discussão.....	70
3.2	Conclusões.....	75
3.3	Referências.....	77

TEXTO EXPLICATIVO DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho consiste de uma dissertação de mestrado, apresentada na forma de artigo científico e possui a seguinte estrutura:

Capítulo 1. INTRODUÇÃO: apresenta a introdução ao tema, a descrição geral dos objetivos, o estado da arte e tecnológico verificados, a metodologia utilizada e as referências bibliográficas pertinentes ao capítulo.

Capítulo 2. ARTIGO CIENTÍFICO: constitui o corpo principal da dissertação, o artigo científico repaginado, com as tabelas e figuras renumeradas conforme a sequência da dissertação. A carta de recebimento pela Revista Cerâmica. O artigo foi reentregue para publicação após parecer do relator e realizadas as alterações sugeridas. Este capítulo contém ainda os resultados referentes à mina de Meleiro, que não fizeram parte do artigo científico.

Capítulo 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS: possui as discussões referentes às minas de Turvo e Meleiro, comparando os resultados, que serviram de base para as conclusões finais do trabalho. Além das referências bibliográficas pertinentes a este capítulo.

1 INTRODUÇÃO

O sudeste do estado de Santa Catarina é uma região de exploração de vários produtos minerais como: as argilas para cerâmica, o caulim utilizado na cerâmica e no PVC, o carvão, a fluorita, etc.

Atualmente, a região de Criciúma é um grande pólo produtor de cerâmicas de qualidade, produzindo mais de 50% das exportações brasileiras de pisos e revestimentos cerâmicos, é um setor de sofisticada tecnologia de produção (Gorini & Correa, 1999).

Cerâmicas são os artigos fabricados através da mistura de minerais divididos basicamente em plastificantes, estabilizantes e fundentes, que numa proporção desejável são moídas e homogeneizadas em moinhos de bola, em meio aquoso, granulação da massa em um atomizador, moldagem e secagem das pesas e posterior queima. As fábricas de cerâmicas possuem procedimentos de rotina destes processos de produção bastante modernos e automatizados.

Na extração das matérias primas, porém, tem se utilizado de métodos de pesquisa muitas vezes acanhados e sem controle sistemático, onde são comuns os procedimentos simples e empíricos, como a classificação do material pela cor, a plasticidade verificada pelo amassamento com a mão, a verificação da ocorrência de silte pelo tato, etc (Reis, 2001). Este material, depois de ficar um período em montes em descanso, é transportado para as indústrias e após testes com diferentes proporções de misturas, passam ao processo produtivo.

Na ocorrência de falha no processo industrial, este pára, são moldados corpos de provas para verificação do comportamento físico, e a partir deste diagnóstico são realizadas modificações nas quantidades das diferentes matérias primas da mistura.

Como se trata de matérias primas naturais, extraídas em grande quantidade e que apresentam variações mineralógicas importantes, pode trazer como consequência o comprometimento das características físicas das cerâmicas produzidas.

Este processo tem levado a perdas enormes de cerâmicas prontas que apresentam deformação como abaulamento e trincas por retração e desta forma são

vendidos como categoria “b” ou ficam sem qualquer destinação, passando a caracterizar um problema ambiental.

Para um melhor conhecimento da matéria prima a partir da sua extração da natureza aumentando assim o potencial da atividade mineira e oferecer um melhor controle do material fornecido à indústria foram aplicadas técnicas para caracterização mineralógica e geoquímica em detalhe de duas frentes de lavra da região.

As duas minas estão localizadas no vale do Rio Araranguá na Planície Costeira de SC e geologicamente estes depósitos posicionam-se no Grupo Passa Dois (Schneider et al. 1974), Formação Rio do Rasto na Bacia do Paraná. São folhelhos, argilitos e siltitos cinza escuros localmente carbonáticos.

Este estudo foi desenvolvido na mina do município de Turvo, onde foram coletadas 14 amostras representativas dos diferentes níveis e analisadas petrográfica e texturalmente, por meio de microscopia ótica (MO).

As amostras foram analisadas para determinação mineralógica semiquantitativa na fração total por difração de raios X (DRX), pelo método do pó e após a desagregação em meio líquido, foram feitas lâminas orientadas na fração < 4 µm e analisadas por DRX para identificação dos argilominerais pelas faces 001 (Brindley & Brown, 1980).

Foi realizada análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), através de elétrons secundários (SEM), que permitiu obter imagens tridimensionais aparentes de fragmentos das amostras.

Para determinação da composição química da rocha total e da fração argila foi realizada a análise por fluorescência de raios X (FRX).

Da lâmina de uma amostra foi realizada análise química pontual por WDS em microssonda eletrônica (MSE).

Na mina do município de Meleiro foram coletadas 22 amostras em um perfil vertical e analisadas para determinação mineralógica semiquantitativa por DRX da rocha total, pelo método do pó, e da fração < 2 µm pela análise das lâminas orientadas para identificação dos argilominerais. Os resultados obtidos da caracterização da mina de Meleiro foram utilizados para comparação com a mina de Turvo.

Os resultados mostraram características minuciosas das diferentes camadas da estratigrafia, tornando possível delimitar as características fundamentais para a utilização da matéria prima.

1.1 Revestimento cerâmico

Revestimentos Cerâmicos são placas cerâmicas, fabricadas a partir de matérias primas naturais, argilosas e não argilosas usadas na construção civil, para revestimento de paredes, pisos, bancadas, piscinas etc., em ambientes internos e externos.

As principais etapas da produção dos revestimentos cerâmicos compreendem a preparação das matérias primas, a conformação das peças e a queima.

Na preparação é realizada a dosificação dos componentes da mistura, em proporções já pré-testadas em corpos de provas. A mistura passa para moinhos de bolas para moagem em meio aquoso e homogeneização. A proporção deve ser constante para cada produto cerâmico. Essa massa moída é denominada barbotina cerâmica.

A barbotina passa então por secagem e granulação da massa em um atomizador tipo spray dryer. A massa atomizada possui baixa densidade e umidade constante sendo facilmente moldável, seguindo para as prensas hidráulicas e conformando a peça cerâmica.

As cerâmicas são constituídas, em geral, de três camadas: o suporte ou biscoito, o engobe, que tem função impermeabilizante e garante a aderência da terceira camada, e o esmalte, camada vítrea que também impermeabiliza, além de decorar uma das faces da placa. São produzidas por processo de biqueima, na primeira queima do biscoito e a segunda das peças já esmaltadas.

A fabricação de revestimentos cerâmicos apresentou um crescimento considerável nos últimos anos, caracterizando uma grande revolução no setor. O salto foi dado após a concepção do grés porcelânico, que é um produto que se difere do anterior, pelo desenvolvimento da queima rápida (monoqueima).

O revestimento cerâmico do tipo monoqueima é uma evolução do revestimento cerâmico tipo biqueima e caracteriza-se na realização da queima em uma única etapa, tanto o corpo cerâmico como o material vítreo utilizado como acabamento superficial. Normalmente este tipo de processo produtivo utiliza temperaturas compreendidas entre 1130 e 1180°C.

Industrialmente se faz uma distinção entre a classe de porcelânico não esmaltado, com absorção de água menor que 0,1% e esmaltado, com absorção de água menor que 0,5% (Menegazzo *et al.*, 2001). Relativamente à absorção de água, o grés porcelânico se distingue pelos valores nitidamente mais baixos em relação aos outros tipos de placas cerâmicas. O grés porcelânico não esmaltado pode ser desbastado e polido, apresentando superfícies que se aproximam sempre mais dos mármore e dos granitos, em relação aos quais apresenta custo de produção mais baixo, porém com notáveis características técnicas e estéticas, o que o coloca em posição forte e altamente rentável.

A crescente exigência de qualidade do produto acabado e o desenvolvimento de novos processos tecnológicos conduzem à necessidade de matérias primas cada vez mais específicas. A busca de novas matérias primas mais adequadas à conveniência da produção se converte em um processo dinâmico permanente.

As matérias primas usadas na formulação de massas dos revestimentos cerâmicos possuem configurações mineralógicas distintas e cada uma exerce uma função própria e específica. Os argilominerais conferindo plasticidade à massa, enquanto aquelas não plásticas, caracterizados por minerais fundentes e refratários, responsáveis pela densificação e resistência mecânica do produto, respectivamente. De modo geral, as matérias primas mais usadas são argilominerais, feldspatos e sílica.

Para a produção dos revestimentos cerâmicos tipo monoqueima e grés porcelânico, são utilizados frequentemente misturas de argilas plásticas, ricas em argilominerais como ilita e esmectita e de argilominerais pouco plásticos como a caulinita. As matérias primas plásticas atuam como suspensivos, facilitam a modelagem da peça e proporcionam a resistência mecânica para a sua manipulação. As matérias primas não plásticas aumentam a permeabilidade, facilitando a secagem e as desgaseificações na queima melhorando a densidade a verde, diminuindo a retração térmica linear, além de conferir características físicas importantes após a queima.

As illitas são matérias primas básicas para todas as composições de massas cerâmicas e exercem as funções de dar coloração clara à composição, fornecer características ligantes e plastificantes à massa cerâmica, atribuir propriedades reológicas, facilitando a fluidez, e conferir, com as características fundentes, uma boa densidade e resistência mecânica após queima.

A adição de caulinita que é pouco plástica e muito refratária na composição da massa confere brancura à massa além de que o óxido de alumínio

(Al_2O_3) ser estabilizante, que durante a fase de vitrificação da massa cerâmica torna-se um regulador do equilíbrio das reações.

As empresas mineradoras, na busca por argilominerais e minerais com características adequadas para compor as formulações de massas cerâmicas, se deparam com a necessidade de conhecimento mais aprofundado, no que diz respeito às características geológicas, químicas, estruturais, físicas e térmicas das matérias primas plásticas utilizadas, e também de conhecer quais as interferências que estas provocam nas propriedades mecânicas, com respeito à retração térmica linear, absorção de água, módulo de resistência à flexão, resistência à abrasão profunda, e porosidade das cerâmicas fabricadas em cada um dos processos produtivos citados.

1.2 Mineração das argilas

A matéria prima destinada à produção cerâmica possui um baixo valor unitário, daí a importância da proximidade da extração às indústrias consumidoras. Junta-se à isso a facilidade de desmonte, mão de obra próxima, estradas, energia elétrica, estéril sujeito ao descarte, etc. É importante lembrar que a máxima razão estéril/minério é um forte fator de exequibilidade de uma mina a céu aberto (Stangler, 2002).

As lavras na região do presente estudo estão implantadas em morros testemunhos das camadas horizontais da Bacia do Paraná geralmente com o nível de base do desmonte coincidente aos depósitos quaternários do entorno. Desta forma, a mineração vai alcançando progressivamente camadas mais elevadas e rocha mais inalterada dificultando o trabalho, promovendo assim que o avanço se dê pelas laterais do morro testemunho (Figura 1).



Figura 1 - Vista do local da extração mineral (seta) no morro testemunho com o nível de base coincidente aos depósitos quaternários (tracejado vermelho). Foto da mina próxima ao rio Jundiá, em Turvo/SC.

O avanço da mineração vai seguindo pelo decapeamento do nível superior de rocha alterada, descartado juntamente com as camadas de arenitos e concreções ferrosas.

O desmonte é mecânico e realizado em níveis, com a utilização de retroescavadeira ou trator de esteira com lâmina frontal e escarificador, sem a necessidade de explosivos. Posteriormente, é utilizado um britador de mandíbula para cominuição do material (Figura 2 e Figura 3).



Figura 2 - Trator de esteira de lâmina frontal e escarificador na traseira, o britador ao fundo da fotografia (seta) e o lote de material em descanso sob a lona amarela. Área de manuseio do material da mina de Turvo.

O material é depositado para sazonalização ou descanso, trata-se de estocar argilas ao ar livre para que as intempéries atuem sobre elas, modificando-as para seu posterior uso. O objetivo é a disponibilização do material para mudanças mineralógicas, físico-químicas ou em seu aspecto, além da estocagem em lotes, que devem apresentar homogeneidade composicional (Thomazella, 1998), (Figura 2 e Figura 3)

A mina de Turvo é explorada pela empresa Cerâmicas Eliane. A empresa tem sua unidade principal de fabricação de cerâmica estabelecida a 77 km de distância

ao norte no município de Cocal do Sul/SC, para onde é transportada e utilizada esta matéria prima.

A mina de Meleiro é explorada pela empresa Colorminas Colorífico & Mineração com a sede se localizada em Criciúma/SC a 38 km de distância da mina.

Na mineração possui boa infraestrutura de preparação do material para descanso (Figura 3).



Figura 3 - Área de manuseio do material com o britador e sob a lona o material em descanso da mina de Meleiro.

A região ainda possui várias outras minas de extração de argilas como a mina Santana no município de Ermo-SC, mais ao sul que em 2009 encerrou as atividades, era fornecedora também da Cerâmicas Eliane. No município de Meleiro, para noroeste encontram-se duas outras minas. Na margem da estrada que liga Meleiro a Turvo, na mesma latitude da mina de Turvo, mais a oeste, uma recente mineração pertencente à Mineração Comércio e Transporte de Minérios Cerâmicos Ltda.

1.3 Argilominerais

Os argilominerais são um dos grupos de minerais mais diversificados, possuem a forma placóide (alguns são fibrosos como a sepiolita e paligorsquita e também amorfo como o alofano), normalmente com dimensões pequenas $< 4 \mu\text{m}$ (tamanho argila) desta forma não são facilmente identificados através de propriedades físicas e óticas, sendo necessária a utilização de meios indiretos de observação sendo principalmente através de DRX (Guggenheim & Martin, 1995).

São filossilicatos, que possuem além do silício e oxigênio, grande quantidade de alumínio na sua composição. Estruturalmente tem arranjo bidimensional de forte ligação entre seus átomos formando folhas e na terceira direção a ligação é mais fraca entre as folhas compostas de tetraedros de oxigênio e silício (o silício pode ser substituído parcialmente por alumínio mais frequentemente ou ferro de valência três) e folhas de octaedros com cátions normalmente de alumínio, magnésio, ferro de valência dois ou três (podendo ocorrer outros como lítio, manganês, titânio etc.).

As camadas dos argilominerais são constituídas pelo empilhamento das folhas de tetraedros (T) e de octaedros (O) formando a unidade estrutural num ordenamento 1:1 ou T-O ou 2:1 ou T-O-T (Figura 4).

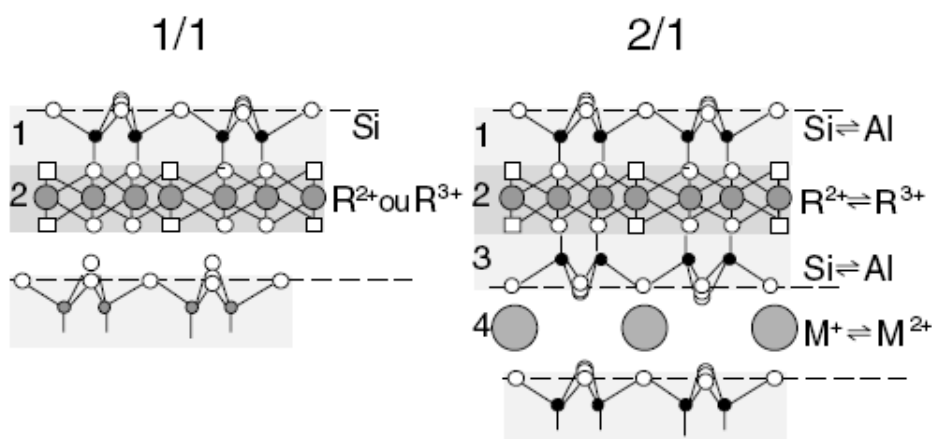


Figura 4 - Modelo das estruturas 1:1 e 2:1 (Meunier, 2005).

A menor unidade estrutural é composta de seis tetraedros e três octaedros que formam três sítios, que podem apresentar dois cátions de valência três (dioctaédrico, ficando um sítio vazio) ou três cátions de valência dois (trioctaédrico).

Quanto à classificação e composição química, podemos mencionar os principais grupos: As caolinitas T-O dioctaédricas de composição aluminosa subdividida em quatro polimorfos: caolinita, diquita, nacrita e haloisita. As serpentinas também T-O, mas trioctaédricas de composição magnésiana a ferrosa.

O grupo da illita é um argilomineral T-O-T, dioctaédrico com estrutura similar a mica potássica também apresentando o cátion de potássio entre as camadas dos tetraedros, mas com carga menor àquelas na fórmula unitária de $\approx -0,8$ a $-0,95$ (devido às substituições de Si por Al nos tetraedros), não é expansível, não colapsa quando aquecida a 500°C e possui a distância interplanar comum às micas de $\approx 10 \text{ \AA}$.

Dentro de um mesmo grupo haverá variação do posicionamento das camadas adjacentes possibilitando politipismo, decorrente do deslocamento das folhas do tetraedro em relação ao octaedro, em certas direções repetidamente, devido ao deslocamento lateral para arranjo das cargas e o desajuste das dimensões de ambos.

O grupo das esmectitas contém um grande número de espécies minerais, apresenta subgrupos se diferenciando umas das outras pela composição química e variação da carga, formando uma série contínua entre si. A deficiência de carga varia entre $\approx -0,2$ e $-0,6$. A distância interplanar da esmectita sódica é $\approx 12 \text{ \AA}$ e da Mg/Ca é $\approx 15 \text{ \AA}$. Este grupo tem a propriedade de ser expansível na presença de água e com a solvatação com etilenoglicol adquirem uma distância interplanar de $\approx 17 \text{ \AA}$. Colapsam quando aquecidas a 500°C para uma estrutura de $\approx 10 \text{ \AA}$.

As esmectitas podem ser dioctaédricas com cátions trivalentes no octaedro como a beidelita que possui alumínio predominante, e a nontronita com ferro predominante; quando o alumínio é parcialmente substituído por magnésio temos a montmorilonita. Esta apresenta uma variação composicional de montmorilonita sódica a cálcica e magnésiana, implicando em diferentes aplicações na indústria fina (Murray, 2001).

As esmectitas trioctaédricas contém cátions predominantemente divalentes de magnésio como as saponitas, ferro, manganês e lítio.

O grupo das vermiculitas podem ser di ou trioctaédricas com deficiência de carga de $\approx -0,6$ a $-0,8$ também expansíveis.

O grupo das cloritas são argilominerais T-O-T podemos também defini-las de T-O-T-O (2:1:1), pois o preenchimento ocorre por outra camada octaédrica (Figura 5) para compensar a deficiência de carga positiva.

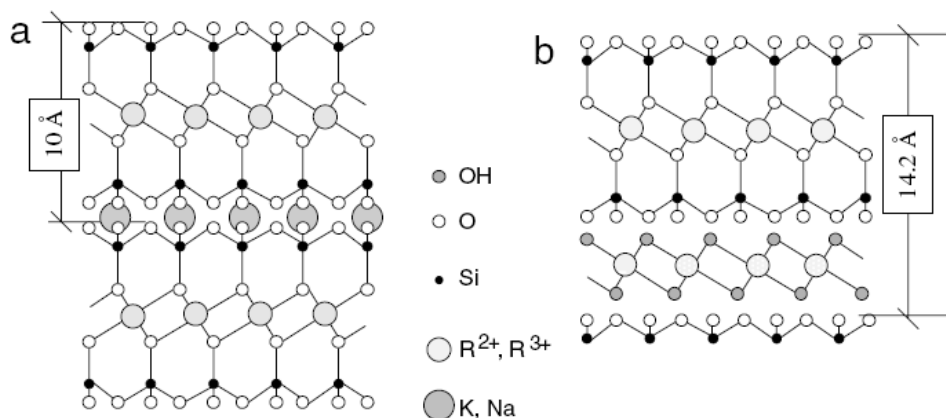


Figura 5 - Modelo da estrutura 2:1 em (a). Estrutura 2:1 ou 2:1:1 em (b) (Meunier, 2005).

O uso tecnológico das esmectitas está relacionado à ocupação dos espaços intercamadas no balanço de cargas, que ocorre juntamente aos cátions de Na, Ca, K e Mg comumente hidratados (Bergaya, 2006).

Os argilominerais comumente se apresentam interestratificados, que podem estar dispostos numa sequência lógica regular ou irregular (aleatória). Quando a regularidade se dá com a proporção igual dos dois componentes, na forma: ...a-b-a-b-a-b..., usamos a terminologia R=1 (Reichweite) e se o primeiro componente tiver influência até a terceira posição R=3, até a quarta posição R=4 e assim por diante. No caso de ocorrência aleatória dos argilominerais presentes R=0 (Reynolds, 1984) (Figura 6).

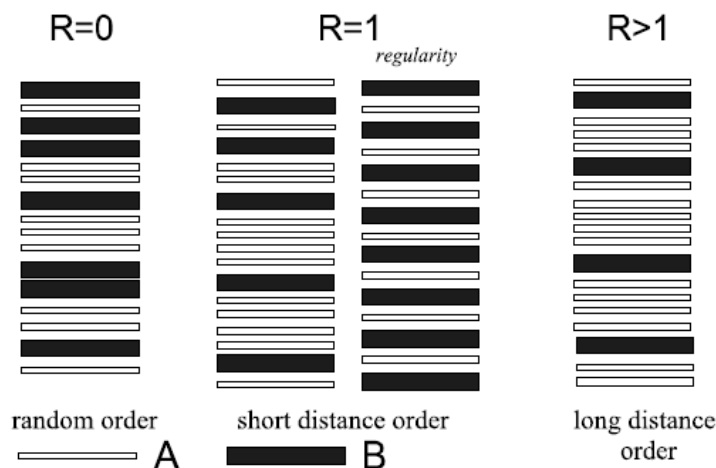


Figura 6 - Diagrama esquemático do ordenamento e regularidade de interestratificados tipo: R=0, R=1 e R>1 (Meunier, 2005).

O interestratificado de illita e esmectita (I/S) pode representar uma transição da esmectita para illita (ilitização da esmectita) relacionado ao aumento geotérmico no soterramento, proximidade a corpos ígneos intrusivos e disponibilidade de K em fluídos hidrotermais (Moore, 1997).

A identificação de interestratificado I/S, através da DRX, é realizada principalmente pela verificação do deslocamento obtido, na comparação das análises da fração argila nas condições natural e glicoladas (Figura 7).

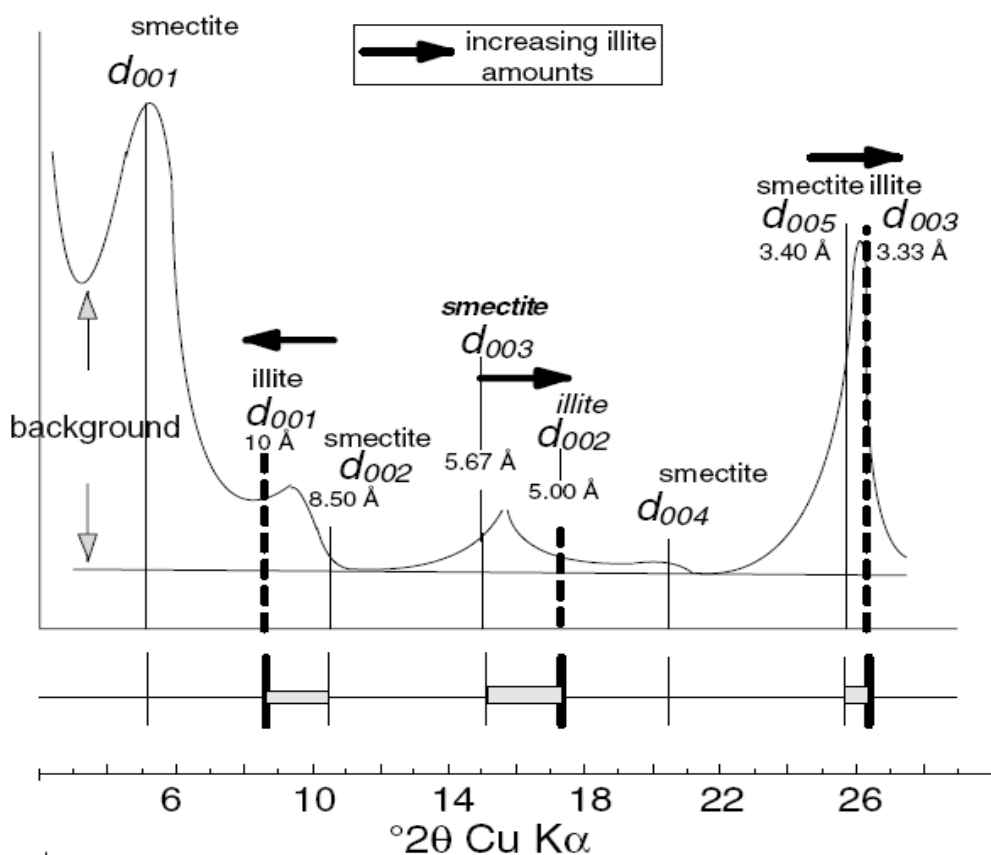


Figura 7 - Deslocamento dos picos, em difratograma na condição glicolada, de um argilomineral interestratificado I/S, causado pelo incremento do componente ílítico (Meunier, 2005).

1.4 Geologia da área

A Bacia do Paraná é constituída de uma sequência de rochas sedimentares e magmáticas sobre a plataforma sul-americana e abrange uma extensa área no Brasil, desde parte do estado de Goiás até o sul do Rio Grande do Sul (Figura 8).

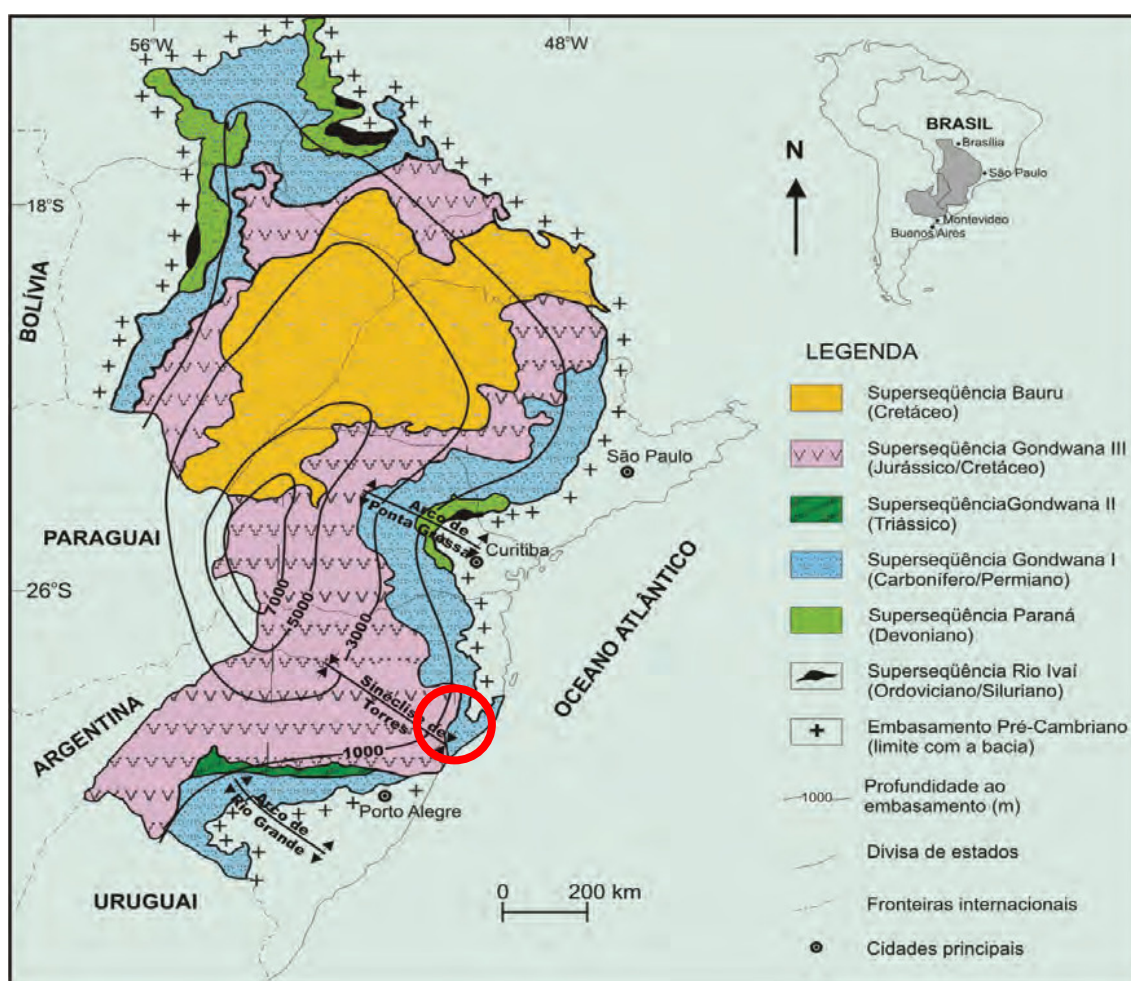


Figura 8 - Distribuição das superseqüências estratigráficas da Bacia do Paraná tendo em destaque do círculo vermelho a região do presente estudo (modificado de Milani, 1997).

Suas camadas têm sido classificadas por diversos pesquisadores. Principalmente a partir de White em 1908 com a definição do “Systema de Santa Catharina”, denominação empregada para agrupar os estratos compreendidos entre o Conglomerado de Orleans e as Eruptivas da Serra Geral, foi assinalado o início de um

dinâmico processo de definições que se prolonga até o presente, sendo o último grande trabalho de classificação de cunho litoestratigráfico realizado por Schneider *et al.* em 1974 (Figura 20).

Visto que os estratos e litotipos não possuem continuidade lateral em escala regional, trabalhos a partir da década de setenta têm empregado o conceito de sequência estratigráfica na descrição da Bacia do Paraná. As discontinuidades estratigráficas nessa nova abordagem permitem compreender a distribuição faciológica das rochas dentro do arcabouço cronoestratigráfico (Milani, maio 2007).

Na Supersequência Gondwana I, Sequência Carbonífera-Eotriássica (Milani, nov. 2007), ocorre o máximo de inundação na Bacia do Paraná, que corresponde ao topo da Formação Palermo com instalação de condições francamente marinhas.

Posteriormente, inicia-se a fase regressiva, culminando com o isolamento da bacia e a instalação de bacias hipersalinas com circulação restrita; nestas condições ocorreu a acumulação de carbonatos e evaporitos na porção norte e grande acúmulo de matéria orgânica na porção sul, representada pela litologia do Grupo Passa Dois, da Formação Irati, Formação Serra Alta, Formação Teresina e da Formação Rio do Rasto ao sul. Ao norte da Formação Irati e da Formação Corumbataí (Figura 9).

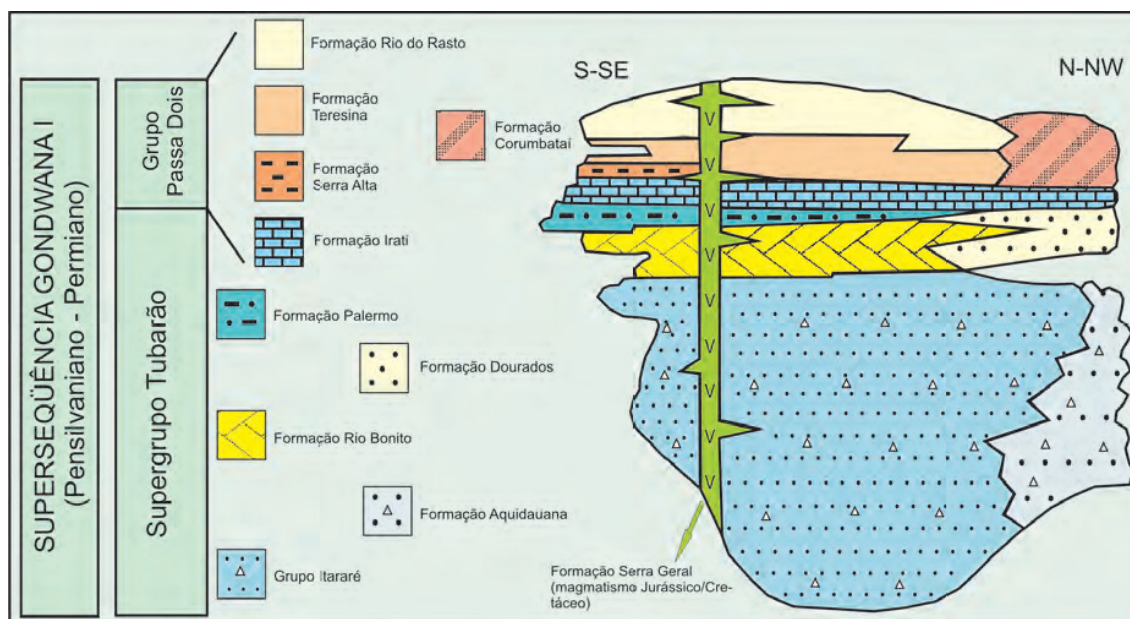


Figura 9 - Coluna estratigráfica da Supersequência Gondwana I com o posicionamento o Grupo Passa Dois (modificado de Milani, 1997).

A Formação Irati apresenta folhelhos, argilitos cinza escuro a folhelhos pretos betuminosos associados a calcários. No município de Irati no Paraná apresenta sequência de folhelhos com fósseis de mesosaurídeos.

A Formação Serra Alta é representada pela uma sequência de folhelhos, argilitos e siltitos cinza-escuro a pretos, laminados e físseis com fraturas conchoidais e lentes e concreções calcíferas, situados em contato concordante aos folhelhos da Formação Irati, à semelhança desta, é uma deposição em ambiente de águas calmas abaixo do nível das ondas. Na fase final desta sedimentação a água torna-se mais rasa e agitada, com a deposição de siltitos.

A Formação Teresina constitui-se de uma espessa sequência de argilitos cinza-escuro a esverdeados e pretos, intercalados ritmicamente com siltitos cinza e arenitos muito finos cinza-claro a róseos. São frequentes as intercalações de camadas ou lentes de calcário impuro, às vezes oolíticos e silicificados. A laminação flaser é característica desta formação. Subordinadamente ocorre laminação ondulada e diques de arenito.

A Formação Rio do Rastro foi definida por White (1908) a uma sucessão de camadas vermelhas nas cabeceiras do rio do Rastro, na Serra do Rio do Rastro, é formada por uma espessa sequência rítmica de arenitos, siltitos e folhelhos. Os siltitos e folhelhos possuem alta fissilidade, laminação fina planoparalela ou ondulada castanho-avermelhada. Os arenitos possuem granulação fina bem selecionada, cor cinza-avermelhado, aspecto maciço ou com estratificação acanalada de pequeno porte. As camadas possuem geometria tabular ou lenticular e a espessura das camadas de arenito é gradativamente maior da base para o topo da formação, representando a continentalização num mar interior com rios de ambientes semi-áridos progredindo seus deltas (Ghilardi & Simões, 2002).

A Formação Rio do Rastro pode ser dividida em dois membros: O Membro Serrinha, porção basal, onde há uma total predominância de camadas pelíticas que caracterizam um ambiente de transição entre dos depósitos de águas rasas da Formação Teresina. O Membro Morro Pelado, constituído de depósitos continentais de condições ambientais mais oxidantes, com seus sedimentos de lagos e planícies aluviais recobertos por dunas, onde aparecem lentes de arenitos finos avermelhados intercalados a siltitos e argilitos arroxeados.

A Formação Rio do Rastro apresenta localmente discordância erosiva com a sedimentação subjacente do arenito da Formação Botucatu.

Durante o final do Permiano até o Eotriássico, a subsidência desta bacia intracratônica permitiu a acumulação de espessos pacotes sedimentares de grande continuidade lateral, num ambiente de pouca perturbação tectônica, porém, podem ser encontradas dobras penecontemporâneas suaves, com espessamento das charneiras (Mancini et al, 2008).

A deposição da Supersequência Gondwana II é atualmente entendida como preenchimento de grabens devido à subsidência distensiva, localizada no Rio Grande do Sul (Milani, 2007).

Finalmente, a Supersequência Gondwana II é vinculada a campos tencionais e fenômenos endógenos causadores da separação do Gondwana e o grande e intenso vulcanismo fissural da Formação Serra Geral.

As áreas do entorno das minas encontram-se encobertas pelos depósitos de leques aluviais de idade relativamente recente, apesar disto, há evidências de que teriam sido afetados por eventos neotectônicos (Krebs, 2004).

Com relação ao comportamento estrutural das rochas gonduânicas, verifica-se que há um gradativo afundamento dos estratos rochosos de nordeste para sudoeste e com a abertura do Oceano Atlântico Sul, as antéclises limitantes da Província Sedimentar Meridional (Asunción a oeste, Alto Xingu a NNW, Paranaíba a NE, Ponta Grossa a SE e Rio Grande a Sul) foram reativadas e transformadas nos arcos homônimos. Com o rebaixamento do fundo da bacia, houve a formação de ampla depressão topográfica (Silva, 2003).

Na região ocorrem extensas falhas pertencentes ao sistema E-W e nordeste. Subordinadamente ocorrem falhas com direção próxima de N-S (Krebs, 2004).

1.5 Materiais e métodos

1.5.1 Mina de Turvo

A frente de lavra é uma mina de décadas, localizada a nordeste da sede do município de Turvo (Figura 19), próxima ao Rio Jundiá. O acesso a mina é realizado por estrada não asfaltada a partir da sede do município de Turvo. Enquadra-se na carta geográfica folha Turvo SH-22-X-A-VI-4 de escala 1:50.000, com coordenadas UTM de 6800901N e 634118E e altitude de 21m.

O afloramento apresenta rochas de cor predominantemente cinza escuro com variações para marrom, bastante litificado, com fraturamento subvertical métrico a dessimétrico (Figura 10). Salienta-se um nível horizontal contínuo e de espessura máxima de um centímetro de tom vermelho pela oxidação (Figura 11).



Figura 10 - Rocha cor cinza escuro com variações para marrom e fraturamento subvertical na mina de Turvo.



Figura 11 - Nível contínuo de oxidação numa matriz maciça da mina de Turvo.

Outro nível aparece bem ao topo no afloramento com aproximadamente 20 centímetros representando um possível tempestito (Figura 12). As rochas possuem fraturamento conchoidal centimétrico mais próximo a base e laminação planoparalela incipiente e concreções ferríferas para o topo (Figura 13).

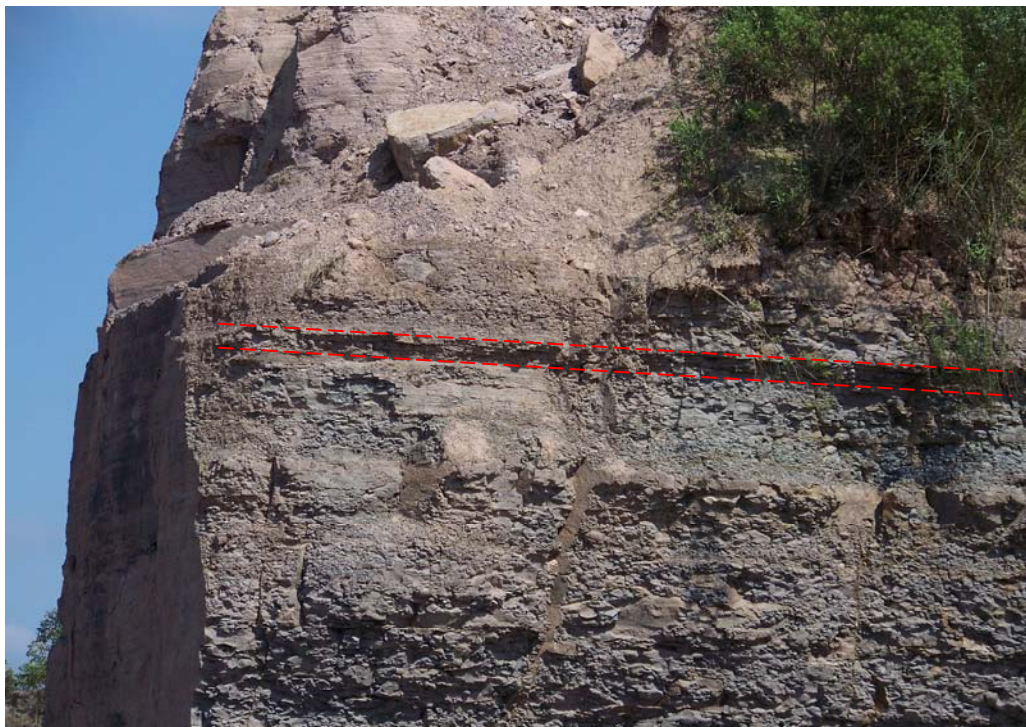


Figura 12 - Camada de tempestito na mina de Turvo.



Figura 13 - Fraturamento conchoidal e uma concreção da mina de Turvo.

Foram coletadas quatorze amostras (Tabela 2) da base até o topo, numa coluna de aproximadamente sete metros (Figura 14).



Figura 14 - Frente da lavra onde foram coletadas as 14 amostras nas diferentes alturas do perfil da mina de Turvo.

1.5.2 Mina de Meleiro

A mina está localizada a um quilômetro e meio de distância para sudeste do município de Meleiro, na localidade de Sanga Grande no Morro Cortado, em acesso secundário a direita da rodovia SC-499 no sentido Meleiro - Araranguá/SC.

O local corresponde a folha Turvo SH-22-X-A-VI-4 de escala 1:50.000, com coordenadas UTM 635400E e 6806316N.

O frente de lavra amostrada apresenta estratificação planoparalela milimétrica a dessimétrica com continuidade lateral, sem rejeitos aparentes (Figura 15).



Figura 15 - Frente da lavra da mina de Meleiro apresentando estratificação planoparalela milimétrica a dessimétrica subhorizontal.

A rocha é de cor cinza escuro com tons avermelhado da oxidação do constituinte ferrífero, possui fraturamento conchoidal e concreções ferríferas decimétricas em variadas alturas (Figura 16).



Figura 16 - Concreções centimétricas a métricas e fraturamento conchoidal na mina de Meleiro.

Localmente apresenta lentes de calcário preenchendo pequenas fraturas milimétricas, coletada para análise (Figura 17 e Figura 18).

Foram coletadas vinte e duas amostras para análise em linha vertical da base ao topo, com espaçamento aproximado de setenta centímetros (Figura 18 e Tabela 1).



Figura 17 - Localmente lentes milimétricas de calcário (escala cabo do martelo) na mina de Meleiro.



Figura 18 - Local onde foram retiradas as 22 amostras da base até o topo (no percurso da seta vermelha) e das lentes de calcário (seta verde) no perfil da mina de Meleiro.

Tabela 1 - Distribuição da litologia das amostras coletadas no perfil da mina de Meleiro.

Altura(m)	Descrição da rocha	Número de amostras
14,00 - 15,40	Arenito fino	3
0,10 - 13,30	Argilito com estratificação planoparalela	19

1.5.3 Preparação das Amostras para Análise

Para a caracterização mineralógica total semiquantitativa utilizou-se o método pó na análise de DRX, onde foram pulverizadas a 200 mesh, com utilização de almofariz e pistilo de ágata. Posteriormente foi depositado este material de forma a ficar sem orientação preferencial dos grãos em porta amostras específico para pó.

Para caracterização mineralógica específica da fração $< 4 \mu\text{m}$ e $< 2 \mu\text{m}$ (dos argilominerais) em DRX foram preparadas lâminas orientadas a partir de desagregação das amostras no agitador orbital em meio líquido, durante 24 horas, posteriormente em ultra-som de ponteira por 5 minutos.

Após a desagregação, foi feito o fracionamento granulométrico das amostras em solução líquida, com temperatura estabilizada para controlar a viscosidade, foi acrescentado defloculante hexametáfosfato de sódio e, de acordo com a planilha eletrônica baseada na *Lei de Stokes*, calculou-se o respectivo tempo de decantação da fração $< 4 \mu\text{m}$ e $< 2 \mu\text{m}$.

Com as frações separadas ainda em meio aquoso (água deionizada), foram concentradas, pipetadas e depositadas em duas lâminas de vidro, onde secaram lentamente na temperatura ambiente, fazendo com que as lamelas dos argilominerais fiquem preferencialmente orientadas com o eixo “c” na vertical. Uma lâmina da amostra é analisada seca/natural e posteriormente glicolada e a outra lâmina é calcinada a 550°C durante duas horas em uma mufla elétrica.

Para determinação do parâmetro b foi realizado a partir da fração $< 0,5 \mu\text{m}$ obtida também pela metodologia acima, porém, utilizando-se um tempo maior na decantação, e pulverizando do material depois de seco. Este pó foi analisado por DRX (pico hkl = 060) na forma sem orientação.

Lâminas delgadas foram confeccionadas, pelo Instituto de Geociências, para microscopia ótica (MO), foi necessário a utilização de resina epóxi para coesão do material, apesar das amostras apresentarem-se bastante litificadas.

Fragmentos de amostras com diâmetro aproximado de meio centímetro, foram colados em “stub” de alumínio e metalizados com carbono e ouro em um

metalizador do Centro de Microscopia Eletrônica (CEM) da UFRGS, para análise no MEV, através de imagens de elétrons secundários.

Uma lâmina delgada foi polida e metalizada para microanálises químicas por WDS através de microsonda eletrônica (MSE).

Para as análises químicas das amostras de rocha total e na fração $< 4 \mu\text{m}$, por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), foi confeccionado pastilhas fundidas a partir de um grama da rocha pulverizada e calcinada, misturada com sete gramas de tetraborato de lítio, depois aquecida a 1200°C em cadinho de platina por 5 minutos e resfriada rapidamente. A calcinação é realizada a 1000°C por duas horas para eliminação dos voláteis.

1.5.4 Métodos

1.5.4.1 Microscopia óptica

As lâminas delgadas foram examinadas em um microscópio ótico polarizador equipado com câmara fotográfica digital. Desta forma, foi possível a observação das relações texturais, a cronologia das fases minerais, a identificação das microestruturas e a determinação modal dos constituintes detríticos, diagenéticos e da porosidade.

1.5.4.2 Difratomia de raios X (DRX)

As análises por DRX foram realizadas com o difratômetro Siemens BRUKER-AXS D5000 do Centro de Estudos de Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências (IG), equipado com goniômetro Θ - Θ .

Na emissão de raios X é utilizado ânodo de cobre gerando radiação $\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$, utilizando-se uma voltagem de 40 kV e intensidade de corrente de 25 mA. As fendas são de 1° e 1° (divergente e de antiespalhamento) e de dois milímetros no monocromador de grafite. A temperatura ambiente é de 25°C .

Foi utilizada a faixa de 2° até 75° nas análises no método pó e 2° até 28° nas frações $< 10 \mu\text{m}$ quando lâminas orientadas. O passo (step) foi de $0,02^\circ$ e o tempo de amostragem (step time) foi de um segundo nas amostras método pó, dois segundos nas análises das lâminas orientadas naturais e calcinadas e 2,5 segundos nas lâminas orientadas glicoladas.

Para interpretação dos difratogramas obtidos do DRX foi utilizado o programa DIFFRAC-PLUS®.

Através desta técnica, foram identificadas e caracterizadas as fases minerais presentes (quando maiores que 3 a 5% do total), possibilitando uma análise mineralógica semiquantitativa das amostras na fração total pelo método pó, através da comparação das fases presentes aos padrões mantidos pelo JCPDS-ICDD PDF-2 Release_1999 (Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Centre for Diffraction Data) U.S.A.

Nos difratogramas obtidos nas análises das lâminas orientadas das frações, identificam-se os argilominerais presentes através faces *00l*, salientadas, quando saturadas em etilenoglicol, tornando possível a identificação dos argilominerais expansivos pelo deslocamento do pico 001; nos difratogramas das lâminas calcinadas são identificados pela ausência do pico 001 daqueles argilominerais que sofreram colapso de sua estrutura (Alves, 1987).

1.5.4.3 Fluorescência de Raios X (FRX)

Análises químicas por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) foram realizadas no CPGq/IG/UFRGS (Rigaku RIX 2000 automático) em amostras pulverizadas da rocha total e na fração < 4 µm através da confecção de pastilhas fundidas. Foi misturado um grama da amostra com sete gramas de tetraborato de lítio que são aquecidas a 1200°C em cadinho de platina por 5 minutos e resfriada rapidamente. As pastilhas são bombardeadas com raios X primários fazendo que a amostra emita raios X secundários de comprimentos de onda específicos onde o espectro corresponde ao elemento químico. Os resultados são apresentados na forma de percentagem de massa de seus óxidos que somados a perda ao fogo deve totalizar entre 98% a 102%. A calcinação acontece a 1000°C por duas horas para eliminação dos voláteis como o CO₂, H₂O, S, Cl e F.

1.5.4.4 Microscópio eletrônico de varredura (MEV)

O equipamento para microscopia eletrônica é um modelo JEOL JSM-6060 do CME da UFRGS, com voltagem de aceleração de 0,3 a 30 kV (foi utilizado uma voltagem de 10 kV), resolução para imagem de ponto: 3,5 nm, faixa de magnificação de 18 X até 300.000 X e com estágio goniométrico motorizado de 5 eixos, eucêntrico em todas as posições, inclinação de amostras de -10° a $+90^{\circ}$ e rotação de 360° .

As análises através de imagens de elétrons secundários (SEM) permitiram obter imagens tridimensionais aparentes dos fragmentos das amostras e, a partir da forma cristalográfica, foram identificados os minerais e a constatação das suas dimensões médias, possibilitando averiguar a relação de crescimento de argilominerais sobre grãos detríticos.

1.5.4.5 Microsonda Eletrônica (MSE)

Foi utilizada uma microsonda eletrônica (MSE) com WDS, marca Cameca SX50 da Universidade Pierre e Marie Curie, França. As condições analíticas foram de 15 kV e 10 nA, diâmetro do feixe de 1 a 5 μm , tempo por ponto 10 segundos para realização de microanálises químicas pontuais em uma lâmina delgada polida e metalizada. A partir destas análises foram selecionadas e são apresentadas aquelas que atingiram os argilominerais esmectíticos.

1.6 Referências

- Alves, D. B. **Desenvolvimento de Metodologia de Preparação de Amostras para Análise Difratométrica de Argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobrás.** Rio de Janeiro, Brasil, 1(2): 157-175. 1987.
- Bergaya, F. Theng, B. K. G. and Lagaly, G. **Hanbook of Clay Science.** Amsterdam, Netherlands, 1197p. 2006.
- Bragança, S. R.; Bergmann, C. P.; Aspectos Teóricos e Práticos sobre a Resistência Mecânica de Porcelanas; **Cerâmica 50**, 145-155; 2004
- Brasil, IBGE, Carta do Brasil-Escala 1:50.000, **Folha Turvo SH-22-X-A-VI-4.** Brasil. 1976.
- Brindley, G. W. & Brown G. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification.** London, 495p. 1980.
- Carneiro, B. S.; Angélica, R. S.; Scheller, t.; Castro, E. A. S.; Neves, R. F.; Caracterização Mineralógica e Geoquímica e estudo das transformações de Fase do Caulim Duro na Região do Rio Capim, Pará. Pará, Brasil, **Cerâmica 49**, 237-244. 2003.
- Costa, M. N. S.; **Diagênese e Alteração Hidrotermal em Rochas Sedimentares da Formação Corumbataí, Mina Granusso, Cordeirópolis/SP; Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional da UNESP, Rio Claro, 2006.**
- CPRM. Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina n1; **Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina**, Escala: 1:500.000;
- CPRM. **Mapa Geodiversidade do Brasil**; Escala: 1:2.500.000. Acessado na Internet em novembro de 2007 no endereço:
<http://mapoteca.cprm.gov.Br/programas/template.php>
- Curto, K. A. S. **Produção de Cerâmica Porosa a Partir de Argila e Resíduos.** Florianópolis, Brasil, Engenharia de Materiais/UFSC. 2003.
- Dondi, M.; Technological and compositional requirements of clay minerals for ceramic tiles; In: **12th International Clay Conference**, Bahia Blanca - Argentina, 2001.
- Formoso, M. L. L.; Ramos, A. N.; Alves, D. B.; Clay Mineralogy of the Gondwanic Sedimentary Rocks of the Paraná basin, South America; In: **10Th International Clay Conference**; Adelaide, Austrália; 421-428, 1993

- Formoso, M. L. L. & Ramos, A. N.; Argilominerais e Rochas Sedimentares da Bacia do Paraná; **Exploração do Petróleo publicação 9**; CEMPES, Rio de Janeiro, 1975.
- Formoso, M. L. L. Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas a Geologia. In. **XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Boletim n 4**. Camburiu-SC 111p. 1980.
- Gorini, A. P. F. & Correa, A. R., **Cerâmica para Revestimentos**, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 10, p. 201-252, set. 1999.
- Ghilardi, R. P. & Simões, M. G.; Foram os Bivalves do Grupo Passa Dois Neopermiano, Invertebrados Tipicamente Dulcícolas? Porto Alegre, Brasil, **Revistas em Geociências, UFRGS, 29(1): 91-99**. 2002.
- Guggenheim, S. & Martim, R. T.; Definition of Clay end Clay Mineral: Joint Report of the AIPEA and CMS Nomenclature Committees. **Clay Minerals, 30: 257-259**; 1995.
- Holz, M., Kuchle, J.; A Formação Rio Bonito no Sul da Bacia do Paraná. Porto Alegre, Brasil, **Estudo de Bacias, ILEA/UFRGS**; 2003.
- Ibrahim, L.; Argilominerais da Porção Basal da Formação Corumbataí (Bacia do Paraná) na Região de Rio Claro/SP; **Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional da UNESP**, Rio Claro, 2008
- Lanson, B. & Bouchet, A.; Indentification des Minéraux Argileux, **Bulletin of the Exploration-Production Research Centers of Elf Aquitaine, V 19, n 1**, 100-114, 1995
- Krebs, A. S. J. **Contribuição ao Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. Tese submetida ao Centro de Filosofia e Ciências Humanas da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- Mancini, F., Rostirolla, S. P., Silveira, P. V., Vesely, Cândido, A. G., Freitas, R. C., Trzaskos, B., **Atenuação da Deformação Neo-Permiana nas Bacias Gondwânicas da Porção Sul da América Do Sul**; 2008.
- Menegazzo, A. P. Lemos, F. L. N. Paschoal, J. O. A.; Grés Porcelanato - Parte I : Uma Abordagem Técnica e Mercadológica, **Cerâmica Informação, nº 14**, janeiro 2001.
- Menezes, R. R.; Souto, P. M.; Santana, L. N. L.; Neves, G. A.; Kiminami, R. H. G. A.; Ferreira, H. C.; Argilas Bentoníticas de Cubati, Caracterização Física-mineralógica.; **Cerâmica 55**, 163-169, 2009.
- Milani, E. J., Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental. 2 v. II. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências**. Porto Alegre, 1997

- Milani, E. J., França, A. B., Medeiros, R. A., Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná, faixa oriental de afloramentos, Estado do Paraná, **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 135-162; maio 2007
- Milani, E. J., Melo, J. H. G., Souza, P. A. Fernandes, L. A., França, A. B., Bacia do Paraná, **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287; nov. 2007.
- Meunier, A.; **Clays**; Springer Berlin Heidelberg New York; 2005
- Meunier, A. & Velde, B.; **Illite: Origins, Evolution and Metamorphism**. Berlin, Germany, 287p. 2004.
- Moore, D. M. & Reynolds, Jr. R. C.; **X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals**. New York, U.S.A., 378p.; 1997.
- Mota, F. M. M.; Cabral Jr, M.; Tanno, L. C.; **Panorama das matérias-primas Utilizadas na indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo**. Rio Claro, SP, Unesp.
- Murray, H. H. Clay in Industry. In: **12th International Clay Conference**; Bahia Blanca - Argentina, 2001.
- Orlandi Filho, V. Krebs, A. S. J. Giffoni, L. E.; **Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC - Seção Geológica Clássica do Continente Gondwana no Brasil**. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; Campos, D. A.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S. (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**; 2006; Publicado na Internet em 22/12/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio024/sitio024.pdf>
- Reis, E., *et al.*; Levantamento da Situação e das Carências Tecnológicas dos Minerais Industriais Brasileiros., **Relatório Preparado para o Ministério da Ciência e Tecnologia**; Brasil; 2001.
- Rieder M. e al; Nomenclature of the Micas; **The Canadian Mineralogist**; vol 36; x-xx; 1998
- Sampaio, J. A.; Balzar C. A. M.; Menezes, C. T. B. de; Geremias, M. L.; Rosa, F. G.; Cerâmica-Eliane Revestimentos Cerâmicos S.A.-SC; **Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil**, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, Brasil; dezembro 2002
- Sant`Anna, L. G.; Clauer, N.; Cordani, U. G.; Riccomini, C.; Velázquez, V. F.; Liewig, N.; Origin and migration timing of Hydrothermal fluids in Sedimentary Rocks of the Paraná Basin, South America; **Chemical Geology** 230; 1-21; 2006.
- Santos, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. São Paulo, Brasil, Editora Edgar Blücher, 1090p. 1992.

- Schneider, R. L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. F., Nogueira, A. A.; Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, **28**, Anais, p.41-65; 1974.
- Silva, A. J. P., Lopes, R. C., Vasconcelos, A. M., Bahia, R. B. C., Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores, **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil 55**, Bizzi, L. A. Schobbenhaus, C. Vidotti R. M. Gonçalves, J. H. (eds.) CPRM, Brasília, 2003.
- Silva, C. P. *et al.* **Azulejos Históricos Europeus Produzidos no Final do Século XIX: Caracterização Mineralógica e Química de Biscoitos**. Belém, Pará, UFPA.
- Silva, M. A. S. & Leites, S. R. **Relatório Folha SH.22-X-B** escala 1:250.000. CRICIÚMA Estado de Santa Catarina. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Brasília. 82p. 2000.
- Srodon, J. & Eberl, D. D.; Illite; In Bailey, S. W., Editor, **Reviews in Mineralogy**, **volume 13**, Mineralogical Society of America, Washington DC, USA, 495-572. 1984.
- Stangler, R. L.; Costa, J. F. C. L.; Koppe, J. C., Quantificação de riscos na avaliação estéril/minério. Rem: **Rev. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 55, n. 3; set 2002.
- Thomazella, H.R.; Zanardo, A.; Valarelli, J.V.; Moreno, M.M.T.; Aspectos Geoquímicos do Sazonamento (Descanso) das Argilas para Cerâmica Vermelha na Região de Rio Claro-Sp; **XI Congresso Brasileiro de Geologia-Geologia e Desenvolvimento**; SBG; Belo Horizonte; Brasil; 1998
- Worden, R. H. & Morad, S.; Clay minerals in Sandstones: Controls of Formation, Distribution and Evolution; **Inst. Assoc. Sedimentol. Spac. Publ. 34**, UK; 3-41, 2003

2 ARTIGO CIENTÍFICO

Caracterização dos Argilominerais em Matéria Prima Cerâmica, da Formação Rio do Rasto-Bacia do Paraná, no Município de Turvo-SC

(Characterization of Clay Minerals used in the Ceramic Industry, from Rio do Rasto Formation-Paraná Basin, Exploitation in Turvo City-SC)

J. A. Costa, A. S. Mexias, M. E. B. Gomes

Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre-RS, CEP 91501-970

jorge.costa@ufrgs.br, andre.mexias@ufrgs.br, marcia.gomes@ufrgs.br

2.1 Resumo

No sudeste de Santa Catarina existem inúmeras minas de exploração de argilas destinadas à indústria cerâmica da região. Para o conhecimento desta matéria prima foi realizada a caracterização em detalhe de uma frente de lavra em atividade no município de Turvo-SC. A exploração é realizada em terrenos sedimentares da Formação Rio do Rasto (Permiano Superior) da Bacia do Paraná que afloram como morros testemunho. Foram coletadas quatorze amostras representativas dos níveis desta mina composta de argilitos com intercalação de siltitos de pequena espessura. As amostras foram analisadas por difratometria de raios X pelo método do pó na rocha total e na fração < 4 μm . A composição química foi determinada por fluorescência de raios X. Foram realizadas observações ao microscópio eletrônico de varredura (elétrons secundários) de fragmentos das amostras. Foram também realizados estudos petrográficos bem como microanálises por microsonda eletrônica de lâminas delgadas. Os resultados mostraram uma grande variação vertical da mineralogia, tendo sido identificados três níveis diferentes. Até 2,00 m há predomínio de esmectita. Entre 2,00 m e 5,50 m a esmectita é o principal argilomineral, mas com quantidade significativa de illita/mica e acima de 5,50 m onde há grande aumento do feldspato potássico e mica detritica. Estudos de detalhe por difratometria de raios X (determinação do parâmetro b) e microanálises WDS por microsonda eletrônica permitiram identificar como montmorilonita a espécie argilomineral do grupo das esmectitas.

Palavras-chave: indústria cerâmica, argilominerais, caracterização mineralógica.

2.2 Abstract

In the southeastern part of Santa Catarina state many mines of clays used as raw material for the ceramic industry are found. A detail study of this material was developed in a mine in activity. The exploitation of clays is held in sedimentary rocks of Rio do Rasto Formation (Upper Permian) in the Paraná Basin. The outcrops are in hills testimonies. Fourteen samples were collected and represents the levels of this mine which consisted of argillites with intercalation of slim siltite layer. These samples were analyzed by X-ray diffraction (XRD) using the powder method and in the fraction $< 4 \mu\text{m}$. The chemical composition was determined by X-ray fluorescence spectrometer. Petrographic observations in thin section were also performed. Scanning electron microscope images was obtained in samples fragments by secondary electron method. Electron microprobe microanalysis was performed in one thin section. The results showed large vertical variation in the mineralogy and it has been identified three different levels. Up to 2.00 m there is a predominance of smectite. Between 5.50 m 2.00 m the smectite is the main clay mineral but with significant amounts of illite/mica and above 5.50 m occurs large increase in K-feldspar and detrital mica. Studies in detail by X-ray diffraction (determination of the b-parameter) and microanalysis by wavelength dispersive X-ray spectroscopy have identified montmorillonite clay mineral as the smectite mineral specie.

Keywords: ceramic industry, clay minerals, mineralogical characterization.

2.3 Introdução

Atualmente a região sudeste do estado de Santa Catarina é um grande pólo produtor de cerâmicas de qualidade, com sofisticada tecnologia de produção (Gorini & Correa, 1999).

Cerâmicas obtidas pelo processo de moagem a úmido são os artigos fabricados através da mistura de materiais divididos basicamente em plastificantes, estabilizantes e fundentes que numa proporção desejável são moídos e homogeneizados em moinhos de bola, em meio aquoso, posteriormente passando pela secagem e granulação da massa em um atomizador, moldagem e secagem das peças para posterior queima.

As fábricas de cerâmicas possuem procedimentos de rotina deste processo de produção bastante moderno e automatizado. Na extração das matérias primas, porém, tem se utilizado de métodos de pesquisa muitas vezes acanhados e sem controle sistemático onde são comuns os procedimentos simples e empíricos. Ocorrendo falha no processo industrial, este pára, sendo então realizadas modificações nas quantidades das diferentes matérias primas da mistura em corpos de prova para verificação do comportamento físico, e a partir deste diagnóstico é reiniciado a produção.

Como se tratam de matérias primas naturais, extraídas em grande quantidade e que apresentam variações mineralógicas importantes, podem trazer como consequência o comprometimento das características físicas das cerâmicas produzidas.

Este processo tem levado a perdas enormes, passando a constituir também um problema ambiental.

Com a motivação do aumento do potencial da atividade mineira pelo conhecimento das frentes de lavras, foram aplicadas técnicas para a caracterização mineralógica em detalhe de uma frente de lavra ativa da região.

A mina se localiza em morro testemunho de depósitos sedimentares, que se projetam na planície costeira no sudeste catarinense próxima ao Rio Jundiá, no município de Turvo-SC (Figura 19). Enquadra-se na carta geográfica folha Turvo SH-

22-X-A-VI-4 (esc. 1/50.000) com coordenadas UTM de 6800901N e 634118E com altitude da base da mina, coincidente à planície circundante, de ≈ 21 m.

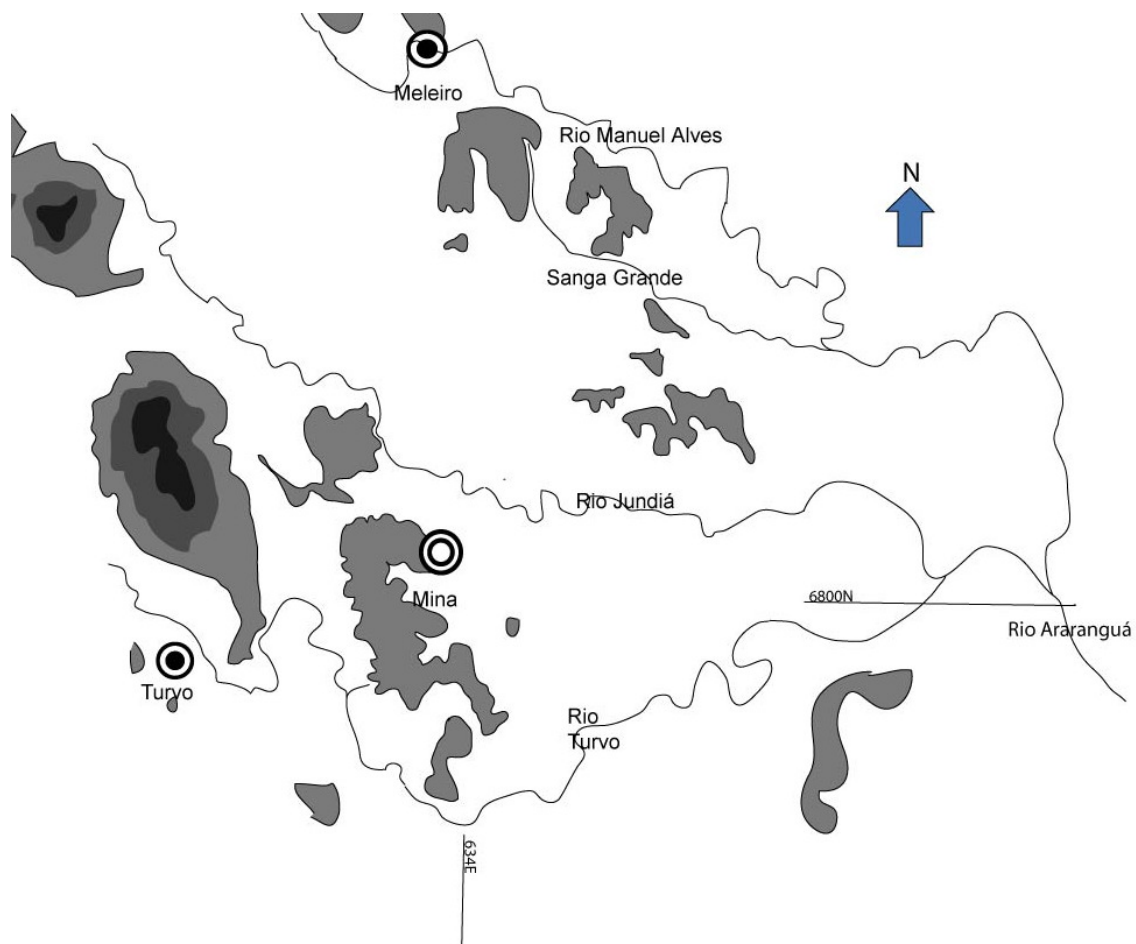


Figura 19 - Mapa geológico simplificado do local da mina de Turvo. Legenda: em cinza claro formação Rio do Rasto, em cinza escuro Formação Botucatu, em preto Formação Serra Geral e em branco os depósitos do Quaternário (modificado da CPRM, 2007).

2.4 Aspectos Geológicos

Geologicamente estes depósitos posicionam-se na Formação Rio do Rasto no Grupo Passa Dois, na Bacia do Paraná do Permiano Superior, conforme coluna litoestratigráfica elaborada por Schneider *et al.* (Figura 20).

	Rio Grande do Sul	Santa Catarina	Paraná	São Paulo	
	Barreiras, Terraços Aluviões	Barreiras, Terraços Aluviões	Qha	Qha	
	Associação litológica primária	Associação litológica primária	TQi	TQi Fm. Rio Claro	
Gr. Bauru				Fm. Marília	
Grupo São Bento	Fm. Serra Geral				
	Fm. Botucatu				
	Mb. Sta. Maria		Fm. Pirambóia		
Grupo Passa Dois	Fm. Rio do Rasto	Mb. Morro Pelado	Fm. Rio do Rasto	Mb. Morro Pelado	Fm. Rio do Rasto
		Mb. Serrinha		Mb. Serrinha	
				Mb. Morro Pelado	Mb. Serrinha
					Fm. Corumbataí
	Fm. Teresina	Fm. Est. Nova	Fm. Teresina		
	Fm. Serra Alta		Fm. Serra Alta		
	Fm. Irati		Mb. Assistência		
			Mb. Taquaral		

Figura 20 - Coluna litoestratigráfica parcial da Bacia do Paraná (Schneider *et al.*, 1974).

O Grupo Passa Dois compreende as Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. São depósitos de sedimentos de origem dos granitóides que compunham os altos regionais num mar interior com vários pulsos de sequência progradação.

A Formação Rio do Rasto é formada por uma espessa sequência rítmica de arenitos, siltitos e folhelhos. Na porção basal, há uma total predominância de camadas pelíticas. Os siltitos e folhelhos possuem alta fissilidade, laminação fina plano-paralela ou ondulada castanho-avermelhada. Os arenitos possuem granulação fina bem selecionada, cor cinza-avermelhado, aspecto maciço ou com estratificação acanalada, de pequeno porte. Pode apresentar intercalações de camadas ou lentes de calcário. As

camadas possuem geometria tabular ou lenticular e a espessura das camadas de arenito é gradativamente maior da base para o topo da formação (Schneider *et al.*, 1974).

A rocha do presente estudo é um pacote composto de folhelho com intercalações de siltito, apresenta-se bastante litificada, possui estrutura maciça com fraturamento conchoidal centimétrico mais próximo à base e laminação plano paralela incipiente para o topo, apresenta também finas camadas oxidadas e concreções ferríferas centimétricas. No topo apresenta camada com 25 centímetros de tempestito e acima da área onde foram coletadas as amostras aparece uma camada de arenito fino de aproximadamente 80 centímetros (estéril). A estrutura do pacote rochoso é subhorizontal, com continuidade lateral e sem movimentação tectônica verificável.

2.5 Materiais e Métodos

Foram coletadas quatorze amostras na mina da base até o topo numa coluna vertical de aproximadamente sete metros com uma distância de meio metro, em média, entre cada amostra da seguinte forma; quatro amostras do argilito maciço, uma amostra numa lente de dez centímetros de espessura de siltito bastante poroso, três amostras de argilito maciço, uma amostra do argilito maciço que incorpora uma lente de oxidação de um centímetro, três amostras de argilito maciço com fraturas subverticais, uma amostra do tempestito e uma amostra de argilito de estratificação plana paralela milimétrica a centimétrica.

A microscopia ótica (MO) foi realizada em lâminas delgadas de duas amostras selecionadas do argilito e do siltito. A confecção das lâminas foi executada no IG/UFRGS com a utilização de resina para possibilitar o corte da rocha. Este estudo possibilitou a observação das relações texturais, dimensões e cronologia das fases minerais, identificação das microestruturas dos constituintes detríticos e diagenéticos. Foi utilizado microscópio ótico com câmera fotográfica digital acoplada.

Para a caracterização mineralógica da rocha total pelo método do pó nas análises por difratometria de raios X (DRX), as amostras foram pulverizadas a 200 mesh e depositadas no porta-amostra de forma a ficar sem orientação preferencial dos grãos. Foi utilizada a faixa de 2° até 75° . O passo (step) foi de $0,02^\circ$ e o tempo de amostragem (step time) foi de um segundo por passo.

Para a caracterização mineralógica específica da fração $< 4 \mu\text{m}$ por DRX, foram preparadas lâminas orientadas a partir da desagregação das amostras no desagregador orbital em meio líquido (água deionizada) durante 24 horas e posteriormente em ultra-som de ponteira por 5 minutos. Posteriormente foi realizado o fracionamento granulométrico das amostras por decantação em água deionizada, com temperatura estabilizada para controlar a viscosidade. Neste processo foi acrescentado o defloculante hexametáfosfato de sódio e, de acordo com a Lei de Stokes, calculou-se o respectivo tempo de decantação.

O material em suspensão (fração $< 4 \mu\text{m}$) foi concentrado, pipetado e depositado em lâminas de vidro (porta-amostra) onde secaram lentamente na

temperatura ambiente, fazendo com que as lamelas dos argilominerais ficassem preferencialmente orientadas com o eixo c ortogonal à lâmina. A lâmina de cada amostra foi analisada na condição natural, saturada com etileno-glicol (glicolada) e aquecida a 550°C durante duas horas (calcinação). Foi utilizada a faixa de 2° até 28°. O passo (step) foi de 0,02° e o tempo de amostragem (step time) foi 2 segundos nas análises das lâminas orientadas naturais e calcinadas e 2,5 segundos nas lâminas orientadas glicoladas (Alves, 1987).

Dos difratogramas obtidos foi calculada a proporção das fases minerais presentes pela área do pico principal de cada fase mineral identificada, a exceção do quartzo onde se utilizou o segundo pico mais intenso $d \approx 4,26 \text{ \AA}$, para a avaliação semiquantitativa da mineralogia da rocha total e da mineralogia específica da fração < 4 μm .

A determinação do parâmetro b foi possível a partir da análise por DRX (pico hkl = 060) da fração < 0,5 μm obtido também pela metodologia acima utilizando-se um tempo maior para decantação. O material em suspensão depois de concentrado e seco foi pulverizado e analisado de forma não orientada nas condições de passo (step) de 0,02° e o tempo de amostragem (step time) de 10 segundos por passo.

As análises por DRX foram realizadas com o difratômetro Siemens Bruker-AXS D5000 do Centro de Estudos de Petrologia e Geoquímica (CPGq) do IG/UFRGS, equipado com goniômetro $\theta - \theta$. Na emissão de raios X é utilizado ânodo de cobre gerando radiação $\text{CuK}\alpha$, voltagem de 40 kV e intensidade de corrente de 25 mA.

Análises químicas por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) foram realizadas no CPGq/IG/UFRGS (Rigaku RIX 2000 automático) em amostras pulverizadas da rocha total e na fração < 4 μm através da confecção de pastilhas fundidas. Foi misturado um grama da amostra com sete gramas de tetraborato de lítio que são aquecidas a 1200°C em cadinho de platina por 5 minutos e resfriada rapidamente. As pastilhas são bombardeadas com raios X primários fazendo que a amostra emita raios X secundários de comprimentos de onda específicos onde o espectro corresponde ao elemento químico. Os resultados são apresentados na forma de percentagem de massa de seus óxidos que somados a perda ao fogo deve totalizar entre 98% a 102%. A calcinação acontece a 1000°C por duas horas para eliminação dos voláteis como o CO_2 , H_2O , S, Cl e F.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Jeol JSM-6060 do Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS com voltagem de 10 kV, resolução para

imagem de ponto de 3,5 nm, faixa de magnificação de 18 X até 300.000 X foi utilizado para obtenção de imagens de elétrons secundários dos fragmentos de cinco amostras representativas tendo sido as mesmas metalizados com carbono e ouro. As análises permitiram obter imagens tridimensionais aparentes e a partir da forma foram identificados os minerais e a verificação das dimensões médias. Foi possível também observar a relação de crescimento de argilominerais nos poros e sobre grãos detríticos.

Foi utilizada uma microsonda eletrônica (MSE) com WDS, marca Cameca SX50 da Universidade Pierre e Marie Curie, França. As condições analíticas foram de 15 kV, 10 nA, diâmetro do feixe de 5 μm , tempo por ponto 10 segundos para realização de microanálises químicas pontuais em uma lâmina delgada polida e metalizada. A partir destas análises foram selecionadas e são apresentadas aquelas que atingiram os argilominerais esmectíticos.

2.6 Resultados e Discussão

As amostras das rochas da mina foram coletadas verticalmente até uma altura próxima a sete metros e classificadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição das amostras coletadas no perfil da mina de Turvo.

Altura (m)	Descrição da rocha.
6,60	Argilito com estratificação plano paralela.
6,00	Tempestito com espessura de 25 cm.
5,45	Argilito maciço.
5,05	Argilito maciço.
4,65	Argilito maciço.
4,25	Argilito maciço com nível oxidado de 1 cm de espessura.
3,75	Argilito maciço.
3,25	Argilito maciço.
2,75	Argilito maciço.
2,20	Lente de siltito poroso de 10 cm de espessura
1,65	Argilito maciço.
1,15	Argilito maciço.
0,65	Argilito maciço.
0,15	Argilito maciço.

Foi identificado por MO grande quantidade de minerais detríticos numa matriz predominantemente argilosa. Grãos detríticos aparecem com tamanhos entre 30 e 50 μm e são representados por micas, quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, hematita, esfeno e outros minerais pesados e apresentam-se muito angulosos e com baixa esfericidade (Figura 21).

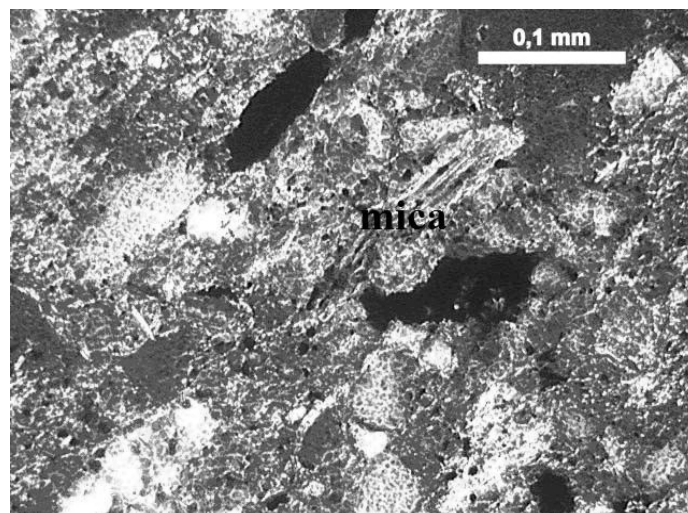


Figura 21 - Fotomicrografia onde aparece mica detrítica com pequena deformação.

A mineralogia é típica de granitóides, possivelmente proveniente dos altos do embasamento presentes mais ao norte a partir do município de Criciúma.

A rocha apresenta-se com porosidade predominantemente baixa em todo o afloramento, porém é localmente grande no nível síltico.

A mineralogia identificada a partir da DRX (Figura 22) é constituída por esmectita, ilita/mica, quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, além de hematita contida basicamente nas concreções.

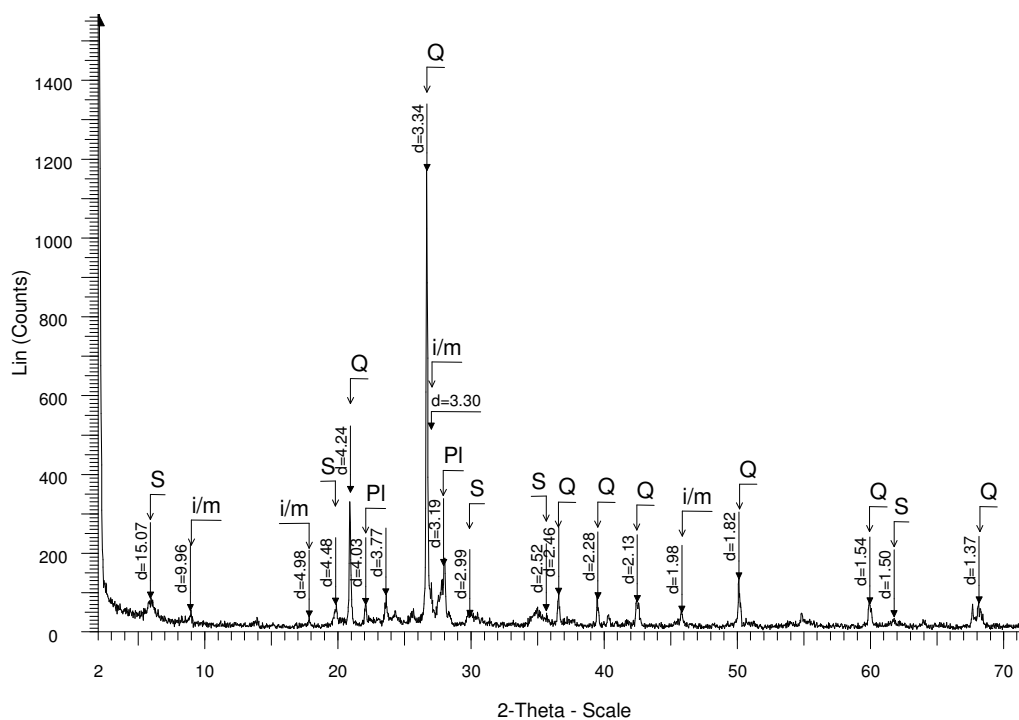


Figura 22 - Difratoograma da rocha total: (S) esmectita, (i/m) ilita/mica, (Q) quartzo e (Pl) plagioclásio.

A partir da avaliação semiquantitativa por DRX, verifica-se a variação dos componentes com o aumento da proporção de feldspato potássico para o topo e aumento da esmectita para a base, os demais minerais possuem grande oscilação (Tabela 3).

Tabela 3 - Mineralogia da rocha total normatizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX do perfil da mina de Turvo.

Altura (m)	esmectita	ilita/mica	quartzo	K-feldspato	plagioclásio	hematita
6,60	3	14	19	39	26	0
6,00	1	2	37	24	36	0
5,45	10	6	46	20	18	0
5,05	8	6	31	27	17	12
4,65	8	9	30	28	26	0
4,25	1	3	12	16	42	27
3,75	7	6	41	32	13	2
3,25	4	5	31	45	14	1
2,75	18	8	32	22	20	0
2,20	8	3	29	0	60	0
1,65	12	9	25	28	25	0
1,15	14	5	37	16	29	0
0,65	15	5	39	12	29	0
0,15	19	6	27	8	40	0

Nas análises por DRX das lâminas orientadas na fração < 4 μm em todas as amostras foi identificada a esmectita (cálcica) que na forma natural apresenta o pico (hkl = 001) com $d \approx 15 \text{ \AA}$, saturadas com etilenoglicol expandindo-se para $d \approx 17 \text{ \AA}$. Na forma calcinada colapsa para $d \approx 10 \text{ \AA}$ (Figura 23).

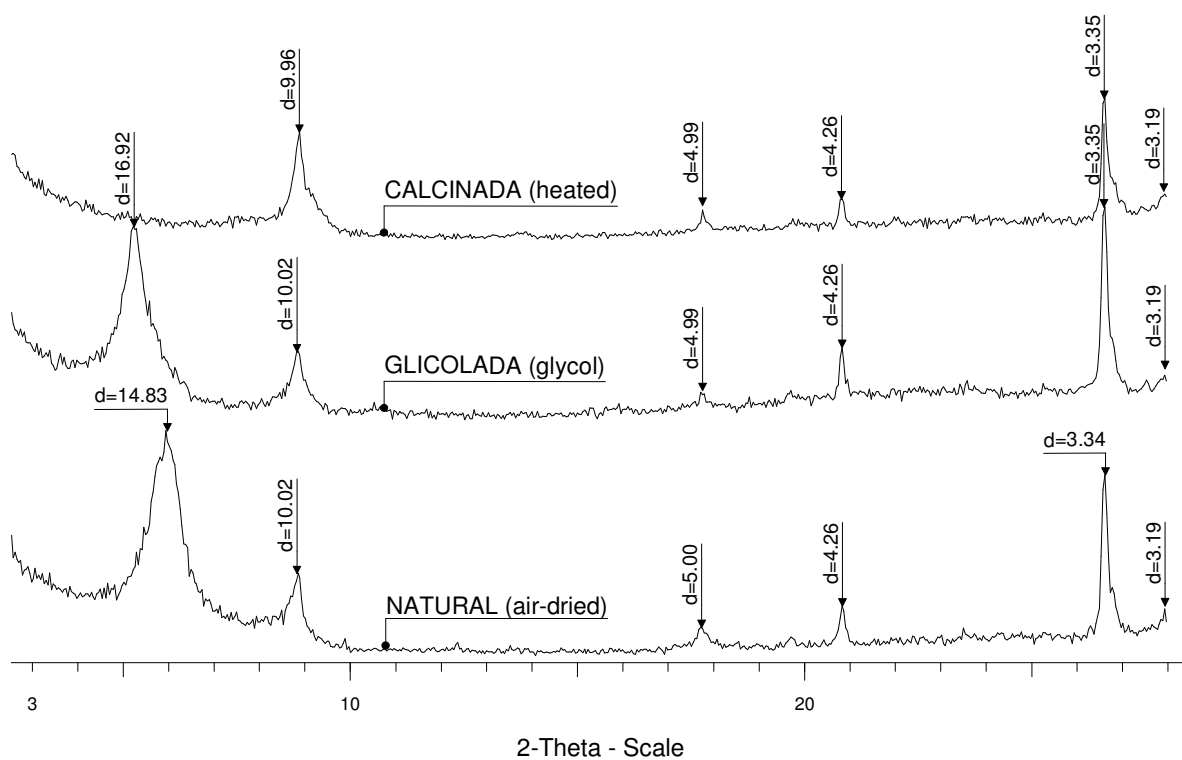


Figura 23 - Difratograma da análise da fração <math>< 4 \mu\text{m}</math> na forma orientada natural, glicolada e calcinada (aquecida).

Nesta análise também foi identificado que o pico de $d \approx 10 \text{ \AA}$, da illita/mica, não se altera na análise glicolada indicando ausência de fases expansíveis e não colapsa na análise da amostra quando calcinada (Brindley & Brown, 1980).

A partir da interpretação das análises na fração <math>< 4 \mu\text{m}</math> foi realizada a avaliação semiquantitativa (Tabela 4).

Tabela 4 - Mineralogia da fração < 4 µm normalizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX do perfil da mina de Turvo.

Altura (m)	esmectita	ilita/mica	quartzo	K-feldspato	plagioclásio
6,60	26	47	14	9	5
6,00	13	57	13	17	0
5,45	42	41	10	7	0
5,05	48	31	8	10	2
4,65	35	52	7	6	0
4,25	28	57	8	7	0
3,75	46	42	7	6	0
3,25	47	37	10	5	1
2,75	44	46	5	4	1
2,20	39	36	20	3	2
1,65	58	22	13	5	2
1,15	60	21	14	2	4
0,65	58	23	13	5	1
0,15	51	22	20	3	4

Através dos resultados da Tabela 4 foi possível caracterizar três níveis distintos (Figura 24).

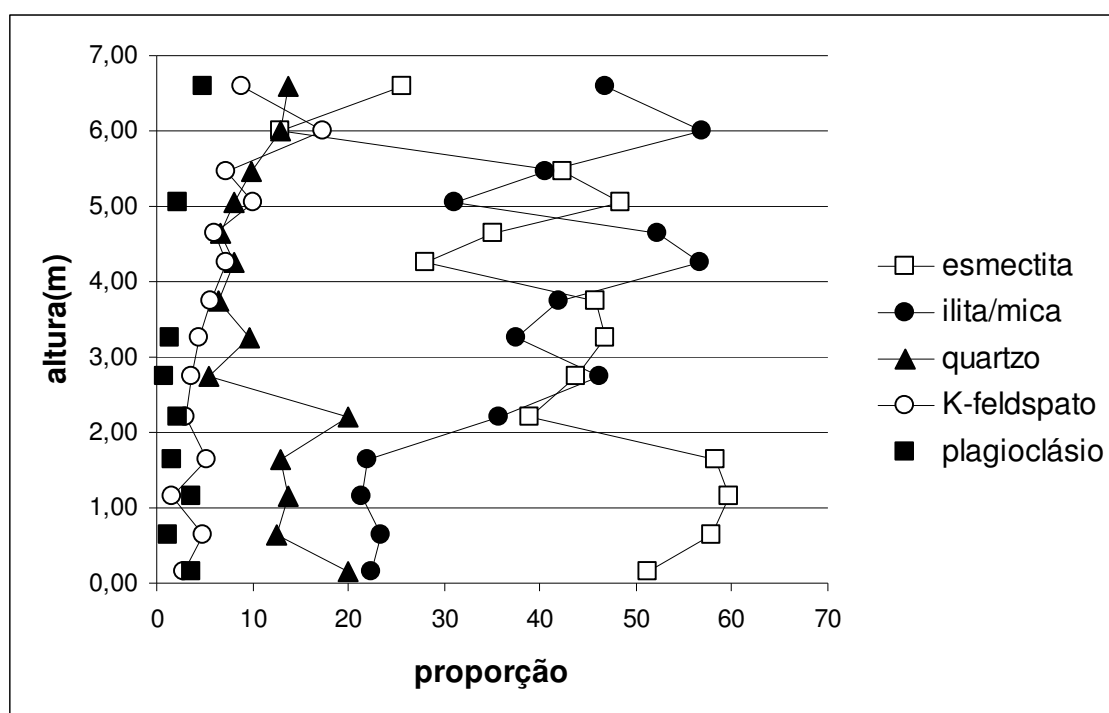


Figura 24 - Variação da proporção dos minerais da fração < 4 µm em relação à altura do perfil da mina de Turvo.

O primeiro nível correspondente ao pacote de argilito maciço, da base até próximo a 2,00 m, onde ocorre a lente de silito, com a predominância de esmectita;

O segundo nível entre 2,00 m e 5,50 m, correspondendo também a um pacote de argilito maciço onde a esmectita e illita são predominantes havendo diminuição de esmectita e do quartzo em relação ao primeiro nível;

O terceiro e último nível acima de 5,50 m onde o argilito se apresenta com intraclastos no tempestito e com estratificação planoparalela logo acima, onde temos uma diminuição da esmectita e um aumento relativo de quartzo e feldspato potássico assim como grande quantidade de mica detrítica identificada ao MO e ao MEV. Esta camada é considerada estéril pela mineradora devido possivelmente à presença de mica que dá característica refratária à massa cerâmica.

Os resultados das análises químicas por FDX da rocha total (Tabela 5) e da fração < 4 µm (Tabela 6) mostram coerência com as variações nas concentrações mineralógicas determinadas por MO e DRX. A perda ao fogo (PF) foi baixa sugerindo ser grande a proporção do material detrítico, inclusive da mica em relação à illita.

Tabela 5 - Composição química principal da rocha total.

Altura(m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PF
6,60	69,8	16,2	0,5	3,0	0,0	1,3	0,3	0,6	5,1	3,2
6,00	71,0	14,4	0,6	4,4	0,0	1,3	0,2	0,0	5,3	3,7
5,45	68,8	15,0	0,6	4,1	0,1	1,6	0,5	0,5	5,6	3,5
5,05	70,6	14,8	0,6	3,9	0,0	1,4	0,5	0,7	5,6	3,1
4,65	69,8	14,9	0,6	4,2	0,0	1,6	0,5	0,6	5,7	3,3
4,25	69,2	14,8	0,6	5,3	0,0	1,5	0,4	0,5	5,4	3,0
3,75	70,5	15,2	0,6	4,3	0,0	1,5	0,4	0,3	5,5	3,2
3,25	68,6	15,3	0,6	4,7	0,0	1,6	0,5	0,4	5,6	3,3
2,75	67,0	15,4	0,6	5,0	0,0	2,1	0,6	0,6	4,7	4,5
2,20	71,5	13,9	0,6	4,0	0,2	1,6	0,7	1,4	3,4	3,5
1,65	69,3	14,5	0,6	3,9	0,0	1,8	0,8	0,8	4,0	4,2
1,15	69,2	15,0	0,6	4,4	0,0	1,4	0,4	0,4	5,5	3,2
0,65	70,6	14,5	0,6	4,1	0,0	2,0	0,8	1,0	3,4	3,5
0,15	69,8	14,1	0,6	3,8	0,0	1,9	0,8	1,1	3,2	3,7

Tabela 6 - Composição química principal da fração < 4 µm.

Altura(m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PF
6,60	59,0	19,7	0,7	4,7	0,0	2,7	0,3	0,1	7,2	5,1
6,00	59,6	19,6	0,7	3,8	0,1	1,7	0,2	nd	7,5	5,2
5,45	59,3	20,0	0,8	5,1	0,1	3,3	0,5	0,0	6,9	5,0
5,05	60,1	18,6	0,7	5,0	0,1	3,0	0,5	nd	7,1	5,2
4,65	59,0	18,0	0,8	4,8	0,1	2,8	0,4	0,1	7,2	6,1
4,25	52,2	18,4	0,8	13,4	0,1	1,8	0,4	0,2	5,4	5,4
3,75	57,5	20,6	0,8	5,0	0,0	3,3	0,5	nd	6,8	5,6
3,25	62,0	17,4	0,7	5,1	0,0	2,3	0,4	0,1	6,3	4,5
2,20	58,4	17,5	0,8	5,3	0,3	3,7	0,5	0,8	5,3	7,2
1,15	59,7	16,5	0,7	5,0	0,0	4,5	0,8	0,5	4,0	7,8
0,65	61,9	16,4	0,7	4,9	0,0	3,6	0,8	0,2	3,7	6,9
0,15	61,6	16,2	0,7	4,8	0,0	3,5	0,8	0,2	3,6	7,1

Das análises químicas destaca-se o aumento do alumínio na fração devido à concentração de argilominerais e o aumento do potássio para o topo da coluna acompanhando o aumento do feldspato potássico e de illita/mica. A sílica diminui na fração < 4 µm em razão da diminuição de quartzo e feldspatos.

As análises através de imagens de elétrons secundários realizadas no MEV permitiram identificar o crescimento de esmectita sobre um grão de feldspato detrítico (Figura 25) e a presença acentuada de mica detrítica, confirmando os dados observados ao MO e através das análises de DRX (Figura 26).

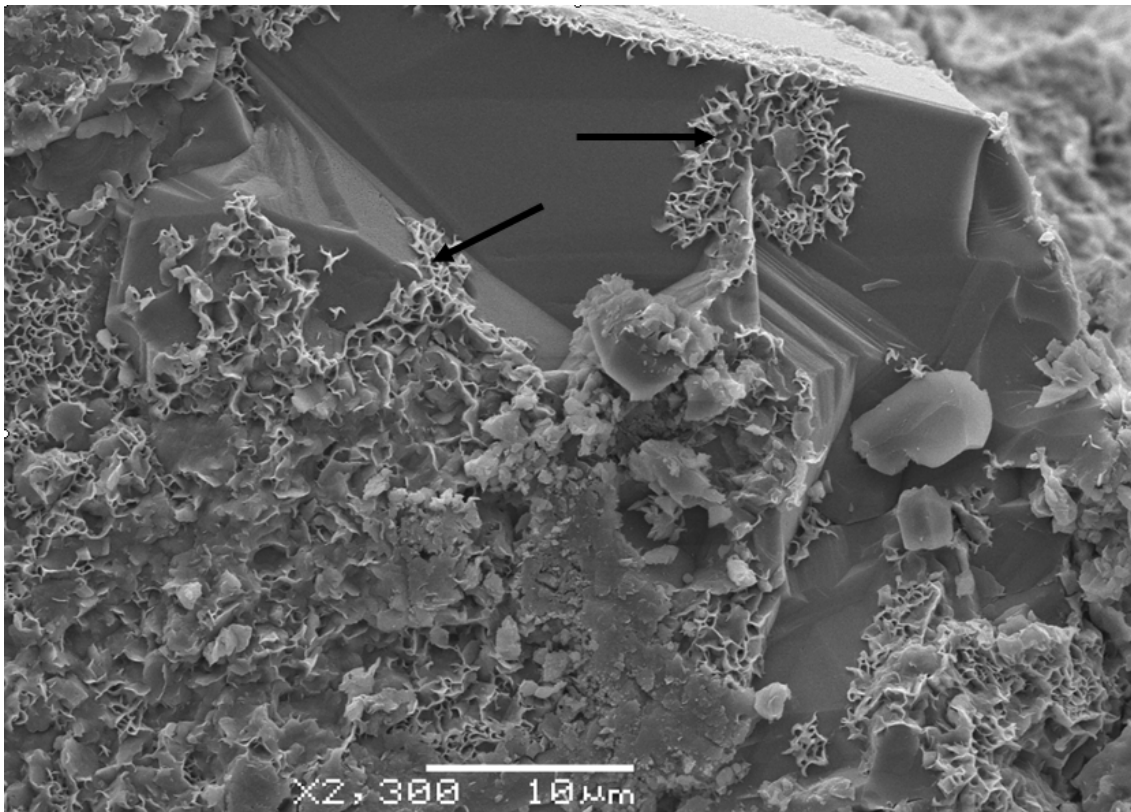


Figura 25 - Imagem do MEV, crescimento de esmectita sobre um grão de feldspato detrítico (setas).

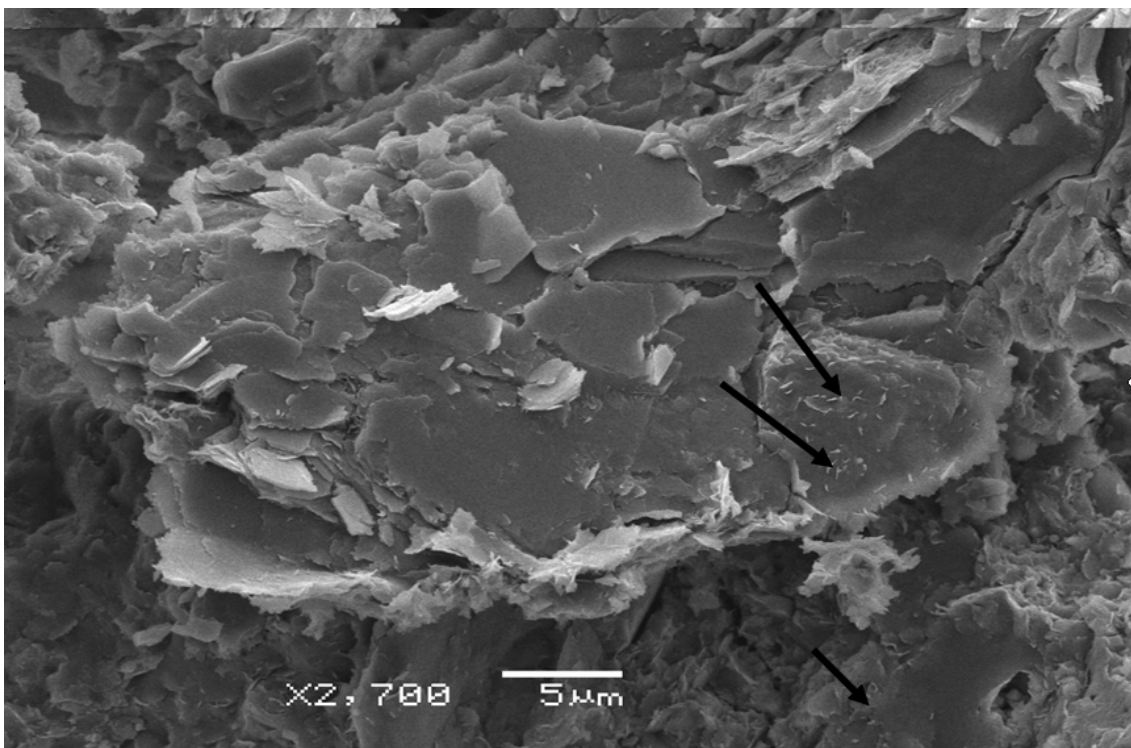


Figura 26 - Imagem do MEV mostrando mica detrítica com crescimento incipiente de argilomineral sobre o grão (setas).

A esmectita está presente, pois retrata contribuição típica das áreas fontes de clima árido ou semiárido de condições pouco lixiviantes (Ramos & Formoso, 1975).

Na análise do parâmetro b foi possível a identificação da montmorilonita (esmectita dioctaédrica) como argilomineral predominante na fração fina (Figura 27 e Figura 28).

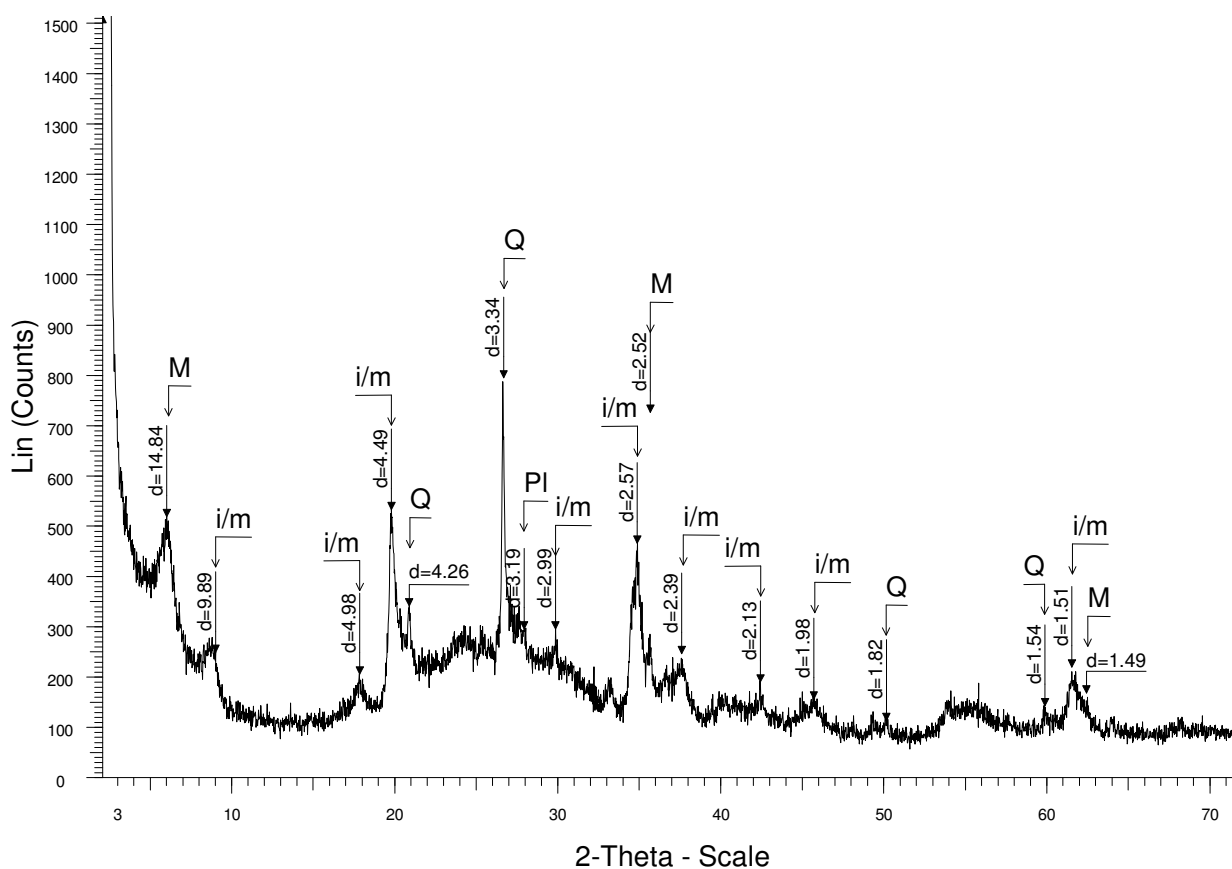


Figura 27 - Difratograma da fração <math>< 0,5 \mu\text{m}</math> na forma pulverizada e sem orientação: montmorilonita (M), ilita/mica (i/m) (dioctaédrica), plagioclásio (PI) e quartzo (Q).

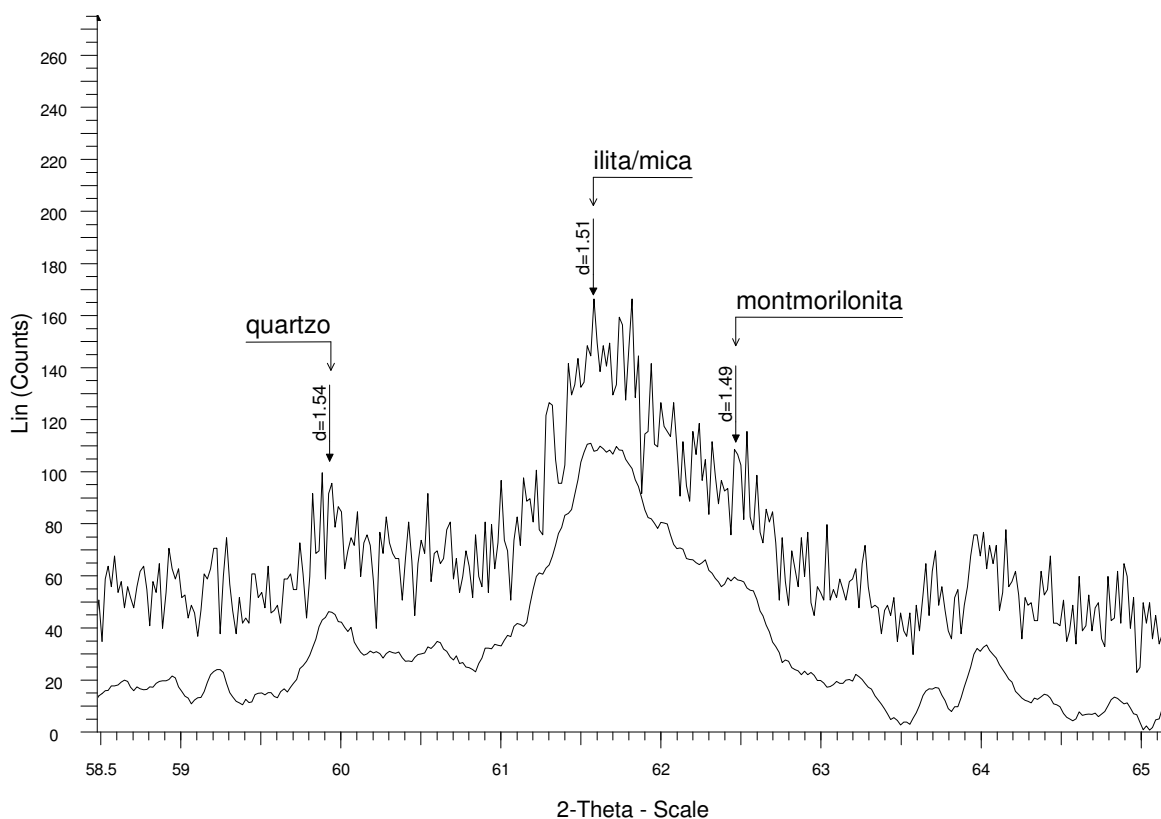
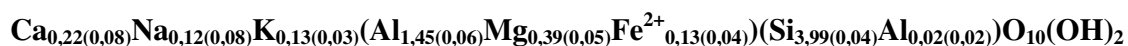


Figura 28 - Difratoograma do parâmetro b da fração < 0,5 µm na forma pulverizada e sem orientação: montmorilonita (esmectita dioctaédrica como espécie mineral).

Verifica-se também que aparece elevada proporção ilita/mica (dioctaédrica), possivelmente a neoformação de ilita nas bordas dos grãos, como pode ser visto na imagem do MEV na Figura 26.

A partir de seis análises por MSE foi possível calcular a fórmula estrutural média da montmorilonita (base de 11 oxigênios e Fe total = Fe²⁺):



Os valores dos índices entre parênteses é o desvio padrão da média das análises. A compensação de carga, principalmente gerada pela presença de Mg²⁺ (Fe²⁺) no octaedro e mais discretamente Al³⁺ no tetraedro, indica ser o argilomineral esmectítico uma montmorilonita onde o cálcio é o cátion interlamelar predominante (Schneider *et al.*, 1974).

2.7 Conclusões

Os resultados obtidos mostram que as técnicas de MO, DRX, FRX, MEV e MSE são adequadas para a análise das amostras, em especial na identificação dos argilominerais.

As análises mostram a existência de grande variação da composição mineralógica verticalmente numa mesma frente de lavra.

A existência de três níveis distintos, onde existe a predominância de montmorilonita e alguma ilita/mica nos dois primeiros níveis conferindo uma característica a matéria prima mais homogênea dando maior plasticidade à massa cerâmica.

Acima de 5,50 m há uma queda no teor de montmorilonita, um relativo aumento de quartzo e feldspato potássico e grande quantidade de mica detrítica com variações nas diferentes camadas. Desta maneira, a matéria prima é mais heterogênea e de características mais refratárias que fundentes com o aumento de mica detrítica.

Como deve haver controle da homogeneidade nos lotes da matéria prima explorada destinada à produção cerâmica, configura-se assim a importância de amostragem e caracterização mineralógica e química, para o bom rendimento da mineração, sendo fundamental o controle geológico, mineralógico e geoquímico.

2.8 Referências

- Alves, D. B. **Desenvolvimento de Metodologia de Preparação de Amostras para Análise Difratométrica de Argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobrás.** Rio de Janeiro, Brasil, 1(2): 157-175. 1987.
- Brindley, G. W. & Brown G. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification.** London, 495p. 1980.
- CPRM. **Mapa Geodiversidade do Brasil** Escala: 1:2.500.000. Acessado na Internet em novembro de 2007 no endereço:
<http://mapoteca.cprm.gov.Br/programas/template.php>
- Gorini, A. P. F. & Correa, A. R. 1999, **Cerâmica para Revestimentos**, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 10, p. 201-252, set. 1999.
- Ramos, A. N. & Formoso, M. L. L. **Argilominerais de rochas Sedimentares da Bacia do Paraná**, CEMPES, Rio de Janeiro, 1975.
- Schneider, R. L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. F., Nogueira, A. A.; Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 28, Anais, p.41-65; 1974

2.9 Carta de encaminhamento do artigo

Cerâmica

Recebimento de artigo para publicação na revista Cerâmica.
Número de referência: **1472 (citar sempre este número)**

O artigo

Título: Caracterização dos Argilominerais usados na Indústria Cerâmica, da Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná, Extraídos no Município de Turvo-SC
Autores: J. A. Costa, A. S. Mexias, M. E. B. Gomes

foi recebido em 28/01/2010

Uma decisão com respeito à publicação na revista Cerâmica será comunicada assim que recebermos a resposta do(s) relator(es).

Agradecemos a colaboração.

Editoria Científica
29/01/2010

2.10 Resultados na mina de Meleiro

Na mina de Meleiro foi identificada a mineralogia da rocha total por DRX pelo método do pó, sendo constituída basicamente por esmectita, illita/mica, quartzo, feldspato potássico e plagioclásio (Tabela 7).

Tabela 7 - Mineralogia da rocha total normalizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX do perfil da mina de Meleiro (modificado de Bercht, 2009).

Altura (m)	Esmectita	Illita(mica)	Quartzo	K-Feldspato	Plagioclásio
15,4	0	11	35	24	30
14,7	0	44	41	12	4
14,0	5	60	25	8	2
13,3	3	48	34	9	5
12,6	7	42	37	8	6
11,9	0	44	42	7	7
11,2	8	46	32	7	7
10,5	7	61	16	14	2
9,8	6	44	32	14	5
9,1	3	60	17	18	2
8,4	4	60	18	16	2
7,7	1	64	18	14	2
7,0	0	70	10	18	2
6,3	0	77	12	10	1
5,6	2	72	13	12	1
4,9	1	78	11	8	2
4,2	2	73	16	9	1
3,5	3	75	12	9	2
2,8	3	71	9	14	3
2,1	3	62	9	20	7
1,4	3	77	11	8	1
0,7	3	80	8	7	2

Difratograma de uma amostra da mina que possibilitou a identificação da mineralogia (Figura 29).

A interstratificação I/S ocorre numa proporção composicional estimada média máxima de 20% de illita. A proporção entre os argilominerais interstratificados foi obtida através de comparação com o modelamento das fases minerais em função da estrutura cristalina e da composição química realizada pelo programa NEWMOD© (Bercht, 2009) (Figura 31).

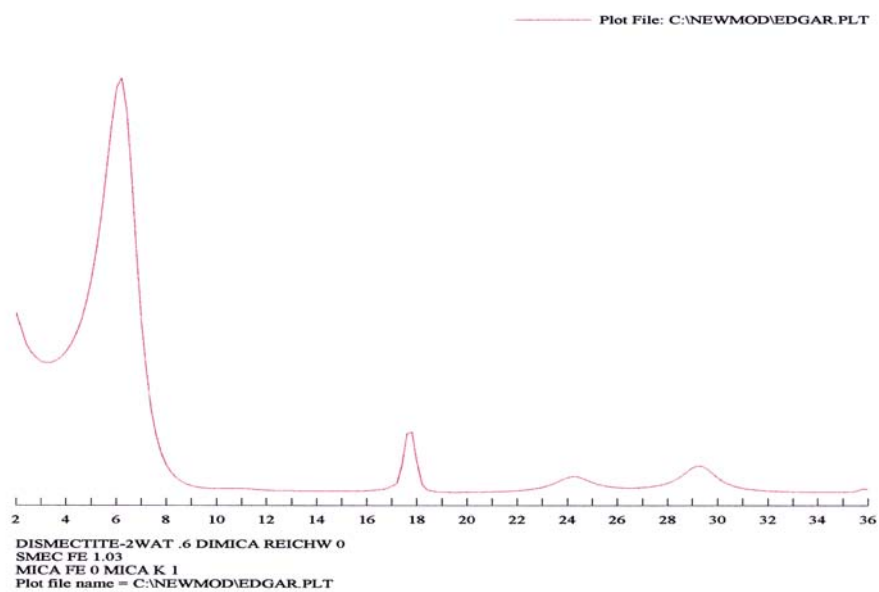


Figura 31 - Difratograma NEWMOD para modelamento composicional mineralógico proporcional da interstratificação I/S, com aproximadamente 20% de illita

A avaliação semiquantitativa na fração < 2 μm das 22 amostras mostra a variação da proporção dos argilominerais no perfil vertical do pacote (Tabela 8).

Tabela 8 - Mineralogia da fração < 2 µm normatizada para 100% obtida pela avaliação semiquantitativa por DRX da mina de Meleiro. As amostras que contém o interestratificado I/S além de esmectita estão assinaladas com * (modificado de Bercht, 2009).

Altura (m)	Esmectita I/S*	Ilita(mica)	Quartzo	K-Feldspato	Plagioclásio	Vermiculita
15,4	5	11	56	23	5	0
14,7	8	36	34	9	3	10
14,0	37	31	13	4	1	14
13,3	23	32	23	6	3	13
12,6	42	30	20	4	3	0
11,9	25	38	27	4	5	0
11,2	33	37	20	4	6	0
10,5	40	38	12	9	1	0
9,8	6	43	32	14	5	0
9,1	10	55	16	17	2	0
8,4	16*	52	16	14	2	0
7,7	11*	58	16	13	2	0
7,0	13*	61	9	15	2	0
6,3	8*	71	11	9	1	0
5,6	17*	61	11	10	1	0
4,9	19*	64	9	6	2	0
4,2	22*	59	12	7	1	0
3,5	35*	50	8	6	1	0
2,8	42*	42	5	8	2	0
2,1	34*	52	7	6	0	0
1,4	32*	54	8	5	1	0
0,7	52*	40	4	4	1	0

Ocorre na metade inferior do pacote a presença do interestratificado I/S (Tabela 8) até a altura de 8,40 m. No cálculo da proporção de argilominerais, as esmectitas e o interestratificado I/S foram considerados em conjunto, pois a partir dos difratogramas não é possível fazer a quantificação separadamente.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 Discussão

A partir da Tabela 7 (mineralogia da rocha total na mina de Meleiro, página 66) verifica-se a variação dos componentes com o aumento da proporção de plagioclásio e quartzo para o topo e diminuição da illita/mica para a base, o feldspato potássico tem um aumento em três momentos do perfil e a esmectita apresenta-se relativamente constante.

Comparando-se os dados da Tabela 7 com a Tabela 3 (mineralogia da rocha total da mina de Turvo, página 33) verifica-se que a mineralogia da rocha total em ambas é a mesma, ocorrendo a hematita em Turvo, em quantidade verificável, nos níveis oxidados, além das concreções. Na mina de Meleiro a hematita está restrita praticamente às concreções. Nas análises das concreções, em ambas as minas, são ferríferas, tendo na mina de Meleiros algumas concreções carbonáticas (calcita). Temos, apenas na mina de Meleiro, a presença local de pequenos veios carbonáticos de calcita (Figura 17).

A mineralogia da rocha total de ambas as minas mostra o decréscimo dos argilominerais para o topo, enquanto na mina de Turvo temos o aumento do feldspato potássico para o topo em Meleiro o feldspato potássico aumenta até a metade do perfil e decresce, tendo um aumento do quartzo para o topo.

Na mineralogia da fração argila verifica-se que na mina de Turvo foram identificados três níveis diferentes. Até 2,00 m há predomínio de esmectita. Entre 2,00 m e 5,50 m a esmectita é o principal argilomineral, mas com quantidade significativa de illita/mica e acima de 5,50 m ocorre uma grande diminuição da esmectita e a illita mantém-se semelhante ao segundo nível (Figura 24 na página 57).

Na mina de Meleiro temos no pacote de argilito planoparalelo três camadas de variação das proporções entre a esmectita e a illita/mica; até a altura de 3

metros a esmectita e illita/mica possuem proporção semelhante, entre 3 metros e dez metros, a proporção de illita/mica é bem maior que a esmectita, e na terceira camada os dois argilominerais tem proporções semelhantes (Figura 32).

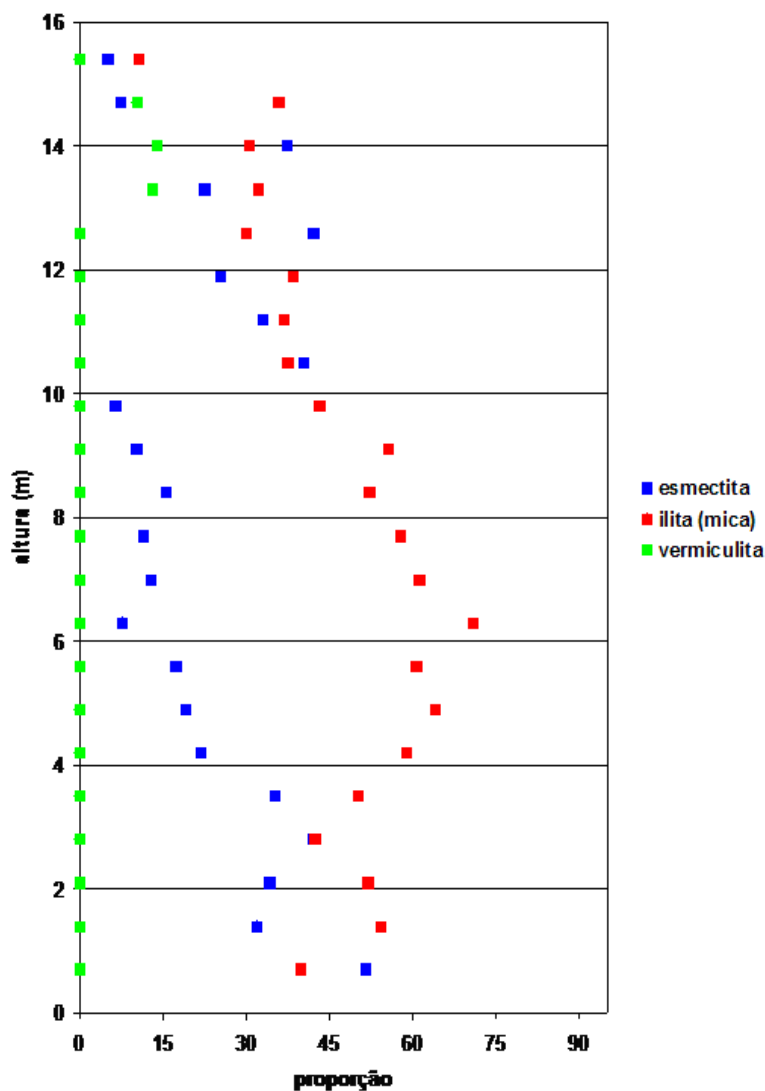


Figura 32 - Variação da proporção dos argilominerais da fração < 2 μm em relação à altura do perfil da mina de Meleiro (modificado de Bercht, 2009).

Verifica-se a ocorrência de vermiculita a partir dos 13 metros, nas camadas de topo, constituídas também por arenitos. A formação de vermiculita, possivelmente já relacionada à proximidade da alteração superficial e produto de intemperismo da esmectita.

Na mina de Meleiro ocorre a presença do interestratificado I/S até a altura de aproximadamente nove metros (Tabela 8). Na mina de Turvo a esmectita não aparece interestratificada. Esta I/S, nas camadas inferiores da mina de Meleiro, pode

estar relacionada ao mecanismo de ilitização das esmectitas a partir da profundidade de 2,5 km e temperatura de 70 a 190°C (Leeder, 1982).

Apesar de ambas as minas apresentarem aparente homogeneidade do argilito, o estudo de detalhe revelou que em ambas as minas a mineralogia detrítica é a mesma, em proporções e distribuição diferentes. Os argilominerais verificados nas duas minas diferenciam-se pela presença do interestratificado I/S e da vermiculita na mina de Meleiro, além daqueles argilominerais que são comuns a ambas apresentarem-se em proporções e distribuição diferentes. Estas diferenças da variação nos perfis indicam a impossibilidade de correlação entre os pacotes.

As duas minas encontram-se em altitudes diferentes, a mina de Turvo está junto aos depósitos do entorno na altitude de 21 metros e enquanto a mina de Meleiro está com sua "base" 30 metros acima, na altitude de 50 metros, possivelmente fazendo parte do pacote superior se considerarmos que ambas apresentam estrutura subhorizontal e distam de apenas 7 km.

A Formação Rio do Rasto foi identificada por White (1908) nas cabeceiras do rio do Rasto na altitude \approx 660 metros, porém as minas estão sendo exploradas em altitudes inferiores bem abaixo do afloramento padrão de White.

No trabalho de Putzer (1953) e na carta geológica da CPRM (2007) ambas as minas são definidas de litologia da Formação Rio do Rasto (Figura 33).

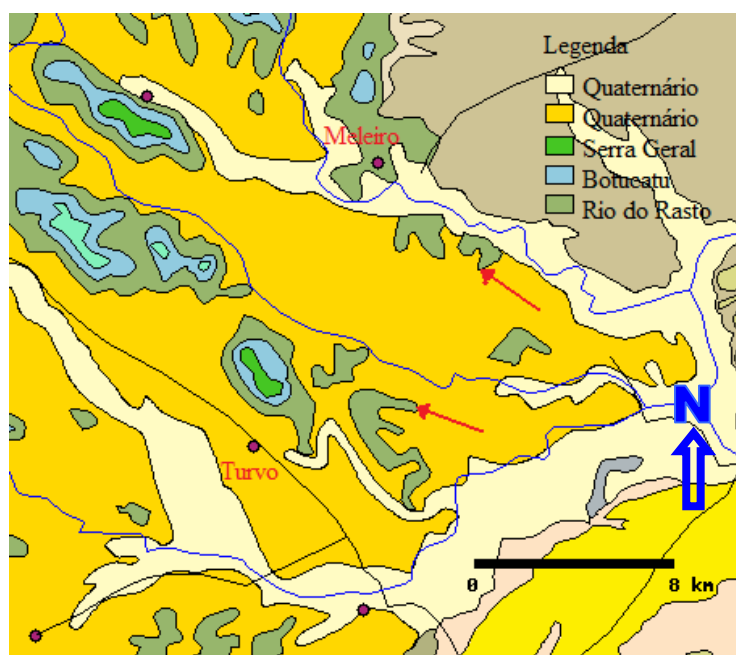


Figura 33 - Parte da carta da CPRM, na seta superior a mina de Meleiro e seta inferior a mina de Turvo.

Verifica-se pelo Mapa Geológico de Santa Catarina, (1986) na Figura 34 o morro, onde está a mina de Meleiro é constituída dos sedimentos da Formação Teresina na base e Formação Rio do Rasto no topo. Neste mesmo mapa abaixo a mina de Turvo pertence à Formação Rio do Rasto. Inclusive no mapa é mostrado a exploração de argila no morro testemunho (Figura 34, seta azul).

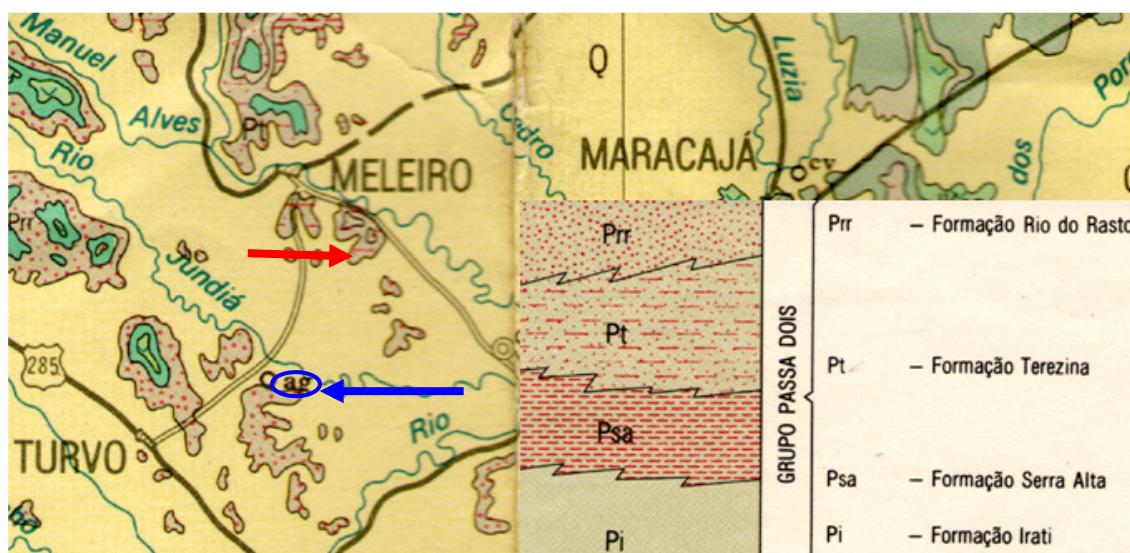


Figura 34 - Cópia parcial do Mapa Geológico de Santa Catarina, na seta vermelha o local da mina de Meleiro e seta azul o local da mina de Turvo e a mineração de argila já existente.

Foi realizado um trabalho de identificação dos lineamentos no terreno a partir de levantamento aerofotográfico para identificação das falhas e diques na topografia e verificar a relação estratigráfica entre as duas minas.

Na região ocorrem extensas falhas nas proximidades da cidade de Meleiro pertencentes ao sistema E-W. A interpretação mostra também que os principais rios desta porção possuem trechos de seu curso encaixados ao longo de falhas do sistema. As principais direções de falhas são $N5^{\circ}-30^{\circ}W$ e $N45^{\circ}-75^{\circ}E$. Subordinadamente ocorrem falhas com direção próxima de N-S, $N30^{\circ}-45^{\circ}E$ e $N30^{\circ}-45^{\circ}W$. As falhas $N45^{\circ}-70^{\circ}E$ interceptam as do sistema $N5^{\circ}-30^{\circ}W$, permite admitir-se que são mais jovens (Krebs, 2004) (Figura 35).

No trabalho de Putzer (1953) já menciona rejeitos, oriundos dos movimentos de bloco, junto aos rios, e as diferentes altitudes da Formação Botucatu, que vai diminuindo de cota em direção à Torres (na praia Guarita encontra-se ao nível do mar).

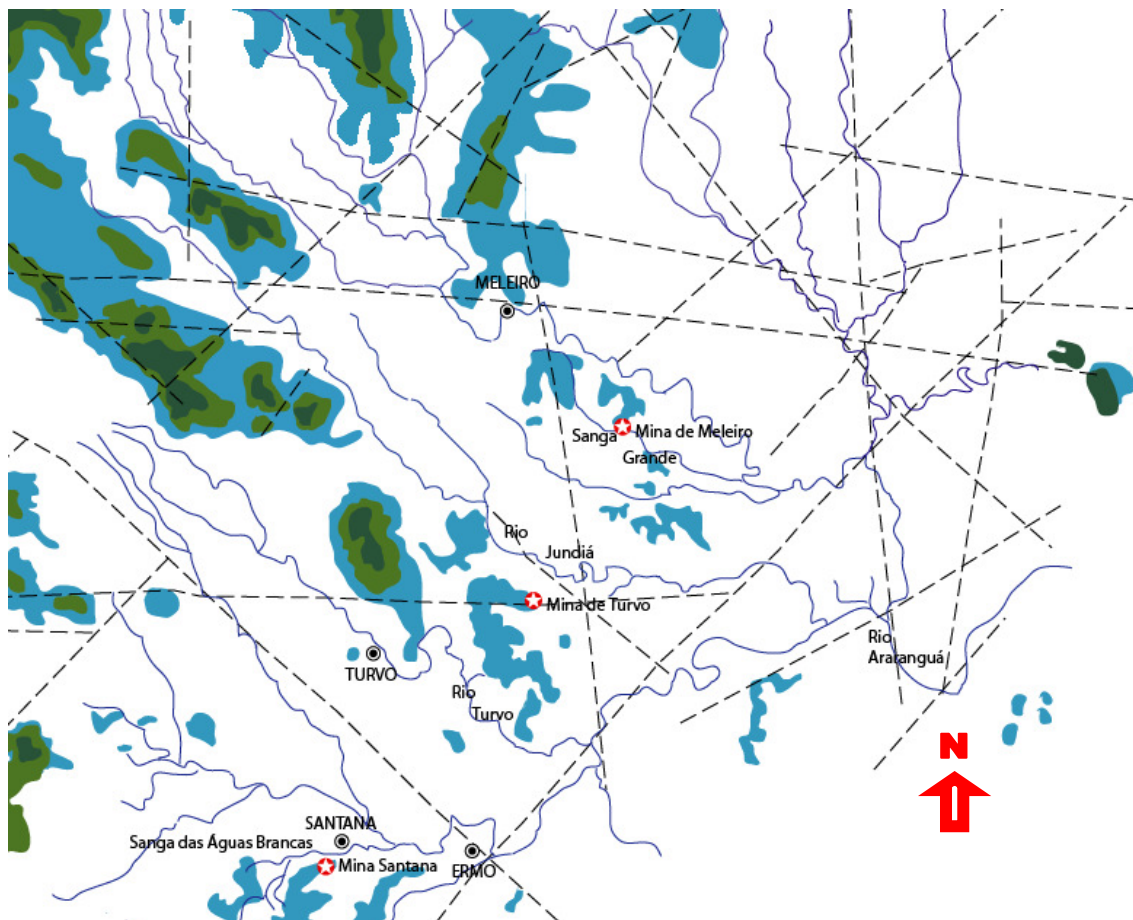


Figura 35 - Mapa geológico simplificado com a interpretação das fraturas obtidas a partir das fotografias aéreas na escala 1:60.000, de 1965/66 modificadas (Krebs, 2004).

No mapa acima verifica-se que entre as minas de Turvo e Meleiro temos um lineamento \approx N-S com a possibilidade da existência de rejeito vertical.

Foram identificados vários outros lineamentos, mas devido à dificuldade de visualização das continuidades destes lineamentos, que encontram-se cobertos pela sedimentação recente da planície, não foram colocados no mapa.

Foi feita a análise por DRX de uma amostra em rocha total da mina Santana, no mapa (Figura 35) a mina de Ermo está marcada como mina Santana, que apresentou a mesma mineralogia das minas de turvo e Meleiro, porém verificou-se a existência de uma lente de calcita.

3.2 Conclusões

Este estudo permitiu chegar às seguintes conclusões:

- Na mina de Turvo a montmorilonita é a espécie argilomineral identificada, do grupo das esmectitas, com fórmula estrutural média (base de 11 oxigênios e Fe total = Fe²⁺):

$$\text{Ca}_{0,22(0,08)}\text{Na}_{0,12(0,08)}\text{K}_{0,13(0,03)}(\text{Al}_{1,45(0,06)}\text{Mg}_{0,39(0,05)}\text{Fe}^{2+}_{0,13(0,04)})(\text{Si}_{3,99(0,04)}\text{Al}_{0,02(0,02)})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$$

- A análise da rocha total, por DRX, permitiu identificar a seguinte composição mineralógica, na mina de Turvo: esmectita, ilita/mica, quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e hematita; Na mina de Meleiro, a composição mineralógica é identificada como: esmectita, ilita/mica, quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e calcita.

- A análise da fração argila, por DRX, permitiu identificar na mina de Turvo a seguinte composição mineralógica: esmectita, ilita/mica, quartzo, feldspato potássico e plagioclásio; Na mina de Meleiro, a composição mineralógica presente, foi de: esmectita, interestratificado I/S, ilita/mica, vermiculita, quartzo, feldspato potássico e plagioclásio.

- Na mina de Turvo, existe uma distribuição mineralógica e química, que possibilita a divisão em três níveis: até 2,00 metros há predomínio de esmectita. Entre 2,00 e 5,50 metros a esmectita é o principal argilomineral, mas com quantidade significativa de ilita/mica; e acima de 5,50 metros, onde há grande aumento do feldspato potássico e de mica detrítica.

- Na mina de Meleiro a distribuição mineralógica torna possível a divisão em três níveis: até a altura de 3,00 metros a esmectita e a ilita/mica possuem proporção semelhante, e com a presença do interestratificado I/S; entre 3,00 e 10,00 metros, a proporção da ilita/mica é bem maior que a esmectita (com a identificação de

interestratificado I/S até 8,40 metros); e acima de 10,00 metros esmectita e illita/mica tem proporções semelhantes, sendo identificada vermiculita a partir dos 13,00 metros.

- Não é possível uma correlação de semelhanças entre as duas minas, baseada na mineralogia, ou na distribuição da proporção dos minerais nos diferentes níveis.

- O conhecimento da composição mineralógica e química torna possível a identificação dos diferentes níveis, facilitando a separação em lotes, que apresentem homogeneidade composicional.

- Como deve haver controle da homogeneidade nos lotes da matéria prima explorada, destinada à produção cerâmica, configura-se assim a importância de amostragem e caracterização mineralógica e química, para o bom rendimento da mineração, sendo fundamental o controle geológico, mineralógico e geoquímico.

3.3 Referências

- Bercht, E., Caracterização mineralógica de depósito local de argilito da formação Teresina em Sangra Grande, Meleiro, Santa Catarina. **Trabalho de conclusão do curso de Geologia** - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 68 f. 2009.
- Bergaya, F. Theng, B. K. G. and Lagaly, G., **Hanbook of Clay Science**. Amsterdam, Netherlands, 1197p. 2006.
- Brindley, G. W. & Brown G., **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification**. London, 495p. 1980.
- Carneiro, B. S., *et al.*, Caracterização Mineralógica e Geoquímica e estudo das transformações de Fase do Caulim Duro na Região do Rio Capim, Pará. Pará, Brasil, **Cerâmica** **49**, 237-244. 2003.
- Costa, J. A.; Caracterização dos aargilominerais para uso cerâmico extraídos no município de Turvo, sudeste de Santa Catarina, Bacia do Paraná.. **Trabalho de conclusão do curso de Geologia** - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 80 f. 2007.
- CPRM. **Mapa Geodiversidade do Brasil** Escala: 1:2.500.000. Acessado na Internet em novembro de 2007 no endereço:
<http://mapoteca.cprm.gov.Br/programas/template.php>
- Curto, K. A. S.; **Produção de Cerâmica Porosa a Partir de Argila e Resíduos**. Florianópolis, Brasil, Engenharia de Materiais/UFSC. 2003.
- Formoso, M. L. L.; Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas a Geologia. In. **XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Boletim n 4** Camburiu-SC 111p. 1980.
- Ghilardi, R. P. & Simões, M. G.; Foram os Bivalves do Grupo Passa Dois Neopermiano, Invertebrados Tipicamente Dulcícolas? Porto Alegre, Brasil, **Revistas em Geociências, UFRGS, 29(1)**: 91-99. 2002.
- Gorini, A. P. F. & Correa, A. R.; **Cerâmica para Revestimentos**, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 10, p. 201-252, set. 1999.
- Holz, M., Küchle, J. A Formação Rio Bonito no Sul da Bacia do Paraná. Porto Alegre, Brasil, **Estudo de Bacias ILEA/UFRGS**. 2003.
- Krebs, A. S. J.; Contribuição ao Conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC. **Tese submetida ao Centro de Filosofia e Ciências Humanas da UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- Menegazzo, A. P. Lemos, F. L. N. Paschoal, J. O. A.; Grés Porcelanato - Parte I: Uma Abordagem Técnica e Mercadológica, **Cerâmica Informação, nº 14**, janeiro 2001.

- Meunier, A. & Velde, B.; **Illite: Origins, Evolution and Metamorphism**. Berlin, Germany, 287p. 2004.
- Moore, D. M. & Reynolds, Jr. R. C.; **X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals**. New York, U.S.A., 378p. 1997.
- Mota, F. M. M., *et al.* **Panorama das matérias-primas Utilizadas na indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo**. Rio Claro, SP, Unesp.
- Murray, H. H.; Clay in Industry. In: **12th International Clay Conference**, Bahia Blanca - Argentina, 2001.
- Orlandi Filho, V. Krebs, A. S. J. Giffoni, L. E. 2006. **Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC - Seção Geológica Clássica do Continente Gondwana no Brasil**. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; Campos, D. A.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S. (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Publicado na Internet em 22/12/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio024/sitio024.pdf>
- Putzer, Hannfrit, Diastrofismo "Germanotipo" e Sua Relação com o Vulcanismo Basáltico na Parte Meridional de Santa Catarina. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, Brasil, São Paulo, V.2 N.1 Maio 1953
- Santos, P. S.; **Ciência e Tecnologia de Argilas**. São Paulo, Brasil, Editora Edgar Blücher, 1090p. 1992.
- Schneider, R. L. Mühlmann, H. Tommasi, E. Medeiros, R. A. Daemon, R. F. Nogueira, A. A.; Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, **28**, Anais, p.41-65. 1974.
- Silva, M. A. S. & Leites, S. R.; **Relatório Folha SH.22-X-B** escala 1:250.000. CRICIÚMA Estado de Santa Catarina. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Brasília. 82p. 2000.
- Thomazella, H.R.; Zanardo, A.; Valarelli, J.V.; Moreno, M.M.T.; Aspectos Geoquímicos do Sazonamento (Descanso) das Argilas para Cerâmica Vermelha na Região de Rio Claro-Sp; **XI Congresso Brasileiro de Geologia-Geologia e Desenvolvimento**; SBG; Belo Horizonte; Brasil; 1998