

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA PARA FINS CERÂMICOS DA
FORMAÇÃO CORUMBATAÍ NA REGIÃO DE TAMBAÚ – SP.**

Carlos Eduardo Ornaghi

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Boggiani
Co-Orientador: Dr. Marsis Cabral Junior

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-14/05)

SÃO PAULO
2014

TF
O74
CE.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA PARA FINS CERÂMICOS DA
FORMAÇÃO CORUMBATAÍ NA REGIÃO DE TAMBAÚ – SP.

Carlos E. Ornaghi

Carlos Eduardo Ornaghi



Orientador: Prof. Dr. Paulo César Boggiani
Co-Orientador: Dr. Marsis Cabral Junior

DEDALUS - Acervo - IGC



30900032387

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-14/05)

SÃO PAULO
2014

De acordo
Paulo C Boggiani
4/11/2014

DECLARAÇÃO

Declara-se, por este ato, que a obra de autoria de [nome] é de propriedade intelectual e artística de [nome] e que a obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

Consta de [número] folhas e [número] páginas. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

Esta obra é de autoria de [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

Esta obra é de autoria de [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra. A obra é original e não derivada de qualquer obra anterior. O trabalho foi realizado por [nome] e não há qualquer participação de terceiros na criação ou na execução da obra.

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Dedico esse Trabalho de Formatura a minha família, que desde cedo incentivou, apoiou e financiou meus estudos, mostrando o valor do conhecimento e honestidade. Obrigado pai (Mário Celso Ornaghi), Mãe (Terezinha de Camargo A. Ornaghi), e irmão (Mário André Ornaghi).

Agradeço aos meus orientadores Paulo Cesar Boggiani e Marsis Cabral Junior que me passaram um pouco de seus vastos conhecimentos e foram fundamentais para os rumos tomados nesse trabalho. Agradeço pelo aprendizado, apoio e parceria ao longo da realização desse trabalho.

Gostaria de agradecer também toda equipe da Seção de Recursos Minerais do IPT, em especial para o Luiz Carlos Tanno, que me deu a oportunidade de desenvolver este trabalho vinculado a um de seus projetos; ao Daniel Seabra, amigo que tanto me ajudou nas diversas etapas ao longo desse ano; e a Isabel Cristina pela ajuda na confecção dos mapas geológicos.

Sou grato a Natasha Silveira e sua orientadora Miriam Kruxen que muito me ajudaram nas análises e descrições petrográficas.

Ao técnico de cerâmica Aluisio, pela confecção dos ensaios cerâmicos e pela ajuda na interpretação e análise dos mesmos.

Muito obrigado a minha namorada Thais Calió pelo companheirismo ao longo desse ano. Agradeço também o auxílio e aprendizado com o uso do software CorelDraw.

Aos meus amigos que me acompanharam durante esses cinco anos de graduação, em especial para toda Família Geobinho.

Aos relatores anônimos dessa monografia, que muito contribuíram com suas críticas, correções e análises detalhadas, corrigindo e direcionando esse trabalho.

A todos os professores e funcionários do Instituto de Geociências da USP por terem oferecido toda estrutura necessária para minha formação profissional.

E, finalmente, a todos que por algum lapso não citei neste momento, mas que de alguma forma fazem parte dessa trajetória, meu muito obrigado.

RESUMO

No presente trabalho de formatura as exposições da Formação Corumbataí em áreas de lavra de Tambaú, na região centro-leste do estado de São Paulo, foram investigadas com o objetivo de caracterização faciológica sedimentar e tecnológica para uso cerâmico. A Formação Corumbataí é caracterizada por apresentar matéria prima tanto para cerâmica vermelha como também para revestimento, com destaque para as características excepcionais encontradas no Polo Mineiro-Cerâmico de Santa Gertrudes. Através do levantamento de seções estratigráficas, foi possível caracterizar a Formação Corumbataí, na região de Tambaú, como predominantemente argilosa, mas com intercalações de siltitos e arenitos e, localmente, com a presença de camadas métricas de calcarenito. A observação de glauconita atesta o ambiente marinho, já interpretado com base nos fósseis, porém em condições mais rasas (planície de maré), de borda de bacia, comparadas às exposições de Santa Gertrudes. Das três minas levantadas em Tambaú, com coleta de amostras para caracterização tecnológica, análises químicas e mineralógicas, a Mina Bagatta é a que apresenta as melhores características cerâmicas, inclusive com melhores índices cerâmicos dos que os apresentados na bibliografia a respeito dos ensaios cerâmicos do material do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. As amostras de Tambaú apresentam, em média, menor absorção de água (0,5%), comparada a 6% de absorção obtida em amostras de Santa Gertrudes e maior resistência mecânica (480 kgf/cm²) com 320 kgf/cm² para amostras de Santa Gertrudes, mas com valores superiores de contração linear (10,8%), enquanto que em Santa Gertrudes obtêm-se valores ao redor de 7%. Esses resultados comprovam o potencial para uso como matéria prima na indústria de revestimentos cerâmicos, por via seca e úmida, apresentando, inclusive, produtos com maior resistência mecânica, o que demonstra o potencial da Formação Corumbataí em Tambaú para expansão do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.

ABSTRACT

The subject of the present study was the faciologic and technologic characterization of the Corumbataí Formation (Permian – Paraná Basin) for ceramic use, located in Tambaú, center-east of São Paulo State (Brazil). The sediments of the Corumbataí Formation are used for traditional ceramics ("cerâmica vermelha") and good characteristics for ceramic floor tiles (covering ceramics) in the Santa Gertrudes minero-ceramic pole. In the Tambaú region, the Corumbataí Formation is characterized by the predominance of clay with intercalations of silte, sand, and locally, calcarenite. The marine conditions for sedimentation is testified by the presence of glauconite, together with marine fossils, but under shallower conditions (tide plains) if compared with the exposure in Santa Gertrudes. Three mines were studied in Tambaú, with sampling for technological characterization, chemistry, and mineralogical analysis. Among the three mines, the Bagatta mine produced the best results, some better than obtained from published data from Santa Gertrudes pole. The sample from Bagatta mine shows lower water absorption (0.5 %), compared with 6 % of Santa Gertrudes sample, and more mechanical resistance (480 kgf/cm²), compared with 320 kgf/cm² (Santa Gertrudes sample), but also had a relatively higher value of linear contraction (10,8%) while the Santa Gertrudes sample showed 7% of linear contraction. These results show the potential of the Corumbataí Formation's clay deposits for ceramic floor tiles and coverings, which are a more resistant product than those found in the Santa Gertrudes pole.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	1
3. OBJETIVOS	3
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
4.1. Pesquisa bibliográfica.....	3
4.2. Trabalho de campo e análise de fácies.....	3
4.3. Petrografia.....	4
4.4. Caracterização das matérias primas.....	4
4.4.1. Ensaio tecnológico de argila para aplicação cerâmica	5
4.4.2. Análise química por fluorescência de raios X.....	7
4.4.3. Análise mineralógica por difratometria de raios X	8
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
5.1. Geologia regional	9
5.1.1. Bacia do Paraná	9
5.1.2. Geologia da área de estudo.....	10
5.1.3. Formação Corumbataí.....	10
5.1.4. Estudos para fins cerâmicos da Formação Corumbataí.....	12
5.2. Polos Mineiro-Cerâmicos do Estado de São Paulo	13
5.3. Matérias primas e o processo de cerâmica vermelha	15
5.4. Matérias primas e o processo de cerâmica de revestimento.....	17
6. RESULTADOS	19
6.1. Levantamento e descrição das colunas estratigráficas	19
6.2. Descrição e análise de fácies	26
6.2.1. Fácies de argilito maciço	26
6.2.2. Fácies de siltito maciço.....	27
6.2.3. Fácies de ritmitos com linsen.....	29
6.2.4. Fácies de ritmitos com flaser	29
6.2.5. Fácies de calcarenito.....	30
6.3. Caracterização das matérias primas.....	32
6.3.1. Ensaio tecnológico para fins cerâmicos	32
6.3.2. Análise química	36
6.3.3. Análise mineralógica.....	36
7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	37
7.1. Interpretação faciológica e dos ambientes deposicionais.....	37
7.1.1. Fácies de argilito maciço.....	38

7.1.2. Fácies de siltito maciço	38
7.1.3. Fácies de ritmitos com linsen	38
7.1.4. Fácies de ritmitos com flaser	39
7.1.5. Fácies de calcarenito	39
7.2. Usos e especificidades como matéria prima para cerâmica vermelha	39
7.3. Usos e especificidades como matéria prima para cerâmica de revestimento.....	40
7.4. Comparação da Formação Corumbataí entre a região de Santa Gertrudes e Tambaú.....	41
7.4.1. Contexto faciológico	41
7.4.2. Uso como matéria prima para cerâmica de revestimento	42
8. CONCLUSÃO	43
9. REFERÊNCIAS	44

ANEXOS

ANEXO A – Fotografias dos corpos de prova extrudados	48
ANEXO B – Fotografias dos corpos de prova prensados	52
ANEXO C - Difractogramas.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico e de pontos da área de estudo (IPT 2006).	2
Figura 2 - Fluxograma dos Ensaios Cerâmicos (IPT 1993).....	6
Figura 3 - Localização da Bacia do Paraná no Brasil (Taioli 2000).	9
Figura 4 - Principais polos minero-cerâmicos no estado de São Paulo (Cabral <i>et al.</i> 2014).14	
Figura 5 - Fluxogramas dos processos de fabricação de blocos e telhas (Modificado de São Paulo 1992).	16
Figura 6 - Processo de produção de revestimentos cerâmicos prensados (Motta <i>et al.</i> 1998).	19
Figura 7 - Estrutura de canal, interpretada como sendo um paleocanal de maré.	21
Figura 8 - Coluna Estratigráfica da bancada inferior da Mina Bagatta.	22
Figura 9 - Coluna estratigráfica da bancada superior da Mina Bagatta.	23
Figura 10 - Coluna estratigráfica da Mina Demactam.	24
Figura 11 - Coluna estratigráfica da Mina Tec-Mineral.	25
Figura 12 – Argilito vermelho, com laminação incipiente a maciço, característico da Fácies de Argilito Maciço.	26
Figura 13 - Camada de argilito maciço com nódulos de sílex.....	27
Figura 14 – Fácies Siltito Maciço, mostrando o comportamento em fratura conchoidal no corte do afloramento.	27

Figura 15 - Camada rica em fragmentos (e moldes) de conchas intercalada com siltito.	28
Figura 16 - Fotomicrografia da camada rica em fragmentos de conchas - polarizadores paralelos (Amostra TB-01-C).....	28
Figura 17 - Fotomicrografia do Silexito - Polarizadores cruzados (Amostra TB-02-A).	28
Figura 18 - Fácies de ritmitos com <i>linsen</i> . Podemos observar a alternância entre camadas argilosas (vermelha) e arenosas (cinza claro).	29
Figura 19 - Fácies de ritmitos com <i>flaser</i> . Predominância de camadas de arenito (vermelho e cinza claro) intercaladas com camadas ou lentes de argilito e/ou siltito argiloso (cinza esverdeado escuro).	30
Figura 20 – Fotomicrografia do siltito com estratificação heterolítica, evidenciando a alternância de granulometria entre as camadas em escala microscópica (polarizadores paralelos).	30
Figura 21 - Fácies de Calcarenito. Banco carbonático coeso, de cor cinza claro a cinza esverdeado claro.	31
Figura 22 – Fotomicrografia do calcarenito com cristal de Glauconita em destaque (polarizadores paralelos).....	32
Figura 23 – Fotomicrografia do calcarenito formado por grãos de calcita detrítica e sedimentos terrígenos, além de fragmentos de conchas (polarizadores cruzados).	32
Figura 24 - Comparação das colunas estratigráficas da Formação Corumbataí em Santa Gertrudes e Tambaú. Notar que a coluna levantada de Tambaú (representando o padrão médio da região) se assemelha com a porção superior da Formação Corumbataí em Santa Gertrudes. (As duas primeiras colunas foram extraídas de Masson <i>et al.</i> 2000).	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Localização dos afloramentos estudados no trabalho de campo.	1
Tabela 2 - Tabela de Fácies.....	4
Tabela 3 – Amostras usadas para petrografia	4
Tabela 4 - Relação das amostras utilizadas na caracterização das matérias primas.	5
Tabela 5 - Limites recomendados às massas cerâmicas para uso em cerâmica vermelha descritos por Santos (1989) e adotados no laboratório da Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica – SRM do IPT.....	17
Tabela 6 - Classificação de placas cerâmicas prensadas segundo sua absorção de água, baseada na norma NBR-13817 da ABNT.	17
Tabela 7 - Relação das amostras e os tipos de ensaios cerâmicos a que foram submetidos.	33
Tabela 8 - Propriedades físicas das amostras submetidas à extrusão, obtidos na secagem a 110 °C e queima a 800, 850, 900 e 950 °C.....	34
Tabela 9 - Propriedades físicas das amostras submetidas à prensagem, obtidos na secagem a 110 °C e queima a 1050 e 1150 °C.	35
Tabela 10 - Composição química em porcentagem dos óxidos maiores das amostras.	36
Tabela 11 - Composição mineralógica das amostras por DRX.....	37

1. INTRODUÇÃO

A Formação Corumbataí (Permiano), originada em ambiente marinho na Bacia do Paraná, é conhecida pelas excepcionais características tecnológicas de seus depósitos argilosos na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, onde são lavrados para uso cerâmico como revestimento.

No presente trabalho de formatura, do curso de geologia do Instituto de Geociências (USP), as exposições da Formação Corumbataí em áreas de lavra de Tambaú, na região centro-leste do estado de São Paulo, foram investigadas com o objetivo de caracterização faciológica sedimentar e tecnológica para uso cerâmicos, a fim de comparar com as características de Santa Gertrudes.

O estudo, desenvolvido concomitantemente a estágio na Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), incluiu trabalhos de campo, abrangendo a seleção de três frentes de lavra, com levantamento de seção estratigráfica, caracterização das fácies sedimentares e coleta de amostra para estudos sedimentológicos e de caracterização tecnológica.

Na região de Tambaú, as fácies sedimentares representam contexto de borda de bacia o que poderia refletir na diferenças dos parâmetros cerâmicos, comparados aos de Santa Gertrudes, porém os resultados obtidos, no presente trabalho, demonstraram serem relativamente semelhantes, comprovando a viabilidade do seu uso para cerâmica de revestimento.

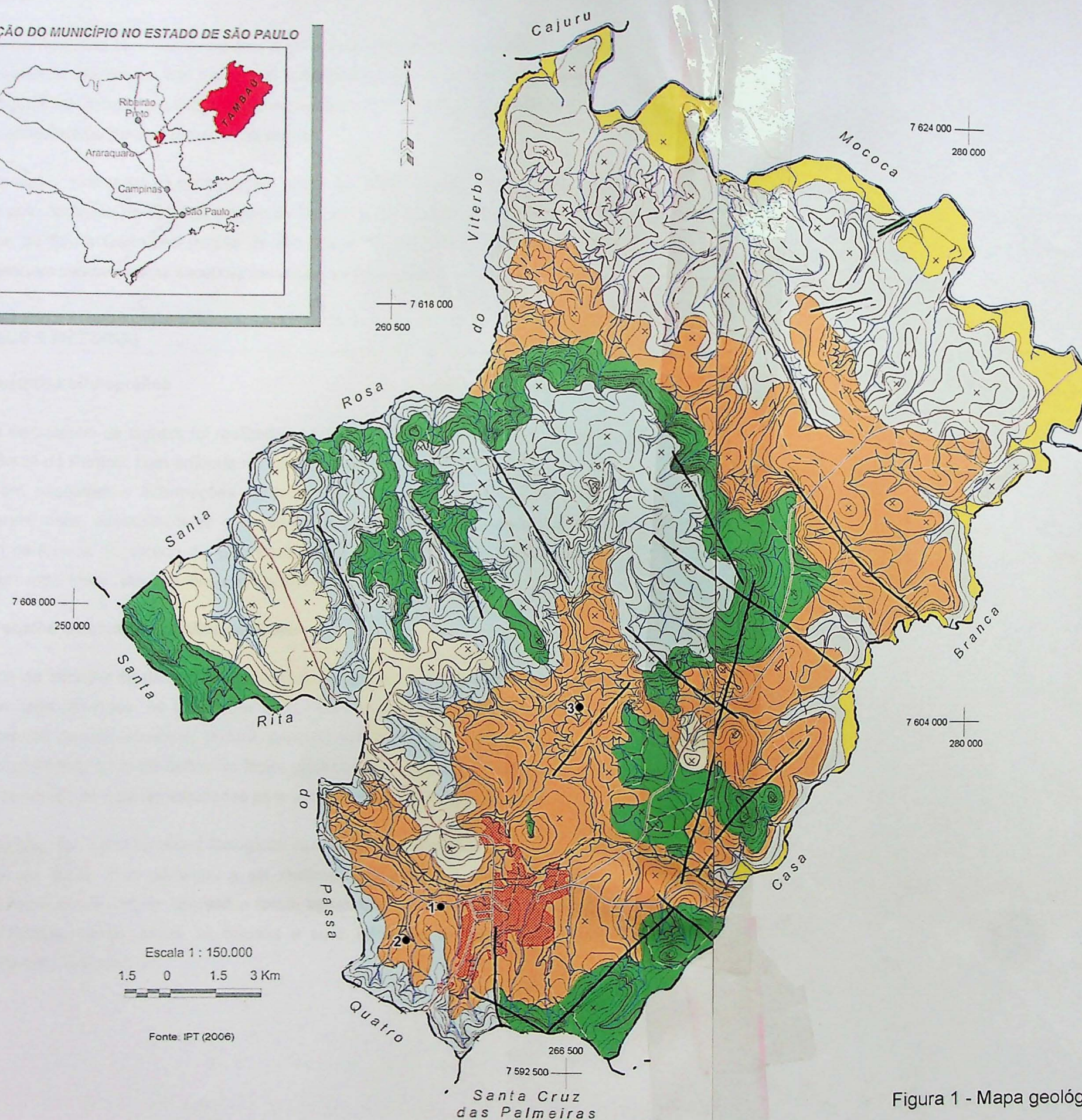
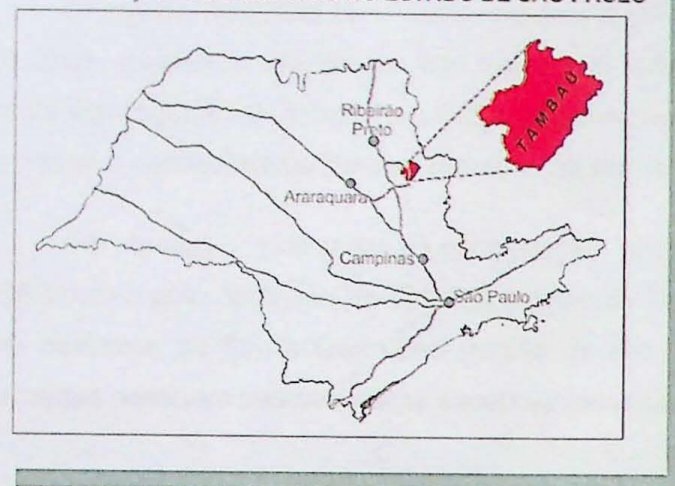
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no município de Tambaú, região centro leste do estado de São Paulo. A região dista aproximadamente 270 km da capital paulista, e o acesso se dá através das rodovias estaduais Bandeirantes, Anhanguera e Padre Donizetti. Foram estudadas três frentes de lavra (Tabela 1), cujo contexto geológico é apresentado na Figura 1.

Tabela 1 - Localização dos afloramentos estudados no trabalho de campo.

Pontos	Descrição	Coordenadas UTM X	Coordenadas UTM Y
1	Frente de Lavra da Mina Bagatta	262.250	7.597.990
2	Frente de Lavra da Mina Demactam	261.113	7.596.855
3	Frente de Lavra da Mina Tec-Mineral	266.889	7.604.674

LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO NO ESTADO DE SÃO PAULO



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

QUATERNÁRIO

- Sedimentos aluvionares: areias, argilas, cascalhos e com turfa associada ocasionalmente.
- Sedimentos de cobertura de colina: materiais areno-argilosos, ocasionalmente com nível clástico basal.

JURÁSSICO-TRIÁSSICO
Formação Serra Geral

- Derrames e intrusões básicas.

TRIÁSSICO
Formação Pirambóia

- Arenitos estratificados, com níveis lamíticos e conglomeráticos subordinados.

PERMIANO
Formação Corumbataí

- Argilitos e siltitos arroxeados a marrom avermelhados, com intercalações de arenitos finos, lentes carbonáticas e sílexíticas.

Formação Aquidauana

- Argilitos e siltitos de tonalidades avermelhadas, ocasionalmente com folhelhos, conglomerados, diamictitos e ritmitos.

— Contato Geológico

— Falha

Figura 1 - Mapa geológico e de pontos da área de estudo (IPT 2006).

3. OBJETIVOS

O estudo realizado teve como objetivo a caracterização faciológica sedimentar dos principais depósitos de argila da Formação Corumbataí no município de Tambaú, concomitante à caracterização tecnológica das argilas para fins cerâmicos, com o intuito de aprimorar o conhecimento dessa Formação na região.

Foi também realizada a comparação entre as propriedades das argilas que abastecem o polo cerâmico de Tambaú (região de Tambaú), com aquelas que abastecem o polo cerâmico de Santa Gertrudes (região de Rio Claro), já que essas argilas de Santa Gertrudes possuem características excepcionais para o setor cerâmico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Pesquisa bibliográfica

Antes do trabalho de campo, foi realizada compilação bibliográfica sobre a geologia regional da Bacia do Paraná, com enfoque na sua borda leste e na Formação Corumbataí. Também foram pesquisadas informações sobre a aplicação cerâmica de argilas, seus conceitos gerais, usos, especificidades e características principais; além do estudo dos polos mineiro cerâmicos do estado de São Paulo. Para isso, foram consultados artigos, anais de congressos, teses, dissertações e livros técnicos.

4.2. Trabalho de campo e análise de fácies

A etapa de trabalho de campo consistiu na descrição de 3 afloramentos em frentes de lavras. Em cada um deles, as descrições consistiram na caracterização dos principais litotipos em termos de granulometria, textura, grau de seleção assim como as estruturas sedimentares presentes, a fim de definir as fácies sedimentares. Também foram realizados amostragem de canal nas 3 minas estudadas para a caracterização dessas matérias primas.

A descrição das características litológicas das rochas foi realizada para que fosse feita a análise de fácies. Esta começou a ser realizada em campo e posteriormente foi concluída em escritório. As minas estudadas foram agrupadas em 5 fácies, como ilustrada na tabela 2. Posteriormente, todas as colunas e suas informações foram digitalizadas através do software Coreldraw X7.

Tabela 2 - Tabela de Fácies.

FÁCIES	DESCRIÇÃO SUCINTA	PROCESSO DE TRANSPORTE DOMINANTE
Argilito maciço	Argilito maciço ou com laminação plano-paralela incipiente	Suspensão
Siltito maciço	Siltito maciço	Suspensão
Ritmito com <i>linsen</i>	Ritmito com predominância de argilito	Alternância de suspensão (predominante) e tração
Ritmito com <i>flaser</i>	Ritmito com predominância de arenito	Alternância de tração (predominante) e suspensão
Calcarenito	Calcarenito constituído principalmente por calcita detrítica	Precipitação bioquímica, retrabalhamento e tração (processo alobioquímico)

4.3. Petrografia

As descrições petrográficas foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) na seção de petrografia, e para a realização do mesmo foi utilizado microscópio modelo DM4500 P, marca Leica, com câmera digital DFC295, também da mesma marca. As fotomicrografias foram captadas e editadas utilizando o software LAS V.4.4.0 (Leica Application Suite). As amostras estudadas e sua caracterização macroscópica encontram-se na Tabela 3, com a descrição petrográfica no item 6.2.

Tabela 3 – Amostras usadas para petrografia

AMOSTRAS	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA
TB-01-C	Coquina silicificada da mina Bagatta
TB-02-A	Silexito da mina Demactam
TB-02-E	Calcarenito da mina Demactam
TB-03-A	Siltito com estratificação heterolítica da mina Tec-Mineral

4.4. Caracterização das matérias primas

A caracterização das matérias primas coletadas seguiu o procedimento padrão adotado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. As amostras que foram submetidas à caracterização foram coletadas na forma de amostragem de canal, e suas respectivas localizações estão expressas na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação das amostras utilizadas na caracterização das matérias primas.

AMOSTRAS	LOCALIZAÇÃO
TB-01-E	Bancada superior da mina Bagatta
TB-01-F	Bancada inferior da mina Bagatta
TB-02-B	2,5m basais da mina Demactam
TB-02-C	Fácies de calcarenito (2,5-6,0m) da mina Demactam
TB-02-F	Topo (6,0-11,0m) da mina Demactam
TB-03-B	Bancada principal da mina Tec-Mineral

4.4.1. Ensaios tecnológicos de argila para aplicação cerâmica

Este capítulo visa apresentar a sequência de ensaios adotados para caracterizar a argila como matéria prima para a indústria cerâmica, e seguiu o procedimento padrão adotado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

De início, a argila é submetida a um teste de queima entre 1000 °C e 1100 °C, o que permite classificar a argila pela cor apresentada em um dos grupos cerâmicos. Dependendo do resultado obtido nessa primeira etapa, ou seja, da cor de queima, os ensaios cerâmicos são direcionados para diferentes etapas de preparação e ensaios.

Se a argila apresentar queima na cor vermelha, os ensaios cerâmicos são dirigidos para o grupo de cerâmica vermelha ou estrutural, visando o uso para fabricação de tijolos maciços, tijolos furados (blocos), telhas, manilhas e agregado leve. Se queimar com a cor branca, os ensaios cerâmicos são dirigidos para o grupo de cerâmica branca e refratários. O fluxograma dos ensaios cerâmicos pode ser observado na Figura 2.

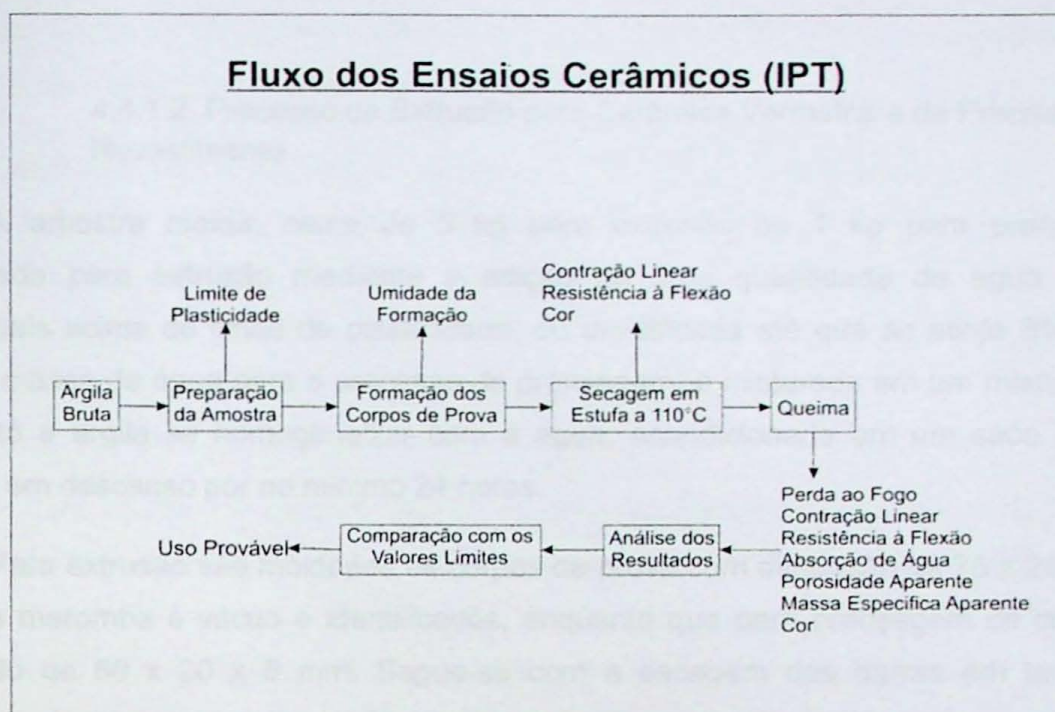


Figura 2 - Fluxograma dos Ensaio Cerâmicos (IPT 1993).

4.4.1.1. *Preparação de argilas para cerâmica vermelha e de revestimento*

Na preparação de argilas para cerâmica vermelha e de revestimento são realizadas as seguintes etapas:

- a) Secagem: a argila bruta conforme recebida deve ser seca ao ar, se possível exposta ao sol ou em estufa com circulação de ar, abaixo de 70 °C, até ter de umidade que permita britagem e moagem.
- b) Britagem: a argila após a secagem é britada em um britador de mandíbulas até a granulação adequada para a alimentação do moinho de disco.
- c) Moagem: após a britagem a argila é moída em um moinho de disco até que todo o material passe pela peneira n°80 (abertura de 0,177mm) para a extrusão, e peneira n°200 (abertura 0,075mm) para prensagem.

Uma alíquota da amostra assim preparada é enviada ao laboratório para o ensaio do limite de plasticidade, segundo o método ABNT MB-31/69.

d) Conformação dos corpos de prova: os corpos de prova podem ser conformados por prensagem ou extrusão, dependendo da finalidade a que se destina a argila ou do interesse do cliente. Quando a finalidade é a aplicação da argila para cerâmica vermelha é realizado o processo de extrusão, diferentemente de quando a finalidade é a aplicação em revestimento, o qual se aplica o processo de prensagem.

4.4.1.2. Processo de Extrusão para Cerâmica Vermelha e de Prensagem para Revestimento

A amostra moída, cerca de 5 kg para extrusão ou 1 kg para prensagem, é umidificada para extrusão mediante a adição de uma quantidade de água 2 pontos percentuais acima do limite de plasticidade, ou umidificada até que se atinja 8% do valor total da massa de água para o processo de prensagem, e misturada em um misturador tipo galga até a argila se homogeneizar com a água, acondicionada em um saco plástico e deixada em descanso por no mínimo 24 horas.

Para extrusão são moldados os corpos de prova com dimensão de 75 x 20 x 10 mm em uma maromba à vácuo e identificados, enquanto que para prensagem os corpos tem dimensão de 60 x 20 x 5 mm. Segue-se com a secagem das barras em temperatura ambiente, depois em estufa a 110 °C. Neste estágio são determinadas as propriedades cerâmicas de contração linear, tensão de ruptura à flexão a seco, porcentagem de umidade de extrusão e cor da barra.

Na etapa de queima, as barras para extrusão são submetidas à queima nas temperaturas de 800, 850, 900 e 950 °C, enquanto que as barras para prensagem foram submetidas à queima nas temperaturas de 1050, 1150, em forno elétrico de resistência Kanthal, em atmosfera oxidante, com velocidade constante de aquecimento de 5°C/minuto e 3 horas no patamar. Após o processamento térmico, são estabelecidas as propriedades cerâmicas de perda ao fogo, contração linear de queima e total, tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e cor da barra.

4.4.2. Análise química por fluorescência de raios X

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) pertencente ao Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura (CT-OBRAS) do IPT, de acordo com as diretrizes gerais da ISO/FDIS 29581-2:2009 (E) "*Cement – Test Methods – Part 2: Chemical analysis by X-ray fluorescence*".

A etapa de preparação das amostras foi a mesma utilizada para o ensaio cerâmico: secagem ao ar livre, britagem e moagem até a passagem do material em peneira de 0,177 mm. A partir do pó obtido pela moagem foram confeccionadas pastilhas fundidas em máquina de fusão marca Claisse, modelo M4. Os fundentes utilizados eram à base de mistura de tetraborato de lítio/metaborato de lítio marca Maxxiflux (66,67% de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 32,83% de LiBO_2 e 0,50% de LiBr), com proporção de 0,5 g de amostra para 6,75 g de

fundente. Por fim, as pastilhas fundidas foram analisadas no espectrômetro de fluorescência de raios X da marca Panalytical, modelo Minipal Cement.

Os óxidos de sódio (Na_2O) e potássio (K_2O) foram determinados por absorção atômica segundo as diretrizes da NBR 13810/97 (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-053 e CT-OBRAS-LMCC-Q -PE-061).

4.4.3. *Análise mineralógica por difratometria de raios X*

A difratometria de raios X, técnica na qual um feixe de comprimento de onda bem determinado difrata em um cristal desconhecido, pode determinar a distância dos átomos no cristal de acordo com a medida do ângulo de difração do raio emergente e, conseqüentemente, identificar a estrutura cristalina, auxiliando na identificação mineralógica. Segundo Energlyn & Brealey (1971), o limite mínimo de detecção através desta técnica é em torno de 5% do volume de material analisado; valores até 3% podem produzir padrões detectáveis para minerais com grande densidade eletrônica.

As análises mineralógicas semiquantitativas por difração de raios X foram realizadas no LMCC pertencente ao CT-OBRAS do IPT, de acordo com as diretrizes gerais deste laboratório: procedimento CT-OBRAS-LMCC-P-PE 008 "*Análise mineralógica por difratometria de raios X*".

A etapa de preparação das amostras foi, em parte, a mesma utilizada para o ensaio cerâmico e DR-X: secagem ao ar livre, britagem e moagem até a passagem do material em peneira de 0,177 mm. O pó resultante foi utilizado como fração total e como fração argila. Esta última foi obtida com a colocação do pó em um recipiente com água para que fosse formado um sistema coloidal (argila + água) e conseqüente decantação das outras frações granulométricas (silte e areia) como corpo de fundo. O material decantado foi cuidadosamente retirado do recipiente e o sistema coloidal foi colocado em ambiente aberto para que a água evaporasse, sobrando apenas a fração argila no recipiente.

O pó da fração argila e da fração total foram colocados separadamente no difratômetro da marca Rigaku, modelo Windmax 2000, operando na radiação $\text{K}\alpha$ do cobre com 40 kV – 30 mA e varredura de 2 °/min para a obtenção dos difratogramas de cada amostra.

A identificação dos minerais nos difratogramas foi feita por meio do *software* X-pert HighScore Plus (versão 3.0) da Panalytical e padrões difratométricos fornecidos pelo ICDD (*International Center for Diffraction Data*) com atualização até 2003. Para a

semiquantificação foram utilizadas as áreas dos picos mais intensos de cada um dos minerais presentes nas amostras.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Geologia regional

5.1.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná compreende uma grande região sedimentar-magmática, que ocorre no centro-sul do Brasil, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai. Possui área aproximada de 1,5 milhão de quilômetros quadrados, dos quais 1,1 milhão km² estão em território brasileiro. A espessura máxima de seu preenchimento está por volta dos 7 mil metros, com o depocentro estrutural coincidindo geograficamente com a região da calha do rio que lhe dá o nome (Fig. 3). É classificada como uma sinéclise intracratônica, com subsidência e sedimentação iniciada no Meso-Ordoviciano (Milani *et al.* 2007).



Figura 3 - Localização da Bacia do Paraná no Brasil (Taioli 2000).

De acordo com Milani (1997), o registro estratigráfico da Bacia do Paraná pode ser dividido em seis grandes unidades, sendo elas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero a Eo-Triássico), Gondwana II (Meso a Neo-Triássico), Gondwana III (Neo-Jurássico a Eo-Cretáceo) e Bauru (Neo-Cretáceo). As três

primeiras supersequências são paleozoicas e correspondem a ciclos de transgressão e regressão marinha, enquanto que as demais, mesozóicas, são representadas por sedimentação e magmatismo continental.

5.1.2. *Geologia da área de estudo*

A região de estudo está situada na borda leste da Bacia do Paraná, e as unidades aflorantes nessa área são as formações Aquidauana, Corumbataí, Pirambóia e Serra Geral, dispostas nessa presente ordem, da mais antiga para a mais nova.

A Formação Aquidauana do Grupo Itararé, do intervalo do Neo-Carbonífero ao Eo-Permiano, é constituída predominantemente por arenitos e diamictitos de tonalidades avermelhadas, interdigitadas com as demais unidade do Grupo Itararé em toda sua espessura, considerada como fácies marginal deste grupo (Milani *et al.* 1994).

A Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois (Neo-Permiano) é caracterizada principalmente por siltitos, argilitos, folhelhos e arenitos finos a médios, de cores variadas (Campos e Souza *et al.* 2010). Por ser a unidade alvo desse trabalho, esta será descrita com maior detalhe na próxima seção desse Capítulo.

A Formação Pirambóia do Grupo São Bento é do Triássico ao Jurássico, e é constituída essencialmente por arenitos médios e finos, com tons esbranquiçados, avermelhados e alaranjados, apresentando estratificação cruzada de médio a grande porte (Roveri 2010).

A Formação Serra Geral do Grupo São Bento, de idade eocretácea, é proveniente de eventos magmáticos numa fase de tectonismo na qual as formações já depositadas sofreram série de fraturas e falhamentos que permitiram a passagem de magma básico formando grandes derrames, que também ficaram alojados na forma de soleiras e diques. É constituída essencialmente por basalto e diabásio de cor cinza a preta, e textura predominantemente afanítica ou fanerítica muito fina (IPT 2006).

5.1.3. *Formação Corumbataí*

O termo Corumbataí surgiu pela primeira vez como entidade estratigráfica no Relatório da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo, do ano de 1916, para denominar os “xistos argilosos e fossilíferos com calcário e xisto betuminoso” (Mezzalana 1964).

Em São Paulo, a Formação Corumbataí foi adotada por Sanford & Lange (1960) como sendo cronocorrelato da parte superior da Formação Serra Alta e à inferior da Formação Teresina. No entanto, Landim (1970) correlacionou a Formação Corumbataí com as Formações Serra Alta, Teresina, e também com a base do membro Serrinha (Subunidade da Formação Rio do Rastro). Schneider *et al.* (1974) adotou essa última definição em sua revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.

Segundo Landim (1970), a Formação Corumbataí depositou-se em concordância sobre a Formação Irati, enquanto que seu contato superior com a Formação Piramboia é por discordância erosiva. No estado de São Paulo, sua espessura é da ordem de 130 m, adelgaçando para o norte, até seu desaparecimento nas proximidades da divisa com Minas Gerais.

De acordo com Milani *et al.* (1994), a Formação Corumbataí se interdigita com as formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rastro do sul do País. Essa unidade é constituída basicamente por argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados, ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silexitos e camadas de arenitos finos que são mais frequentes no topo da unidade, próximos ao contato com a Formação Pirambóia, enquanto que leitos descontínuos e delgadas lentes de *bone bed* aparecem dispersos por toda unidade (Roveri 2010).

A Formação Corumbataí é caracterizada pelas estratificações plano-paralelas, cruzadas de baixo ângulo, estrutura *flaser*, estratificação rítmica, marcas onduladas, gretas de contração e brechas intraformacionais. Seu conteúdo paleontológico é caracterizado pela presença de pelecípodes, ostracodes, conchostráceos, peixes e restos vegetais (IPT 1981). Toledo (2001) descreveu leitos de *bone-beds* que estariam relacionado a eventos de tempestade. Rohn (1994), referindo-se a assembleias de bivalves do Grupo Passa Dois, destacou diversas ocorrências de uma coquina com *Pinzonella neotropica*, sugerindo uma possível importante fase transgressiva nesta porção da Bacia do Paraná.

As interpretações dos ambientes deposicionais da Formação Corumbataí são controversas, principalmente com relação à origem marinha ou não dos sedimentos. Como observou Landim (1970), se muitas estruturas sedimentares sugerem condições litorâneas sob domínio de corrente de maré, outras seriam compatíveis com ambiente lacustre.

A hipótese de sedimentação lacustre é defendida por Sanford & Lange (1960), enquanto Schneider *et al.* (1974) apresentaram modelo de sedimentação marinha de águas gradativamente mais rasas e redutoras na porção inferior da formação, e águas rasas e oxidantes sob influencia de maré na porção superior, o que também foi interpretado por Gama Jr. (1979), relacionado a sistema deltaico.

Toledo *et al.* (1997) com base nas estruturas sedimentares (gretas de contração e estratificação cruzada *hummocky*) sugeriram ambiente deposicional marinho plataformar. Além disso, Toledo (2006) reportou a existência de petalodontes na Formação Corumbataí, que são peixes cartilaginosos que não ultrapassaram o limite Permiano-Triássico, e confirmam a hipótese de deposição em ambiente marinho plataformar.

Com base em estudos petrográficos na região de Rio Claro, Zanardo (2003) e Zanardo *et al.* (2004) aventaram a hipótese de que a deposição da Formação Corumbataí ocorreu em ambiente marinho de águas rasas, com exposição aérea em decorrência das marés.

5.1.4. Estudos para fins cerâmicos da Formação Corumbataí

De acordo com Christofolletti & Moreno (2004), a Formação Corumbataí é utilizada com sucesso pela indústria de revestimento cerâmico no polo de Santa Gertrudes. Eles dividiram a Formação Corumbataí em cinco litofácies (maciça, laminada, intercalada I, intercalada II e alterada). São consideradas argilas com teores médios de elementos fundentes, com os valores de soma dos óxidos alcalinos variado de 2,9% na litofácies alterada até valores de 4,3% na litofácies intercalada I. Os argilominerais predominantes em todas as fácies são illita e caulinita, além de montmorillonita nas fácies intercalada I e II e laminada. Outros minerais importantes são quartzo, albita, hematita e calcita. Os resultados cerâmicos possibilitaram enquadrar as litofácies cerâmicas dentro do Grupo BIIb na classificação de revestimentos cerâmicos da ABNT (1997) (BII – valores de resistência à flexão da ordem de 180-300 kgf/cm²; b – valores de absorção de água (Abs) de 6 a 10%), porém, alguns valores de Abs ficaram acima de 10%.

Roveri (2010) caracterizou as argilas da Formação Corumbataí quanto à petrologia e propriedades tecnológicas, na região do polo cerâmico de Santa Gertrudes. A pesquisa de Roveri (2010) demonstrou que toda essa unidade pode ser utilizada na fabricação de produtos cerâmicos, sendo que a mineralogia (principalmente illita, muscovita, biotita, clorita, montmorillonita e caulinita) e as propriedades tecnológicas apresentam significativa variação tanto na vertical como na horizontal, decorrentes de aspectos sedimentares, diagenéticos e alteração supérgena.

Campos e Souza *et al.* (2010) fizeram a caracterização mineralógica, química e cerâmica em três amostras das argilas da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú e Limeira, o que permitiu definir que todas as argilas são fundentes e que os resultados cerâmicos refletem diretamente na composição mineralógica e química das amostras estudadas.

Coutinho Jr. *et al.* (2013) aventaram também a possibilidade de usar a Formação Corumbataí na fabricação de revestimentos cerâmicos monoporosos ou de alta porosidade por via seca. Para tanto, analisou as matérias por Análise Térmica Diferencial, Análise Térmica Gravimétrica, Difração de Raios X, microscopia óptica, e fez vários tipos de ensaios físicos e químicos para avaliação dos parâmetros de qualidade em argilas carbonáticas da Mina Morro Alto, situada no município de Araras. Mineralogicamente esses materiais são constituídos por quantidades elevadas de calcita e dolomita. Os autores levantaram a possibilidade de uma nova exploração da mina a partir do desenvolvimento de produtos porosos desde que sejam realizados testes semi-industriais e análise da viabilidade econômica, já que as características cerâmicas dessas argilas são compatíveis com os padrões de exigências para seu uso como matéria prima para fabricação de revestimentos porosos.

5.2. Polos mineiro-cerâmicos do estado de São Paulo

De acordo com Cabral Jr. *et al.* (2005), nota-se que o potencial geológico (existência de jazidas), junto a outros condicionantes favoráveis, como proximidade de mercados, base infra-estrutural privilegiada, e cultura empresarial, tem orientado a polarização do setor cerâmico em territórios específicos, formando aglomerados produtivos. Esses aglomerados produtivos chegam a constituir o que vem se conceituando como Arranjo Produtivo Local (APLs) da base mineral.

A distribuição dessas aglomerações de indústrias de cerâmica estrutural e de revestimentos guarda íntima relação com os terrenos geológicos portadores das principais jazidas de argila no Estado (Cabral Jr. *et al.* 2014). Na Figura 4, que ilustra esquematicamente o arcabouço geológico do território paulista, estão posicionados os principais polos mineiro-cerâmicos reconhecidos no Estado, e sintetizados o contexto geológico e algumas características físico-químicas e tecnológicas das argilas.

O encadeamento territorial existente entre o sistema de suprimento mineral e a manufatura cerâmica, bem como a grande expressão dessas indústrias (extrativa e de transformação), fazem com que essas concentrações mineiro-industriais sejam melhores caracterizadas como aglomerações produtivas de base mineral, ou, mais especificamente, como polos mineiro-cerâmico (Cabral Jr. *et al.* 2014).

No estado de São Paulo, o polo cerâmico mais importante está na região dos municípios de Rio Claro, Santa Gertrudes e Cordeirópolis, constituindo o polo cerâmico de Santa Gertrudes, que corresponde a cerca de 50% da produção nacional de cerâmica de revestimento do País (Roveri 2010).

Já no município de Tambaú está localizado um dos mais relevantes polos Mínero-Cerâmico do estado de São Paulo, este com produção de cerâmica vermelha, contando com 93 empreendimentos, sendo 82 cerâmicos e 11 mineiros, com aproximadamente 1400 empregos diretos. A produção do parque industrial é diversificada, com destaque para telhas, tubos e conexões, lajes elementos vazados e blocos. A Formação Corumbataí é responsável por 66% do abastecimento da matéria prima. (IPT 2006).

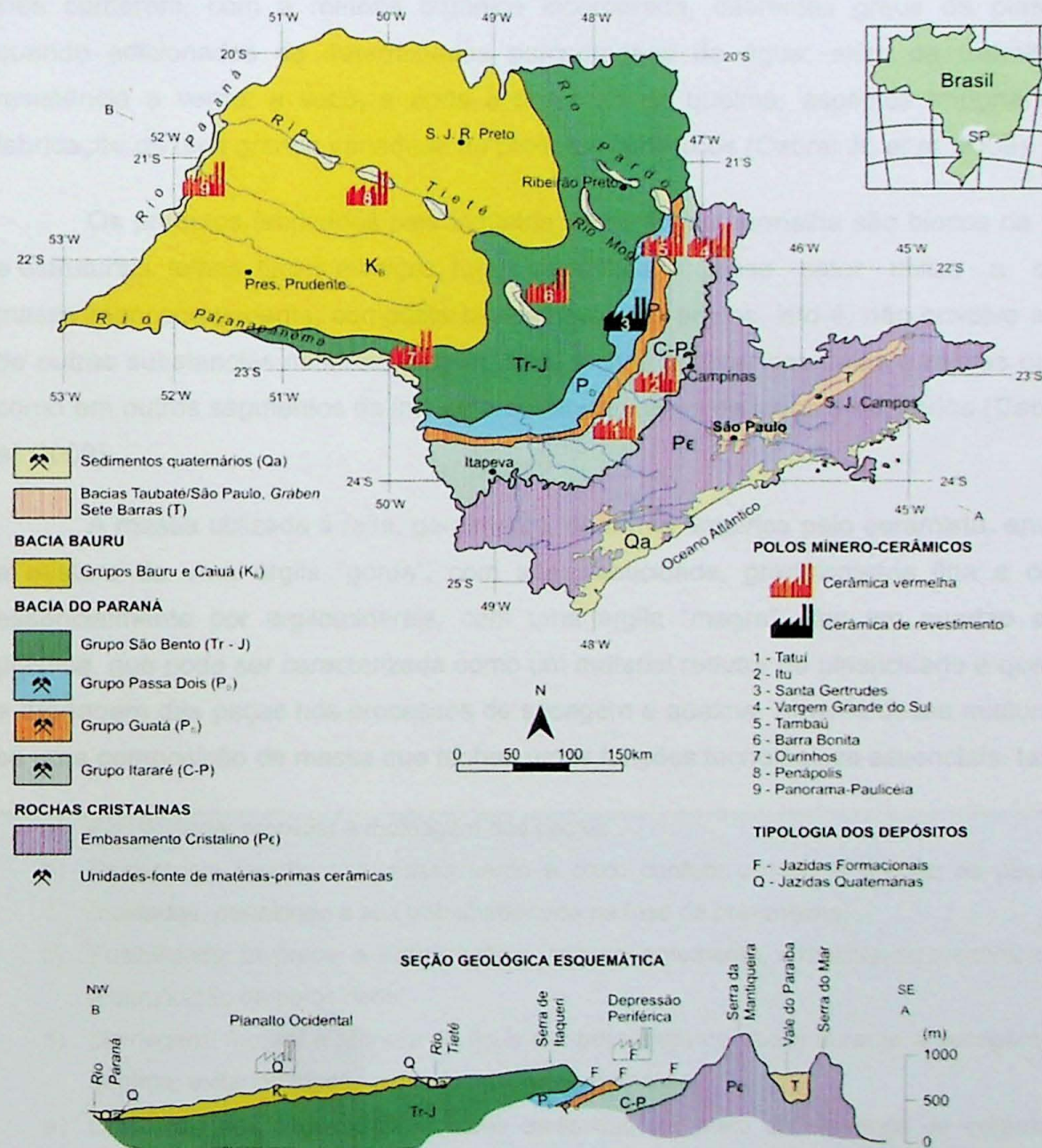


Figura 4 - Principais polos mínero-cerâmicos no estado de São Paulo (Cabral *et al.* 2014).

5.3. Matérias primas e o processo de cerâmica vermelha

A matéria prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha é conhecida na literatura como argila comum (*common clays*) e abrangem uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Entre essas, incluem, basicamente, sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argila aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas, a temperatura variáveis entre 800 e 1250 °C. A granulometria desses materiais é geralmente muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferentes graus de plasticidade, quando adicionadas de determinadas porcentagens de água; além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco, e após o processo de queima, aspectos importantes para fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos (Cabral Jr. *et al.* 2009).

Os produtos fabricados pela indústria de cerâmica vermelha são blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, tubos e ladrilhos. Esse setor utiliza a chamada massa monocomponente, composta basicamente por argilas, isto é, não envolve a mistura de outras substâncias minerais (caulim, filito, rochas feldspáticas, talco e rochas calcárias), como em outros segmentos da indústria cerâmica, casos da louça e sanitários (Cabral Jr. *et al.* 2009).

A massa utilizada é feita, geralmente, de forma empírica pelo ceramista, envolvendo a mistura de uma argila “gorda”, com alta plasticidade, granulometria fina e composta essencialmente por argilominerais, com uma argila “magra”, rica em quartzo e menos plástica, que pode ser caracterizada como um material redutor de plasticidade e que permite a drenagem das peças nos processos de secagem e queima. Através dessa mistura, busca-se uma composição de massa que tenha algumas funções tecnológicas essenciais, tais como:

- a) Plasticidade: propiciar a moldagem das peças;
- b) Resistência mecânica à massa verde e crua: conferir coesão e solidez às peças moldadas, permitindo a sua trabalhabilidade na fase de pré-queima;
- c) Fusibilidade: favorecer a sinterização e, conseqüentemente, a resistência mecânica e a diminuição da porosidade;
- d) Drenagem: facilitar a retirada de água e a passagem de gases durante a secagem e queima, evitando trincas e dando rapidez ao processo;
- e) Coloração das peças: atribuir cores cerâmicas por meio da presença de corantes naturais (óxidos de ferro e manganês).

No processo de fabricação (Fig. 5), a massa é cominuída em equipamentos como destorroadores, desintegradores e laminadores, umidificada acima do limite de plasticidade, e processada em misturadores e homogeneizadores. Em seguida é conformada por

extrusoras (marombas), quando adquirem as suas formas finais (blocos, lajes, lajotas e tubos) ou seguem para prensagem (telhas) ou tornearia (vasos).

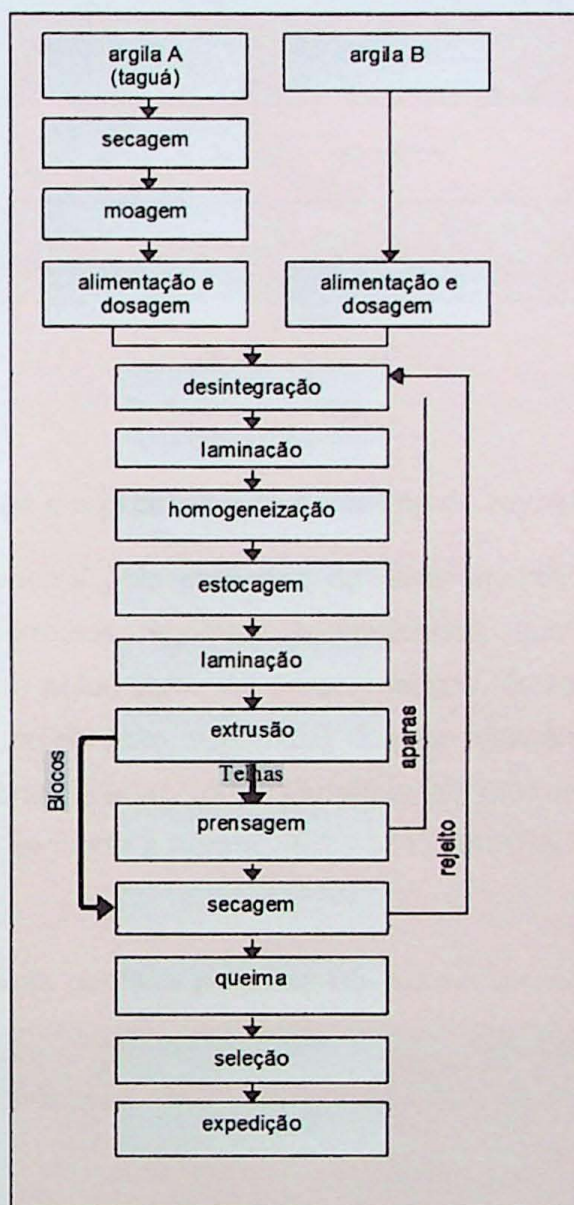


Figura 5- Fluxogramas dos processos de fabricação de blocos e telhas (Modificado de São Paulo 1992).

Para determinar os usos potenciais de uma argila para cerâmica vermelha, utiliza-se a parametrização clássica, elaborada por Santos (1989) e adotado no laboratório da Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica – SRM do IPT (Tabela 5). A avaliação da qualificação das argilas é feita, basicamente, em função da resistência mecânica e absorção de água.

Tabela 5 - Limites recomendados às massas cerâmicas para uso em cerâmica vermelha descritos por Santos (1989) e adotados no laboratório da Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica – SRM do IPT.

Massa Cerâmica (Extrudada ou Prensada)	Produtos Cerâmicos			
	Tijolos maciços	Blocos	Telhas	Revestimentos
Tensão de ruptura da massa seca a 110°C (mínima)	15 kgf/cm ²	25 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²	-
Tensão de ruptura da massa após a queima (mínima)	20 kgf/cm ²	55 kgf/cm ²	65 kgf/cm ²	200 kgf/cm ²
Absorção de água da massa após a queima (máxima)	-	25%	20%	5%

5.4. Matérias primas e o processo de cerâmica de revestimento

Os produtos fabricados pela cerâmica de revestimento são azulejos, ladrilhos e pastilhas, produtos de formatos regulares padronizados, que admitem processamento industrial com alto grau de automação. As características técnicas dos revestimentos são relativa à absorção de água, abrasão, superficial, dureza, resistência a manchas e a ácidos, e ao choque térmico (Cabral Jr. *et al.* 2006). Os principais produtos classificados de acordo com a absorção de água segundo a norma NBR-13817 da ABNT (1997) são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação de placas cerâmicas prensadas segundo sua absorção de água, baseada na norma NBR-13817 da ABNT.

GRUPO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	MATERIAIS UTILIZADOS	PROCESSO	APLICAÇÕES RESIDENCIAIS
Bia	0,0 - 0,5	Feldspatos, filito, argila branca, carbonato, zircão e caulim.	Via úmida	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Porcelanato)
Blb	0,5 - 3,0	Feldspatos, filito, argila branca e carbonato	Via úmida	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Grés)
Blla	3,0 - 6,0	Filito, argila branca e argila vermelha	Via úmida	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Semi-Grés)
Blb	6,0 - 10	Argilha vermelha	Via seca	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Semi-Poroso)
BIII	Acima de 10	Argila branca, filito, carbonato e talco	Via úmida	Paredes (Azulejo)

A indústria de revestimento do Brasil consome quantidades expressivas de substâncias minerais, já superando em 2010 o patamar de 12,5 milhões de toneladas (Cabral Jr. *et al.* 2010). Entre as principais variedades incluem as argilas fundentes (queima vermelha), as argilas plásticas (queima clara), caulins, filitos, fundentes feldspáticos (rochas graníticas e alcalinas), talco, carbonato e quartzo. Também é consumido matérias primas sintéticas utilizadas, principalmente, nos esmaltes que compõe as coberturas das placas.

Dois tipos mais usuais de sistemas de produção industriais são utilizados na preparação das massas: via seca e via úmida (Fig. 6).

Conforme descrito em Cabral Jr. *et al.* (2006), nas indústrias de revestimentos por via seca utiliza-se a massa simples, constituída de argilas de queima avermelhada, seca abaixo de 5% de umidade, cominuída em moinhos de martelo ou moinhos pendulares, levemente umidificada, e encaminhada ao processamento cerâmico (prensagem a seco, secagem, decoração e queima). O grande produtor nacional deste tipo de revestimento é o Polo de Santa Gertrudes, no Estado de São Paulo, sendo que a argila é proveniente da Formação Corumbataí (Permocarbonífero da Bacia do Paraná). Para a composição da massa há, geralmente, uma mistura de rocha argilosa fresca mais fundente, com rocha parcialmente alterada, mais plástica.

Segundo os mesmos autores, os revestimentos obtidos por via úmida são de base preferencialmente de cor clara, formulados com massa composta ou artificial, constituída de argilas, caulim, filito, rochas feldspáticas, talco, carbonatos e quartzo, que reúnem os materiais fundentes, inertes e formadores de vidro. Essa mistura é moída e homogeneizada em moinhos de bola, em meio aquoso; seca e granulada em *spray dryer* (atomizador); e conformada por prensagem a seco, para seguir então para a decoração e queima. A seleção das matérias-primas busca dar cor branca ou clara à base dos produtos (biscoito ou suporte) e boa sinterização nas condições de queima rápida e temperaturas abaixo de 1.200 °C. No Brasil, os pólos cerâmicos via úmida estão concentrados em Criciúma (SC), e, secundariamente, em Mogi Guaçu e Grande São Paulo (SP).

Um terceiro processo de fabricação é feito por extrusão de massa argilosa plástica, similar ao processo de indústria de cerâmica vermelha. Quanto à composição pode ser formulada por massa simples ou composta, moída via seca ou via úmida.

5. RESULTADOS

5.1. Levantamento e descrição dos centros produtivos

Quanto ao levantamento de dados, foram realizadas visitas técnicas aos polos produtivos, sendo eles: Mogi Guaçu (SP), Criciúma (SC) e São Paulo (SP).

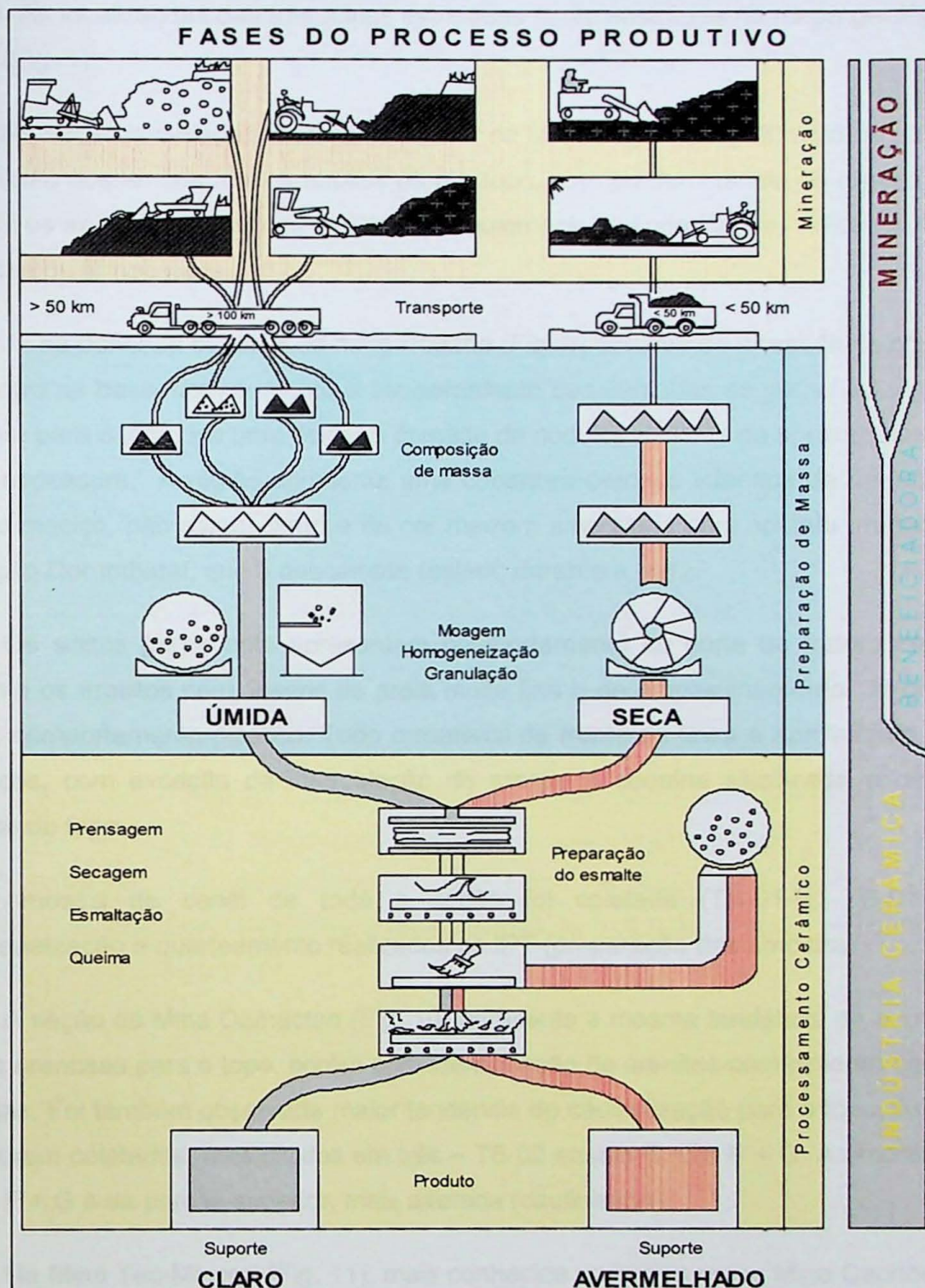


Figura 6 - Processo de produção de revestimentos cerâmicos prensados (Motta *et al.* 1998).

6. RESULTADOS

6.1. Levantamento e descrição das colunas estratigráficas

Durante os trabalhos de campo foram levantadas colunas estratigráficas das três minas visitadas, sendo elas: Mina Bagatta (duas bancadas), Mina Demactam e Mina Tec-

Mineral. As localizações das três minas estudadas estão ilustradas no mapa geológico e de pontos (Fig. 1).

Na seção levantada na bancada inferior da Mina Bagatta (Fig. 8) nota-se a tendência de aumento dos termos mais arenosos para o topo, com predominância de argilito na base. Os arenitos apresentam marcas onduladas e *hummockys* centimétricos, indicando formação por ondas de tempestade.

Já na bancada superior da mina Bagatta (Fig. 9) observa-se a tendência contrária ao que ocorre na base, com aumento e espessamento das camadas de granulação mais finas (argilitos) para o topo. Há uma delgada camada de nódulos de sílex de aproximadamente 20 cm de espessura. A região apresenta uma cobertura detrítico laterítica de material siltico-argiloso maciço, não compactado e de cor marrom amarelada com contato brusco sobre a Formação Corumbataí, que é descartado (estéril) durante a lavra.

Os siltitos geralmente apresentam comportamento ao corte de fratura conchoidal, enquanto os argilitos com *linsens* de areia muito fina o de empastilhamento. Já os argilitos basais, comportamento plástico. Todo o material da frente de lavra é aproveitado para fins cerâmicos, com exceção da intercalação de sílexito e coquina silicificada e os nódulos silicosos do topo.

Amostra de canal de toda a seção foi coletada (TB-01-E, TB-01-F), com homogeneização e quarreamento realizados no IPT (preparação das amostras).

A seção da Mina Demactan (Fig. 10) apresenta a mesma tendência de aumento das frações arenosas para o topo, porém com identificação de arenitos com cimento carbonático e margas. Foi também observada maior tendência de caulinitização para o topo. Amostra de canal foram coletadas, mas divididas em três – TB 02 ensaio B, C e F + G. A amostra TB 02-ensaio F + G é da porção superior, mais alterada (caulinizada).

Na Mina Tec-Mineral (Fig. 11), mais conhecida na região como Mina Cachoeirinha, o material lavrado é usado nas indústrias cerâmicas do Polo de Santa Gertrudes, o que atesta, empiricamente, apresentar as mesmas boas qualidades para uso na manufatura de cerâmica de revestimento. Nessa mina, foram observadas estruturas de canais preenchidos por areia fina em meio ao siltito, que é a litologia predominante (Fig. 7). Para o topo, o siltito encontra-se mais alterado. Foi coletado amostra de canal TB-03-B.

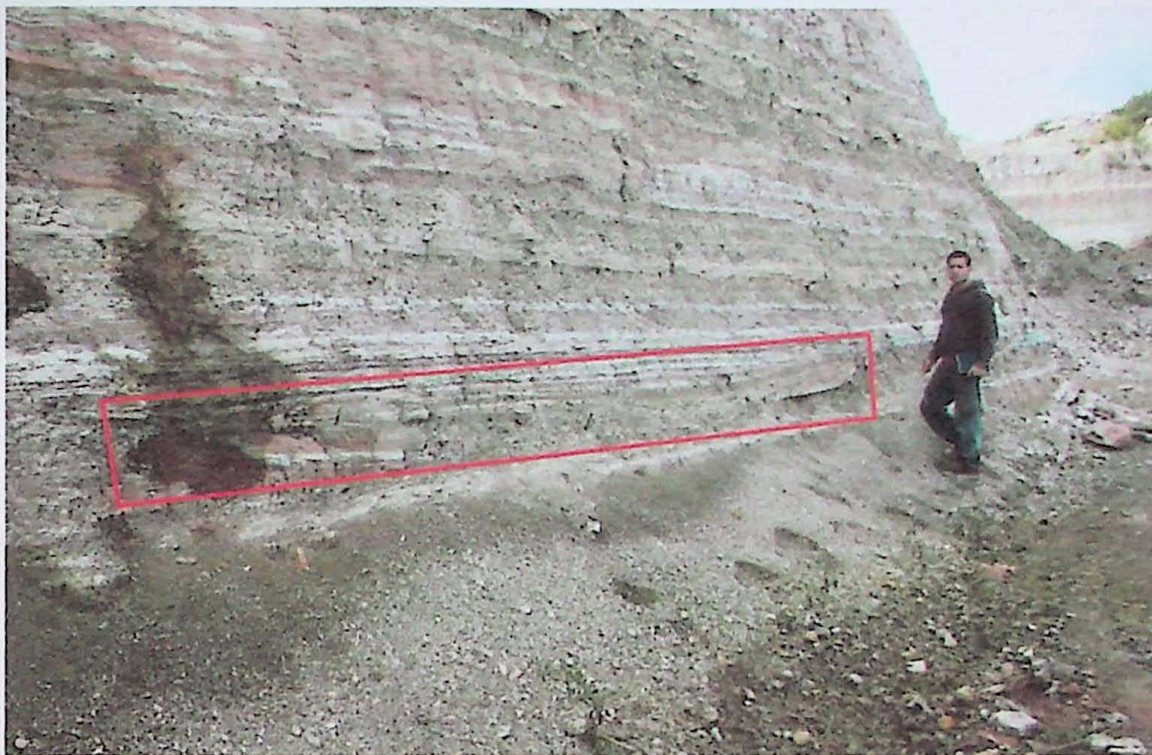


Figura 7 - Estrutura de canal, interpretada como sendo um paleocanal de maré.

Na lavra da Mineração Criveralli Tamborim, onde não foi levantada seção geológica, foram observadas gretas de contração na base, o que demonstra períodos de exposição subaérea, ao menos em parte da sedimentação. Essa evidência, juntamente com as demais estruturas sedimentares presentes e ocorrência de coquinas, reforçam a interpretação de ambiente de planície de maré.

Mina Bagatta (Base)

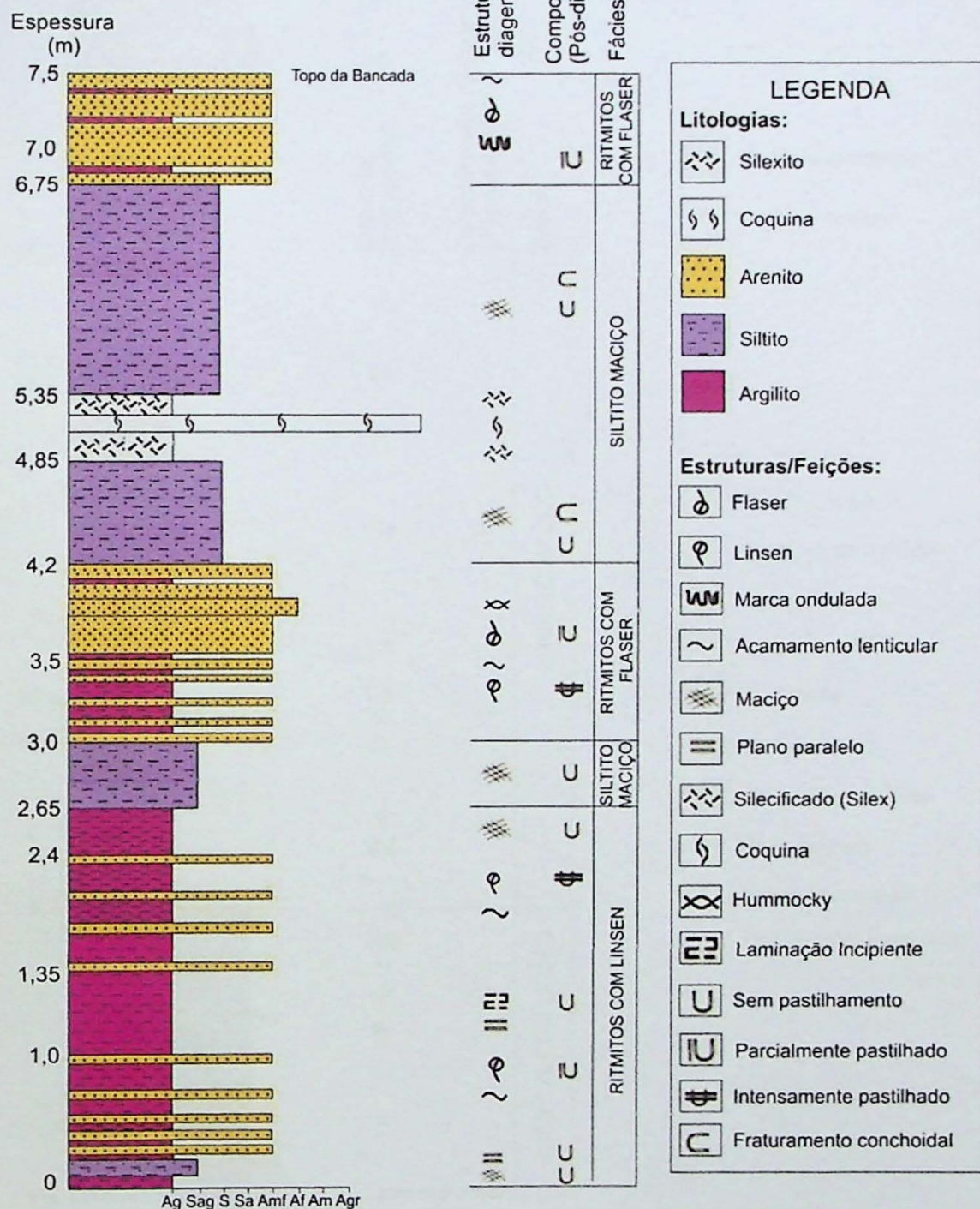


Figura 8 - Coluna Estratigráfica da bancada inferior da Mina Bagatta.

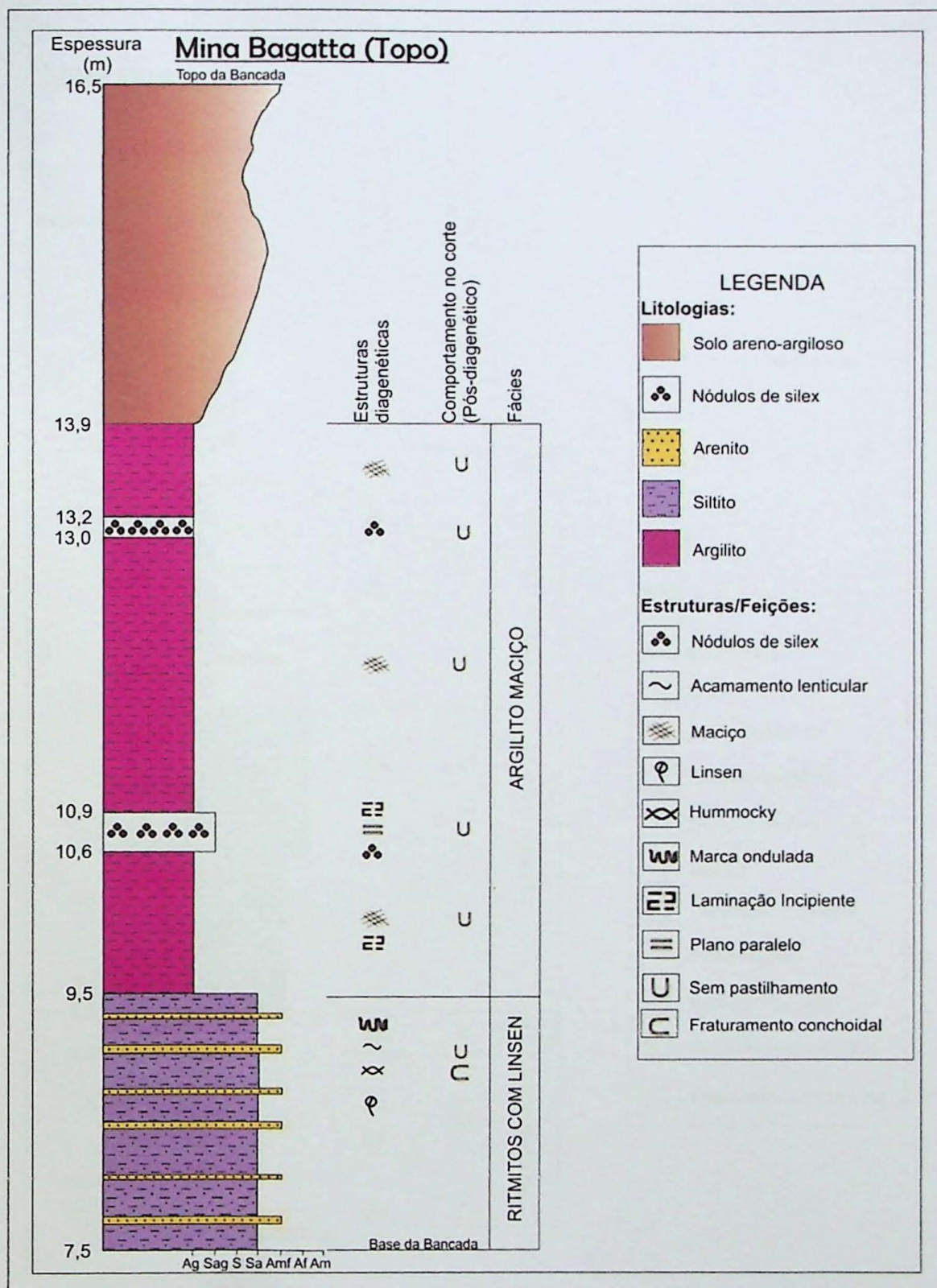


Figura 9 - Coluna estratigráfica da bancada superior da Mina Bagatta.

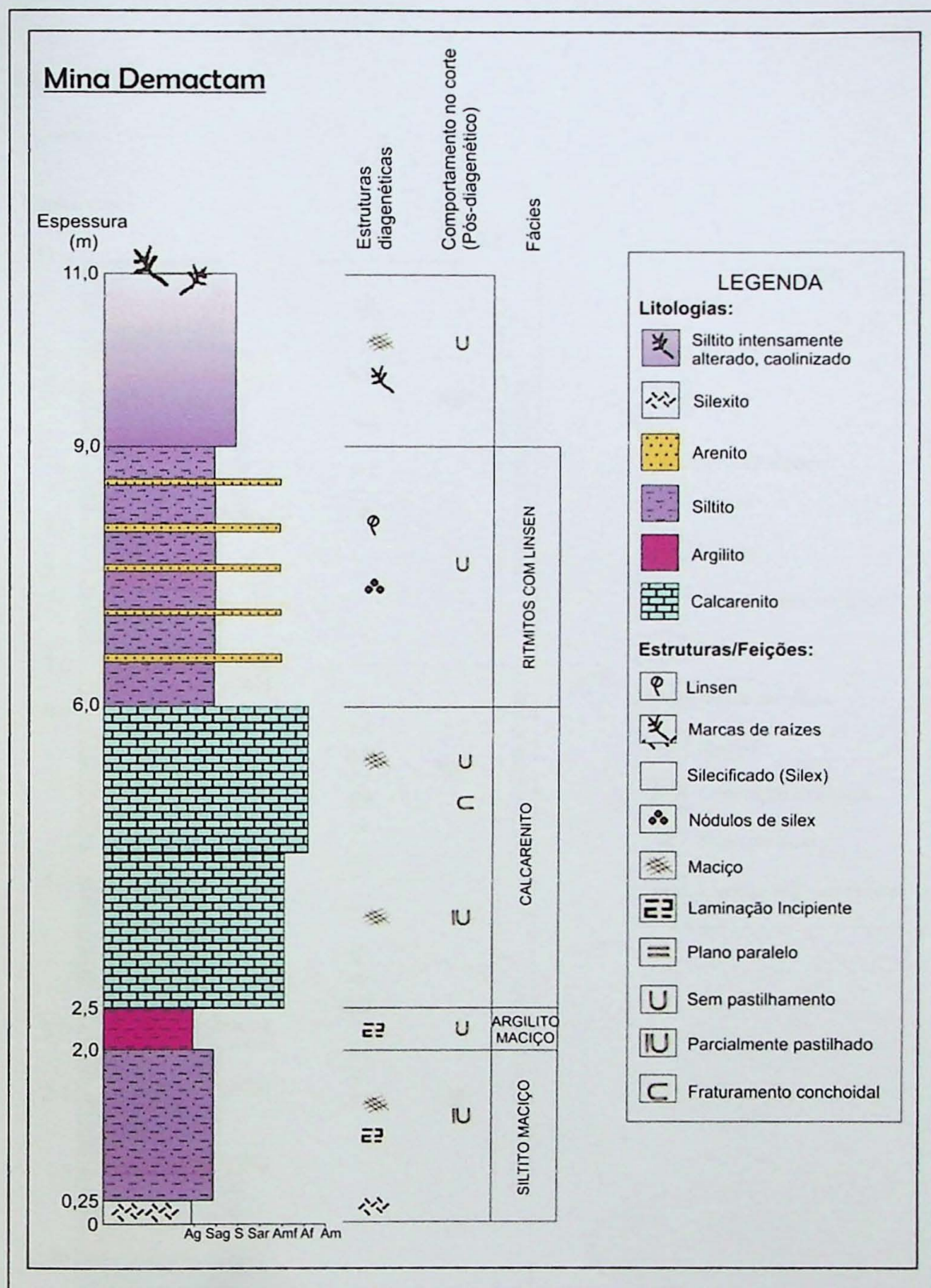


Figura 10 - Coluna estratigráfica da Mina Demactam.

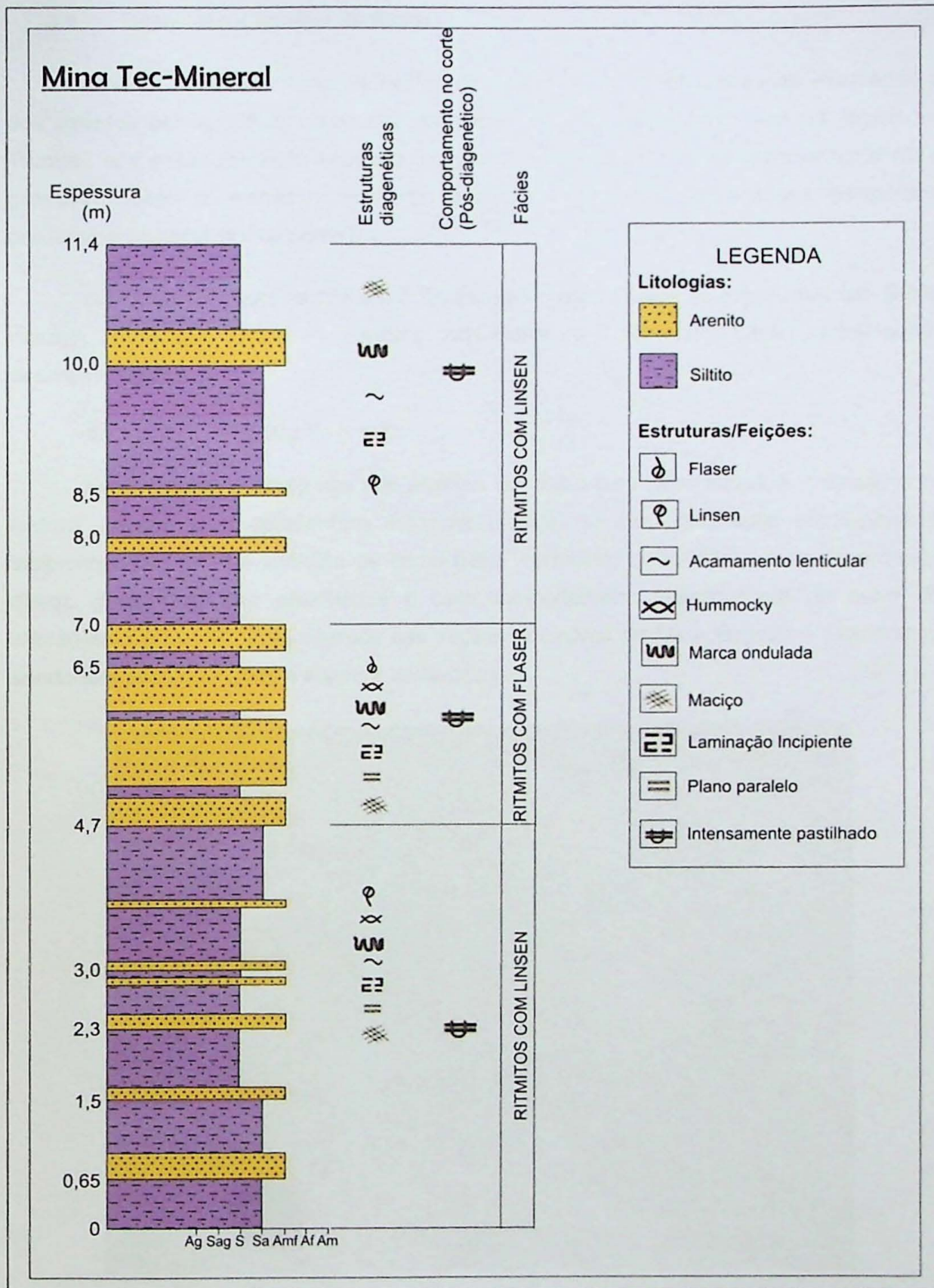


Figura 11 - Coluna estratigráfica da Mina Tec-Mineral.

6.2. Descrição e análise de fácies

Através do levantamento de seções estratigráficas, análises das minas estudadas e dos estudos petrográficos, viu-se que as rochas da Formação Corumbataí na região de Tambaú são essencialmente argilosas, com a presença de termos de granulometria mais grossos (siltitos e arenitos), além da presença de bancos carbonáticos compostos predominantemente por calcarenitos.

Dividiram-se essas rochas em 5 fácies, sendo elas: Fácies de Argilito maciço, Siltito maciço, Ritmitos com Linsen, Ritmitos com Flaser, e Calcarenito. Essas fácies serão descritas a seguir:

6.2.1. Fácies de argilito maciço

Essa Fácies é composta por argilitos de espessura decimétrica a métrica, com textura pelítica, que apresentam estrutura maciça ou com laminação plano-paralela incipiente, com grande variação de cores (roxo, vermelho, cinza claro, cinza esverdeado claro), geralmente não pastilhados e com comportamento plástico/mole no corte do afloramento (Fig. 12). Esta aparece nas seções colunares da Mina Bagatta e Demactam, sendo expressiva na porção superior da Bagatta.



Figura 12 – Argilito vermelho, com laminação incipiente a maciço, característico da Fácies de Argilito Maciço.

Intercalado a essas camadas de argilito maciço aparecem camadas decimétricas com nódulos de sílex (Fig. 13).



Figura 13 - Camada de argilito maciço com nódulos de sílex.

6.2.2. *Fácies de siltito maciço*

Nessa Fácies apresentam-se camadas de espessura decimétricas a métricas de siltito maciço, de cor cinza ou marrom claro, que apresenta predominantemente padrão em fratura conchoidal e não empastilhado no corte do afloramento (Fig. 14). Essa Fácies está presente nas Minas Bagatta e Demactam, sendo expressiva em ambas as minas.



Figura 14 – Fácies Siltito Maciço, mostrando o comportamento em fratura conchoidal no corte do afloramento.

Há a presença de intercalação de uma camada decimétrica rica em fragmentos de conchas – coquina (Fig. 15). Em estudo petrográfico vemos que o arcabouço dessa rocha é formado por 40% fragmentos de conchas silicificados, 8% de quartzo detrítico, e 7% de minerais de óxido de ferro, além da presença de cristais de glauconita (mineral de origem marinha); envoltos por 45% de matriz de argilominerais recristalizados (Fig. 16).

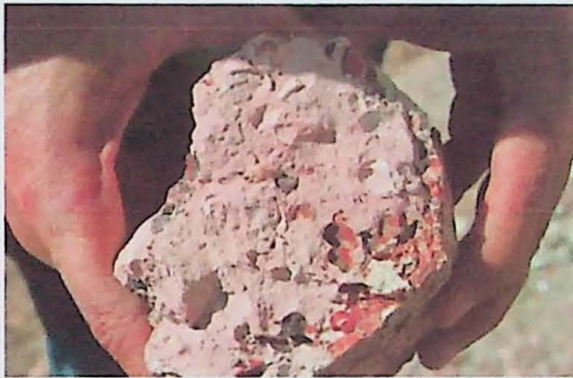


Figura 15 - Camada rica em fragmentos (e moldes) de conchas intercalada com siltito.



Figura 16 - Fotomicrografia da camada rica em fragmentos de conchas - polarizadores paralelos (Amostra TB-01-C).

Intercalado a esse siltito, há também, a presença de camadas de silexito, que como observado em seção delgada, é composta essencialmente por sílica, sendo essa na forma criptocristalina e microcristalina – Calcedônia (Fig. 17).

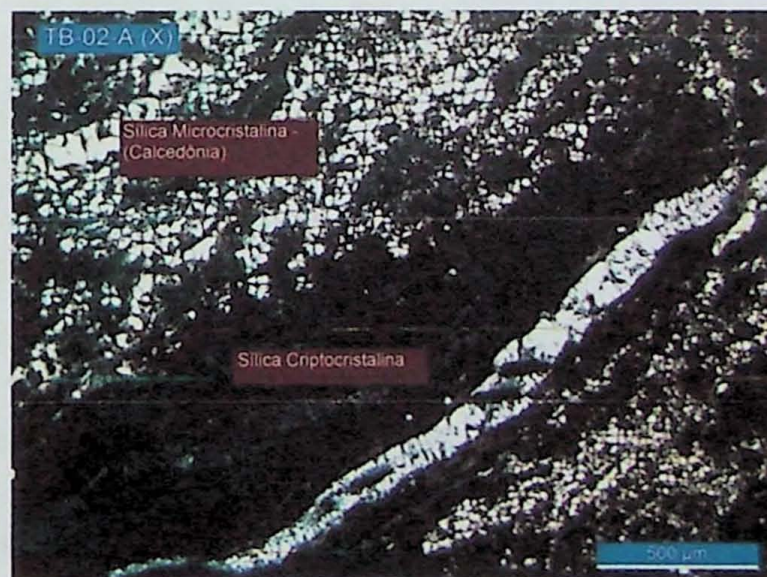


Figura 17 - Fotomicrografia do Silexito - Polarizadores cruzados (Amostra TB-02-A).

6.2.3. *Fácies de ritmitos com linsen*

As camadas de ritmitos com *linsen* apresentam espessura métrica, predominância de camadas argilosas ou de siltitos argilosos, intercalados com camadas ou lentes centimétricas de arenito (Fig. 18). Essa *Fácies* apresenta-se com comportamento majoritariamente pastilhado em afloramento. Esta *fácies* foi encontrada nas seções colunares das três minas estudadas.



Figura 18 - *Fácies de ritmitos com linsen*. Podemos observar a alternância entre camadas argilosas (vermelha) e arenosas (cinza claro).

6.2.4. *Fácies de ritmitos com flaser*

Nessa *Fácies* encontramos camadas de espessura métrica, e ao contrario da *Fácies de ritmitos com linsen*, predominam as camadas de arenito, intercaladas por camadas ou lentes de argilito ou de siltito argiloso (Fig. 19). Assim como na *Fácies* anterior, apresentam em sua grande maioria comportamento pastilhado em corte, porem está presente apenas nas minas Bagatta e Tec-Mineral.

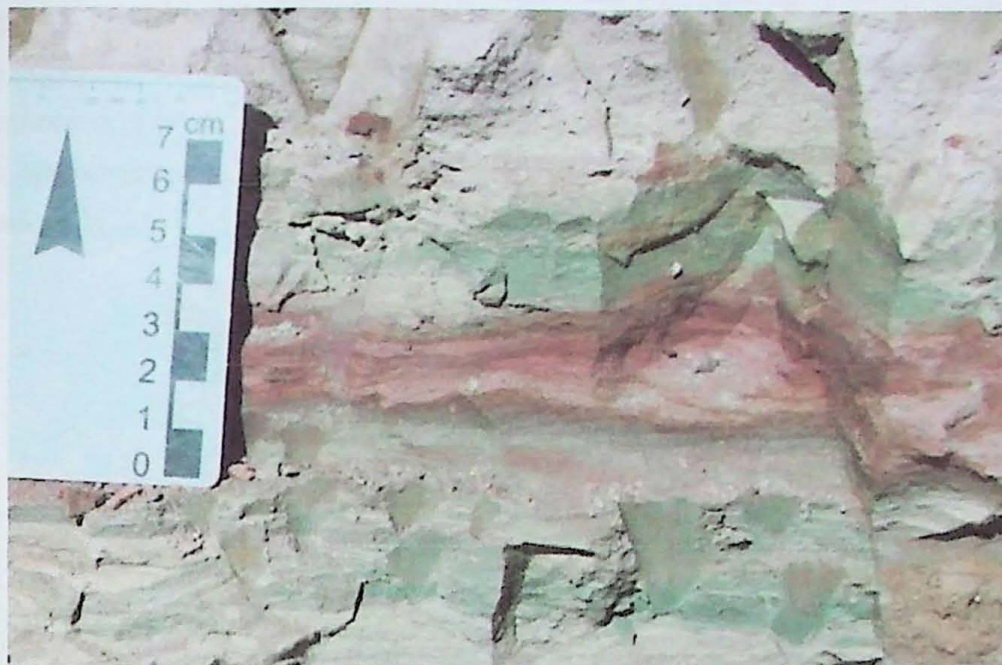


Figura 19 - Fácies de ritmitos com *flaser*. Predominância de camadas de arenito (vermelho e cinza claro) intercaladas com camadas ou lentes de argilito e/ou siltito argiloso (cinza esverdeado escuro).

Através do estudo de seção delgada de um argilito com camadas heterolíticas, podemos observar essa alternância de granulometria entre as camadas também em escala microscópica, como evidente na Figura 20.

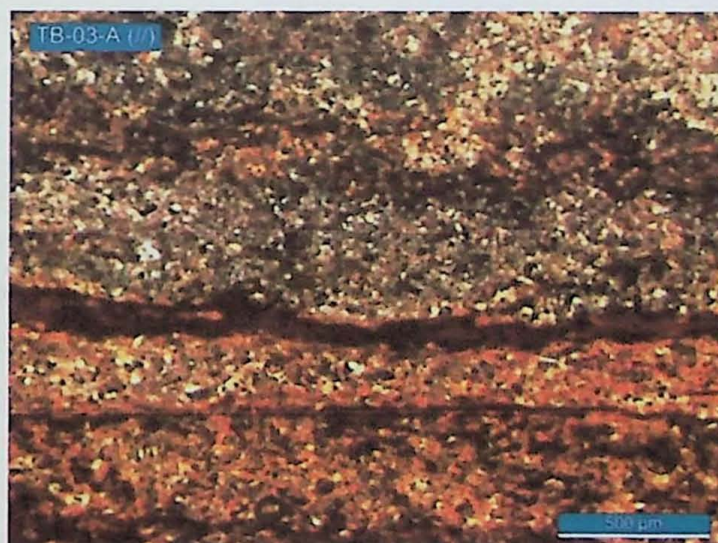


Figura 20 – Fotomicrografia do siltito com estratificação heterolítica, evidenciando a alternância de granulometria entre as camadas em escala microscópica (polarizadores paralelos).

6.2.5. Fácies de calcarenito

Foi encontrado na Mina Demactam um banco carbonático de aproximadamente 3,5 m de espessura, de cor cinza amarronzado claro a cinza esverdeado claro, sendo uma

rocha dura e coesa, diferente das demais rochas terrígenas encontradas na região. Em sua porção superior, de granulometria um pouco mais grossa, a rocha apresenta padrão de fraturamento conchoidal no corte do afloramento, enquanto que em sua porção inferior a mesma apresenta granulometria um pouco mais fina e padrão de fraturamento parcialmente pastilhado (Fig. 21).

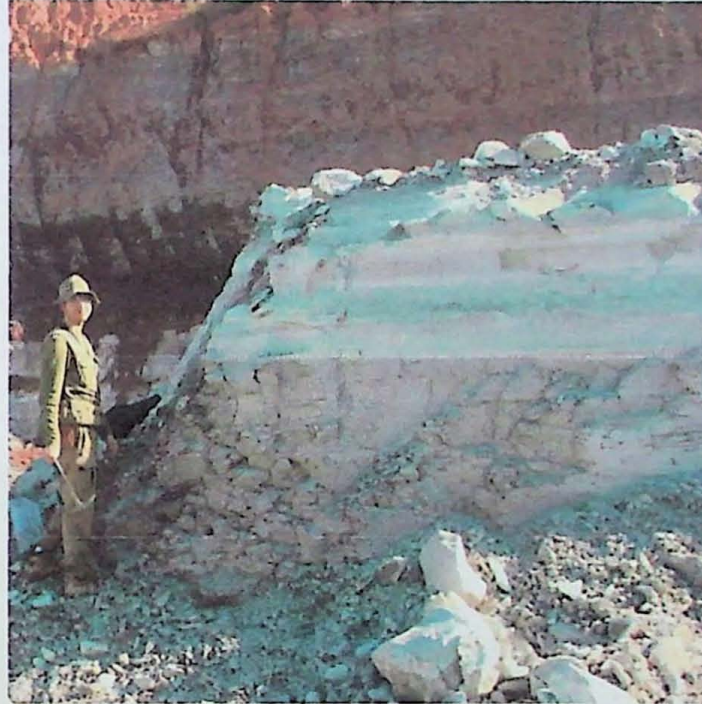


Figura 21 - Fácies de Calcarenito. Banco carbonático coeso, de cor cinza claro a cinza esverdeado claro.

Para esse conjunto foi atribuída a Fácies de Calcarenito, já que foi observado em seção delgada ser uma rocha composta principalmente por grãos de calcita detrítica na fração de areia muito fina a areia fina. O arcabouço forma 85% da composição da rocha, sendo que dentro desse tem-se calcita (60%), quartzo (20%), biotita (5%), feldspato (5%), óxido e hidróxido de ferro (5%), muscovita (2%), opacos (3%) e outros (fragmentos de conchas, glauconita e zircão). A matriz/cimento, cujo a granulometria é extremamente fina e de difícil distinção, corresponde aos 15% restantes da rocha e é formado por cimento carbonático e argilominerais recristalizados. Essa rocha apresenta textura psamítica e laminação incipiente (Figs. 22 e 23).



Figura 22 – Fotomicrografia do calcarenito com cristal de Glauconita em destaque (polarizadores paralelos)

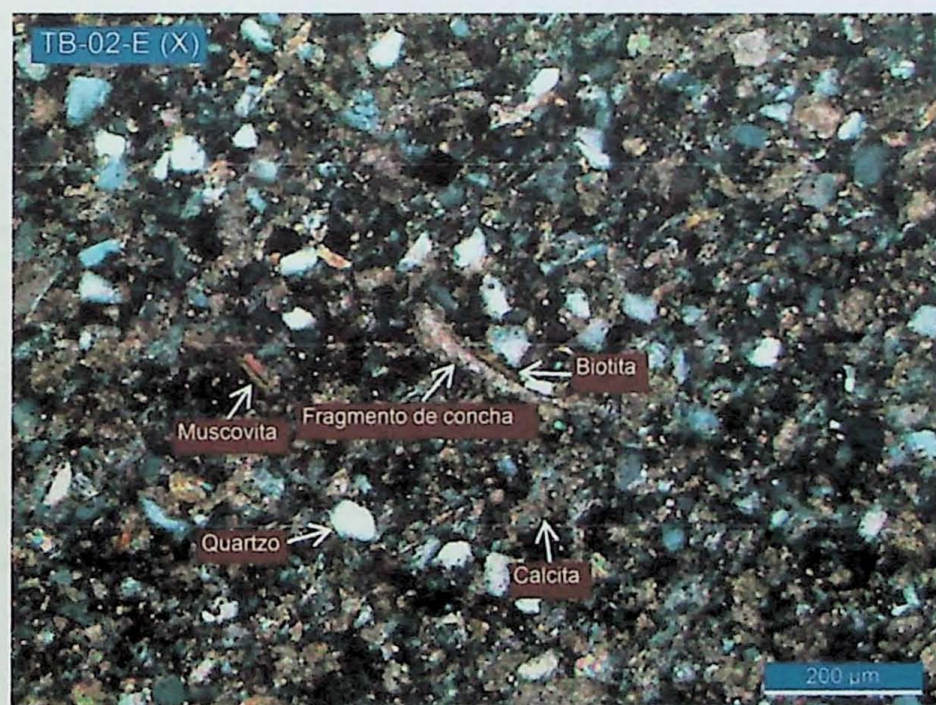


Figura 23 – Fotomicrografia do calcarenito formado por grãos de calcita detritica e sedimentos terrigenos, além de fragmentos de conchas (polarizadores cruzados).

6.3. Caracterização das matérias primas

6.3.1. Ensaios tecnológicos para fins cerâmicos

A caracterização cerâmica das matérias primas foi efetuada a partir de dois tipos de preparação: conformação por extrusão e prensagem. Os ensaios realizados em amostras extrudadas visaram à caracterização das matérias primas para uso em produtos de

cerâmica vermelha e foram queimadas em temperatura entre 800 e 950 °C. As amostras prensadas foram queimadas na faixa de 1050 a 1150 °C, e foram avaliadas para uso em revestimentos (Tabela 7).

Tabela 7 - Relação das amostras e os tipos de ensaios cerâmicos a que foram submetidos.

AMOSTRA	CER. VERMELHA	CER. REVESTIMENTO	USO ATUAL
TB-01-E Bagatta (superior)	X	X	Cerâmica Vermelha
TB-01-F Bagatta (inferior)	X	X	Cerâmica Vermelha
TB-02-B Demactam	X		Não informado
TB-02-C Demactam		X	Revestimento (via Úmida)
TB-02-F Demactam	X		Não informado
TB-03-B Tec-Mineral	X	X	Revestimento (via Úmida)

6.3.1.1. Amostras analisadas para cerâmica vermelha (processo de extrusão)

Cinco amostras foram submetidas ao processo de extrusão para analisar seu comportamento quanto ao seu uso como cerâmica vermelha, cujos resultados obtidos constam na Tabela 8. O Anexo A apresenta fotos dos corpos de prova nas temperaturas ensaiadas.

Tabela 8 - Propriedades físicas das amostras submetidas à extrusão, obtidos na secagem a 110 °C e queima a 800, 850, 900 e 950 °C.

	T °C	AA (%)	PA (%)	TRF (kgf/cm ²)	TRF (Mpa)	CLS (%)	CLQ (%)	CLT (%)	PF (%)	MEA (g/cm ³)	LP (%)	U (%)	Cor após queima
Mina Bagatta (superior)	110	-	-	72	7	9,5	-	-	-	-	40,8	29,5	Rosa claro
	800	19	33,1	209	20,5	-	0,6	10,3	5,6	1,74	-	-	Laranja claro
	850	16,9	30,4	301	29,5	-	2,1	11,3	5,5	1,8	-	-	Laranja claro
	900	14,9	27,8	354	34,7	-	3,1	12,4	5,3	1,86	-	-	Laranja claro
	950	11,6	22,9	398	39	-	4,5	13,5	5,3	1,98	-	-	Laranja
Mina Bagatta (inferior)	110	-	-	71	6,9	9	-	-	-	-	35,3	28,4	Cinza
	800	14,9	27	259	25,4	-	1,1	10,3	4,9	1,81	-	-	Laranja claro
	850	13,2	24,7	302	29,6	-	2,1	11,2	5	1,87	-	-	Laranja claro
	900	11,8	22,7	331	32,5	-	2,6	11,5	4,8	1,92	-	-	Laranja claro
	950	6,8	14,3	454	44,6	-	5,3	14,1	5	2,1	-	-	Laranja
Mina Demactam	110	-	-	49	4,8	6,6	-	-	-	-	28,1	22,6	Cinza
	800	17,1	30,4	136	13,4	-	0,3	6,8	4	1,78	-	-	Laranja claro
	850	16,2	29,2	210	20,6	-	1,1	7,4	3,8	1,8	-	-	Laranja claro
	900	15	27,7	231	22,7	-	1,6	7,8	3,8	1,84	-	-	Laranja claro
	950	12,9	24,5	258	25,3	-	2,5	8,7	3,9	1,9	-	-	Laranja
Mina Demactam	110	-	-	25	2,5	8,5	-	-	-	-	32,6	27,2	Cinza
	800	21,6	36,3	97	9,6	-	0,5	8,6	5,3	1,68	-	-	Rosa claro
	850	22,2	37,3	107	10,5	-	0,9	8,9	5,4	1,68	-	-	Rosa claro
	900	22,3	37,5	106	10,4	-	0,8	8,6	5,3	1,68	-	-	Rosa claro
	950	21,4	36,4	114	11,2	-	1,2	8,9	5,3	1,7	-	-	Rosa claro
Mina Tec- Mineral	110	-	-	36	3,5	5,5	-	-	-	-	23,3	19,6	Cinza
	800	19,8	34,7	121	11,9	-	0,2	5,7	8,4	1,75	-	-	Laranja claro
	850	19,6	34,4	142	14	-	0,5	6	8,5	1,76	-	-	Laranja claro
	900	18,7	33,3	157	15,4	-	0,9	6,3	8,6	1,78	-	-	Laranja claro
	950	18	32,4	162	15,8	-	1,3	6,5	8,8	1,8	-	-	Laranja

Siglas: T – temperatura de queima, AA – absorção de água, PA – porosidade aparente, TRF – tensão de ruptura à flexão, CLS – contração linear a seco, CLQ – contração linear de queima, CLT – contração linear total, PF – perda ao fogo, MEA – massa específica aparente, LP – limite de plasticidade, U – Umidade.

6.3.1.2. Amostras analisadas para cerâmica de revestimento (processo de prensagem)

Quatro amostras foram submetidas ao processo de prensagem para analisar seu comportamento quanto ao seu uso como cerâmica de revestimento, e os respectivos resultados obtidos estão apresentados na Tabela 9. O Anexo B apresenta fotos dos corpos de prova nas temperaturas ensaiadas.

Tabela 9 - Propriedades físicas das amostras submetidas à prensagem, obtidos na secagem a 110 °C e queima a 1050 e 1150 °C.

	T	AA	PA	MEA	CLQ	CLT	TRF	TRF	PF	CLS	U	Cor após queima	Nota
	(°C)	(%)	(%)	(g/cm³)	(%)	(%)	(kgf/cm²)	(MPa)	(%)	(%)	(%)		
Mina Bagatta	110	-	-	-	-	-	28	2,7	-	0,3	8,5	Rosa	
(superior)	1050	4,9	11,2	2,3	9,1	9,4	348	34,1	6,1	-	-	Vermelho	
TB-01-E	1150	0,9	2,2	2,4	11,4	11,7	477	46,8	5,9	-	-	Cinza escuro	Vitrificou
Mina Bagatta	110	-	-	-	-	-	19	1,9		0,3	6,8	Cinza claro	
(inferior)	1050	2,4	5,7	2,4	10,6	10,8	398	39,1	5,6	-	-	Vermelho	
TB-01-F	1150	0,2	0,5	2,4	10,4	10,7	486	47,7	5,5	-	-	Cinza escuro	Vitrificou
Mina Demactam	110	-	-	-	-	-	17	1,7	-	0,2	7,8	Cinza claro	
	1050	11,2	22,3	2	5,9	6,2	224	21,9	7,6	-	-	Marrom claro	
TB-02-C	1150	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	Ocre	Fundiu
Mina Tec-Mineral	110	-	-	-	-	-	20	1,9	-	0,2	8	Cinza claro	
	1050	12,8	25	2	5,5	5,7	208	20,4	9,2	-	-	Marrom	
TB-03-B	1150	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	Marrom escuro	Fundiu

Siglas: T – temperatura de queima, AA – absorção de água, PA – porosidade aparente, MEA – massa específica aparente, CLQ – contração linear de queima, CLT – contração linear total, TRF – tensão de ruptura à flexão, PF – perda ao fogo, CLS – contração linear a seco, U – Umidade.

Apesar das diferenças faciográficas, as minas Demactam e Tec-Mineral apresentam as mesmas características cerâmicas, inclusive cor de queima, de cinza claro a marrom. As características cerâmicas da Mina Bagatta são diferentes, notadamente na cor de queima, para o vermelho. Destaca-se a diferença obtida nos resultados da tensão de ruptura à flexão (TRF), cujos valores são superiores aos das duas outras minas, assim como os valores das

Diferenças foram também constatadas com relação a absorção de água no material sob temperatura de 1 050 °C. As amostras das minas Demactam e Tec-Mineral mostraram valores mais elevados (11,2 – 12,8%) enquanto que as da Bagatta foram bem inferiores (0,2 – 4,9%).

6.3.2. Análise química

Através da análise semiquantitativa por fluorescência de raios X foram obtidas as composições químicas das seguintes amostras (Tabela 10):

Tabela 10 - Composição química em porcentagem dos óxidos maiores das amostras.

DETERMINAÇÕES	RESULTADOS (%)					
	TB-01-E	TB-01-F	TB-02-B	TB-02-C	TB-02-F	TB-03-B
	Bagatta	Bagatta	Demactam	Demactam	Demactam	Tec-Mineral
SiO₂	66,2	65,3	62	60,6	71,7	57,2
Al₂O₃	12,4	12,9	10,4	9,32	11,4	10,9
Na₂O ^{Nota 1}	0,05	0,07	0,62	0,83	0,05	0,79
K₂O ^{Nota 1}	2,2	2,97	6,28	5,94	1,08	5,81
CaO	0,25	0,34	3,05	7,09	0,14	5,4
MgO	0,98	1,43	1,69	1,12	0,29	2,57
Fe₂O₃	4,62	4,64	5,72	4,08	3,35	4,82
TiO₂	0,53	0,58	0,56	0,46	0,49	0,53
P₂O₅	0,03	0,03	0,04	0,07	0,03	0,06
Mn₂O₃	0,04	0,15	0,05	0,07	0,05	0,17
Perda ao fogo (PF)	8,15	8,5	6,5	8,18	6,49	10

Nota 1: Determinado por absorção atômica.

6.3.3. Análise mineralógica

Através da difratometria de raios X e consequente interpretação dos difratogramas (fração total e argila), foram obtidas as composições mineralógicas das seguintes amostras (Tabela 11). Os difratogramas correspondentes às frações argila e total seguem no Anexo C.

Tabela 11 - Composição mineralógica das amostras por DRX.

AMOSTRA	FRAÇÃO ARGILA (%)	FRAÇÃO TOTAL
TB-01-E Bagatta (superior)	Grupo da caulinita (50-55) e da illita (45-50)	Quartzo, caulinita, mica e hematita
TB-01-F Bagatta (inferior)	Grupo da illita (55-60) e da caulinita (30-35)	Quartzo, caulinita, mica e hematita
TB-02-B Demactam	Grupo da illita (90-95) e da esmectita (5-10)	Quartzo, calcita, feldspato (alcalino e plagioclásio) e mica
TB-02-C Demactam	Grupo da illita (90-95) e da esmectita (5-10)	Quartzo, calcita, feldspato (alcalino e plagioclásio), mica e hematita
TB-02-F Demactam	Grupo da caulinita (75-80) e da illita (20-25)	Quartzo, caulinita, hematita e mica
TB-03-B Tec-Mineral	Grupo da illita (90-95) e da esmectita (5-10)	Quartzo, dolomita, feldspato (alcalino e plagioclásio) e mica

7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1. Interpretação faciológica e dos ambientes deposicionais

O levantamento de seções estratigráficas e as individualizações e interpretações de fácies sedimentares permitiram caracterizar para a Formação Corumbataí na região de Tambaú ambiente marinho costeiro dominado por marés e com influência periódica de tempestades, o que corrobora as hipóteses levantadas por autores anteriores (Schneider 1974, Toledo *et al.* 1997, Zanardo 2003 e Zanardo *et al.* 2004).

As condições marinhas durante a sedimentação são comprovadas pela identificação de glauconita (amostras TB-01-C e TB-02-E), já que tem sido considerado um mineral essencialmente marinho (Klein & Hurlbut Jr. 1993). Outra evidência da influência marinha é a presença de estratificações *flaser* e *linsen*, assim como a alternância rítmica de camadas de arenito e argilito, apontam para um ambiente de sedimentação dominado por marés. Os *hummockys* de pequeno porte indicam que esse ambiente estava sob ação de tempestades. Foram observadas gretas de contração nas exposições da mineração Crivelari Tamborim, o que seria evidência de sedimentação rasa, com a exposição subaérea (ao menos em parte dos sedimentos) nos períodos de maré baixa.

As variações faciológicas observadas nas três minas correspondem à profundidade relativa do ambiente deposicional o que, de certa forma, reflete nos resultados cerâmicos. A Mina Bagatta, com maior variação faciológica e litológica, resultaria das condições deposicionais mais rasas, enquanto que a Demactam, com a camada espessa (3,5 m) de calcarenito, junto com a Mina Tec-Mineral, estariam em águas relativamente mais funda, o que refletiria na maior homogeneidade faciológica e litológica (alternância de siltito e arenito). Essa configuração paleoambiental se apresenta de forma não linear quando localizadas no mapa geológico de Tambaú (Fig. 1). Da forma que se encontra relacionadas às seções, interpreta-se preliminarmente que deve ocorrer um embaçamento, com a seção da Mina Bagatta (mais rasa) circundada pelas outras duas, mais profundas.

Segue interpretação específica de cada fácies.

7.1.1. *Fácies de argilito maciço*

Está fácies estaria localizada na porção mais proximal da bacia, localizado na zona de supramaré. Os sedimentos são transportados em suspensão, e é o ambiente com menor energia, depositando apenas argila por decantação. Nos períodos de maré de quadratura ou na maré baixa durante os períodos de sizígia essas argilas ficam expostas formando gretas de contração.

7.1.2. *Fácies de siltito maciço*

Está fácies teria se originado numa porção intermediária entre a zona de supramaré e de intermaré superior, com a deposição de silte por processos de transporte sedimentares predominantemente de suspensão.

7.1.3. *Fácies de ritmitos com linsen*

A fácies de ritmitos com *linsen* indica um ambiente mais energético, com a deposição de finas lentes e camadas de arenito, que teriam sido transportados por tração, em meio à argilitos e siltitos finos. Estaria localizada na zona de intermaré superior a média, sendo que o transporte sedimentar ainda é predominantemente por suspensão, porém com pulsos de mais alta energia (durante os períodos de meia maré) capaz de carrear areia por tração.

7.1.4. *Fácies de ritmitos com flaser*

Na fácies de ritmitos com *flaser* o ambiente seria relativamente mais energético, com a deposição predominante de arenito intercalado com finas lentes e camadas de argilito ou siltito. Assim sendo, o mecanismo de transporte predominante é tração, intercalado por momentos de menor energia característicos da troca de marés. Está fácies estaria situada na zona de intermaré inferior à zona de inframaré.

7.1.5. *Fácies de calcarenito*

Nesta fácies, a presença de grãos detríticos de calcário indica proximidade de bancos carbonáticos, que teriam sido erodidos por correntes de maré ou até mesmo por ondas, e depositados em suas proximidades. Assim sendo, a calcita foi depositada química e/ou biologicamente nesses bancos carbonáticos, a qual teria sido erodida por correntes ou ondas, e assim transportadas por tração. Esta fácies teria sido depositada na porção mais distal entre as demais fácies, constituindo baixios (*Shoals*) de inframaré.

7.2. Usos e especificidades como matéria prima para cerâmica vermelha

De acordo com as normas estabelecidas por Santos (1989) e adotadas pelo IPT (Tabela 5), as propriedades cerâmicas das amostras extrudadas indicam o potencial de uso dessas argilas para a composição de massas para todos os produtos tradicionais de cerâmica vermelha, como blocos, telhas, lajes e elementos vazados; com exceção da amostra TB-02-F, na qual os valores de absorção de água não atendem a exigência para fabricação de telhas.

A absorção de água (AA) relativamente baixa, inferior a 20%, e a elevada resistência mecânica (TRF), muito superiores aos mínimos requeridos para produtos de cerâmica vermelha, atestam o caráter fundente das argilas formacionais, nas quais há predomínio dos argilominerais do grupo das illitas (Tabela 11) e, conseqüentemente, teores significativos de óxido de potássio – K_2O (entre 2,2 e 6,9%), que induz o processo de sinterização (Tabela 10). Importante observar que a ação fundente desse óxido faz-se mais presente na temperatura de 950 °C.

A única amostra que não atendeu as exigências para uso como telhas (TB-02-F) apresenta baixo teor de K_2O (1,08%) decorrente da pequena porcentagem de illitas (20-25%). Isso é compatível com o que foi visto em afloramento e com os resultados do DRX. O pacote amostrado situa-se no topo do afloramento do talude da Mina Demactam, situação

geomórfica que propiciou uma profunda alteração intempérica das rochas argilosas, conduzindo a degradação das micas, que em grande parte se transformaram em caulinita (Tabela 11).

As cores de queima alaranjadas (Anexo A) não são as mais apreciáveis pelo mercado, já que este prefere cores avermelhadas. Porém, não há nenhuma contraindicação quanto ao seu uso, se tratando apenas de uma questão de estética, sendo esse tipo de cor normalmente aceito e utilizado pelo mercado. Essa propriedade se deve aos baixos a médios teores de Fe_2O_3 nas amostras (Tabela 10). Além disso, as amostras que possuem teores mais elevados de carbonato ($\text{CaO} + \text{MgO}$), podem inibir a oxidação do ferro, amainando a coloração avermelhadas das placas cerâmicas (Oliveira *et al.* 2000).

7.3. Usos e especificidades como matéria prima para cerâmica de revestimento

Uma avaliação preliminar das matérias primas quanto ao seu uso para revestimento cerâmico pode ser efetuado a partir da comparação dos característicos cerâmicos obtidos das amostras de Tambaú com as referências especificadas na NBR-13817 e por Santos (1989), respectivamente representados nas Tabelas 6 e 5.

De forma geral as quatro amostras demonstram a potencialidades dos depósitos para aproveitamento como matérias primas para revestimentos, sendo que é possível identificar dois grupos principais de aplicação: BIb (grés) – para as amostras da mina Bagatta, e BIII (porosos) – para as amostras das minas Demactam e Tec-Mineral

Os baixos valores de absorção de água das amostras da mina Bagatta nas temperaturas de queima de 1150 °C (0,9% e 0,2%), aliados às altas resistências mecânicas (aproximadamente 480 kgf/cm²), muito superiores àquelas exigidas por Souza (1989), indicam a possibilidade de uso dessas matérias primas para fabricação de placas de pisos e paredes de ambientes externos e internos (tipo grés). Apesar dos baixos valores de absorção de água na amostra TB-01-F, seu uso em massas de porcelanato é prejudicado em função de sua cor de queima escura (Anexo B).

Os valores distintos de absorção de água nos dois diferentes horizontes amostrados da mina Bagatta devem estar relacionadas as diferenças na composição mineralógica desses materiais. O horizonte basal (TB-01-F) possui maior conteúdo de argilominerais do grupo da illita (mais fundente), enquanto que o pacote superior (TB-01-E), mais intemperizado, prepondera os minerais cauliniticos (mais refratário).

Atualmente esses pacotes líticos da mina Bagatta restringem o seu uso para produtos de cerâmica vermelha. No entanto, matérias primas para revestimento tendem a

possuir maiores valores agregados, e assim seu uso poderia ser direcionado para esta finalidade.

As amostras das minas Demactam e Tec-Mineral, por sua vez, possuem altos valores de absorção de água (11,2% e 12,8%, respectivamente) e de resistência mecânica (respectivamente 224 e 208 kgf/cm²). Essa combinação de propriedades indica a possibilidade de uso dessas matérias primas para fabricação de produtos tipo porosa (azulejos), o que diversificaria o emprego desses horizontes pelíticos já que atualmente são destinados exclusivamente para massas de placas tipo gres por via úmida.

A alta absorção de água e a elevada porosidade dessas amostras, em temperaturas relativamente elevadas, podem ser atribuídos a seu alto conteúdo de carbonatos (CaO + MgO), aproximadamente de 8% para ambas as amostras. Segundo Barba *et al.* (2002), a utilização de carbonatos e argilas carbonáticas na fabricação de pisos e revestimentos cerâmicos porosos é justificada porque ao produzir fases cálcicas (reação de óxido de cálcio com sílica e alumina) potencializam a formação de fase porosa, aumentam a absorção de água, reduzem a retração linear e a expansão por umidade e proporcionam um intervalo de queima mais amplo, por outro lado, no caso de produtos greissificados os carbonatos produzirão uma diminuição no intervalo de vitrificação e favorecerá a deformação pirolástica (formação de fase líquida elevada e baixa viscosidade que provoca a deformação instantânea) das peças durante a queima.

7.4. Comparação da Formação Corumbataí entre a região de Santa Gertrudes e Tambaú

7.4.1. Contexto faciológico

Na base da Formação Corumbataí na região de Santa Gertrudes, os pacotes sedimentares são homogêneos, com espessas sucessões de siltitos finos, como por exemplo, os 29 metros basais da mina Cruzeiro. Por sua vez, a porção superior dessa Formação nessa mesma região apresenta-se mais heterogênea, com tendência de engrossamento granulométrico para o topo e intercalação de camadas de arenitos, como a porção superior da própria mina Cruzeiro, ou como na mina Bela Vista (Masson *et al.* 2000, Christofolletti 2003).

Ao comparar as seções estratigráficas levantadas em campo (Figs. 8 a 11) com aquelas levantadas por esses autores (Fig. 24), nota-se que as colunas estudadas de Tambaú se assemelham às colunas do topo dessa Formação em Santa Gertrudes, porém, apresentando maior variação e alternância faciológica, que aliados à presença de gretas de

contração, sugerem correspondência ao topo dessa Formação situada em posição de borda de bacia, a qual estaria mais sujeita às variações do nível de água.

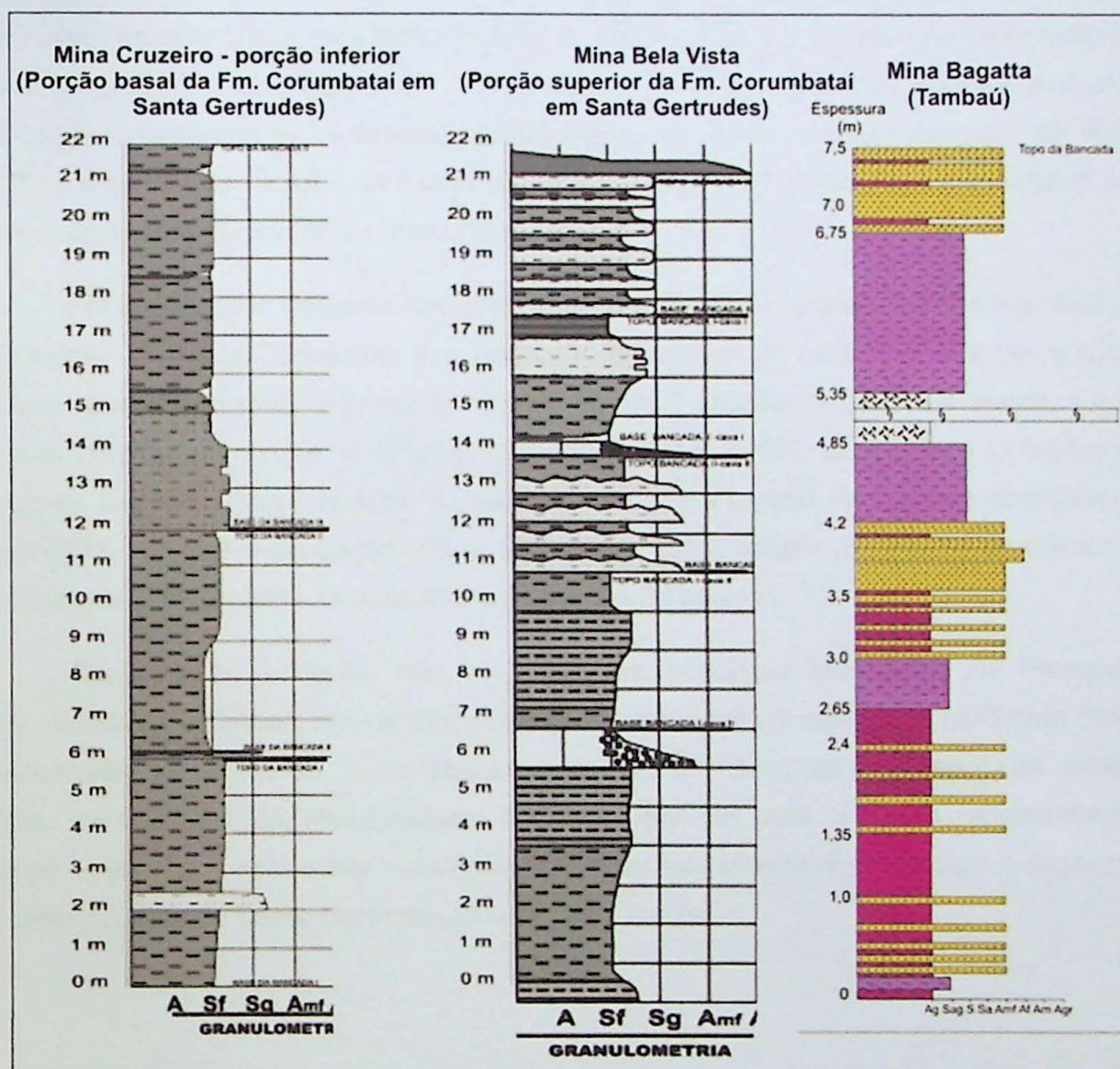


Figura 24 - Comparação das colunas estratigráficas da Formação Corumbataí em Santa Gertrudes e Tambaú. Notar que a coluna levantada de Tambaú (representando o padrão médio da região) se assemelha com a porção superior da Formação Corumbataí em Santa Gertrudes. (As duas primeiras colunas foram extraídas de Masson *et al.* 2000).

Em Santa Gertrudes a base da Formação Corumbataí é representada pelos pacotes espessos e homogêneos de siltito, o qual não foi observado em Tambaú, com a hipótese preliminar que, devido às condições de borda de bacia, nem venham a existir.

7.4.2. Uso como matéria prima para cerâmica de revestimento

Como observado no item 7.3, as argilas da Formação Corumbataí no município de Tambaú possuem potencial para uso em revestimento.

Comparando-se os horizontes líticos da mina Bagatta de Tambaú, qualificados como matéria prima para pisos grupo BIIb – grés, com a mina Cruzeiro que abastece Santa Gertrudes, caracterizada por Christofolletti *et al.* (2001), a qual é utilizada na fabricação de pisos (grupo BIIb – semiporosos), observa-se que as argilas da mina Bagatta possuem melhores características cerâmicas, apresentando, em média, menor absorção de água (0,5% x 6%) e maior resistência mecânica (480 x 320 kgf/cm²), porém registram valores um pouco superiores de contração linear (10,8% x 7%).

Por sua vez, os materiais com propriedades para uso em placas porosas (camada de calcarenito da mina Demactam e o horizonte heterolítico da mina Tec-Mineral) quando comparados com a matéria-prima da mina Morro Alto da região de Santa Gertrudes, a qual foi aventado o mesmo tipo de emprego (Coutinho Jr. *et al.* 2013), notamos que as argilas de Tambaú, na temperatura de 1050 °C, possuem em média valores menores de absorção de água (12% x 16%) e contração (6% x 1,5%), bem como valores de resistência mecânica muito superiores aqueles da mina Morro Alto (215 x 35 kgf/cm²).

Constata-se, portanto, que os horizontes litológicos analisados da Formação Corumbataí em Tambaú, apesar das diferenças faciológicas em relação ao perfil mais típico apresentado na região de Santa Gertrudes, também tem potencial para uso como matéria prima na indústria de revestimentos cerâmicos por via seca e úmida, apresentando, inclusive, produtos com maior resistência mecânica. Isto abre perspectiva para a expansão do polo paulista de Santa Gertrudes em direção a Tambaú.

8. CONCLUSÃO

As fácies sedimentares da Formação Corumbataí em Tambaú são semelhantes às fácies sedimentares do topo desta unidade em Santa Gertrudes, onde espesso pacote de siltito homogêneo ocorre na base. Essas fácies, em ambas regiões, caracterizam ambiente de planície de maré, com condições relativamente mais rasas em Tambaú, caracterizada por ser borda de bacia.

O levantamento de seções estratigráficas em minas ativas permitiu caracterizar cinco diferentes fácies, ocorrendo da mais proximal para a mais distal: Fácies de argilito maciço, siltito maciço, ritmitos com *linsen*, ritmitos com *flaser* e calcarenito.

Sob o ponto de vista tecnológico, a matéria prima de Tambaú apresenta bons resultados, tanto para uso como cerâmica vermelha quanto para revestimento. Atualmente, a grande maioria das argilas lavradas é utilizada para cerâmica vermelha e, subordinadamente, utilizada para uso em fabricação de revestimentos por via úmida.

Os resultados dos ensaios cerâmicos indicam que a matéria prima da Mina Bagatta pode ser usada para fabricação de placas de pisos e paredes tipo grés. Já as porções mais carbonáticas, como a camada de calcarenito da mina Demactam e o horizonte da mina Tec-Mineral, poderiam ser utilizados para placas porosas (azulejos).

Constata-se que os horizontes litológicos analisados da Formação Corumbataí em Tambaú, apesar das diferenças faciológicas em relação ao perfil mais típico apresentado na região de Santa Gertrudes, apresentam potencial para uso como matéria prima na indústria de revestimentos cerâmicos por via seca e úmida, com características de maior resistência mecânica.

Através do presente estudo demonstra-se, com base nos estudos de fácies sedimentares e caracterização tecnológica, perspectivas para expansão do polo paulista de Santa Gertrudes em direção a Tambaú.

9. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1997. NBR 13817: 1997: Placas cerâmicas para revestimento – classificação. Rio de Janeiro.
- Barba A., Beltrán V., Felíu C., Garcia J., Ginés F., Sánchez E., Sanz V. 2002. Materias primas para la fabricación de suportes de baldosas cerámicas, 2ª Ed., Instituto de Tecnología Cerámica - ITC/AICE - Castañeda, Castellón, Espanha. 292p.
- Cabral Jr. M., Sintoni A., Obata O.R. 2005. Minerais industriais: orientação para regularização e implantação de empreendimento. São Paulo. Publicação IPT 3000. 86 p.
- Cabral Jr. M., Serra N., Sintoni A., Muniz S., Cuchierato G., Motta J. F. M., Machado S. A. 2006. Bases para Implantação de um Pólo Mineiro-Cerâmico no Estado da Bahia. Salvador: CBPM, v. 1. 132 p.
- Cabral Jr. M., Motta J. F. M., Almeida A. S., Tanno L. C. 2009. RMI: argila para Cerâmica Vermelha. In: Adão Benvindo da Luz; Fernando Antônio Freitas Lins. (Org.). Rochas & Minerais Industriais: usos e aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 747-770.
- Cabral Jr. M., Boschi A., Motta J. F. M., Tanno L. C., Sintoni A., Coelho J. M., Caridade M. 2010. Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil. Cerâmica Industrial, v. 15, p. 1-12.

Os resultados dos ensaios cerâmicos indicam que a matéria prima da Mina Bagatta pode ser usada para fabricação de placas de pisos e paredes tipo grés. Já as porções mais carbonáticas, como a camada de calcarenito da mina Demactam e o horizonte da mina Tec-Mineral, poderiam ser utilizados para placas porosas (azulejos).

Constata-se que os horizontes litológicos analisados da Formação Corumbataí em Tambaú, apesar das diferenças faciológicas em relação ao perfil mais típico apresentado na região de Santa Gertrudes, apresentam potencial para uso como matéria prima na indústria de revestimentos cerâmicos por via seca e úmida, com características de maior resistência mecânica.

Através do presente estudo demonstra-se, com base nos estudos de fácies sedimentares e caracterização tecnológica, perspectivas para expansão do polo paulista de Santa Gertrudes em direção a Tambaú.

9. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1997. NBR 13817: 1997: Placas cerâmicas para revestimento – classificação. Rio de Janeiro.
- Barba A., Beltrán V., Felíu C., Garcia J., Ginés F., Sánchez E., Sanz V. 2002. Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas, 2ª Ed., Instituto de Tecnología Cerámica - ITC/AICE - Castañeda, Castellón, Espanha. 292p.
- Cabral Jr. M., Sintoni A., Obata O.R. 2005. Minerais industriais: orientação para regularização e implantação de empreendimento. São Paulo. Publicação IPT 3000. 86 p.
- Cabral Jr. M., Serra N., Sintoni A., Muniz S., Cuchierato G., Motta J. F. M., Machado S. A. 2006. Bases para Implantação de um Pólo Mineiro-Cerâmico no Estado da Bahia. Salvador: CBPM, v. 1. 132 p.
- Cabral Jr. M., Motta J. F. M., Almeida A. S., Tanno L. C. 2009. RMI: argila para Cerâmica Vermelha. In: Adão Benvindo da Luz; Fernando Antônio Freitas Lins. (Org.). Rochas & Minerais Industriais: usos e aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 747-770.
- Cabral Jr. M., Boschi A., Motta J. F. M., Tanno L. C., Sintoni A., Coelho J. M., Caridade M. 2010. Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil. Cerâmica Industrial, v. 15, p. 1-12.

- Cabral Jr. M., Tanno L.C., Albarelli D.S.N.A. 2014. Caracterização geológica e tecnológica dos polos cerâmicos do estado de São Paulo, Brasil. Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT. São Paulo, 7 p.
- Campos e Souza P.E., Christofolletti S.R., Moreno M.M.T., Corrêa V.F. 2010. A Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú e Limeira - SP: Fonte de matéria-prima para o segmento de porcelanato e semi-grês. *Cerâmica Industrial*, 15(4): 30-34.
- Christofolletti S.R. 2003. Um modelo de classificação geológica-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Polo cerâmico de Santa Gertrudes. Tese de doutorado em geociências – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 307 p.
- Christofolletti S.R., Moreno M.M.T. 2004. Características das rochas da Formação Corumbataí utilizadas na indústria de revestimento cerâmico. São Paulo, Unesp, Geociências, 23(1/2):79-88.
- Christofolletti S.R., Masson M.R., Thomazella H.R., Fugie A., Moreno M.M.T., Valarelli J.V. 2001. Mapeamento e caracterização geológica/tecnológica da Formação Corumbataí com vistas ao seu emprego na indústria de revestimentos cerâmicos. Parte II – Caracterização tecnológica e sua correlação com a geologia. *Revista Cerâmica Industrial*, 6(1): 24-31.
- Coutinho Jr. T.A., Carvalho S.G., Zanardo A. 2013. Características mineralógicas e químicas do minério da mina Morro Alto: Possibilidades de fabricação de revestimento cerâmico monoporoso por via seca. *Revista Cerâmica Industrial*, 18 (5-6), p. 28-40.
- Energlyn T.L., Brealey L. 1971. Analytical Geochemistry. Series Methods in Geochemistry and Geophysics, n. 5. London: Elsevier Publishing Company, 426 p.
- Gama Jr. E. 1979. A sedimentação do Grupo Passa Dois (Exclusiva Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*, 9(1): 1-16.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo 1:250.000. Relatório IPT, n.28.545.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. 1993. Matérias primas: Ensaio tecnológicos de argilas visando aplicação em cerâmica. Curso internacional de treinamento em grupo em tecnologia cerâmica. IPT/JICA, Capítulo 7, 20 p.

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. 2006. Aprimoramento da competitividade do Arranjo Produtivo Local – APL Mínero-Cerâmico de Tambaú. Relatório técnico final. São Paulo. 188 p.
- Klein C., Hurlbut Jr. C.S. 1993. Manual of Mineralogy New York, John Wiley & Sons, 681p.
- Landim P.M.B. 1970. O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP). *Boletim da Divisão Geologia Mineralogia/DNPM*, 252: 1-103.
- Masson M.R., Christofoletti S.R., Thomazella H.R., Zanardo A., Fugie A., Alegre V. 2000. Mapeamento e caracterização geológica/tecnológica da Formação Corumbataí com vistas ao seu emprego na indústria de revestimentos cerâmicos. Parte I - Geologia e correlação entre as minas e jazidas estudadas. *Revista Cerâmica Industrial*, 5(6). 10 p.
- Mezzalira S. 1964. Grupo Estrada Nova. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, (41): 63-84.
- Milani E.J., França A.B., Schneider R.L. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, (8): 69-82.
- Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. 2 v. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Milani E.J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 265-287.
- Motta J. F. M., Cabral Jr. M., Tanno L. C. 1998. Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos: desafios ao setor produtivo. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 3, n.4,5,6, p. 30-38.
- Oliveira A.P.N., Montedo O.R.K., Pizete J., Casagrande M. 2000. Matérias primas empregadas na fabricação de tijolos e blocos de construção: características e influência sobre as propriedades do produto final. *Revista cerâmica e informação*, nº10: 57-65.
- Rohn R. 1994. *Evolução Ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no Leste de Santa Catarina e do Paraná*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, da Universidade de São Paulo. São Paulo. 250 p.

- Roveri C.D. 2010. Petrologia Aplicada da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro – SP) e Produtos Cerâmicos. Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e ciências exatas, Campus de Rio Claro, 203 p.
- Sanford R.M., Lange F.W. 1960. Basin Study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, South Brazil. AAPG Bull., Tulsa, 44(8):1316-1370.
- Santos, P. S. 1989. Ciência e Tecnologia de Argilas. 2.ed. São Paulo: Edgar Blücher, v.1. 408 p.
- São Paulo. Secretaria de Estado da Fazenda. 1992. Cerâmica: manual de conhecimentos. São Paulo. 57p.
- Schneider R.L. Muhlmann H., Tommasi E., Medeiros R.A., Daemon R.F., Nogueira A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Anais Porto Alegre : SBG. v. 1, p. 41-65.
- Taioli F. 2000. Recursos Energéticos. In: TEIXEIRA, W. *et al.* Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 140 p.
- Toledo C.E.V., Masson M.P., Bertini R.J. 1997. Lithosedimentological analysis of a bone-bed with vertebrate remains from Corumbataí Formation (Upper Permian) near Rio Claro City, State of São Paulo (Brazil). Congresso brasileiro de paleontologia, 15, São Pedro. *Boletim Resumos*. Rio Claro, SBP. 159 p.
- Toledo C.E.V. 2001. *Análise Paleoictiológica da Formação Corumbataí na Região de Rio Claro, Estado de São Paulo*. Rio Claro. 146 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).
- Toledo C.E.V.T. 2006 Análises estatística multivariada e filogenética dos dipnoiformes brasileiros. Comparações bióticas com o Gondwana ocidental. Tese (Doutorado 113 em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Zanardo A. 2003. Pesquisa geológica e de matérias primas cerâmicas do centro nordeste do estado de São Paulo e vizinhanças - Sistematização crítica da produção técnica – Científica. Tese (Livre Docencia). IGCE/UNESP. Rio Claro. 300 p.
- Zanardo A., Roveri C.D, Moreno M.M.T, Masson M.R., Bernardes E.S. 2004. Petrografia da Formação Corumbataí na região de Rio Claro -SP. Congresso brasileiro de geologia, 42. Araxá. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, v. I, p. T344-T344 (versão digital).

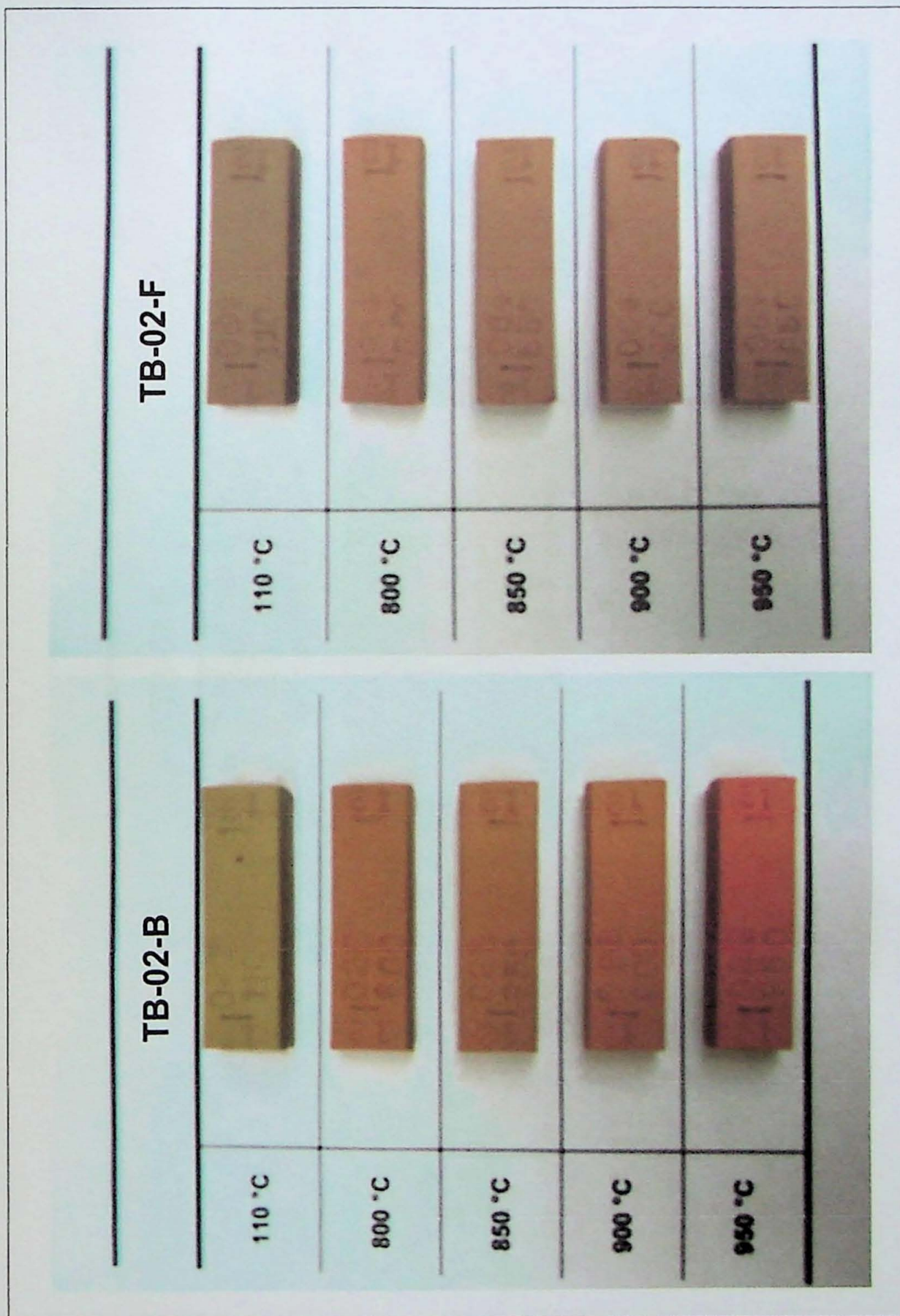
ANEXO A
Fotografias dos corpos de prova extrudados

TB-01-E

110 °C	
800 °C	
850 °C	
900 °C	
950 °C	

TB-01-F

110 °C	
800 °C	
850 °C	
900 °C	
950 °C	



TB-03-E

110 °C	
800 °C	
850 °C	
900 °C	
950 °C	

ANEXO B

Fotografias dos corpos de prova prensados

TB-01-F



110 °C

1050 °C

1150 °C

1250 °C

1450 °C

TB-01-E



110 °C

1050 °C

1150 °C

1250 °C

1450 °C

TB-02-C



110 °C



1050 °C



1150 °C

1250 °C

1450 °C

TB-03-B



110 °C



1050 °C



1150 °C

1250 °C

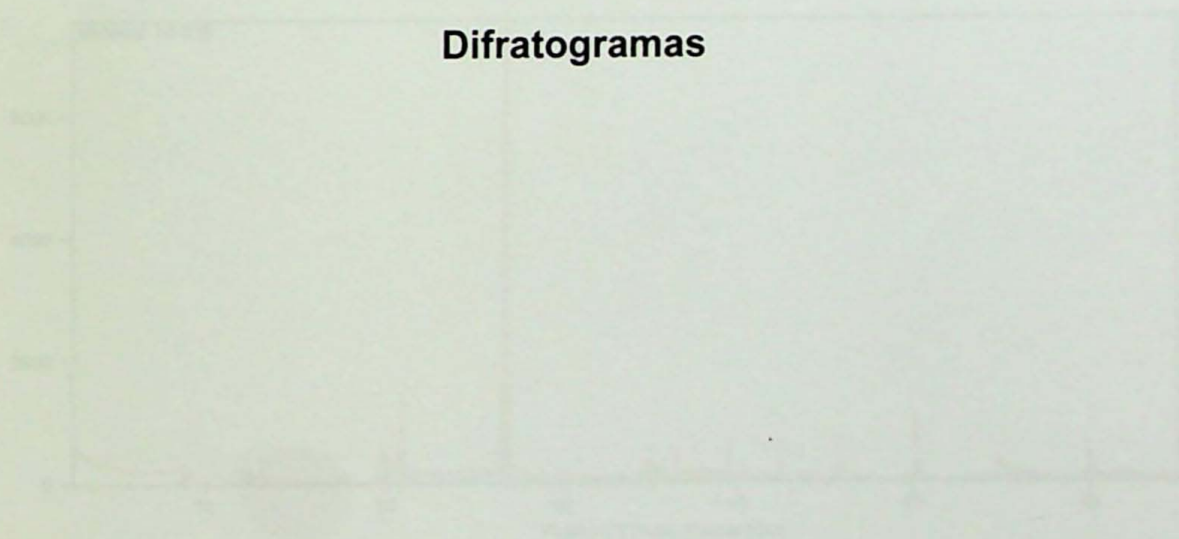
1450 °C



Difratogramas de raios-X (faixa ampla) da amostra T8-Q1-E, em três condições: natural (vermelha), tratada com ácido (verde) e tratada com álcali (azul). O eixo horizontal representa o ângulo 2θ em graus e o eixo vertical representa a intensidade difratada. As setas indicam as posições dos picos de difração.

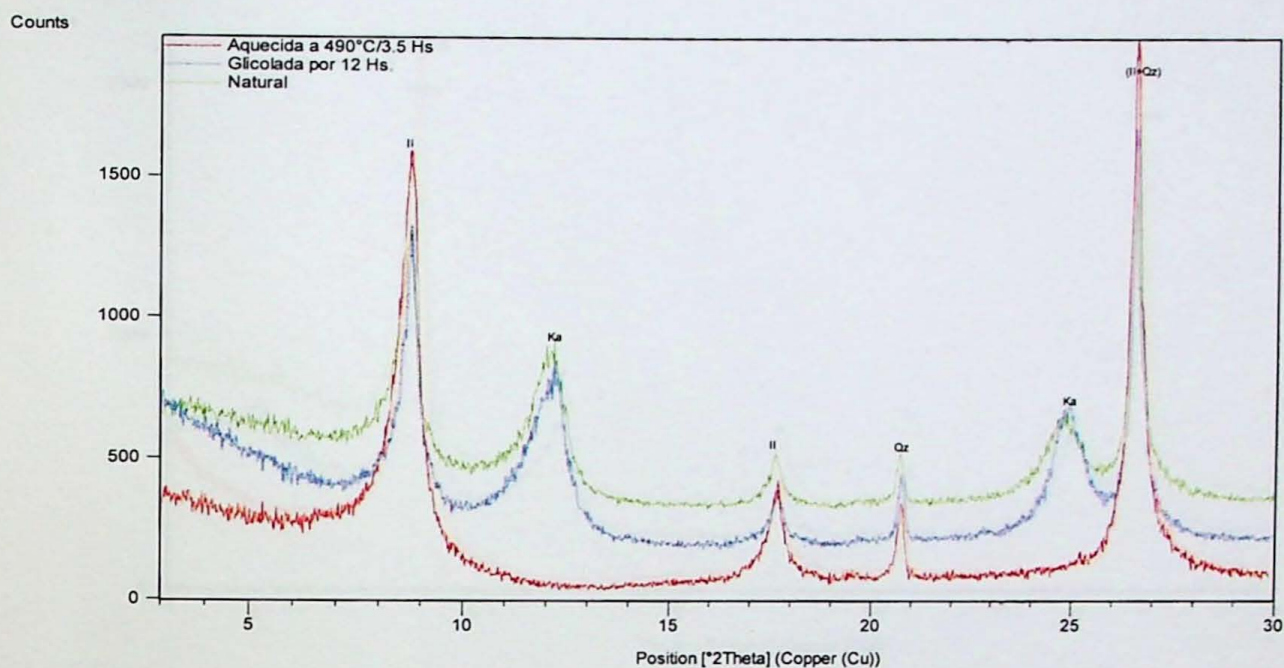
ANEXO C

Difratogramas

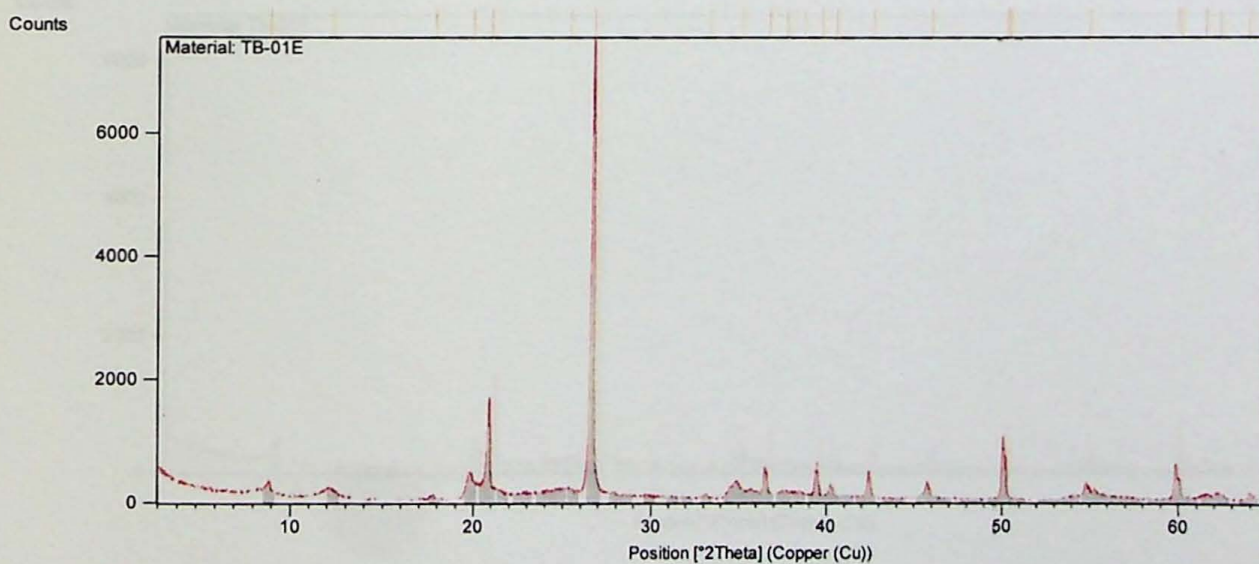


Amostra	Tratamento	Cor da Linha
T8-Q1-E	Natural	Vermelha
T8-Q1-E	Tratado com Ácido	Verde
T8-Q1-E	Tratado com Alkali	Azul

Difratogramas (faixa ampla) de raios-X da amostra T8-Q1-E.

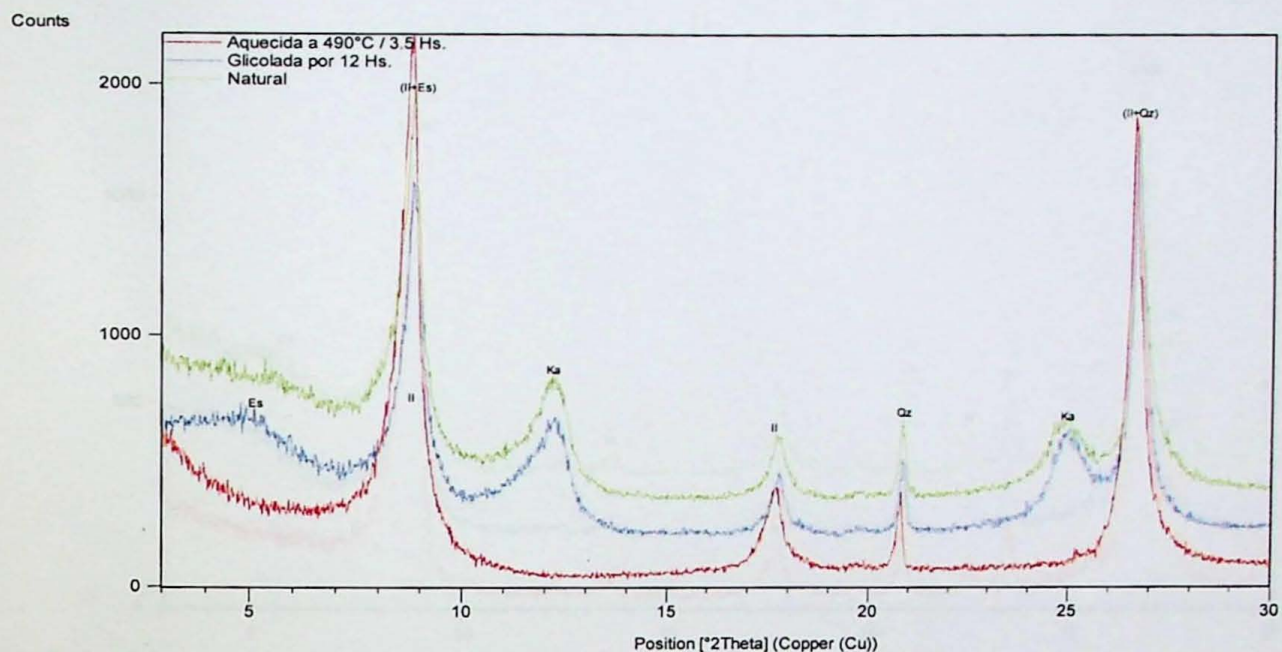


Difratogramas de raios-X (fração argila) da amostra TB-01-E, em três determinações, de acordo com o tratamento, (natural, glicolada e aquecida) onde: aquecida – linha vermelha, glicolada – linha azul e natural – linha verde.
 Notação utilizada: Ka = caulinita, Il = illita, Qz = quartzo.



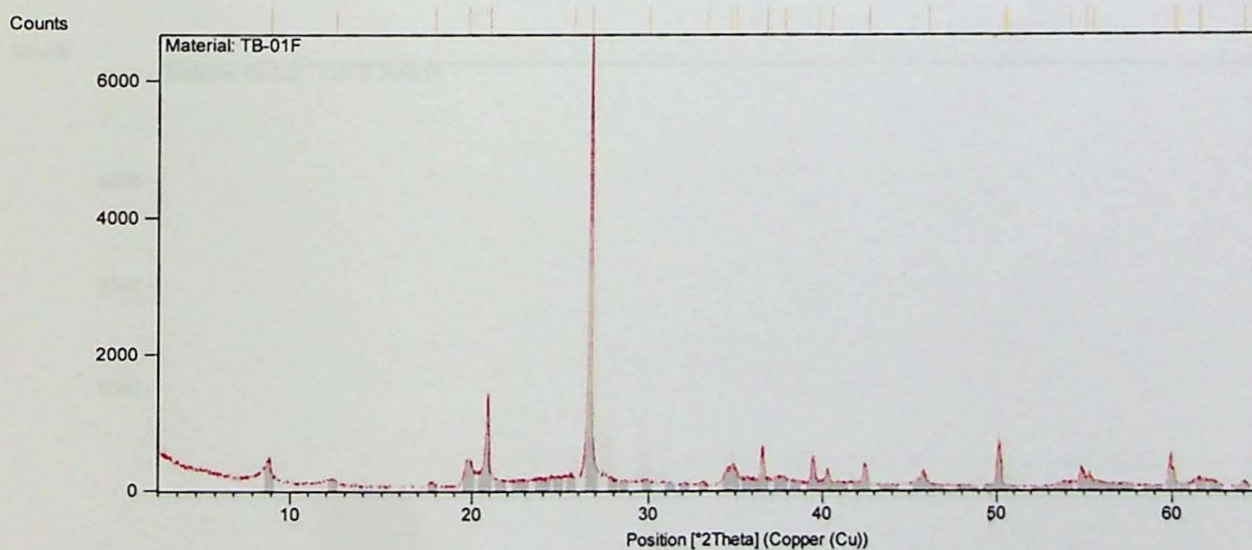
Peak List
01-078-2315; Quartz; Si O ₂
00-006-0221; Kaolinite 1Md; Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
00-006-0263; Muscovite-2VTMRG#1; K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH, F) ₂
01-079-1741; Hematite, syn; Fe ₂ O ₃

Difratograma (fração total) de raios-X da amostra TB-01-E.



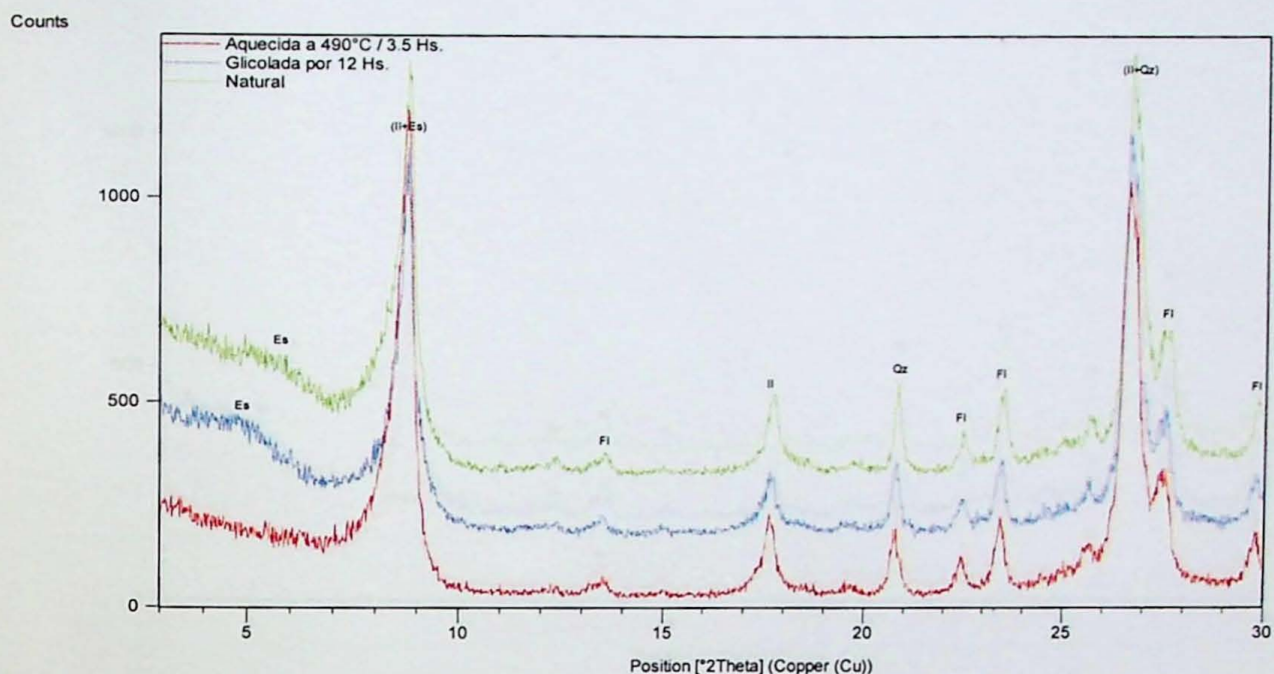
Difratogramas de raios-X (fração argila) da amostra TB-01-F, em três determinações, de acordo com o tratamento, (natural, glicolada e aquecida) onde: aquecida – linha vermelha, glicolada – linha azul e natural – linha verde.

Notação utilizada: Ka = caulinita, Il = illita, Es = esmectita, Qz = quartzo.



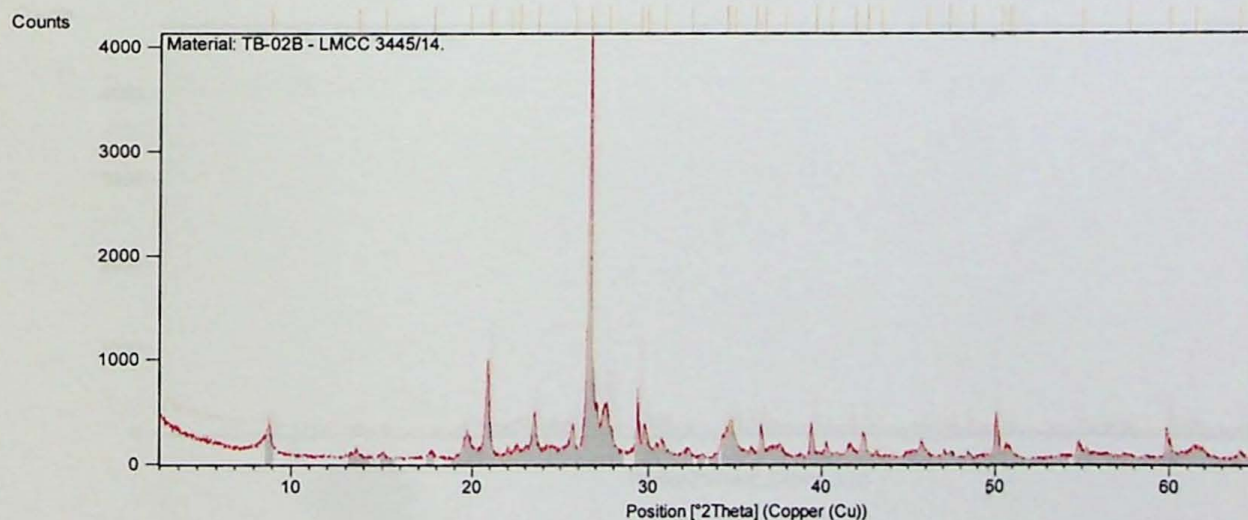
Peak List
01-078-2315; Quartz; Si O2
00-006-0263; Muscovite-2M1MRG#1; KA2 (Si3Al) O10 (OH)2
00-006-0221; Kaolinite 1Md; Al2 Si2 O5 (OH)4
01-079-1741; Hematite, syn; Fe2 O3

Difratograma de raios-X da amostra TB-01-F.



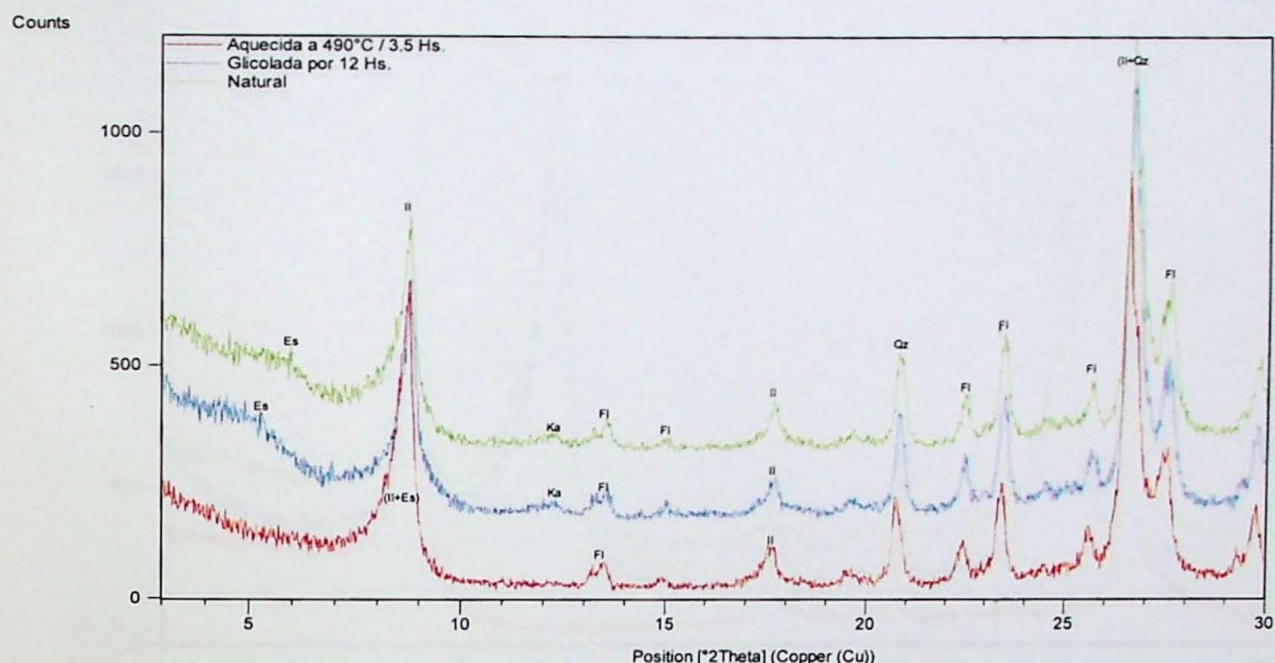
Difratogramas de raios-X (fração argila) da amostra TB-02-B, em três determinações, de acordo com o tratamento, (natural, glicolada e aquecida) onde: aquecida – linha vermelha, glicolada – linha azul e natural – linha verde.

Notação utilizada: Ka = caulinita, Il = illita, Es = esmectita, Qz = quartzo, FI = feldspato.



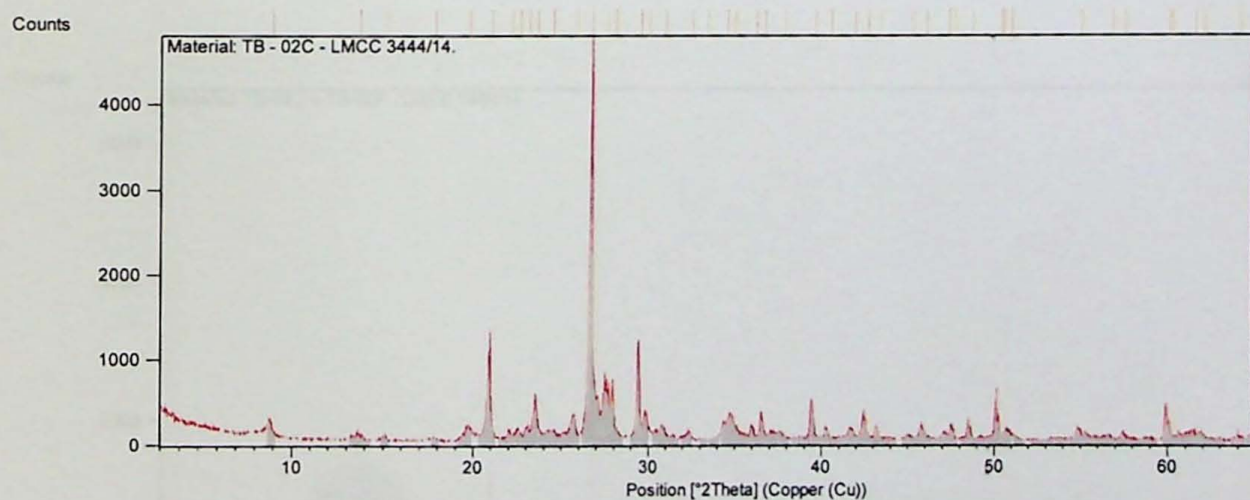
Peak List
00-046-1045; Quartz, syn; Si O ₂
01-075-1190; Orthoclase, K (Al Si ₃) O ₈
01-072-1652; Calcite, Ca C O ₃
00-007-0032; Muscovite 2M1, syn, K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂
01-083-1658; Albite high (K-bearing), (K _{0.22} Na _{0.78}) (Al Si ₃ O ₈)

Difratograma de raios-X da amostra TB-02-B.



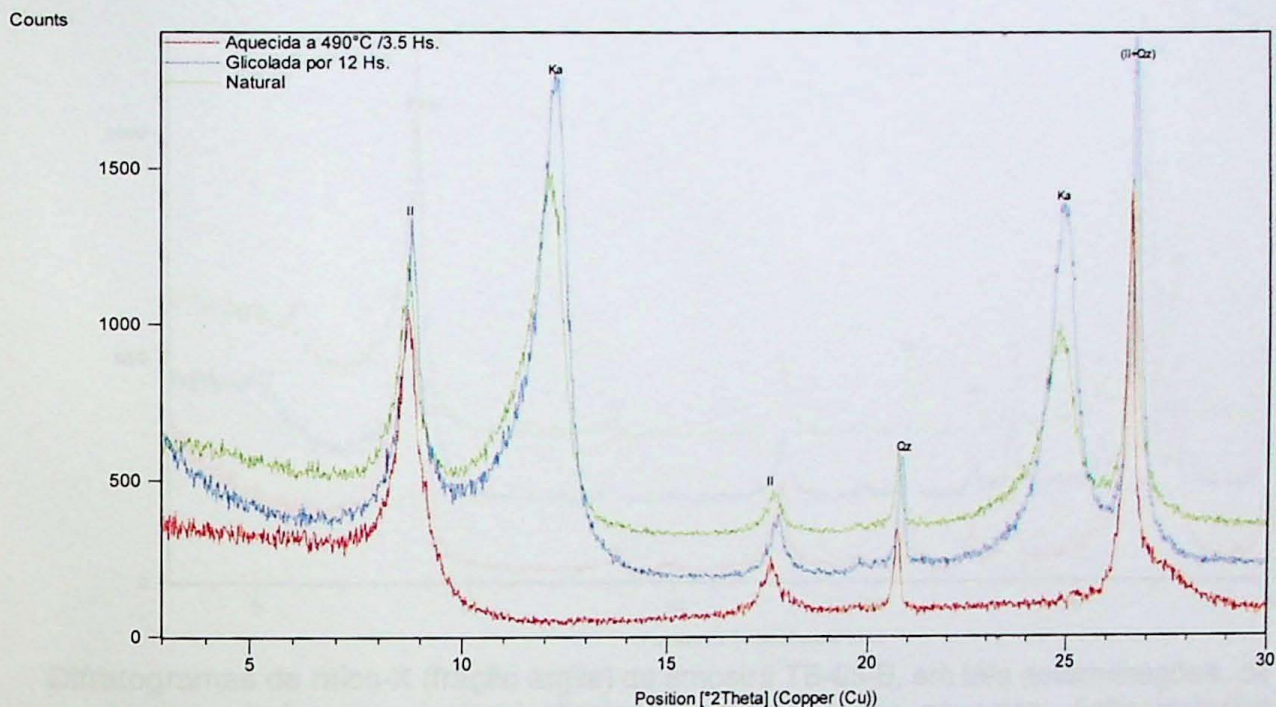
Difratogramas de raios-X (fração argila) da amostra TB-02-C, em três determinações, de acordo com o tratamento, (natural, glicolada e aquecida) onde: aquecida – linha vermelha, glicolada – linha azul e natural – linha verde.

Notação utilizada: Ka = caulinita, Il = ilita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Fl = feldspato.



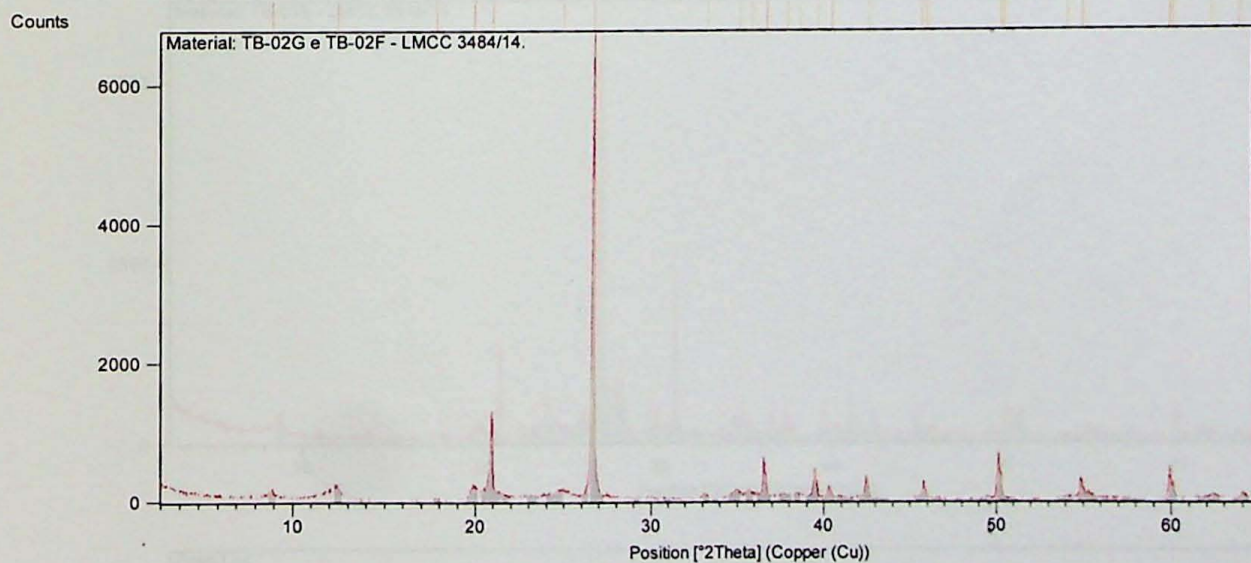
Peak List
01-085-0794; Quartz; Si O2
01-072-1652; Calcite; Ca C O3
00-019-0931; Orthoclase; K Al Si3 O8
00-041-1480; Albite; calcian, ordered; (Na, Ca) Al (Si, Al)3 O8
00-021-0993; Muscovite-1T/MRG; magnesian; K Mg Al Si4 O10 (OH)2
01-085-0987; Hematite; Fe2 O3

Difratograma de raios-X da amostra TB-02-C.



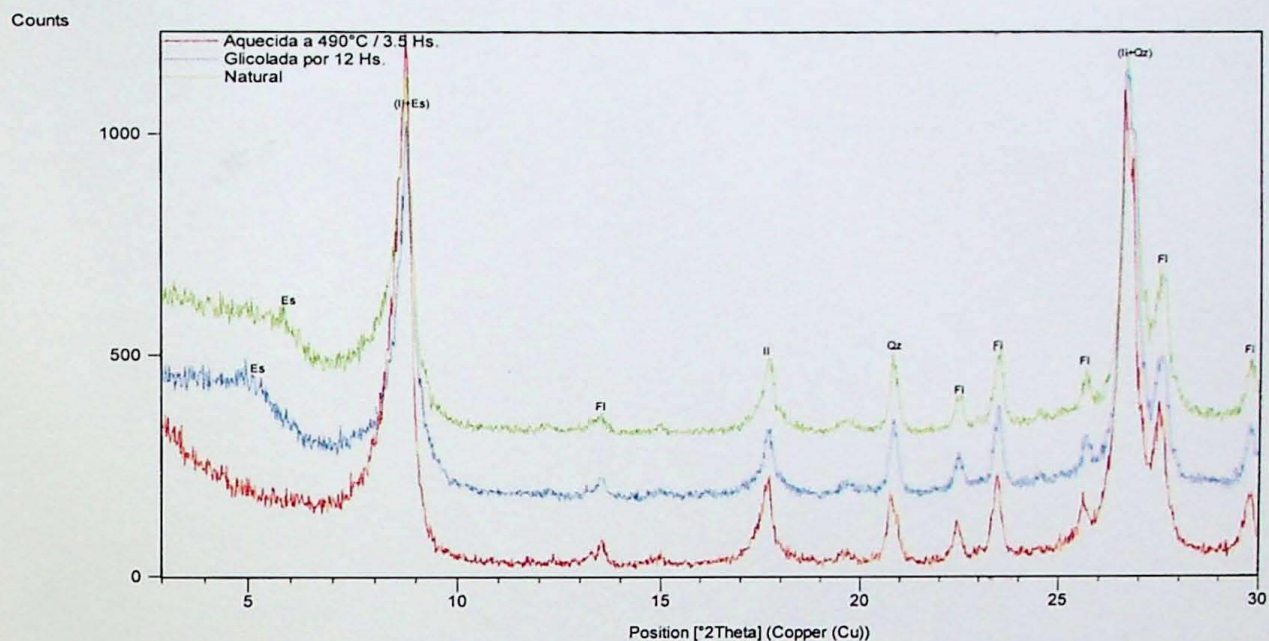
Difratogramas de raios-X (fração argila) da amostra TB-02-F, em três determinações, de acordo com o tratamento, (natural, glicolada e aquecida) onde: aquecida – linha vermelha, glicolada – linha azul e natural – linha verde.

Notação utilizada: Ka = caulinita, II = illita, Qz = quartzo.



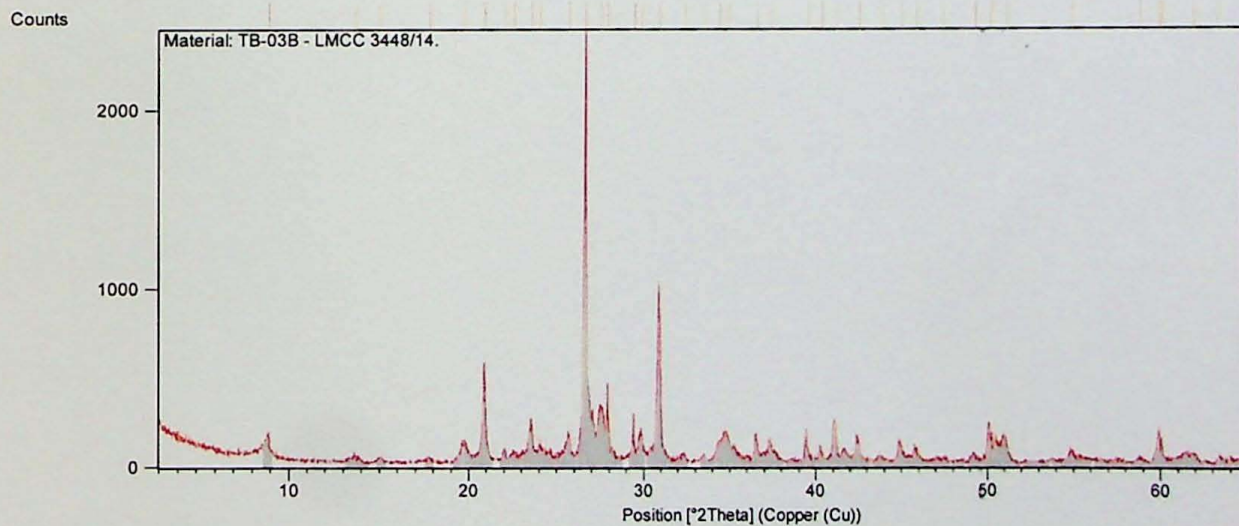
Peak List
01-086-1629; Quartz low, Si O2
00-003-0052; Kaolinite, Al2 O3 12 Si O2 12 H2 O
01-079-0007; Hematite, Fe2 O3
00-021-0993; Muscovite-1T1M/RG, magnesian K Mg Al Si4 O10 (OH)2

Difratograma de raios-X da amostra TB-02-F.



Difratogramas de raios-X (fração argila) da amostra TB-03-B, em três determinações, de acordo com o tratamento, (natural, glicolada e aquecida) onde: aquecida – linha vermelha, glicolada – linha azul e natural – linha verde.

Notação utilizada: Il = illita, Es = esmectita, Qz = quartzo, Fl = feldspato.



Peak List
01-085-1054; Quartz; Si O ₂
00-036-0426; Dolomite; Ca Mg (C O ₃) ₂
01-075-1190; Orthoclase; K (Al Si ₃) O ₈
00-041-1480; Albite calcian, ordered; (Na Ca) Al (Si Al) ₃ O ₈
00-034-0175; Muscovite-2VTMIRG#2; (K Na) Al ₂ (Si Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂

Difratograma de raios-X da amostra TB-03-B.

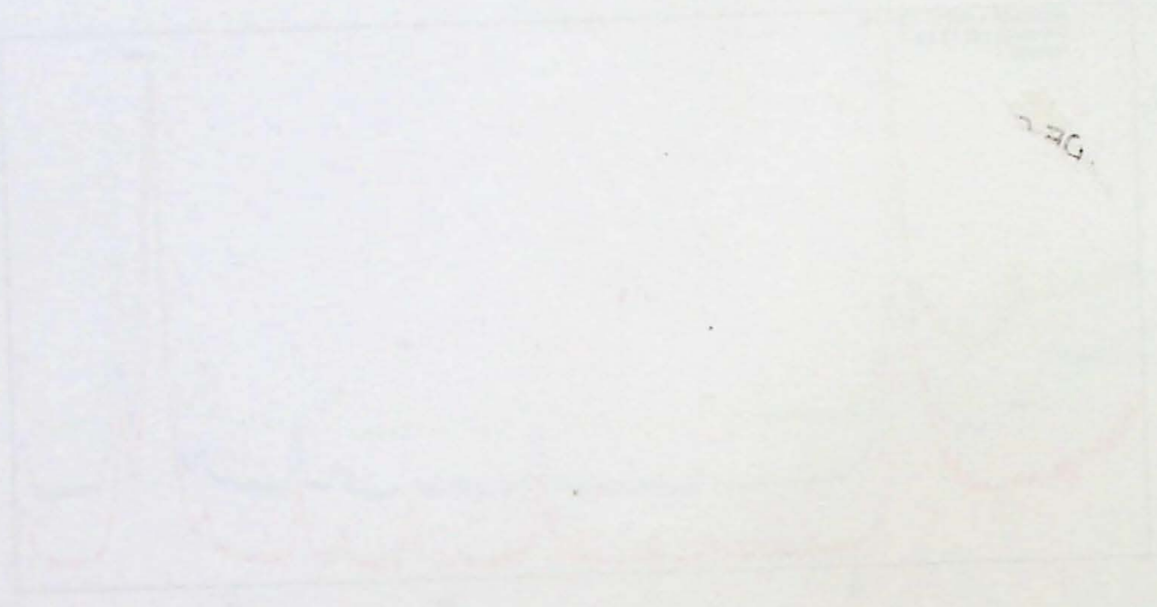
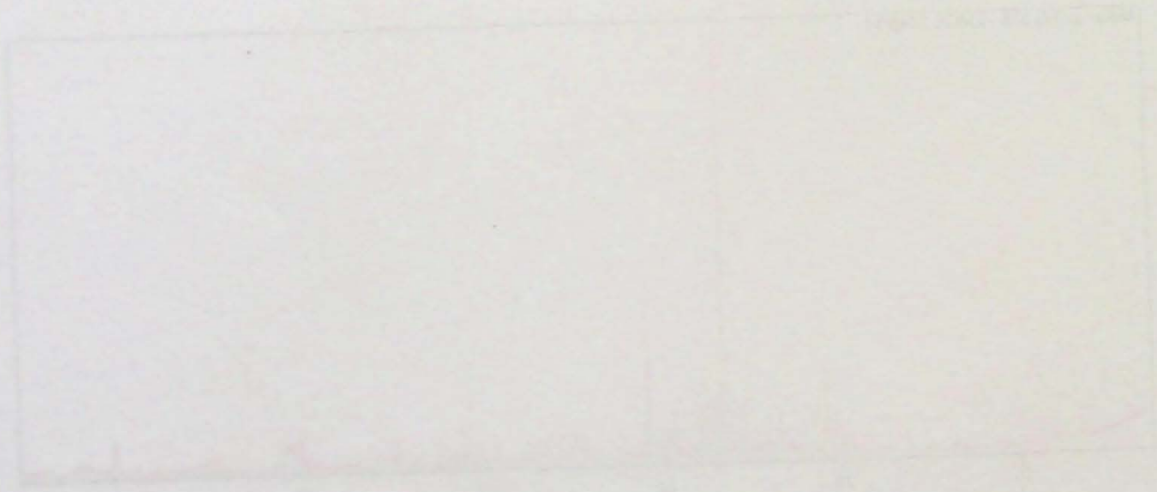


Diagrama de um sistema de controle de temperatura. O eixo horizontal representa o tempo (t) e o eixo vertical representa a temperatura (T). A curva azul representa a temperatura do corpo do sistema e a curva vermelha representa a temperatura do meio ambiente. O sistema é controlado por um controlador de temperatura (TGC) que atua sobre o corpo do sistema.



DOAÇÃO _____
TGC-USP
Data: 25 / 02 / 15

