**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**CONTRIBUIÇÃO À GÊNESE E CARACTERIZAÇÃO
TECNOLÓGICA DAS ARGILAS DA REGIÃO DE UBERABA,
MINAS GERAIS**

Waldomiro Lunardi Pires Corrêa

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geoquímica e Geotectônica

São Paulo
2006

Waldomiro Lunardi Pires Corrêa

**CONTRIBUIÇÃO À GÊNESE E CARACTERIZAÇÃO
TECNOLÓGICA DAS ARGILAS DA REGIÃO DE UBERABA,
MINAS GERAIS**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Doutor em Geologia.
Área de Concentração: Geoquímica e
Geotectônica.
Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

São Paulo
2006

FOLHA DE APROVAÇÃO

Waldomiro Lunardi Pires Corrêa

Contribuição à gênese e caracterização
tecnológica das argilas da região de
Uberaba, Minas Gerais

Tese apresentada ao Instituto de Geociências
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Doutor em Geologia.
Área de Concentração: Geoquímica e
Geotectônica.
Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição:Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:Assinatura:

Prof. Dr.

Instituição:Assinatura:

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto
de Geociências da Universidade de São Paulo

Corrêa, Waldomiro Lunardi Pires
Contribuição à gênese e caracterização
tecnológica das argilas da região de Uberaba,
Minas Gerais / Waldomiro Lunardi Pires Corrêa -
São Paulo, 2006.

xix, 143 f.: il

=

Tese (Doutorado) : IGC/USP -

Orient. : Carvalho, Adilson

1. Uberaba (MG): Argilas 2. Cerâmicas (Ensaio)
3. Defloculação de argilas I. Título

*À minha querida esposa Gilda, minha filha Laura,
minha mãe Dea, meu pai Waldomiro (in memoriam),
dedico este trabalho.*

**“Não devemos ter medo dos confrontos,
até os planetas se chocam,
e do caos nascem as estrelas”.**

Charlie Chaplin

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seu agradecimento a todas as pessoas e entidades das quais recebeu apoio, sem o que seria impossível a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Geociências (IGc) da USP por ter proporcionado todas as condições para o desenvolvimento da presente tese de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Adilson Carvalho, pela orientação, ensinamentos, paciência, amizade, e pelo acompanhamento em todas as etapas do desenvolvimento desta tese.

Aos docentes do Instituto de Geociências (IGc) da USP, dos quais pode obter informações e ensinamentos, transferidos não só durante os cursos realizados, mas nos períodos disponíveis entre eles, para completar sua formação, Professores Doutores: Daniel Atencio, Fabio Taioli, Fábio Ramos Dias de Andrade, Gergely Andrés Julio Zsabó, Ian MacReath, Lilia Mascarenhas Sant'Agostino, Maria Cristina Motta de Toledo, Paulo César F. Giannini, Setembrino Petri, Sonia Maria Barros de Oliveira, Valdecir A. Janasi.

Ao Prof. Dr. Pedro Kunihiro Kyohara, do Instituto de Física, pelas micrografias obtidas do Laboratório de Microscopia Eletrônica.

Ao Físico e Doutor Flávio Machado Souza Carvalho, pelas sugestões e ensinamentos relacionados às análises por difração de raios X.

À Geóloga doutoranda Ana Lúcia Gesicki, pelo apoio na interpretação dos minerais leves e pesados e leitura crítica do trabalho.

À Sandra Andrade e equipe do Laboratório de Química e ICP-AES/MS e a Paulo Ernesto Mori, pelas análises químicas e de fluorescência de raios X.

À Indústria Brasileira de Artigos Refratários-IBAR Ltda., pela cessão da área de estudo e acesso aos documentos de pesquisa lavra e amostras das argilas refratárias, com agradecimentos, em especial, ao Geólogo Mauro Augusto Basílio Françolim e ao Topógrafo Dirço Batistela.

À Magnesita S/A, na pessoa do Dr. Paulo Guimarães Miski, a Reinaldo Bento da Silva, Gerente das Jazidas de Caraço e Tijuco agradece a oportunidade de poder obter dados, amostras e informações do material lavrado pela empresa.

À Professora Mestre Silvia Helena Carabolante, Diretora da Escola SENAI Mario Amato, ao Professor Doutor Carlos Augusto Xavier, Coordenador Técnico do Núcleo de Cerâmica, ao Professor Pedro Teruyo Minamidami, Coordenador do Curso Tecnólogo em Meio Ambiente Industrial, aos professores, Mestre Newton Haruo Saito, Mônica Chiusano, Reinaldo Sutério dos Santos, Maurício Batista de Lima e à estagiária Antonia Aparecida, pelo apoio e facilitação na realização dos ensaios cerâmicos.

Aos funcionários do IGc/USP que o apoiaram em várias oportunidades durante o presente trabalho, Verônica (laboratório de Análises Mineralógicas), Sueli (laboratório de Geoquímica), José Paulo (laboratório de Tratamento de Amostras), Elaine e Israel e equipe (laboratório de Sedimentologia) e Samuel (Preparação das amostras).

Aos funcionários da biblioteca do IGc/USP pelo atendimento prestativo e, em especial, ao Bibliotecário Ronni dos Santos Oliveira, pelo auxílio na organização das referências bibliográficas.

Finalmente a todos aqueles cujos nomes não foram declinados que contribuíram, direta ou indiretamente, para que este trabalho pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	xiv
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 - CLASSIFICAÇÃO DE ARGILAS REFRAATÁRIAS.....	2
1.3 - OBJETIVOS.....	3
1.4 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
1.5 - CONTEXTO GEOLÓGICO.....	6
CAPÍTULO - 2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
2.1 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE E CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A COLETA DOS MATERIAIS.....	14
2.2 - DESCRIÇÃO DOS DEPÓSITOS E COLETA DE AMOSTRAS.....	16
2.2.1 - Pontos de coleta da bacia Boa Esperança, perfis BE, BEA e BEB.....	17
2.2.1.1 - Ponto de coleta do perfil denominado perfil BE de Boa Esperança.....	18
2.2.1.2 - Ponto de coleta da bacia de Boa Esperança perfil BEA.....	21
2.2.1.3 - Ponto de coleta da bacia Boa Esperança, perfil BEB.....	22
2.2.2 - Ponto de coleta na bacia do Caraço (MB) e de Tijuco (T).....	23
2.2.2.1 - Ponto de coleta na bacia do Caraço (MB).....	24

2.2.2.2 - Ponto de coleta da bacia do Tijuco (T).....	26
2.3 - ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	28
2.3.1 - Preparação das amostras para os ensaios.....	28
2.3.2 - Análises granulométricas.....	28
2.3.3 - Análises Químicas por FRX.....	29
2.3.4 - Análises por difração de raios X.....	29
2.3.5 - Análise térmica diferencial e termogravimétrica.....	29
2.3.6 - Microscopia óptica e lupa.....	30
2.3.7 - Microscopia eletrônica de varredura.....	30
2.3.8 - Composição mineralógica das amostras.....	30
2.3.9 - Ensaio cerâmicos.....	30
2.3.9.1 - Ensaio cerâmicos preliminares.....	30
2.3.9.2 - Ensaio do cone pirométrico equivalente.....	31
2.3.9.3 - Montagem da composição química em base calcinada.....	32
2.3.9.4 - Ensaio do consumo de defloculante.....	32
 CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 34
3.1 - GRANULOMETRIA.....	34
3.1.1 - Minerais leves e pesados.....	39
3.1.1.1 - Minerais leves: lupa.....	40
3.1.1.2 - Minerais pesados: microscopia óptica.....	45
3.2 - ANÁLISES QUÍMICAS.....	49
3.3 - ANÁLISES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	53
3.3.1 - Amostras dos horizontes do perfil BE coletado na bacia Boa Esperança.....	53

3.3.2 - Amostras dos horizontes do perfil BEA e BEB coletado em Boa Esperança.....	56
3.3.3 - Amostras dos horizontes do perfil MB coletado em Caraço.....	59
3.3.4 - Amostras dos horizontes do perfil T coletado em Tijuco.....	61
3.4 - ANÁLISES TÉRMICAS.....	63
3.4.1 - Análises térmicas diferencial e termogravimétricas das amostras naturais.....	63
3.4.2 - Análises térmicas diferencial e termogravimétricas da fração argila.....	68
3.5 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA CALCULADA DOS PERFIS.....	75
3.6 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA POR VARREDURA (MEV).....	79
3.7 - ENSAIOS CERÂMICOS.....	82
3.7.1 - Ensaios cerâmicos preliminares.....	82
3.7.2 - Montagem da composição química em base calcinada.....	90
3.7.3 - Cone pirométrico equivalente	92
3.7.4 - Consumo de defloculante.....	104
CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
CAPÍTULO 5 - RELEVÂNCIA E APLICAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO.....	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXO 1 - CONES PIROMÉTRICOS BRASCONE.....	125
ANEXO 2 - CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS PERFIS ESTUDADOS.....	127

LISTA DE FIGURAS

Figura	1	Projeção da produção de refratários no Brasil.....	1
Figura	2	Planta de localização da área de estudo, na área de Uberaba, MG.....	4
Figura	3	Planta da localização da área de estudo evidenciando detalhes da ocorrência das argilas refratárias de Uberaba, MG.....	5
Figura	4	Evolução da Bacia Bauru.....	7
Figura	5	Mapa da área de estudo evidenciando a Formação Uberaba e as suas relações com a cobertura cenozóica.....	8
Figura	6	Relações estratigráficas na parte oriental da Bacia Bauru.....	9
Figura	7	Mapa em corte ilustrando esquematicamente o perfil geológico SW da área da formação ou bacia da região de Uberaba.....	10
Figura	8	Esquema de corte longitudinal, sem escala, ilustrando a ocorrência das argilas refratárias de Uberaba.....	11
Figura	9	Mapa representando a localização das duas áreas selecionadas para a coleta de amostras, Alaor Pereira (Caraço e Tijuco) e Boa Esperança.....	14
Figura	10	Análise térmica diferencial e química por FRX da argila Boa Esperança superior.....	15
Figura	11	Análise térmica diferencial e química por FRX da argila Boa Esperança inferior.....	15
Figura	12	Análise térmica diferencial e química por FRX da argila Alaor Pereira superior.....	15
Figura	13	Análises térmica diferencial e química por FRX da argila Alaor Pereira e inferior.....	15
Figura	14	Perfil esquemático das depressões onde se depositaram as argilas de interesse na região de Uberaba.....	16
Figura	15	Pontos de amostragem da área de Boa Esperança.....	17
Figura	16	Aspecto geral da frente de lavra do perfil de Boa Esperança (BE).....	18
Figura	17	Perfil de coleta de Boa Esperança (BE) e seus respectivos horizontes..	19
Figura	18	Nódulos como se apresentam nos montes de argila no pátio de Boa Esperança.....	20
Figura	19	Tipos de nódulos e suas dimensões coletados dos montes de argila, do pátio de Boa Esperança.....	20
Figura	20	Nódulos com núcleo avermelhado, coberto por material claro coletado dos montes de argila no pátio de depósito em Boa Esperança.	21
Figura	21	Posicionamento do ponto de coleta BEA na área de Boa Esperança (BE) em relação ao coletado em 30-07-2003 (BE).....	21
Figura	22	Perfil de coleta da lavra de Boa Esperança (BEA) em 06-09-2004.....	22
Figura	23	Mapa de localização da coleta dos materiais das bacias de Caraço (MB) e Tijuco (T).....	23
Figura	24	Esquema idealizado para o perfil de coleta da bacia de Caraço, e as datas das coletas.....	24
Figura	25	Evolução da lavra em Caraço e indicação dos pontos de coleta MB8-1 e MB7-1 e MB8-2, com parte da lavra em processo de mitigação.....	25
Figura	26	Perfil de coleta do Caraço, amostras codificadas como MB8-1 e MB7-1.....	25

Figura	27	Perfil de coleta do Caraço das amostras MB8-3 e MB7-2.....	26
Figura	28	Visualização dos horizontes T-1 e T-2 na bacia Tijuco.....	26
Figura	29	Horizonte TV do perfil da bacia de Tijuco, onde se visualizam camadas avermelhadas.....	27
Figura	30	Curva de queima para os corpos de prova a 1450°C.....	31
Figura	31	Molde para a confecção dos cones pirométricos das amostras.....	32
Figura	32	Diagrama classificando litologicamente as amostras coletadas	35
Figura	33	Distribuição granulométrica do horizonte BE-1 da bacia de Boa Esperança.....	36
Figura	34	Distribuição granulométrica horizonte BE-2 da bacia de Boa Esperança.....	36
Figura	35	Distribuição granulométrica do horizonte BE-3 da bacia de Boa Esperança.....	36
Figura	36	Distribuição granulométrica do horizonte BE-4 da bacia de Boa Esperança.....	36
Figura	37	Distribuição granulométrica do horizonte BE-5 da bacia de Boa Esperança.....	37
Figura	38	Distribuição granulométrica do horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança.....	37
Figura	39	Distribuição granulométrica do horizonte BEA-2 da bacia de Boa Esperança.....	37
Figura	40	Distribuição granulométrica do horizonte BEB-1 da bacia de Boa Esperança.....	37
Figura	41	Distribuição granulométrica do horizonte BEB -2 da bacia de Boa Esperança.....	37
Figura	42	Distribuição granulométrica do horizonte MB8-1 da bacia de Caraço..	37
Figura	43	Distribuição granulométrica do horizonte MB7-1 da bacia de Caraço..	38
Figura	44	Distribuição granulométrica do horizonte MB8-2 da bacia do Caraço..	38
Figura	45	Distribuição granulométrica do horizonte MB8-3 da bacia de Caraço..	38
Figura	46	Distribuição granulométrica do horizonte MB7-2 da bacia de Caraço..	38
Figura	47	Distribuição granulométrica do horizonte T-1 da bacia de Tijuco.....	38
Figura	48	Distribuição granulométrica do horizonte T-2 da bacia de Tijuco.....	38
Figura	49	Distribuição granulométrica do horizonte TV da bacia de Tijuco.....	39
Figura	50	Principais minerais leves que aparecem nos resíduos em peneira, e da pipetagem em todas as amostras do presente estudo.....	40
Figura	51	Minerais leves resultantes do resíduo em peneira, na fração 0,350 mm da bacia do Caraço MB8-1.....	40
Figura	52	Resíduo em peneira dos minerais leves do horizonte T-2 da bacia de Tijuco.....	41
Figura	53	Resíduo em peneira dos minerais leves do horizonte BE-3 da bacia de Boa Esperança.....	41
Figura	54	Resíduos de minerais leves de BE-1 na granulometria 0,500 mm, areia grossa	42
Figura	55	Resíduo dos minerais leves do horizonte TV da bacia de Tijuco.....	43
Figura	56	Difratograma de raios-X do resíduo total da amostra dos minerais leves do horizonte MB8-1 do perfil da bacia de Caraço.....	43
Figura	57	Difratograma de raios-X do resíduo total da amostra dos minerais leves do horizonte TV do perfil da bacia de Tijuco.....	44

Figura	58	Difratograma de raios-X do resíduo total das amostras dos minerais leves dos horizontes do perfil bacia de Boa Esperança.....	44
Figura	59	Turmalina e cianita de MB8-3.....	45
Figura	60	Cianita de BE-5.....	45
Figura	61	Turmalina de MB7-2.....	46
Figura	62	Turmalina de BE-2.....	46
Figura	63	Rutilo de BE-2.....	46
Figura	64	Rutilo de MB8-3.....	46
Figura	65	Zircão de BE-2.....	46
Figura	66	Zircão BE-4.....	46
Figura	67	Zircão MB8-3.....	46
Figura	68	Estaurolita de BE-5.....	47
Figura	69	Sillimanita de BE-2.....	47
Figura	70	Demonstrativo da distribuição dos minerais pesados.....	48
Figura	71	Demonstrativo da distribuição média dos minerais pesados.....	49
Figura	72	Variação do teor de óxido de titânio com a profundidade nos horizontes da bacia de Boa Esperança.....	50
Figura	73	Variação do teor de óxido de ferro com a profundidade nos horizontes da bacia de Boa Esperança.....	51
Figura	74	Variação do teor de óxido de titânio com a profundidade nos horizontes da bacia de Caraço (MB) e Tijuco (T).....	52
Figura	75	Variação no teor de óxido de ferro com a profundidade nos horizontes da bacia de Caraço (MB) e Tijuco (T).....	52
Figura	76	Difratograma de raios-X das amostras naturais dos perfis BE-1, BE-2, BE-3, BE-4 e BE-5 de Boa Esperança (BE).....	54
Figura	77	Difratograma de raios-X das amostras da fração argila dos horizontes dos perfis BE1, BE-2, BE-3, BE-4 e BE-5 de Boa Esperança.....	55
Figura	78	Difratograma de raios-X dos nódulos com núcleo e sem núcleo coletado nos montes de argila Boa Esperança (BE).....	56
Figura	79	Difratograma de raios-X das amostras naturais dos perfis BEA-1, BEA-2, BEB-1 e BEB-2 de Boa Esperança (BE).....	57
Figura	80	Difratograma de raios-X das amostras da fração argila dos perfis BEA-1, BEA-2, BEB-1 e BEB-2 de Boa Esperança.....	57
Figura	81	Difratograma de raios-X das amostras naturais dos perfis MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e MB7-2 de Boa Caraça.....	59
Figura	82	Difratograma de raios-X das amostras da fração argila dos perfis MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e MB7-2, da Bacia de Caraça.....	60
Figura	83	Difratograma de raios-X das amostras naturais dos perfis T-1, T-2 e TV de Tijuco.....	61
Figura	84	Difratograma de raios-X das amostras da fração argila dos perfis de T-1, T-2 e TV de Tijuco.....	62
Figura	85	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-1.....	63
Figura	86	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-2.....	63
Figura	87	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-3.....	64
Figura	88	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-4.....	64

Figura 89	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-5.....	64
Figura 90	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do nódulo sem núcleo.....	64
Figura 91	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEA-1.....	64
Figura 92	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEA-2.....	64
Figura 93	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEB-1.....	65
Figura 94	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEB-2.....	65
Figura 95	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB8-1	66
Figura 96	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB7-1.....	66
Figura 97	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB8- 2	66
Figura 98	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB8-3.....	66
Figura 99	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB7-2.....	66
Figura 100	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte T-1.....	66
Figura 101	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte T-2	67
Figura 102	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte TV.....	67
Figura 103	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-1.....	69
Figura 104	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-2.....	69
Figura 105	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-3.....	69
Figura 106	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-4.....	69
Figura 107	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-5.....	69
Figura 108	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEA-1.....	69
Figura 109	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEA-2.....	70
Figura 110	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEB-1.....	70
Figura 111	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEB-2.....	70
Figura 112	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB8-1.....	72

Figura 113	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB7-1.....	72
Figura 114	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB8-2.....	72
Figura 115	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB8-3.....	72
Figura 116	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB7-2.....	72
Figura 117	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte T-1.....	73
Figura 118	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte T-2.....	73
Figura 119	Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte TV.....	74
Figura 120	Micrografia da amostra da fração argila do horizonte BE-1 da bacia de Boa Esperança.....	79
Figura 121	Micrografia da amostra da fração argila do horizonte BE-3 da bacia de Boa Esperança.....	79
Figura 122	Micrografia da amostra da fração argila do horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança.....	80
Figura 123	Micrografia da amostra da fração argila do horizonte MB8-1 da bacia de Caraço.....	80
Figura 124	Micrografia da amostra da fração argila do horizonte MB7-1 da bacia do Caraço.....	81
Figura 125	Micrografia da amostra da fração argila do horizonte T-1 da bacia de Tijuco.....	81
Figura 126	Esquema do dispositivo para o ensaio do módulo de ruptura à flexão para corpos de prova confeccionados com as argilas refratárias.....	83
Figura 127	Gráfico da faixa da variação do módulo de ruptura à flexão das argilas refratárias padrão, secas a 110°C, comparadas com a faixa de variação das amostras do presente estudo.....	84
Figura 128	Aspecto dos corpos de prova dos horizontes menos aluminosos da bacia de Boa Esperança.....	85
Figura 129	Corpos de prova queimados a 1450°C das argilas aluminosas das bacias do Tijuco e Caraço.....	85
Figura 130	Gráfico da faixa da variação do módulo de ruptura à flexão das argilas refratárias padrão, queimadas a 1450°C, comparadas com a faixa de variação das amostras de Boa Esperança.....	86
Figura 131	Gráfico da faixa da variação da absorção de água das argilas refratárias padrão, queimadas a 1450°C, comparadas com a faixa de variação das amostras da bacia de Boa Esperança.....	87
Figura 132	Gráfico da faixa da variação da porosidade aparente das argilas refratárias padrão, queimadas a 1450°C, comparadas com a faixa de variação das amostras de Boa Esperança.....	88
Figura 133	Valores da faixa de variação da absorção de água, porosidade aparente e módulo de módulo de ruptura à flexão das amostras da bacia de Boa Esperança.....	90

Figura	134	Resultados do cone pirométrico em (a) para a amostra de Tijuco; em (b) para as amostras TV da bacia de Tijuco, MB8-2, para a bacia de Caraço e BE-1 para a bacia de Boa Esperança.	93
Figura	135	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB8-1 da bacia de Caraço.....	95
Figura	136	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB7-1 da bacia de Caraço.....	96
Figura	137	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB8-2 da bacia de Caraço.....	97
Figura	138	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB8-3 da bacia de Caraço.....	98
Figura	139	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB7-2 da bacia de Caraço.....	99
Figura	140	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte T-1 da bacia de Tijuco.....	100
Figura	141	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte T-2 da bacia de Tijuco.....	101
Figura	142	Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte TV da bacia de Tijuco.....	102
Figura	143	Gráfico que ilustra a determinação do ponto ótimo de defloculação.....	106
Figura	144	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de BE-2 da Bacia de Boa Esperança.....	106
Figura	145	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de BEA-2 da Bacia de Boa Esperança.....	106
Figura	146	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de BEA-1 da bacia de Boa Esperança.....	106
Figura	147	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de TV da bacia de Tijuco.....	106
Figura	148	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de T-2 da bacia do Tijuco.....	107
Figura	149	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de T-1 da bacia de Tijuco	107
Figura	150	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de MB8-2 da bacia de Caraço.....	107
Figura	151	Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de MB8-1 da bacia de Caraço.....	107
Figura	152	Curva do consumo de defloculante da amostra da amostra do horizonte de MB7-1 da bacia de Caraço.....	107
Figura	153	Teores de gibbsita presentes nas amostras e seus respectivos índices de consumo do defloculante.....	109
Figura	154	Comportamento das amostras: (a) bem defloculada, (b) tendente à tixotropia, (c) amostra após o repouso totalmente no estado tixotrópico (gel).....	110
Anexo	1	Cones pirométricos.....	124
Anexo	2	Cálculo da composição mineralógica dos perfis estudados.....	126

LISTA DE QUADROS

Quadro	1	Classificação de materiais refratários sílico-aluminosos.....	1
Quadro	2	Demonstrativo do cálculo de base calcinada de caulinita.....	3
Quadro	3	Estratigrafia resumida para a área de inserção das argilas refratárias de Uberaba.....	6
Quadro	4	Características gerais do perfil denominado BE, definido e coletado em Boa Esperança.....	19
Quadro	5	Características gerais do perfil denominado BEA coletado na bacia Boa Esperança.....	22
Quadro	6	Características gerais do perfil da bacia de Caraço denominado MB.....	24
Quadro	7	Características gerais do perfil em Tijuco denominado T.....	27
Quadro	8	Distribuição granulométrica para os horizontes do perfil da bacia de Boa Esperança.....	34
Quadro	9	Distribuição granulométrica para os horizontes do perfil da bacia de Caraço.....	34
Quadro	10	Distribuição granulométrica para os horizontes do perfil da bacia de Tijuco.....	34
Quadro	11	Demonstrativo das quantidades de leves e pesados obtidos nas frações correspondentes das amostras.....	39
Quadro	12	Resultados das análises químicas dos elementos maiores presentes nos horizontes dos perfis das amostras naturais das amostras da área denominada Boa Esperança (BE, BEA, BEB).....	50
Quadro	13	Resultados das análises químicas dos elementos maiores presentes nos horizontes dos perfis nas amostras naturais das amostras das áreas denominadas Caraço e Tijuco (MB e T).....	51
Quadro	14	Resultados das análises químicas dos elementos maiores presentes nos nódulos sem núcleo e com núcleo da bacia de Boa Esperança.....	53
Quadro	15	Síntese da composição mineralógica das amostras naturais de Boa Esperança (BE) obtidas por difração de raios-X.....	58
Quadro	16	Síntese da composição mineralógica da fração argila das amostras de Boa Esperança obtidas por difração de raios-X.....	58
Quadro	17	Síntese da composição mineralógica das amostras naturais de Caraço (MB) e Tijuco (T), obtidas por difração de raios-X.....	62
Quadro	18	Síntese da composição mineralógica das amostras da fração argila de Caraço (MB) e Tijuco (T) obtidas por difração de raios-X.....	63
Quadro	19	Síntese das reações térmicas observadas nas amostras naturais dos horizontes de BEA e BEB-1 da bacia de Boa Esperança.....	65
Quadro	20	Síntese das reações térmicas observadas nas amostras naturais dos horizontes MB de Caraço.....	67
Quadro	21	Síntese das reações térmicas observadas nas amostras naturais dos horizontes da bacia de Tijuco.....	68
Quadro	22	Síntese do comportamento térmico das amostras do horizonte BE, BEA e BEB da bacia de Boa Esperança.....	71
Quadro	23	Comparativo entre os dados das análises térmicas diferencial e temogravimétrica das amostras naturais e da fração argila da bacia de Boa Esperança.....	71

Quadro	24	Síntese das reações térmicas observadas nas amostras da fração argila dos horizontes MB da bacia do Caraço.....	73
Quadro	25	Síntese das reações térmicas observadas nas amostras da fração argila dos horizontes T da bacia de Tijuco.....	74
Quadro	26	Comparativo entre os dados das análises térmicas diferencial e gravimétrica das amostras naturais e da fração argila da bacia de Caraço....	74
Quadro	27	Comparativo entre os dados das análises térmicas diferencial e gravimétrica das amostras naturais e da fração argila da bacia de Tijuco.....	75
Quadro	28	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança.....	76
Quadro	29	Estimativa da composição mineralógica para horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança.....	77
Quadro	30	Resultados da composição mineralógica, cálculo normativo, das amostras dos horizontes da Bacia de Boa Esperança.....	77
Quadro	31	Resultados da composição mineralógica, cálculo normativo, das amostras dos horizontes das bacias do Caraço e Tijuco.....	78
Quadro	32	Resultados da tensão ou módulo de ruptura à flexão a 110°C dos corpos de prova das amostras BE-1, BE-2, BE-4, BE-5, BEA-1 E BEA-2 da bacia de Boa Esperança.....	83
Quadro	33	Resultados da 110°C da tensão ou módulo de ruptura à flexão de prova após secagem a 110°C das amostras T-1, TV, MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e M7-2 da bacia de Tijuco e Caraço.....	84
Quadro	34	Resultados da tensão ou módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova após queima a 1450°C das amostras provenientes da bacia de Boa Esperança.....	86
Quadro	35	Resultados da absorção de água dos corpos de prova após queima a 1450°C das amostras de Boa Esperança.....	87
Quadro	36	Resultados da absorção de água dos corpos de prova após queima a 1450°C das amostras de Boa Esperança.....	88
Quadro	37	Síntese dos resultados comparativos da absorção de água, porosidade aparente, medidos em porcentagem, e módulo de ruptura à flexão das amostras de Boa Esperança.....	89
Quadro	38	Calculo da base calcinada (b.c.) das argilas de Boa Esperança.....	91
Quadro	39	Cálculo da base calcinada (b.c.) das argilas de Caraço (MB) e Tijuco (T)....	92
Quadro	40	Resultados dos cones pirométricos queimados à temperatura mínima de 1473°C, corresponde ao cone pirométrico Brascone 17.....	94
Quadro	41	Minerais ou fases e seus percentuais semiquantitativos identificados por difração de raios X, provenientes dos materiais queimados na forma de cones pirométricos a 1473°C.....	103
Quadro	42	Fases encontradas nas amostras ensaiadas por DRX e sua porcentagem estimativa.....	104
Quadro	43	Amostras selecionadas versus a quantidade de gibbsita e a % do consumo do defloculante no ponto ótimo de viscosidade.....	108
Quadro	44	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-2 da bacia de Boa Esperança.....	127
Quadro	45	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BE-2 da Bacia de Boa Esperança.....	127

Quadro 46	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-3 da bacia de Boa Esperança.....	128
Quadro 47	Demonstrativo da composição mineralógica para o horizonte BE-3 da Bacia de Boa Esperança.....	128
Quadro 48	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-4 da bacia de Boa Esperança.....	129
Quadro 49	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BE-4 da bacia de Boa Esperança.....	129
Quadro 50	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-5 da bacia de Boa Esperança.....	130
Quadro 51	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BE-5 da bacia de Boa Esperança.....	130
Quadro 52	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança.....	131
Quadro 53	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança.....	131
Quadro 54	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEA-2 da bacia de Boa Esperança.....	132
Quadro 55	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEA-2 da bacia de Boa Esperança.....	132
Quadro 56	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEB-1 da bacia de Boa Esperança.....	133
Quadro 57	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEB-1 da bacia de Boa Esperança.....	133
Quadro 58	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEB-2 da bacia de Boa Esperança.....	134
Quadro 59	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEB-2 da bacia de Boa Esperança.....	134
Quadro 60	Demonstrativo do cálculo normativo para o nódulo sem núcleo coletado dos montes de espera da bacia de Boa Esperança.....	135
Quadro 61	Estimativa da composição mineralógica para o nódulo, sem núcleo, coletado dos montes de espera da bacia de Boa Esperança.....	135
Quadro 62	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB8-1 da bacia do Caraço.....	136
Quadro 63	Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-1 da bacia do Caraço.....	136
Quadro 64	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB7-1 da bacia do Caraço.....	137
Quadro 65	Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB7-1 da bacia do Caraço.....	137
Quadro 66	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB8-2 da bacia do Caraço.....	138
Quadro 67	Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-2 da bacia do Caraço.....	138
Quadro 68	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB8-3 da bacia do Caraço.....	139
Quadro 69	Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-3 da bacia do Caraço.....	139

Quadro	70	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB7-2 da bacia do Caraço.....	140
Quadro	71	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte MB7-2 da bacia de Caraço.....	140
Quadro	72	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte T-1 da bacia do Tijuco.....	141
Quadro	73	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte T-1 da bacia de Tijuco.....	141
Quadro	74	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte T-2 da bacia do Tijuco.....	142
Quadro	75	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte T-2 da bacia de Tijuco.....	142
Quadro	76	Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte TV da bacia do Tijuco.....	143
Quadro	77	Estimativa da composição mineralógica para o horizonte TV da bacia de Tijuco.....	143

RESUMO

As argilas da região de Uberaba, MG, foram estudadas tendo como objetivo contribuir para o conhecimento de sua gênese, mineralogia e aplicações tecnológicas em cerâmica de materiais refratários.

Inicialmente foram identificadas duas áreas de argilas refratárias, uma com maior, e a outra com menor teor de alumina. Em função da análise de documentos, tais como pedidos de licença de lavra junto ao DNPM, planos de mineração e respectivos mapas e croquis das empresas que se utilizam dessas argilas, de informações fornecidas pelos mineradores de argilas refratárias, e de observações no campo das ocorrências, coletaram-se amostras de três bacias denominadas: Boa Esperança, Caraço e Tijuco.

As amostras foram estudadas por meio de análises granulométricas, microscopia óptica dos resíduos leves e pesados, difração de raios X, análises térmicas: diferencial e termogravimétrica, análises químicas, microscopia eletrônica de varredura da fração argila e ensaios cerâmicos: módulo de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente, em corpos de prova prensados, cone pirométrico, e consumo de defloculante.

Os resultados das análises granulométricas sugerem que nas três bacias predominou um ambiente de baixa energia, com regime de sedimentação em águas calmas, provavelmente produto de planícies de inundação.

Os sedimentos são constituídos basicamente pelos minerais caulinita, gibbsita, quartzo, mais raramente micas. A presença de quartzo com baixo grau de arredondamento e esfericidade sugere a possibilidade da contribuição de rochas próximas. Os minerais pesados, zircão, turmalina e rutilo, com elevado grau de esfericidade e arredondamento, parecem indicar que as argilas teriam se originado pelo retrabalhamento de rochas sedimentares. Já a presença de cianita (majoritário), estauroлита e sillimanita, com baixo grau de esfericidade e arredondamento, evidenciam a contribuição de rochas metamórficas.

Do ponto de vista cerâmico, os materiais estudados podem ser classificados como argilas refratárias. As mais aluminosas são indicadas para a fabricação de chamotes para refratários sílico-aluminosos a aluminosos, ocorrem preferencialmente na região de Caraço e Tijuco. As menos aluminosas podem ser utilizadas como argilas ligantes para chamotas ou como componentes de massas para cerâmica branca, típicas da área de Boa Esperança. Estas podem ser utilizadas, quando o teor de gibbsita na composição não exceder a 14%, por processos via úmida (colagem). As mais aluminosas, além do consumo elevado do defloculante, tem comportamento tixotrópico em suspensão aquosa, não sendo recomendadas para produção de materiais refratários por colagem.

ABSTRACT

The main goal of the study of the clays from Uberaba, Minas Gerais State, Brazil, was to contribute to the knowledge of their origin, their mineralogical constitution and their technological applications in refractory products.

First two different areas containing refractory clays were identified, one presenting a higher alumina content and the other one presenting a lower alumina content. From the analysis of different document sources such as licensing requests for mining from DNPM; mining plans with maps and croquis from the companies which use these clays; information provided by miners of refractory clays and field investigations, samples were collected in the three basins named Boa Esperança, Caraço and Tijuco.

The samples were studied by means of grain sized analyses, optic microscopy of the light and heavy residues, X rays diffraction analysis, differential and thermogravimetric thermal analysis, scanning electron microscopic, chemical analysis and ceramic tests, including flexural strength, water absorption, apparent porosity, in pressed bodies of test, and pyrometric cones and defloculant consumption.

The results of the grain sized analyses suggest, for the three basins, an environment of low energy, with a sedimentation regimen of calm waters, probably flooding plain.

The sediments are constituted mainly by caulinite, gibbsite, quartz and more rare mica. The presence of quartz, with low degree of rounding and sphericity suggest the contribution of nearby rocks. The heavy minerals, zircon, tourmaline and rutile, with high degree of sphericity and rounding, seems to indicate that the refractories clays were originated from reworked sedimentary rocks. On the other hand, cyanite (majority), estaurolite and sillimanite, with low degree of sphericity and rounding, evidenciate contribution from metamorphic rocks.

From a ceramic point of view, the studied materials may be classified as refractory clays. The ones with higher contents of alumina are indicated for the production of chamottes for silica-alumina and alumina refractory products and are found preferably in the Caraço and Tijuco area. The less aluminous ones may be used as binding clays for chamottes or as components of sanitaryware slip, and are typical in the Boa Esperança area. They may be used in wet processes (slip casting) when the gibbsite content is lower than 14%. The ones with higher contents of alumina, besides the high defloculant consumption, present a thixotropic behavior in aqueous suspensions. Thus, its use is not recommended for the making of refractory products by slip casting.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O excelente desempenho da indústria brasileira de materiais refratários converge para uma auto-suficiência, representando um “superavit” na balança comercial brasileira desde 1998. O crescimento de produção vem exigindo melhoria dos processos produtivos e da qualidade das matérias primas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2003) (Figura 1).

Figura 1 Projeção da produção de refratários no Brasil (Adaptado do Anuário Brasileiro de Cerâmica 2003, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA).

Para a produção de materiais refratários da classe dos silico-aluminosos e aluminosos, ganham importância os depósitos de argilas refratárias brasileiras das regiões de Suzano e Mogi das Cruzes, em São Paulo; Barro Branco e Tubarão, em Santa Catarina; Guaíba, no Rio Grande do Sul; Poços de Caldas, Uberaba, e Montes Claros, em Minas Gerais.

A região que mais contribuiu com argilas para a produção de materiais refratários sílico-aluminosos e aluminosos, para várias empresas da região da Grande São Paulo, situa-se na área do Alto Tietê, abrangendo os municípios de Salesópolis, Biritiba Mirim, Mogi das Cruzes e Suzano, cobrindo as várzeas da bacia hidrográfica do Alto Rio Tietê e seus afluentes. Tais materiais, dadas as suas condições de gênese, o que contribuiu para sua composição mineralógica típica, constituíram-se, desde 1954, (SOUZA SANTOS, 1975) fonte de argilas com altos teores de alumina em sua composição, suprindo empresas produtoras de refratários sílico-aluminosos e aluminosos do Estado de São Paulo.

Com o objetivo de levantar dados sobre a mineralogia e atualizar informações sobre suas propriedades cerâmicas, CORRÊA (1983) estudou as argilas aluminosas da bacia do Alto Tietê, concluindo que os sedimentos são constituídos, principalmente, por argilomineral do grupo da caulinita, gibbsita e, em quantidades subordinadas, quartzo e micas. São produtos de apenas um ciclo deposicional. A grande concentração de gibbsita no interior da bacia em relação às bordas, associada à sua íntima mistura com caulinita na fração argila sugerem uma gibbsita autigênica. Hoje esses materiais estão próximos da exaustão. Dessa forma, ganham importância e despertam interesse, as argilas refratárias da região de Uberaba, considerando que empresas em São Paulo e Minas Gerais se utilizam dessas argilas, há mais de trinta anos, para a produção de material cerâmico, pela sua elevada refratariedade, conforme SUGUIO (1973).

1.2 CLASSIFICAÇÃO DE ARGILAS REFRAATÁRIAS

As argilas são materiais naturais de ampla utilização pelo seu baixo custo, decorrência da facilidade de extração e abundância na natureza.

Do ponto de vista da aplicação tecnológica, SOUZA SANTOS (1975), agrupa as argilas naturais em dez grupos diferentes: I - Cerâmicas II – Cargas para borracha vulcanizada, III - Fabricação de papel, IV – Diluente para inseticidas, V - Carga ou enchimento para tintas e plásticos, VI – Indústria do concreto, VII – Descoramento de óleos vegetais, VIII – Catalisadores para a indústria do petróleo, IX – Lamas para perfuração de poços de petróleo, X – Aglomerantes de areia de fundição. As argilas cerâmicas se classificam em três grupos: utilizadas em cerâmica vermelha, para cerâmica branca e para materiais refratários sílico-aluminosos e aluminosos.

Argilas que, por análises químicas em base calcinada, apresentam teores entre 22,00% a 45,99% de alumina são classificadas como matérias primas para a produção de materiais refratários sílico-aluminosos. Acima de 46%, são classificadas como aluminosas (Quadro 1).

Quadro 1 Classificação de materiais refratários sílico-aluminosos com base em análises químicas (ABNT, 1996).

Classe Característica	SA-4	SA-3	SA-2	SA-1
% de Al_2O_3	22,00 a 27,99	28,00 a 33,99	34,00 a 39,99	40,00 a 45,99

Argilas que excedem o teor de 46% de alumínio, portanto, altamente aluminosas em base calcinada, devem ter outros minerais, contendo hidróxidos de alumínio livres na forma de gibbsita, bohemita ou diásporo, que lhes conferem maiores teores de alumínio e, dessa forma, maior refratariedade. Argilas com altos teores de caulinita em sua composição como, por exemplo, caulins primários, possuem, quando, calcinados, teores, no mínimo, próximos de 46,44% de alumina, o que as classifica como matérias primas para materiais refratários aluminosos. (Quadro 2).

Quadro 2 Demonstrativo do cálculo de base calcinada de caulinita.

Análise Química	% teórica	Base calcinada	
Al_2O_3	39,50	39,50	46,44
SiO_2	46,54	45,54	53,55
H_2O	13,96	-----	-----
Total	100,00	85,04	100,00

Argilas para materiais refratários sílico-aluminosas ou aluminosas podem ser definidas conforme seu comportamento frente ao ensaio do cone pirométrico equivalente, correspondente, no mínimo, a dos refratários sílico-aluminosas da classe SA-4, exigência mais baixa, conforme NBR – 10.239, ABNT (1996) (Quadro 1).

1.3 OBJETIVOS

O estudo das argilas da região de Uberaba tem como objetivo geral contribuir para o conhecimento sobre sua gênese, mineralogia, e aplicações tecnológicas. Especificamente, este

trabalho objetiva: a) levantar os dados da composição mineralógica e propriedades cerâmicas, haja vista já serem utilizadas, com sucesso, por indústrias de refratários; b) levantar informações que possam trazer contribuição para a gênese dos depósitos; c) realizar os ensaios cerâmicos preliminares, para constatar a correlação entre a mineralogia do material e os requisitos de qualidade exigidos para a produção de materiais refratários.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas do presente estudo encontram-se situadas no município de Uberaba, MG, região do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais (Figura 2). Uberaba constitui cidade pólo na região, sendo servida pela rodovia BR-050, que se estende até Brasília (DF), e até a rodovia Anhanguera, no Estado de São Paulo, SP – 330. A rodovia 262 liga Uberaba à capital do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, e os ramais ferroviários permitem acesso aos estados de São Paulo, Goiás e Espírito Santo.

Figura 2 Planta de localização da área de estudo, situada dentro dos limites do município de Uberaba, MG, (modificada de BOGNIOTTI, 1999).

Os depósitos de argilas, a que se refere o presente estudo, estão localizados entre os municípios de Uberaba e Uberlândia, limitados pelos meridianos 47° 45' 00" – 47° 57' 00" W e paralelos 19° 20' 00" – 19° 27' 30" de latitude sul (Figura 2). Em extensa área da região afloram sedimentos de idade cretácea do Grupo Bauru compostos, principalmente, por arenitos argilosos, calcários e conglomerados. Essa litologia compõe os chapadões com altitude ao redor de 900m, em cuja superfície formaram-se depressões fechadas, nas quais se acumularam sedimentos argilosos, muitas vezes, ricos em gibbsita, de idade possivelmente neoceno-zóica (IBAR S/A, 1996). Na figura 3 apresenta-se o mapa da localização da área de ocorrência de argilas na região de Uberaba.

AL - aluviões; BU - Cretáceo Superior; BUB – Formação Uberaba; SG – Formação São Bento; ARX - Grupo Araxá, Proterozóico Superior; CAG/CAX - Grupo Canastra, Proterozóico médio; γ l - rochas graníticas, arg – argila; tf – turfa mais argila; cal – calcário; nt = argila nontronítica.

Figura 3 – Planta da localização da área de estudo evidenciando detalhes da ocorrência das argilas refratárias de Uberaba, MG. (Compilada de CEMIG, Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais, 1994, na Escala 1:1.000.000).

1.5 CONTEXTO GEOLÓGICO

A área da presente pesquisa está inserida na Bacia do Paraná, (BOGNIOTTI, 1999). Durante o Cretáceo, ocorreram na porção oriental da Bacia do Paraná, como consequência da abertura do "rift" Sul-Atlântico, soerguimentos e subsidências. Após as atividades vulcânicas do Cretáceo Superior iniciou-se a formação da Bacia Bauru, com a deposição de sedimentos. Movimentos ascensionais na porção norte e nordeste da bacia trouxeram alterações na paleogeografia, como o Soerguimento Paranaíba, e a deposição dos sedimentos da formação Uberaba. Posteriormente, fluxos fluviais apresentaram-se, persistentemente, com direção noroeste, provavelmente por influência de barreiras internas criadas, recobrindo a formação Uberaba (FERNANDES, 1998).

À oeste, na depressão Uberaba, depositaram-se os grupos São Bento, de idade Cretácea e Bauru, de idade Jurássica. À leste depositou-se a formação Marília. Na região do Triângulo Mineiro afloraram rochas do Grupo São Bento, representado pelas Formações Botucatu e Serra Geral, enquanto que o Grupo Bauru foi constituído pelas formações Marília, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, Uberaba, Araçatuba e Vale do Rio do Peixe. A formação Marília foi composta pelos Membros Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã. (FERNANDES, 1998). Para a parte oriental da bacia Bauru, FERNANDES e COIMBRA, (2000) apresentam proposta para a nova ordem estratigráfica (Quadro 3).

Quadro 3 Estratigrafia resumida para a área de inserção das argilas refratárias de Uberaba. Adaptada de parte da proposta para a nova ordem estratigráfica do Grupo Bauru (FERNANDES e COIMBRA, 2000).

Idade	Grupo	Formação	Membro
Cretáceo	Bauru	Marília	Serra da Galga
			Ponte Alta
			Echaporã
		Presidente Prudente	
		S. José do Rio Preto	
		Uberaba	
		Araçatuba	
		Vale do Rio do Peixe	
	Caiuá		

A bacia Bauru, classificada como intracratônica, com cerca de 180.000 km², formada por subsidência termo-mecânica, acumulou seqüência sedimentar arenosa. A área estudada por FERNANDES (1998), passou a soequer-se no Maastrichtiano (74 m.a.), movimento que prossegue até os dias atuais (Figura 4).

Figura 4 Evolução da Bacia Bauru, compilada de FERNANDES (1998).

A formação Uberaba, com ocorrência restrita ao Triângulo Mineiro e partes isoladas do Alto Paranaíba, é definida como de idade neocretácea. Tem no contato superior os Membros Ponte Alta e Serra da Galga, da Formação Marília. A Formação Uberaba (Cretáceo Superior da Bacia do Paraná) é composta por arenitos ricos em quartzo e feldspato; fragmentos de rochas, como basalto, quartzitos, xistos; intraclastos arenosos, tais como litoarenitos, sublitoarenitos e litoarenitos feldspáticos. Os fragmentos líticos sugerem uma mistura de áreas-fonte, com contribuição de rochas vulcânicas alcalinas, basalto, além de rochas metamórficas dos Grupos Araxá e Canastra.

Atividades vulcânicas no Alto Paranaíba sugerem concomitância com a Formação Uberaba, devido aos grandes volumes de cinzas vulcânicas infiltradas nos espaços intergranulares das rochas dessa formação, além de fases zeólita e sílica e, na fases de eodiagênese a presença de óxidos de ferro e titânio. FERREIRA JUNIOR e GOMES, (1999) apresentam as relações entre os grupos e formações da região (Figura 5).

Figura 5 Mapa da área de estudo evidenciando a Formação Uberaba e as suas relações com a cobertura cenozóica sobre a qual se depositaram as argilas do presente estudo. (Adaptado de FERREIRA JUNIOR; GOMES, 1999).

As argilas refratárias da região de Uberaba são referidas como unidades cenozóicas, coberturas de idade não determinada, englobadas como terciárias ou quaternárias. Constituem-se em depósitos sedimentares detríticos não consolidados, aluvionares, tais como areias, cascalhos, siltes, argilas, que foram depositados em ambiente fluvial, acumulados nos fundos dos vales ou encostas atuais, em planícies de inundação ou formando terraços. Estão correlacionados com o relevo atual, mostrando feições neotectônicas. (BARBOSA; CASTRO, 1993), (CEMIG, 1994).

FERNANDES e COIMBRA (2000), apresentam modelo esquemático para as relações estratigráficas para a parte oriental da Bacia Bauru (Figura 6). O Quaternário na porção nordeste da Bacia Bauru está sobreposto à formação Marília, e aos Membros Serra da Galga e Ponte Alta.

A região do Triângulo Mineiro, em especial no município de Uberaba, poderia denominar-se Província da Argila Refratária, dado o predomínio desse tipo sobre os demais. (ALECRIM, 1982).

Figura 6 Relações estratigráficas na parte oriental da Bacia Bauru. Compilado de FERNANDES e COIMBRA (2000).

As argilas refratárias, ora sob enfoque, são indicadas como pertencentes ao Membro Serra da Galga, ou depositadas sobre ele. BARBOSA et al. (1970) citam a ocorrência dessas argilas em depressões no arenito Bauru, ao norte do município de Uberaba. Os arenitos estão sobrepostos a calcários. Nas proximidades da estação de Eli da antiga Cia. Mogiana de Estradas de Ferro, a Cia. Paulista de Mineração possuía uma lavra ativa de material argiloso cinza claro, capeado por 40 cm de solo negro húmico. Próximo à estação de Buriti há outra jazida pertencente à IBAR – Indústria Brasileira de Artigos Refratários S/A com argila cuja composição química foi determinada como: P.F.- 23,4%, SiO_2 – 27,8%, Al_2O_3 – 44,9, TiO_2 – 3,3% e Fe_2O_3 – 1%.

BARBOSA et al. (1970) propõem esquema do perfil geológico para os platôs erodidos pelo soerguimento da Bacia Bauru, evidenciando o trabalho mais recente dos rios que, provavelmente, depositaram as argilas em planícies de inundação, calhas e depressões fechadas. Notar a altitude entre 700 a 900 m dos chapadões e o sentido SW no mapa esquemático (Figura 7).

Figura 7 Mapa em corte ilustrando esquematicamente o perfil geológico SW da área da formação ou bacia da região de Uberaba, posicionando o Pré Cambriano, o Cretáceo inferior e superior. (Modificado de BARBOSA et al. (1970).

SUGUIO, BARCELOS e MONIZ (1976) estudaram os sedimentos que ocorrem em depressões fechadas, de provável idade cenozóica das regiões do Triângulo Mineiro (próximo à Uberaba) e Alto Paranaíba (próximo a São Gotardo). Estes sedimentos formam, em alguns locais, centenas de montículos, que são microformas de relevo conhecidas também como “murunduns” (BOGNIOTTI, 1999). A origem dessas formações é bastante controversa e ocorrem em verdadeiras depressões, onde se acumularam, retrabalhados da Formação Bauru. Do estudo granulométrico ficou demonstrado que o diâmetro médio desses sedimentos é muito fino, de onde se concluiu por um ambiente de deposição muito calmo. A composição mineralógica, detectada por difração de raios X, indicou a presença de caulinita e gibbsita, este último mineral evidenciando o alto grau de intemperismo. Anatósio aparece na fração argila de todas as amostras, podendo ser autógeno. O ambiente encontrado em depressões fechadas, de drenagem difícil e presença de solo turfoso, sugere condições redutoras e pouco lixiviantes, adverso à formação de gibbsita. Para os sedimentos sobre os arenitos da Formação Bauru, poderiam ser imaginados os basaltos da Formação Serra Geral, que ocupariam cotas superiores localmente, funcionando como potencial área-fonte do Triângulo Mineiro. Neste caso os autores propõem uma gênese detrítica, ou alóctone para a gibbsita, que teria se desenvolvido sobre os planaltos do Triângulo Mineiro e depois transportada para pequenas bacias de sedimentação, onde são encontradas junto às argilas (SUGUIO; BARCELOS; MONIZ, 1976).

ZAMBRANO (1981) sugere que as argilas aluminosas ocorrentes em Uberaba, seriam originárias do retrabalhamento dos sedimentos argilo-arenosos da Formação Bauru. Durante o retrabalhamento águas superficiais e subterrâneas carregaram os argilominerais, iniciando processo de transformação semelhante à bauxitização. Sempre que ocorreram condições favoráveis à alteração da caulinita, o processo de transformação foi mais completo, proporcionando o aparecimento de maior quantidade de gibbsita. O retrabalhamento dos arenitos deu origem a depressões preenchidas por material que adquiriu uma feição topográfica característica, denominada “covoais”, montículos de SUGUIO, BARCELOS e MONIZ (1976), e “murunduns” de BOGNIOTTI (1999).

Figura 8 Esquema de corte longitudinal, sem escala, ilustrando a ocorrência das argilas refratárias de Uberaba, conforme ZAMBRANO (1981).

O plano sequencial de lavra da Jazida Boa Esperança de Uberaba, Minas Gerais, (IBAR S/A, 1966) admite uma gênese pós deposicional para a gibbsita. O relevo suave permitiu a deposição de sedimentos em extensas áreas, ou a caulinitização da rocha original, com a conseqüente formação de óxidos e hidróxidos de ferro e a liberação de sais solúveis. Águas superficiais de pH ácido depositaram partículas argilosas do tipo caulinita, com formação de hidróxidos de alumínio e sílica solúvel. A circulação de águas superficiais, controladas por faixas mais permeáveis do arenito e pelo clima, favoreceram o enriquecimento de alumina no material depositado, tornando os horizontes superficiais mais aluminosos, devido à lixiviação da sílica e à concentração de gibbsita. A matéria orgânica, representada pela turfa percolada pelas águas, produzia pH ácido que solubilizava o ferro, concentrando-o em horizontes inferiores e reduzindo-o nas camadas superiores. O elevado teor de TiO_2 sugere uma forte contribuição de sedimentos argilosos cineríticos e tufitos.

LARA (1997) dividiu as formações argilosas cenozóicas dos platôs de Uberaba em três vertentes alta, média e baixa. Propõe que a evolução geoquímica sempre prevaleceu sobre a

evolução mecânica. Os sedimentos do membro Serra da Galga foram submetidos a uma fase de alteração, tendo como consequência a produção de uma laterita aluminosa. Submetidas a processos de degradação constituíram uma cobertura móvel, rica em caulinita e gibbsita. Essa cobertura, dentro de meios hidromórficos, passou por uma completa deferruginação, formando uma cobertura branca argilo-gibbsítica que está presente em todas as partes baixas do platô. A oscilação do lençol freático garantiu a fixação do ferro no horizonte argiloso branco e à formação de uma couraça ferruginosa. O padrão de distribuição dos elementos de terras raras nas lateritas aluminosas dos perfis de alta vertente e a presença de clastos de quartzo com fraturas preenchidas por hematita, indicam uma pretérita couraça laterítica alumino-ferruginosa. A presença de quartzo com as mesmas características, em ambos os materiais, indicam que essa laterita provém da alteração dos sedimentos de topo do Membro Serra da Galga.

Dentre as formações que poderiam estar associadas como áreas fontes das argilas refratárias da região de Uberaba estão incluídas a Formação Uberaba e a Formação Marília.

A Formação Uberaba é composta, basicamente, por arenitos, resultado do retrabalhamento de rochas vulcânicas mais sedimentos de fontes não vulcânicas. HASUI (1968) descreve esses materiais constituídos por rochas epiclásticas, que apresentam na porção basal conglomerados superpostos por arenitos tufáceos, associados à siltitos, argilitos e arenitos conglomeráticos. A unidade é composta por arenitos ricos em quartzo, feldspatos e fragmentos líticos, que sugerem uma mistura de áreas fonte com contribuição de rochas vulcânicas alcalinas, basalto, e rochas metamórficas dos Grupos Araxá e Canastra. (FERREIRA JUNIOR; GOMES, 1999). É notável a presença de grãos clásticos de perovskita (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

O ambiente deposicional foi interpretado de várias maneiras, por diversos autores, variando desde fluvial, com pequeno transporte em climas secos e úmidos alternados, ou flúvio deltáico, com grande contribuição de rochas vulcânicas alcalinas em clima quente e seco, variando até sistema fluvial meandrante e/ou entrelaçado. O consenso reside na admissão de ser, o ambiente, fluvial, da época Senoniana (BOGNIOTTI, 1999). A Formação Uberaba ocorre apenas no Triângulo Mineiro. (LARA, 1997).

A Formação Marília corresponde à parte superior do Grupo Bauru, constituída por sedimentos grosseiros e conglomeráticos cimentados por calcita, produto do retrabalhamento de leques aluviais coalescentes, posteriormente depositados por sistema fluvial anastomosado, constituindo calcretes e calcários lacustrinos. A Formação Marília está amplamente

distribuída no Triângulo Mineiro (ALMEIDA; BARBOSA, 1953). É dividida em três membros, Serra da Galga, Ponte Alta e Membro Echaporã. Foram considerados, para o presente estudo, os Membros Serra da Galga e Ponte Alta, sobrepostos à Formação Uberaba.

O Membro Ponte Alta da Formação Marília é constituído por arenitos conglomeráticos e conglomerados. Os seixos compostos por quartzo e quartzito, associados à calcretes e silcretes, têm granulometria variando entre milímetros e centímetros (SUGUIO, 1973). A sedimentação teria ocorrido em ambiente do tipo “playa lake”, em águas ricas em bicarbonato de sódio, em clima árido.

O Membro Serra da Galga da Formação Marília sobrepõe-se abrupta ou gradacionalmente sobre o Membro Ponte Alta na região do Triângulo Mineiro. É constituído por arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados arenosos. Os seixos de quartzo, quartzito e sílex, presentes nos conglomerados, possuem dimensões variando entre centímetros a decímetros. O clima pouco, mais úmido do que o prevalecente durante a deposição do Membro Ponte Alta, implicaria na instalação de sistema fluvial anastomosado, e retrabalhamento dos sedimentos. (BOGNIOTTI, 1999). Para SUGUIO (1973) o Membro Serra da Galga apresenta geomorfologia com serras de topos aplainados, escarpas, insulado pelos rios Grande, Paranaíba e Araguari. A idade da unidade estaria entre o Maastrichtiano (74,0 m.a.) e Santoniano (86,6 m.a.) do Cretáceo Superior, considerando o conteúdo fóssilífero, os movimentos tectônicos e o vulcanismo relacionado ao Soerguimento do Alto Paranaíba.

minerador, identificadas como: a) Boa Esperança superior, b) Boa Esperança inferior, c) Alaor Pereira superior e d) Alaor Pereira Inferior (Figura 9).

São apresentados, nas figuras 10, 11, 12 e 13, os resultados de ATD e das análises químicas por FRX.

Figura 10 Análise térmica diferencial e química por FRX da argila Boa Esperança superior.

Figura 11 Análise térmica diferencial e química por FRX da argila Boa Esperança inferior.

Figura 12 Análise térmica diferencial e química por FRX da argila Alaor Pereira superior.

Figura 13 Análises térmica diferencial e química por FRX da argila Alaor Pereira inferior.

Os resultados obtidos pelos ensaios térmico-diferencial, associados às análises químicas, evidenciaram a elevada perda ao fogo e os altos teores de alumina das amostras

representativas. O pico endotérmico na região de 320°C indica a presença do mineral gibbsita e, aqueles ao redor de 550°C-580°C e 935°C a 961°C, correspondem ao argilomineral caulinita.

Os teores de alumina e perda ao fogo das análises químicas são mais elevados do que os normalmente encontrados para argilas puras em caulinita.

Diferenças no teor de alumina entre as amostras provenientes das duas áreas auxiliaram na definição dos pontos de amostragem. Ficaram definidas duas grandes áreas para o estudo das argilas refratárias da região de Uberaba, uma com baixos teores e, outra, com altos teores de gibbsita. Dessas duas áreas foram amostrados os materiais para os ensaios de caracterização química, mineralógica e ensaios cerâmicos.

2.2 DESCRIÇÃO DOS DEPÓSITOS E COLETA DE AMOSTRAS

Na área, correspondente ao presente estudo, afloram sedimentos cretáceos do Grupo Bauru, compostos por arenitos variados, quase sempre sobrepostos a calcários (Figura 14).

Figura 14 Perfil esquemático das depressões onde se depositaram as argilas de interesse na região de Uberaba.(IBAR S/A, 1996).

Essas litologias compõem os chapadões ou platôs de altitudes variando entre 700 a 900 metros, em cujas superfícies ocorrem depressões fechadas, onde se acumularam sedimentos argilosos ao longo dos cursos de água, com elevado teor de alumina, de possível idade neoceno-zóica.(IBAR S/A, 1996; SUGUIO; BARCELOS; MONIZ, 1976).

Em geral os materiais argilosos estão capeados por meio metro a oitenta centímetros de material turfoso. A espessura média das argilas utilizáveis para a produção de refratários está ao redor de três metros.

As ocorrências das argilas refratárias da região de Uberaba estão caracterizadas pelo seguinte perfil geológico: chapadões, na parte mais alta da topografia, formados pelo arenito Bauru; covaais, situados nas encostas, entre o chapadão e a várzea, com feição topográfica característica de montículos ou murunduns; argilas claras, de interesse dos mineradores de matérias primas refratárias; argilas escuras que ocorrem na várzea, geralmente onde estão os cursos de água, com teor mais baixo de areia do que as argilas claras, mas não são aproveitadas, devido ao seu alto conteúdo de matéria orgânica.

2.2.1 Pontos de coleta da bacia Boa Esperança, perfis BE, BEA e BEB

Os pontos definidos para a coleta das amostras da área denominadas Boa Esperança, estão indicados no croqui de situação apresentado na figura 15.

Figura 15 Pontos de amostragem da área de Boa Esperança. (Adaptado a partir do croqui elaborado pelo Departamento de Mineração da IBAR, 1996).

A argila Boa Esperança conforme informações verbais do minerador, é sílico-aluminosa, com o teor de Al_2O_3 ao redor de 42% em base calcinada. Já “*in natura*” os teores médios de sílica estão ao redor de 44%, alumina 39%, Fe_2O_3 1%, TiO_2 2,5%, álcalis 0,05,

perda ao fogo 13,5%. As argilas se apresentam homogêneas nos horizontes de lavra com cores cinza, amarelada, cinza com manchas avermelhadas (variegadas).

Durante as amostragens foi feito acompanhamento fotográfico, observando-se aspectos que pudessem trazer informações para as futuras interpretações dos dados.

Os pontos de coleta foram determinados em função das informações fornecidas pelos produtores de materiais refratários, a partir das argilas da região de Uberaba, mais o estudo de amostras iniciais, conforme apresentado, anteriormente, no capítulo 2. As amostras de BE, BEA e BEB estão situadas na mesma bacia e apresentam perfil semelhante de ocorrência.

2.2.1.1 Ponto de coleta do perfil denominado perfil BE de Boa Esperança

Na figura 16 apresenta-se o aspecto geral da frente de lavra do perfil de Boa Esperança.

Figura 16 Aspecto geral da frente de lavra do perfil da Bacia de Boa Esperança (BE).

Foram definidos, visualmente, cinco horizontes no perfil amostrado na Bacia de Boa Esperança (BE). A delimitação dos horizontes baseou-se na cor e aspecto homogêneo ou variegado dos materiais. Na figura 16 apresenta-se o aspecto geral do perfil de coleta.

Os materiais apresentavam-se com extrema plasticidade no jazimento. A figura 17 indica os horizontes selecionados para a coleta das amostras e suas características gerais aparecem no quadro 4.

Figura 17 Perfil de coleta de Boa Esperança (BE) e seus respectivos horizontes.

Quadro 4 Características gerais do perfil denominado BE, definido e coletado em Boa Esperança.

Amostras de Boa Esperança - BE			
Horizonte	Profundidade (metros)	Cor	Observações
BE1	0,80 a 1,0	cinza	“Abaixo da “turfa”, presença de raízes vegetais.
BE2	1,60 a 2,40	cinza	Ainda com presença de algumas raízes vegetais.
BE3	2,40 a 3,20	creme	Presença de faixa provavelmente ferruginosa
BE4	3,20 a 4,20	variegada	Mais clara do que os horizontes anteriores
BE5	4,20 a ?	homogênea	Com manchas avermelhadas.

Nos montes de argila formados no pátio da área de Boa Esperança, aguardando transporte, foi possível observar a concentração de pequenos nódulos, (Figura 18). Ao exame

visual, ou ao serem rompidos, mostraram a existência de dois tipos: a) sem núcleo, homogêneos, com cores claras por toda a extensão, (Figura19); b) com núcleo de cor avermelhada, revestidos por material homogêneo com cores claras (Figura 20).

Figura 18 Nódulos como se apresentam nos montes de argila no pátio de Boa Esperança.

Figura 19 Tipos de nódulos e suas dimensões coletados dos montes de argila, do pátio de Boa Esperança.

Figura 20 Nódulos com núcleo avermelhado, coberto por material claro coletado dos montes de argila no pátio de depósito em Boa Esperança.

2.2.1.2 Ponto de coleta da bacia de Boa Esperança perfil BEA

O perfil denominado BEA foi coletado conforme ponto indicado na folha III, no mapa da figura 15, com o objetivo de investigar variabilidade na composição mineralógica e química, pois está situado a algumas dezenas de metros do perfil BE (Figura 21).

Figura 21 Posicionamento do ponto de coleta BEA na área de Boa Esperança (BE) em relação ao coletado em 30-07-2003 (BE). Nota-se as cavas anterior e à esquerda preenchidas por água.

O perfil coletado BEA, (Figura 22), apresenta-se muito semelhante ao perfil denominado BE. Cobertos por camada turfosa, seguidas de camadas de argila cinza claro no horizonte superior, tendem a um clareamento no horizonte inferior.

Figura 22 Perfil de coleta da lavra de Boa Esperança (BEA) em 06-09-2004.

O quadro 5 descreve as características gerais do perfil denominado BEA, da Bacia de Boa Esperança,

Quadro 5 Características gerais do perfil denominado BEA coletado na Bacia Boa Esperança.

Amostras da Bacia de Boa Esperança - BEA			
Horizonte	Profundidade (m)	Cor	Observações
BEA1	0,80 a 1,0	cinza	“Abaixo da “turfa”, presença de raízes vegetais.
BEA2	1,60 a 2,40	creme	Ainda com presença de algumas raízes vegetais.

2.2.1.3 Ponto de coleta da Bacia Boa Esperança, perfil BEB

O perfil denominado BEB foi coletado na área da folha VI, (Figura 15), localizando-se nas imediações das coletas anteriores (BE e BEA).

O perfil coletado é muito semelhante ao perfil denominado BE da Bacia de Boa Esperança. Cobertos por camada turfosa, seguidas de camadas de argila cinza claro no horizonte superior, apresentam tendência de clareamento no horizonte inferior.

A coleta desses três perfis BE, BEA e BEB objetivou investigar a variabilidade na composição mineralógica e química, pois se localizam na mesma Bacia de Boa Esperança.

2.2.2 Ponto de coleta na Bacia do Caraço (MB) e de Tijuco (T)

As amostras do Caraço (MB) e Tijuco (T) foram coletadas em duas etapas, em setembro de 2004 e 2005. Na figura 23 estão indicados, no mapa fornecido pela Magnesita S.A.(2005), os dois locais de coleta das amostras. A escolha das amostras seguiram o critério da situação geográfica da bacia sedimentar, adicionadas das informações fornecidas pelo minerador. As bacias de Caraço e Tijuco estão em áreas correspondentes à amostra Alaor Pereira, denominação utilizada na definição inicial dos pontos de amostragens.

Figura 23 Mapa de localização da coleta dos materiais das Bacias de Caraço (MB) e Tijuco (T), adaptado de croqui de situação fornecido pela MAGNESITA S/A (2005).

2.2.2.1 Ponto de coleta na Bacia do Caraço (MB)

O material coletado se apresenta com cor creme, mais claro, e com plasticidade natural menor do que os materiais coletados na área de Boa Esperança. Foram coletados cinco horizontes MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3, MB7-2. O número 7 da sigla significa argila com teor de alumina igual a 70%; o número 8, quando esse teor é de 80% pós calcinação, conforme informações do minerador. Na figura 24 é apresentado esquema idealizado para o perfil dos horizontes da Bacia de Caraço e as datas das coletas, realizadas nos períodos entre setembro e outubro, época de menor precipitação pluviométrica na região.

Figura 24 Esquema idealizado para o perfil de coleta da Bacia de Caraço, e as datas das coletas.

Os horizontes MB8-1 e MB7-1 estão mais próximos do rio Jacari, Bacia do Caraço; os horizontes MB8-2, MB8-3 e MB7-2, respectivamente, mais afastados. No quadro 6 são indicados os aspectos das amostras coletadas no perfil de Caraço. A lavra inicia-se da parte mais profunda, evoluindo para a mais rasa da bacia.

Quadro 6 Características gerais do perfil da Bacia de Caraço denominado MB

Amostras do Caraço			
Horizontes	Profundidade (m)	Cor	Observações
MB8-1	1,5	creme	Logo abaixo da camada turfosa. Raízes vegetais.
MB7-1	1,5	creme	Menor plasticidade que as argilas de Boa Esperança.
MB8-2	1,5	creme	Correlacionável a BM8-1
MB8-3	1,5	creme	Correlacionável com os horizontes BM8-1 e BM8-2.
MB7-2	1,2	creme	Correlacionável com o horizonte MB7-1.

A evolução da lavra, os pontos de coleta em Caraço e os diferentes perfis coletados são mostrados nas figuras 25 a 27.

Figura 25 Evolução da lavra em Caraço e indicação dos pontos de coleta MB8-1 e MB7-1 e MB8-2, com parte da lavra em processo de mitigação.

Figura 26 Perfil de coleta do Caraço, amostras codificadas como MB8-1 e MB7-1.

Figura 27 Perfil de coleta do Caraço das amostras MB8-3 e MB7-2.

2.2.2.2 Ponto de coleta da Bacia do Tijuco (T)

As argilas da Bacia Tijuco constituem um pacote sedimentar com espessura menor do que as outras estudadas (Figura 28).

Figura 28 Visualização dos horizontes T-1 e T-2 na bacia Tijuco.

Há um capeamento turfoso, abaixo do qual estão os horizontes denominados T-1, T-2. A espessura de cada horizonte corresponde a pouco mais do que meio metro. Estão localizados mais próximas ao rio Caraço.

O último horizonte inferior, mais avermelhado (TV), com provável concentração de óxidos e hidróxidos de ferro acumulados, não é aproveitado como matéria prima, na produção de materiais refratários.(Figura 29).

Figura 29 Horizonte TV do perfil da bacia de Tijuco, onde se visualizam camadas avermelhadas.

No quadro 7 são indicados os aspectos das amostras coletadas no perfil da Bacia de Tijuco.

Quadro 7 Características gerais do perfil em Tijuco denominado T.

Amostras de Tijuco			
Horizontes	Profundidade (m)	Cor	Observações
T -1	0,5	Cinza escura	Abaixo da camada turfosa. Raízes vegetais.
T-2	0,5	Cinza claro	Bastante plástica
TV	0,5	Vermelha	Provável concentração óxidos ou hidróxidos de ferro.

2.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Os aspectos metodológicos aqui apresentados denotam os métodos e técnicas empregados na execução deste trabalho. Tais metodologias complementam os procedimentos de coleta para obtenção dos dados relativos à composição mineralógica, ensaios cerâmicos de caracterização e interpretações dos resultados.

2.3.1 Preparação das amostras para os ensaios

As amostras, após coleta no campo, foram processadas no Laboratório de Tratamento de Amostras do Instituto de Geociências - USP. Seguindo-se os procedimentos adotados neste laboratório, as amostras foram secas ao ar e quarteadas. Uma alíquota no estado natural foi destinada ao Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP para a obtenção da distribuição granulométrica e separação dos minerais leves e pesados e da fração argila das amostras.

Nas frações natural e argila foram realizados os seguinte ensaios: análise térmica diferencial e gravimétrica, difração de raios X, análises química por FRX, destinando-se parte da fração argila à análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Para os ensaios cerâmicos utilizou-se amostras naturais. Os ensaios de caracterização cerâmica realizados foram: análise do teor de alumina em base calcinada, comportamento frente ao cone pirométrico, consumo de defloculante e, comportamento frente aos ensaios cerâmicos preliminares porosidade, absorção de água e módulo de ruptura à flexão.

2.3.2 Análises granulométricas

Para as análises granulométricas foram utilizados métodos e técnicas de peneiramento e pipetagem do Laboratório de Sedimentologia do IGc - USP. Cerca de 60 gramas do material quarteadado, após eliminação da matéria orgânica com água oxigenada, foram dispersos com pirofosfato de sódio. As frações maiores do que 0,062 mm de diâmetro médio, ou seja a fração areia, foram obtidas por peneiramento e a fração silte foi separada por pipetagem. A fração argila foi obtida a partir da sifonagem da suspensão do material dispersado.

Separados nas diferentes frações, os minerais pesados foram analisados por microscopia óptica e lupa. Essas frações foram analisadas por difração de raios X, análises térmicas

diferencial e gravimétrica. Parte dessas frações foi submetida a análises químicas e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.3.3 Análises Químicas por FRX

As análises químicas foram realizadas pela técnica de fluorescência de raios X, nos laboratórios do IGc/USP, (MORI et al.,1999). Os elementos maiores das amostras foram analisados a partir da sua fusão em vidro, na proporção argila: fundente 1:9. Seus objetivos foram caracterizar os materiais argilosos quimicamente, no que concerne ao teor em óxidos; classificar, pelo cálculo do teor em Al_2O_3 , em base calcinada, os materiais em argilas aluminosas ou altamente aluminosas; e subsidiar a estimativa da composição mineralógica.

2.3.4 Análises por difração de raios X

Utilizou-se o difratógrafo Siemens, D-5000 e de “software” disponíveis no Laboratório de Difração de raios X do IGc-USP, apoiando-se nas obras referenciais de WARSHAW (1961), GRIM (1968), BRINDEY E BROWN (1980), MOORE e REYNOLDS (1989), para caracterizar a mineralogia pela interpretação dos difratogramas das amostras naturais coletadas, moídas em granulometria abaixo da fração 2,00 mm, e da fração argila obtidas a partir dos ensaios granulométricos. As amostras queimadas em 1450°C, resultantes da queima dos corpos de prova dos cones pirométricos, também foram analisadas por difração de raios X.

2.3.5 Análise térmica diferencial e termogravimétrica

Utilizou-se do equipamento SDT 2960, Simultaneous TGA-DTA da Thermal Analysis Instruments Inc., do IGc-USP para a realização dos ensaios de análises térmicas diferencial e gravimétrica. A interpretação dos termogramas teve como referência os trabalhos de SOUZA SANTOS E SANTINI (1963), MACKENZIE (1975). A velocidade de aquecimento correspondeu a 10°C/min e a temperatura máxima alcançou 1000°C/1300°C. Alumina calcinada e termicamente inerte foi utilizada como padrão de referência. Foram ensaiadas as amostras naturais, moídas abaixo da fração 2,00 mm, e a fração argila recolhida do ensaio de análises granulométricas.

2.3.6 Microscopia óptica e lupa

Os minerais leves e pesados, obtidos das análises granulométricas das amostras naturais, foram observados, com lupa e microscopia óptica, no Laboratório de Sedimentologia do IGC-USP, com o objetivo de identificar os constituintes mineralógicos, a morfoscopia dos grãos e, aprofundar informações que pudessem indicar a proveniência dos sedimentos.

2.3.7 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura, (MEV), foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, utilizando-se do equipamento Jeol, JSM 840A. As amostras da fração argila foram suspensas numa proporção de 5g do sólido para 1000 mL de água destilada. Algumas gotas dessa suspensão foram colocadas num porta amostra, (“stub”), e secas ao ar. Posteriormente, recobertas por uma película de carbono e, em seguida, ouro, foram evaporadas em alto vácuo. Levadas ao microscópio eletrônico de varredura, foram observados aspectos relativos à morfologia e dimensões das partículas e, eventualmente, composição mineralógica.

2.3.8 Composição mineralógica das amostras

Com os dados das análises térmicas diferencial e termogravimétrica, químicas, difração de raios X e microscopia óptica e eletrônica de varredura foi possível estimar a composição mineralógica dos perfis estudados, utilizando-se os princípios do cálculo normativo.

2.3.9 Ensaio cerâmicos

Foram realizados os seguintes ensaios cerâmicos: preliminares, do cone pirométrico equivalente, do consumo de defloculante e cálculo da composição química em base calcinada.

2.3.9.1 Ensaio cerâmicos preliminares

Para a realização dos ensaios cerâmicos preliminares, as amostras, no estado natural, foram secas ao ar e, em seguida, em estufa a 80°C por 24 horas. Em seguida foram moídas e passadas em peneira U.S.S. nº. 80 (abertura 0,177 mm). Pela adição de álcool polivinílico

(PVA), um plastificante, correspondente a 10% da porcentagem em peso do material, e a conseqüente passagem em peneira U.S.S. nº.60, (abertura 0,420 mm), para uma melhor homogeneização das partículas, conformaram-se os corpos de prova pela aplicação de pressão estática de 24,5 mPa (250 kgf/cm²). Os corpos de prova, após prensagem, adquiriram as seguintes dimensões 130 mm x 40mm x 5 mm. Tais condições para a produção dos corpos de prova, queimados em 1450°C, em forno elétrico da EDG, da Escola SENAI Mario Amato, São Bernardo do Campo, foram suficientes para a realização dos ensaios cerâmicos preliminares módulo de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente. A observação da cor e aspecto dos corpos de prova, pós-queima, informaram, preliminarmente, sobre a utilização das argilas como materiais refratários. A curva de queima proposta é a apresentada na figura 30.

Figura 30 Curva de queima para os corpos de prova a 1450°C.

2.3.9.2 Ensaio do cone pirométrico equivalente

O ensaio do Cone Pirométrico é normalizado pela ABNT – NBR 6222 (1995). Consiste em, utilizando-se molde padronizado, conforme figura 31, confeccionar cones pirométricos da amostra em estudo, comparando-os, em queima oxidante e dentro de parâmetros definidos de velocidade de aquecimento, com cones padrões normalizados (Cones Orton ou Brascone). Foram utilizados os cones pirométricos padrões gentilmente cedidos pela Brascone Ltda., de números 15 (1431°C), 16 (1473°C), 17 (1485°C) e 18 (1506°C), conforme as especificações no anexo I. O ensaio do cone pirométrico equivalente, que permite identificar a refratariedade das argilas, foi realizado adaptando-o a um forno elétrico da EDG. As amostras foram reduzidas por moagem até 50 g, obtendo-se granulometria suficiente para passar em peneira USS # 70 (abertura 0,210mm) e foram ligadas por materiais orgânicos, como a dextrina.

Figura 31 Molde para a confecção dos cones pirométricos das amostras estudadas.

Depois de produzidos, os cones pirométricos das amostras em estudo foram montados em bases refratárias, juntamente com os cones pirométricos padrões.

A queima foi efetuada com velocidade de 150°C/h até 1510°C em forno EDG, que tem como fonte de aquecimento resistência elétrica “super kanthal”, nas instalações da Escola SENAI Mario Amato.

2.3.9.3 Montagem da composição química em base calcinada

A partir dos dados da análise química recalculou-se a porcentagem dos óxidos sem a perda ao fogo, obtendo-se resultado indicativo da viabilidade de utilização da argila como matéria prima para a produção de materiais refratários, classificados conforme (ABNT,1996).

2.3.9.4 Ensaio do consumo de defloculante

Objetivou identificar as argilas adequadas ao processo de conformação via úmida, (método de colagem por suspensão em água). A determinação do consumo de defloculante foi realizado pela medida da viscosidade das amostras em suspensão aquosa. Os ensaios do consumo de defloculante foram realizados nos laboratórios da Escola SENAI Mario Amato.

Para realizar este ensaio as amostras foram passadas em peneiras USS# 100 (abertura 0,149 mm). Em seguida, os pós foram diluídos em água destilada até que a suspensão alcançasse massa específica aparente de 1,563 g/cm³. A massa específica real dos pós secos foi considerada 2,37 g/cm³.

Preparou-se 400 mL de suspensão, na qual se encontravam 387,5 g de material seco. Utilizou-se silicato de sódio como defloculante, com concentração inicial de 0,1735 g/ mL de Na_2O , para preparação da suspensão, e 0,1897 g/mL de Na_2O para a realização do ensaio. O viscosímetro utilizado foi o Brookfield, com “spindles” 3 e 6, e 50 rotações por minuto.

Ao volume de 400 mL da suspensão foi adicionado o silicato de sódio, em alíquotas de 0,2 mL, acompanhado de agitação por dois minutos e, em seguida, fazia-se a leitura no viscosímetro.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GRANULOMETRIA

Os resultados da distribuição granulométrica estão representados nos quadros 8, 9 e 10.

Quadro 8 Distribuição granulométrica para os horizontes do perfil da Bacia de Boa Esperança

Horizonte	Fração granulométrica (mm)		
	Argila %	Silte %	Areia %
	< 0,004	>0,004 <0,062	>0,062 < 2
BE-1	79,81	12,1	8,09
BE-2	64,65	21,26	14,09
BE-3	92,36	5,16	2,48
BE-4	92,86	5,11	2,03
BE-5	60,29	27,65	12,06
BEA-1	73,99	19,43	7,18
BEA-2	66,75	24,88	8,37
BEB-1	64,9	19,89	15,21
BEB-2	93,1	6,2	0,7

Quadro 9 Distribuição granulométrica para os horizontes do perfil da Bacia de Caraço.

Horizonte	Fração granulométrica (mm)		
	Argila %	Silte %	Areia %
	< 0,004	>0,004 <0,062	>0,062 < 2
MB8-1	47,96	37,36	14,68
MB7-1	44,86	40,99	14,15
MB8-2	52,84	33,39	13,77
MB8-3	49,95	30,60	19,45
MB7-2	50,04	33,77	16,19

Quadro 10 Distribuição granulométrica para os horizontes do perfil da Bacia de Tijucu.

Horizonte	Fração granulométrica (mm)		
	Argila %	Silte %	Areia %
	< 0,004	>0,004 <0,062	>0,062 < 2
T-1	78,77	9,52	11,71
T-2	74,17	8,29	17,54
TV	58,25	21,23	20,52

Nos resíduos da fração areia e silte predominam argilominerais “pelletizados” do grupo da caulinita. Na Bacia de Boa Esperança há gibbsita principalmente nos horizontes superiores.

Os horizontes de Caraço, principalmente, MB8-1, MB7-1 e MB8-2 apresentam elevados teores de hidróxido de alumínio, na forma de gibbsita, nas frações silte.

No perfil da Bacia de Tijuco há uma diferenciação nítida entre os dois horizontes superiores T-1 e T-2, no que se refere à quantidade da fração areia/silte, este último mais siltoso. O horizonte TV tem menor quantidade da fração argila do que os anteriores, sendo portador de maiores teores das frações silte e areia.

A distribuição granulométrica dos horizontes dos perfis amostrados no presente estudo é apresentada, na forma de histogramas, nas figuras 33 a 49.

Figura 33 Distribuição granulométrica horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 34 Distribuição granulométrica do horizonte BE-2 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 35 Distribuição granulométrica do horizonte BE-3 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 36 Distribuição granulométrica do horizonte BE-4 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 37 Distribuição granulométrica do horizonte BE-5 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 38 Distribuição granulométrica do horizonte BEA-1 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 39 Distribuição granulométrica do horizonte BEA-2 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 40 Distribuição granulométrica do horizonte BEB-1 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 41 Distribuição granulométrica do horizonte BEB -2 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 42 Distribuição granulométrica do horizonte MB8-1 da Bacia do Caraço.

Figura 43 Distribuição granulométrica do horizonte MB7-1 da Bacia do Caraço.

Figura 44 Distribuição granulométrica do horizonte MB8-2 da Bacia do Caraço.

Figura 45 Distribuição granulométrica do horizonte MB8-3 da Bacia do Caraço.

Figura 46 Distribuição granulométrica do horizonte MB7-2 da Bacia do Caraço.

Figura 47 Distribuição granulométrica do horizonte T-1 da Bacia de Tijucu.

Figura 48 Distribuição granulométrica do horizonte T-2 da Bacia de Tijucu.

Figura 49 Distribuição granulométrica do horizonte TV da Bacia de Tijuco.

3.1.1 Minerais leves e pesados

As maiores concentrações dos minerais leves e pesados das análises granulométricas estão nos intervalos entre 0,125 a 0,062 e 0,125 a 0,177 mm (Quadro 11).

Quadro 11 Demonstrativo das quantidades de leves e pesados obtidos nas frações correspondentes das amostras.

Horizonte	Fração granulométrica	Massa Inicial (g)	Massa Leves (g)	Massa Pesados (g)	Massa leves + pesados (g)	% de leves + pesados
BE-1	0,125 – 0,062	60,65	1,4782	0,0174	1,4956	2,465952
BE-2	0,125 – 0,062	60,02	1,9961	0,0086	2,005	3,34166
BE-3	0,125 – 0,177	60,84	0,4573	0,0076	0,4649	0,77433
BE-4	0,125 – 0,062	60,84	0,2324	0,0079	0,2403	0,394970
BE-5	0,125 – 0,062	60,13	2,4149	0,0083	2,4232	4,029935
BEA 1	0,125 - 0,177	56,65	1,0444	0,0108	1,0552	1,862665
BEA 2	0,125 - 0,177	51,93	0,9738	0,0195	0,9933	1,912767
BEB-1	0,125 – 0,062	61,3	2,3502	0,0141	2,3643	3,856933
BEB-2	0,125 – 0,062	59,9	0,1915	0,0023	0,1938	0,323539
MB 8-1	0,125 - 0,177	54,69	1,9662	0,0186	1,9848	3,629183
MB 7-1	0,125 - 0,177	51,52	3,2621	0,0153	3,2774	6,361413
MB 8-2	0,125 - 0,177	48,68	2,591	0,0272	2,6182	5,378389
MB8-3	0,125 – 0,062	61,03	2,8745	0,0203	2,8948	4,774865
MB7-2	0,125 – 0,062	57,18	2,5985	0,0203	2,6188	4,599335
T-1	0,125 – 0,062	48,66	1,5403	0,0225	1,5628	3,230374
T-2	0,125 – 0,062	55,29	1,6933	0,0114	1,7047	3,113402
TV	0,125 – 0,062	60,79	2,9345	0,0469	2,9814	4,924335

A maior porcentagem do somatório de leves e pesados, em relação à massa inicial, foi verificada no horizonte MB7-1 da Bacia do Caraço com 6,36%. No horizonte TV da Bacia de

Tijuco observou-se a maior porcentagem de minerais pesados em relação à massa inicial 0,077% (0,0469g).

Pode-se observar que a quantidade de minerais, leves e pesados, nas frações granulométricas é muito pequena, mas significativa, para que possa ser correlacionada com os aspectos relativos à área fonte, ambiente deposicional e transporte de sedimentos.

3.1.1.1 Minerais leves: lupa

Observando, na lupa, os minerais leves de todas as amostras, foram identificados como mais importantes os “pellets” de argilomineral do grupo da caulinita e gibbsita, não desagregados nas análises granulométricas, e grãos de quartzo (Fig. 50 e 51).

Figura 50 Principais minerais leves principais que aparecem nos resíduos em peneira, e da pipetagem na maioria das amostras do presente estudo.

Figura 51 Minerais leves resultantes do resíduo em peneira, na fração 0,350 mm da Bacia do Caraço MB8-1, indicando a presença de mica, quartzo e caulinita.

Na figura 52 ilustra-se amostra do resíduo do horizonte T-2 da Bacia de Tijuco, na fração granulométrica entre 0,177-0,125 mm, contendo principalmente quartzo e pequenas quantidades de caulinita e/ou gibbsita.

Figura 52 Resíduo em peneira dos minerais leves do horizonte T-2 da Bacia de Tijuco, indicando a presença principal de quartzo, pequenas quantidades de argilomineral do grupo da caulinita e/ou gibbsita.

Na figura 53 aparecem os minerais leves do horizonte BE-3 da Bacia de Boa Esperança, onde se observa presença de pelotas de caulinita junto com grãos de quartzo.

Figura 53 Resíduo em peneira dos minerais leves do horizonte BE-3 da Bacia de Boa Esperança, indicando a presença de caulinita e quartzo em menores quantidades.

No horizonte BE-1 do perfil da Bacia de Boa Esperança podem ser visualizados os grãos de quartzo, juntamente com os minerais caulinita e gibbsita (Figura 54).

Figura 54 Resíduos de minerais leves BE-1 na granulometria 0,500 mm, areia grossa, onde estão presentes grãos de quartzo com baixa esfericidade e arredondamento, ao lado de “pellets” de caulinita (grãos mais claros) e nódulos de gibbsita (grãos de coloração marrom).

A figura 55 mostra o resíduo retido na granulometria 0,500 mm do horizonte TV da Bacia de Tijuco, com a presença de grãos de quartzo, e de caulinita e/ou gibbsita “pintados”, indicando a provável ocorrência de acúmulo de óxidos e/ou hidróxidos de ferro nesse horizonte.

Os grãos de quartzo aparecem em, praticamente, todas as amostras, estão pouco arredondados e esféricos, evidenciando pouco retrabalhamento, provavelmente originários de uma área fonte próxima.

Figura 55 Resíduo dos minerais leves do horizonte TV da Bacia de Tijuco. Nota-se a presença de grãos de quartzo e de caulinita e/ou gibbsita “pintados”, provavelmente por óxidos e hidróxidos de ferro.

A difração de raios X confirmou a presença de mineral caulinita, da gibbsita e do quartzo como minerais leves nos resíduos dos horizontes de Caraço, Tijuco Boa Esperança, (Figuras 56, 57 e 58 respectivamente). Esses minerais são os principais constituintes da fração dos minerais leves nas amostras estudadas. As intensidades relativas da reflexão basal da caulinita, 0,76 nm, são menores do que a da gibbsita, 0,485 nm.

Figura 56 Difratoograma de raios-X do resíduo total da amostra dos minerais leves do horizonte MB8-1 do perfil da Bacia de Caraço (k = caulinita; g = gibbsita). A intensidade dos picos de gibbsita são maiores do que os da caulinita. Não há a presença de quartzo.

Figura 57 Difratoograma de raios-X do resíduo total da amostra dos minerais leves do horizonte TV do perfil da Bacia de Tijuco. (k = caulinita; g = gibbsita; qz = quartzo). As intensidades relativas da reflexão basal do quartzo, 0,334 nm, são maiores do que a da gibbsita e da caulinita, respectivamente.

Figura 58 Difratoograma de raios-X do resíduo total das amostras dos minerais leves dos horizontes BE-1, BE-2, BE-3, BE-4 e BE-5 do perfil Bacia de Boa Esperança. (k = caulinita; g = gibbsita; e qz = quartzo). As intensidades relativas da reflexão basal do quartzo é maior do que a dos outros minerais, em todos os horizontes, com exceção do horizonte BE-5, onde caulinita tem intensidade relativa maior.

Os difratogramas do resíduo total dos minerais leves demonstram que eles são constituídos, principalmente, por caulinita, gibbsita e quartzo, em todos os horizontes das bacias estudadas. O anatásio, em pequenas quantidades, provavelmente trazido como arrasto no ensaio de pipetagem, aparece nos horizontes das Bacias de Caraço e Tijuco. Na Bacia de Boa Esperança apenas o horizonte BE-1 mostrou a presença do mineral gibbsita. É grande a intensidade da reflexão para o quartzo no horizonte TV da Bacia de Tijuco. Não aparece no horizonte MB8-1 pico para a reflexão do quartzo. Há horizontes com muito quartzo, como os da Bacia de Tijuco, e com pouco quartzo, como os da Bacia de Boa Esperança, o que evidencia mudanças no regime de deposição de cada horizonte.

3.1.1.2 Minerais pesados: microscopia óptica

Os minerais pesados ocorrem em pequenas quantidades nas amostras estudadas, com um máximo ao redor de 0,1% da massa inicial nas análises granulométricas. Foram preparadas lâminas petrográficas com o objetivo de identificá-los e buscar informações sobre a gênese dos depósitos pela sua análise.

Os principais minerais pesados identificados por microscopia óptica foram: cianita, turmalina, zirconita, rutilo, estaurolita e sillimanita, respectivamente, em ordem de abundância, estando representados nas figuras 59 a 69.

Figura 59 Turmalina e cianita de MB8-3.

Figura 60 Cianita de BE-5.

Figura 61 Turmalina de MB7-2.

Figura 62 Turmalina de BE-2.

Figura 63 Rutilo de BE-2.

Figura 64 Rutilo de MB8-3.

Figura 65 Zircão de BE-2.

Figura 66 Zircão BE-4.

Figura 67 Zircão MB8-3.

Figura 68 Estauroлита de BE-5.

Figura 69 Sillimanita de BE-2.

Na figura 59 observam-se grãos de turmalina e cianita. Os grãos de turmalina estão bem arredondados e os de cianita indicam figuras de corrosão, o que pode ser observado na figura 60.

As figuras 61 e 62 ilustram dois grãos de turmalinas, bem arredondados, como ocorrem em todos os horizontes dos perfis estudados. Na figura 61 são observadas figuras de inclusões no grão de turmalina.

Nas figuras 63 e 64 pode-se observar que os grãos de rutilo apresentam-se arredondados, havendo também formas mais alongadas.

Nas figuras 65, 66, e 67 observam-se grãos de zircão bem arredondados, ao lado de outros mais angulares. Os prováveis “golfos de corrosão” estão bem visíveis nesses grãos minerais.

Em quantidades menores aparecem os grãos de estauroлита, (Figura 68) e de sillimanita, (Figura 69). Observa-se pouca esfericidade e baixo grau de arredondamento.

Turmalina, rutilo e zircão têm um grau de arredondamento e esfericidade maior do que cianita estauroлита e sillimanita, o que demonstra, provavelmente, serem provenientes de áreas fontes onde foram retrabalhados pela erosão e transporte, indicando mais de um ciclo deposicional para esses minerais pesados (MANGE e MAURER, 1992).

Os minerais pesados, cianita, estauroлита e sillimanita são indicativos da proveniência de minerais de rochas metamórficas, fornecedoras de materiais para os depósitos cenozóicos, nos quais estão incluídas as argilas da região de Uberaba, ou rochas anteriores a estas. Estauroлита e sillimanita estão menos arredondados do que os minerais zirconia, turmalina e rutilo. Em

termos de forma dos grãos, o arredondamento e esfericidade dos primeiros é, aproximadamente, semelhante ao aspecto apresentado pelos grãos de quartzo nos minerais leves.

As argilas são, provavelmente, resultado do retrabalhamento de formações anteriores, portadoras desses minerais, originados de rochas metamórficas, (cianita, estauroлита, sillimanita), ou ígneas (rutilo, zircão, turmalina).

A contagem dos minerais pesados e sua porcentagem média estão representadas nas figuras 70 e 71. As amostras dos horizontes BE-3, BE-4 e BEB-2 apresentaram um número de grãos insuficientes para a contagem dos pesados.

Figura 70 Demonstrativo da distribuição dos minerais pesados nas amostras do presente estudo.

Figura 71 Demonstrativo da porcentagem média da distribuição dos minerais pesados nas amostras do presente estudo.

Média quantitativa das porcentagens e qualitativa dos minerais pesados encontrados nas amostras coletadas na área do presente trabalho, (Figura 71), apresentam grau de correlação com os dados encontrados na formação Bauru por COIMBRA (1976), tais como cianita, estauroлита, rutilo, sillimanita, turmalina e zircão, em áreas situadas nas proximidades dos municípios de Ponte Alta e Uberaba, evidenciando a provável contribuição dessa formação para os sedimentos argilosos cenozóicos.

3.2 ANÁLISES QUÍMICAS

No quadro 12 são apresentados os resultados das análises químicas dos elementos maiores, presentes nas amostras naturais da Bacia de Boa Esperança.

Quadro 12 Resultados das análises químicas dos elementos maiores presentes nos horizontes dos perfis das amostras naturais das amostras da bacia de Boa Esperança (BE, BEA, BEB).

Óxidos	BE-1	BE-2	BE-3	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2	BEB1	BEB-2
SiO ₂	44,02	44,88	44,62	44,61	45,86	42,30	40,55	49,47	45,93
Al ₂ O ₃	37,4	37,74	36,94	38,09	37,46	38,21	39,40	34,57	36,76
MnO	0,004	0,005	0,004	0,003	0,006	0,010	0,007	0,004	0,003
MgO	0,04	<0,01	0,02	0,01	<0,01	0,06	0,07	<0,01	<0,01
CaO	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,10	0,06	<0,01	<0,01
Na ₂ O	0,26	0,28	0,27	0,25	0,27	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
K ₂ O	0,12	0,07	0,12	0,08	0,1	0,1	0,09	0,05	0,04
TiO ₂	2,758	2,41	2,406	2,146	2,044	3,416	3,250	2,144	2,327
P ₂ O ₅	0,031	0,046	0,047	0,052	0,055	0,108	0,062	0,015	0,032
Fe ₂ O ₃	0,57	1,02	1,35	1,01	0,98	0,81	0,78	0,65	1,03
PF	14,91	13,97	13,95	14,12	13,73	15,22	16,11	13,68	14,17
Total	100,14	100,46	99,7	100,4	100,53	100,33	100,4	100,6	100,2

Na área de Boa Esperança os teores mais elevados de TiO₂ estão no horizonte superior, diminuindo, progressivamente, com a profundidade. As amostras dos horizontes BEB-1 e BEB-2 mostram ligeira discrepância. Nas figura 72 e 73 demonstra-se a distribuição do óxido de titânio e o de ferro, as linhas pontilhadas separam os perfis coletados: BE, BEA, BEB.

Figura 72 Variação do teor de óxido de titânio com a profundidade nos horizontes da Bacia de Boa Esperança.

Figura 73 Variação do teor de óxido de ferro com a profundidade nos horizontes da Bacia de Boa Esperança.

Ocorre um aumento e uma diminuição, progressivamente, nos teores de óxido de ferro, (Fe_2O_3), principalmente nos horizontes BE, onde foi realizada uma coleta mais profunda. Os horizontes BEA mostram uma ligeira discordância e o horizontes BEB com comportamento inicial semelhante aos horizontes de BE.

No quadro 13 apresentam-se as análises químicas das amostras naturais da Bacia do Caração e de Tijuco.

Quadro 13 Resultados das análises químicas dos elementos maiores presentes nos horizontes dos perfis nas amostras naturais das amostras das Bacias Caração e Tijuco (MB e T).

Óxidos	MB 8-1	MB 7-1	MB 8-2	MB8-3	MB7-2	T-1	T-2	TV
SiO_2	3,78	1,36	3,84	23,86	36,02	26,43	25,9	25,34
Al_2O_3	58,36	60,76	58,17	47,65	41,73	44,26	44,63	45,28
MnO	0,008	0,009	0,009	0,007	0,007	0,006	0,007	0,006
MgO	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CaO	0,06	0,07	0,07	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Na_2O	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
K_2O	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
TiO_2	5,379	3,916	5,801	3,408	2,623	3,062	3,176	3,156
P_2O_5	0,090	0,097	0,086	0,036	0,037	0,049	0,068	0,045
Fe_2O_3	0,63	0,33	0,83	1,08	1,08	1,56	1,52	2,06
PF	30,97	32,48	30,96	24,04	18,4	23,68	24,14	23,94
Total	99,3	99,06	99,8	100,11	99,96	99,1	99,46	99,85

Na área da Bacia do Caração as amostras MB8-1, MB8-2 e MB8-3, correspondem aos horizontes superiores, onde se observa maiores concentrações de óxido de titânio. Na área de

Tijuco o horizonte T-1 mostra teores de óxido de titânio inferior a T-2, contrariando a tendência geral.

Na figura 74 e 75 apresentam-se as variações no teor de óxido de titânio, TiO_2 e óxido de ferro, Fe_2O_3 , com a profundidade, nas amostras dos horizontes das Bacias do Caraçá e Tijuco. As linhas pontilhadas separam os perfis coletados: MB e T.

Figura 74 Variação do teor de óxido de titânio com a profundidade nos horizontes da Bacia de Caraçá (MB) e Tijuco (T).

Figura 75 Variação no teor de óxido de ferro com a profundidade nos horizontes da bacia de Caraçá (MB) e Tijuco (T).

Teores de óxido de titânio são observados nos horizontes superiores, decrescendo com a profundidade, com exceção em T-1. O óxido de ferro também apresenta maiores ou iguais

concentrações nos horizontes superiores. Maiores teores de ferro em TV podem ser explicados pela sua concentração na forma de óxidos ou hidróxidos, por provável acúmulo nesses horizontes.

No quadro 14 são mostrados os resultados das análises químicas dos nódulos coletados dos montes de argila nos pátios de Boa Esperança e Caraço.

Quadro 14 Resultados das análises químicas dos elementos maiores presentes nos nódulos sem núcleo e com núcleo da Bacia de Boa Esperança.

Óxidos	Nódulo de Boa Esperança	
	sem núcleo	com núcleo
SiO ₂	10,09	9,28
Al ₂ O ₃	57,26	57,63
MnO	0,002	<0,01
MgO	0,22	0,05
CaO	0,10	0,08
Na ₂ O	0,11	<0,01
K ₂ O	0,02	<0,03
TiO ₂	0,932	0,87
P ₂ O ₅	0,062	0,11
Fe ₂ O ₃	0,35	1,10
PF	29,86	30,84
Total	99,01	99,95

Os dois tipos de nódulo apresentam composições químicas praticamente iguais: são altamente aluminosos e portam baixo teor de sílica. Há diferenças significativas no teor de Fe₂O₃. O teor de ferro é três vezes maior no nódulo com núcleo do que naquele sem núcleo.

Neste trabalho, todo o ferro presente nas amostras foi determinado nas análises químicas como Fe₂O₃, óxido férrico.

3.3 ANÁLISES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

3.3.1 Amostras dos horizontes do perfil BE coletado na Bacia Boa Esperança

Os resultados das análises por difração de raios X, obtidos da amostra natural, e da fração argila mostraram a presença do argilomineral do grupo da caulinita (0,7 nm), da gibbsita (0,485 nm), do quartzo (0,334 nm) e do anatásio (0,324 nm).

Pode-se observar (Figuras 76 e 77) que a caulinita está presente em todos os horizontes estudados. A gibbsita aparece apenas no horizonte BE-1, onde ocorre a diminuição do teor de caulinita.

Figura 76 Difratoograma de raios-X das amostras naturais dos perfis BE-1, BE-2, BE-3, BE-4 e BE-5, da Bacia de Boa Esperança (BE). (k = caulinita; g = gibbsita; qz = quartzo; a = anatásio).

Nos difratogramas das amostras naturais (Figura 76) aparece o quartzo em pequenas quantidades e, praticamente, em todos os horizontes. Existe ainda evidência da presença de anatásio.

Os difratogramas da fração argila detectaram a presença apenas do argilomineral caulinita e do mineral gibbsita (Figura 77).

Figura 77 Difratoograma de raios-X das amostras da fração argila dos horizontes dos perfis BE1, BE-2, BE-3, BE-4 e BE-5, da Bacia de Boa Esperança .(k = caulinita; g = gibbsita).

Na figura 78 são apresentados os difratogramas de raios X dos nódulos, com e sem núcleo, coletados nos montes de argila aguardando transporte. Do ponto de vista morfológico, os nódulos sem núcleo apresentam-se mais homogêneos. Já os nódulos com núcleo apresentam em seu interior uma coloração avermelhada forte, cobertos por material de cor clara. Apesar das diferenças morfológicas, esses nódulos não apresentam variação significativa na composição mineralógica, caracterizada pela presença de caulinita, gibbsita e anatásio. Apresentam picos intensos do mineral gibbsita, o que vem corroborar os resultados verificados através das análises químicas, que revelaram alta concentração de alumina. Apesar de sua coloração sugerir a presença de ferro, (hematita, magnetita, goethita), não foi possível detectá-los nos difratogramas apresentados.

Figura 78 Difratoograma de raios-X dos nódulos com núcleo e sem núcleo coletado nos montes de argila, da Bacia de Boa Esperança (BE). (k = caulinita; g = gibbsita; a = anatásio).

3.3.2 Amostras dos horizontes do perfil BEA e BEB coletado em Boa Esperança

As amostras naturais dos horizontes do perfil coletado em Boa Esperança, BEA-1, BEA-2 e BEB-1, mostram a presença de caulinita, gibbsita, e anatásio, (Figura 79).

A intensidade relativa da reflexão basal de gibbsita decresce em relação à profundidade e, no último horizonte, BEB-2, não aparece.

Nas amostras da fração argila dos horizontes do perfil coletado em Boa Esperança, BEA-1, BEA-2 e BEB-1, estão presentes, principalmente, a caulinita e a gibbsita. Todos os horizontes superiores apresentaram teores de gibbsita na composição mineralógica, com exceção da amostra do horizonte BEB-2, (Figura 80).

Figura 79 Difratoograma de raios-X das amostras naturais dos perfis BEA-1, BEA-2, BEB-1 e BEB-2, da Bacia de Boa Esperança (BE). (k = caulinita; g = gibbsita; qz = quartzo; a = anatásio).

Figura 80 Difratoograma de raios-X das amostras da fração argila dos perfis BEA-1, BEA-2, BEB-1 e BEB-2, da Bacia de Boa Esperança. (k = caulinita; g = gibbsita; a = anatásio).

Apresenta-se a síntese para os resultados da difração de raios X das amostras naturais dos horizontes da Bacia de Boa Esperança (Quadro 15).

Quadro 15 Síntese da composição mineralógica das amostras naturais da Bacia de Boa Esperança (BE) obtidas por difração de raios-X.

Horizontes									
Mineralogia	BE-1	BE-2	BE-3	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2	BEB-1	BEB-2
Caulinita	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gibbsita	X	---	---	---	---	X	X	X	---
Quartzo	X	x	x	x	X	X	x	x	x
Anatásio	x	x	x	x	traços	x	x	x	---

X – intensidade mais forte, x – intensidade mais fraca.

Apenas o horizonte BE-1 apresentou o mineral gibbsita, com menores quantidades de caulinita.

Os horizontes BE-1, BEA-1, BEA-2 e BEB e BEB-2 apresentam ocorrência do mineral gibbsita, em BEB-2 ele não ocorre. Os horizontes superiores, BEA-1 e BEB-1, apresentam intensidades maiores para o quartzo, do que os seus respectivos horizontes inferiores BEA-2 e BEB-2. Em BEB-2 as intensidades de reflexão para a caulinita são mais acentuadas do que para os outros horizontes e, as intensidades do pico do quartzo menores. Há indicação da presença de anatásio, principalmente nos horizontes superiores.

No quadro 16 apresenta-se a síntese para os resultados da difração de raios X das amostras da fração argila dos horizontes da Bacia de Boa Esperança .

Quadro 16 Síntese da composição mineralógica da fração argila das amostras Bacia de Boa Esperança obtidas por difração de raios-X.

Horizontes									
Mineralogia	BE-1	BE-2	BE-3	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2	BEB-1	BEB-2
Caulinita	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gibbsita	X	---	---	---	---	X	X	X	---
Anatásio	x	---	x	x	---	x	x	x	x

X – intensidade mais forte, x – intensidade mais fraca.

Verifica-se que o mineral gibbsita aparece na fração argila dos horizontes BE-1, BEA-1 e BEB-1, que são superiores, além de BEA-2, que é um horizonte inferior. Na amostra do horizonte BEB-2 a intensidade para as reflexões de caulinita são acentuadas e não aparece quartzo.

O mineral gibbsita, nos horizontes em que aparece na fração argila, está intimamente misturado ao argilomineral do grupo da caulinita, este, mal cristalizado, em razão da má resolução de algumas reflexões ou pela ausência de algumas.

A presença de gibbsita nos horizontes superiores das frações natural e argila coincide com a redução da quantidade de caulinita. Anatásio está presente nas frações natural e argila.

3.3.3 Amostras dos horizontes do perfil MB coletado em Caraço

São apresentados os resultados da difração de raios X para as amostras naturais dos horizontes MB7-1, MB8-1, MB8-2, MB7-2 e MB8-3, do perfil coletado na Bacia do Caraço (Figura 81).

As amostras naturais dos horizontes do perfil coletado em Caraço MB7-1, MB8-1, MB8-2, apresentaram pouca intensidade nas reflexões para o mineral caulinita, e uma maior intensidade maior para o mineral gibbsita.

Figura 81 Difratoograma de raios-X das amostras naturais dos perfis MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e MB7-2, da Bacia do Caraço. (k = caulinita; g = gibbsita; qz = quartzo; a = anatásio).

As amostras dos horizontes MB7-2 e MB8-3 apresentaram reflexões pouco mais intensas para mineral caulinita. O quartzo aparece em todos os horizontes. Observa-se nas amostras naturais dos horizontes MB8-3, MB8-2 e MB8-1, dos horizontes superiores

intensidades mais fortes para gibbsita, assim como uma maior intensidade das reflexões para o quartzo, em relação aos respectivos horizontes inferiores MB7-2 e MB7-1.

Na Bacia do Caraço as intensidades das reflexões para as amostras MB7-2 e MB8-3, correspondentes ao argilomineral caulinita, estão bem resolvidas e são mais intensas do que para as amostras de outros horizontes. A intensidade da reflexão, para a caulinita, é maior em MB7-2, horizonte inferior, do que em MB8-3, horizonte superior.

Na figura 82 são apresentados os difratogramas para as amostras da fração argila dos horizontes de Caraço.

Figura 82 Difratoograma de raios-X das amostras da fração argila dos perfis MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e MB7-2, da Bacia do Caraço. (k = caulinita; g = gibbsita; a = anatásio).

Gibbsita está presente em todos os horizontes, com muita intensidade. Os difratogramas acentuaram as intensidades relativas das reflexões de gibbsita, sendo a presença de caulinita, bem menor. Reflexões para o anatásio aparecem em todos os horizontes das amostras naturais e da fração argila da Bacia do Caraço.

3.3.4 Amostras dos horizontes do perfil T coletado em Tijuco

O ensaio da difração de raios X para as amostras naturais dos horizontes T-1, T-2 e TV, do perfil coletado em Tijuco estão representados na figura 83.

Os difratogramas apresentam reflexões para argilomineral caulinita, gibbsita, quartzo, anatásio. As reflexões relativas para a caulinita são pouco intensas. A reflexão para o mineral gibbsita e quartzo são mais intensas nos horizontes superiores T-1 e T2. Há reflexões para o mineral anatásio bem definidas nos dois primeiros horizontes

Figura 83 Difratoograma de raios-X das amostras naturais dos perfis T-1, T-2 e TV, da Bacia de Tijuco. (k = caulinita; g = gibbsita; qz = quartzo; a = anatásio).

Conforme demonstrado na figura 84, as amostras da fração argila dos horizontes do perfil coletado na Bacia de Tijuco apresentam reflexões para o argilomineral caulinita, gibbsita e anatásio. As reflexões relativas para a gibbsita são mais intensas do que para argilomineral do grupo da caulinita.

Figura 84 Difratoograma de raios-X das amostras da fração argila dos perfis de T-1, T-2 e TV, da Bacia de Tijuco. (k = caulinita; g = gibbsita; a = anatásio).

No quadro 17 apresenta-se a síntese para a composição mineralógica das amostras naturais de Caraço e Tijuco.

Quadro 17 Síntese da composição mineralógica das amostras naturais das Bacias de Caraço (MB) e Tijuco (T) obtidas por difração de raios-X.

Mineralogia	MB8-1	MB7-1	MB8-2	MB8-3	MB7-2	T-1	T-2	TV
Caulinita	x	x	x	x	X	x	x	x
Gibbsita	X	X	X	X	x	X	X	X
Quartzo	X	X	X	X	X	X	X	x
Anatásio	x	x	x	x	x	x	x	x

X – intensidade mais forte, x – intensidade mais fraca.

No quadro 18 apresenta-se a síntese para os resultados da difração de raios X das amostras da fração argila dos horizontes da Bacia de Caraço e Tijuco.

Quadro 18 Síntese da composição mineralógica das amostras da fração argila das Bacias de Caraço (MB) e Tijuco (T) obtidas por difração de raios-X.

Mineralogia	MB8-1	MB7-1	MB8-2	MB8-3	MB7-2	T-1	T-2	TV
Caulinita	x	x	x	x	X	x	x	x
Gibbsita	X	X	X	X	x	X	X	X
Anatásio	x	x	x	x	x	x	x	x

X – intensidade mais forte, x – intensidade mais fraca

3.4 ANÁLISES TÉRMICAS

Foram realizadas análises térmicas, diferencial e termogravimétrica, das amostras naturais e da fração argila, com o objetivo de complementar a caracterização dos minerais presentes nas amostras e, em particular, levantar dados da composição mineralógica.

3.4.1 Análises térmicas diferencial e termogravimétricas das amostras naturais

São apresentadas nas figuras 85 a 94 os diagramas de análise térmica diferencial e gravimétrica, correspondentes às amostras naturais dos horizontes da Bacia de Boa Esperança

Figura 85 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-1.

Figura 86 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-2.

Figura 87 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-3.

Figura 88 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-4.

Figura 89 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BE-5.

Figura 90 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do nódulo sem núcleo.

Figura 91 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEA-1.

Figura 92 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEA-2.

Figura 93 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEB-1.

Figura 94 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte BEB-2.

No quadro 19 são apresentados os resultados obtidos nas amostras naturais de BE, BEA e BEB-1, da Bacia de Boa Esperança.

Quadro 19 Síntese das reações térmicas observadas nas amostras naturais dos horizontes de BEA e BEB-1, da Bacia de Boa Esperança.

Horizonte	Perda de hidroxila Gibbsita °C	Água combinada gibbsita	Perda hidroxila Caulinita °C	Mulitização		Perda massa %
				Início °C	Fim °C	
BE-1	319	2,52%	485	985	1281	18,67
BE-2	--	0	492	978	1287	14,19
BE-3	--	0	490	975	1286	17,15
BE-4	--	0	499	985	1287	14,80
BE-5	--	0	491	985	1283	14,53
Nódulo	320	29,25%	--	979	1284	36,14
BEA-1	300	5%	471	986	---	17,13
BEA-2	320	2,46	475	986	---	14,79
BEB-1	320	0,5%	490	975	---	14,00
BEB-2	--	0	500	975	---	13,85

Os dados da análise térmica diferencial das amostras dos perfis coletados na bacia de Boa Esperança mostram a presença do argilomineral caulinita (Figuras 85 a 94). As amostras BE-1, BEA1, BEB-1, (amostras dos horizontes superiores) e BEA-2 (do horizonte inferior), apresentam gibbsita (Figuras 85, 91, 92 e 93). A presença de pequenas quantidades de gibbsita nas amostras desta bacia não interfere na presença dos picos de caulinita, (Quadro 19). O nódulo sem núcleo apresentou grande perda de água correspondente ao mineral gibbsita (Figura 89).

São apresentadas, nas figuras 95 a 102, as análises térmica diferencial e gravimétrica correspondentes às amostras naturais dos horizontes da Bacia de Caraço (MB) e Tijuco (T).

Figura 95 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB8-1.

Figura 96 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB7-1.

Figura 97 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB8- 2 .

Figura 98 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB8-3.

Figura 99 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte MB7-2.

Figura 100 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte T-1.

Figura 101 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte T-2.

Figura 102 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra natural do horizonte TV.

Mudanças no “software” do equipamento de análise térmica, durante a realização dos trabalhos, possibilitaram ensaios até a temperatura de 1100°C para as amostras representadas na figuras de 95 a 102.

No quadro 20 apresenta-se a síntese dos resultados obtidos da análise térmica, diferencial e gravimétrica, nos horizontes do perfil da Bacia de Caração.

Quadro 20 Síntese das reações térmicas observadas nas amostras naturais dos horizontes MB de Caração.

Horizonte	Perda hidroxila Gibbsita °C	Água combinada Gibbsita %	Perda hidroxila Caulinita °C	Início formação mulita	Perda massa %
MB8-1	320	24,00	--	--	29,00
MB7-1	310	25,75	--	--	31,25
MB8-2	320	22,50	--	--	28,00
MB8-3	310	16,25	--	975	22,70
MB7-2	310	5,75	490	980	16,00

As amostras da Bacia de Caração (MB) apresentaram a presença do argilomineral caulinita e a gibbsita, pela análise térmica diferencial. A quantidade de gibbsita nos horizontes superiores é maior do que nos horizontes inferiores, com pequena diferença nas amostras MB8-1 e MB7-1, fato aqui evidenciado. Maiores teores nas amostras que possuem gibbsita resultam no desaparecimento ou pequena manifestação das transformações térmicas do argilomineral da caulinita (Quadro 20).

No quadro 21 apresenta-se a síntese dos resultados obtidos da análise térmica diferencial e gravimétrica, nos horizontes (T) do perfil da Bacia de Tijuco.

Quadro 21 Síntese das reações térmicas observadas nas amostras naturais dos horizontes da Bacia de Tijuco.

Horizonte	Perda hidroxila Gibbsita °C	Águacombinada Gibbsita	Perda hidroxila Caulinita °C	Início formação mulita	Perda massa %
T-1	310°C	17,2	---	---	26,0
T-2	310°C	15,0	560°C	980°C	23,0
TV	310°C	11,7	---	---	17,4

As amostras da Bacia de Tijuco (T) apresentaram, frente ao ensaio de análise térmica diferencial, presença de gibbsita. A quantidade de gibbsita no horizonte superior, (T-1), é maior do que nos horizontes inferiores, (T-2 e TV). As amostras das figuras 100 e 102 não denotam a presença de caulinita.

Das amostras naturais estudadas ficou bem caracterizado, nos horizontes superiores, a presença do mineral gibbsita. Nas amostras inferiores, como as de Boa Esperança, não apareceu gibbsita.

Nas amostras onde a quantidade de gibbsita foi muito grande, a caulinita teve sua intensidade diminuída, ou não aparece, como nos horizontes de Tijuco e Caraço.

Os dados obtidos através da análise térmica gravimétrica informaram, sobre as quantidades, em porcentagem, presentes de gibbsita nas amostras, assim como as temperaturas de ocorrência da perda de água da estrutura. Esses dados confirmaram os obtidos para a composição mineralogia das amostras naturais pela difração de raios X.

3.4.2 Análises térmicas diferencial e termogravimétricas da fração argila

São apresentadas, nas figuras 103 a 111, as análises térmicas diferencial e gravimétrica; correspondentes à fração argila das amostras dos horizontes da Bacia de Boa Esperança, (BE, BEA e BEB).

Figura 103 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-1.

Figura 104 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-2.

Figura 105 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-3.

Figura 106 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-4.

Figura 107 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BE-5.

Figura 108 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEA-1.

Figura 109 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEA-2.

Figura 110 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEB-1.

Figura 111 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte BEB-2.

Pela análise dos gráficos da análise térmica diferencial observa-se, nas amostras da fração argila dos horizontes BE-1, BEA-1, BEA-2 e BEB-1 da Bacia de Boa Esperança, a presença do mineral gibbsita, (Figuras 103, 108, 109 e 110). Nas amostras dos horizontes BE-2, (Figura 104), BE-3, (Figura 105), BE-4, (Figura 106), BE-5 (Figura 107) e BEB-2, (Figura 111), foi detectada a presença, apenas, do argilomineral caulinita.

No quadro 22 apresentam-se os resultados obtidos para as amostras da fração argila dos horizontes BE, BEA e BEB da Bacia Boa Esperança.

Quadro 22 Síntese do comportamento térmico das amostras do horizonte BE, BEA e BEB da Bacia de Boa Esperança.

Reação térmica em °C Horizonte	Perda de hidroxila Gibbsita	Água combinada Gibbsita %	Perda hidroxila Caulinita	Formação de mulita		Perda massa total
				Início	Fim	
BE-1	319	4,18	480	980	1280	20,80
BE-2	--	0,0	490	977	1280	17,79
BE-3	--	0,0	488	973	1280	18,60
BE-4	--	0,0	495	975	1280	18,25
BE-5	--	0,0	493	975	1280	18,30
BEA-1	320	3,90	540	975	---	19,00
BEA-2	318	2,60	540	975	---	17,30
BEB-1	320	0,6%	500	982	---	16,10
BEB-2	--	0,0	480	980	---	14,60

As amostras da fração argila são, basicamente, constituídas por gibbsita e pelo argilomineral caulinita, o que ficou confirmado pela difração de raios X (Figuras 77 e 80).

Quadro 23 Comparativo entre os dados das análises diferencial e termogravimétrica das amostras naturais e da fração argila da Bacia de Boa Esperança.

Horizonte	Amostras naturais		Amostras fração argila	
	Água combinada Gibbsita %	Perda de Massa %	Água combinada Gibbsita %	Perda de Massa %
BE-1	2,52	18,67	4,18	20,80
BE-2	0	14,19	0,0	17,79
BE-3	0	17,15	0,0	18,60
BE-4	0	14,80	0,0	18,25
BE-5	0	14,53	0,0	18,30
BEA-1	5	17,13	3,90	19,00
BEA-2	2,46	14,79	2,60	17,30
BEB-1	0,5	14,00	0,6	16,10
BEB-2	0	13,85	0,0	14,60

São apresentadas nas figuras 112 a 116 as análises térmicas, diferencial e gravimétrica correspondentes à fração argila das amostras dos horizontes da Bacia do Caraço (MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e MB72).

Figura 112 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB8-1.

Figura 113 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB7-1.

Figura 114 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB8-2.

Figura 115 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB8-3.

Figura 116 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte MB7-2.

As amostras da fração argila dos horizontes MB8-1, MB7-1 e MB8-2, (Figuras 112, 113 e 114) apresentaram, apenas, a presença do mineral gibbsita. Não apresentaram comportamento térmico do argilomineral caulinita, provavelmente devido a sua pequena quantidade e pela forte presença de gibbsita. Presença de caulinita foi verificada nos ensaios térmicos de MB8-3, (Figura 115) e MB7-2, (Figura 116).

No quadro 24 apresenta-se a síntese dos resultados obtidos para as amostras da fração argila dos horizontes MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3, MB7-2 da Bacia do Caraço.

Quadro 24 Síntese das reações térmicas observadas nas amostras da fração argila dos horizontes MB da Bacia do Caraço.

Reação térmica em °C Horizonte	Perda hidroxila Gibbsita °C	Água combinada Gibbsita %	Perda hidroxila Caulinita °C	Início formação mulita	Perda massa %
MB8-1	320°C	25,65	--	--	33,5
MB7-1	315°C	25,75	--	--	33,00
MB8-2	320°C	24,6	--	--	32,75
MB8-3	280°C	17,2	480°C	975°C	27,7
MB7-2	280°C	8,9	500°C	980°C	20,28

São apresentados nas figuras 117 a 119 as análises térmicas, diferencial e gravimétrica, correspondentes à fração argila das amostras dos horizontes T-1, T-2 e TV da Bacia de Tijuco.

Figura 117 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte T-1.

Figura 118 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte T-2.

Figura 119 Análise térmica diferencial e gravimétrica da amostra da fração argila do horizonte TV.

No quadro 25 apresenta-se a síntese dos resultados obtidos da análise térmica, diferencial e gravimétrica, da fração argila dos horizontes do perfil da Bacia de Tijuco(T).

Quadro 25 Síntese das reações térmicas observadas nas amostras da fração argila dos horizontes T da Bacia de Tijuco.

Reação térmica em °C Horizonte	Perda hidroxila Gibbsita °C	Água combinada Gibbsita %	Perda hidroxila Caulinita °C	Início formação mulita	Perda massa %
T-1	275°C	18,6	---	---	29,8
T-2	275°C	19,5	---	977°C	30,0
TV	275°C	18,8	---	979°C	29,0

Nas amostras do horizonte de Tijuco o mineral gibbsita aparece nos três horizontes. Sua intensidade é menor em TV, horizonte inferior. Mantém a tendência geral de estar presente, mais intensamente nos horizontes superiores. A presença de picos térmicos correspondentes ao argilomineral caulinita estão ausentes, ou aparecem com pequenas intensidades.

Nos quadros 23, 26 e 27 demonstra-se que na fração argila os horizontes estudados apresentam-se com maiores teores de gibbsita e argilomineral caulinita.

Quadro 26 Comparativo entre os dados das análises térmicas diferencial e gravimétrica das amostras naturais e da fração argila da Bacia de Caraço.

Horizonte	Amostras naturais		Amostra da fração argila	
	Água combinada Gibbsita %	Perda massa %	Água combinada Gibbsita %	Perda massa %
MB8-1	24,00	29,00	25,65	33,5
MB7-1	25,75	31,25	25,75	33,00
MB8-2	22,5	28,00	24,6	32,75
MB8-3	16,25	22,70	17,2	27,7
MB7-2	5,75	16,00	8,9	20,28

Quadro 27 Comparativo entre os dados das análises diferencial e termogravimétrica das amostras naturais e da fração argila da Bacia de Tijuco.

Horizonte	Amostras naturais		Amostra da fração argila	
	Águacombinada Gibbsita	Perda massa %	Água combinada Gibbsita %	Perda massa %
T-1	17,2	26,0	18,6	29,8
T-2	15,0	23,0	19,5	30,0
TV	11,7	17,4	18,8	29,0

As amostras da fração argila, constituídas apenas por gibbsita e pelo argilomineral caulinita, apresentam quantidades maiores desses dois minerais, como ficou demonstrado nos quadros 23, 26 e 27, em consonância com as informações encontradas nos trabalhos de SOUZA SANTOS (1975), MACKENZIE (1975) e CORRÊA, FERNANDES E KOLE (1983).

As reações de perda de massa das análises gravimétricas, realizadas simultaneamente demonstram: a) maior perda de massa das amostras dos horizontes superiores, natural ou da fração argila, confirmando gibbsita associada ao argilomineral caulinita; b) a confirmação das perdas de massa correspondentes às reações de gibbsita e do argilomineral do grupo da caulinita; c) que gibbsita ocorre finamente dividida na fração argila.

Os dados das análises térmicas, diferencial e gravimétrica dos horizontes das amostras das bacias estudadas, são convergentes com os resultados da difração de raios X.

3.5 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA CALCULADA DOS PERFIS

A partir dos dados das análises químicas dos horizontes coletados, da interpretação dos difratogramas e das análises termogravimétricas e diferenciais, foi possível estimar-se a composição mineralógica dos materiais estudados, através do calculo normativo.

O teor de gibbsita é obtido a partir dos dados da ATG. Inicialmente é determinado o teor de Al_2O_3 contido, utilizando-se o teor de perda de peso referente à água ligada à gibbsita e a relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3 / 3\text{H}_2\text{O}$, ou seja, $\% \text{Al}_2\text{O}_3 = \% \text{Perda H}_2\text{O} \times \text{Relação molecular (1,89)}$. A quantidade de gibbsita é dada pela soma do teor de perda de peso ($3\text{H}_2\text{O}$) e do teor de Al_2O_3 . A partir daí, calcula-se os demais minerais identificados pela difração de raios X.

Para a amostra do horizonte BE-1 de Boa Esperança, com os dados da análise química, (Quadro 12); da difração de raios X, (Figura 76) e da ATG (Figura 85), que mediu o teor de água combinada com alumina para formar gibbsita, tem-se que:

$$\% \text{ Al}_2\text{O}_3 = 2,52 \% (\text{Perda H}_2\text{O}) \times 1,89 (\text{Al}_2\text{O}_3 / 3\text{H}_2\text{O}) = 4,76 \%$$

$$\% \text{ gibbsita} = 2,52 + 4,76 = 7,28 \%$$

No quadro 28 demonstra-se o cálculo para a composição mineralógica da amostra do perfil BE-1 de Boa Esperança.

Para o cálculo dos outros minerais presentes faz-se a dedução do teor de Al_2O_3 da gibbsita, do total determinado na análise química; o restante de Al_2O_3 é associado à SiO_2 para determinar o teor da caulinita. A sobra de SiO_2 é computada como quartzo. Considerou-se todo TiO_2 , óxido de titânio, como anatásio, assim como todo o Fe_2O_3 , óxido férrico, como hematita. Este mineral não foi detectado pela difração de raios X, apenas pelas análises químicas e na forma de ferro férrico. De maneira similar foram calculados os demais horizontes do presente estudo, apresentados nos anexo 2, nos quadros 44 a 77.

Quadro 28 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança.

	SiO_2	Al_2O_3	PF	TiO_2	Fe_2O_3	outros	Total
a - Amostra total - % óxidos	44,02	37,40	14,91	2,76	0,57	0,49	100,15
b - Gibbsita - % óxidos	--	4,76	2,52	--	--	--	
c - Excedente óxidos (%)	44,02	32,64	12,39	--	--	--	
a - Massa molecular	60	102	18	--	--		
e = c / d	0,73	0,32	0,69				
f – Caulinita – proporção molecular	0,64	0,32	0,64				
g – Excedente óxidos	0,093	0	0,048				
h –Quartzo - proporção molecular	0,093						
i – M.Orgânica - proporção molecular			0,048				
j – Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança, conforme apresentado no quadro 29.

Quadro 29 Estimativa da composição mineralógica para horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR MINERAL	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	--		7,28
Caulinita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	258	0,32	82,56
Quartzo	SiO_2	60	0,093	5,58
Anatásio**	TiO_2	--		2,76
Hematita**	Fe_2O_3	--		0,57
M. Orgânica		18	0,048	0,86
			Total	99,61

* Obtido pela soma % Al_2O_3 . + % PF ($3\text{H}_2\text{O}$).

** Obtidos diretamente da % dos óxidos e titânio e ferro das análises químicas.

Nos quadros 30 e 31 estão os resultados da composição mineralógica dos horizontes da bacia de Boa Esperança, do Caraçá e do Tijucu.

Quadro 30 Resultados da composição mineralógica, cálculo normativo, das amostras dos horizontes da Bacia de Boa Esperança.

Minerais	BE-1	BE-2	BE-3	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2	BEB-1	BEB-2	(*)
Quartzo	5,58	0,48	1,14	-0,18	1,80	8,46	-0,3	9,96	2,7	7,92
Caulinita	82,5	95,4	93,39	96,23	94,68	72,75	87,72	84,88	92,88	4,64
Anatásio	2,76	2,41	2,40	2,14	2,04	3,41	3,25	2,14	2,32	0,93
Hematita	0,57	1,02	1,35	1,01	0,98	0,81	0,78	0,65	1,03	0,35
Gibbsita	7,2	----	----	----	----	14,44	7,05	1,44	----	84,6
Mat.Org.	0,86	0,64	0,92	0,68	0,50	0,05	1,40	1,33	1,20	-0,05
Total	99,6	100,0	99,2	99,8	100,0	100,0	99,6	100,4	100,1	98,4

(*) Nódulo sem núcleo

Observa-se que gibbsita aparece nos horizontes superiores em teores, respectivamente, do maior para o menor: BEA-1, BE-1, BEA-2, e BEB-1, e não aparece no horizonte BEB-2, da Bacia de Boa Esperança.

Quadro 31 Resultados da composição mineralógica, cálculo normativo, das amostras dos horizontes das bacias do Caraço e Tijuco.

Minerais	MB8-1	MB7-1	MB8-2	MB8-3	MB7-2	TV-1	TV-2	TV
Gibbsita	71,06	74,38	65,0	46,95	16,47	49,69	43,33	33,80
Caulinita	7,99	2,83	8,25	42,82	78,17	29,67	41,02	58,56
Quartzo	0	0	0	3,90	-0,18	12,60	6,78	-1,92
Anatásio	5,37	3,91	5,801	3,40	2,62	3,06	3,17	3,15
Hematita	0,63	0,33	0,83	1,08	1,08	1,56	1,52	2,06
Mat. Orgânica	0,63	0,54	0,77	1,90	1,78	2,34	3,40	4,06
Hidróx. amorfo	13,26	16,69	18,87	-----	-----	-----	-----	-----
Total	98,94	98,68	99,52	100,05	99,94	98,92	99,22	99,71

O teor de gibbsita é maior nos horizontes superiores da Bacia de Caraço e Tijuco, do que na Bacia de Boa Esperança. Os teores calculados evidenciam que, na forma cristalina ou não cristalina, o total de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Gibbsita + amorfo) é maior nos horizontes superiores, MB8-1, MB7-1, MB8-2 da Bacia de Caraço.

Foi possível aplicar os princípios do cálculo normativo para o cálculo da composição mineralógica dos horizontes das três bacias, tomando-se como base inicial a porcentagem de perda ao fogo, correspondente à água combinada na forma de gibbsita. Observou-se que, no cálculo normativo, não foi atingido o balanço de sílica, SiO_2 , nas amostras BE-4, (-0,18); BEA-2, (-0,3); MB7-2, (-0,18) e TV, (-1,92), e de matéria orgânica (perda ao fogo) do nódulo (quadros 30 e 31), apesar das quantidades estarem dentro de uma margem de erro aceitável. Por outro lado, verificou-se um excesso de alumina, depois de realizado o cálculo nas amostras MB8-1 (+13,26), MB7-1 (+16,69) e MB8-2 (+18,87). Não há, na análise química, quantidade de sílica suficiente para se combinar com alumina para compor argilomineral do grupo da caulinita. Tal excesso foi atribuído à presença de alumina não cristalina, como hidróxidos amorfos. LARA (1997) estudou as argilas do platô de Uberaba, propondo que há produtos silicosos e aluminosos, não cristalinos, associados à presença da turfa, entretanto, não foi possível identificá-los, experimentalmente, naquele estudo.

Apesar de serem dois os nódulos considerados, sem e com núcleo, o cálculo médio da composição mineralógica, a partir dos dados da difração de raios X, (figura 79) e ATD, (Figura 90) e das análises químicas (Quadro 14), é praticamente o mesmo. O cálculo da composição mineralógica foi realizado para o nódulo sem núcleo que, diferencialmente, apresenta menor teor de ferro, cerca de três vezes menor do que no nódulo com núcleo.

3.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA POR VARREDURA (MEV)

Foram levadas para a observação ao MEV as amostras da fração argila previamente dispersas em solução de água destilada, secas e recobertas por carbono e ouro.

Na micrografia da amostra do horizonte BE-1, fração argila, da Bacia de Boa Esperança, (Figura 120), pode-se observar a presença de placas de caulinita, raríssimas vezes hexagonais, mais escuras, ao lado de aglomerados mais claros de gibbsita.

Figura 120 Micrografia da amostra da fração argila do horizonte BE-1 da Bacia de Boa Esperança (12.000 vezes de aumento).

Na figura 121 observa-se a micrografia da amostra do horizonte BE-3, fração argila, da bacia de Boa Esperança, algumas placas hexagonais de caulinita, diminutas, menores do que 1 micrometro (μm). Não são observados aglomerados mais claros de gibbsita.

Figura 121 Micrografia da amostra da fração argila do horizonte BE-3 da Bacia de Boa Esperança (12.000 vezes de aumento). A seta indica uma placa de caulinita de perfil hexagonal.

Na micrografia da amostra do horizonte BE-3, da Bacia de Boa Esperança, observa-se que a maior parte das partículas do argilomineral do grupo da caulinita estão mal cristalizadas, algumas lembrando o perfil hexagonal, (Figura 121).

Na figura 122 observa-se a micrografia da amostra do horizonte BEA-1, fração argila, da Bacia de Boa Esperança.

Figura 122 Micrografia da amostra da fração argila do horizonte BEA-1 da Bacia de Boa Esperança (12.000 vezes de aumento).

Na micrografia da amostra do horizonte BEA-1, da Bacia de Boa Esperança, observam-se aglomerados mais claros de gibbsita e partículas do argilomineral caulinita, menores, mostrando, raramente, perfil hexagonal.

Na figura 123 observa-se a micrografia da amostra do horizonte MB8-1, fração argila, da Bacia do Caraço.

Figura 123 Micrografia da amostra da fração argila do horizonte MB8-1 da Bacia de Caraço (12.000 vezes de aumento).

Na amostra do horizonte MB8-1 da Bacia de Caraço, figura 123, há presença de gibbsita e argilomineral do grupo da caulinita, na fração argila. Nesta micrografia podem ser observados tubos e outras formas de gibbsita, nos aglomerados mais claros, e partículas do argilomineral caulinita mal cristalizadas.

Na figura 124 observa-se a micrografia da amostra do horizonte MB7-1, fração argila, da Bacia do Caraço.

Figura 124 Micrografia da amostra da fração argila do horizonte MB7-1 da Bacia do Caraço (12.000 vezes de aumento).

Na imagem observada na micrografia da figura 124, da amostra do horizonte MB7-1 da Bacia de Caraço, predominam formas de um aglomerado de partículas de gibbsita claro. Partículas mais arredondadas, bem menores do que $1\mu\text{m}$, são caulinita.

Na figura 125 observa-se a micrografia da amostra do horizonte T-1, fração argila, da Bacia de Tijuco.

Figura 125 Micrografia da amostra da fração argila do horizonte T-1 da Bacia de Tijuco (12.000 vezes de aumento).

Na amostra do horizonte T-1 da Bacia do Tijuco, figura 125, aparecem dois grandes aglomerados de gibbsita, mais claros, e muito pouco argilomineral caulinita.

Das observações das micrografias conclui-se que, em muitos horizontes o mineral que ocorre em maior quantidade é a gibbsita, constituindo aglomerados de partículas esbranquiçadas, algumas vezes com formas tubulares. A caulinita, em geral menor do que 1µm, aparecendo como pequenas placas, ocasionalmente com perfil hexagonal, de coloração mais clara. Os resultados obtidos pelo MEV convalidam os dados da DRX e análises térmicas, no que se refere à composição mineralógica.

3.7 ENSAIOS CERÂMICOS

3.7.1 Ensaios cerâmicos preliminares

Para os ensaios cerâmicos preliminares, que correspondem à prensagem, queima a 1450°C e medição dos característicos, módulo de ruptura à flexão, absorção de água e porosidade aparente, as amostras naturais são quarteadas e passadas em peneira U.S.S. #80, (abertura 0,44 mm). Adiciona-se às amostras, por aspersão, o álcool polivinílico (PVA), a partir de uma solução com concentração de 4%, em água destilada. As amostras são passadas novamente em peneira USS #50, (abertura 0,15 mm), com o objetivo de distribuir melhor o plastificante e granulá-las. A partir desse pó são conformados corpos de prova, aplicando-se uma pressão estática de 24,5 mPa, (250 Kgf/cm²), ao granulado, pressão esta usualmente utilizada pelos fabricantes de materiais refratários. Após a prensagem, os corpos de prova adquirem as dimensões 130 x 40 x 5 mm, sendo queimados até a temperatura de 1450°C, permanecendo por cerca de uma hora neste patamar, condições usuais para o ensaio de argilas para a produção de refratários.

Foram conformados 12 corpos de prova para cada amostra. Seis destinados ao ensaio de ruptura a 110°C e, outros seis, destinados para queima a 1450°C. Os corpos de prova prensados foram quebrados em máquina universal Emic, modelo M100, para verificar o seu módulo de ruptura à flexão a 110°C e a 1450°C. Foram considerados os quatro melhores resultados, ou os mais próximos. Apresenta-se o esquema do dispositivo para o módulo de ruptura à flexão, (Figura 126).

Figura 126 Esquema do dispositivo para o ensaio do módulo de ruptura à flexão para corpos de prova confeccionados com as argilas refratárias. Adaptado conforme GRIMSHAW(1971).

Com as medidas de altura (h), largura (b) e comprimento entre os pontos de apoio (L), mais a carga (P) aplicada ao corpo de prova, o módulo de ruptura à flexão é calculado pela fórmula:

$$MRF = \frac{3PL}{2bh^2}$$

MRF = Módulo de ruptura à flexão
P = carga atingida no momento da ruptura.
L = distância entre os apoios do corpo de prova.
b = largura do corpo de prova.
h = altura do corpo de prova.

Nos quadros 32 e 33 estão os resultados do módulo de ruptura à flexão a 110°C, em mPa das amostras selecionadas, considerando um grupo de materiais menos aluminosos e, outro, mais aluminosos.

Quadro 32 Resultados da tensão ou módulo de ruptura à flexão a 110°C dos corpos de prova das amostras BE-1, BE-2, BE-4, BE-5, BEA-1 E BEA-2 da Bacia de Boa Esperança em mPa.

BE-1	BE-2	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2
4,9	1,84	1,26	1,98	2,86	2,09
5,28	1,92	1,29	2,14	2,98	2,54
5,53	1,95	1,52	2,29	3,28	2,67
5,67	2,01	1,58	2,35	3,55	3,24

Quadro 33 Resultados da tensão ou módulo de ruptura à flexão de prova após secagem a 110°C das amostras T-1, TV, MB8-1, MB7-1, MB8-2, MB8-3 e M7-2 das Bacia de Tijuco e Caraço, em megaPascal (mPa).

T1	TV	MB8-1	MB7-1	MB8-2	MB8-3	MB7-2
2,09	2,04	1,56	2,45	1,16	1,99	1,54
2,13	2,23	1,78	2,67	1,27	2,07	1,62
2,66	2,54	1,96	2,66	1,32	2,53	1,77
2,69	2,67	2,01	2,89	1,34	2,96	1,98

No gráfico da figura 127 está a comparação da faixa de variação da tensão ou módulo de ruptura à flexão a 110°C, das argilas refratárias padrão, proposta por SOUZA SANTOS (1975), versus os dados das amostras estudadas, derivados dos quadros 32 e 33.

Figura 127 Gráfico da faixa da variação do módulo de ruptura à flexão das argilas refratárias padrão, secas a 110°C, conforme SOUZA SANTOS (1975), comparadas com a faixa de variação das amostras do presente estudo.

As amostras se apresentaram dentro da faixa proposta para o módulo de ruptura à flexão a 110°C, não houve dificuldade em prensar as amostras provenientes das Bacias de Boa Esperança, Caraço e Tijuco.

Em seguida os corpos de prova foram queimados até a temperatura de 1450°C. Nas figuras 128 e 129 apresenta-se o aspecto geral dos corpos de prova, queimados após 1450°C.

Figura 128 Aspecto dos corpos de prova dos horizontes menos aluminosos provenientes da Bacia de Boa Esperança.

Figura 129 Corpos de prova queimados a 1450°C das argilas aluminosas provenientes das Bacias do Tijuco e Caraço.

Após a queima foram medidos, nos mesmos corpos de prova: a) módulo de ruptura à flexão; b) absorção de água; c) porosidade aparente. Nem todas as amostras puderam ser ensaiadas devido às condições apresentadas, principalmente, pelos corpos de prova das amostras mais aluminosas após queima a 1450°C.

Os corpos de prova das amostras das Bacias do Caraço e Tijuco, após queima a 1450°C, apresentaram-se com cores creme-amareladas com trincas, rachaduras, fissuras e empenamentos, dado o elevado teor de gibbsita que contêm, (Figura 129). Devido à baixa resistência mecânica, não puderam ser ensaiados. Essas argilas podem ser indicadas para a produção de chamote para materiais refratários.

Nas amostras menos aluminosas provenientes da Bacia da Boa Esperança (Figura 128), apesar de algum empenamento, foi possível medir os característicos cerâmicos representados no quadro 34.

Quadro 34 Resultados da tensão ou módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova após queima a 1450°C das amostras provenientes da Bacia de Boa Esperança, em mPa.

BE-1	BE-2	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2
24,75	14,44	9,62	3,61	33,71	8,97
25,99	20,17	10,78	7,04	41,86	10,12
28,75	20,58	12,34	7,92	43,13	14,56
29,86	34,34	14,01	8,04	48,45	16,66

Na figura 130 apresenta-se o gráfico correspondente aos corpos de prova das amostras menos aluminosas provenientes da Bacia de Boa Esperança, que puderam ser ensaiados.

Figura 130 Gráfico da faixa da variação do módulo de ruptura à flexão das argilas refratárias padrão, queimadas a 1450°C, conforme SOUZA SANTOS (1975), comparadas com a faixa de variação das amostras da Bacia de Boa Esperança.

Os corpos de prova das amostras dos horizontes de Boa Esperança, queimados a 1450°C, apresentaram resultados que se enquadram naqueles propostos, por SOUZA SANTOS (1975), para argilas plástico-refratárias, (Figura 130), que poderiam ser utilizadas como ligantes de chamote para a produção de materiais refratários prensados.

Mediu-se a absorção de água nas amostras de Boa Esperança. A absorção de água é obtida pesando-se o corpo de prova, ou parte dele, depois da quebra no ensaio da ruptura à flexão, a úmido e a seco, (Quadro 35). A fórmula para o cálculo da absorção de água nos corpos de prova, após 1450°C, é a seguinte:

$$AA (\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

AA = absorção de água (%)
 Mu = massa úmida (g)
 Ms = massa seca (g)

Quadro 35 Resultados da absorção de água dos corpos de prova, após queima a 1450°C, das amostras da Bacia de Boa Esperança, em porcentagem (%).

BE-1	BE-2	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2
2,88	0,89	0,71	3,33	3,05	1,22
3,92	0,9	0,99	3,84	3,16	1,45
4,18	0,94	1,05	4,37	3,36	1,46
4,59	1,01	1,55	4,65	3,81	1,65

Na figura 131 apresentam-se os dados das amostras frente ao ensaio da absorção de água, em porcentagem, após queima a 1450°C, nas amostras da Bacia de Boa Esperança.

Figura 131 Gráfico da faixa da variação da absorção de água das argilas refratárias padrão, queimadas a 1450°C, conforme SOUZA SANTOS (1975), comparadas com a faixa de variação das amostras da Bacia de Boa Esperança.

Observa-se que os resultados obtidos para as amostras de Boa Esperança são compatíveis com a faixa de variação da absorção de água das argilas refratárias, queimadas a 1450°C, propostas por SOUZA SANTOS (1975) (Figura 131).

A porosidade aparente, uma medida de poros abertos que o corpo de prova possui, é dada pela fórmula:

$$PA(\%) = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \times 100$$

Mu = massa úmida (g)
 Ms = massa seca (g)
 Mi = massa imersa (g)

Foi medida a porosidade aparente nos corpos de prova correspondentes às amostras de Boa Esperança. A porosidade aparente é obtida pesando-se a massa do corpo de prova, a úmido, a seco, e imerso, em geral, depois da quebra da ruptura à flexão, (Quadro 36).

Quadro 36 Resultados da absorção de água dos corpos de prova, após queima a 1450°C das amostras de Boa Esperança, em porcentagem (%).

BE-1	BE-2	BE-4	BE-5	BEA-1	BEA-2
7,35	2,38	1,92	9,36	7,97	3,14
10,15	2,41	2,81	10,18	8,18	3,25
10,45	2,52	2,81	10,78	8,77	3,75
11,26	2,68	4,18	11,74	9,79	3,88

Na figura 132 apresentam-se os dados da faixa de variação das amostras frente ao ensaio da porosidade aparentes, após queima a 1450°C, nas amostras da bacia de Boa Esperança.

Figura 132 Gráfico da faixa da variação da porosidade aparente das argilas refratárias padrão, queimadas a 1450°C, conforme SOUZA SANTOS (1975), comparadas com a faixa de variação das amostras de Boa Esperança.

Observa-se que os resultados obtidos para as amostras de Boa Esperança são compatíveis com a faixa de variação da porosidade aparente das argila refratárias queimadas, a 1450°C, propostas por SOUZA SANTOS (1975), (Figura 132).

No quadro 37 apresentam-se os resultados da absorção de água, porosidade aparente, em porcentagem, e do módulo de ruptura à flexão (mPa), após queima a 1450°C, das argilas de Boa Esperança.

Quadro 37 Síntese dos resultados comparativos da absorção de água, porosidade aparente, medidos em porcentagem, e módulo de ruptura à flexão medidos em mPa, das amostras de Boa Esperança, dos corpos de prova queimados a 1450°C.

BE-1			BE-2			BE-4		
AA	PA	MRF	AA	PA	MRF	AA	PA	MRF
%	%	mPa	%	%	mPa	%	%	mPa
2,88	7,35	24,8	0,84	2,38	14,4	0,71	1,92	9,62
3,92	10,2	26	0,9	2,41	20,2	0,99	2,81	10,8
4,18	10,5	28,8	0,94	2,52	20,6	1,05	2,81	12,3
4,59	11,3	29,9	1,01	2,68	34,3	1,55	4,18	14
3,89	9,8	27,3	0,92	2,5	22,4	1,07	2,93	11,7

BE-5			BEA-1			BEA-2		
AA	PA	MRF	AA	PA	MRF	AA	PA	MRF
%	%	mPa	%	%	mPa	%	%	mPa
3,33	9,36	3,61	3,05	7,97	33,7	1,22	3,88	16,7
3,84	10,2	7,92	3,16	8,18	41,9	1,44	3,75	14,6
4,37	10,8	7,04	3,36	8,77	43,1	1,46	3,25	10,1
4,65	11,7	8,04	3,81	9,79	48,5	1,65	3,14	8,97
4,04	10,5	6,65	3,34	8,67	41,8	1,44	3,5	12,6

Em negrito, média dos quatro valores obtidos para cada medição.

Com o objetivo de melhor visualizar os resultados da absorção de água, porosidade aparente e módulo de ruptura à flexão, os dados foram plotados no gráfico da figura 133.

Figura 133 Valores da faixa de variação da absorção de água, porosidade aparente e módulo de ruptura à flexão das amostras da Bacia de Boa Esperança.

Menores valores para a absorção de água estão associados a menores valores para a porosidade aparente. A absorção de água e a porosidade aparente indicam a porcentagem dos poros abertos nas amostras. Com exceção do comportamento dos corpos de prova da amostra BE-5, os resultados referentes ao módulo de ruptura à flexão estão, aproximadamente compatíveis com os resultados de absorção de água e porosidade aparente.

3.7.2 Montagem da composição química em base calcinada

O teor de alumina obtido pelas análises químicas, em base calcinada, classifica as amostras da Bacia de Boa Esperança como sílico-aluminosas, conforme norma NBR 10.239 (ABNT, 1996) (Quadro 1).

No quadro 38 estão os dados da análise química das amostras naturais da bacia de Boa Esperança, com os valores em óxidos recalculados, sem a porcentagem da perda ao fogo.

Quadro 38 Cálculo da base calcinada (b.c.) das argilas da Bacia de Boa Esperança.

Óxidos	BE1	BE2	BE3	BE4	BE5	BEA1	BEA2	BEB1	BEB2
SiO ₂	51,64	51,89	51,99	51,7	52,83	49,69	48,119	56,92	53,33
Al ₂ O ₃	43,87	43,63	43,04	44,14	43,15	44,89	46,75	39,78	42,68
MnO	0,004	0,005	0,004	0,003	0,007	0,011	0,008	0,004	0,003
MgO	0,046	0,011	0,023	0,011	0,001	0,07	0,083	0,115	0,011
CaO	0,035	0,034	0,046	0,034	0,034	0,117	0,071	0,115	0,011
Na ₂ O	0,305	0,323	0,314	0,289	0,311	0,023	0,023	0,023	0,023
K ₂ O	0,14	0,08	0,139	0,092	0,115	0,117	0,106	0,057	0,046
TiO ₂	3,235	2,786	2,803	2,487	2,354	4,013	3,85	2,46	2,7
P ₂ O ₅	0,036	0,053	0,054	0,06	0,063	0,126	0,073	0,017	0,037
Fe ₂ O ₃	0,668	1,179	1,573	1,17	1,128	0,951	0,925	0,747	1,19
B.C.	99,979	99,991	99,986	99,986	99,993	100,01	100,01	100,24	100,03
A. Quim.	100,14	100,45	99,76	100,4	100,53	100,33	100,38	100,58	100,29

Resta evidente que esses materiais podem ser utilizados como matérias primas para a produção de chamotes refratários sílico-aluminosos, classe SA-1. A amostra BEA-2 é a única que pode ser classificada como aluminosa, devido ao seu teor de alumina, 46,75%, maior do que 45,99%, neste lote das amostras da Bacia de Boa Esperança. Exceção é feita à argila BEB-1 que apresenta teor de alumina igual a 39,78%, classificando-se, dessa forma, como matéria prima para a produção de refratários na classe SA-2 (ABNT,1996).

O teor de alumina obtido pelas análises químicas, em base calcinada, das amostras de Caraço e Tijuco, as classifica como altamente aluminosas, haja vista seus teores excederam 46%. Pelos resultados obtidos nos ensaios cerâmicos, o seu uso é recomendado na produção de chamote refratário, não sendo possível sua utilização como materiais prensados, considerando que o aparecimento de trincas e fissuras, após a queima, inviabiliza este tipo de processamento.

No quadro 39 estão os dados da análise química das amostras naturais das Bacias de Caraço e Tijuco, com os valores em óxidos recalculados, em base calcinada, sem considerar a porcentagem da perda ao fogo.

Quadro 39 Cálculo da base calcinada (b.c.) das argilas das Bacias de Caraço (MB) e Tijuco (T).

Óxidos	MB 8-1	MB 7-1	MB 8-2	MB - 72	MB - 83	T-1	T-2	TV
SiO ₂	5,53	2,04	5,57	44,18	31,36	35,06	34,38	33,38
Al ₂ O ₃	85,42	91,29	84,51	51,18	62,63	58,71	59,25	59,65
MnO	0,01	0,013	0,013	0,008	0,009	0,008	0,009	0,007
MgO	0,014	0,015	0,014	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013
CaO	0,087	0,105	0,101	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013
Na ₂ O	0,029	0,03	0,029	0,024	0,026	0,026	0,026	0,026
K ₂ O	0,014	0,013	0,029	0,036	0,039	0,026	0,026	0,026
TiO ₂	7,87	5,88	8,42	3,21	4,48	4,06	4,216	4,157
P ₂ O ₅	0,131	0,145	0,124	0,045	0,047	0,065	0,09	0,059
Fe ₂ O ₃	0,92	0,49	1,2	1,32	1,42	2,07	2,018	2,713
b.c.(*)	100,025	100,021	100,01	100,027	100,037	100,051	100,041	100,044

* b.c. – base calcinada.

3.7.3 Cone pirométrico equivalente

O cone pirométrico equivalente corresponde à temperatura na qual a ponta do cone problema toca a base horizontal que o suporta (ABNT, 1995). O cone pirométrico da argila refratária sílico-aluminosa deve ser equivalente, no mínimo, ao comportamento dos refratários sílico-aluminosos da classe SA-4 de exigência mais baixa, (Quadro 1), (ABNT, 1996). Pela definição da ABNT (apud SOUZA SANTOS, 1975) “argila refratária é uma argila que apresenta refratariedade mínima ou cone pirométrico mínimo de CO 15 (1435°C)”. Neste trabalho foram utilizados os cones pirométricos gentilmente cedidos pela BRASCONE S.A., de números 15,16,17,18, padronizados para as temperaturas, respectivamente, de 1431°C, 1473°C, 1485°C e 1506°C. No anexo 1 apresenta-se o catálogo da BRASCONE S.A, com demais informações sobre o método dos cones pirométricos.

As amostras selecionadas para a realização do cone pirométrico privilegiou a representatividade das Bacias de Boa Esperança, Caraço e Tijuco. Todas as amostras tiveram comportamento refratário frente ao ensaio correspondente ao cone pirométrico 17 da Brascone, não se curvando, suportando, no mínimo, temperaturas de 1473°C, podendo ser consideradas, ao menos, refratárias aluminosas.

Na figura 134 apresenta-se o resultado do ensaio do cone pirométrico evidenciando como a ponta dos cones pirométricos tocam a base refratária, ao serem amolecidos pela temperatura.

(a)

(b)

Figuras 134 Resultados do cone pirométrico em (a) para a amostra de Tijuco; em (b) para as amostras TV da Bacia de Tijuco, MB8-2, para a Bacia de Caraço e BE-1 para a Bacia de Boa Esperança.

As amostras provenientes da Bacia de Boa Esperança, pelo mais alto teor em argilomineral caulinita, apresentaram cones pirométricos bem compactos e bem sinterizados. A ponta dos cones, avermelhadas, têm relação com a presença de maiores teores de óxidos hidróxidos de ferro e rutilo. Esfalerentos e trincados, identificam-se, pelas características típicas, aos cones oriundos das amostras ricas em gibbsita. Há perda da água da estrutura cristalina da gibbsita e caulinita e a formação de porosidade, como foi possível observar nas amostras provenientes das Bacias de Caraço e Tijuco.

No quadro 40 apresentam-se considerações sobre o comportamento das amostras frente ao ensaio do cone pirométrico.

Quadro 40 Resultados dos cones pirométricos queimados à temperatura mínima de 1473°C, correspondente ao cone pirométrico Brascone 17.

Amostras	Aspectos observados nos cones pirométricos
BE-1	Cor clara com as pontas dos cones avermelhada
BE-2	Cor clara bem resistente
BE-3	Cor clara bem resistente com a ponta dos cones avermelhada.
MB7-1	Cor clara trincados, esfalarentos
MB8-1	Cor clara trincados, esfalarentos
MB8-2	Cor clara
MB7-2	Esfalarentos, trincados, avermelhados
MB8-3	Esfalarentos, muito trincados – cores claras
T-1	Trincados, avermelhados nas pontas
T-2	Cores claras, trincados
T-V	Pontas avermelhadas, trincados

Depois de queimados, os cones pirométricos das amostras mais aluminosas foram moídos e passados em peneira USS #100, (abertura 0,149 mm), e submetidos ao ensaio da difração de raios X, (Figuras 135 a 140).

Figura 135 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB8-1 da Bacia de Caraço, (m = mulita, o = óxido de alumínio e titânio, qz = quartzo, c = coríndon).

Figura 136 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB7-1 da Bacia de Caraço, (m = mulita, o = óxido de alumínio e titânio, qz = quartzo, c = coríndon).

Figura 137 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB8-2 da Bacia de Caraço, (m = mulita, o = óxido de alumínio e titânio, qz = quartzo, c = coríndon, t = tridimita).

Figura 138 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB8-3 da Bacia de Caraço, (m = mulita, qz = quartzo, c = coríndon, t = tridimita, cr = cristobalita).

Figura 139 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte MB7-2 da Bacia de Caraço, (m = mulita, qz = quartzo, t = tridimita, cr = cristobalita).

Figura 140 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte T-1 da Bacia de Tijuco, (m = mulita, o = óxido de alumínio e titânio, qz = quartzo, t = tridimita, c = coríndon).

Figura 141 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte T-2 da Bacia de Tijuco, (m = mulita, o = óxido de alumínio e titânio, qz = quartzo, cr = cristobalita, c = coríndon).

Figura 142 Gráfico da difração de raios X do cone pirométrico correspondente a amostra do horizonte TV da Bacia de Tijuco, (m = mulita, o = óxido de alumínio e titânio, qz = quartzo, t = tridimita, c = coríndon).

Com o objetivo de identificar as fases formadas e correlacioná-las com a composição mineralógica apresenta-se o quadro 41.

Quadro 41 Minerais ou fases e seus percentuais estimados, identificados por difração de raios X, dos pós provenientes dos materiais queimados na forma de cones pirométricos a 1473°C.

Fase/mineral	MB81	MB71	MB82	MB83	MB72	T-1	T-2	TV
Mulita	20	13,7	23,9	41,7	74,4	54,8	38,5	45,4
Quartzo	7,6	10,6	7,5	15,7	14	14,9	23,6	19,5
Coríndon	58	70,3	54,6	38,7	----	24,1	31,1	29,6
Tridimita	-----	-----	2,3	3,0	8,4	3,1	---	1,5
Cristobalita	----	----	----	1,0	3,1	----	1,8	----
Ôx.alu/ tit *	14,4	5,4	11,8	----	----	3,0	4,9	3,9

(*) Óxido de alumínio e titânio.

Quantidades maiores de coríndon aparecem em MB7-1, MB81, MB8-2, MB8-3, TV, T-2 e T1, indicando que a presença dos altos teores de gibbsita, na forma natural, se alteram para alumina. MB7-2 não mostra quantidades de coríndon, mas apresenta os mais altos teores de mulita, como provável consequência de maiores quantidades no argilomineral caulinita, ou ainda da reação de sílica livre com gibbsita. Nas amostras dos horizontes T-2, TV e T-1, como são mais quartzosas e apresentam teores intermediários de gibbsita, pós queima, os teores de mulita, devido às reações da caulinita e/ou do quartzo com gibbsita, mais as sobras de sílica e alumina, que se transformam em quantidades intermediárias de quartzo alfa e em coríndon, poderiam ser explicações prováveis para o aparecimento dessas fases.

Parte do quartzo permanece como alfa, ou retorna a essa forma, presente em todas as amostras.

Os maiores teores de mulita estão nas argilas MB7-2, T-1, TV, MB8-3, T-2 que trazem na composição gibbsita que, é plausível, reage com sílica da caulinita ou quartzo. Está presente em todas as amostras. Nos horizontes mais aluminosos há preferência por formação de coríndon e a mulitização é baixa, como acontece em MB8-2, MB7-1, MB8-1.

Nos horizontes superiores, MB8-1 e MB8-2, maiores quantidades de óxido titânio, na forma de rutilo ou anatásio, reagiu com alumina da gibbsita ou argilomineral do grupo da caulinita para formar óxido de alumínio e titânio. Aparecem também, nas amostras dos horizontes MB7-1, T-2, TV e T-1, em menor quantidade.

Tridimita aparece nos horizontes MB7-2, T-1, MB8-3, MB8-2, e TV. Cristobalita está presente nos horizontes MB7-2, T-2, e MB8-3, com reflexões que indicam pequenas quantidades.

No quadro 42 apresenta-se o gráfico dos resultados obtidos com a DRX, com o objetivo de permitir melhor visualização da ocorrência e quantidade das fases.

Quadro 42 Fases encontradas nas amostras ensaiadas por DRX e sua porcentagem estimativa.

As fases mulita, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ e coríndon, Al_2O_3 , ocorrem com maiores teores evidenciando as reações entre caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

SOUZA SANTOS, H. et al. (2006), com a finalidade de caracterizar a sequência de fases formadas em duas argilas altamente aluminosas, constituídas por micro cristais de caulinita e gibbsita, estudaram-nas por métodos óptico-eletrônicos. Concluíram que, após queima a 1500°C , mulita é a fase predominante, seguida de alumina alfa, cristobalita e quartzo.

3.7.4 Consumo de defloculante

No ensaio do consumo de defloculante mede-se, continuamente, a viscosidade, pela adição de sucessivas quantidades de silicato de sódio, até um ponto no qual ela não mais

varie. Em seguida pode-se determinar o ponto ótimo de trabalho com a suspensão de argila. A determinação do consumo de defloculante é importante pois, quando a quantidade de sua adição não é suficiente para deflocular a argila, existe maior tendência da suspensão apresentar tixotropia, inviabilizando sua utilização pelo processo de colagem. O silicato de sódio é o defloculante mais utilizado nos processos usuais de produção de suspensões argilosas, (barbotinas), para a manufatura de vários tipos de produtos cerâmicos.

Tixotropia é a transformação isotérmica “sol-gel” reversível. O “gel” é rígido e elástico, que prende todo o líquido nos vazios da estrutura sólido-líquido. O estado “gel” pode ser destruído por agitação, mas se refaz quando o sistema é deixado em repouso, (SOUZA SANTOS, 1975). A tixotropia caracteriza-se por um aumento da viscosidade, em função do tempo de repouso, e pela diminuição da viscosidade, em função da agitação da suspensão, (ORTEGA et al., 1997).

Além de depender de fatores como porcentagem de partículas com diâmetro equivalente menor do que 2 μm , relação água/material sólido, espécie e quantidade do defloculante utilizado, pH e temperatura da suspensão, a presença de hidróxido de alumínio, gibbsita, nas argilas, dificulta sua defloculação, inviabilizando sua utilização pelos processos de colagem ou suspensão de barbotinas. (ANGELERI; CARDOSO; MONTEIRO, 1989), (CORRÊA; AMARANTE JR.; NAKAGAKI, 1985; CORRÊA; NUNES, 1989).

Para o ensaio do consumo de defloculante foi utilizado o silicato de sódio, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$, com concentração de 0,1897 g/ mL. O viscosímetro utilizado é o da marca Brookfield, com “spindle” 3 ou 6, 50 rotações por minuto, dependendo da solicitação da amostra. Para a preparação das suspensões, as amostras foram passadas em peneira USS# 100.

Foram selecionadas, para serem ensaiadas, nove amostras que proporcionassem uma visão do comportamento geral dos materiais envolvidos no presente estudo, conforme sua composição mineralógica ou, principalmente, da porcentagem de gibbsita calculada.

Para a obtenção do ponto ótimo de viscosidade de cada suspensão argilosa, faz-se o seguinte procedimento prático: a) identifica-se o ponto inicial de leitura, correspondente à mínima fluidez que faz a suspensão argilosa escoar; b) verifica-se o ponto mínimo no qual, após adições crescentes do defloculante, a viscosidade atinge o mínimo possível; c) alcança-se o ponto ótimo de viscosidade para deflocular a suspensão. Para determiná-lo traça-se uma tangente, a partir do ponto inicial de leitura, (a), e outra a partir do ponto de viscosidade mínima, (b). Finalmente, traça-se uma reta com ângulo de 45°, passando pela intersecção das tangentes traçadas a partir de (a) e (b). O ponto em que a reta atinge a curva de defloculação é

o provável ponto ótimo de viscosidade, conforme ANGELERI, CARDOSO e MONTEIRO (1989) (Figura 143).

Figura 143 Gráfico que ilustra a determinação do ponto ótimo de defloculação. A viscosidade da suspensão medida em centipoise (cP) pode ser convertida para Pa.s, unidade do Sistema Internacional de Unidades, (ROSENBERG, 2002).

Os resultados dos ensaios do consumo de defloculante das amostras selecionadas estão representados nas figura 144, a 152.

Figura 144 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de BE-2 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 145 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de BEA-2 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 146 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de BEA-1 da Bacia de Boa Esperança.

Figura 147 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de TV da Bacia de Tijucu.

Figura 148 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de T-2 da bacia do Tijuco.

Figura 149 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de T-1 da Bacia de Tijuco.

Figura 150 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de MB8-2 da Bacia de Caraço.

Figura 151 Curva do consumo de defloculante da amostra do horizonte de MB8-1 da Bacia de Caraço.

Figura 152 Curva do consumo de defloculante da amostra da amostra do horizonte de MB7-1 da Bacia de Caraço.

No quadro 43 apresentam-se os resultados das amostras estudadas, versus a quantidade em gramas, do defloculante, Na_2O , consumida para atingir o ponto ótimo de viscosidade.

Quadro 43 Amostras selecionadas versus a quantidade de gibbsita e a porcentagem do consumo do defloculante no ponto ótimo de viscosidade.

Amostra	Quantidades de gibbsita na composição mineralógica	% calculada de gibbsita	% do consumo do defloculante Ponto ótimo de viscosidade.
BE-2	Nenhuma	---	$1,40 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
BEA-2	Pequenas	6,93	$2,00 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
BEA-1	Pequenas	14,44	$1,40 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
TV	Intermediária	33,80	$2,08 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
T-2	Intermediária	43,33	$0,42 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
T-1	Intermediária	49,49	$1,34 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
MB8-2	Grandes	83,87 (**)	$3,34 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
MB8-1	Grandes	84,32(**)	$3,61 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)
MB7-1	Grandes	91,07(**)	$4,68 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de m.s. (*)

m.s.(*) – massa seca

** - teor de gibbsita mais hidróxidos amorfos de alumínio, estimados do cálculo normativo.

As amostras dos horizontes BE-2, BEA-2 e BEA-1, do perfil de Boa Esperança, consumiram pequenas quantidades do defloculante, silicato de sódio. O ponto ótimo do consumo de defloculante variou de $1,40 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g até $2,00 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de massa seca, índice considerado baixo. Apresentaram boas e razoáveis possibilidades para serem utilizadas como matéria prima ligante nos processos de colagem por suspensão argilosa em refratários, até cerca de 14% de gibbsita na composição.

Apesar de apresentarem ponto ótimo de consumo de defloculante, variando entre $0,42 \times 10^{-1}$ g de Na_2O a $2,08 \times 10^{-1}$ g de Na_2O em 100g de massa seca, que podem ser considerados baixos, os materiais provenientes da bacia de Tijuco, T-1, T-2 e TV, com quantidades intermediárias de gibbsita, apresentaram alta tixotropia durante o ensaio do consumo de defloculante, o que não os recomenda para sua utilização em processos, via suspensão argilosa, para a produção de materiais refratários.

As amostras MB8-2, MB7-1 e MB8-1, da Bacia do Caraço, portadoras de grandes quantidades de gibbsita, mostraram comportamento semelhantes entre si, ou seja, além de consumirem mais silicato de sódio para alcançarem o ponto ótimo, não apresentaram bom desempenho, tornaram-se tixotrópicas durante o ensaio do consumo de defloculante. O ponto ótimo do consumo de defloculante variou entre $3,34 \times 10^{-1}$ g de Na_2O a $4,68 \times 10^{-1}$ g de Na_2O

em 100g de massa seca. Desta forma, vale a recomendação para a não utilização deste material em processos de produção de materiais refratários por colagem ou suspensão de argilas, pela tendência que essas amostras mostraram à tixotropia.

Na figura 153 observa-se o gráfico do teor de gibbsita, versus o consumo de defloculante exigido, pelas argilas, para o consumo de defloculante.

Figura 153 Teores de gibbsita presentes nas amostras e seus respectivos índices de consumo do defloculante.

Ilustra-se na figura 154, em (a), a tendência de uma suspensão argilosa, com baixo teor de alumina, como aquelas provenientes da Bacia de Boa Esperança, nas quais é possível boa defloculação; em (b) e (c) a tendência à tixotropia das amostras mais aluminosas, como as das Bacias de Tijuco e Caraço que, após a agitação, no repouso tendem ao estado gel reversível, são tixotrópicas, com alta viscosidade e pouca capacidade de fluírem.

Figura 154 Comportamento das amostras: (a) bem defloculada, menos aluminosa, originária da Bacia de Boa Esperança ; (b) tendente à tixotropia, observar a suspensão no estado gel nas paredes do béquer; (c) amostra após o repouso totalmente no estado tixotrópico (gel). As amostras (b) e (c) são aluminosas provenientes da Bacia de Caraço.

Nas amostras mais aluminosas, maiores quantidades de hidróxido de alumínio nas suspensões, considerando que elas ocorrem em boa quantidade na fração argila, dificultam a produção de suspensões estáveis, além do consumo de defloculante ser maior. CORRÊA e NUNES (1988) demonstraram os efeitos produzidos pela adição de hidróxido de alumínio natural, gibbsita, na reologia de suspensões argilosas para grés sanitário, quanto maior a adição de hidróxido de alumínio natural, na suspensão padrão argilosa, mais tixotrópica ela se tornava. CARDOSO et al. (1992) observaram que argilas com teores ao redor de 5% não são adequadas para a produção de louça por colagem, indicando que a provável presença de $\text{Al}(\text{OH})_3$, na forma de gibbsita ou “amorfo”, são reativos em relação aos defloculantes, formando aluminatos antes que o silicato de sódio possa agir na superfície das partículas dos argilominerais para neutralizar suas cargas e permitir a defloculação, além de trazerem dificuldades no processo de colagem por barbotinas. Experiências laboratoriais poderão indicar as porcentagens com as quais amostras, mais ou menos aluminosas, poderão entrar nas formulações de suspensões argilosas.

O ensaio do consumo de defloculante permite a observação do comportamento dos materiais argilosos, frente à possibilidade de participarem de processos de obtenção de materiais cerâmicos, por meio de suspensão.

CAPÍTULO 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As argilas refratárias da região de Uberaba (MG) podem ser consideradas como pertencentes ao Membro Serra da Galga, sobreposto ao Membro Ponte Alta, constituintes da Formação Marília, parte superior do Grupo Bauru. São o resultado do retrabalhamento dos sedimentos de idade Terciária ou Quaternária.

Das observações de campo foi possível inferir que a cobertura turfosa, presente nos depósitos das argilas de Uberaba, exercem papel importante na lixiviação de sílica e ferro. Este processo seria o responsável pela concentração de alumina, na forma de hidróxidos de alumínio, principalmente do tipo gibbsita ou amorfo. Já foi observado por CORRÊA (1984), que os depósitos de argilas refratárias do Alto Tietê, apresentavam o mesmo tipo de cobertura turfosa associada à presença de nódulos de gibbsita. Informações verbais assinalam que na Bacia de Curitiba (PR) o modelo seria semelhante ao das argilas de Uberaba, (MG), e do Alto Tietê, SP, ou seja, camada turfosa associada a depósitos argilosos caulínico-gibbsíticos.

Do ponto de vista do ambiente de sedimentação, com base na espessura dos horizontes, granulometria e densidade dos minerais envolvidos, os depósitos podem ser considerados como produto de planícies de inundação, nas quais o aporte de materiais mais grossos ou finos dependia da energia das correntes de água.

A análise da composição mineralógica dos materiais estudados mostra predominância de caulinita e gibbsita nos horizontes superiores. Observa-se, ainda, a presença de quantidades variáveis de quartzo, raramente minerais dos grupos de 1,0 nm, como micas, e menores quantidades de outros minerais resistentes ao intemperismo, como zircão, turmalina rutilo (ZTR), cianita, estauroлита.

O alto teor de alumina é relacionado à presença de hidróxidos de alumínio, caracterizados através de procedimentos analíticos, (análises químicas, difração de raios X e análises térmicas diferencial e gravimétrica), como gibbsita. Esse mineral predomina nas bacias do Caraço e Tijuco, em relação ao argilomineral do grupo da caulinita.

Na Bacia de Boa Esperança há cinco horizontes (BE) de perfil bem definidos, sendo que o horizonte superior (BE) mostra gibbsita na sua composição. Já os dois horizontes coletados do perfil BEA, também de Boa Esperança, evidenciam a presença de gibbsita, com teores maiores no horizonte superior. Nos dois horizontes do perfil BEB, de Boa Esperança, apenas o superior (BEB-1) mostra a presença de gibbsita, em pequenos teores .

Na Bacia de Tijuco, o horizonte superior (T-1) apresenta teores de gibbsita maiores do que os horizontes inferiores (T-2 e TV). No horizonte mais profundo (TV), de coloração vermelha, a concentração de óxidos e hidróxidos de ferro, foi evidenciada apenas visualmente e pelas análises químicas. Pode-se observar que o teor de ferro férrico é, aproximadamente, três vezes maior do que nos outros horizontes, sugerindo concentração desse material por lixiviação descendente. O material do horizonte TV não é utilizado como matéria prima para a produção de refratários pelas empresas mineradoras.

As amostras da Bacia de Caraço mostram que no horizonte superior MB8-3 o teor de gibbsita é maior do que no horizonte inferior MB7-2. O horizonte MB7-1 tem teor de gibbsita ligeiramente maior do que o horizonte superior MB8-1, conforme dados da composição mineralógica calculadas, exibida no Quadro 31.

Há uma maior concentração de gibbsita nos horizontes superiores, com uma diminuição em profundidade. Essa diminuição é acompanhada, em geral, de aumento nos teores de caulinita. Isso faz supor que a gibbsita seria formada por um processo de dessilicização a partir da caulinita. Desse modo, poder-se-ia pensar que, na sua formação, um processo de sedimentação traria, da área fonte, materiais de composição mineralógica homogênea, caulinita, mais acessórios. Posteriormente, em ambiente mais úmido, com pH adequado, relacionado à presença da camada turfosa superior, ocorreria a degradação da caulinita, originando o mineral gibbsita.

Os minerais pesados, bem arredondados, aparecem com um máximo ao redor de 0,1% da massa inicial. Em algumas amostras, inclusive, não aparecem em número suficiente para a contagem e, apesar disso, algumas hipóteses foram aventadas em relação à origem dos materiais.

Desse modo, a presença de minerais pesados, bem arredondados, com elevado grau de esfericidade, mostrando figuras de corrosão, parecem indicar que os materiais dos depósitos estudados ter-se-iam originado pelo retrabalhamento de rochas sedimentares. Nessa suíte mineralógica dos pesados aparecem zircão, turmalina e rutilo, evidenciando que tais rochas sedimentares ter-se-iam formado a partir de rochas ígneas e metamórficas, por retrabalhamento. Foi possível, ainda, observar a presença de cianita, (pesado majoritário), estauroilita e sillimanita, com baixo grau de esfericidade e arredondamento, evidenciando a contribuição de rochas metamórficas na formação dos depósitos argilosos estudados, provenientes, provavelmente, dos Grupos Araxá e Canastra, conforme indicado pelo mapa de paleocorrentes para o Membro Serra da Galga de FERNANDES e COIMBRA (2000).

Assim sendo, as argilas refratárias da região de Uberaba seriam, provavelmente, originadas do retrabalhamento de formações sedimentares anteriores, com contribuição direta de rochas metamórficas.

Na composição dos minerais leves verificou-se a existência de “pellets” de caulinita. Uma provável origem para esse tipo de material poderia ser a sedimentação de material argiloso sobre uma camada arenosa, seguida de forte ressecamento, levando à formação de pelotas endurecidas, (SUGUIO, 1973). No retrabalhamento os sedimentos são transportados e depositados na forma de pelotas de argila, de diferentes diâmetros, conforme observado nas figuras 50 a 54. Observa-se, ainda, a presença de gibbsita, nas frações silte e areia. Tanto os “pellets” de caulinita, como os grãos de gibbsita presentes, não foram desagregados no ensaio granulométrico, não obstante a adição de defloculante.

Essa observação, tem conseqüências diretas na aplicação tecnológica desses materiais. Assim, no caso de beneficiamento, usando peneiras da malha ao redor de USS# 100, existe a possibilidade de perda, em porcentagens ao redor de 10%, de caulinita e gibbsita. Portanto, esses dados combinados com os relacionados ao tratamento da matéria prima, podem ser importantes para a escolha das rotas de beneficiamento a serem utilizadas.

A morfoscopia dos grãos da fração areia, principalmente o quartzo, nas várias frações granulométricas e amostras, classificados como subangulares e pouco arredondados, (SUGUIO, 1973), demonstram um retrabalhamento incipiente, de material proveniente de uma área fonte próxima, provavelmente rochas metamórficas dos Grupos Araxá e Canastra.

No que diz respeito aos resultados das análises químicas, foi observado que o ferro (Fe_2O_3), aparece em pequenas quantidades nos horizontes superiores e aumenta em profundidade. Foi possível observar, ainda, em amostras de horizontes inferiores, quartzo e caulinita, recobertos por uma película, avermelhada, de óxidos e hidróxidos de ferro. Em ambas as situações, parece ficar caracterizado uma acumulação de ferro a partir dos horizontes superiores. Supõe-se que este processo seria o resultado do transporte do ferro em condições que facilitariam sua solubilização e, em seguida, sua deposição nas camadas inferiores, como ficou evidente na amostra TV da Bacia de Tijuco, onde a concentração desse elemento e seus compostos é bastante acentuada.

Os resultados das análises químicas denotam, para a maioria das amostras, uma tendência a maiores concentrações de óxido de titânio nas camadas superiores, com decrescentes quantidades em profundidade.

O cálculo estimativo da composição mineralógica foi realizado a partir dos dados de análises térmica diferencial e gravimétrica e análises químicas, levando-se em conta a identificação das fases presentes por difração de raios X. Além da quantificação dos minerais presentes, foi observado que, nas amostras BE-4, BEA-2, MB7-2 e TV, não foi atingido um balanço de sílica, SiO_2 , e de matéria orgânica, (perda ao fogo), para o nódulo, (quadros 30 e 31), apesar das quantidades estarem dentro de uma margem de erro aceitável. Por outro lado, nas amostras MB8-1, MB7-1 e MB8-2 aparece um excesso de alumina, que pode ser interpretado como material não cristalino, (amorfo), (Quadro 31). Tal excesso foi atribuído à presença de alumina não cristalina, como hidróxidos amorfos. LARA (1997).

Na análise por MEV, foi observado que a caulinita se apresenta, geralmente, como partículas mais escuras, menores, poucas vezes mostrando perfil hexagonal, refletindo, provavelmente, um baixo grau de cristalinidade. Foi observado, ainda, que a gibbsita apresenta-se como partículas mais claras, aglomeradas, e às vezes, formando tubos.

Nos ensaios cerâmicos preliminares, por prensagem, foram caracterizadas as amostras menos aluminosas dos horizontes da bacia de Boa Esperança. Esses materiais podem ser classificados como materiais ligantes de chamotes refratários para a manufatura de produtos prensados. Mostraram viabilidade de serem prensados e apresentaram resultados compatíveis com os encontrados na bibliografia.

Por outro lado, as argilas mais aluminosas das Bacias de Caraço e Tijuco, processadas por prensagem e queimadas em temperaturas de 1450°C , devido ao elevado teor em gibbsita, apresentaram os corpos de prova trincados, empenados e esfarelentos, com rachaduras, inviabilizando os ensaios cerâmicos preliminares. Recomenda-se sua utilização como matéria-prima de chamote para a produção de materiais refratários, o que já vem sendo feito por indústrias cerâmicas. Esses resultados estão dentro do preconizado pelas indústrias cerâmicas e por vários autores, (SOUSA SANTOS, 1975; SOUZA; SOUSA SANTOS, 1964(b); SANTOS, 2002).

Nos ensaios do cone pirométrico e no cálculo da composição química em base calcinada, todas as amostras tiveram comportamento refratário frente ao ensaio correspondente ao cone pirométrico 17 da Brascone, não se curvando e suportando temperaturas de 1473°C . Podem ser consideradas argilas para a produção de materiais refratários sílico-aluminosos, além do que, apresentam, em base calcinada, classificação, no mínimo, como materiais refratários da classe SA-2. Tais dados estão em consonância com a classificação de materiais refratários sílico-aluminosos com base em análises químicas. (ABNT, 1996).

Os dados da composição mineralógica do pó das amostras dos cones pirométricos submetidos à difração de raios X, revelam a presença de mulita, quartzo e coríndon, como fases majoritárias. Com exceção da amostra de MB8-2, na qual aparece pequena quantidade de tridimita, nas argilas mais aluminosas não se observa a presença de quartzo, provavelmente em função da reatividade que teria ocorrido entre a alumina proveniente de gibbsita e caulinita. A maioria das amostras mostra a presença de óxido de alumínio e titânio, indicando a ocorrência de TiO_2 , anatásio. Mulita predomina nas amostras com pequenos teores de gibbsita em sua composição e coríndon é o mineral majoritário nas amostras com os mais altos teores desse mineral.

No que concerne ao consumo de defloculante, os resultados mostram que o comportamento das argilas refratárias menos aluminosas, como as da bacia de Boa Esperança, é adequado para que elas sejam utilizadas em suspensões argilosas para a produção de refratários por colagem de barbotinas. As argilas mais aluminosas, além do consumo elevado do defloculante, têm comportamento tixotrópico, tendendo a um gel após repouso. Esse comportamento não é adequado para sua utilização em suspensões argilosas para a colagem ou fundição de barbotinas. A introdução do silicato de sódio na suspensão faz com que ele reaja, inicialmente, com os hidróxidos de alumínio na forma cristalina, gibbsita, ou amorfos, e esse consumo o impede de deflocular os argilominerais, diminuindo sua eficiência como agente defloculante.

Dada a sua composição mineralógica, essas argilas são conhecidas como argilas bauxíticas, ficando na transição entre argilas refratárias típicas e as bauxitas. Seus teores em óxidos de alumínio, em base calcinada, variam entre 40% até 90%. As argilas bauxíticas se distinguem das argilas típicas pela presença de hidróxidos de alumínio, notadamente a gibbsita, juntamente com argilominerais de caulinita. Os minerais acessórios mais importantes são: quartzo; óxidos e hidróxidos de ferro, como, provavelmente, magnetita, goethita e limonita; anatásio e rutilo, portadores de óxido de titânio, TiO_2 . Em quantidades muito reduzidas aparecem micas.

A variabilidade na composição mineralógica, quando se considera os teores de alumina, que pode estar na forma de gibbsita, presentes em argilas refratárias cauliníticas, pode classificá-las para produção de materiais refratários mais ou menos nobres, aluminosos ou altamente aluminosos. No caso das argilas refratárias de Uberaba, MG, a gibbsita, concentrada preferencialmente nas camadas mais superiores das bacias, resulta em material de alta refratariedade.

CAPÍTULO 5 RELEVÂNCIA E APLICAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO

Conforme ressaltado na proposta inicial de trabalho, o presente estudo tem sua importância relacionada ao fato de que as argilas da região de Uberaba se apresentam como a principal alternativa para os materiais utilizados pela indústria de refratários da região de Minas Gerais e Estado de São Paulo. Importa ressaltar que, no caso da região da Grande São Paulo e, em especial, as argilas da Bacia do Alto Tietê, estão em exaustão, não existindo no estado, regiões potencialmente favoráveis à localização desses materiais.

Dentre os resultados desta pesquisa, destaca-se a questão da presença de pelotas do argilomineral caulinita e grãos de gibbsita, bem estáveis e que não se desagregam nos ensaios granulométricos. Esse comportamento pode resultar em perdas no caso de utilização de peneiramento simples no beneficiamento. Assim sendo, para um melhor aproveitamento desses resíduos, outros métodos para a seleção granulométrica podem ser desenvolvidos.

No cálculo em base calcinada, as argilas da bacia de Boa Esperança são classificadas como materiais para refratários do tipo SA-1, sílico-aluminosos, % de alumina maior do que 40%, sendo que apenas uma amostra BEB-1 é classificada como SA-2, (34,00 a 39,99% de alumina). Já as argilas de Caraço e Tijuco são todas classificadas como argilas aluminosas, com teores muito acima de 45,99% de alumina, (ABNT,1966).

A utilização das argilas mais aluminosas via úmida, das bacias de Tijuco e Caraço fica comprometida pelos resultados encontrados na correspondente defloculação. Essas argilas são altamente aluminosas, o que dificulta o ensaio de defloculação, indicativo para este uso. Já as argilas menos aluminosas da bacia de Boa Esperança podem ser utilizadas para produção de materiais cerâmicos, via colagem por barbotina.

Considerando os níveis atuais de consumo, pesquisa no acervo empresas de documentos e informes prestados pelos mineradores, há matéria prima para a produção de refratários sílico-aluminosos e aluminosos para, no mínimo, 300 anos, o que corrobora a tese da importância e recomendações de estudos desta natureza com vistas à identificação e caracterização de outros depósitos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDAD, J. E. *Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análises ambiental*. São Paulo: Edição independente, 2001. 67 p. (Cd-rom).
- ALBERS, A. P. F. et al. A simple method for the characterization of clay minerals by X-ray diffraction. *Cerâmica*, v. 48, n. 305, p.34-37, 2002.
- ALECRIM, J. D. *Recursos minerais do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Metamig, 1982.
- ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. *Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro*. Rio de Janeiro: Divisão de Geologia e Mineralogia/DNPM, 1953. 96p. (Boletim, 143).
- ALVES, J. P. M. *Petrologia e Diagênese do Membro Ponte Alta, Formação Marília, Cretáceo da Bacia do Paraná, na região do Triângulo Mineiro*. 1995. 102f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1995.
- AMARANTE, JR. A. Estudo termodiferencial, dilatométrico e termogravimétrico de algumas argilas e caulins utilizados na indústria cerâmica brasileira. *Cerâmica*, v. 26, n.131, p.313-318, 1980.
- ANGELERI, F. B.; CARDOSO, S. R. F.; MONTEIRO, E. J. Ensaio de laboratório visando diminuir a tendência à tixotropia em barbotinas aquosas das argilas Suzano-N e L-180. *Cerâmica*, v 35, n.217, p. 34 -43, 1989.
- ANGELERI, F. B.; CHRISTINO, J. A.; FRIAS, M. C. Caracterização de argilominerais para a indústria de louça sanitária. *Cerâmica*, v. 21, n. 82, p. 85-99, 1975.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Anuário Brasileiro de Cerâmica 2003. São Paulo: ABC, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Classificação dos refratários sílico-aluminosos - NBR 10.239. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Material refratário - Determinação do cone pirométrico equivalente - NBR 6222. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- BARBOSA, E. M; CASTRO P. T. A. Sedimentação cenozóica da Bacia do Paraná: Ocorrência no Triângulo Mineiro – MG. In: SOMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7; SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4, Belo Horizonte, 1993. *Anais...* Belo Horizonte: SBG/MG. p. 39-40. 1993 (Boletim, 12).
- BARBOSA, O. et al. *Geologia da Região do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral/Ministério das Minas e Energia, 1970. 140p. (Boletim, 136).

BOGGS, S. JR. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. New Jersey: Prentice-Hall, 1995. 774 p.

BOGNIOTTI, L. D. *Estudo de impacto ambiental nas Cabeceiras do Ribeirão dos Guaribas e Rio Uberabinha – Platô de Úbera (MG): poluição das águas e solos devido às atividades agrícolas e de mineração*. 1999. 195f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

BRANDÃO, P. R. G. Argilas bauxíticas como matérias primas para refratários. *Cerâmica*, v. 23, n. 91, p. 13-20. 1977.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. *Crystal structures of clay mineral and their X-ray identification*. London: Mineralogical Society, 1980. 451 p.

BROWN, G. *The X-ray identification and crystal structure of clay minerals*. London: Clay Mineral Group. 1972. 544p.

CAILLÉRE, S. ; HÉNIN, S. *Mineralogie des argiles*. I – structure et propriétés physico-chimiques. Paris: Inra et Mason, 1982. 184 p.

CAMPOS, T.W.; SANTOS, H. S. Transformações térmicas de uma argila aluminosa de Suzano, São Paulo. *Cerâmica*, v.39, n. 263, p.263-266, 1993.

CARDOSO, S. R. F. et al. Caracterização mineralógica cerâmica de algumas argilas plásticas da Bacia de Tijucas. *Cerâmica*, v. 38, n. 254, p. 21-28, 1992.

CARVALHO, A.; BOULANGÉ, B.; MELFI, A.J.; LUCAS, Y (Ed.) *Brazilian bauxites*. São Paulo: USP/FAPESP/ORSTOM, 1997. 331 p.

CASTRO, S. S. *Micromorfologia de solos*. Bases para descrição de lâminas delgadas. Goiânia/Campinas: Apostila Funape, 2002. 135 p.

CEMIG (Belo Horizonte, MG). *Nota explicativa do Mapa Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CSRM, 1994. Escala 1:1.000.000.

CHAMLEY H. *Clay sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989. 349 p.

COIMBRA, A. M. *Arenitos da Formação Bauru: estudo de áreas- fonte*. 1976. 2v. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS (Belo Horizonte, MG). *Mapa de ocorrências minerais não-metálicas do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: COMIG, 1994. color. Escala 1:1.000.000.

CORRÊA, W. L. P. *Caracterização química e mineralógica das argilas da região da Bacia do Alto Tietê: contribuição à gênese dos depósitos e aplicação tecnológica*. 1984. 134f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

CORRÊA, W. L. P. C.; AMARANTE JR., A.; NAKAGAKI, S. Estudo sobre a influência de águas de diferentes origens sobre uma barbotina cerâmica. *Cerâmica*, v. 30, n. 175, p 169-174, 1985.

CORRÊA, W. L. P.; FERNANDES, S. F.; KOLE, A. T. Determinação semiquantitativa de hidróxidos de alumínio em argilas brasileiras por análise térmica diferencial. *Cerâmica*, v. 39, n. 161, p. 127-133, 1983.

CORRÊA, W. L. P.; NUNES, J. J. Comportamento reológico de suspensões argilosas para grés sanitário por adição de hidróxido de alumínio natural - gibbsita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 32., 1988, Natal. *Anais...* São Paulo: ABC, 1988.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. *Introduction to rock forming minerals*. 2.ed. Harlow; New York: Longman Scientific & Technical, 1992. 696p.

DODD, J. W.; TONGE, K. H. *Thermal methods. Analytical chemistry by open learning*. London: John Wiley & Sons, 1987. 337 p.

FERNANDES, L. A. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da bacia Bauru (Ks, Brasil)* 1998. 216f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG). *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 55, p. 53-66, 2004. Escala 1:1.000.000.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n.4, p. 717-728, 2000.

FERREIRA JUNIOR, P. D. *Modelo deposicional e evolução diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, na região do Triângulo Mineiro*. 1996. 176f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1996.

FERREIRA JUNIOR, P. D.; GOMES, N. S. Petrografia e diagênese da formação Uberaba, Cretáceo Superior, da Bacia do Paraná no Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Geociências*, v.2, p.163-172, 1999.

GOMES, C. B. *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à Geologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 218p.

GOMES, C. F. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. 457 p.

GRIM, R. E. *Applied clays*. New York: MacGraw Hill, 1962. 422 p.

GRIM, R. E. *Clay mineralogy*. New York: McGraw-Hill, 1968. 569 p.

GRIMSHAW, R. W. *The chemistry and physics of clays*. London: Ernest Benn Limited, 1971. 1024 p.

GROKE, M. C. M. *Evolução geoquímica, mineralógica e micromorfologia no processo de bauxitização. Estudo comparativo dos depósitos de Mogi das Cruzes, Curucutu e Lavrinhas, SP, associados a diferentes tipos litológicos*. 1981. 106f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

GUERRA, A. T. *Dicionário geológico-geomorfológico*. Rio de Janeiro: IBGE, 1966. 411 p.

HASUI, Y. A Formação Uberaba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, 1968, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG. 1968. p.167-179.

HEIRICH, E.V. *Microscopic identification of minerals*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1965. 414 p.

IBAR S/A. *Plano seqüencial de lavra da Jazida Boa Esperança de Uberaba, Minas Gerais*. Poá: Departamento de Mineração da Ibar S/A, 1996.

JANASI, V. A.; ANDRADE, S.; ULBRICH, H. H. G. J. A correção do *drift* instrumental em ICP-AES com espectrômetro seqüencial e a análise dos elementos maiores, menores e traços em rochas. *Boletim IG-USP, Série Científica*, v. 26, p.45-58, 1995.

KLEIN, C.; HURLBUT JR., C. S. *Manual of Mineralogy*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993. 681p.

LARA, R. P. *As argilas do Platô de Uberaba (MG): micromorfologia, mineralogia e geoquímica. Implicações genéticas*. 1997. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1997.

LEPREVOST, A. *Química analítica dos minerais*. Curitiba: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 393p.

LOUGHMAN, F. C. *Chemical weathering of silicate minerals*. New York: American Elsevier Publishing, 1969. 154 p.

MACKENZIE, R. C. *The differential thermal investigation of clays*. London: Mineralogical Society, 1975. 456p.

MAGNESITA S. A. *Programa de produção de 2005 da Mina Caraço, Uberaba, MG*. Agosto de 2005.

MANGE, M.A.; MAURER, H.F.W. *Heavy minerals in colour*. New York: Chapman & Hall, 1992. 147 p.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais. Parte I: caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, p. 271-286, 1977.

MILLOT, G. *Geology of Clays*. London: Chapman & Hall, 1970. 429 p.

MONTEIRO, E. J.; ANGELERI, F. B. Correlação entre a curva de defloculação e propriedades reológicas de argilominerais, baseada no pH pelo hidróxido de sódio. *Cerâmica*, v. 26, n. 125, p. 93-103, 1980.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. *X-ray diffraction and identification and analysis of clays minerals*. Oxford: Oxford University Press, 1989. 332 p.

MORATO, A. G.; NOGUEIRA, H.; BITTENCOURT, L. R. M. Produção e caracterização de chamote aluminoso de alta qualidade a partir de argila gibbsítica brasileira. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DE REFRATÁRIOS, Chile, 1990. *Anais...* Santiago, 1990. p. 2-4-1 a 2-4-26.

MORI, P. E.; REEVES, S.; CORREIA, C. T.; HAWKKA, M. Development of fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*, v.29, p.441-446, 1999.

MOTTA, J. F. M. *As matérias primas cerâmicas e o estudo de três casos de rochas fundentes*. 2000. 208 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, UNESP, São Paulo, 2000.

MULLER, G. *Methods in sedimentary petrology*. Part I. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche, 1967. 283 p.

NORTON, F. H. *Introdução à tecnologia cerâmica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

ORTEGA, F. S. et al. Aspectos da reologia e da estabilidade de suspensões cerâmicas. Parte I: fundamentos. *Cerâmica*, v.43, n. 279, p. 5-10, 1997.

PARENOFF, A., POMEROL, C. ET TOURENQ, J. *Les minéraux en grains*. Méthode D'Étude et détermination. Paris : Masson et C^{ie}. 1970. 571 p.

PASSARO, A. M. P. Comparação entre gibbsitas. *Cerâmica*, v. 39, n.263, p. 97, 1993.

PRESSINOTTI, M. M. M. *Caracterização geológica e aspetos genéticos dos depósitos de argilas do tipo "ball clay" de São Simão, SP*. 1991. 141f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ROSENBERG, I.M. *O Sistema Internacional de Unidade – SI*. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2002. 112 p.

SANT'ANNA, L. G. *Mineralogia das argilas e evolução geológica da Bacia de Fonseca, MG*. 1994. 151f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SANTOS, E. R. Caracterização mineralógica e contexto geológico das argilas da mina Fazendinha, Tijucas do Sul, PR. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 51, p. 91-114, 2002.

SOUZA SANTOS, H; KIYOHARA, P.; COELHO, A.C.V.; SOUZA SANTOS, P. Estudo por microscopia eletrônica das transformações durante a queima de argilas altamente aluminosas brasileiras. *Cerâmica* v. 54, n. 322, p. 125-137, 2006.

SOUZA, J. V.; SOUZA SANTOS, P. (a). Considerações sobre a aplicação da análise térmica diferencial no estudo de argilas cerâmicas no Brasil. *Cerâmica*, v.10, n. 30, p. 2-27, 1964.

SOUZA, J. V.; SOUZA SANTOS, P. (b). Ensaios preliminares de argilas visando a utilização cerâmica. *Cerâmica*, v.10, n. 38, p. 2-34, 1964.

SOUZA SANTOS, P. *Tecnologia de argilas*. São Paulo: Edgard Blücher, 1975. 802 p. 2v.

SOUZA SANTOS, P. Óxidos e hidróxidos de alumínio naturais: uma revisão. Parte IV – Minerais “não cristalinos”: claquita e polímeros naturais de hidróxido de alumínio. *Cerâmica*, v. 31, n. 186, p. 129-146, 1985.

SOUZA SANTOS, P. Óxidos e hidróxidos de alumínio naturais: uma revisão. Parte V: argilas altamente aluminosas; bauxitos; solos lateríticos e lateritos. *Cerâmica*, v.32, n. 192, p. 1-22, 1986.

SOUZA SANTOS, P.; SANTINI, P. Análises térmicas diferenciais de bauxitos, argilas aluminosas e lateritos. *Cerâmica*, v. 9 n. 323, p. 3-32, 1963.

SOUZA SANTOS, P.; SOUZA SANTOS, H. Desenvolvimento de argilas brasileiras para diversos usos tecnológicos. *Cerâmica*, v. 11, n. 46, p. 50-71, 1966.

SUGUIO, K. *Formação Bauru: calcários e sedimentos detríticos associados*. 1973. 236f. 236 p. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973. v.1

SUGUIO, K. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003. 399p.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1973. 317 p.

SUGUIO, K. *Rochas sedimentares*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 500p.

SUGUIO, K.; BARCELOS, J. S.; MONIZ, A. C. Caracterização sedimentológica e mineralógica de formações superficiais argilo-arenosas peculiares dos planaltos do triângulo mineiro e Alto Paranaíba, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. *Anais...* São Paulo: SBG. 1976. p. 241-247.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.) *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. 557 p.

VAN VLACK, L. H. *Princípios de ciência dos materiais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. p. 210- 211.

VAN VLACK, L. H. *Propriedades dos materiais cerâmicos*. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 318p.

VELDE, B. *Introduction to clay minerals: chemistry, origins, uses and environmental significance*. London: Chapman and Hall, 1992. 198 p.

VELDE, B. *Origin and mineralogy of clays*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1995. 344 p.

WARSHAW, G. M. Classification and a schem for the identification of layer silicates. *Geolog. Soc. America Bulletin*, v.72, p.1455-1492, 1961.

ZAMBRANO, A. R. *Minérios refratários – um estudo preliminar*. São Paulo: Cerâmica de Guarulhos S.A.; Grupo Votorantin, 1981 (Apostila).

ANEXO 1

CONES PIROMÉTRICOS BRASCONE

CONES PIROMETRICOS

Os cones pirométricos são peças feitas com várias misturas de óxidos minerais. Destinam-se à supervisão e ao controle de queima na indústria cerâmica.

Desenvolvidos inicialmente pelo Prof. Seger e introduzidos na indústria cerâmica em 1886, não tiveram até hoje sua importância diminuída pelas modernas técnicas de medição e regulação.

Usados pela indústria cerâmica de todo o mundo, sua utilidade é apreciada para determinar quando é atingido o tratamento térmico desejado em todos os tipos de produtos cerâmicos, para verificar a uniformidade de condições em diferentes pontos de um forno e também para determinar a refratariedade relativa de materiais e produtos cerâmicos.

Fabricados em alguns países do mundo, são produzidos no Brasil pela Brascone Ltda., sendo utilizados pela grande maioria das indústrias cerâmicas nacionais.

Os cones pirométricos são numerados conforme a intensidade de queima desejada e os números adotados pela Brascone, bem como as temperaturas de queda correspondentes, foram baseados nos cones americanos, que no passado tiveram uso mais difundido no Brasil.

São fornecidos em caixas com 50 cones.

MONTAGEM

Os cones pirométricos, na sua utilização, devem ser montados em uma base que resista sem deformação às condições do forno e devem ser montados sempre da mesma forma. A inclinação deve ser tal que resulte um ângulo de 82° entre a horizontal e a face que leva o número do cone; a ponta do cone deverá ficar a 5 cm da superfície da base de montagem.

Ao ser atingido um determinado grau de tratamento térmico os cones se deformam e o momento em que a ponta do cone toca a base é considerado o ponto final de amolecimento do cone.

As temperaturas aproximadas, em graus centígrados, dos pontos finais dos diversos cones podem ser apreciadas na tabela seguinte:

Temperaturas aproximadas de queda dos Cones Pirométricos a uma velocidade de aquecimento de 150° C/hora

Cone nº	Temperatura (° C)
020	635
019	683
018	717
017	747
016	792
015	804
014	838
013	852
012	884
010	894
09	923
08	955
07	984
06	999
05	1046
04	1060
03	1100
02	1120
01	1137
1	1154
2	1162
3	1168
4	1186
5	1196
6	1222
7	1240
8	1263
9	1280
10	1305
11	1315
12	1326
13	1346
14	1366
15	1431
16	1473
17	1485
18	1506
19	1528
20	1549
23	1590
26	1605
27	1627
28	1633
29	1645

Esta tabela se aplica para cones de 63 mm de comprimento.

CONES ESPECIAIS

Para aplicações especiais, por exemplo, queima de peças dentro de caixas de tamanho reduzido, são fabricados os mesmos da série normal em tamanho pequeno.

BRASCONE

BRASCONE Ind. e Com. de
Cones Pirométricos Ltda.

Rua Engº Cajado de Lemos, 220
09530-320 - São Caetano do Sul - SP
Tel/Fax: (0xx11) 4229-9007

ANEXO 2

CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS PERFIS ESTUDADOS

Quadro 44 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-2 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	44,88	37,74	13,97	2,41	1,02	0,441	100,46
b-Gibbsita - % óxidos		-----	-----				
c-Excedente óxidos (%)	44,88	37,74	13,97				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,748	0,37	0,776				
f-Caulinita – proporção molecular	0,74	0,37	0,74				
g-Excedente óxidos	0,008	0	0,036				
h-Quartzo - proporção molecular	0,008						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,036				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BE-2 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 45.

Quadro 45 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BE-2 da Bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	--		0,0
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,37	95,46
Quartzo	SiO ₂	60	0,008	0,48
Anatásio**	TiO ₂	--		2,41
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		1,02
M. Orgânica		18	0,036	0,65
			Total	100,02

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 46 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-3 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	44,62	36,94	13,95	2,406	1,35	0,501	99,77
b-Gibbsita - % óxidos		----	----				
c-Excedente óxidos (%)	44,62	36,94	13,95				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,743	0,362	0,775				
f-Caulinita – proporção molecular	0,724	0,362	0,724				
g-Excedente óxidos	0,019	0	0,051				
h-Quartzo - proporção molecular	0,019						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,051				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BE-3 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 47.

Quadro 47 Demonstrativo da composição mineralógica para o horizonte BE-3 da Bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	--		0,0
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,362	93,39
Quartzo	SiO ₂	60	0,019	1,14
Anatásio**	TiO ₂	--		2,40
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		1,35
M. Orgânica		18	0,051	0,92
			Total	99,2

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 48 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-4 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	44,61	38,09	14,12	2,146	1,01	0,665	100,4
b-Gibbsita - % óxidos							
c-Excedente óxidos (%)	44,61	38,09	14,12				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,743	0,373	0,784				
f-Caulinita – proporção molecular	0,746	0,373	0,746				
g-Excedente óxidos	-0,003						
h-Quartzo - proporção molecular							
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,038				
j-Balanço final	-0,003	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BE-4 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 49.

Quadro 49 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BE-4 da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	--		0,0
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,373	96,23
Quartzo	SiO ₂	60	- 0,003	-0,18
Anatásio**	TiO ₂	--		2,146
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		1,01
M. Orgânica		18	0,038	0,68
			Total	99,88

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 50 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BE-5 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total-% óxidos	45,86	37,46	13,73	2,044	0,98	0,471	100,53
b-Gibbsita - % óxidos		-----	-----				
c-Excedente óxidos (%)	45,86	37,46	13,73				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,764	0,367	0,762				
f-Caulinita – proporção molecular	0,734	0,367	0,734				
g-Excedente óxidos	0,030	0	0,028				
h-Quartzo - proporção molecular	0,030						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,028				
-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BE-5 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 51.

Quadro 51 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BE-5 da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	--		0,0
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,367	94,68
Quartzo	SiO ₂	60	0,030	1,8
Anatásio**	TiO ₂	--		2,044
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		0,98
M. Orgânica		18	0,028	0,50
			Total	100,0

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 52 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total- % óxidos	42,3	38,21	15,22	3,416	0,81	0,398	100,33
b-Gibbsita - % óxidos		9,44	5,00				
c-Excedente óxidos (%)	42,3	28,77	10,22				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,705	0,282	0,567				
f-Caulinita – proporção molecular	0,564	0,282	0,564				
g-Excedente óxidos	0,141	0	0,003				
h-Quartzo - proporção molecular	0,141						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,003				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 53.

Quadro 53 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	-----		14,44
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,282	72, 75
Quartzo	SiO ₂	60	0,141	8,46
Anatásio**	TiO ₂	--		3,42
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		0,81
M. Orgânica		18	0,003	0,054
			Total	99,93

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 54 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEA-2 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total-% óxidos	40,55	39,4	16,11	3,25	0,78	0,31	100,4
b-Gibbsita - % óxidos		4,65	2,46				
c-Excedente óxidos (%)	40,55	34,75	13,65				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,675	0,340	0,758				
f-Caulinita – proporção molecular	0,680	0,340	0,680				
g-Excedente óxidos	-0,005	0	0,081				
h-Quartzo - proporção molecular	-0,005						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,078				
j-Balanco final	-0,005	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BEA-1 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 55.

Quadro 55 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEA-2 da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	-----		7,05
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,340	87,72
Quartzo	SiO ₂	60	-0,005	-0,3
Anatásio**	TiO ₂	--		3,25
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		0,78
M. Orgânica		18	0,081	1,46
			Total	99,96

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 56 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEB-1 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	49,47	34,57	13,68	2,14	0,65	0,109	100,6
b-Gibbsita - % óxidos		0,94	0,5				
c-Excedente óxidos (%)	49,47	33,63	13,18				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,824	0,329	0,732				
f-Caulinita – proporção molecular	0,658	0,329	0,658				
g-Excedente óxidos	0,166	0	0,074				
h-Quartzo - proporção molecular	0,166						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,074				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BEB-1 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 57.

Quadro 57 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEB-1 da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	-----		1,44
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,329	84,88
Quartzo	SiO ₂	60	0,166	9,96
Anatásio**	TiO ₂	--		2,14
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		0,65
M. Orgânica		18	0,074	1,33
			Total	100,4

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 58 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte BEB-2 da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	45,93	36,76	14,17	2,33	1,03	0,115	100,3
b-Gibbsita - % óxidos	-----	-----	-----				
c-Excedente óxidos (%)	45,93	36,76	14,17				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,765	0,360	0,787				
f-Caulinita – proporção molecular	0,720	0,360	0,720				
g-Excedente óxidos	0,045	0	0,067				
h-Quartzo - proporção molecular	0,045						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,067				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o horizonte BEB-2 da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 59.

Quadro 59 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte BEB-2 da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	-----		-----
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,360	92,88
Quartzo	SiO ₂	60	0,045	2,7
Anatásio**	TiO ₂	--		2,327
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		1,03
M. Orgânica		18	0,067	1,20
			Total	100,13

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 60 Demonstrativo do cálculo normativo para o nódulo sem núcleo coletado dos montes de espera da bacia de Boa Esperança.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	10,09	57,26	29,9	0,932	0,35	0,514	99,05
b-Gibbsita - % óxidos		55,34	29,3				
c-Excedente óxidos (%)	10,09	1,92	0,6				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,168	0,018	0,033				
f-Caulinita – proporção molecular	0,036	0,018	0,036				
g-Excedente óxidos	0,132	0	-0,003				
h-Quartzo - proporção molecular	0,132						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			-0,003				
j-Balanco final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para o nódulo, sem núcleo, coletado dos montes de espera da bacia de Boa Esperança, apresentada no quadro 61.

Quadro 61 Estimativa da composição mineralógica para o nódulo, sem núcleo, coletado dos montes de espera da bacia de Boa Esperança.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	-----		84,64
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,018	4,64
Quartzo	SiO ₂	60	0,132	7,92
Anatásio**	TiO ₂	--		0,932
Hematita**	Fe ₂ O ₃	--		0,35
M. Orgânica		18	-0,003	-0,05
			Total	98,43

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 62 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB8-1 da bacia do Caraço.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	3,78	58,36	30,97	5,379	0,63	0,198	99,3
b-Gibbsita - % óxidos		46,46	24,6				
c-Excedente óxidos (%)	3,78	11,9	6,37				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,063	0,116	0,353				
f-Caulinita – proporção molecular	0,063	0,031	0,063				
g – Excedente óxidos	0	0,085	0,290				
h-Quartzo - proporção molecular	0						
i-Hidróxido amorfo		0,085	0,255				
j-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,035				
l-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-1 da bacia do Caraço, apresentada no quadro 63.

Quadro 63 Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-1 da bacia do Caraço.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			71,06
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,031	7,99
Quartzo	SiO ₂	60		0
Anatásio**	TiO ₂			5,37
Hematita**	Fe ₂ O ₃			0,63
Hidróx.Amorfo	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	156	0,085	13,26
M. Orgânica		18	0,035	0,63
			Total	98,94

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 64 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB7-1 da bacia do Caraço.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	1,36	60,76	32,48	3,916	0,33	0,216	99,06
b-Gibbsita - % óxidos		48,63	25,75				
c-Excedente óxidos (%)	1,36	12,13	6,73				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,022	0,118	0,373				
f-Caulinita – proporção molecular	0,022	0,011	0,022				
g-Excedente óxidos	0	0,107	0,351				
h-Quartzo - proporção molecular	0						
i-Hidróxido amorfo		0,107	0,321				
j-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,030				
l-Balanco final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte MB7-1 da bacia do Caraço, apresentada no quadro 65.

Quadro 65 Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB7-1 da bacia do Caraço.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			74,38
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,011	2,83
Quartzo	SiO ₂			0
Anatásio**	TiO ₂			3,916
Hematita**	Fe ₂ O ₃			0,33
Hidróx. Amorfo	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	156	0,107	16,69
M. Orgânica		18	0,030	0,54
			Total	98,68

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O).

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química.

Quadro 66 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB8-2 da bacia do Caraço.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	3,84	58,17	30,96	5,801	0,86	0,215	99,8
b-Gibbsita - % óxidos		42,5	22,5				
c Excedente óxidos (%)	3,84	15,67	8,46				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,064	0,153	0,47				
f Caulinita – proporção molecular	0,064	0,032	0,064				
g-Excedente óxidos	0	0,121	0,406				
h-Quartzo - proporção molecular	0						
I-Hidróxido amorfo		0,121	0,363				
j-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,043				
L-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-2 da bacia do Caraço, apresentada no quadro 67.

Quadro 67 Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-2 da bacia do Caraço.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			65,0
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,032	8,25
Quartzo	SiO ₂			0
Anatásio**	TiO ₂			5,801
Hematita**	Fe ₂ O ₃			0,83
Hidróx. Amorfo	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	156	0,121	18,87
M. Orgânica		18	0,043	0,77
			Total	99,52

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química

Quadro 68 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB8-3 da bacia do Caraço.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	23,86	47,65	24,04	3,41	1,08	0,112	100,1
b-Gibbsita - % óxidos		30,7	16,25				
c-Excedente óxidos (%)	23,86	16,95	7,79				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,397	0,166	0,432				
f-Caulinita – proporção molecular	0,332	0,166	0,332				
g-Excedente óxidos	0,065	0	0,1				
h-Quartzo - proporção molecular	0,065						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,1				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-3 da bacia do Caraço, apresentada no quadro 69.

Quadro 69 Estimativa da composição mineralógica para amostra do horizonte MB8-3 da bacia do Caraço.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			46,95
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,166	42,82
Quartzo	SiO ₂	60	0,065	3,9
Anatásio**	TiO ₂			3,408
Hematita**	Fe ₂ O ₃			1,08
M. Orgânica		18	0,1	1,9
			Total	99,95
				100,05

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química

Quadro 70 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte MB7-2 da bacia do Caraço.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	36,02	41,73	18,4	2,623	1,08	0,114	99,9
b-Gibbsita - % óxidos		10,77	5,7				
c-Excedente óxidos (%)	36,02	30,96	12,7				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,600	0,303	0,705				
f-Caulinita - proporção molecular	0,606	0,303	0,606				
g-Excedente óxidos	-0,003	0	0,099				
h-Quartzo - proporção molecular	-0,003						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,099				
j-Balanço final	-0,003	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte MB7-2 da bacia do Caraço, apresentada no quadro 71.

Quadro 71 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte MB7-2 da bacia de Caraço.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			16,47
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,303	78,17
Quartzo	SiO ₂	60	- 0,003	-0,18
Anatásio**	TiO ₂			2,623
Hematita**	Fe ₂ O ₃			1,08
M. Orgânica		18	0,099	1,78
			Total	99,94

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química

Quadro 72 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte T-1 da bacia do Tijuco.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	26,43	44,26	23,68	3,062	1,56	0,115	99,1
b-Gibbsita - % óxidos		32,49	17,2				
c-Excedente óxidos (%)	26,43	11,77	6,48				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,440	0,115	0,36				
f-Caulinita – proporção molecular	0,230	0,115	0,230				
g-Excedente óxidos	0,210	0	0,13				
h-Quartzo - proporção molecular	0,210						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,13				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte T-1 da bacia de Tijuco, apresentada no quadro 73.

Quadro 73 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte T-1 da bacia de Tijuco.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			49,69
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,115	29,67
Quartzo	SiO ₂	60	0,210	12,6
Anatásio**	TiO ₂			3,062
Hematita**	Fe ₂ O ₃			1,56
M. Orgânica		18	0,13	2,34
			Total	98,92

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química

Quadro 74 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte T-2 da bacia do Tijuco.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	25,9	44,63	24,14	3,176	1,52	0,135	99,46
b-Gibbsita - % óxidos		28,33	15,0				
c-Excedente óxidos (%)	25,9	16,3	9,14				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,431	0,159	0,507				
f-Caulinita – proporção molecular	0,318	0,159	0,318				
g-Excedente óxidos	0,113	0	0,189				
h-Quartzo - proporção molecular	0,113						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,189				
j-Balanço final	0	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte T-2 da bacia de Tijuco, apresentada no quadro 75.

Quadro 75 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte T-2 da bacia de Tijuco.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			43,33
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,159	41,02
Quartzo	SiO ₂	60	0,113	6,78
Anatásio**	TiO ₂			3,176
Hematita**	Fe ₂ O ₃			1,52
M. Orgânica		18	0,189	3,40
			Total	99,22

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química

Quadro 76 Demonstrativo do cálculo normativo para amostra do horizonte TV da bacia do Tijuco.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O(PF)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	outros	Total
a-Amostra total - % óxidos	25,34	45,28	23,94	3,156	2,06	0,111	99,85
b-Gibbsita - % óxidos		22,1	11,7				
c-Excedente óxidos (%)	25,34	23,18	12,24				
d-Massa molecular	60	102	18				
e = c / d	0,422	0,227	0,68				
f-Caulinita - proporção molecular	0,454	0,227	0,454				
g-Excedente óxidos	-0,032	0	0,226				
h-Quartzo - proporção molecular	-0,032						
i-Matéria Orgânica - proporção molecular			0,226				
j-Balanço final	-0,032	0	0				

A partir desses dados pode-se obter o cálculo estimativo da composição mineralógica para amostra do horizonte TV da bacia de Tijuco, apresentada no quadro 77.

Quadro 77 Estimativa da composição mineralógica para o horizonte TV da bacia de Tijuco.

FASES PRESENTES	FÓRMULA MOLECULAR	MASSA MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR	COMPOSIÇÃO MINERAL %
Gibbsita*	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O			33,8
Caulinita	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258	0,227	58,56
Quartzo	SiO ₂	60	-0,032	-1,92
Anatásio**	TiO ₂			3,156
Hematita**	Fe ₂ O ₃			2,06
M. Orgânica		18	0,226	4,06
			Total	99,71

* Obtido pela soma da % Al₂O₃. + % PF (3H₂O)

** Obtidos diretamente da % dos óxidos de titânio e ferro da análise química