UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA, MINERALOGIA E GÊNESE DAS
ESMECTITAS DOS DEPÓSITOS PALEOGÊNICOS
DO *RIFT* CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL**

Lucy Gomes Sant'Anna

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Valarelli

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA, MINERALOGIA E GÊNESE DAS ESMECTITAS DOS
DEPÓSITOS PALEOGÊNICOS DO RIFT CONTINENTAL DO
SUDESTE DO BRASIL

LUCY GOMES SANT'ANNA

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Valarelli

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

T2708

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof ^a Dr ^a Sonia Maria Barros de Oliveira
Examinadores:	Prof. Dr. Chang Hung Kiang
	Prof. Dr. Daniel Atêncio
	Prof. Dr. Milton Luiz Laquintinie Formoso
	Prof. Dr. Werner H. Walter Truckenbrodt

SÃO PAULO
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA, MINERALOGIA E GÊNESE DAS ESMECTITAS DOS DEPÓSITOS
PALEOGÊNICOS DO *RIFT* CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL**

Lucy Gomes Sant'Anna

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Valarelli

TESE DE DOUTORAMENTO
Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005603

SÃO PAULO
1999

RESUMO

A presente tese teve por objetivo o estudo da geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos sedimentos paleogênicos do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), representados pelo Grupo Taubaté (bacias de Resende, Volta Redonda, Taubaté e São Paulo), e formações Itaboraí (na bacia homônima), Sete Barras (no *graben* homônimo) e Guabirotuba (Bacia de Curitiba), com vistas à caracterização e o detalhamento do conhecimento destes argilominerais, bem como reconhecer as possíveis áreas fontes dos sedimentos argilosos no quadro paleogeográfico e paleoclimático da região durante o Paleógeno. Para tanto, foram realizados trabalhos geológicos de campo, para o reconhecimento e amostragem dos depósitos sedimentares, bem como análises laboratoriais para caracterização mineralógica e geoquímica das esmectitas (estudos petrográficos, difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura com análise química pontual qualitativa e semi-quantitativa, análise geoquímica de rocha total e frações finas via ICP/AES e ICP/MS). Adicionalmente, foram também estudadas as rochas carbonáticas que ocorrem associadas aos depósitos paleogênicos do RCSB, de modo a complementar o quadro geológico evolutivo da região onde estavam se desenvolvendo estas esmectitas.

Os calcários fitados paleocênicos da Formação Itaboraí apresentaram feições texturais e valores negativos de isótopos estáveis (C, O) que corroboram sua classificação como depósitos de travertino, originados a partir de fontes ou ressurgências de águas quentes (dezenas de graus celsius).

No sistema de leques aluviais das formações Resende, Sete Barras, Guabirotuba e dos pacotes superiores da Formação Itaboraí, a matriz dos sedimentos lamíticos é constituída essencialmente por esmectitas (beidellitas) de origem detrítica. Mica e caulinita ocorrem em proporções variáveis e quartzo e feldspato são os principais clastos encontrados nestes lamitos. As esmectitas ocorrem como placas de granulação grossa ($> 5\mu\text{m}$) e bordas onduladas, compondo uma matriz maciça; o perfil afilado da reflexão basal 001 destas esmectitas, com $\text{FWHM} < 1,3^\circ$, sugere alta cristalinidade.

Os sedimentos lacustres da Formação Tremembé são compostos por beidellitas detríticas de granulação fina a média ($< 5\mu\text{m}$) e menor grau de cristalinidade, o qual se expressa pelo alargamento ou abaulamento da reflexão basal 001 ($\text{FWHM} > 1,3^\circ$) deste argilomineral nos difratogramas de raios X. Esta degradação na cristalinidade da

esmectita é devido à interação deste mineral com as condições geoquímicas das águas lacustres.

A origem destas esmectitas é atribuída a processos de neoformação atuantes durante a geração de paleossolos a partir da alteração das rochas pré-cambrianas do embasamento do RCSB, no Eoceno Inferior a Médio, quando as condições climáticas tendiam à aridez e o relevo havia sido aplainado pela Superfície Sul-Americana, no final do Cretáceo Superior a Paleógeno. Nesse contexto paleogeográfico e paleoclimático, o intemperismo químico atuou no sentido de homogeneizar mineralógica e geoquimicamente os produtos de alteração, em escala regional.

Através dos estudos mineralógicos foram observados produtos e feições eodiagenéticas, como a formação de piritas, a compactação dos sedimentos e a formação de esmectitas autigênicas.

O intemperismo químico atuou sobre os depósitos paleogênicos do RCSB desde sua deposição, tendo permitido a formação de halloysitas, calcretes pedogenéticos, crosta dura hematítica e gerações distintas de caulinítas.

A influência de soluções hidrotermais sobre os depósitos da Formação Resende é revelada por glóbulos e lepisferas de sílica e cristais euhedrais de barita precipitados em arenitos desta unidade nas bacias de Taubaté e São Paulo. As relações texturais encontradas indicam que a sílica formou-se previamente à barita.

A caracterização geológica, mineralógica e genética das esmectitas dos depósitos paleogênicos do RCSB permite apontar a origem detrítica e o alto grau de cristalinidade das esmectitas dos sedimentos lamíticos como fatores limitantes para o seu emprego na indústria. Na Formação Tremembé, estas esmectitas detríticas sofreram alterações que induziram a formação de estruturas desordenadas, com maiores possibilidades de uso tecnológico. Para avaliação preliminar das potencialidades de uso destes argilominerais aponta-se a medição da largura a meia altura da reflexão 001 da esmectita, em difratograma de amostra total, como um parâmetro para o controle das características mineralógicas deste mineral quando destinado ao uso industrial.

ABSTRACT

The geology, mineralogy and genesis of the smectites of the Paleogene sediments of the Continental Rift of Southeastern Brazil (CRSB), represented by the Taubaté Group (Resende, Volta Redonda, Taubaté and São Paulo basins), and the Itaboraí Formation (Itaboraí basin), Sete Barras Formation (Sete Barras Graben) and Guabirotuba Formation (Curitiba basin), are the subject of this study. Emphasis was placed on the characterization of these clay minerals and the recognition of possible source areas of the mudstones within the context of Paleogene paleogeography and paleoclimate for this area. Field reconnaissance and sampling of the sedimentary deposits was followed by mineralogical and geochemical laboratory analyses, including petrographic studies, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), qualitative and semi-quantitative punctual chemical analyses (EDS), and inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry (ICP/AES) and – mass spectrometry (ICP/MS) of both total sample and fine fractions. Carbonate rocks associated with the Paleogene deposits of CRSB were also studied in order to complement the understanding of the regional geological context of the smectites.

Paleocene carbonate rocks of the Itaboraí Formation present textural features as well as negative isotopic values of C^{13} and O^{18} that corroborate its classification as travertine derived from percolating hot waters.

In the alluvial fan systems of the Resende, Sete Barras and Guabirotuba formations and the upper parts of the Itaboraí Formation, the matrix of the mudstones is massive and made up essentially of detrital smectites (beidellites). Mica and kaolinite occur in variable proportions and quartz and feldspar are the main clastic grains in these rocks. This smectite is platy and relatively coarse-grained (plate > 5 microns in diameter), with slightly undulated boundaries. The sharp curve of the basal 001 reflection of these smectites, with full width at half maximum (FWHM) < 1.3° , suggests their high degree of crystallinity.

The lacustrine sediments of the Tremembé Formation are composed of fine- to medium-grained (< 5 microns) detrital beidellites of lower degree of crystallinity (basal 001 reflection, FWHM > 1.3°), the result of interaction with lacustrine waters.

The origin of these smectites is attributed to neoformation processes during the generation of paleosols, that began with the alteration of the Precambrian basement rocks of CRSB in the Early to Middle Eocene. Climatic conditions at this time tended to the aridity and relief was low due to the development of the South American Planation Surface, at the end of the Late Cretaceous and beginning of the Paleogene. In this paleogeographic and paleoclimatic context, chemical weathering tended to homogenize mineralogically and geochemically the alteration products on a regional scale.

Eodiagenetic products and features observed in the argillaceous rocks include neoformed pyrite, compaction of the sediments and crystallization of authigenic smectites.

Chemical weathering acting upon the Paleogene deposits of the CRSB since their deposition led to the formation of halloysite, pedogenetic calcretes, hematitic duricrust derived from ferruginous dolomite and different generations of kaolinite.

The influence of hydrothermal solutions on the deposits of the Resende Formation is revealed by globules and lepispheres of silica and euhedral crystals of barite which precipitated in the sandstones of this unit in the Taubaté and São Paulo basins. Observed textural relationships indicate that the silica formed prior to the barite.

The geological, mineralogical and genetic characterization of the smectites of the Paleogene deposits of the CRSB points to the detrital origin and high degree of crystallinity of these clay minerals in the mudstones as the main factors impeding their use in industry. Alteration of the detrital smectites of the Tremembé Formation resulted in disordered structures, with greater technological possibilities. It is here suggested that the potential industrial utility of these clay minerals may be tentatively evaluated by the measurement of the full width at half maximum (FWHM) of the 001 reflection of the smectite in X-ray diffractograms of total sample.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho não seria possível sem a colaboração de diversas pessoas e instituições.

Inicialmente, quero agradecer ao Prof. Dr. José Vicente Valarelli, orientador desta tese, pelo apoio e incentivo incondicionais a mim dedicados durante todo o curso da Pós-Graduação e na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Claudio Riccomini devo a apresentação da área de estudo e o acompanhamento em diversas etapas do trabalho. Seu apoio e cobrança mantiveram meus olhos presos aos objetivos desta tese.

No Instituto de Geociências da USP foram várias as ocasiões em que pude contar com a colaboração dos demais professores, dentre os quais gostaria de destacar e agradecer a Profa. Dra. Sonia M.B. de Oliveira pelas discussões e sugestões nos estudos geoquímicos e ao Prof. Dr. Ginaldo A.C. Campanha pela orientação na compilação da geologia do pré-cambriano do sudeste brasileiro.

Pela oportunidade de analisar amostras de sondagens agradeço ao Prof. Benedito Rodrigues Francisco do Museu Nacional, ao Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do IGUSP, ao Geólogo Hugo Cássio Rocha da Companhia do Metropolitano de São Paulo e a Engesolos - Engenharia de Solos e Fundações S.A.

Ao Geólogo Willian Sallun Filho o meu muito obrigado pela paciência e capricho na digitalização dos mapas.

Ao Prof. André Luiz Ferrari da Universidade Federal Fluminense e pós-graduando do IGUSP pelo acompanhamento nos trabalhos de campo na Bacia de Itaboraí.

Ao Prof. Dr. Hung Kiang Chang do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP pelas sugestões apresentadas por ocasião do exame de qualificação.

A realização deste trabalho contou também com a colaboração de equipes de diversos laboratórios, dentre as quais gostaria de mencionar e agradecer:

- Físico Flávio Machado de Souza Carvalho e ao Prof. Dr. Daniel Atencio do Laboratório de Difração de Raios X do IGUSP, pelas várias discussões e sugestões na obtenção e interpretação dos difratogramas de raios X;

- Técnico Elder Sampaio do Laboratório de Microscopia Eletrônica do NUPEGEL/USP, ao Engenheiro Isaac Jamil Sayeg do Laboratório de Microscopia

Eletrônica do DPE/IGUSP e a equipe do Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP, na pessoa do Prof. Dr. Henrique Kahn;

- Técnica Sandra de Andrade do Laboratório de ICP/AES do IGUSP, pelas sugestões no tratamento dos dados geoquímicos;

- Técnica Elaine Sinfrônio do Laboratório de Sedimentologia do IGUSP, pelo apoio nos trabalhos de segregação da fração fina dos sedimentos;

- Técnicas Sueli e Cleide do Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia Geral do IGUSP, pela colaboração no tratamento de parte das amostras.

À equipe do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, na pessoa do Prof. Dr. José Carlos Gaspar, sou grata pela contribuição na obtenção dos dados de análises químicas pontuais semi-quantitativas.

À Petróleo Brasileiro S.A., na pessoa da pesquisadora Maria Dolores de Carvalho, agradeço pela permissão de uso dos equipamentos e auxílio nos estudos via catodoluminescência.

Ao Prof. Dr. Alcides Nóbrega Sial, do Laboratório de Isótopos Estáveis do Núcleo de Estudos de Granitos da Universidade Federal de Pernambuco, agradeço a colaboração na obtenção dos dados de isótopos estáveis.

Ao Dr. Victor Fernandez Velázquez, pós-doutorando do DPE/IGUSP, pelas discussões e sugestões.

Ao Prof. Dr. Thomas R. Fairchild do DPE/IGUSP, pelas sugestões e pela minuciosa e prestativa revisão do Abstract.

À Geóloga Rita P. Conde e Márcia Ponte da Seção de Informática do IGUSP agradeço pela colaboração na solução dos vários problemas de informática.

À Thelma Samara da Seção de Desenho do IGUSP agradeço pela confecção das figuras do relatório de projeto FAPESP (processo nº 95/3381-5).

Ao Técnico Jaime de Souza Marcos, do Setor de Fotografia do IG-USP, pela confecção de inúmeras cópias fotográficas.

À Assistente Técnica Financeira do IG-USP, Maria Ivone Basso, pelo apoio administrativo em diferentes etapas do desenvolvimento do projeto FAPESP (processo nº 95/3381-5).

Aos funcionários da Biblioteca, Gráfica e dos laboratórios de impregnação e laminação do IGUSP, meus agradecimentos pelos serviços prestados.

Aos colegas de pós-graduação, atuais e do passado, agradeço pelo convívio diário e apoio durante o curso de Pós-Graduação. Em especial, quero agradecer ao colega Jaime L.P. Baez pela convivência durante tantos anos.

Ao IGUSP, a Comissão de Pós-Graduação e a Coordenação do Programa de Mineralogia e Petrologia, meus agradecimentos pelo apoio institucional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo nº 96/0029-1) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq agradeço a concessão de bolsas de estudo.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

ÍNDICE GERAL

	Páginas
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação do tema	1
1.2 Apresentação e localização da área de estudo	4
1.3 Objetivos e justificativas	4
2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	7
2.1 Rochas do embasamento do RCSB.....	7
2.2 O <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil	12
2.2.1 Bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo.....	12
2.2.2 Bacia de Itaboraí.....	21
2.2.3 Graben de Sete Barras	28
2.2.4 Bacia de Curitiba.....	28
2.2.5 Estrutura e tectônica do RCSB.....	29
2.2.6 Geomorfologia do RCSB.....	29
2.2.7 Trabalhos prévios sobre os argilominerais do RCSB	30
2.2.8 Lantanita no RCSB	35
3. CONCEITOS EMPREGADOS	36
3.1 Argilominerais como indicadores paleoclimáticos.....	36
3.2 Calcretes: origem e caracterização	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS DE ESTUDO	43
4.1 Caracterização e amostragem das unidades litoestratigráficas	43
4.2 Materiais e métodos laboratoriais.....	44
4.2.1 Estudos petrográficos macro e microscópicos	44
4.2.2 Catodoluminescência.....	46
4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura e microanálise por energia dispersiva	46
4.2.4 Separação das frações silte e argila	47
4.2.5 Difração de raios X	48
4.2.6 Análises químicas via ICP	49

4.2.7 Isotopia (C, O)	50
5. RESULTADOS DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS, MINERALÓGICOS	51
5.1 Resultados geológicos e mineralógicos.....	51
5.1.1 Formação Itaboraí.....	52
5.1.2 Formação Resende	79
5.1.3 Formação Sete Barras	131
5.1.4 Formação Guabiruba	132
5.1.5 Formação Tremembé.....	156
5.1.6 Formação São Paulo	200
5.2 Resultados geoquímicos	205
5.2.1 Estudos geoquímicos de rocha total e frações finas	205
5.2.2 Estudos geoquímicos das esmectitas	214
5.2.3 Estudos geoquímicos e isotópicos dos calcretes e dolomitos	246
6. DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES.....	253
6.1 Rochas carbonáticas no contexto evolutivo do RSB.....	253
6.1.1 Calcários lacustres da Formação Itaboraí	253
6.1.2 Calcretes e dolocrete das associações de fácies de leques aluviais	256
6.1.3 Dolomito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé.....	260
6.2 Estudos mineralógicos das esmectitas	261
6.3 Gênese das esmectitas detríticas e suas implicações paleoclimáticas.....	263
6.4 A interação das esmectitas com o ambiente deposicional da Formação Tremembé	267
6.5 Diagênese e intemperismo nos depósitos paleogênicos do RCSB.....	268
6.6 Manifestações de hidrotermalismo no RCSB	274
6.7 Aplicação dos estudos geológicos e mineralógicos	276
7. CONCLUSÕES.....	277
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	281

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro geológico e tectônico regional do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil-RCSB.....	3
Figura 2 - Quadro litoestratigráfico e evolução tectono-sedimentar do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil.....	6
Figura 3 - Quadro geológico regional simplificado do extremo leste da região sudeste do Brasil.....	11
Figura 4 - Seções-tipo das unidades terciárias do RCSB.....	20
Figura 5 - Perfis geológicos esquemáticos da Bacia de Itaboraí.....	26
Figura 6 - Classificação de rochas sedimentares contendo misturas de cascalho (partícula > 2mm), areia e lama (argila e silte).....	45
Figura 7 - Mapa geológico da Bacia de Itaboraí e localização dos afloramentos amostrados.....	53
Figura 8 - Perfis de sondagens da Bacia de Itaboraí, com a posição das amostras estudadas.....	55
Figura 9 - Gráfico binário relacionando os valores de δO^{18} e δC^{13} obtidos para os calcários da associação de fácies lacustre da Formação Itaboraí.....	59
Figura 10 - Difratomogramas de raios X de amostras totais, após tratamento com HCl.....	62
Figura 11 - (A) Seção colunar na Bacia de Itaboraí (Local IT-01, Fig. 7). (B) Difratomogramas de raios X obtidos para amostras totais da figura (A).....	65
Figura 12 - (A) Seção colunar na Bacia de Itaboraí (Local IT-02, Fig. 7). (B) Difratomogramas de raios X obtidos para amostras totais da figura (A).....	71
Figura 13 - (A) Seção colunar na Bacia de Itaboraí (Local IT-05, Fig. 7). (B) Difratomogramas de raios X obtidos para amostras totais da figura (A). (C) Difratomogramas de raios X obtidos para amostra de calcrete, após tratamento com HCl.....	72
Figura 14 - Difratomogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas da matriz argilosa de lamito argilo-arenoso conglomerático aflorante na borda nordeste da Bacia de Itaboraí (Local IT-03, Fig. 7).....	74
Figura 15 - Difratomogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas da matriz argilosa de lamito argilo-arenoso conglomerático aflorante na borda nordeste da Bacia de Itaboraí (Local IT-04, Fig. 7).....	75
Figura 16 - (A) Difratomogramas de raios X obtidos para matriz areno-argilosa de conglomerados da fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende (Local RE-12, Anexo 1). (B) Difratomogramas de raios X obtidos para depósito da fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende (Local TB-19, Anexo 1).....	83
Figura 17 - (A) Difratomogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas de lamito argiloso da fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende (Local RE-16, Anexo 1). (B) e (C) Difratomogramas de raios X de amostras, respectivamente, das frações < 5 μ m e < 31 μ m da amostra total apresentada em (A). (D) Difratomogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas de lamito argilo-arenoso da fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende (Local TB-18, Anexo 1).....	88
Figura 18 - (A) Croqui de afloramento da Formação Resende, situado na Bacia de Volta Redonda (Local CP-02, Anexo 1). (B) Difratomogramas de raios X de amostras totais. Amostragem	

correspondente à figura (A)	89
Figura 19 – (A) Seção colunar da Formação Resende (Local RE-08, Anexo 1). (B) Difratogramas de raios X de amostras totais. Amostragem correspondente à figura (A)	92
Figura 20 – (A) Seção colunar da Formação Resende (Local RE-40, Anexo 1). (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A)	93
Figura 21 – (A) Croqui de afloramento da Formação Resende (Local TB-49, Anexo 1). (B) Difratogramas de raios X obtidos para amostras das frações finas da amostra (B)	96
Figura 22 – (A) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem na figura 19A. (B) Difratogramas de raios X obtidos para nódulo de calcrete da figura 19A. (C) Difratogramas de raios X obtidos para nódulo de calcrete coletado na borda norte da Bacia de São Paulo.	102
Figura 23 – (A) Seção-tipo da Formação Resende (Local RE-10, Anexo 1). (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A)	110
Figura 24 – (A) Seção colunar da Formação Resende, descrita em afloramento situado na porção oeste da Bacia de Taubaté (Local TB-50, Anexo 1). (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A)	112
Figura 25 – Difratogramas de raios X das frações finas das amostras C e B da figura 24 A	113
Figura 26 – Difratogramas de raios X obtidos para amostras totais e das frações finas de depósito da Formação Resende, situado na porção oeste da Bacia de Taubaté (Local TB-48)	114
Figura 27 – (A) Contato entre a Formação Resende e a Formação São Paulo. (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A)	115
Figura 28 – (A) Foto da base da exposição amostrada na borda oeste da Bacia de São Paulo (Local BSP-51, Anexo 2). (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A)	116
Figura 29A - Perfil da sondagem nº 42 do CNP (Local CNP42, Anexo 1)	118
Figura 29B - Difratogramas de raios X de amostras totais dos lamitos da Formação Resende amostrados na sondagem nº 42 do CNP	119
Figura 29C - Difratogramas de raios X de amostras totais dos lamitos da Formação Resende amostrados na sondagem nº 42 do CNP	120
Figura 30 - Difratogramas de raios X obtidos para amostra total de lamito da Formação Resende amostrado na sondagem nº 42 do CNP. (B) e (C) Difratogramas de raios X obtidos para amostras de calcretes	123
Figura 31 - (A) Seção colunar descrita na Bacia de Resende (Local RE-15, Anexo 1), apresentando rocha gnáissica alterada, na base, sobreposta pela Formação Resende. (B) Foto detalhando a zona de contato. (C) Difratogramas de raios X de amostras totais, com amostragem correspondente à da figura A	128
Figura 32 - Difratogramas de raios X obtidos para amostras totais de exposição na Bacia de Resende (Local RE-15, Anexo 1), onde afloram sedimentos da Formação Resende em contato com rochas do embasamento, encondo-se preservado nível de paleoregolito	129
Figura 33 - (A) Croqui da seção-tipo da Formação Sete Barras. (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem. (C) Difratogramas de raios X	

de frações finas da amostra B	134
Figura 34 - Mapa geológico da Bacia de Curitiba e localização dos afloramentos amostrados	136
Figura 35A - Seção colunar e croqui de depósito da Formação Guabirotuba (Local CWB-02, Fig. 34).	137
Figura 35B - Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem na seção-colunar da figura 35A	138
Figura 35C - Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem na seção-colunar da figura 35A	140
Figura 36 - Difrátogramas de raios X obtidos para frações finas de lamitos argilosos e argilo-arenosos, e para nódulos de calcrete da Formação Guabirotuba	141
Figura 37 - (A) Croqui de afloramento da Formação Guabirotuba, situado a sul da Bacia de Curitiba (Local CWB-10, Fig. 34). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A). (C) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra G da figura (A)	146
Figura 38 - Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra G da figura 37A, após saturação com Mg.....	147
Figura 39 - Seção colunar da Formação Guabirotuba, descrita em afloramento situado a sul da Bacia de Curitiba (Local CWB-11, Fig. 34). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A). (C) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra C da figura (A)	148
Figura 40 - Croqui de afloramento da Formação Guabirotuba, situado a sul da Bacia de Curitiba (Local CWB-12, Fig. 34). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A). (C) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra C da figura (A)	149
Figura 41 - Seção colunar da Formação Tremembé (Local TB-30r, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A). (C) e (D) Difrátogramas de raios X de frações finas do arenito e do argilito da figura (A)	158
Figura 42 - (A) Foto de afloramento da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé (Local TB-32, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem indicada na foto	159
Figura 43 - Seção colunar descrita na Formação Tremembé (Local TB-54, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A).....	161
Figura 44 - Difrátogramas de raios X obtidos para frações finas de argilitos e folhelho da seção colunar da figura 43	162
Figura 45 - Seção colunar de afloramento da Formação Tremembé (Local TB-53, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem. (C) Difrátogramas de raios X de frações finas do argilito da figura A. (D) Difrátogramas de raios X do folhelho da figura A, após tratamento com H ₂ O ₂	168
Figura 46 - Seção colunar da Formação Tremembé (Local TB-53, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem em (A).....	170
Figura 47 Difrátogramas de raios X obtidos para frações finas de argilitos e para amostra total de folhelho após tratamento com H ₂ O ₂ , com amostragem correspondente à seção colunar da figura 46A.....	171

Figura 48 - Seção colunar de afloramento da Formação Tremembé (Local TB-55, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem. (C) Difrátogramas de raios X de frações finas de argilito da figura A. (D) Difrátogramas de raios X obtidos para amostra total do folhelho da seção colunar da figura A, após tratamento com H_2O_2 .	175
Figura 49 - Difrátogramas de raios X de amostras totais de argilito e folhelhos da Formação Tremembé, aflorante no local TB-56r (Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de frações finas do argilito. (C) Difrátogramas de raios X de amostra total de folhelho, após tratamento com H_2O_2 .	176
Figura 50A - Perfil da sondagem nº 42 do CNP (Local CNP42, Anexo 1)	177
Figura 50B - Difrátogramas de raios X de amostras totais de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP	178
Figura 50C - Difrátogramas de raios X de amostras totais de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP	179
Figura 50D - Difrátogramas de raios X de amostras totais de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP	180
Figura 50E - Difrátogramas de raios X de amostras totais de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP	181
Figura 51 - Difrátogramas de raios X obtidos para amostras totais de folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP, após tratamento com H_2O_2	184
Figura 52 - Difrátogramas de raios X obtidos para amostras total de folhelho da Formação Tremembé e de cristais de halotriquita	185
Figura 53 - Seção colunar de afloramento da Formação Tremembé (Local TB-53, Anexo 1). (B) e (C) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (D) e (E) Difrátogramas de raios X de frações finas de argilitos da figura (A). (F) Difrátogramas de raios X do dolomito, após tratamento com HCl	188
Figura 54 - Seção colunar de afloramento da Formação Tremembé, sobreposta pela Formação Pindamonhangaba. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem	196
Figura 55 - Seção colunar de afloramento da Formação São Paulo, exposto na Bacia de Resende (Local RE-06, Anexo 1). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) e (D) Difrátogramas de raios X das frações finas de arenito e argilito, conforme amostragem na figura A	201
Figura 56 - Difrátogramas de raios X obtidos para amostras da Formação São Paulo, na Bacia de Volta Redonda (Local VR-38, Anexo 1)	202
Figura 57 - Seção colunar da Formação São Paulo (Local SP104, Anexo 2). (B) Difrátograma de raios X de amostra total de arenito. (C) (D) Difrátogramas de raios X de amostra total e frações finas de argilito	204
Figura 58 - Histograma das porcentagens médias dos óxidos maiores de amostras totais e frações < 2 μ m de lamitos das Formações Itaboraí, Resende e Guabirota	208
Figura 59 - Gráficos de normalização dos teores de elementos terras raras em relação ao NASC (composição de 40 folhelhos norte americanos) (Taylor & McLennan 1985)	212

Figura 60 - Histograma para comparação das porcentagens médias dos óxidos maiores de amostras totais e frações < 2µm de argilitos e de amostras totais de folhelhos da Formação Tremembé	219
Figura 61 - (A) Gráfico ternário discriminando os campos das esmectitas dioctaédricas aluminosas e férricas. (B) Projeção das esmectitas do RCSB no gráfico ternário para classificação de esmectitas dioctaédricas aluminosas	242
Figura 62A - Gráficos binários correlacionando os elementos químicos presentes nas fórmulas estruturais das esmectitas	244
Figura 62B - Gráficos binários correlacionando os elementos químicos presentes nas fórmulas estruturais das esmectitas	245
Figura 63 - matriz de correlação dos elementos químicos na estrutura das esmectitas	246
Figura 64 - Gráfico binário correlacionando os valores de δO^{18} e δC^{13} obtidos para calcretes e dolomito do RCSB	251
Figura 65 - Esquema paleogeográfico indicando as ocorrências de argilominerais e rochas carbonáticas nos depósitos paleogênicos do RCSB	260
Figura 66 - Quadro dos minerais constituintes das assembléias mineralógicas detrítica, eodiagenética, intempérica e hidrotermal, reconhecidos nos depósitos paleogênicos do RCSB	271

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Argilominerais já referidos nas unidades litoestratigráficas do RCSB	37
Tabela 2 - Dados de isótopos estáveis (O^{18} e C^{13}) obtidos para os calcários da associação de fácies lacustre da Formação Itaboraí.....	59
Tabela 3A - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) - Elementos maiores em % de óxidos	60
Tabela 3B - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) – Elementos menores em ppm	60
Tabela 3C - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) – Elementos menores em ppm	60
Tabela 3D - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) – Elementos terras raras em ppm	61
Tabela 4 - Valores de largura a meia altura (FWMH) para a reflexão 001 da esmectita de sedimentos da Formação Resende	131
Tabela 5 - Valores de largura a meia altura (FWMH) para a reflexão 001 da esmectita de sedimentos da Formação Tremembé	199
Tabela 6A - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB - Elementos maiores em % de óxidos	207
Tabela 6B - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB – Elementos menores em ppm	209
Tabela 6C - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB – Elementos menores em ppm	210
Tabela 6D - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB – Elementos terras raras em ppm	211
Tabela 7A - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé - Elementos maiores em % de óxidos	215
Tabela 7B - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé – Elementos menores em ppm	216
Tabela 7C - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé – Elementos menores em ppm	217
Tabela 7D - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé – Elementos terras raras em ppm	218
Tabela 8A - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra IT-04).....	221
Tabela 8B - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra RE-14)	221
Tabela 8C - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra RE-08C)	222
Tabela 8D - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra TB-49B)	222
Tabela 8E - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra CWB-02M)	223

Tabela 8F - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra CWB-10G)	223
Tabela 8G - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra TB-32B)	224
Tabela 8H - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra TB-21)	224
Tabela 8I - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra TB-53A)	225
Tabela 8J - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra TB55A)	225
Tabela 8K - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra TB-55A)	226
Tabela 8L - Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS (amostra CNP96)	226
Tabela 9A - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra IT-04)	230
Tabela 9B - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra RE-14)	231
Tabela 9C - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra RE-08C)	232
Tabela 9D - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra TB-49B)	233
Tabela 9E - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra CWB-02M)	234
Tabela 9F - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra CWB-10G)	235
Tabela 9G - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra TB-32B)	236
Tabela 9H - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra TB-21)	237
Tabela 9I - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra TB-53A)	238
Tabela 9J - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra TB55A)	239
Tabela 9K - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra TB-55A)	240
Tabela 9L - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análises química semi-quantitativa via EDS (amostra CNP96)	241
Tabela 10 - Análises químicas e fórmulas estruturais de beidellitas referenciadas na literatura	243
Tabela 11A - Análises químicas de rocha total (calcretes e dolomitos) - Elementos maiores em % de óxidos	247
Tabela 11B - Análises químicas de rocha total (calcretes e dolomitos) – Elementos menores em ppm	248

Tabela 11C - Análises químicas de rocha total (calcretes e dolomitos) – Elementos menores em ppm	249
Tabela 11D - Análises químicas de rocha total (calcretes e dolomitos) – Elementos terras raras em ppm	250
Tabela 12 - Valores de O^{18} e δC^{13} obtidos para calcretes e dolomitos do RCSB	252

ÍNDICE DE PRANCHAS

Prancha 1	56
Prancha 2	58
Prancha 3	63
Prancha 4	66
Prancha 5	68
Prancha 6	73
Prancha 7	76
Prancha 8	78
Prancha 9	82
Prancha 10.....	84
Prancha 11.....	90
Prancha 12.....	91
Prancha 13.....	94
Prancha 14.....	95
Prancha 15.....	96
Prancha 16.....	98
Prancha 17.....	99
Prancha 18.....	103
Prancha 19.....	104
Prancha 20.....	105
Prancha 21.....	111
Prancha 22.....	117
Prancha 23.....	121
Prancha 24.....	124
Prancha 25.....	125
Prancha 26.....	130
Prancha 27.....	135
Prancha 28.....	139

Prancha 29.....	145
Prancha 30.....	150
Prancha 31.....	152
Prancha 32.....	153
Prancha 33.....	154
Prancha 34.....	155
Prancha 35.....	160
Prancha 36.....	163
Prancha 37.....	165
Prancha 38.....	169
Prancha 39.....	186
Prancha 40.....	187
Prancha 41.....	189
Prancha 42.....	190
Prancha 43.....	191
Prancha 44.....	192
Prancha 45.....	194
Prancha 46.....	195
Prancha 47.....	197
Prancha 48.....	198
Prancha 49.....	203

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

Após as mudanças globais ocorridas no limite entre o Cretáceo e o Terciário (65Ma, Harland *et al.* 1989), o Paleógeno (65 – 23,3Ma) representou um período de reestruturação da paleogeografia, da fauna e da flora a nível mundial, com o desenvolvimento de grande parte das espécies viventes atualmente e o esboço da configuração atual dos continentes e oceanos (Pomerol 1982, Berggren *et al.* 1985). Nesse contexto, o estudo de depósitos sedimentares marinhos e continentais, de idade paleogênica, tem permitido o reconhecimento de etapas evolutivas importantes e o estabelecimento de seções de referência para este período, podendo-se destacar os trabalhos realizados em bacias sedimentares da Europa (v.g. bacias de Paris e Londres), da América do Norte (Green River, San Juan, Golfo do México), e também da África do Norte (Marrocos, Argélia) e América do Sul (Argentina).

No Paleógeno a costa leste brasileira participava da abertura do Oceano Atlântico Sul, iniciada no Cretáceo (127Ma, Turner *et al.* 1994), e já se distanciava cerca de 3000km da costa oeste africana (Smith *et al.* 1981) no Eoceno. Como decorrência desta abertura, vários sítios deposicionais se formaram, ensejando importante deposição ao longo do Cretáceo e Terciário.

No Brasil, as unidades litoestratigráficas paleogênicas, aflorantes atualmente na área emersa adjacente à costa, estão melhor desenvolvidas e caracterizadas na região compreendida entre os estados de Pernambuco e Espírito Santo. Em geral estas unidades são de origem marinha e estão restritas às bacias de Pernambuco-Paraíba (Fm. Maria Farinha, composta por calcários paleocênicos) (Feijó 1994a), Sergipe-Alagoas (Grupo Piaçabuçu, formações Marituba, arenitos cretáceo-eocênicos, e Calumbi, com folhelhos eocênico-oligocênicos) (Schaller, 1969, Ojeda & Fujita 1974, Feijó 1994b), Almada (Fm. Urucutuca, com folhelhos e arenitos finos cretáceo-eocênicos) (Carvalho, 1965, Netto *et al.* 1994) e Cumuruxatiba (Fm. Rio Doce, com arenitos paleocênico-oligocênicos, Fm. Caravelas, com calcários e folhelhos neocretáceo-neomiocênicos) (Fischer *et al.* 1974, Petri & Fúlfaro 1983,

Santos *et al.* 1994). Dentre estas unidades, a Formação Maria Farinha tem servido à caracterização do limite entre o Cretáceo e o Terciário (K/T) no Brasil através de estudos isotópicos em carbonatos (Sial *et al.* 1992). As demais têm integrado correlações regionais dos depósitos sedimentares da costa leste do Brasil durante o Cretáceo Superior-Terciário (e.g. Santos *et al.* 1994, Netto *et al.* 1994).

Na região sudeste do Brasil, na área emersa a cerca de 70km da linha de costa atual dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná, afloram os depósitos continentais paleogênicos inseridos no contexto do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini 1989, Riccomini & Coimbra 1992) (Fig. 1). Inicialmente denominado de Sistema de *Rifts* da Serra do Mar por Almeida (1976), este *rift* compreende os depósitos sedimentares mais expressivos da evolução geológica continental terciária da região sudeste do Brasil.

Na região sul do país os depósitos sedimentares continentais, provavelmente paleogênicos, apresentam-se com menor expressão em área e idades ainda incertas, podendo-se no entanto destacar as ocorrências das formações Tupaciretã e Santa Tecla (Horbach *et al.* 1986).

De modo geral, o estudo dos depósitos sedimentares mesozóico-cenozóicos situados na costa leste do Brasil tem sido, há várias décadas, conduzido e direcionado pela indústria petrolífera, tendo em vista os importantes reservatórios presentes na plataforma continental brasileira. Os trabalhos desenvolvidos, abrangendo diversos ramos das Geociências, permitem já um avançado grau de conhecimento da evolução destas unidades.

No entanto, os depósitos sedimentares continentais situados na área emersa adjacente à costa leste brasileira ainda carecem, em grande parte, de estudos geológicos básicos (estratigráficos e tectônicos) para a compreensão de suas origens. Nesse sentido, os depósitos do RCSB, por apresentarem-se no momento como aqueles melhor caracterizados em termos tectono-estratigráficos, exibirem história geológica vinculada às bacias da margem continental e conterem espessos pacotes sedimentares argilosos com cronologia conhecida, possibilitam o

estudo de seus argilominerais e a discussão de diferentes aspectos relacionados à sua gênese, dentro de um arcabouço evolutivo bem estabelecido.

Figura 1 - Quadro geológico e tectônico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil-RCSB (Melo *et al.* 1985a, Riccomini *et al.* 1996). 1) embasamento pré-cambriano; 2) sedimentos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná; 3) rochas relacionadas ao vulcanismo da Formação Serra Geral, em parte recobertas por sedimentos e, nesses últimos, algumas intercalações de lavas alcalinas; 4) rochas relacionadas ao magmatismo Mesozóico-Cenozóico (ver quadro no interior da figura; idades entre parênteses); 5) sedimentos terciários do RCSB; 6) zonas de cisalhamento relacionadas ao Ciclo Brasileiro - Pan-Africano, em parte reativadas pelo menos durante o Mesozóico e Cenozóico; 7) zonas de flexura; 8) isópacas, em quilômetros, dos sedimentos das bacias costeiras; 9) bacias do rift (1-Bacia de Curitiba, 2-Formação Alexandra e Graben de Guaraqueçaba, 3-Formação Pariquera-Açu, 4-Graben de Sete Barras, 5-Bacia de São Paulo, 6-Bacia de Taubaté, 7-Bacia de Resende, 8-Bacia de Volta Redonda, 9-Graben da Guanabara, 10-Bacia de Itaboraí, 11-Graben de Barra de São João).

1.2 Apresentação e localização da área de estudo

O *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) é uma feição tectônica de idade cenozóica presente no extremo oriental da região sudeste do Brasil, onde dispõe-se como uma estreita e deprimida faixa, alongada segundo a direção ENE, desenvolvida entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ), numa extensão de quase 900km (Riccomini & Coimbra 1992) (Fig. 1). O *rift* segue a linha de costa atual, da qual dista em média cerca de 70km, somente se aproximando do Oceano Atlântico em suas terminações sudoeste e nordeste, representadas, respectivamente, pela Formação Alexandra e *Graben* de Barra de São João.

Conforme apresentado por Riccomini & Coimbra (1992), o RCSB engloba as bacias de Resende, Volta Redonda e Itaboraí, *Graben* da Guanabara e *Graben* de Barra de São João no Rio de Janeiro; bacias de Taubaté e São Paulo, Formação Pariquêra-Açu e *Graben* de Sete Barras no Estado de São Paulo, e Bacia de Curitiba, Formação Alexandra e *Graben* de Guaraqueçaba no Paraná. Recentemente, Souza *et al.* (1996) reconheceram o *Graben* de Cananéia (SP) e Ferrari & Silva (1997) a Bacia do Macacu (RJ), ambos relacionados pelos autores ao RCSB.

Nas principais depressões, os depósitos sedimentares de idade paleogênica (Fig. 2) são representados: a) pela Formação Itaboraí (paleocênica), na bacia homônima; b) pelo Grupo Taubaté (eocênico-miocênico), com as formações Resende, Tremembé e São Paulo, aflorantes nas bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo; c) pela Formação Sete Barras (eocênica) no *graben* homônimo e d) pela Formação Guabirotuba (eocênica) na Bacia de Curitiba.

1.3 Objetivos e justificativas

Vários trabalhos já apontaram a ocorrência de esmectitas, anteriormente referidas como montmorillonitas, nas várias unidades litoestratigráficas paleogênicas do RCSB (*e.g.* Nicot & Visconti 1959, Paiva Netto & Nascimento 1956, Bigarella *et al.* 1961, Suguio 1969, Rodrigues

Francisco & Cunha 1978, Riccomini 1989). Na Bacia de Taubaté existem jazidas de esmectitas aproveitadas industrialmente, nas quais foram realizadas as primeiras pesquisas nas décadas de 60 e 70; estas pesquisas visavam apontar usos tecnológicos para estas argilas esmectíticas, sem contudo buscarem as relações genéticas e estratigráficas dos depósitos estudados (e.g. Paiva Netto & Nascimento 1956, Zandonadi 1972).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo o estudo da geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos sedimentos paleogênicos do RCSB, representados pelo Grupo Taubaté e formações Itaboraí, Sete Barras e Guabirotuba, visando a caracterização e o detalhamento do conhecimento destes argilominerais, bem como reconhecer as possíveis áreas fontes dos sedimentos argilosos no quadro paleogeográfico e paleoclimático da região durante o Paleógeno.

Adicionalmente, objetiva-se a caracterização das rochas carbonáticas que ocorrem associadas aos depósitos argilosos do RCSB, de modo a complementar o quadro geológico evolutivo da região onde estavam se originando estes argilominerais.

A partir dos conhecimentos mineralógicos e genéticos sobre os argilominerais esmectíticos, abundantes na área de estudo, pretende-se estabelecer parâmetros geológicos e mineralógicos que permitam melhor orientar o desempenho e o aproveitamento tecnológico destes minerais.

Os objetivos específicos da pesquisa compreendem:

- a) o reconhecimento e amostragem das litofácies dos depósitos sedimentares paleogênicos do RCSB, situados nas bacias de Itaboraí, Volta Redonda, Resende, Taubaté, São Paulo e Curitiba;
- b) reconhecimento dos grupos de argilominerais contidos nestes sedimentos paleogênicos;
- c) caracterização geológica, mineralógica e geoquímica das esmectitas;
- d) reconhecimento de associações mineralógicas envolvendo as esmectitas nos sedimentos paleogênicos do RCSB;
- e) caracterização das rochas carbonáticas associadas aos depósitos argilosos;

- f) elaboração de modelos genéticos para o grupo e/ou espécies da esmectita;
- g) tecer considerações sobre a evolução paleogeográfica e paleoclimática do RCSB no Terciário;
- g) reconhecer parâmetros geológicos e mineralógicos condicionantes do comportamento tecnológico das esmectitas.

Figura 2 - Quadro litoestratigráfico e evolução tectono-sedimentar do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini *et al.* 1996).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Rochas do embasamento do RCSB

O embasamento do RCSB é composto por um conjunto de rochas supracrustais, de baixo a médio grau metamórfico, e por rochas predominantemente gnáissico-migmatíticas, que constituem o substrato das supracrustais; corpos graníticos de diferentes gerações intrudiram posteriormente estas rochas. Os vários ciclos geotectônicos que afetaram o sudeste brasileiro no Pré-Cambriano causaram a deformação e o metamorfismo destas rochas em diferentes estilos e intensidades.

Regionalmente, o embasamento do RCSB está inserido no contexto do Cinturão Ribeira (Almeida *et al.* 1973), também denominado de Cinturão de Dobramentos Ribeira (Hasui *et al.* 1975). Hasui *et al.* (1978) e Schobbenhaus *et al.* (1984) referiram-se a esta área como Região de Dobramentos Sudeste, devido a sua posição na Plataforma Sul-Americana (Almeida *et al.* 1976), e Almeida & Hasui (1984) incluíram-na no setor central da Província da Mantiqueira do Escudo Atlântico.

Por apresentar importantes unidades litoestratigráficas e estruturas tectônicas, representativas da evolução geológica pré-cambriana, esta área já foi objeto de estudos de diversos pesquisadores, os quais dedicaram-se à caracterização petrológica, estratigráfica, estrutural e elaboração de modelos evolutivos. No entanto, devido à compartimentação estrutural da área em falhamentos regionais, que seccionam as unidades e impossibilitam a correlação lateral dos corpos, o quadro atual de conhecimentos abarca uma proliferação de denominações e seções estratigráficas locais, as quais dificultam a elaboração de um quadro geológico regional e mesmo a compilação dos dados petrológicos e geoquímicos disponíveis na literatura.

Porém, devido à imperativa necessidade da apresentação de um mapa geológico para o embasamento do RCSB, e sua utilização nos estudos genéticos dos argilominerais dos sedimentos terciários, optou-se pela compilação e integração dos seguintes produtos: 1) Mapa

Geológico do Projeto RADAMBRASIL, Folhas Rio de Janeiro e Vitória, escala 1:1.000.000 (Machado Filho *et al.* 1983); 2) Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, escala 1:1.000.000, do Departamento Nacional da Produção Mineral, Ministério das Minas e Energia (DNPM/MME), e 3) mapa geológico com a distribuição das unidades litoestratigráficas do sul do Estado de São Paulo e leste paranaense, escala 1:1.000.000, elaborado por Campanha (1991). Para o mapa geológico compilado (Fig. 3) foi elaborado um texto, baseado nas notas explicativas dos respectivos produtos utilizados, com o objetivo de apresentar as principais características dos macro-conjuntos litológicos constituintes do embasamento do RCSB, não existindo, portanto, preocupação com denominações estratigráficas estritamente locais.

As áreas em branco no mapa da figura 3 compreendem o embasamento das bacias do RCSB e correspondem a rochas gnáissico-migmatíticas de médio a alto grau metamórfico, as quais foram atribuídas diversas denominações e idades, conforme a região. Assim, no extremo leste da área (leste do Estado de São Paulo e Rio de Janeiro) estas rochas predominam e são denominadas de complexos Paraíba do Sul e Juiz de Fora, este último com predominância de granulitos (Machado Filho *et al.* 1983). Ao norte da Bacia de São Paulo a denominação é de Complexo Amparo e ao sul, nos estados de São Paulo e Paraná, são conhecidas como Complexo Costeiro. As idades são variadas, desde arqueana a neoproterozóica. Os gnaisses são os litotipos predominantes e contêm faixas máficas com biotita e/ou anfibólio (hornblenda) e leitos claros com quantidades variáveis de quartzo e feldspatos plagioclásio (oligoclásio-andesina) e alcalino (microclínio). Subordinadamente, ocorrem gnaisses granitóides, gnaisses granatíferos, rochas charnockíticas e lentes embutidas de quartzitos, calciossilicáticas, mármore, anfibolitos e rochas metabásicas.

Nas regiões ao norte, sudoeste e sul da Bacia de São Paulo é expressiva a ocorrência de metassedimentos diversos (Fig. 3, áreas em bege), de idade proterozóica, os quais foram submetidos a deformação por falhamentos regionais e metamorfismo na fácies xisto verde no Proterozóico Superior. Estes metassedimentos foram reunidos sob a designação de Grupo Açungui no Projeto RADAMBRASIL (Machado Filho *et al.* 1983) e correspondem

essencialmente a filitos (com sericita e quartzo) na região ao norte da Bacia de São Paulo e a xistos (muscovita xistos e muscovita-quartzo xistos), ao sul e sudoeste desta bacia. Em áreas restritas e intercalados nos filitos, ocorrem corpos lenticulares de metadolomitos, metamargas, quartzitos, rochas calciosilicáticas, metabásicas ou metaconglomerados, sendo predominantes os metadolomitos.

Os metassedimentos ao norte da Bacia de São Paulo foram denominados de Grupo São Roque por vários autores (e.g. Hasui 1975, Almeida *et al.* 1981, Schobbenhaus *et al.* 1984). Recentemente, Juliani (1993) separou estas litologias nos grupos Serra do Itaberaba, contendo seqüências vulcano-sedimentar, clasto-química e clástica, e São Roque, essencialmente clástico. Os metassedimentos situados ao sul e sudoeste da bacia foram reunidos nos Complexos Pilar e Embu por Hasui & Sadowski (1976), entendidos como pertencentes ao Grupo Açungui.

No Estado de São Paulo a designação de Complexo Embu foi reservada às rochas gnáissicas e migmatíticas, que contêm bandas micáceas xistosas, muitas vezes abundantes e caracterizando xistos (Machado Filho *et al.* 1983). As rochas desta unidade apresentam-se, a leste, como faixas estreitas intercaladas no Complexo Paraíba do Sul e, a oeste, em contato com os metassedimentos do Grupo Açungui (Fig. 3, áreas em marrom). As rochas mais características do Complexo Embu são gnaisses e migmatitos com bandas xistosas, formadas essencialmente por biotita, e bandas gnáissicas ou de mobilizados neossomáticos. A biotita associa-se normalmente a muscovita e hornblenda e constitui cristais bem formados; quartzo e feldspato ocorrem secundariamente nos níveis xistosos.

Em direção ao sul do Estado de São Paulo e ao Estado do Paraná, os metassedimentos do Grupo Açungui passam a predominar, como apresentado na figura 3. Ao norte da Bacia de Curitiba, Campanha (1991) individualizou diversas faixas de rochas metacarbonáticas proterozóicas, associadas a metapelitos e metapsamitos e correspondentes aos mármore dolomíticos das formações Itaiacoca e Capiçu, metacarbonatos impuros da Formação Água Clara e metacarbonatos do Subgrupo Lajeado. A Bacia de Curitiba está assentada

essencialmente sobre migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico e, em menor escala, sobre xistos da Formação Setuva.

Diversas suítes de rochas granitóides, comumente de idade proterozóica superior, são intrusivas no embasamento pré-cambriano da região sudeste do Brasil, podendo ser caracterizadas como suítes pré-, sin- ou pós-tectônicas em relação aos falhamentos regionais. Em geral são compostas por uma grande diversidade de rochas, constituindo-se em associações litológicas complexas (Machado Filho *et al.* 1983).

Ao sul da Bacia de Curitiba ocorrem ainda as bacias tectônicas de Guaratubinha e Camarinha de idade neoproterozóica e preenchidas com sedimentos molassóides e rochas vulcânicas, afetados por metamorfismo incipiente a fraco.

Na região meridional da Plataforma Brasileira são reconhecidas cerca de uma centena de intrusões de rochas alcalinas mesozóicas, sendo importantes na área das bacias terciárias do RCSB as províncias Serra do Mar e Arco de Ponta Grossa (Almeida 1983).

Na Província Serra do Mar ocorrem cerca de trinta intrusões isoladas (Morbidei *et al.* 1995), destacando-se como as maiores os maciços de Itatiaia (idade média K/Ar de 73Ma, Lauar 1988) e Passa Quatro (idade Rb/Sr de $70,3 \pm 0,5$ Ma, Lauar 1988), compostos essencialmente por nefelina sienitos. Dentre as ocorrências de rochas caracteristicamente vulcânicas, têm-se os derrames de lavas ankaramíticas intercaladas em sedimentos da Bacia de Volta Redonda, datados de 42Ma (Riccomini *et al.* 1983), e em sedimentos da Bacia de Itaboraí (Klein & Valença 1984), com idade de 53Ma (Riccomini & Rodrigues Francisco 1992), além da alcalina de Nova Iguaçu (Klein 1992).

Figura 3 - Quadro geológico regional simplificado do extremo leste da região sudeste do Brasil. Baseado em DNPM (1979), Machado *et al.* (1983) e Campanha (1991). 1) Rochas gnáissico-magmatíticas de médio a alto grau metamórfico; 2) Rochas metassedimentares e metavulcânicas de baixo grau metamórfico; 3) Rochas metassedimentares e metavulcânicas de baixo a médio grau metamórfico; 4) Rochas metassedimentares com participação expressiva de metacalcários; 5) Granitóides diversos; 6) Sequências molassóides; 7) Rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná; 8) rochas relacionadas ao magmatismo Mesozóico-Cenozóico; 9) Depósitos sedimentares terciários do RCSB; 10) sedimentos quaternários; 11) zonas de cisalhamento relacionadas ao Ciclo Brasileiro-Pan-Africano; 12) Cidades (CB - Curitiba, SP - São Paulo, TB - Taubaté, RE - Resende, RJ - Rio de Janeiro).

O Maciço do Morro Redondo, com área de 15km², encontra-se encaixado em gnaisses e quartzitos, e corresponde em sua maioria a sienitos (Brotzu *et al.* 1989).

Na Província Arco de Ponta Grossa, com influência na região da Bacia de Curitiba e dos depósitos do sul do Estado de São Paulo, ocorrem cerca de quinze intrusões alcalinas, sendo o Maciço de Jacupiranga (131±3Ma, segundo Amaral 1978 e Roden *et al.* 1985) o de maior expressão em área, com 65km². Predominam rochas alcalinas de filiação gabróide e ultramáfica, ocorrendo uma grande variedade de tipos litológicos, incluindo carbonatitos, como em Jacupiranga, Juquiá-Serrote, Barra do Itapirapuã e Mato Preto. Outras intrusões têm natureza félsica, subsaturada a saturada, como os maciços de Tunas, Banhadão, Cananéia, Barra do Teixeira, Sete Quedas, Barra do Rio Ponta Grossa e Mato Preto.

2.2 O Rift Continental do Sudeste do Brasil

2.2.1 Bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo

As bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo constituem a porção mais expressiva do Rift Continental do Sudeste do Brasil por conterem a maior área de exposição dos sedimentos terciários.

Mawe (1812) fez a primeira referência aos sedimentos da Bacia de São Paulo e Pissis (1842a,b) descreveu e correlacionou os sedimentos das bacias de Taubaté e São Paulo. A partir deste reconhecimento, diversos trabalhos se seguiram, tendo os autores se dedicado à definição de unidades estratigráficas (e.g. Moraes Rego 1933, Almeida 1958, Mezzalira 1962, Suguio 1969, Amador 1975, Carneiro *et al.* 1976, Hasui & Ponçano 1978) e à compreensão dos processos sedimentares geradores dos depósitos, baseando-se principalmente em aspectos sedimentológicos, paleontológicos e geomorfológicos (e.g. Suguio 1969, Amador 1975).

Na década de 80, os trabalhos do IPT (1983), Melo *et al.* (1985a,b) e Riccomini *et al.* (1985) propuseram uma revisão estratigráfica para as bacias de Resende e Volta Redonda,

tendo por base estudos estratigráficos, geomorfológicos e tectônicos, e amparando-se em análises sedimentológicas, mineralógicas, paleontológicas e geocronológicas.

Em estudo mais recente, Riccomini (1989) caracterizou as bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo quanto a litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar, a partir do estudo de fácies e sistemas deposicionais, associado à identificação de estruturas tectônicas geradoras e deformadoras dos depósitos. O autor apresentou um quadro da evolução tectono-sedimentar do *rift*, composto, na base, pelo Grupo Taubaté, com as formações Resende, Tremembé e São Paulo, sobreposto pela Formação Itaquaquecetuba, e tendo no topo a Formação Pindamonhangaba (Fig. 2). Estes sedimentos são recobertos por depósitos colúvio-aluviais quaternários (Salvador 1994), já dissociados da evolução terciária da bacia.

As formações terciárias, em geral, apresentam maior expressão na Bacia de Taubaté, ressaltando-se que a Formação Itaquaquecetuba tem área de ocorrência restrita à Bacia de São Paulo e a Formação Pindamonhangaba está presente apenas na Bacia de Taubaté. Deve-se ainda salientar que esta estratigrafia foi proposta para as bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo, onde estiveram concentrados os trabalhos de Riccomini (1989). Nestas bacias o autor reconheceu cinco sistemas deposicionais, os quais foram relacionados a distintas unidades litoestratigráficas, conforme segue:

a) Formação Resende: compreende um sistema de leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, contendo as seguintes litofácies:

- 1) diamictitos e conglomerados polimíticos, ocasionalmente monomíticos, contendo seixos a matacões em geral angulosos a subarredondados, matriz lamítica e arenosa arcoseana e de coloração esverdeada. Estes sedimentos foram depositados em sistema de leques aluviais proximais por processos de fluxo gravitacional, e geralmente exibem gradação normal ou inversa e acunhamento em direção ao eixo deposicional da bacia;

- 2) lamitos arenosos a argilosos, de coloração esverdeada, constituindo corpos tabulares, representativos das porções distais dos leques aluviais;
- 3) arenitos grossos a médios, mal selecionados, com estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, constituindo corpos tabulares de espessuras métricas a decimétricas, representativos da sedimentação em planície aluvial de rios entrelaçados. Localmente intercalam-se níveis conglomeráticos com seixos de quartzo, feldspato e rochas do embasamento, exibindo gradação normal ou inversa. No contato de depósitos de arenitos e lamitos podem ocorrer diques clásticos arenosos nos sedimentos lamíticos, sendo interpretados como produtos de atividade sísmica sinsedimentar (Riccomini 1989);
- 4) sedimentos siltico-argilosos, laminados, com abundante matéria-orgânica, tendo cor acinzentada, quase preta, representantes de sedimentação em pequenos lagos interlobos de leques aluviais;
- 5) associados aos sedimentos lamíticos arenosos a argilosos ocorrem calcários calcíticos (calcretes) desenvolvidos como crostas duras, nódulos, camadas decimétricas a métricas, ou preenchimento de rachaduras de ressecção de espessura centimétrica. Coimbra & Riccomini (1985) consideraram os calcretes como produto da exposição subaérea dos lamitos ressecados em clima semi-árido, cuja forma da crosta originada estaria ligada à granulação do sedimento. Riccomini (1989) interpretou-os como prováveis horizontes pedogenéticos tipo *caliche*. Associados às ocorrências de calcrete das bacias de Curitiba e Taubaté, esta última na região de Santa Isabel (SP), foram encontrados cristais de lantanita-(Nd) descritos respectivamente por Coutinho (1955) e Coimbra *et al.* (1989). Riccomini & Coimbra (1992) referiram-se à presença de crostas duras carbonáticas na Bacia de São Paulo, em obras da Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ na região do Tucuruvi, norte da Cidade de São Paulo.

A seção-tipo da Formação Resende está exposta na Rodovia Presidente Dutra, km 145, Município de Resende (RJ), tendo sido descrita inicialmente por Amador (1975) (Fig. 4A). A unidade apresenta distribuição generalizada em todas as bacias, sendo representativa da sedimentação que acompanhou os eventos tectônicos geradores do *rift*. Assim, sua associação de fácies de leques aluviais proximais ocupa as posições basais e laterais nas bacias, em estreita relação com as zonas de falhas que limitam as depressões; nas porções mais interiores das bacias predominam os sedimentos lamíticos arenosos e arenitos, estes depositados nas planícies fluviais de rios entrelaçados.

Lima & Amador (1985) estudaram o conteúdo palinológico de uma camada de linhito da Formação Resende, aflorante na bacia homônima, e dataram a unidade do Eoceno Superior. A mesma idade foi atribuída para os folhelhos do *Graben* Casa de Pedra, na Bacia de Volta Redonda, por Lima *et al.* (1994). Yamamoto (1995) também apontou o período de tempo entre o Neo-Eoceno e o Oligoceno para deposição da Formação Resende.

Lima & Melo (1994) propuseram formalmente a Formação Itatiaia para designar os depósitos rudáceos de leques aluviais proximais, aflorantes na borda sul do Maciço de Itatiaia, e restringiram a designação de Formação Resende para os sedimentos finos de planície aluvial de rios entrelaçados, incluindo, localmente, lamitos de leques aluviais distais. O estudo palinológico realizado pelos autores em linhito intercalado nos depósitos rudáceos fornecem idade oligocênica para estes sedimentos.

b) Formação Tremembé: compreende um sistema lacustre do tipo *playa-lake* disposto na porção central da Bacia de Taubaté e em pequena ocorrência na parte centro-norte da Bacia de São Paulo (Riccomini & Coimbra 1992), sendo considerada sua seção-tipo o intervalo entre 3,5 e 170m da sondagem nº 42 do Conselho Nacional do Petróleo (CNP) (Fig. 4B). A formação é composta por:

- 1) argilitos verdes, maciços, fossilíferos, às vezes, exibindo gretas de contração ou contendo concreções calcíferas decimétricas. Esta fácies ocupa grande parte da

porção central de Bacia de Taubaté, região de Caçapava-Tremembé-Pindamonhangaba, e representa a sedimentação em épocas de lâmina de água baixa no lago;

- 2) folhelhos, localmente papiráceos e fossilíferos e às vezes pirobetuminosos, representantes da sedimentação lacustre com lâmina de água espessa;
- 3) dolomito com textura microesparítica (dolomicroesparito) e coloração verde-acinzentada clara, constituindo banco tabular e contínuo, de espessura decimétrica, interpretado como depósito de fase de hipersalinidade do lago;
- 4) ritmitos com alternância de lâminas ou camadas centimétricas de folhelhos e margas, estas formadas em águas rasas e salinas. As margas são ricas em ostracodes e podem gradar para calcários;
- 5) arenitos grossos, arcoseanos e conglomeráticos, por vezes constituindo conglomerados polimíticos, em camadas decimétricas e com seixos de argila na base. Apresentam gradação normal para arenitos quartzosos finos, com estratificações cruzadas de pequenos porte, ocorrendo, no topo, siltitos bioturbados e siltitos e argilitos com gretas de contração. Ocorrem como camadas de geometria tabular, com grande persistência lateral, espessuras decimétricas a métricas e base erosiva. Estes sedimentos representam inunditos originados por processos do tipo *sheet-flood*, por ocasião de enchentes esporádicas.

As fácies de argilitos verdes maciços, folhelhos e calcários dolomíticos apresentam área de ocorrência significativa na porção central da Bacia de Taubaté. Os arenitos finos a médios com estratificações cruzadas, depositados em leques deltáicos chegando no lago, foram descritos por Riccomini (1989) exclusivamente na borda norte da Bacia de Taubaté.

Análises palinológicas efetuadas por Lima *et al.* (1985a) em amostras de folhelhos pirobetuminosos da Formação Tremembé, provenientes da sondagem nº 42 do CNP, e por Yamamoto (1995) indicaram idade oligocênica para esta unidade. Inúmeros trabalhos de cunho

paleontológico já foram realizados acerca do rico conteúdo fossilífero da Formação Tremembé, tendo sido descritos, até o momento, restos de folhas e troncos de angiospermas, espículas de esponjas, tubos de vermes, gastrópodes, ostracodes, crustáceos, insetos (lepidóptera), peixes, aves, répteis (crocodilianos e quelônios) e mamíferos (quirópteros, taxodontídeos, roedores) (Mezzalana 1989).

c) Formação São Paulo: compreende um sistema fluvial meandrante, presente nas bacias de São Paulo, Resende e porção sudoeste da Bacia de Taubaté. Seu holoestratótipo localiza-se na Bacia de São Paulo, situando-se abaixo da caixa d'água da Rua Heitor Penteado, Vila Jataí (SP) (Fig. 4C), tendo sido inicialmente descrito por Suguio & Barbour (1969). À esta formação pertencem:

- 1) arenitos grossos, conglomeráticos, com estratificações cruzadas, base erosiva e presença de clastos argilosos, representantes de depósitos de canais meandrantess;
- 2) siltitos e argilitos laminados, às vezes, fossilíferos (linhitos), depositados em meandros abandonados;
- 3) arenitos médios a grossos como sedimentos de rompimento de diques marginaiss, gradando para sedimentos mais finos, rítmicos e laminados de planície de inundação.

Riccomini (1989) considerou os linhitos aflorantes na região de Guararema, SP, como fácies de meandros abandonados (*oxbow lakes*), integrantes da Formação São Paulo. A análise palinológica desses linhitos, efetuada por Lima *et al.* (1985b), apresentou idade oligocênica superior para estes depósitos, posteriormente corroborada por Yamamoto (1995). A Formação São Paulo marca o término da sedimentação do Grupo Taubaté, em período de relativa calma tectônica, quando ainda estavam interligadas as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda (Riccomini 1989).

Acima do Grupo Taubaté ocorrem as formações Itaquaquecetuba (Coimbra *et al.* 1983, Riccomini & Coimbra 1992), representativa de um sistema fluvial entrelaçado com sedimentos

restritos à área da Bacia de São Paulo, e Pindamonhangaba (Riccomini 1989, Mancini 1995), correspondente a um sistema fluvial meandrante de ocorrência restrita à porção central da Bacia de Taubaté.

Marques (1990), a partir da análise de seções sísmicas levantadas na Bacia de Taubaté, individualizou seis depocentros nesta bacia, com espessuras variando de 500 a 850m, e interpretou duas unidades sísmicas, A e B, provavelmente separadas por um *sill* de diabásio e correspondentes, respectivamente, a pacotes clásticos grossos e sedimentos pelítico-psamíticos.

Fernandes (1993), através da sísmica de reflexão e da gravimetria, reconheceu a forma tridimensional do topo do embasamento da Bacia de Taubaté e propôs a divisão da coluna sedimentar desta bacia em cinco unidades sísmicas, as quais representam variações verticais de refletores sísmicos e foram designadas, da base para o topo, de A, B, C, D e E. As unidades A e B foram descritas como prováveis registros de sedimentação flúvio-lacustre; as unidades C e D como sedimentos lacustres, e a unidade E correspondente aos depósitos de leques aluviais da Formação Resende.

— Campanha (1994), baseando-se no conceito de seqüência estratigráfica de Vail *et al.* (1977), no qual os eventos deposicionais são relacionados a variações globais do nível do mar, propôs, informalmente, cinco seqüências deposicionais para os depósitos da Bacia de Taubaté, designadas, da base para o topo, de Seqüências Basal, Tremembé, Taubaté, Pindamonhangaba e Vale do Paraíba.

Figura 4 - Seções-tipo das unidades terciárias do RCSB:

- (A) Formação Resende (Amador 1975, Melo *et al.* 1985): 1) sedimento arenoso com seixos e grânulos, estratificação cruzada planar, nível de seixos na base dos bancos e estratos cruzados, elementos grossos representados por quartzo, feldspatos (não alterados), sienito e rochas do embasamento; 2) argila arenosa sem elementos grossos, com estratificação plano paralela; 3) sedimento conglomerático, com seixos e grânulos arredondados de rochas do embasamento e dos maciços alcalinos; abundante material arenoso grosso; estratificação cruzada planar; níveis de seixos imbricados; diastema na base, com retrabalhamento da camada inferior; 4) argila arenosa com alguns grânulos; 5) semelhante a (1); 6) semelhante a (2); 7) semelhante a (1), elementos grossos menos freqüentes; 8) silte argiloso sem elementos grossos, com estratificação planoparalela; 9) sedimento conglomerático muito alterado, semelhante a (3), com estratificação planoparalela menos visível; diastema e retrabalhamento da camada inferior na base; presença de lentes argilo-arenosas; 10) seixos e blocos arredondados de quartzito, pouca matriz arenosa; nível de terraço recente; 11) colúvio arenoso.
- (B) Formação Tremembé (Riccomini 1989): 1) lamitos, a largura da coluna indica a dimensão dos maiores clastos presentes; 2) areias grossas; 3) siltitos; 4) argilitos; 5) folhelhos; 6) folhelhos papiráceos; 7) dolomitos; 8) calcretes calcíticos; 9) cobertura colúvio-aluvial; 10) estruturas "flame"; 11) gretas de contração; 12) bioturbações.
- (C) Formação São Paulo (Suguio & Barbour 1969, Riccomini 1989): 1, 3, 10, 11 - arenito argiloso; 2, 5, 7 - arenito mais puro; 4 - argilito siltico-arenoso; 8 - siltito argiloso; 6, 9 - argilito siltico. Presença de pelotas de argila a 2,5m; (1) camada de arenito com cimento limonítico; (2) camadas limoníticas anastomosadas; (3a e 3b) crostas de concreções limoníticas botrioidais; (4) siltito argiloso limonitizado.

2.2.2 Bacia de Itaboraí

A Bacia de Itaboraí é sobejamente conhecida na literatura brasileira por seus sedimentos carbonáticos explorados economicamente durante cinco décadas e, principalmente, por seu rico conteúdo fossilífero. A bacia é uma pequena depressão de forma elíptica, com cerca de 1500m de comprimento e 500m de largura, encontrando-se encravada em terrenos granito-gnáissicos.

Geologia

As rochas sedimentares da Bacia de Itaboraí foram inicialmente descritas por Leinz (1938), que individualizou três litotipos principais:

- a) calcário fitado, puro, de coloração avermelhada intercalada com faixas esbranquiçadas, contendo exclusivamente calcita grossa, crescida como prismas de 5 a 10mm de comprimento, perpendiculares ao bandamento. Constitui bancos centimétricos, irregulares e lenticulares e, localmente pode passar para calcário oolítico (oolitos de 2 a 3mm). A ritmicidade e a irregularidade dos leitos permitiu ao autor afirmar que este calcário não se formou em condições de calmaria e com sedimentação contínua, tendo sido então interpretados como produto de sedimentação nas bordas da bacia, a partir de fontes vadosas ricas em bicarbonato de cálcio, cujas águas seriam hidrotermais; o autor relacionou este hidrotermalismo às últimas fases do magmatismo alcalino de Itatiaia e Poços de Caldas;
- b) calcário cinzento, maciço, contendo calcita fina, minerais detríticos (quartzo, feldspato, mica e material argiloso) com granulação de 0,01 a 3mm, e blocos métricos e angulosos de calcário fitado. Estes sedimentos, originados em ambiente lacustre, exibem contatos irregulares com os níveis de calcário fitado e passam gradualmente para litologias essencialmente detríticas;
- c) sedimento eluvial, maciço, constituído por seixos a blocos, em geral angulosos, de rochas do embasamento, e seixos de quartzo, feldspato, muscovita e biotita, imersos em matriz arenosa a argilosa. Esta unidade, originada por torrentes eluviais de lama, constitui o topo da

seqüência sedimentar, podendo atingir 10 a 20m de espessura, encontrando-se, ainda, intercalados nos calcários cinzentos.

O autor representou estas litologias em um perfil geológico norte-sul (Fig. 5A). As descrições litológicas e o modelo genético apresentados por Leinz (1938) para a Bacia de Itaboraí foram reafirmados por quatro décadas nos trabalhos que se seguiram. Este modelo permite visualizar corpos sedimentares com contatos interdigitados e uma evolução geológica completa, desde o início da sedimentação do calcário fitado nas bordas da bacia, o desenvolvimento do ambiente lacustre e o gradual afogamento deste por leques aluviais.

Ruellan (1944) admitiu a vigência de movimentos diastróficos pós-sedimentares, os quais teriam inclinado as camadas sedimentares, com direção geral N62E, em cerca de 30° para SE, e inferiu uma falha com traçado retilíneo na borda sul da bacia.

Beurlen & Sommer (1954) confirmaram a existência de falhamentos na Bacia de Itaboraí, aos quais foram atribuídos a inclinação dos sedimentos em torno de 25-30°, a maior espessura de sedimentos calcários junto a falha ENE na borda sul da bacia, o fraco desenvolvimento dos sedimentos eluviais ao longo deste limite meridional e a "milonitização" dos calcários e dos gnaisses nas vizinhanças desta falha. Tendo em vista a escassez de depósitos eluviais na borda sul da bacia, região de alto declive, estes autores concluíram ainda que a forma atual da bacia não corresponderia a original, faltando sua parte meridional devido a um soerguimento tectônico deste bloco, seguido de erosão dos sedimentos. Para a origem do calcário, Beurlen & Sommer (1954) corroboraram a proposta de hidrotermalismo de Leinz (1938), inferindo a presença de lentes de mármore intercaladas no embasamento gnáissico, fato posteriormente comprovado por sondagens (Ferreira & Coelho 1971). Para Beurlen & Sommer (1954) as águas termais teriam fluido através da grande falha ENE, possivelmente originada pelas atividades tectônicas do vale de afundamento Campo Grande-Guanabara-Rio Bonito (Freitas 1951); sugerindo possíveis dissoluções nas rochas do embasamento e formação de cavidades subterrâneas, os autores invocaram processos de dolinamento para a formação da bacia sedimentar.

Brito *et al.* (1972) caracterizaram petrograficamente as rochas do embasamento da bacia, descrevendo gnaisses de granulação fina, formados por bandas biotíticas alternadas a bandas quartzo-feldspáticas (plagioclásio e microclínio), e mármore com cor clara, granulação grossa e contendo calcita, pouco piroxênio (diopsídio) e ocasionais cristais de pirita, além de porções restritas de cor escura e com calcita microcristalina. Os autores apresentaram um perfil geológico esquemático (Fig. 5B), tendo na base os mármore do embasamento, e acima os sedimentos da bacia com os depósitos de calcário fitado na porção basal, sendo cortados pelos canais de dissolução preenchidos com margas, e, acima, níveis de calcários cinzentos com gastrópodes intercalados a leitos de calcários fitados; no topo da sequência sedimentar ocorrem os sedimentos eluviais, associados, no mesmo nível, com cascalheiras.

Palma & Brito (1974), em seu perfil estratigráfico da bacia (Fig. 5C), apresentaram também, na base da sequência, calcários fitados cortados por canais de dissolução, preenchidos com margas, sendo sobrepostos por banco de calcário cinzento; acima, sucedem-se leitos de calcários argilosos, contendo seixos de gnaiss, feldspato e quartzo, alternados a níveis de calcários fitados. No topo ocorre banco espesso de calcário argiloso com seixos, recoberto por sedimentos eluviais, associados a cascalheiras. Para o calcário argiloso com seixos os autores atribuíram origem por enxurrada.

Rodrigues Francisco & Cunha (1978) apresentaram vários perfis estratigráficos levantados na Bacia de Itaboraí e classificaram as rochas sedimentares em dois grupos, sendo um deles o das rochas de origem química e o outro das rochas com elementos detríticos. Os autores atribuíram origem química para: a) o calcário fitado de Leinz (1938), denominado de calcário travertino; b) calcário botrioidal, poroso, classificado como "tufo"; c) calcário oolítico; d) silexito, formado por alteração hidrotermal dos calcários, os quais foram totalmente substituídos por sílica. Foram classificadas como rochas de origem detrítica: a) o calcário cinzento, contendo detritos minerais; b) as margas dos canais de dissolução, que contêm feldspato, mica branca e argila verde, além de clastos de calcários; c) folhelhos, associados a níveis linhíticos; d) brechas calcárias e calcários brechóides. Rodrigues Francisco & Cunha (1978), em seu estudo

estratigráfico da bacia, posicionaram, na base da seqüência sedimentar, um calcário argiloso com restos de gastrópodes, sendo sobreposto por calcários travertinos e “tufos” intercalados a leitos de calcários argilo-arenosos contendo seixos. Na margem noroeste da bacia os autores destacaram que o calcário argiloso passa para litotipos de granulação mais grossa, exibindo granodecrescência ascendente, podendo ainda ocorrer sedimentos rudáceos intercalados aos calcários travertinos. No topo da seqüência ocorrem sedimentos clásticos, correspondendo aos eluviões de Leinz (1938) e às cascalheiras com fósseis pleistocênicos. Para estes autores a história geológica da bacia inicia-se com a formação do vale de afundamento Campo Grande-Guanabara-Rio Bonito e a deposição de calcários argilosos cinzentos em dolina formada pela carstificação do embasamento, devido à exposição dos mármore. Seguiu-se novo evento tectônico na borda sul da depressão e formação de sedimentos essencialmente carbonáticos, correspondentes aos pacotes de calcário travertino, de origem hidrotermal. Sedimentos detríticos continuavam a chegar na bacia, sendo sua abundância controlada por variações climáticas. Enxurradas torrenciais foram responsáveis pelo carreamento de gastrópodes para a bacia, deposição de brechas e turbulência nas águas da bacia gerando estruturas sedimentares gradativas e oólitos. Nesta época, reativações de fraturamentos e falhamentos permitiram a silicificação de parte dos sedimentos. Após o preenchimento da bacia, uma nova fase erosiva cárstica originou canais e galerias, os quais foram preenchidos por material argiloso carbonático contendo restos de vertebrados fósseis. A tectônica pós-sedimentar promoveu o basculamento das camadas sedimentares e, após novo evento erosivo, depositaram-se coberturas eluviais, contendo restos de vertebrados pleistocênicos.

Klein & Rodrigues Francisco (1981) caracterizaram pequenas lentes contendo bolas de areia, presentes na seqüência de calcários fitados; as lentes exibem extensões métricas, no máximo 3m, e as bolas de areia são ligeiramente elípticas, têm em média 10cm no seu eixo maior, apresentam a base plana e possuem uma fina camada de argila envolvendo-a. O estudo mineralógico destas argilas, via difração de raios X, revelou a contribuição de montmorillonita e halloysita.

Tibana *et al.* (1984) descreveram nódulos e crostas de *caliche* nos sedimentos terrígenos e, baseando-se no estudo de fácies e ambientes deposicionais, apresentaram um modelo de leques aluviais para os depósitos terrígenos da bacia, os quais foram gerados por processos de fluxo de lama e detritos, em episódios torrenciais, de alta competência e curta distância de transporte.

Klein & Valença (1984) descreveram um derrame de lava ankaramítica, com estrutura almofadada preservada, na borda norte da bacia. O derrame foi alimentado por um dique tabular de direção N45E, com cerca de 10m de espessura e 150m de extensão, que corta as rochas do embasamento, conglomerado basal e a seqüência de calcários de idade paleocênica. Riccomini & Rodrigues Francisco (1992) dataram a lava ankaramítica de Itaboraí, pelo método K/Ar, obtendo idade de $52,6 \pm 2,4$ Ma, correspondente ao Eoceno Inferior a Médio.

Hessel *et al.* (1993) referiram-se à presença de *sinter* como preenchimento de cavidades de dissolução nos calcários da bacia.

Paleontologia

A Bacia de Itaboraí é há muitas décadas reconhecida como um dos mais ricos depósitos fossilíferos do Cenozóico brasileiro. Desde a descrição do primeiro achado, uma coleção de gastrópodes (Maury 1929, 1935), muitos fósseis foram referenciados na literatura. No entanto, três associações fossilíferas principais podem ser sumarizadas:

- a) a associação mais jovem, de idade pleistocênica, é representada por restos de vertebrados (mamíferos e répteis) fósseis contidos em cascalheira depositada diretamente sobre o embasamento e descritos na borda sul da bacia por Price & Campos (1970);
- b) a segunda associação, atribuída ao Terciário, mas com idade ainda muito discutida na literatura, é constituída por gastrópodes continentais presentes nos calcários cinzentos (e.g. Maury 1935, Mezzalana 1946, Ferreira & Coelho 1971, Palma & Brito 1974), e por restos vegetais, incluindo folhas (Magalhães 1948) e sementes (Magalhães 1950, Beurlen & Sommer 1954);

PERFIL A

PERFIL B - 1) aluvio e cascalheira com ossadas pleistocênicas; 2) calcário fitado com oólitos; 3) calcário com gastrópodes, fósseis e oólitos; 4) calcário fitado; 5) canais de dissolução preenchidos por margas com vertebrados do Paleoceno.

PERFIL C - 1) aluvio; 2) cascalheira local com ossadas pleistocênicas; 3) calcários argilosos com seixos de gnaiss, feldspato e quartzo; 4) calcários fitados, puros, superiores; 5) calcários cinza e amarelados, com pequenos fragmentos de minerais detríticos com fósseis de gastrópodes continentais e esparsas concentrações de oólitos; 6) calcários fitados, puros, inferiores; 7) canais de dissolução preenchidos por margas, com vertebrados do Paleoceno; 8) calcário cristalino; 9) gnaiss em contato de falha.

Figura 5 - Perfis geológicos esquemáticos da Bacia de Itaboraí apresentados por Leinz (1938) (perfil A), Brito *et al.* (1972) (perfil B) e Palma & Brito (1974) (perfil C).

c) a terceira associação, talvez a mais significativa descoberta devido ao seu caráter cronológico, compreende uma fauna de vertebrados, constituída principalmente por mamíferos primitivos (Price & Paula Couto 1946). Paula Couto (1949) descreveu o local de coleta do material como um depósito margoso, amarelado ou acinzentado, que preenchia galerias subterrâneas do calcário, representativas de antigos cursos d'água subterrâneos. O sedimento margoso, fossilífero, teria sido ali depositado pelas águas, como produto de erosão dos próprios sedimentos calcários e das rochas do embasamento que circundam a bacia. Paula Couto (1952a,b,c,d) esclareceu que os vertebrados fósseis se encontravam nos canais de dissolução que cortam o calcário com gastrópodes e comparou esta fauna aos fósseis da Formação Rio Chico da Patagônia, atribuindo idade paleocênica superior para os depósitos da Bacia de Itaboraí. Mais recentemente, Marshal (1985) propôs a criação do andar Itaboraiense, correspondente a base do andar Riochiquense da Argentina, para a fauna de vertebrados fósseis presentes em canais de dissolução nos calcários da Bacia de Itaboraí.

Brito *et al.* (1972) descreveram oólitos com núcleos compostos por grãos minerais (quartzo, feldspato), fragmentos líticos, pedaços de outros oólitos e, por vezes, oólitos aparentemente sem núcleo, os quais podem ser encontrados nos calcários cinzentos. As camadas oolíticas são formadas por calcita microcristalina, podendo alternar-se camadas claras de granulação mais grossa e escuras mais finas; os oólitos têm granulação homogênea e flutuam no sedimento. Menezes & Curvello (1973) detalharam a petrografia deste oólitos.

Lima & Cunha (1986) efetuaram a análise palinológica de um nível linhítico presente na borda norte da Bacia de Itaboraí. Os autores ressaltaram que todos sedimentos do afloramento estudado, inclusive o linhito, portavam fósseis de gastrópodes, situando a seção na parte média da seqüência sedimentar. Esta descrição permite interpretar que o afloramento analisado pelos autores corresponde a um dos leitos de sedimentos eluviais intercalados no pacote de calcários cinzentos. A idade sugerida para o conjunto situa-se no limite Paleoceno-Eoceno. Riccomini & Rodrigues Francisco (1992) situam este nível linhítico abaixo do derrame ankaramítico.

2.2.3 Graben de Sete Barras

A Formação Sete Barras preenche o *graben* homônimo, de direção N50E, e compreende um sistema de leques aluviais marginais e coalescentes, associados aos falhamentos de borda da bacia, no qual foram depositados sedimentos rudáceos (para e ortoconglomerados), lamitos e arenitos, com clastos polimíticos, de coloração cinzenta e exibindo granodecrescência ascendente e discreta estratificação plano-paralela nos conglomerados e arenitos de topo. Esta sedimentação é contemporânea a um paleolago central, onde depositaram-se argilitos siltosos (Melo 1990). As litologias da Formação Sete Barras foram correlacionadas àquelas das bacias de Taubaté e São Paulo por Melo (1990), sendo o preenchimento sedimentar admitido como cogenético e contemporâneo nestas depressões, e atribuída a idade eocênica-oligocênica.

2.2.4 Bacia de Curitiba

Os sedimentos da Bacia de Curitiba, no Estado do Paraná, foram descritos inicialmente por Bigarella & Salamuni (1957), como argilitos de coloração cinzenta e arenitos arcoseanos, representativos de depósitos fluviais e lacustres, de idade pleistocênica e espessura da ordem de 100m.

Bigarella *et al.* (1961), a partir de estudos geomorfológicos na área da Bacia de Curitiba, apontaram ambientes de leques aluviais coalescentes junto a planícies fluviais para formação dos sedimentos arenosos, associados a sistema lacustre (*playa*) para os argilitos e siltitos. Os autores referiram-se a vestígios de regolitos pretéritos ainda conservados nas porções periféricas da bacia. Bigarella & Salamuni (1962) nomearam os depósitos de Formação Guabirota, compreendendo argilas, areias, conglomerados e margas associados a sistema de leques aluviais.

Mais recentemente, Coimbra *et al.* (1996) propuseram a designação de Formação Piraquara para os sedimentos argilosos ocorrentes próximo à localidade homônima, capeando

a Formação Guabirotuba. Os autores atribuíram origem em sistema fluvial meandrante para estes argilitos, correlacionando-os com a Formação São Paulo de idade miocênica.

2.2.5 Estrutura e tectônica do RCSB

O modelo tectônico para a origem e evolução do RCSB (Fig. 1) engloba fases tectônicas distintas, correspondentes a campos de esforços com diferentes orientações (Riccomini 1989, Salvador & Riccomini 1995), conforme segue:

- a) Paleógeno: extensão NNW-SSE resultando na formação da depressão original do *rift*, com concomitante preenchimento vulcano-sedimentar, representado pelo Grupo Taubaté;
- b) Neógeno (Mioceno?): transcorrência sinistral de direção E-W, com extensão NW-SE e, localmente, compressão NE-SW, com geração das soleiras de Arujá e Queluz, e separação das drenagens dos rios Tietê e Paraíba do Sul;
- c) Plioceno (?) a Pleistoceno Inferior: fase tectonicamente estável com a implantação do sistema fluvial meandrante da Formação Pindamonhangaba;
- d) Pleistoceno Superior: inicialmente com estabilidade tectônica, seguida de nova fase de transcorrência, agora dextral, com compressão NW-SE e geração de soleiras locais (Alto Estrutural de Caçapava, Alto Estrutural de Resende, Soleira de Floriano-Barra Mansa, e do alto estrutural que separa a Bacia de Volta Redonda do *Graben* de Casa de Pedra);
- e) Holoceno: extensão NW-SE, afetando depósitos de baixos terraços do Rio Paraíba do Sul;
- f) Atual: campo de tensões indicando compressão E-W, afetando depósitos coluviais, colúvio-aluviais e aluviais.

2.2.6 Geomorfologia do RCSB

Diversas superfícies de aplainamento foram reconhecidas na área do RCSB, as quais serviram para datações relativas e correlações locais e regionais das unidades sedimentares.

Almeida (1964), em seu estudo do relevo paulista, destacou a Superfície do Japi nivelando serranias quartzíticas ao norte da Bacia de São Paulo, sendo admitida como de idade neo-cretácea pelo autor e paleogênica por Martonne (1943). No âmbito das bacias de Resende e Taubaté, Martonne (1943) identificou a Superfície de Campos, nivelando os altos cimos da Serra da Mantiqueira ao norte, e o Planalto da Bocaina ao sul. Almeida (1951) correlacionou as superfícies do Japi e de Campos e, posteriormente, Almeida (1983) salientou que os edifícios vulcânicos do magmatismo alcalino da Província Serra do Mar já haviam sido erodidos pela Superfície do Japi à época de deposição dos sedimentos terciários. A evolução desta superfície teria sido interrompida pela tectônica geradora do *rift*, ficando assim o tempo de duração dos processos erosivos limitado pelas rochas alcalinas do Cretáceo Superior, cujas chaminés foram aplainadas, e a lava de Volta Redonda, posterior à superfície destruída.

Martonne (1943) englobou sob a designação de Superfície Neogênica os resquícios de ciclos erosivos existentes nos vales dos principais rios do Planalto Atlântico e nivelados abaixo da Superfície do Japi.

Na área da Bacia de Curitiba, Bigarella *et al.* (1961) e Bigarella & Salamuni (1962) reconheceram duas amplas superfícies de erosão relacionadas ao desenvolvimento da bacia. A mais antiga dessas superfícies havia sido designada de Superfície do Alto Iguaçu (Almeida 1952), atribuída ao Terciário Inferior e correlacionada à Superfície Sul-Americana de King (1956), tendo se desenvolvido previamente à deposição da Formação Guabirotuba. A superfície mais jovem, denominada de Superfície de Curitiba, originou-se após o preenchimento da bacia pela Formação Guabirotuba, porém ainda permanece com idade incerta.

2.2.7 Trabalhos prévios sobre os argilominerais do RCSB

Os estudos mineralógicos dos sedimentos do RCSB, em especial da Bacia de Taubaté, foram realizados principalmente nas décadas de 60 e 70, com os trabalhos de Paiva Netto & Nascimento (1956), Abreu (1960), Souza Santos (1963), Souza Santos & Santini (1965), Zandonadi *et al.* (1970) e Zandonadi (1972, 1974); tais estudos visavam, essencialmente,

apontar empregos tecnológicos para as argilas esmectíticas da Formação Tremembé, aflorantes nas regiões de Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba (Bacia de Taubaté).

Dentre estes trabalhos, destaca-se o de Paiva Netto & Nascimento (1956) com o estudo das argilas da Formação Tremembé, no qual os autores identificaram valor de CTC (por 100g de material seco a 105-110°C) oscilando entre 23,5 e 48,4 e.mg/100g de amostra, e a presença de picos endotérmicos em gráficos de ATD, em temperaturas de 105-110°C, 350-400°C e 850°C, e pico exotérmico entre 850-925°C. Por considerarem a composição química rica em Fe (Fe_2O_3 : 5,6 a 10,2% e FeO : 0,71 a 3,7%), Mg (MgO : 1,8 a 3,7%) e Ca (CaO : 0,35 a 2,9%) e deficiente em Na (Na_2O : 0,18 a 0,6%), estes autores classificaram estas esmectitas como nontronitas. Estes materiais foram ainda classificados como *terras-fuller*, com poder descorante natural (Souza Santos 1963), porém de baixo rendimento, sendo que Zandonadi (1972) aponta a improbabilidade de outros usos descorantes para estas argilas, além do emprego como agentes descorantes de óleos vegetais. Mais recentemente, Franchi *et al.* (1992) baseando-se na litoestratigrafia proposta por Riccomini (1989), apresentou dados de comportamento tecnológico para argilas esmectíticas da região de Pindamonhangaba, e destacou o alto rendimento do material proveniente desta área após tratamento de ativação ácida.

Dentre os primeiros trabalhos que vincularam o estudo mineralógico à estratigrafia e gênese dos depósitos da Bacia de Taubaté encontra-se o de Suguio (1969) que, através da difração de raios X, caracterizou as argilas frescas e alteradas da Formação Resende (Riccomini 1989), abordando também os sedimentos desta unidade atravessados pela sondagem nº 42 do CNP. Em difratogramas de amostras frescas da Formação Resende aflorantes em superfície, Suguio (1969) observou que a esmectita apresenta reflexões basais bem definidas de média intensidade. O autor verificou também o desaparecimento da reflexão basal da esmectita nos difratogramas das amostras superficiais alteradas, onde estão presentes somente quartzo, caulinita e mica, tendo sido este fato posteriormente também destacado por Amador (1975).

Suguio (1969) relacionou a gênese dos sedimentos esmectíticos do Grupo Taubaté à alteração das biotitas das rochas pré-cambrianas do embasamento, sendo a coexistência de esmectitas e caulinitas nos sedimentos atribuída à alteração coetânea de biotitas para esmectitas e de feldspatos para caulinitas. Resguardando-se da afirmação de clima semi-árido, o autor atribuiu a predominância de esmectita ou caulinita nos sedimentos terciários às condições locais que prevaleciam no ambiente para a formação de um ou outro mineral por ocasião da alteração das rochas na área-fonte.

Amador (1976) abordou a influência paleoclimática na mineralogia dos depósitos da Bacia de Resende, concluindo pela vigência de clima provavelmente seco (semi-árido), o qual teria favorecido o predomínio de argilominerais esmectíticos, a abundância em minerais instáveis e os relativamente elevados teores em feldspato fresco.

Riccomini (1989) estudou os argilominerais presentes nas unidades terciárias das bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo, enfocando principalmente a caracterização microtextural através de estudos por microscopia eletrônica de varredura. De modo geral, Riccomini (1989) e Brandt Neto *et al.* (1991) observaram que argilominerais do grupo da esmectita apresentam-se como a mineralogia essencial dos sedimentos das formações Resende e Tremembé, estando associada a mica, caulinita e clorita, além de quartzo, dolomita e pirita. Os autores caracterizaram dois tipos texturais de esmectita, sendo o mais abundante a de origem detrítica, apresentando-se como finas placas de bordos arqueados, e secundariamente a autigênica com textura tipo "favo-de-mel". Os argilominerais do grupo da caulinita ocorrem como: 1) caulinitas detrítica e autigênica, disseminadas em proporções distintas nas diferentes unidades; 2) halloysita tubular, aparentemente restrita à fácies de arenitos arcoseanos da Formação Tremembé, e 3) dickita, presente como placas centimétricas preenchendo cavidades e compondo o cimento de uma brecha em borda de falha nos diamictitos da Formação Resende, na região do Parque Dom Pedro, porção central da Bacia de São Paulo, tendo sido atribuída gênese hidrotermal para este argilomineral.

Para a gênese das esmectitas detriticas Riccomini (1989) sugeriu a formação de caulinitas em clima úmido pretérito e posterior alteração para esmectitas em clima semi-árido. Riccomini *et al.* (1996), em estudo preliminar, apontaram para as esmectitas da Bacia de Taubaté origem a partir das rochas pré-cambrianas do embasamento e sob condições semi-áridas.

Riccomini *et al.* (1994) iniciaram a busca da correlação entre os dados geológicos, mineralógicos e tecnológicos até então disponíveis para as argilas esmectíticas da Bacia de Taubaté. Os autores apontaram a origem detritica destas argilas e a neoformação e alteração de argilominerais no ambiente lacustre como fatores preponderantes na determinação do rendimento tecnológico das esmectitas. Riccomini *et al.* (1994) ressaltaram ainda o difícil controle de produção e qualidade de produtos tecnológicos que utilizam como matérias-primas as argilas de níveis alterados da Formação Tremembé, descritos na literatura como "argilas vermelhas do Vale do Paraíba". Neste caso, a exemplo da Formação Resende, estariam sendo misturadas argilas frescas e alteradas, com proporções mineralógicas e comportamentos tecnológicos variados.

A contribuição de mica e caulinita, em placas grandes e arredondadas, torna-se mais abundante para o topo do Grupo Taubaté, na Formação São Paulo, sendo então considerados indicativos da passagem para climas úmidos e quentes à época de deposição desta unidade no Oligoceno Superior (Riccomini 1989).

Segundo Riccomini (1989), a diagênese promoveu a formação de esmectita em textura "favo-de-mel", clorita, illita e caulinita vermiforme. As esmectitas diagenéticas cresceram intimamente associadas aos níveis de calcrete ou aos carbonatos disseminados na matriz dos sedimentos das formações Resende e Tremembé. Riccomini *et al.* (1994) vincularam a origem destas esmectitas autigênicas à liberação da sílica pelo ataque superficial de grãos de quartzo por águas carbonatadas, reagindo com a esmectita detritica e formando arranjo neoformado, com posterior precipitação de calcita cristalina intersticial. As cloritas desenvolveram-se nos argilitos verdes da Formação Tremembé, onde associam-se à esmectita e sulfetos. Segundo

Riccomini (1989) as cloritas estariam relacionadas a maior concentração em magnésio dos argilitos verdes maciços da Formação Tremembé, os quais contêm ainda dolomita. Argilominerais do grupo da caulinita também são neoformados. Riccomini (1989) atribuiu origem diagenética para as halloysitas presentes nos arenitos deltáicos da Formação Tremembé, as quais proviriam da decomposição de feldspatos abundantes nessa fácies. Sant'Anna & Valarelli (1996) apresentaram a hipótese alternativa de origem autigênica, contemporânea à sedimentação destes arenitos na borda do lago, e sugeriram uma cristalização a partir da alteração dos feldspatos, através da hidrólise por águas ácidas, provavelmente das chuvas, acompanhada do carreamento das bases para as águas alcalinas do lago Tremembé, levando a formação de um gel enriquecido em Si e Al. As halloysitas seriam então produtos autigênicos (eodiagenéticos), indicativos de sazonalidade pluviométrica vigente à época da sedimentação. As caulinitas vermiformes são atribuídas à alteração dos feldspatos pela percolação de águas ácidas (Riccomini 1989), provavelmente em estágios diagenéticos mais avançados e sem a influência do meio deposicional.

Goenopawiro (1997), em seu estudo da diagênese dos arenitos terciários da Bacia de Taubaté, encontrou os seguintes argilominerais, em ordem crescente de abundância: caulinita, illita, interestratificados illita-esmectita. Secundariamente, o autor encontrou esmectita e interestratificados clorita-esmectita. Para os interestratificados illita-esmectita o autor atribuiu uma origem a partir da remoção de potássio das micas e illitas, e os interestratificados clorita-esmectita foram considerados como produtos de lixiviação dos íons de magnésio das cloritas.

Rodrigues Francisco & Cunha (1978) analisaram via difração de raios X os sedimentos argilosos da Bacia de Itaboraí, tendo identificado caulinita e esmectita.

Berg & Lourenço (1973) relataram a contribuição de esmectita, illita e interestratificado illita-esmectita nos sedimentos da Formação Guabirotuba, baseando-se em difração de raios X e análise térmica diferencial. Trescases *et al.* (1986), a partir de estudos de difração de raios X e análises químicas de amostras das fração argila (contendo caulinita, mica e esmectita) de um perfil de intemperismo, apontaram a presença de beidellitas e montmorillonitas nos sedimentos

da Bacia de Curitiba e a alteração destes minerais para caulinita em direção ao topo do perfil. Os autores apontaram ainda a contribuição de paligorskita (argilomineral com 10.6Å no difratograma de raios X) junto aos calcretes expostos nesta bacia. Para as esmectitas os autores sugeriram origem sob a vigência de clima "sub-árido". Bigarella *et al.* (1961) haviam sugerido anteriormente uma origem em clima úmido para os paleoregolitos que originaram a Formação Guabirotuba, tendo esta sido posteriormente depositada em clima semi-árido.

Moraes *et al.* (1991) descreveram a presença de esmectitas nos depósitos da Formação Sete Barras e, por correlacioná-los com as formações Resende e Tremembé da Bacia de Taubaté, atribuíram vigência de clima semi-árido para a origem destes minerais.

A tabela 1 apresenta uma súmula dos argilominerais já referidos nas unidades litoestratigráficas do RCSB.

2.2.8 Lantanita no RCSB

Coutinho (1955) realizou a primeira descrição de lantanita, carbonato de terras raras, nos sedimentos do RCSB, em ocorrência situada na Bacia de Curitiba e associada aos calcretes da Formação Guabirotuba. O autor assinalou a presença de cristais submilimétricos (<1mm de comprimento) de lantanita com formas de rosetas, esferulitos, agregados cruciformes, grupos irregulares e dispostos isoladamente, os quais recobriam paredes de fratura e foram atribuídos a uma formação supérgena. Os dados químicos obtidos por Ansell *et al.* (1976), via microsonda eletrônica, e por Cesbron *et al.* (1979) por análise química via úmida, mostraram que a lantanita de Curitiba é empobrecida em Ce e enriquecida em Nd.

Trescases *et al.* (1986) caracterizaram a forma de ocorrência da lantanita nos diferentes litotipos presentes na Bacia de Curitiba, incluindo arcóseos, argilitos e calcretes, e estudaram o comportamento geoquímico dos elementos terras raras frente ao intemperismo atual. A partir de análises químicas dos sedimentos os autores concluíram que os elementos terras raras foram transportados para a bacia juntamente com a fração argilosa fina, tendo como fonte as rochas alcalinas presentes na região. Para os autores os principais fatores que afetaram o

comportamento dos elementos terras raras frente ao intemperismo foram o pH, o Eh e a pressão parcial de CO₂ (PCO₂), os quais teriam favorecido a lixiviação dos elementos terras raras pesados do perfil e acumulado os terras raras leves acima de níveis de calcretes, que teriam se comportado como barreiras para a lixiviação.

Coimbra *et al.* (1989) descreveram a presença de lantanita-(Nd) em sedimentos da Formação Resende, situados no extremo oeste da Bacia de Taubaté, região de Santa Isabel, e também associados a calcretes. Nesta localidade, a lantanita apresenta-se como cristais placóides com aproximadamente 2 a 3mm e cores violáceas em luz natural. A análise química via úmida forneceu a seguinte fórmula analítica: (La_{0.394} Nd_{0.390} Pr_{0.068} Sm_{0.059} Gd_{0.035} Y_{0.024} Dy_{0.009} Eu_{0.006} Ho_{0.005} Ce_{0.005} Er_{0.003} Tb_{0.002} Yb_{<0.0003})₂ (CO₃)₂ · 7H₂O, ou simplesmente (La, Nd)₂ (CO₃)₃ · 7H₂O, com La ≅ Nd (Coimbra *et al.* 1989). Os autores apontaram origem supérgena, a partir da lixiviação de minerais pesados do sedimento por águas sulfatadas e ricas em elementos terras raras, que reagiram com o carbonato dos calcretes e precipitaram a lantanita. Alternativamente, os autores ainda indicaram a possibilidade de uma origem hidrotermal para os depósitos de calcretes e para a lantanita a eles associada.

3. CONCEITOS EMPREGADOS

3.1 Argilominerais como indicadores paleoclimáticos

Os conhecimentos geológicos e mineralógicos adquiridos sobre os argilominerais foram sistematizados inicialmente por Grim (1953), que apresentou a primeira definição de argilomineral, diferenciando-o do termo argila.

Em 1964, Georges Millot abordou em seu livro "Géologie des Argiles", traduzido como "The Geology of Clays" em 1970, os processos geoquímicos que governam a origem e o crescimento dos argilominerais em diferentes ambientes geológicos (intempérico, sedimentar, hidrotermal, metamórfico). Neste trabalho, o autor definiu os principais processos formadores de argilominerais: herança detritica, transformação e neoformação.

Tabela 1 - Argilominerais já referidos nas unidades litoestratigráficas do RCSB		
UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	FÁCIES SEDIMENTAR	ARGILOMINERAIS
Formação Resende	a) lamitos proximais	- esmectita detrítica - caulinita detrítica
	b) lamitos distais	- esmectita detrítica - esmectita autigênia - caulinita detrítica - clorita
	c) calcretes	- esmectita autigênica
Formação Tremembé	a) argilas verdes maciças	- esmectita detrítica - clorita autigênica - illita - caulinita detrítica
	b) ritmitos de folhelho castanho escuro	- esmectita detrítica - caulinita detrítica
	c) arenitos conglomeráticos	- caulinita detrítica - caulinita autigênica - halloisita
Formação São Paulo	a) conglomerados, arenitos conglomeráticos, siltitos e argilitos	- caulinita detrítica - caulinita autigênica
	b) arenitos grossos, siltitos e argilitos	- caulinita detrítica - caulinita autigênica
Formação Itaboraí	a) lamitos	- caulinita - esmectita
Formação Sete Barras	a) lamitos	- esmectita
Formação Guabirotuba	a) lamitos	- esmectita (beidellita e montmorillonita) - caulinita - mica - interestratificado illita-esmectita
	b) calcretes	- esmectita - paligorskita - illita - caulinita

A herança detrítica refere-se ao argilomineral que se forma em um ambiente e é posteriormente transportado como partícula detrítica para outro ambiente geológico, onde permanece inerte, isto é, permanece intacto devido a sua estabilidade frente às novas condições ambientais. A herança detrítica responde pela gênese dos argilominerais em várias seqüências sedimentares.

Os argilominerais instáveis estarão sujeitos aos processos de transformação em seu novo ambiente. O conceito de transformação dos argilominerais se aplica àquelas mudanças que modificam o argilomineral sem alterar seu tipo estrutural de duas (1:1) ou três (2:1) camadas. Assim, o termo transformação será empregado sempre que demonstrado que camadas tetraédricas ou octaédricas foram usadas para a gênese da estrutura do novo argilomineral; isto implica que o processo de transformação não envolve dissolução, pois neste caso será neoformação.

A transformação dos argilominerais é um processo genético que pode ocorrer durante o intemperismo, sedimentação, diagênese ou metamorfismo. Existem dois mecanismos de transformação dos argilominerais: degradação e agradação.

Segundo Millot (1970), degradação é a transformação negativa, significando perda de substâncias, sendo um mecanismo típico do intemperismo continental, onde ocorre a lixiviação de cátions. Ressalta-se que, somente a troca de cátions nos espaços interlamelares dos argilominerais 2:1 não caracteriza o processo de transformação, o qual necessariamente deve incluir as camadas tetraédricas e/ou octaédricas da estrutura.

Agradação corresponde à transformação positiva, no sentido de construção e ganho de substâncias, podendo incluir desde a fixação de íons até a completa reorganização da estrutura. É um mecanismo que se desenvolve principalmente após o intemperismo e anteriormente ao metamorfismo, ocorrendo em sítios deposicionais onde estão disponíveis soluções contendo cátions (K^+ , Mg^{2+}) e sílica.

O processo de neoformação é bem caracterizado durante o intemperismo e a diagênese, podendo ainda ocorrer durante a sedimentação. Este processo está diretamente ligado à dinâmica das soluções presentes no ambiente, as quais através de suas características geoquímicas (pH, temperatura, concentrações de íons alcalinos e alcalino-terrosos, sílica e alumínio) determinam os produtos finais da neoformação, os quais podem ser formados por mecanismos de adição ou subtração (Millot 1970).

Dentre os processos formadores de argilominerais acima sintetizados, aqueles vinculados ao intemperismo, em especial o intemperismo químico, são efetivamente controlados pela composição da rocha original, clima e topografia. Diversos trabalhos já se voltaram para a observação do comportamento geoquímico dos elementos e da formação ou destruição dos argilominerais em ambientes geológicos submetidos a diferentes condições climáticas (v.g. Pedro 1963). Keller (1956) ressaltou que estes fatores podem atuar em proporções diferentes em áreas distintas e sugeriu que o ambiente de formação de um argilomineral fosse descrito de modo mais preciso, como um micro-clima químico, em termos da concentração de íons ativos, potencial de oxidação e temperatura dos sistemas em reação.

Nesse sentido, vários trabalhos têm registrado a presença atual de solos zonais, os quais apresentam uma distribuição global em função da latitude e da altitude, sendo suas origem e distribuição controladas pela temperatura anual e taxa de precipitação (Chamley 1989). Esta associação entre intemperismo e clima tem há várias décadas estimulado o estudo de argilominerais como indicadores paleoclimáticos, tendo em vista a efetiva influência que os fatores climáticos exercem na formação de um perfil de solo e, conseqüentemente, nos processos genéticos dos argilominerais. Esta influência acarretará a diferenciação do produto final (tipo de argilomineral) a ser originado nas distintas regiões climáticas do globo.

Keller (1956) e vários outros autores (v.g. Weaver 1989) já ressaltaram que os fatores externos vinculados ao clima podem atuar em proporções diferentes em áreas distintas e que a relação do tipo de argilomineral com o clima é apenas vaga. Condicionantes como tempo, relevo, permeabilidade, litologia e atividade orgânica também podem determinar a composição

dos argilominerais em um perfil de solo. Adicionalmente, as condições locais, ainda que de ordem climática, também podem superar a influência do clima global.

Entretanto, vários estudos já foram efetuados e muitos deles demonstram a influência de parâmetros climáticos (e.g. umidade, temperatura, pluviosidade) no tipo de argilomineral formado a partir de litologias distintas (e.g. Barshad 1966, Birkeland 1974).

O estudo de paleossolos tem permitido reconstituições paleoclimáticas e paleogeográficas em diferentes áreas, bem como o estabelecimento de correlações estratigráficas (Chamley 1989), tendo como exemplo os trabalhos realizados a partir de amostras de fundo oceânico recuperadas no Atlântico (Weaver 1989).

A escola francesa tem desenvolvido e apoiado as interpretações paleoclimáticas a partir do estudo de argilominerais em paleossolos. No entanto, a escola americana ainda mantém dois grandes questionamentos, o primeiro deles referente à preservação das características dos argilominerais detríticos, os quais poderiam sofrer novos processos intempéricos ou diagenéticos ao longo do tempo geológico (Weaver 1989). Os autores ainda questionam a explicação unicamente climática para a existência de um dado tipo de argilomineral em um solo ou paleossolo, aventando outras explicações vinculadas à história geológica da área em nível local ou regional.

3.2 Calcretes: origem e caracterização

Diversos trabalhos já foram realizados em depósitos de calcretes, os quais adotaram diferentes definições e interpretações genéticas para estas rochas.

Calcretes, conforme recentemente redefinido por Wright & Tucker (1991), é uma acumulação predominantemente de carbonato de cálcio, que ocorre próximo à superfície terrestre. Resulta da cimentação e introdução displaciva e replaciva de carbonato de cálcio em perfis de solo, sedimentos e rochas, em áreas onde as águas vadasas ou do lençol freático são saturadas em carbonato de cálcio. Nesse sentido, o termo calcrete não descreve depósitos de tufa, travertino, *beachrock* e carbonatos lacustres.

O termo calcrete, introduzido originalmente por Lamplugh (1902), é utilizado comumente como sinônimo do termo *caliche* de Blake (1902).

Em escala global, os calcretes formados em perfis de solo são os tipos mais comuns e com ampla distribuição na superfície terrestre, ainda que estejam preferencialmente situados em zonas climáticas quentes e com taxas anuais de precipitação pluviométrica na ordem de 400 a 600mm (Goudie 1983). Atualmente, estima-se que 20 milhões de km² (cerca de 13%) da superfície terrestre esteja recoberta por depósitos de calcrete (Yaalon 1988 *apud* Wright & Tucker 1991). Adicionalmente, calcretes têm sido reconhecidos em várias seqüências sedimentares antigas, especialmente fanerozóicas, onde são utilizados como indicadores paleoclimáticos (e.g. Wright 1982, Calvo *et al.* 1995).

Klappa (1983) sintetizou algumas características comuns aos calcretes atualmente desenvolvidos em perfis de solo: 1) são acumulações de carbonato de cálcio em superfície ou próximo a ela; 2) apresentam uniformidade e continuidade em escala megascópica (km); 3) são extensivos lateralmente por dezenas ou ainda centenas de quilômetros; 4) são comuns em áreas com climas semi-árido a temperado; 5) ocorrem em superfícies geomórficas estáveis com desníveis suaves (menor que 25°); 6) são concordantes com a topografia atual; 7) são independentes do substrato; 8) ocorrem em qualquer rocha hospedeira; 9) apresentam diminuição no conteúdo de carbonato de cálcio em sentido à base do perfil; 10) raramente excedem 6m de espessura vertical.

As classificações para calcretes existentes na literatura abordam diferentes aspectos e podem incluir:

- classificação por parâmetros morfológicos externos dos calcretes (Wright & Tucker 1991, Netterberg 1980, Goudie 1983);
- classificação baseada no estágio de desenvolvimento (maturidade) do calcrete em um perfil de solo (Machette 1985);
- classificação baseada no ambiente hidrológico de formação do calcrete (Carslile 1983);
- classificação mineralógica, baseada no conteúdo de dolomita (Netterberg 1980);

- classificação baseada nas características das microestruturas presentes no calcrete (Wright 1990 *apud* Wright & Tucker 1991).

Dentre estas classificações, aquelas relacionadas aos parâmetros morfológicos e à maturidade do calcrete em um perfil de solo serão empregadas no presente estudo para descrição dos depósitos de calcrete, por permitirem a visualização da evolução destas rochas no contexto das bacias do RCSB. As demais classificações mineralógica e microestrutural serão utilizadas nos estudos petrográficos, visando complementar as descrições e interpretações genéticas dos calcretes.

Os mecanismos de formação do calcrete, através da precipitação de carbonato, envolvem a perda de água e/ou redução da pressão parcial de CO_2 por evaporação, evapotranspiração ou perda de gases (*degassing*), o efeito da adição do íon comum (Ca^{2+}) (Krauskopf 1967, Reheis 1987), aumento da temperatura e, possivelmente, a atividade microbiana (cianobactérias, bactérias, fungos) que pode alterar o pH do ambiente (Klappa 1983, Wright & Tucker 1991).

A fonte do CaCO_3 é variada, podendo incluir águas da chuva ou vapor do mar, águas do lençol freático, poeira, bioclastos (gastrópodes terrestres), vegetação e rocha. Para Machette (1985) a poeira carregada pelo vento é a principal fonte de CaCO_3 dos calcretes pedogenéticos atuais. Goudie (1983) definiu como *per descensum* o mecanismo de descida do CaCO_3 dissolvido na superfície terrestre, por exemplo pelas águas da chuva. O carbonato irá então precipitar como calcrete acima do lençol freático e em um substrato não carbonático.

Para a origem de calcretes a partir de substratos carbonáticos, Rabenhorst & Wilding (1986) propuseram a dissolução e reprecipitação *in situ* dos minerais carbonáticos instáveis na rocha do substrato.

Esteban & Klappa (1983) sintetizaram a importância do estudo de superfícies de exposição subaérea, e seus depósitos, concluindo que: 1) estas superfícies marcam interrupções nos processos sedimentares, registrando mudanças na história evolutiva de uma

área; 2) em determinados casos, estas superfícies podem configurar horizontes para correlações locais e regionais e 3) podem constituir sítios de acumulação de recursos minerais, como metais pesados.

Os calcretes formados na zona freática (*groundwater calcretes*) costumam exibir mudanças composicionais graduais ao longo de sua extensão, além de estruturas e feições originadas pelo fluxo da água; em geral formam-se onde as condições não são favoráveis ao desenvolvimento de calcretes pedogenéticos (Carlisle 1983). Comumente, a formação de calcretes na zona freática está relacionada à movimentação de águas carbonáticas, podendo o carbonato se precipitar nas zonas de porosidade capilar, logo acima do nível da água, ou abaixo do nível do lençol freático (Wright & Tucker 1991).

4. MATERIAIS E MÉTODOS DE ESTUDO

4.1 Caracterização e amostragem das unidades litoestratigráficas

Com o objetivo de adotar uma nomenclatura estratigráfica comum e homogeneizar a representação dos resultados obtidos, os trabalhos de levantamento geológico de campo tiveram como base o mapa geológico do *Rift Continental* do Sudeste do Brasil apresentado por Riccomini (1989), em escala 1:250.000, abrangendo as bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo. Adicionalmente, foram utilizados:

- a) mapa geológico da Bacia de Itaboraí, 1:12.500, elaborado por Rodrigues Francisco & Cunha (1978);
- b) mapa geológico da Bacia de Taubaté, região entre Jacareí e Roseira, 1:100.000, de Mancini (1995);
- c) mapa geológico da Formação Pariquêra-Açu e *Graben* de Sete Barras, 1:100.000, de Melo (1990);
- d) mapa geológico do Estado do Paraná, 1:650.000 (Mineropar 1989);

- e) as folhas topográficas, escala 1:50.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, para localização dos afloramentos nas bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté, São Paulo e *Graben* de Sete Barras.

As amostragens foram realizadas de forma a se respeitarem as heterogeneidades litológicas dos depósitos, tendo como referência as seções-tipo e perfis complementares das formações terciárias. Complementarmente, foram amostrados testemunhos de sondagens, a exemplo da sondagem nº 42 do Conselho Nacional do Petróleo - CNP, com 205 metros de extensão, em sedimentos da Bacia de Taubaté (CNP 1951), e sondagens da Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ e da Engesolos - Engenharia de Solos e Fundações S.A., em geral com profundidades de 30 a 50 metros, em sedimentos da Bacia de São Paulo. Adicionalmente, para a Bacia de Itaboraí foram obtidos testemunhos de sondagens, perfurados pela Companhia de Cimento *Portland* Mauá, os quais atingiram profundidades variadas (50 a 120 metros) e atualmente fazem parte do acervo do Museu Nacional, sediado no Estado do Rio de Janeiro.

4.2 Materiais e métodos laboratoriais

Para o cumprimento dos objetivos desta pesquisa foram efetuadas análises laboratoriais, cujos procedimentos adotados serão descritos a seguir.

4.2.1 Estudos petrográficos macro e microscópicos

Inicialmente, as amostras foram descritas macroscopicamente para caracterização de aspectos como cor, granulação (com base na escala granulométrica de Wentworth 1922), estruturas sedimentares, mineralogia dos grãos e classificação litológica dos sedimentos segundo Folk (1974) (Fig. 6). Estudos petrográficos microscópicos voltaram-se principalmente para a caracterização de sedimentos arenosos.

A descrição macroscópica de sedimentos carbonáticos (calcretes) foi efetuada a partir de fatias polidas das amostras e com o auxílio de lupa binocular. Posteriormente, foram selecionadas amostras para confecção de lamina delgada, em cujos estudos petrográficos foram empregadas as classificações mineralógica (Netterberg 1980), baseada no conteúdo de dolomita, e microestrutural de Wright (1990 *apud* Wright & Tucker 1991), bem como o trabalho de Esteban & Klappa (1983) sobre micromorfologia de calcretes.

Os estudos petrográficos foram desenvolvidos no Laboratório de Óptica do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (DMP/IG-USP), onde utilizou-se Microscópio Óptico Axioplan da Zeiss.

Figura 6 – Classificação de rochas sedimentares contendo misturas de cascalho (partícula > 2mm), areia e lama (argila e silte), segundo Folk (1974).

Rochas contendo cascalho (triângulo maior) : C – conglomerado, Cl – conglomerado lamoso, Cal – conglomerado arenoso lamoso, Ca – conglomerado arenoso, Lc – lamito conglomerático, Alc – Arenito lamoso conglomerático, Ac – arenito conglomerático, L(c) – lamito (conglomerático), La(c) – lamito arenoso (conglomerático), Al(c) – arenito lamoso (conglomerático), A(c) – arenito (conglomerático), L – lamito, La – lamito arenoso, Al – arenito lamoso, A – arenito.

Rochas sem cascalho (triângulo menor): A – arenito, Aag – arenito argiloso, Al – arenito lamoso, As – arenito silteoso, Aga – argilito arenoso, La – lamito arenoso, Sa – silito arenoso, Ag – argilito, L – lamito, S – silito.

* (c) refere-se a rocha que contém uma pequena contribuição (> 0,01% e < 5%) de partícula maiores do que 2mm

4.2.2 Catodoluminescência

Estudos petrográficos com catodoluminescência foram efetuados para rochas carbonáticas objetivando-se a observação de feições de crescimento dos minerais e alterações diagenéticas e intempéricas não identificadas na petrografia óptica com luz natural. Para estas rochas foram confeccionadas seções delgadas sem recobrimento por lamínula, as quais foram analisadas em luminoscópio operando com 12kV e corrente em torno de 250 μ A, pertencente ao Laboratório de Catodoluminescência e Epifluorescência do Centro de Pesquisas (CENPES) da Petróleo Brasileiro S.A.

4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise por energia dispersiva (EDS)

Estudos por microscopia eletrônica de varredura com microanálise pontual por energia dispersiva acoplada (MEV/EDS) foram efetuados para a observação e o imageamento da morfologia dos grãos individuais e da textura dos sedimentos, bem como a obtenção de dados químicos qualitativos para diferentes fases minerais. Estas análises permitiram interpretações genéticas sobre os argilominerais, possibilitando sua classificação em detríticos ou autigênicos, através da comparação das morfologias e texturas imageadas com aquelas já disponíveis na literatura (*e.g.* Welton 1984, O'Brien & Slatt 1990). Adicionalmente, foram estimadas as granulações em que se apresentam os minerais imageados, ressaltando-se que estes valores não são absolutos mas apenas ordens de grandezas. Assim, para os filossilicatos considerou-se a fração < 2 μ m como granulação fina, 2-5 μ m como granulação média e > 5 μ m granulação grossa.

Para tanto, foram utilizados os aparelhos da marca JEOL, modelo JSM-T330A, com EDS acoplado, instalado no Núcleo de Pesquisas em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL) da USP, e o microscópio eletrônico Leica Stereoscan 440 pertencente ao

Laboratório de Caracterização (LCT) do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP e, ainda, o microscópio eletrônico de varredura LEO440i do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do IG-USP.

A preparação das amostras, para obtenção de fotomicrografias e análises químicas qualitativas, incluiu as etapas de secagem em estufa com temperatura controlada ($\sim 30^{\circ}\text{C}$), adesão de um fragmento de amostra indeformada com cerca de 3-5mm sobre um suporte e metalização por carbono; algumas amostras foram ainda metalizadas com ouro e, neste caso, ouro e paládio aparecem nos espectros de EDS obtidos.

Análises químicas pontuais semiquantitativas via EDS foram efetuadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Para tanto utilizou-se uma Microsonda CAMECA, modelo SX50, tendo acoplados um microscópio eletrônico de varredura e um analisador por energia dispersiva (EDS) de marca KEVEX, modelo Delta 8000. Tendo em vista a impossibilidade de se identificar os argilominerais após polimento, optou-se por efetuar as análises em fragmentos de amostras com superfícies rugosas, com espessuras da ordem de 1-2mm, e bases aplainadas, os quais foram metalizados com carbono. A identificação dos argilominerais foi então realizada através do MEV acoplado à microsonda. As condições analíticas foram mantidas em 15kV e 5nA, tendo sido analisados os seguintes elementos: Si, Al, Mg, Ca, Ti, Fe e K, e os resultados das porcentagens em peso e porcentagens atômicas dos elementos normalizados para 100% (em função do *software* disponível no laboratório).

4.2.4 Separação de frações silte e argila

Para o estudo dos argilominerais foram obtidas frações finas, menores do que 31 μm , 5 μm e 2 μm , de amostras selecionadas. A escolha destas frações esteve baseada na análise das fotomicrografias de MEV. Na seleção das amostras foram privilegiadas aquelas essencialmente argilosas e que se apresentavam sem sinais de alteração superficial e com

pouca contribuição de feldspatos. A preparação das amostras incluiu as etapas de: 1) secagem das amostras em estufa com temperatura controlada a 45°C; 2) desagregação das amostras com água destilada, em almofariz de cerâmica com pistilo de borracha; 3) exposição a ultrassom por no máximo 15 minutos; 4) adição de 50mg de pirofosfato de sódio; 5) pipetagem e centrifugação das frações menores do que 31µm, 5µm e 2µm.

4.2.5 Difração de raios X (DRX)

Os estudos por difração de raios X (DRX) visaram a caracterização de todas as amostras coletadas, tendo por objetivo o reconhecimento da mineralogia global dos sedimentos. Para tanto foi utilizado o Difratorômetro Siemens D5000 com espelhos Göbel acoplados, instalado no Laboratório de Difração de Raios X do DMP/IG-USP, e operando com radiação $\text{CuK}\alpha$, 40kV, 40mA, e goniômetro em condições rotineiras com velocidade de $2^\circ 2\theta/\text{min}$, passo de $0,05^\circ$ e tempo de contagem em 0,5 segundos. Os espelhos Göbel, de marca Siemens, correspondem a um cristal com forma parabólica, no qual está centrado o feixe primário, e que transforma um feixe de raios X divergentes em um feixe de raios estritamente paralelos e com alto brilho (Chiari *et al.* 1996). O cristal é constituído por multicamadas, que se espessam ao longo de seus comprimentos, de modo a manterem o mesmo ângulo de inclinação em toda a superfície do cristal. A espessura do feixe é pequena, em geral menor do que 1mm, e sua largura é maior do que 1cm; a pequena espessura permite o uso de fendas com estreitas aberturas, em geral 0,2mm, no feixe primário. Este acessório, patenteado pela Siemens, fornece algumas vantagens, podendo-se destacar: 1) aumento da resolução sem perda significativa da intensidade, devido a pequena espessura do feixe; 2) detecção de reflexões intensas em baixos valores de ângulo 2θ , pelo uso de pequenas fendas no feixe primário. Para a interpretação e o tratamento gráfico dos difratogramas de raios X foi utilizado o *software* EVA, versão 1997, elaborado pela Siemens, contando com fichas de identificação do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS).

No estudo de amostras totais, a preparação do material incluiu a desagregação e homogeneização das amostras, através de moagem manual em almofariz de ágata, e a preparação do material sobre cada porta-amostra pela técnica da prensagem do pó, tendo sido os difratogramas obtidos na faixa de $2^\circ - 70^\circ 2\theta$.

O estudo dos argilominerais compreendeu principalmente a obtenção de difratogramas de raios X para amostras das frações menores do que $31\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$ e $2\mu\text{m}$ em seu estado natural e após tratamentos específicos como glicolagem (etilenoglicol), por pelo menos 12 horas, e aquecimento a 550°C por 2 horas. Os difratogramas foram obtidos na faixa de $2^\circ - 70^\circ 2\theta$ para as amostras naturais e na faixa de $2^\circ - 30^\circ 2\theta$ para as amostras sujeitas a tratamentos prévios. Adicionalmente, amostras selecionadas destas frações menores foram saturadas com magnésio e solvatadas com glicerol (vapor a 100°C) por 24 horas (Brindley & Brown 1980, Dixon & Weed 1989), visando a distinção entre argilominerais com $14\text{\AA}$ (esmectita-vermiculita-clorita).

A identificação dos argilominerais em rochas carbonáticas e ricas em matéria orgânica (folhelhos) compreendeu o tratamento prévio das amostras totais, em temperatura ambiente, respectivamente com uma solução de HCl a 10% (dissolução do carbonatos) e com solução de H_2O_2 a 30% (decomposição da matéria orgânica). Para estas amostras foram também obtidos difratogramas de raios X após simples secagem (amostra natural), glicolagem e aquecimento.

4.2.6 Análises químicas via ICP

Com o objetivo de conhecer a geoquímica global dos sedimentos argilosos dos depósitos terciários do RCSB, foram efetuadas análises químicas via espectroscopia de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) para dosagem dos elementos maiores e via espectroscopia de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), com altos limites de detecção, para determinação de elementos menores e traços. Estas análises foram efetuadas no *Activation Laboratories Ltd.* – ACTLABS, Canadá, e seguiram os

procedimentos laboratoriais padrões, tendo as amostras sido preparadas pelo método da fusão. As análises químicas foram realizadas em amostras totais e das frações finas, as quais foram preparadas através de secagem e moagem em moinho de ágata.

4.2.7 Isotopia (C, O)

A partir dos estudos com catodoluminescência foram selecionadas amostras para determinações das razões isotópicas de oxigênio, delta O^{18} (O^{18}/O^{16}), e de carbono, delta C^{13} (C^{13}/C^{12}), as quais foram efetuadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Pernambuco. As amostras foram selecionadas a partir dos estudos petrográficos e de catodoluminescência, e a extração do material, cerca de 10-20mg, foi efetuada com o auxílio de uma broca. A rotina laboratorial incluiu a dissolução do material com ácido ortofosfórico (H_3PO_4) a 100%, em temperatura controlada a 25°C, por 24 horas (amostras calcíticas) e 72 horas (amostras dolomíticas). Foi empregado como gás de referência o NBS-19 e a espectrometria realizada com SIRA II da V.G. ISOGAS, de dupla admissão, triplo coletor.

5 RESULTADOS DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS, MINERALÓGICOS E GEOQUÍMICOS

Neste item serão apresentados os dados geológicos, mineralógicos e geoquímicos obtidos no presente trabalho, compreendendo as seções colunares levantadas nas distintas unidades litoestratigráficas estudadas, com indicação da amostragem efetuada (indicação por letras e asteriscos), e as caracterizações mineralógica e geoquímica dos argilominerais esmectíticos e dos sedimentos que os contêm. Adicionalmente, serão apresentados os resultados mineralógicos, geoquímicos e isotópicos obtidos para as rochas carbonáticas ocorrentes nestas unidades.

5.1 Resultados geológicos e mineralógicos

A abordagem de análise de fácies (Walker 1992) e sistemas deposicionais (Fisher & McGowen 1967), já adotada anteriormente por Riccomini (1989), foi seguida no presente trabalho, tendo em vista sua efetiva contribuição para o entendimento dos processos deposicionais e visão geral das relações entre os ambientes de sedimentação, que se sucederam ao longo do tempo na geração dos depósitos e preenchimento sedimentar das bacias.

Assim, com os trabalhos geológicos de campo e o levantamento das seções colunares, foi possível o reconhecimento das diferentes fácies e associações de fácies sedimentares que constituem os ambientes deposicionais das unidades litoestratigráficas do RCSB. No anexo 3 encontra-se uma relação dos afloramentos amostrados nas bacias em foco, relacionando-os às respectivas unidades litoestratigráficas e associações de fácies.

Os resultados mineralógicos incluem análises petrográficas, de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura com microanálise acoplada. Na apresentação dos difratogramas de raios X, estão marcados os valores de d (espaçamentos interplanares) em angstrom (Å) e indicadas as reflexões principais (correspondentes a 100% de intensidade) dos

minerais identificados em cada gráfico. Estas reflexões são indicadas através de letras correspondentes aos nomes dos minerais, sendo: B – britholita, C – calcita, D – dolomita, E – esmectita, F – feldspato, G – gipsita, H – hematita, K – caulinita, M – mica, Q – quartzo. No anexo 4 estão relacionados os valores de d considerados na identificação de cada mineral nos difratogramas de amostras totais.

Adicionalmente, os difratogramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, são numerados por letras, de acordo com a amostragem indicada nas seções colunares. Os difratogramas de amostras totais sujeitas tratamentos prévios com HCl e H₂O₂ são designados como: H2O2N ou HCLN – amostra total tratada, respectivamente, com H₂O₂ ou HCl, seguida de lavagem com água destilada; H2O2G ou HCLG – amostra glicolada, H2O2AQ ou HCLAQ – amostra aquecida. Os difratogramas de raios X obtidos para amostras das frações finas < 31µm, < 5µm e < 2µm, são indicados do seguinte modo: a) 31un, 5un, 2un correspondem, respectivamente, aos difratogramas das amostras das frações < 31µm, < 5µm e < 2µm, sem tratamento prévio; b) 2ug corresponde a amostra da fração < 2µm, solvatada com etilenoglicol; c) 2uaq refere-se a amostra da fração < 2µm, aquecida.

5.1.1 Formação Itaboraí

Na Bacia de Itaboraí foram descritos e amostrados litotipos das associações de fácies lacustre, representada essencialmente por calcários depositados na base da seqüência sedimentar, e de leques aluviais, contendo conglomerados e lamitos argilo-arenosos conglomeráticos, correspondentes aos pacotes superiores da bacia. A localização dos afloramentos e dos testemunhos de sondagens amostrados encontram-se na figura 7.

Mapa geológico da Bacia de Itaboraí e localização dos afloramentos amostrados

Figura 7

LEGENDA

- Depósitos quaternários
- Dique de rocha alcalina
- Provável extensão das lavas ankaramíticas
- Formação Itaboraí (conglomerados e lamitos)
- Formação Itaboraí (calcários)
- Dique de rocha básica
- Rochas do embasamento

- Atitude de camadas
- Atitude de plano de diaclasamento
- Atitude de foliação
- Falha
- Eixo de dobramento
- Afloramentos amostrados
- Sondagens amostradas

0 100 200 300 400 m

Mapa geológico da Bacia de Itaboraí e localização dos afloramentos amostrados

Sant'Anna, L.G. 1999. Geologia, mineralogia e gênese das esmeraldas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo)

Base Geológica: Rodrigues Francisco & Cunha 1978

5.1.1.1 Associação de fácies lacustre

A associação de fácies lacustre é a mais expressiva na Bacia de Itaboraí, compreendendo praticamente toda a espessura da pilha sedimentar.

Os depósitos lacustres da Formação Itaboraí foram estudados essencialmente através de testemunhos de sondagens, correspondendo a cinco furos perfurados pela Companhia de Cimento *Portland* Mauá e obtidos junto ao Museu Nacional do Rio de Janeiro. A Bacia de Itaboraí é seccionada em sua porção central por uma falha de direção NW-SE, e a maioria das sondagens analisadas situam-se no lado oeste desta falha e da própria bacia (Fig. 7).

Os calcários lacustres correspondem a tipos litológicos bem distintos, os quais incluem calcário calcítico puro (calcário fitado), calcário com material terrígeno (calcário cinzento), calcário maciço, calcário oolítico e calcário poroso com rizólitos (tufa).

Fácies de calcário fitado

O calcário fitado (denominação de Leinz 1938) é a fácies mais representativa da sedimentação essencialmente lacustre da Bacia de Itaboraí, estando bem exposta nos testemunhos de sondagem da Companhia de Cimento *Portland* Mauá (Fig. 8), e em leito delgado próximo ao topo da seção colunar da figura 11.

Esta rocha é composta pela alternância de bandas de cores branca e marrom, às vezes arroxeadas, com espessuras variando de milimétricas (1-3mm) a centimétricas (1-8cm), sendo ambas formadas por calcitas prismáticas com crescimento em agregados de cristais orientados. As análises por difração de raios X em amostras totais confirmaram a calcita como o único carbonato nestes calcários (*Prancha 1, Gráfico A*). As amostras tratadas com HCl, por sua vez revelaram a ausência de qualquer outro mineral. Em MEV pode-se notar a forte orientação da rocha e o hábito prismático das calcitas que a constituem (*Prancha 1*). Os estudos por catodoluminescência mostraram que os leitos brancos do calcário apresentam forte luminescência e os de cor marrom luminescência fraca ou ausente (*Prancha 2, Foto A*).

Figura 8 - Perfis de sondagens da Bacia de Itaboraí, com a posição das amostras estudadas: 1 - calcário fitado; 2 - calcário cinzento; 3 - lamito; 4 - lamito com calcrete; 5 - calcário cinzento com matéria orgânica; 6 - rochas do embasamento; 7 - identificação da amostragem; 8 - identificação da sondagem; NR - intervalo não recuperado. A largura das colunas indica a granulação das maiores partículas (a - argila, s - silte, ar - areia, sx - seixo).

PRANCHA 1

Gráfico A - Difratoograma de raios X de amostra total de calcário

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) de calcário fitado da Bacia de Itaboraí, salientando a orientação da rocha.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a estruturação do calcário fitado e o hábito prismático das calcitas.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhe da morfologia da calcita do calcário fitado.

Estes carbonatos, brancos e marrons, apresentam valores negativos de dO^{18}_{PDB} , variando de -6.6‰ a -12.1‰ , e dC^{13}_{PDB} oscilando entre 0.0‰ e -1.6‰ (Fig. 9, Tabela 2). A composição química destes calcários registra valores em torno de 55% para CaO (Tabela 3A) e, dentre os elementos menores, apenas altos teores para o estrôncio (Tabela 3B). As análises dos óxidos sugerem que as bandas marrons dos calcários fitados são mais enriquecidas em Fe_2O_3 (calcário fitado marrom, amostra 2zn-mr, com $Fe_2O_3 = 0,63\%$) do que as bandas brancas (calcário fitado branco com Fe_2O_3 variando de $0,03\%$ a $0,35\%$) (Tabela 3A). Localmente é possível observar a presença de uma fase de cimento secundário, com forte luminescência (*Prancha 2, Foto C*), crescido sobre as calcitas fibrosas, e também feições de alteração da rocha original com a destruição do hábito fibroso das calcitas. Quando alterados, os calcários fitados apresentam valores isotópicos mais enriquecidos em O^{18} (dO^{18}_{PDB} variando de -6.5‰ a -5.4‰_{PDB}) e empobrecidos em C^{13} (dC^{13}_{PDB} variando de -4.0‰ a -5.3‰) (Fig. 9, Tabela 2).

Foi efetuada análise isotópica de oólito de calcário da Bacia de Itaboraí, o qual forneceu valores de $dO^{18}_{PDB} = -6.395\text{‰}$ e $dC^{13}_{PDB} = -2.137\text{‰}$ (Fig. 9, Tabela 2), compatíveis com os litotipos carbonáticos da bacia. Entretanto, optou-se por não tecer maiores considerações de ordem genética, tendo em vista não ter sido possível observar as relações de contato do calcário oolítico com os demais litotipos e forma de ocorrência, fatores estes importantes para a interpretação de sua gênese.

Fácies de calcários cinzentos

Calcários cinzentos, conforme denominação de Leinz (1938), correspondem a calcários contendo proporções variáveis de minerais terrígenos (quartzo, mica e caulinita), podendo gradar para lamitos argilosos carbonáticos (Fig. 8). Os calcários cinzentos intercalam-se aos pacotes de calcário fitado, com os quais delimitam-se por contato brusco. Análises de amostras totais por difração de raios X permitiram a identificação apenas da calcita (Fig. 10).

Prancha 2

Foto A - Fotomicrografia de catodoluminescência de leito branco do calcário fitado, mostrando a alternância do bandamento no crescimento das calcitas fibrosas (Tempo de exposição: 2 minutos, $I = 250 \mu A$).

Foto B – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcário fitado da foto A.

Foto C - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcário fitado, mostrando a alternância do bandamento e a presença local de cimento carbonático secundário, caracterizado pela forte luminescência (Tempo de exposição: 1 minuto, $I = 250 \mu A$).

Foto D – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcário fitado da foto C.

Foto E - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcário cinzento, mostrando o aspecto geral da rocha, com estrutura maciça e contendo uma matriz micrítica com grãos de quartzo disseminados e material secundário (luminescência amarela) preenchendo fissuras (Tempo de exposição: 3 minutos, $I = 233-242 \mu A$).

Foto F – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcário cinzento da foto A.

Foto G - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcário cinzento, mostrando poro preenchido com calcita fibrosa (Tempo de exposição: 1 minuto, $I = 253-260 \mu A$).

Foto H – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcário cinzento da foto C.

Figura 9 - Gráfico binário relacionando os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ obtidos para os calcários da associação de fácies lacustre da Formação Itaboraí.

Tabela 2 - Dados de isótopos estáveis (O^{18} e C^{13}) obtidos para os calcários da associação de fácies lacustre da Formação Itaboraí.

Fácies	Amostra	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} (\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} (\text{‰})$
calcário cinzento	2TF	-6.997	-0.044	+23.647
calcário fitado branco	2T	-12.120	-1.594	+18.366
calcário cinzento	2ZC	-6.75	-2.37	+23.90
calcário fitado branco	2ZG-BR	-5.441	-5.260	+25.251
calcário fitado marrom	2ZG-MR	-6.462	-4.041	+24.199
calcário fitado branco	2ZN-BR	-11.150	-0.847	+19.366
calcário fitado marrom	2ZN-MR	-9.001	-1.252	+21.581
calcário fitado branco	2Q	-7.999	-0.443	+22.614
calcário fitado branco	2QD	-11.713	-2.080	+18.785
calcário fitado branco	3KA	-8.578	-3.082	+22.018
calcário cinzento	3KE	-8.19	-1.080	+22.41
calcário fitado branco	3MI-BR	-6.799	-4.167	+23.851
calcário fitado branco	3MJ-BR	-9.033	-0.720	+21.548
calcário fitado marrom	3MJ-MR	-8.006	-1.315	+22.607
calcário fitado branco	3MK-BR	-11.620	-1.647	+18.881
calcário fitado marrom	3MK-MR	-6.172	-5.424	+24.497
calcário cinzento	3M-M	-7.803	-1.966	+22.816
calcário cinzento	3M-L	-6.608	-1.996	+24.048
calcário fitado	IT-1C	-6.983	-2.156	+23.662
calcário maciço	IT-1A	-7.475	-1.997	+23.154
calcário oolítico	2V	-6.395	-2.137	+24.267
rizólito	IT-1B	-9.072	-3.641	+21.508

Tabela 3A - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) - Elementos maiores em % de óxidos

Litologia	Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
calcário fitado roxo	2q-roxo	0.49	0.0	0.04	0.27	0.03	0.36	55.11	0.02	0.0	0.02	43.31	99.64
calcário fitado branco	2qd-br	0.19	0.01	0.04	0.17	0.01	1.23	53.37	0.02	0.02	0.01	43.64	98.71
calcário fitado branco	2t	0.29	0.0	0.10	0.03	0.10	0.84	54.54	0.04	0.0	0.04	43.22	99.20
calcário cinzento	2tf	5.94	0.02	1.13	0.49	0.10	0.77	49.83	0.20	0.31	0.04	40.27	99.11
calcário cinzento	2zc	9.48	0.04	1.79	0.39	0.07	0.84	47.11	0.09	0.78	0.04	38.33	98.96
calcário fitado branco	2zn-br	0.13	0.0	0.03	0.35	0.0	1.14	53.64	0.08	0.0	0.0	43.35	98.72
calcário fitado marrom	2zn-mr	1.19	0.0	0.01	0.63	0.03	0.38	54.18	0.03	0.0	0.01	43.22	99.67
calcário fitado branco	3ka	0.06	0.0	0.01	0.09	0.19	0.29	55.40	0.05	0.01	0.03	43.39	99.52
calcário cinzento	3ke	0.34	0.0	0.08	0.08	0.08	0.42	55.25	0.06	0.02	0.01	43.28	99.62
calcário fitado branco	3mi-br	0.15	0.0	0.01	0.19	0.16	0.27	55.46	0.04	0.0	0.03	43.40	99.71
calcário fitado branco	3mk-br	0.09	0.0	0.04	0.16	0.0	1.56	54.05	0.07	0.01	0.02	43.74	99.72
calcário maciço	it-1a	0.09	0.0	0.02	0.04	0.04	0.17	55.72	0.04	0.01	0.01	43.30	99.44

Tabela 3B - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) - Elementos menores em ppm

Litologia	Amostra	Rb	Cs	Be	Sr	Ba	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y
calcário fitado roxo	2q-roxo	0.6	n.d.	33	568	36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	29	32	n.d.	0.5
calcário fitado branco	2qd-br	0.2	n.d.	51	1170	95	n.d.	7	n.d.	n.d.	40	33	n.d.	0.1
calcário fitado branco	2t	0.5	n.d.	210	460	77	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	29	34	12	0.2
calcário cinzento	2tf	26	7.7	54	808	313	1	n.d.	n.d.	n.d.	24	28	12	2.7
calcário cinzento	2zc	78	17	28	2310	302	1	n.d.	n.d.	n.d.	31	33	22	4.6
calcário fitado branco	2zn-br	0.4	n.d.	14	896	37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	32	n.d.	n.d.
calcário fitado marrom	2zn-mr	0.3	n.d.	11	375	55	n.d.	n.d.	n.d.	2.7	27	30	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	3ka	0.5	n.d.	50	275	41	1	n.d.	n.d.	n.d.	24	55	10	2.4
calcário cinzento	3ke	3	0.5	19	689	105	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24	35	n.d.	0.9
calcário fitado branco	3mi-br	0.5	n.d.	61	296	33	n.d.	n.d.	17	n.d.	44	29	13	0.4
calcário fitado branco	3mk-br	0.2	n.d.	81	1010	124	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32	27	n.d.	0.3
calcário maciço	it-1a	0.2	0.3	137	327	41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28	31	n.d.	0.5

Tabela 3C - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) - Elementos menores em ppm

Litologia	Amostra	Zr	Nb	Mo	Ag	Hf	Ta	W	Ga	Ge	In	Sn	Sb	Tl	Pb	Bi	As
calcário fitado roxo	2q-roxo	n.d.	n.d.	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	0.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.74	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	2qd-br	2.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	2t	4.7	n.d.	0.3	n.d.	0.1	0.01	2.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário cinzento	2tf	14	1.2	0.2	n.d.	0.3	0.07	1.4	2	1.4	n.d.	n.d.	0.78	0.89	n.d.	n.d.	n.d.
calcário cinzento	2zc	25	1.8	0.2	n.d.	0.7	0.13	1.4	2	2.9	n.d.	n.d.	0.33	0.58	6	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	2zn-br	8.8	n.d.	0.2	n.d.	0.2	n.d.	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário fitado marrom	2zn-mr	0.4	n.d.	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	3ka	1.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário cinzento	3ke	2.8	n.d.	0.3	n.d.	n.d.	0.02	0.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.12	0.27	n.d.	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	3mi-br	0.2	n.d.	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	3mk-br	2.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	n.d.	n.d.
calcário maciço	it-1a	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.05	0.05	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = elemento não detectado na amostra

Tabela 3D - Análises químicas de rocha total (calcários da Fm. Itaboraí) - Elementos terras raras em ppm

Litologia	Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
calcário fitado roxo	2q-roxo	0.07	0.04	0.009	0.07	0.03	0.005	0.01	n.d.	0.05	0.01	0.03	0.006	0.04	0.004	n.d.	n.d.
calcário fitado branco	2qd-br	0.41	0.62	0.076	0.3	0.06	0.012	0.06	n.d.	0.05	n.d.	0.03	n.d.	0.02	0.005	0.11	0.15
calcário fitado branco	2t	0.19	0.29	0.034	0.1	0.03	n.d.	0.02	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	0.12	0.07
calcário cinzento	2tf	2.65	5.54	0.618	2.52	0.51	0.057	0.48	0.08	0.39	0.08	0.27	0.049	0.26	0.043	1.35	0.63
calcário cinzento	2zc	6.27	11.5	1.205	4.58	0.81	0.125	0.79	0.13	0.67	0.13	0.45	0.067	0.39	0.062	2.3	0.38
calcário fitado branco	2zn-br	0.07	0.06	0.007	0.06	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.01	n.d.	0.06	n.d.
calcário fitado marrom	2zn-mr	0.04	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.09
calcário fitado branco	3ka	0.08	0.09	0.017	0.1	0.06	0.035	0.09	0.03	0.24	0.05	0.17	0.026	0.16	0.033	n.d.	1.21
calcário cinzento	3ke	1.12	1.71	0.16	0.68	0.16	0.029	0.12	0.02	0.13	0.02	0.07	0.009	0.06	0.008	0.09	0.2
calcário fitado branco	3mi-br	0.02	n.d.	n.d.	0.01	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	0.02	n.d.	0.01	0.005	n.d.	0.18
calcário fitado branco	3mk-br	0.04	0.02	n.d.	0.03	0.02	n.d.	0.02	n.d.	0.04	n.d.	0.02	n.d.	0.04	0.004	n.d.	0.05
calcário maciço	it-1a	0.2	0.28	0.033	0.17	0.04	0.007	0.03	n.d.	0.04	0.01	0.04	0.006	0.04	0.005	n.d.	0.1

n.d. = elemento não detectado na amostra

Obs: as linhas coloridas destacam os elementos químicos enfatizados no texto.

Após o tratamento das amostras com HCl, os estudos mineralógicos revelaram a presença de argilominerais dos grupos da esmectita e caulinita, os quais apresentaram os comportamentos esperados frente aos tratamentos das amostras por glicolagem e aquecimento (Fig. 10). Através dos estudos petrográficos por catodoluminescência pode-se notar que estes calcários são compostos por uma matriz micrítica com fraca luminescência (*Prancha 2, Foto E*), tendo brechas preenchidas por material carbonático secundário de forte luminescência, o qual parece também ser formado por calcitas fibrosas (*Prancha 2, Fotos E, G*). Em MEV pode-se notar que as calcitas constituintes da matriz deste calcário são de granulação fina (*Prancha 3, Foto A; EDS B*), em geral $< 4\mu\text{m}$, e estão corroendo os grãos detríticos (feldspato, mica), que encontram-se dispersos na rocha (*Prancha 3, Fotos C, D; EDS E*). As esmectitas identificadas pelo DRX apresentam-se ao MEV como placas de granulação média a grossa ($> 2\mu\text{m}$) com bordas onduladas (*Prancha 3, Foto G; EDS H*). Os calcários cinzentos apresentam valores negativos de $\text{dO}^{18}_{\text{PDB}}$, variando de -6.608‰ a -8.19‰ , e $\text{dC}^{13}_{\text{PDB}}$ oscilando entre -0.044‰ e -2.37‰ (Tabela 2, Fig. 9). A composição química destes calcários registra valores em torno de 47-49% de CaO e 5 a 10% para SiO_2 (Tabela 3A), tendo teores de Rb, Ba e elementos terras raras mais elevados em relação aos calcários fitados (Tabelas 3B, 3D).

Figura 10 - Difratoformas de raios X de amostras totais, após tratamento com HCl. Amostragem correspondente à figura 7 (Gráfico A – amostra 3KE, Gráfico B - amostra 2TF, Gráfico C – amostra 2ZC).

Prancha 3

Foto A – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando calcitas de granulação fina, constituindo a matriz maciça do calcário cinzento.

EDS B – Espectro de EDS da calcita fina da foto A (análise correspondente ao quadrado da região central da foto).

Foto C – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando placa de mica imersa na matriz do calcário cinzento e sendo corroída pelo carbonato.

Foto D – Detalhe da foto C. Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários).

EDS E – Espectro de EDS da mica da foto D, mostrando a composição original da mica em região ainda não alterada pela corrosão carbonática.

Foto F – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando argilominerais de granulação fina e formas delicadas crescidos sobre os grãos de calcita do calcário cinzento.

EDS G – Espectro de EDS dos argilominerais da foto F (análise correspondente ao quadrado da região central da foto).

Fácies de calcário maciço

A fácies de calcário maciço foi observada somente no topo da seção colunar da figura 11, onde apresenta coloração esbranquiçada e granulação fina, constituindo nível tabular com cerca de 80 cm de espessura. Este calcário apresenta unicamente calcita no difratograma de raios X (Fig. 11B, gráfico A), não tendo sido recuperados outros minerais após tratamento da amostra com HCl. Ao MEV (*Prancha 4*), estas calcitas ocorrem como grãos de granulação fina, constituindo uma matriz maciça (*Foto A, EDS B*), onde calcitas de granulação grossa ($> 50\mu\text{m}$) e com feições de dissolução preenchem cavidades (*Fotos C, D; EDS E*). A comparação dos espectros de EDS B e E indica ainda que não existem variações composicionais entre estas duas gerações de calcitas. Argilominerais de granulação fina ($< 2\mu\text{m}$) constituem agregados crescidos sobre as calcitas grossas (*Fotos C, D*). Adicionalmente, cristais de fosfato de terras raras com cálcio impregnam a superfície das calcitas finas que constituem a rocha (*Prancha 4, Foto F; EDS G*). Os dados de isótopos estáveis obtidos para estas rochas são concordantes com aqueles dos calcários fitados, sendo $\text{dO}^{18}_{\text{PDB}} = -7.475\text{‰}$ e $\text{dC}^{13}_{\text{PDB}} = -1.997\text{‰}$ (Fig. 9, Tabela 2).

Fácies de calcário poroso com rizólitos (tufa)

Calcário poroso, de coloração esbranquiçada e contendo estruturas de raízes (rizólitos) ocas (sem preenchimento), com cerca de 2 a 5cm de comprimento e 0,3 a 0,5cm de diâmetro, está exposto próximo ao topo da seção colunar da figura 11 (*Prancha 5, Foto A*). O difratograma de raios X de amostra total do calcário indica a calcita como o mineral predominante e a contribuição subordinada de esmectita e mica (Fig. 11B, gráfico B(matriz)). Ao MEV (*Prancha 5*) as calcitas apresentam-se como cristais finos e mal formados e a mica como placas grossas ($> 100\mu\text{m}$) imersas na rocha carbonática (*Prancha 5, Foto B*). Adicionalmente, grãos de barita com granulação grossa e feições de corrosão também estão dispersos na rocha (*Foto C; EDS D*).

Figura 11 – (A) Seção colunar na Bacia de Itaboraí (Local IT-01, Fig. 7): 1) solo recente; 2) calcário maciço; 3) calcário fitado; 4) calcrete nodular; 5) lamito argilo-arenoso; 6) lamito argilo-arenoso conglomerático; 7) conglomerado; 8) marcas de raízes. (B) Difrátogramas de raios X obtidos para amostras totais da figura (A).

Prancha 4

Foto A – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando calcitas de granulação fina, constituindo a matriz maciça do calcário maciço.

EDS B – Espectro de EDS da calcita fina da foto A (análise correspondente ao quadrado no lado direito da foto).

Foto C – Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) salientando o desenvolvimento localizado de cavidades de dissolução e o crescimento de agregados de argilominerais finos nestas cavidades.

Foto D – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a granulação grossa e a presença de faces bem desenvolvidas nos cristais de calcita que preenchem as cavidades de dissolução. No lado direito da foto, está ilustrado o início de corrosão destas calcitas e o crescimento de agregados de argilominerais de granulação fina.

EDS E – Espectro de EDS da calcita grossa da foto D (análise correspondente ao quadrado na porção central da foto).

Foto F – Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando cristais de fosfato de terras raras com cálcio crescidos sobre a matriz carbonática.

EDS G – Espectro de EDS do fosfato da foto F.

Os rizólitos são compostos unicamente por calcita (Fig. 11B, gráfico B(raiz)). Os dados de isótopos estáveis obtidos para estes rizólitos são, no geral, concordantes com aqueles dos calcários fitados, indicando, no entanto, ligeiro empobrecimento em C^{13} , sendo os valores obtidos correspondentes a $dO^{18}_{PDB} = -9.072\text{‰}$ e $dC^{13}_{PDB} = -3.641\text{‰}$ (Fig. 9, Tabela 2).

5.1.1.2 Associação de fácies de leques aluviais

A associação de fácies de leques aluviais está bem representada nas bordas da Bacia de Itaboraí, onde suas fácies foram amostradas para o presente trabalho, e mais restritamente nos testemunhos de sondagens da Companhia de Cimento *Portland Mauá*. Esta associação é constituída pela intercalação de camadas centimétricas a métricas de lamitos argilo-arenosos conglomeráticos e bancos métricos de conglomerados polimíticos, compostos por grânulos e seixos de feldspato, quartzo e mica, além de seixos, calhaus e matações de rochas do embasamento (*Prancha 5, Foto E*). Estes sedimentos apresentam-se, em geral, cimentados por carbonatos, podendo ainda ocorrer níveis de paleossolos carbonáticos (calcretes). Dentre estes litotipos, os conglomerados da Bacia de Itaboraí não serão abordados neste trabalho, tendo em vista a dificuldade de amostragem do pouco material argiloso presente entre os clastos do sedimento.

Fácies de lamitos argilo-arenosos conglomeráticos

Os lamitos argilo-arenosos conglomeráticos da Formação Itaboraí são compostos por grãos arenosos de quartzo e feldspato (nas frações areia média a grossa), grânulos de mica e plagioclásio branco e seixos de quartzo e feldspato potássico róseo, os quais encontram-se disseminados em proporções variáveis na matriz argilo-arenosa maciça. Granodecrescência ascendente incipiente pode ocorrer em direção ao topo das camadas. Em geral, estes sedimentos encontram-se cimentados por carbonatos. Na prancha 5 (*Foto F*) está ilustrada a matriz destes lamitos e a angulosidade dos clastos.

Prancha 5

Foto A – Detalhe da camada de tufa contendo rizólitos, presente na Bacia de Itaboraí (local IT-01, Fig. 7).

Foto B – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz carbonática onde desenvolvem-se os rizólitos. Nesta matriz, grãos clásticos estão imersos e sendo corroídos.

Foto C – Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando grão de barita com feições de corrosão imersos na matriz carbonática do calcário poroso (tufa).

EDS D – Espectro de EDS da barita da foto C.

Foto E – Visão geral da intercalação de conglomerados e lamitos argilo-arenosos conglomeráticos na Bacia de Itaboraí (local IT-05, Fig. 7).

Foto F – Fotomicrografia da matriz de lamito argilo-arenoso, contendo grãos angulosos de quartzo e feldspato imersos na matriz argilosa (nicóis cruzados).

Os argilominerais presentes nos lamitos argilo-arenosos conglomeráticos foram estudados a partir da amostragem da matriz argilo-arenosa destes sedimentos. Os gráficos de DRX obtidos para amostras totais destas matrizes mostram a contribuição de argilomineral do grupo da esmectita, com d_{001} próximo a $15\text{\AA}$, em reflexões bem definidas de média intensidade e perfis afilados, ao qual se associam mica, quartzo e feldspato (Figs. 11, 12, 13). A caulinita, quando presente, exibe reflexões 001 de muito baixa intensidade. Nos gráficos da figura 12 nota-se que a reflexão 001 da esmectita varia em função da cimentação carbonática dos lamitos, sendo reflexões bem definidas e com média intensidade para matrizes pouco cimentadas (Fig. 12B, gráfico B) e com baixa intensidade e alargadas em sedimentos fortemente cimentados (Fig. 12B, gráficos D, C, A).

Os estudos por MEV dos sedimentos lamíticos argilo-arenosos conglomeráticos revelaram: 1) a estrutura maciça da matriz argilosa, que encobre parcialmente os grãos detríticos (*Prancha 6, Foto A*); 2) a granulação grossa ($> 5\mu\text{m}$) das placas de esmectita que constituem esta matriz (*Foto B*) e sua composição contendo Mg, K, Ca e Fe, além de Si e Al (*EDS C*); 3) a presença de argilominerais finos com textura "larval", crescidos sobre as placas de esmectita que constituem a matriz (*Foto D*) e cujo espectro de EDS (*EDS E*) indica a presença apenas de Si, Al, Ca e Fe.

Nas bordas noroeste e nordeste da Bacia de Itaboraí (loais IT-03 e IT-04, Fig. 7) são expressivos os depósitos da fácies de lamitos argilo-arenosos conglomeráticos, os quais exibem menor influência da cimentação carbonática. A esmectita, constituinte da matriz destes lamitos, exibe reflexão bem definida, de alta intensidade e perfil afilado nos difratogramas de DRX de amostras totais, onde apresenta-se associada a quartzo, mica, com reflexões 001 de média a baixa intensidade, e feldspato (Figs. 14, 15). Para estas amostras foram obtidos difratogramas de raios X para as frações $< 31\mu\text{m}$, $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$, os quais comprovaram a presença de argilomineral do grupo da esmectita em todas as frações granulométricas, através da expansão da reflexão 001 de $15\text{\AA}$ para $17\text{\AA}$ e sua diminuição para $9.8\text{\AA}$ após aquecimento.

Adicionalmente, destaca-se o aparecimento das reflexões 002 (~ 8,5Å) e 003 (~ 5,6Å) da esmectita nos gráficos das amostras da fração < 2µm, após glicolagem.

A confirmação da presença de esmectita foi efetuada através da saturação das amostras das frações < 31µm e < 5µm com Mg e solvatação com vapor de glicerol a 100°C; os resultados obtidos mostraram a completa expansão do pico 15Å para 18Å (Figs. 15C, 15D).

Nestes lamitos, a matriz argilosa também é maciça, sendo formada por placas de argila com formas irregulares e granulação grossa (> 5µm) (*Prancha 7, Fotos A, B*). Os espectros de EDS obtidos para estas argilas revelaram a presença de Mg, Fe, K e Ca, além de Si e Al (*EDS C*) e a contribuição de titânio na matriz (*EDS D*). No afloramento IT-03, situado próximo ao derrame de lava ankaramítica (Fig. 7), destaca-se ainda a presença de lepisferas de sílica disseminadas sobre os clastos e a matriz do lamito (*Prancha 6, Foto G; EDS H*).

A calcita é o carbonato responsável pela cimentação destes lamitos, estando presente nos vários difratogramas de raios X e se apresentando ao MEV como cristais mal formados (formas irregulares), de granulação fina, que impregnam a matriz argilosa lamítica. Os estudos por MEV revelaram ainda a presença de cristais de calcita bem formados e com granulação grossa preenchendo poros do sedimento lamítico. Argilominerais com granulação fina e contendo Si, Al, Mg, Ca e Fe (*Prancha 8, Foto A; EDS B*) crescem como "chumaços" nos poros do sedimento, juntamente com as calcitas grossas, parecendo se originar da superfície destes carbonatos, de modo a ocupar inclusive os espaços vazios entre estas calcitas (*Foto C*).

A presença de dolomita nos sedimentos lamíticos da Bacia de Itaboraí é restrita e localizada, tendo sido identificada apenas em alguns difratogramas de raios X (Fig. 11, gráfico F; Fig. 13, gráfico C(matriz)), onde exhibe picos de muito baixa intensidade.

Figura 12 – (A) Seção colunar na Bacia de Itaboraí (Local IT-02, Fig. 7): 1) lamito argilo-arenoso conglomerático; 2) marcas de raízes. A largura da coluna indica a granulação das maiores partículas (a+s - argila + silte, af - areia fina, am - areia média, ag - areia grossa, g+sx - grânulo + seixo, bc - bloco). (B) Difratomogramas de raios X obtidos para amostras totais da figura (A).

Figura 13 – (A) Seção colunar na Bacia de Itaboraí (Local IT-05, Fig. 7): 1) lamito argilo-arenoso conglomerático; 2) conglomerado; 3) calcarete nodular. (B) Difrátogramas de raios X obtidos para amostras totais da figura (A). (C) Difrátogramas de raios X obtidos para amostra de calcarete, após tratamento com HCl.

Prancha 6

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz de lamito argilo-arenoso conglomerático (amostra IT-1E, local IT-01, Fig. 11), apresentando estrutura maciça e contendo grãos.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as placas de esmectita da matriz da foto A.

EDS C – Espectro de EDS da esmectita da foto B (análise correspondente ao quadrado na porção central da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais de granulação fina e textura “larval” crescidos sobre a matriz argilosa da foto A.

EDS E – Espectro de EDS dos argilomineral da foto D (análise correspondente ao quadrado na porção centro-inferior da foto).

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando lepisferas de sílica sobre a matriz argilosa de lamito argilo-arenoso conglomerático (local IT-03, Fig. 7).

EDS G – Espectro de EDS das lepisferas de sílica da foto F.

Figura 14 - Difratogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas da matriz argilosa de lamito argilo-arenoso conglomerático aflorante na borda nordeste da Bacia de Itaboraí (Local IT-03, Fig. 7).

PRANCHA 7

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz argilosa maciça de lamito argilo-arenoso conglomerático.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as placas de esmectita que compõem a matriz da foto A.

EDS 1 e 3 - Espectros de EDS da matriz argilosa da foto A (análises correspondentes, respectivamente, aos pontos 1 e 3 da foto). Notar a presença de titânio na matriz.

EDS 2 e 4 - Espectros de EDS de placas de esmectita da foto A (análises correspondentes, respectivamente, aos pontos 2 e 4 da foto). Notar a ausência de titânio na composição do argilomineral..

Calcretes

Calcretes nodulares constituídos por nódulos arredondados com dimensões centimétricas (3-8cm) e cor branca estão expostos no topo da seção colunar da figura 13, onde ocorrem como nódulos esparsos nos lamitos argilo-arenosos conglomeráticos e como nível tabular decimétrico (~ 15cm) formado pela coalescência dos nódulos. Em fatias polidas destes nódulos é possível notar a abundância em grãos de quartzo e feldspato e a existência de fraturas, as quais, quando observadas por catodoluminescência, apresentam-se preenchidas por material carbonático secundário com forte luminescência (*Prancha 8, Fotos D, E, F*).

Os gráficos de DRX de amostras totais dos calcretes apresentam calcita como o mineral predominante, associando-se a esmectita, quartzo, feldspato e dolomita, estes com picos de muito baixa intensidade (Fig. 13B, gráficos C(calcrete), B, A). Na figura 13B, os difratogramas de DRX de amostras totais denominados de C(calcrete) e C(matriz) demonstram ainda a composição dos nódulos carbonáticos (calcretes), contendo essencialmente calcita, e os lamitos argilosos com esmectita e quartzo. Após tratamento dos nódulos carbonáticos com HCl, pode-se melhor observar que a esmectita ($d_{001} = 15,11\text{\AA}$) é o único argilomineral presente nestes nódulos (Fig. 13C).

Em geral, as calcitas constituintes dos calcretes ocorrem como grãos de granulação fina, constituindo uma matriz maciça (*Prancha 8, Foto G*), onde os grãos de quartzo e feldspato estão sendo corroídos e calcitas de granulação grossa e com feições de dissolução estão disseminadas e preenchendo cavidades (cristalárias). Argilominerais finos, com formas onduladas e textura “larval” estão crescidos sobre as calcitas finas da matriz carbonática e as calcitas grossas que preenchem cavidades, parecendo originar-se da dissolução destes carbonatos (*Foto H*).

Nos calcretes da Bacia de Itaboraí a dolomita ocorre de forma restrita, tendo sido identificada em um único difratograma de raios X (Fig. 13B, gráfico C(calcrete)), onde exibe pico de muito baixa intensidade.

Prancha 8

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) de argilominerais crescidos em "chumaços" em poros da matriz de lamito argilo-arenoso conglomerático (amostra IT-2B, local IT-02, Fig. 7).

EDS B – Espectro de EDS do argilomineral da foto A (análise correspondente ao quadrado na porção direita da foto).

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da foto A, os quais podem estar crescidos em poros entre grãos de calcita.

Foto D – Foto de fatia polida de calcrete nodular, mostrando clastos disseminados em matriz fina, e a presença de fraturas (amostra IT-5C, local IT-05, Fig. 7).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do calcrete, contendo grãos clásticos (quartzo, feldspato, mica) sendo corroídos pelo carbonato.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz carbonática do calcrete, contendo grãos de calcita circundados por argilominerais de granulação fina.

Foto G - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcrete, mostrando fratura preenchida por material carbonático secundário de forte luminescência (luminescência amarela) (Tempo de exposição: 3 minutos, $I = 245-270 \mu A$).

Foto H – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) da fratura da foto G.

5.1.2 Formação Resende

Na Formação Resende foram amostradas as associações de fácies de: 1) leques aluviais proximais, com conglomerados e lamitos arenosos; 2) leques aluviais medianos, representados por lamitos arenosos a argilo-arenosos, podendo conter calcretes; 3) leques aluviais distais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, onde intercalam-se lamitos argilo-arenosos a argilosos e arenitos, por vezes conglomeráticos; 4) lagos interlobos de leques aluviais, com argilitos, por vezes siltosos e/ou arenosos, ricos em matéria-orgânica. Adicionalmente, foram amostrados possíveis paleoregolitos, encontrados *in situ* como camadas centimétricas dispostas no contato das rochas do embasamento com a Formação Resende.

Para o estudo mineralógico destas fácies foram amostrados afloramentos nas bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo, além de testemunhos de sondagens do Conselho Nacional do Petróleo (CNP, sondagem nº 42, perfurada na Bacia de Taubaté) e da Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ, sondagem SP4421, perfurada na Bacia de São Paulo), os quais atravessaram depósitos da associação de leques aluviais medianos.

As localizações dos afloramentos amostrados nas bacias de Taubaté, Resende e Volta Redonda, e da sondagem nº 42 do CNP, encontram-se no Anexo 1. Para a Bacia de São Paulo, as localizações das exposições e sondagem amostradas estão no Anexo 2.

5.1.2.1 Associação de fácies de leques aluviais proximais

Os depósitos de leques aluviais proximais da Formação Resende são representados essencialmente pela fácies de conglomerados (orto e paraconglomerados) polimíticos e monomíticos, que contêm seixos, matacões e blocos de rochas do embasamento gnáissico-migmatítico, granitos diversos e rochas alcalinas, além de matriz areno-argilosa verde, intersticial. Intercalados a estes depósitos conglomeráticos ocorrem lamitos arenosos, por vezes conglomeráticos, representantes de porções mais distais nos leques aluviais proximais

(*Prancha 9, Foto A*). Localmente, ocorre ainda a fácies de argilitos ricos em matéria orgânica depositados em lagos interlobos.

A associação de fácies de leques aluviais proximais ocupa em geral as porções marginais das bacias, aflorando principalmente na borda norte das bacias de Resende e Taubaté.

Fácies de conglomerados

Foram analisadas, via DRX, amostras totais da matriz areno-argilosa dos conglomerados expostos nos locais RE-12 e TB-19 (Anexo 1), cujos difratogramas de raios X de amostras totais demonstram a presença de argilominerais dos grupos da esmectita e caulinita (Fig. 16), os quais apresentam reflexões basais 001 com baixas intensidades. Em todas as amostras analisadas, o quartzo e o feldspato estão bem caracterizados nos gráficos de DRX e a mica ocorre com picos de baixa intensidade.

Os difratogramas de raios X, obtidos para as frações finas ($< 31\mu\text{m}$, $< 5\mu\text{m}$, $< 2\mu\text{m}$) da matriz deste conglomerado (local RE-12, Anexo 1), mostraram a melhor definição e o aumento da intensidade da reflexão 001 da esmectita somente no gráfico da amostra da fração $< 2\mu\text{m}$, a qual, após glicolagem, passa a exibir suas reflexões 002 ($8,55\text{\AA}$) e 003 ($5,83\text{\AA}$) (Fig. 16A). A mica e a caulinita definem melhor suas reflexões basais nos gráficos das amostras nas frações $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$.

Fácies de lamitos arenosos

A fácies de lamitos arenosos, representativa das porções distais no contexto da associação de leques aluviais proximais, ocorre intercalada verticalmente e interdigitada lateralmente com os conglomerados proximais, constituindo camadas com espessuras decimétricas a métricas (0,6 - 1,5m) (*Prancha 9, Foto A*).

Os lamitos arenosos são em geral compostos por grãos de quartzo na fração areia fina a média, os quais compõem uma matriz maciça, onde a argila está presente em proporções

variáveis e grãos de quartzo e feldspato plagioclásio branco (na fração areia grossa a grânulo) estão disseminados.

O difratograma de raios X obtido para amostra total de lamito arenoso exposto na borda norte da Bacia de Resende (local RE-14, Anexo 1) evidencia a composição quartzo-feldspática destes sedimentos e a presença de filossilicatos dos grupos da esmectita, caulinita e mica (*Prancha 9, Gráfico B*). Os estudos por MEV mostraram a alteração dos grãos de feldspato e os argilominerais esmectíticos ocupando os espaços intersticiais entre os grãos (*Prancha 9, Fotos C, D*). A esmectita apresenta-se como placas de granulação grossa e bordas onduladas (*Fotos D, E; EDS F*), contendo K, Ca e Fe, além de Si e Al; o espectro de EDS obtido revela ainda a contribuição de titânio.

Fácies de argilito rico em matéria orgânica

Riccomini (1989) descreveu, no sopé do Maciço Alcalino de Itatiaia (local RE-11, Anexo 1), uma ocorrência de argilito, por vezes arenoso, rico em matéria-orgânica, representativo da sedimentação em lago interlobo, o qual encontra-se intercalado a depósitos areno-conglomeráticos de leques aluviais proximais (*Prancha 9, Foto A; Prancha 10, Foto A*).

O difratograma de DRX obtido para amostra total do argilito arenoso, rico em matéria orgânica, revelou mineralogia composta por argilominerais dos grupos da esmectita e caulinita, além de quartzo, feldspato, mica, calcita e gipsita (mineral com reflexão com $7,72\text{\AA}$) (*Prancha 10, Gráfico B*). Os dados de MEV mostraram os grãos de quartzo, feldspato e mica presente no argilito e os cristais euhedrais de gipsita, crescidos nos poros do sedimento, além da contribuição de fosfatos de terras raras, como cristais arredondados e de granulação muito fina, associados a placas de argila (*Prancha 10, Fotos C, D*).

Prancha 9

Foto A – Visão geral de exposição da associação de fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende, no sopé do Maciço de Itatiaia (local RE-11, Anexo 1), onde intercalam-se conglomerados e lamitos arenosos.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito arenoso (local RE-14, Anexo 1), contendo grãos circundados pela matriz argilosa maciça.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a matriz argilosa maciça da foto A.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as placas de esmectita da matriz.

EDS F – Espectro de EDS da esmectita da foto D (análise correspondente ao quadrado na porção central da foto).

Figura 16 - (A) Difratomogramas de raios X obtidos para matriz areno-argilosa de conglomerados da fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende (Local RE-12, Anexo 1). (B) Difratomogramas de raios X obtidos para depósito da fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende (Local TB-19, Anexo 1): gráfico A - matriz argilosa de lamito conglomerático, gráfico B - lamito argilo-arenoso. (TOTAL – amostra total, 31un – amostra da fração <31 μ m, 5un – amostra da fração <5 μ m, 2un – amostra da fração <2 μ m).

Prancha 10

Foto A – Detalhe da intercalação de camada argilito (indicada pela letra A) de lago interlobos e pacotes de lamitos arenosos conglomeráticos (indicado pela letra B) de leques aluviais proximais da Formação Resende, Bacia de Resende (local RE-11, Anexo 1).

Gráfico B – Difratomogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem indicada na foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a presença de cristais prismáticos de gipsita crescidos nos poros do argilito rico em matéria-orgânica da foto A.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando a presença de fosfato de terras raras imerso na matriz argilosa da foto B.

5.1.2.2 Associação de fácies de leques aluviais medianos

A associação de fácies de leques aluviais medianos encontra-se bem representada nas bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo, ocupando posições intermediárias entre as associações de leques aluviais proximais e distais.

Esta associação é composta pelas fácies de: 1) lamitos argilosos, 2) lamitos argilo-arenosos, podendo conter grãos na fração areia grossa, grânulos e seixos disseminados, e 3) lamito areno-argiloso. Localmente, estes sedimentos apresentam cimentação carbonática e estão associados a calcretes.

Fácies de lamitos argilosos

A fácies de lamitos argilosos está representada nos locais RE-16 e CP-02 (Anexo 1), respectivamente, nas bacias de Resende (porção sudoeste) e Volta Redonda. No contexto de leques aluviais medianos, a fácies de lamitos argilosos é caracterizada pela abundante matriz argilosa maciça, de cor verde, contendo grãos de mica e quartzo disseminados na fração areia fina a muito fina.

Em geral, os difratogramas de DRX obtidos para amostras totais destes sedimentos mostraram esmectita, caulinita e mica com reflexões 001 bem definidas, além de quartzo com pico de baixa intensidade (Figs. 17A, 18B (gráfico C)). As reflexões basais da esmectita e caulinita se intensificam nos gráficos das amostras das frações $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$ (Fig. 18A); nestas amostras foi possível observar a expansão da esmectita para $18\text{\AA}$ após a solvatação com etilenoglicol e a contração para $10\text{\AA}$ com o aquecimento (Fig. 18A). Para amostras das frações $< 31\mu\text{m}$ e $< 5\mu\text{m}$ do lamito argiloso do local RE-16 foram ainda obtidos difratogramas de raios X, após saturação com Mg e solvatação com vapor de glicerol a 100°C , o que confirmou a presença de esmectita pela completa expansão da reflexão basal 001 para $18,55\text{\AA}$ (Figs. 18B, 18C). Na prancha 11 (*Fotos A, B*) notam-se a estrutura maciça do sedimento, contendo grãos de quartzo imersos na matriz argilosa, e o crescimento de argilominerais de

granulação fina e formas onduladas (textura "larval") a arredondadas sobre os grãos clásticos (*Fotos C, D*).

Nas fotos de MEV obtidas para lamito argiloso (amostra A, Fig. 19A) de leque aluvial mediano, coletado na Bacia de Volta Redonda, pode-se melhor observar a matriz argilosa maciça (*Prancha 12, Foto A*), constituída por placas arredondadas de esmectita com granulação grossa ($> 5\mu\text{m}$) e bordas irregulares (*Foto B; EDS C*) e contendo grãos detríticos disseminados.

A fácies de lamitos argilosos está bem representada nas seções colunares das figuras 19 e 20, na porção central da Bacia de Resende. Os dados de DRX para amostras totais destes depósitos mostraram a esmectita com reflexão basal 001 bem definida, de média a alta intensidade (Fig. 19, gráfico B; Fig. 20B, gráfico D). Ao MEV estes sedimentos também demonstraram conter essencialmente placas de esmectita com formas arredondadas a irregulares, granulação grossa e contendo Si, Al, Mg, Ca e Fe (*Prancha 13, Fotos A, B; EDS C*), as quais constituem uma matriz maciça onde disseminam-se os grãos detríticos. Estes sedimentos lamíticos encontram-se impregnados por carbonatos, comumente calcita fina (*Prancha 13, Foto D*) e mais restritamente por dolomita. A presença de dolomita, conforme indicada pelo DRX (Fig. 19B, gráfico B), foi também confirmada por MEV, ocorrendo como cristais subhedrais de granulação grossa e como cristais anedrais finos (pequenos glóbulos) (*Prancha 13, Fotos E, F; EDS G*). Argilominerais, crescidos como agregados de placas delgadas, ocorrem dispersos sobre as dolomitas (*Foto H*).

Na sondagem SP4421 (*Prancha 14, Seção colunar A*), perfurada pelo METRÔ na porção central da Bacia de São Paulo (local SP4421, Anexo 2), intercalam-se lamitos argilosos e arenosos da fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende. Estes lamitos argilosos apresentam esmectita apenas bem caracterizada nos difratogramas de raios X das frações finas, com reflexão basal 001 de alta intensidade e perfis afilados, tendo ainda mica e caulinita também com reflexões basais de média a alta intensidade (*Prancha 14, Gráfico B*). Ao MEV

estes lamitos argilosos apresentam matriz maciça composta por placas arredondadas de esmectita (*Prancha 14, Fotos D, E; EDS F*).

Fácies de lamitos argilo-arenosos

A fácies de lamitos argilo-arenosos está representada em praticamente todos os afloramentos amostrados na associação de leques aluviais medianos da Formação Resende: locais TB-18 (Fig. 17B), CP-02 (Fig. 18A, amostra C), RE-40 (Fig. 20, amostra B) e TB-49 (Fig. 21A, amostra B) (Anexo 1). No contexto de leques aluviais medianos, a fácies de lamitos argilo-arenosos caracteriza-se por apresentar matriz argilosa maciça, de cor verde, contendo grãos de quartzo, feldspato e mica na fração areia muito fina a muito grossa, disseminados em proporções variáveis. Em geral, a esmectita exibe reflexão 001 de média a alta intensidade nos difratogramas de raios X de amostras totais, sendo a mica e a caulinita ausentes (Fig. 18B, gráfico C) ou caracterizadas por picos de baixa intensidade (Fig. 17B; Fig. 20B, gráfico B); quartzo e feldspato estão sempre presentes com picos de alta intensidade. Os estudos por MEV mostraram a estrutura maciça da matriz argilosa destes lamitos (*Prancha 11, Foto E*), onde os grãos de quartzo e feldspato estão disseminados.

Lamitos argilo-arenosos, aflorantes na borda oeste da Bacia de Taubaté (Fig. 21) e em obra subterrânea da Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ) na borda norte da Bacia de São Paulo (local BSP-58r, Anexo 2), apresentam as mesmas características mineralógicas que os depósitos lamíticos argilo-arenosos da Bacia de Resende. A esmectita apresenta-se como o filossilicato melhor caracterizado nos difratogramas de raios X tanto de amostras totais (Fig. 21B) como das frações finas (Fig. 21C), exibindo sempre picos de alta intensidade. A caulinita e a mica apresentam reflexões 001 de baixa intensidade nestes gráficos; quartzo e feldspato ocorrem indiscriminadamente e calcita está restrita aos níveis de calcrete (Fig. 21B, gráfico A). Os aspectos morfológicos (placas grossas com bordas irregulares) e composicionais (Si, Al, K, Ca, Fe) das esmectitas também se mantêm (*Prancha 15, Fotos A, C; EDS B, D*).

Figura 17- (A) Difractogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas de lamito argiloso da fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende (Local RE-16, Anexo 1). (B) e (C) Difractogramas de raios X de amostras, respectivamente, das frações $< 5\mu\text{m}$ e $< 31\mu\text{m}$ da amostra total apresentada em (A). (D) Difractogramas de raios X obtidos para amostra total e das frações finas de lamito argilo-arenoso da fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende (Local TB-18, Anexo 1).

Figura 18 - (A) Croqui de afloramento da Formação Resende, situado na Bacia de Volta Redonda (Local CP-02, Anexo 1): 1) derrame de lava ankaramítica; 2) lamito argiloso; 3) lamito areno-argiloso. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais. Amostragem correspondente à figura (A).

Prancha 11

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso (local RE-16, Anexo 1), contendo grãos de quartzo e feldspato e matriz argilosa maciça entre os grãos.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a estrutura maciça da matriz da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando argilominerais finos com formas onduladas (textura "larval") crescidos sobre os grãos clásticos da foto A.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais com formas arredondadas e granulação fina que também crescem sobre os grãos clásticos do sedimento da foto A.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argilo-arenoso (local TB-18, Anexo 1), contendo grãos de quartzo e feldspato imersos na matriz argilosa maciça.

Prancha 12

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do lamito argiloso da amostra A da figura 18A (local CP-02, Anexo 1), que contém grãos de quartzo e feldspato imersos na matriz argilosa maciça.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a matriz argilosa da foto A.

EDS C – Espectro de EDS da matriz da foto B (análise correspondente à porção central da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral dos glóbulos de argilominerais, crescidos em poros do lamito argilo-arenoso da amostra C da figura 18A (local CP-02, Anexo 1).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a estrutura concêntrica dos glóbulos da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da superfície externa do glóbulo da foto E. Notar a granulação fina e a morfologia delicada destes argilominerais.

EDS G – Espectro de EDS dos argilominerais da foto F (análise correspondente à porção central da foto).

Foto H - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do lamito arenoso da amostra B da figura 18A (local CP-02, Anexo 1), que contém grãos de feldspato alterado e pouca matriz argilosa.

Figura 19 - (A) Seção colunar da Formação Resende (Local RE-08, Anexo 1): 1) lamito argiloso; 2) calcrete nodular; 3) camada de calcrete tabular. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais. Amostragem correspondente à figura (A).

Figura 20 - (A) Seção colunar da Formação Resende (Local RE-40, Anexo 1): 1) solo recente; 2) lamito arenoso conglomerático; 3) lamito argilo-arenoso; 4) lamito argiloso; 5) calcrite em rachadura. (B) Difratoformas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A).

Prancha 13

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso (amostra C, Fig. 19A, local RE-08, Anexo 1), contendo grãos clásticos imersos na matriz argilosa maciça.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando as esmectitas da matriz da foto A, as quais apresentam granulação grossa e bordas onduladas.

EDS C – Espectro de EDS dos argilominerais da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando as calcitas que constituem os nódulos de calcrete da seção colunar da figura 19A (local RE-08, Anexo 1).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral das dolomitas impregnando os lamitos argilosos da exposição do local RE-08 (Anexo 1).

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia das dolomitas da foto E.

EDS G – Espectro de EDS da dolomita da foto F.

Foto H - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando argilominerais crescidos sobre as dolomitas da foto E.

Prancha 14

A - Perfil da sondagem SP44121, Formação Resende, Bacia de São Paulo (local SP4421, Anexo 2): 1) solo, 2) lamito argiloso, 3) lamito arenoso conglomerático, 4) lamito arenoso.

Gráfico B - Difrátogramas de raios X de amostra total e das frações finas de lamito argiloso.

Gráfico C - Difrátograma de raios X de amostra total de lamito arenoso.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso (local SP4421, Anexo 2), contendo raros grãos clásticos imersos na matriz argilosa maciça.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da matriz da foto A.

EDS F – Espectro de EDS dos argilominerais da foto B (análise correspondente ao ponto F da foto).

Prancha 15

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, contendo raros grãos clásticos imersos na abundante matriz argilosa (local TB-49, Anexo 1).

EDS B – Espectro de EDS dos argilominerais da foto A (análise correspondente ao quadrado no lado esquerdo da foto B).

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da matriz que circundam alguns grãos clásticos.

EDS D – Espectro de EDS dos argilominerais da foto C (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Figura 21 – (A) Croqui de afloramento da Formação Resende (Local TB-49, Anexo 1): 1) lamitos argilo-arenosos; 2) calcres em rachaduras. (B) Difratoformas de raios X obtidos para amostras totais correspondentes à amostragem em (A). (C) Difratoformas de raios X obtidos para amostras das frações finas da amostra B.

Os estudos por MEV revelaram ainda que o lamito argilo-arenoso da base da seção colunar ocorrente na Bacia de Volta Redonda (amostra C, Fig. 18A) contém pequenos glóbulos argilosos preenchendo poros na matriz argilosa maciça (*Prancha 12, Foto D*). Estes glóbulos exibem tendência a coalescência e são compostos por auréolas (*Foto E*), onde orientam-se placas muito delgadas com formas onduladas de argilomineral (*Foto F; EDS G*).

Fácies de lamitos areno-argilosos

Os sedimentos lamíticos areno-argilosos estão melhor representados na seção colunar da figura 20 (amostras B e C), onde também ocorrem níveis conglomeráticos contendo seixos (5 a 8cm) de quartzo e feldspatos brancos (plagioclásios) e róseos (feldspatos potássicos) (amostras A e E).

Em lâminas delgadas destes lamitos areno-argilosos nota-se a angulosidade dos clastos de quartzo e feldspato que encontram-se disseminados na matriz, apresentando localmente contatos laterais ou pontuais entre os grãos (*Prancha 16, Foto A*). Ao MEV, nota-se a estrutura maciça da matriz, preenchendo os espaços intergranulares existentes entre os clastos (*Prancha 16, Foto B*). As esmectitas que formam a matriz apresentam-se como placas de granulação grossa, contendo Si, Al, Mg, K, Ca e Fe (*Prancha 16, Foto C; EDS D*).

Ao MEV puderam ainda ser observados argilominerais muito finos, com formas onduladas, contendo Si, Al, Mg, Ca e Fe, crescidos como agregados (pequenos “chumaços”) (*Prancha 17, Fotos A, B; EDS C*) e pequenos cristais euhedrais de apatita (*Fotos A, D; EDS E*), ambos crescidos sobre e, aparentemente, originados a partir da matriz argilosa maciça.

A partir das análises via DRX e MEV puderam também ser encontrados fosfatos de cálcio com terras raras, caracterizados pelo pico $d = 2,80\text{\AA}$ (Fig. 20B, gráfico C), identificado como mineral do grupo da apatita, provavelmente britholita, a qual também pode ser observada ao MEV, através de imagem de elétrons retroespalhados, como cristais prismáticos euhedrais crescidos em rosetas sobre os grãos detríticos e a matriz (*Prancha 17, Fotos F, G; EDS H*).

Prancha 16

Foto A – Fotomicrografia da matriz de lamito argilo-arenoso mostrando a abundância em grãos, localmente com contatos pontuais ou laterais, e a matriz argilosa que os envolve parcialmente (nicóis cruzados, aumento de 25x) (amostra B, Fig. 20A, local RE-40, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do sedimento da foto A, contendo grãos clásticos e matriz argilosa intersticial.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da matriz que circunda os grãos clásticos da foto B.

EDS C – Espectro de EDS dos argilominerais da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Prancha 17

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando argilominerais crescidos sobre a matriz argilosa de lamito argilo-arenoso e associados a cristais de apatita (amostra C, Fig. 20A, local RE-40, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da foto A.

EDS C – Espectro de EDS dos argilominerais da foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as apatitas da foto A.

EDS E – Espectro de EDS da apatita da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando cristais de fosfato de terras raras crescidos sobre a matriz e junto a bordas de grãos.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando o hábito euedral dos cristais de fosfato da foto F.

EDS H – Espectro de EDS do fosfato de terras raras da foto G.

Dados de DRX obtidos para lamito arenoso de leque aluvial mediano coletado na Bacia de Volta Redonda (local CP-02, Anexo 1) corroboram aqueles apresentados acima para esta fácies na Bacia de Resende. No gráfico de DRX da figura 18B, correspondente à amostra B, nota-se que o sedimento lamítico arenoso conglomerático contém quartzo e feldspato, sendo os minerais filossilicáticos mal definidos. Os dados de MEV mostraram os clastos de quartzo e feldspato, estes em geral muito alterados (*Prancha 12, Foto H*), e a pequena contribuição de matriz argilosa neste sedimento.

Adicionalmente, na sondagem SP4421 (*Prancha 14, Seção colunar A*), lamitos arenosos contendo grãos na fração areia fina a média estão presentes em vários níveis da seção, caracterizando-se por apresentarem filossilicatos (esmectita, mica e caulinita) com reflexões basais de baixa intensidade e quartzo e feldspato com picos de alta intensidade em gráficos de DRX de amostras totais (*Prancha 14, Gráfico C*).

Calcretes

Nas bacias de Resende, Taubaté e São Paulo, os depósitos da associação de fácies de leques aluviais medianos estão localmente cimentados por carbonatos e associados a calcretes, os quais podem ser morfologicamente caracterizados como:

- a) calcretes nodulares, constituídos por nódulos arredondados, centimétricos, com cerca de 2 a 10cm de diâmetro, raramente decimétricos (~ 70cm), de cor branca a rósea, os quais encontram-se bem representados nos afloramentos da porção central da Bacia de Resende (Fig. 21) e borda norte da Bacia de São Paulo (local BSP-58r, Anexo 2);
- b) calcrete maciço, de coloração esbranquiçada, constituindo nível tabular de espessura centimétrica (50cm), encontrado unicamente no afloramento da figura 19;
- c) calcretes preenchendo rachaduras de ressecção, em geral com espessuras milimétricas a centimétricas (1 a 3cm) e cores branca a rósea, a exemplo da exposição das figuras 20 e 21.

A calcita é o carbonato que constitui os diferentes tipos de calcretes, incluindo os nodulares presentes na sondagem do CNP. Em algumas amostras ocorre também dolomita, com picos de muito baixa intensidade nos difratogramas de raios X de amostra totais.

Na figura 22A, os gráficos de DRX obtidos para amostras totais de nódulo carbonático e lamito argiloso a ele associado, coletados no local RE-08 (Anexo 1; Fig. 19) demonstram o contraste mineralógico existente entre estas litologias e também a existência de dolomita apenas nos lamitos. A esmectita presente nos nódulos carbonáticos foi melhor observada após o tratamento da amostra carbonática com HCl (Figs. 22B, 22C). Estes nódulos carbonáticos são constituídos por calcitas arredondadas finas, que compõem um sedimento maciço (*Prancha 18, Fotos A, B, D; EDS C*), onde pequenas cavidades são preenchidas por calcitas grossas (cristalárias), subhedrais a euhedrais (Foto D), com feições de incipiente dissolução e contendo agregados de argilominerais muito finos em sua superfície. Em catodoluminescência nota-se que as calcitas finas compõem uma matriz micrítica, onde existem zonas de recristalização exibindo forte luminescência (*Prancha 18, Fotos E, F*).

As calcitas que compõem o calcrete maciço tabular, correspondente à amostra E da figura 19A, são de granulação fina e formas arredondadas (*Prancha 19, Fotos A, B; EDS C*) e associam-se a placas delgadas e onduladas de esmectita (*Foto D; EDS E*), as quais preenchem espaços porosos do sedimento. Nos estudos petrográficos com luz natural e com catodoluminescência foi possível notar a brechação da matriz micrítica, contendo material carbonático secundário com forte luminescência (*Fotos F, G*).

Os calcretes que preenchem rachaduras estão bem desenvolvidos no afloramento da figura 21, exposto na borda oeste da Bacia de Taubaté (local TB-49, Anexo 1). Em fatia polida deste calcrete é possível notar a intensa brechação da rocha (*Prancha 20, Foto A*) e, por catodoluminescência, a corrosão dos grãos clásticos do sedimento lamítico original pelo carbonato (*Fotos B, C*). Destaca-se ainda a presença de cristais finos de barita (*Prancha 20, Foto D, EDS E*) e carbonato de terras raras (*Fotos F, G, EDS H*), provavelmente lantanita (Coimbra *et al.* 1989), disseminados nos níveis de calcrete.

Figura 22 - (A) Difractogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem na figura 19A (gráfico A – lamito argiloso, gráfico N – nódulo carbonático). (B) Difractogramas de raios X obtidos para nódulo carbonático da figura 19A, após tratamento com HCl. (B) Difractogramas de raios X obtidos para nódulo carbonático coletado na borda norte da Bacia de São Paulo (Local BSP58r, Anexo 2), após tratamento com HCl.

Prancha 18

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de calcrete nodular formado por uma matriz maciça de granulação fina (local BSP-58r, Anexo 2).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a calcita fina da matriz da foto A.

EDS C – Espectro de EDS das calcitas da foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando cavidade de dissolução desenvolvida na matriz micrítica, preenchida por cristais de calcita de granulação grossa.

Foto E - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcrete, mostrando a matriz micrítica e fraturas preenchidas por material carbonático secundário com luminescência mais intensa (luminescência alaranjada) (Tempo de exposição: 20 segundos, $I = 252 \mu A$).

Foto F – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcrete da foto E.

Prancha 19

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do calcrete tabular da figura 19A formado por uma matriz maciça de granulação fina (amostra E, Fig. 19A, local RE-08, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a calcita fina da matriz da foto A.

EDS C – Espectro de EDS das calcitas da foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais finos crescidos junto às calcitas finas da matriz da foto A e preenchendo a porosidade da rocha.

EDS E – Espectro de EDS dos argilominerais da foto D.

Foto F - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcrete, mostrando a brechação da matriz micrítica, sendo as brechas preenchidas por material carbonático secundário com luminescência mais intensa (luminescência alaranjada) (Tempo de exposição: 20 segundos, $I = 252 \mu A$).

Foto G – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcrete da foto F.

Prancha 20

Foto A – Foto de amostra do calcrete em fratura da exposição do local TB-49 (Anexo 1) (Fig. 21A).

Foto B - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcrete tabular da foto A, mostrando a matriz micrítica, contendo grãos clásticos sendo corroídos pelo carbonato (Tempo de exposição: 1 minuto, $I = 256-260 \mu A$).

Foto C – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) do calcrete da foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando a presença de barita imersa na matriz argilosa do lamito argilo-arenoso que hospeda o calcrete em fratura do local TB-49 (Anexo 1).

EDS E – Espectro de EDS da barita da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando a presença de carbonato de terras raras imerso na matriz argilosa.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o carbonato de terras raras imerso na matriz argilosa do lamito argilo-arenoso que hospeda o calcrete em fratura do local TB-49 (Anexo 1).

EDS H – Espectro de EDS do cristal de carbonato de terras raras da foto G.

5.1.2.3 Associação de fácies de leques aluviais distais relacionados a planícies aluviais de rios entrelaçados

A associação de leques aluviais distais relacionados a planícies aluviais de rios entrelaçados está presente nas bacias de Resende, Taubaté e São Paulo, onde seus depósitos são expressivos.

As planícies de rios entrelaçados estão representadas por arenitos, por vezes conglomeráticos e em geral estratificados (estratificações cruzadas), contendo grãos de quartzo, feldspato, mica e mineral máfico, além de proporções variadas de matriz argilosa esverdeada. Estes sedimentos arenosos intercalam-se aos depósitos lamíticos argilosos e argilo-arenosos dos leques aluviais distais da Formação Resende.

A amostragem das fácies desta associação foi efetuada nas porções central da Bacia de Resende, sudoeste da Bacia de Taubaté e oeste da Bacia de São Paulo, onde as exposições estão bem preservadas. Adicionalmente foram coletadas amostras de lamitos argilosos com calcretes e arenito na sondagem de nº 42 do CNP.

Fácies de arenitos

A fácies de arenitos fluviais está bem caracterizada na seção-tipo da Formação Resende, exposta na porção central da bacia homônima (local RE-10, Anexo 1) (Fig. 23). Os estudos petrográficos mostraram a angulosidade dos clastos arenosos e a pequena contribuição da matriz argilosa, presente como delgadas películas nos contatos entre grãos, correspondendo a matriz de infiltração (*Prancha 21, Foto A*). Os dados de DRX obtidos para amostras totais destes sedimentos confirmaram a composição essencialmente quartzo-feldspática dos arenitos. A análise das frações finas ($< 31\mu\text{m}$, $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$) revelou esmectitas com reflexões 001 mal definidas de perfis alargados, e reflexões basais 001 bem definidas de alta intensidade para a caulinita e mica (Fig. 23C).

Na porção sudoeste da Bacia de Taubaté foram amostradas duas outras exposições onde intercalam-se arenitos e conglomerados fluviais a lamitos argilosos de leques aluviais distais (locais TB-48, TB-50, Anexo 1). Os dados de DRX obtidos para estes depósitos corroboram, no geral, aqueles apresentados para a seção-tipo da Formação Resende. Nos difratogramas de raios X obtidos para amostras totais (Figs. 24, 26) e das frações mais finas destes arenitos (Figs. 25, 26), a caulinita tende a exibir reflexões melhor definidas e com mais alta intensidade do que a mica e a esmectita.

Em afloramento desta fácies, situado na borda oeste da Bacia de São Paulo (local BSP-51, Anexo 2), está exposto o contato das formações Resende e São Paulo. Neste local, os sedimentos da Formação Resende apresentam-se com colorações arroxeadas próximo ao contato com a Formação São Paulo (Fig. 27) e os difratogramas de DRX obtidos para amostras totais dos arenitos revelaram unicamente a presença de mica e caulinita, associadas a quartzo e feldspato. Somente na base da seção, correspondente à exposição da figura 28, onde os sedimentos não estão alterados e o arenito ocorre sob a forma de dique clástico, injetado nos sedimentos lamíticos argilo-arenosos, é que a esmectita pode ser melhor observada.

As análises petrográficas em lâminas delgadas mostraram que estes arenitos se assemelham aquele da seção-tipo da Formação Resende, podendo apenas variar a proporção de matriz argilosa intersticial aos grãos (*Prancha 21, Fotos B, C*).

De modo geral, os estudos por MEV de amostras desta fácies, coletadas nas várias bacias, revelaram que os arenitos são compostos essencialmente por grãos detríticos de quartzo e feldspato, estes em geral alterados, com alta porosidade intragranular e pouca matriz argilosa. Na quase totalidade dos afloramentos amostrados, com exceção da seção-tipo da Formação Resende, os grãos clásticos e matriz dos arenitos estão recobertos por cristais de sílica com forma de glóbulos ou lepisferas de granulação fina (*Prancha 22, Fotos A, B, C; EDS D*), os quais podem coalescer e originar uma manta maciça que reveste parcialmente os grãos detríticos e a matriz (*Foto E*). Na foto A destaca-se a relação textural entre os glóbulos de sílica e os grãos de feldspato alterados, indicando que a alteração foi posterior, tendo em vista que a

silica não preencheu a porosidade intragranular do feldspato. A sílica está associada a cristais euhedrais de barita (*Prancha 22, Fotos F, G; EDS H*), tendo ambas crescido sobre a superfície dos grãos detríticos do sedimento.

A presença de glóbulos e lepisferas de sílica pode ser observada também nos arenitos dos locais TB-48 (Anexo 1) e BSP-51 (Anexo 2). Adicionalmente, no local TB-48 ocorrem rosetas de barita recobrimdo os grãos arenosos.

O arenito fluvial amostrado na base da sondagem nº 42 do CNP (Fig. 29A) é friável, impossibilitando estudos texturais por MEV. Os dados de DRX obtidos (Fig. 29C, gráfico CNP822) concordam com aqueles apresentados para a seção-tipo da Formação Resende, estando bem caracterizados apenas os picos do quartzo e feldspato.

Fácies de lamitos argilosos

Na seção-tipo da Formação Resende (Fig. 23) está bem caracterizada a fácies de lamitos argilosos distais intercalados aos arenitos fluviais da Formação Resende. Os dados de DRX obtidos para amostras totais destes lamitos revelaram argilominerais dos grupos da esmectita e caulinita, além de mica, quartzo, feldspato e calcita (Fig. 23B, gráfico A). Também nestes sedimentos lamíticos argilosos, a esmectita exhibe reflexões 001 bem definidas e de alta intensidade, quando comparadas às aquelas apresentadas pela caulinita e mica. A análise dos difratogramas de raios X obtidos para amostras das frações finas ($< 31\mu\text{m}$, $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$) mostrou uma melhor definição da reflexão 001 da esmectita, especialmente para a fração $< 2\mu\text{m}$, quando comparada àquela dos gráficos dos arenitos, onde as reflexões basais da esmectita se configuram com formas alargadas e mal definidas (Fig. 23C).

Ressalta-se, no entanto, a baixa intensidade da reflexão basal 001 da esmectita destes lamitos, quando comparada com as verificadas nos difratogramas das amostras de lamito da associação de fácies de leques aluviais medianos em parte relacionados a calcretes.

Nos locais TB-50 e TB-48 (Anexo 1), porção sudoeste da Bacia de Taubaté, foram amostradas duas seções colunares representativas desta fácies. Os dados de DRX obtidos

para estes depósitos corroboram, no geral, aqueles apresentados para a seção-tipo da Formação Resende. Nos difratogramas de raios X obtidos para amostras totais destes sedimentos, a caulinita tende a exibir reflexões melhor definidas e com mais alta intensidade do que a mica e a esmectita (Figs. 24, 26). A reflexão 001 da esmectita está melhor caracterizada nos difratogramas das amostras da fração $< 2\mu\text{m}$ (Fig. 25A), tendo sido diagnosticada pela expansão do espaçamento basal para aproximadamente $18\text{\AA}$, após glicolagem, e retração para $10\text{\AA}$, após aquecimento da amostra.

Em imagens de MEV dos lamitos argilosos destes afloramentos pode-se observar a abundância em matriz argilosa com estrutura maciça (*Prancha 23, Fotos A, B; EDS C*), formada por placas de argilominerais com granulação média a grossa ($> 2\mu\text{m}$), formas irregulares e contendo Si, Al, K, Ca e Fe, além da contribuição de titânio. Nesta matriz argilosa estão disseminados clastos angulosos de quartzo e feldspato, além de raros grãos arredondados de fosfatos de terras raras (*Prancha 23, Fotos F, G, EDS H*).

Os estudos por MEV destes lamitos revelaram também glóbulos de sílica recobrendo localmente a parede de poros na matriz argilosa.

Na sondagem nº 42 do CNP (Fig. 29A), perfurada na porção central da Bacia de Taubaté (local CNP42, Anexo 1), estão presentes os sedimentos lamíticos argilosos, por vezes contendo calcretes, de leques aluviais medianos da Formação Resende, os quais apresentam-se macroscopicamente com as mesmas características (estrutura maciça, cor verde) que os lamitos argilosos aflorantes em superfície. Na sondagem do CNP, estes sedimentos encontram-se melhor caracterizados entre as profundidades de 168 a 188m, ocorrendo ainda intercalados aos depósitos lacustres da Formação Tremembé, em profundidades mais rasas.

Nos gráficos de DRX obtidos para amostras totais dos lamitos argilosos da Formação Resende, amostrados nesta sondagem, foram notados os picos basais 001 da esmectita ($d \sim 15\text{\AA}$), mica ($d = 9\text{-}10\text{\AA}$) e caulinita ($d = 7,1\text{\AA}$) (Figs. 29B, 29C). Adicionalmente, quartzo está presente em todos os gráficos e feldspato tem ocorrência restrita.

Figura 23 - (A) Seção-tipo da Formação Resende (Melo *et al.* 1985) (Local RE-10, Anexo 1): 1) arenito conglomerático com estratificações cruzadas; 2) lamito argilo-arenoso 3) lamito argiloso. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra A. (D) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra B.

Prancha 21

Foto A – Fotomicrografia de arenito fluvial da Formação Resende, Bacia de Resende (local RE-10, Anexo A), mostrando a pouca contribuição de matriz argilosa, que ocorre localmente como moldes nos contatos entre os grãos (nicóis cruzados, aumento de 25x).

Foto B – Fotomicrografia de arenito fluvial da Formação Resende, Bacia de Taubaté (local TB-48, Anexo A), mostrando a maior contribuição de matriz argilosa na constituições da rocha (nicóis paralelos, aumento de 25x).

Foto C – Fotomicrografia do arenito fluvial da foto B, mostrando a pouca contribuição de matriz argilosa, que ocorre localmente como moldes nos contatos entre os grãos (nicóis cruzados, aumento de 25x).

Figura 24 - (A) Seção colunar da Formação Resende, descrita em afloramento situado na porção oeste da Bacia de Taubaté (Local TB-50, Anexo 1): 1) arenito; 2) conglomerado; 3) lamito argiloso; 4) marcas de raízes. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A).

Figura 25 - Difratoigramas de raios X das frações finas da amostra C (gráfico A) e da amostra B (gráfico B) da seção colunar da figura 24A.

Figura 26 - Difractogramas de raios X obtidos para amostras totais e das frações finas de depósito da Formação Resende, situado na porção oeste da Bacia de Taubaté (Local TB-48). (A - arenito; B - lamito argiloso).

Figura 27 - (A) Contato entre a Formação Resende (intercalação de lamitos argilosos (1) e arenitos com estratificação cruzada e lentes conglomeráticas (2)) e a Formação São Paulo (intercalação de arenitos (3) e argilitos (4)). (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A).

Figura 28 - (A) Foto da base da exposição amostrada na borda oeste da Bacia de São Paulo (Local BSP-51, Anexo 2), exibindo dique clástico de arenito (A - dique clástico de arenito; B, C - lamito argilo-arenoso). (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais. (A numeração dos gráficos corresponde àquela da figura (A)).

Prancha 22

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de manta de sílica fina recobrindo os grãos de arenito fluvial da Formação Resende (amostra B, Fig. 24A, local TB-50, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia globular da sílica da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a relação textural da manta de sílica recobrindo grãos de feldspato posteriormente alterados (amostra G, Fig. 24A, local TB-50, Anexo 1).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a textura entrelaçada das lespíferas de sílica da foto C.

EDS E – Espectro de EDS das lespíferas de sílica da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a presença de cristais euhedrais de barita crescidos sobre a superfície de grãos clásticos (quartzo) da amostra F (24A, local TB-50, Anexo 1).

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a relação textural da barita com as lespíferas de sílica, ambas crescidas sobre a superfície de grãos clásticos (quartzo).

EDS H – Espectro de EDS da barita da foto G.

Figura 29A - Perfil da sondagem nº 42 do CNP, Olaria do Couto, Município de Tremembé (SP) (Local CNP42, Anexo 1): 1) cobertura colúvio-aluvial; 2) argilitos; 3) folhelhos; 4) folhelhos papiráceos; 5) siltitos; 6) areias grossas; 7) lamitos, a largura das colunas indica a dimensão dos maiores clastos presentes; 8) estruturas "flame"; 9) gretas de contração; 10) calcrete; 11) bioturbações (Riccomini 1989, modificado).

Figura 29B - Difratoigramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, de lamitos da Formação Resende amostrados na sondagem nº 42 do CNP. (A numeração dos gráficos corresponde àquela da figura 29A).

Figura 29C - Difrátogramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, de lamitos da Formação Resende amostrados na sondagem nº 42 do CNP (A numeração dos gráficos corresponde àquela da figura 29A).

Prancha 23

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, contendo grãos clásticos imersos na matriz argilosa maciça (amostra A, 24A, local TB-50, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a matriz argilosa entre grãos clásticos.

EDS C – Espectro de EDS da matriz da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção centro-direita da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da matriz argilosa maciça do lamito argiloso correspondente à amostra D da figura 24A (local TB-50, Anexo 1).

EDS E – Espectro de EDS da matriz da foto D (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando a presença de grão de fosfato de terras raras imerso na matriz argilosa do lamito argiloso da foto A.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da matriz e o grão de fosfato de terras raras da foto F.

EDS H – Espectro de EDS do fosfato de terras raras da foto G.

Ressalta-se que, devido ao fato das amostras disponíveis neste testemunho serem diminutas, o estudo de frações finas ficou prejudicado e, de modo geral, os difratogramas de raios X de amostras totais apresentam linha de base (*background*) muito oscilante, o que dificulta a interpretação. Assim, o difratograma correspondente à amostra CNP245 (Fig. 29B) foi tomado como parâmetro para a identificação da esmectita, mica e caulinita contidas nos lamitos desta sondagem, uma vez que suas reflexões basais 001 apresentam-se bem caracterizadas e servem de referência para a identificação destes minerais nos demais gráficos.

O comportamento da esmectita, mica e caulinita após os tratamentos de glicolagem e aquecimento, neste caso de amostra total, pode ser observado no difratograma CNP245 da figura 30.

Para a matriz dos lamitos argilosos da Formação Resende, perfurados pela sondagem do CNP, foram obtidas imagens de MEV para amostras de diferentes profundidades (*Pranchas 24, 25*). Em geral, notam-se placas de esmectita com formas arredondadas a irregulares, com bordas ligeiramente onduladas e contendo Si, Al, Mg, K, Ca e Fe, podendo ainda estar presente Ti. Adicionalmente, foram encontrados grãos de quartzo e placas de mica, e mais raramente cristais de barita (*Prancha 25, Fotos D, E; EDS F*) disseminados esparsamente sobre a matriz argilosa.

Em afloramento desta fácies da Formação Resende, exposto na borda oeste da Bacia de São Paulo, tem-se o contato das formações Resende e São Paulo. Os lamitos da Formação Resende são arroxeados próximo ao contato com a Formação São Paulo (Fig. 27, amostras A, D) e contêm unicamente mica e caulinita, associadas a quartzo e feldspato, tendo sido a esmectita encontrada somente no depósito da Formação Resende da base da exposição (Fig. 28, amostras A, B). Para esta ocorrência destaca-se também a baixa intensidade da reflexão basal 001 da esmectita, mesmo nos difratogramas dos lamitos argilosos, quando comparada aquelas encontradas nos difratogramas das amostras de lamito da associação de fácies de leques aluviais medianos em parte relacionados a calcretes.

Figura 30 - (A) Difrátogramas de raios X obtidos para amostra total de lamito da Formação Resende amostrado na sondagem nº 42 do CNP (amostra CNP245) (T - amostra total, TG - amostra total gicolada, TAQ - amostra total aquecida). (B) e (C) Difrátogramas de raios X obtidos para amostras de calcretes, após tratamento com HCl (gráfico B - amostra CNP769, gráfico C - amostra CNP 850).

Prancha 24

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, com estrutura maciça da matriz, formada por argilominerais de formas arredondadas (amostra CNP211, 29A, local CNP42, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais que compõem a matriz do lamito argiloso da foto A.

EDS C – Espectro de EDS dos argilominerais da matriz da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção centro-inferior da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, com estrutura maciça da matriz (amostra CNP679, 29A, local CNP42, Anexo 1).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais que compõem a matriz do lamito argiloso da foto D.

EDS F – Espectro de EDS dos argilominerais da matriz da foto E (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Prancha 25

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, com estrutura maciça da matriz, formada por placas de esmectita com bordas onduladas (amostra CNP811, Fig. Fig. 29A, local CNP42, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as esmectitas da foto A.

EDS C – Espectro de EDS da esmectita da matriz da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando grãos de barita com hábito prismático associados à matriz do lamito argiloso da foto A.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) detalhando as baritas da foto D.

EDS F – Espectro de EDS da barita da foto E.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, com matriz maciça formada por placas de esmectita com granulação grossa e contendo argilominerais finos com formas bordas onduladas (amostra CNP814, Fig. 29A, local CNP42, Anexo 1).

Foto H - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as placas onduladas de esmectita da foto G.

Calcretes

Os calcretes nodulares ocorrentes no testemunho da sondagem nº 42 do CNP são compostos por calcita (Fig. 29C, gráficos CNP693, CNP792). Após tratamento com HCl de nódulos carbonáticos observou-se, ainda, a contribuição de esmectita, mica e caulinita (Fig. 30B, 30C). Em MEV pode-se notar que a calcita constituinte destes calcretes apresenta-se como cristais arredondados, contendo argilominerais finos crescidos em sua superfície.

Paleoregolito

Na Bacia de Resende afloram, localmente, exposições do embasamento gnáissico recoberto por sedimentos lamíticos da Formação Resende. Em alguns destes locais pode ser observado que o contato entre estas unidades é formado por uma camada de espessura centimétrica (~ 10cm), composta por material predominantemente argiloso de cor verde escura, resultante da decomposição da rocha do embasamento, correspondendo um paleoregolito (Figs. 31, 32). As rochas do embasamento gnáissico exibem ainda fraturas preenchidas por material argiloso verde claro, também coletado para estudo.

Na figura 31 é apresentada a exposição mais típica deste contexto. Os difratogramas de raios X obtidos para amostras totais indicaram a presença de esmectita no material argiloso do paleoregolito e nos sedimentos da Formação Resende, estando ausente na rocha do embasamento e no preenchimento de fratura. A mica apresenta picos bem definidos em todos os gráficos e a caulinita, a exemplo da esmectita, exibe reflexão 001 mais intensa e melhor definida em direção aos sedimentos da Formação Resende. Na prancha 26 (*Foto A*) pode-se observar que o paleoregolito é constituído por placas de mica grossas e cristais de quartzo e feldspato alterado, imersos em matriz argilosa composta por micas e argilominerais com formas onduladas, considerados como esmectitas (*Foto B; EDS C*).

Na Bacia de Resende foi ainda encontrado outro afloramento exibindo feições de paleoregolito (local RE-15, Anexo 1) (Fig. 32). Neste local tem-se uma rocha granítica com gradações para zonas alteradas, estas caracterizadas pela presença de matriz argilosa verde

contendo cristais de quartzo, feldspato e mica disseminados. O difratograma de raios X da rocha alterada exibe a reflexão 001 da esmectita (Fig. 32), a qual, em MEV, apresenta-se como placas arredondadas de bordas onduladas (*Prancha 26, Fotos C, D; EDS E*), muito semelhante aquelas observadas na matriz dos lamitos da Formação Resende. Em amostra de material argiloso, que preenche fraturas nestas rochas graníticas, foi encontrada, ao MEV, uma grande quantidade de apatitas com bário, as quais revestem quase por completo os cristais da rocha (*Prancha 26, Foto G; EDS H*).

5.1.2.4 A esmectita nos difratogramas de raios X da Formação Resende

O estudo dos depósitos da Formação Resende, nas bacias de Taubaté e Resende, permitiu observar que a intensidade da reflexão basal 001 da esmectita varia em função da fácies sedimentar analisada, sendo, de modo geral, mais intensa em difratogramas de amostras totais de lamitos da associação de fácies de leques aluviais medianos.

Na tabela 4 é apresentada a variação da intensidade máxima da reflexão 001 da esmectita em função da fácies sedimentares lamíticas analisadas nas associações de fácies de leques aluviais proximais, medianos e distais da Formação Resende. Adicionalmente, pode-se notar através dos gráficos de DRX destas amostras totais que a esmectita apresenta reflexão basal 001 sempre com perfil afilado e bem definido. Para estas esmectitas foram ainda obtidos os valores da largura a meia altura (FWHM, *full width at half-maximum*) das reflexões 001 (Tabela 4), utilizando-se do *software* EVA e tendo sido as medidas efetuadas após eliminação da variação da linha de base (*background*) dos difratogramas. Os valores de FWHM encontrados para estas esmectitas são menores do que $1,3^\circ$ (medida em graus referente a 2θ).

Figura 31 - (A) Seção colunar descrita na Bacia de Resende (Local RE-15, Anexo 1), apresentando rocha gnáissica alterada, na base, sobreposta pela Formação Resende. O contato é marcado por zona de intensa alteração (paleoregolito). (B) Foto detalhando a zona de contato (A - gnaiss alterado, C - paleoregolito, D - Formação Resende). (C) Difratoigramas de raios X obtidos para amostras totais, com amostragem correspondente àquela da figura A (gráfico A - gnaiss alterado, gráfico B - material argiloso de preenchimento de fraturas, gráfico C - paleoregolito, gráfico D - matriz argilo-arenosa do lamito da Formação Resende).

Figura 32 - Difrátogramas de raios X obtidos para amostras totais de exposição na Bacia de Resende (Local RE-15, Anexo 1), onde afloram sedimentos da Formação Resende em contato com rochas do embasamento, encontrando-se preservado nível de paleoregolito. (gráfico B – material argiloso de preenchimento de fraturas no embasamento; gráfico C – matriz argilosa, verde, de granito alterado; gráficos D e E – granito alterado).

Prancha 26

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do paleoregolito (local RE-39, Anexo 1), contendo clastos de granulação grossa e matriz argilosa.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia das placas de esmectita, com bordas onduladas, presentes no paleoregolito da foto A.

EDS C – Espectro de EDS da esmectita da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de paleoregolito, contendo clastos imersos na matriz argilosa (local RE-15, Anexo 1).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as esmectitas constituintes da matriz da foto D.

EDS F – Espectro de EDS da esmectita da foto E.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando o aspecto geral de distribuição de apatitas com bário, disseminadas somente sobre os cristais da rocha granítica em zona de fratura (local RE-15, Anexo 1).

EDS H – Espectro de EDS da apatita com bário da foto G.

Tabela 4 – Valores de largura a meia altura (FWMH) para a reflexão 001 da esmectita de sedimentos da Formação Resende.

Unidade litoestratigráfica	Assoc. fácies	Local (Anexo 1)	Amostra	d_{001} (Å)	$I_{\text{máx}}$ (cps)	FWHM ($^{\circ} 2\theta$)
Fm. Resende	AFLAP	RE14	re14	15.895	521.56	1.255
Fm. Resende	AFLAM	RE16	re16	16.666	673.5	1.125
Fm. Resende	AFLAM	TB18	tb18	16.037	807.37	1.116
Fm. Resende	AFLAM	RE08	re8d	15.992	1679.51	1.003
Fm. Resende	AFLAM	RE40	re40d	15.904	339.01	0.955
Fm. Resende	AFLAM	TB49	tb49b	16.644	310.15	1.19
Fm. Resende	AFLAD	RE10	re10a	16.434	370.38	1.02
Fm. Resende	AFLAM	TB50	tb50a	17.079	141.02	0.88
Fm. Resende	AFLAM	TB50	tb50e	16.430	155.08	0.941

AFLAP – Associação de fácies de leque aluvial proximal

AFLAM – Associação de fácies de leque aluvial mediano

AFLAD – Associação de fácies de leque aluvial distal

5.1.3 Formação Sete Barras

A figura 33 representa a seção-tipo da Formação Sete Barras (Melo 1990). A frente principal da exposição apresenta-se bastante alterada pelo intemperismo atual, mas escavações recentes na parte lateral do corte permitiram a coleta de duas amostras (A e B) em superfície fresca. No croqui da figura 33, a amostra A corresponde a matriz argilosa de ortoconglomerado polimítico, o qual contém pouca matriz de cor verde, intersticial aos seixos e calhaus de quartzo, feldspato e rochas do embasamento. A amostra B é um lamito argilo-arenoso de cor verde clara, contendo micas brancas e feldspatos (plagioclásios de cor branca e feldspatos potássicos de colorações róseas) alterados, de granulações finas, disseminados na matriz.

Nos difratogramas de raios X (Fig. 33B) da fração total destas amostras estão expostas as reflexões basais 001 de argilominerais dos grupos da esmectita ($15,19\text{Å}$) e da caulinita ($d_{001} = 7,15\text{Å}$) e reflexões 001 e 002 da mica, respectivamente $9,96\text{Å}$ e $4,99\text{Å}$. Adicionalmente, têm-se os picos do quartzo e feldspato. Em fotomicrografias de MEV observa-se a matriz dos

ortoconglomerados, contendo grãos de quartzo com feições de dissolução e agregados argilosos de granulação muito fina e formas delicadas, ligeiramente onduladas, crescidos nas bordas dos clastos (*Prancha 27, Foto A*). No detalhe da foto B pode-se notar a estrutura maciça da fração argilosa desta matriz, cuja composição inclui Si, Al, Mg, K e Fe (*EDS C*). As fotos D e E ilustram o lamito argilo-arenoso, onde é possível notar os grãos detríticos circundados por matriz argilosa, em geral formada por placas de argilas grossas com formas onduladas (*Foto E; EDS F*), interpretadas como esmectitas.

5.1.4 Formação Guabirotuba

A Formação Guabirotuba compreende um sistema de leques aluviais associados a planícies de rios entrelaçados. Nesta unidade foram descritas e amostradas quatro seções colunares, onde estão aflorantes sedimentos das associações de fácies de leques aluviais medianos e de leques aluviais distais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados (Fig. 34).

5.1.4.1 Associação de fácies de leques aluviais medianos

A associação de fácies de leques aluviais medianos é melhor desenvolvida nas porções central e norte da Bacia de Curitiba, estando bem representada na seção colunar e no croqui da figura 35, onde ocorrem conglomerados e lamitos arenosos a areno-argilosos.

Fácies de conglomerados

Os conglomerados são maciços e contêm grãos de quartzo, feldspatos brancos (plagioclásios) e róseos (feldspatos potássicos), e raros minerais máficos, nas frações areia média a seixo (< 0,5-5mm), além de matriz argilosa de cor verde intersticial (amostras E e F, Fig. 35A). Análise por difração de raios X de amostra total da matriz argilosa destes

conglomerados apresentou, além de quartzo e feldspato, apenas esmectita com reflexões basais 001 bem definidas e de média intensidade ($d_{001} = 15.8\text{\AA}$) (Fig. 35B, gráficos E, F).

Ao MEV nota-se que os grãos feldspáticos estão intensamente alterados, principalmente ao longo das clivagens do mineral, onde formam-se argilominerais na porosidade intragranular, preservando a morfologia tabular do grão (*Prancha 28, Fotos A, B*). Pode-se ainda observar as esmectitas que constituem a matriz argilosa destes conglomerados, as quais se apresentam com formas arredondadas e granulação grossa, constituindo uma matriz maciça intersticial aos grãos e em parte recobrindo-os (*Prancha 28, C, D; EDS E*). Argilominerais finos com formas onduladas e textura “larval” ocorrem sobre a matriz argilosa (Foto B).

Fácies de lamitos arenosos a argilo-arenosos

Os sedimentos lamíticos arenosos (amostra H, Fig. 35A) a argilo-arenosos (amostra G) apresentam estrutura maciça e contêm grãos de quartzo e plagioclásios brancos e feldspatos potássicos róseos na fração areia fina a muito grossa, associados a matriz argilosa de coloração esverdeada.

Amostras totais destes sedimentos demonstram, nos difratogramas de raios X, mineralogia semelhante aquela dos conglomerados, apresentando quartzo e feldspato associados apenas à esmectita ($d_{001} = 15.8\text{\AA}$) (Fig. 35B, gráficos G, H), esta destacando-se com reflexões basais 001 de intensidades mais altas quando comparadas aquelas dos gráficos de DRX da matriz dos conglomerados.

Os difratogramas de raios X, obtidos para as frações finas destes lamitos arenosos a areno-argilosos, confirmaram a esmectita como o principal filossilicato presente nestes sedimentos, a qual exibe reflexões basais 001 bem definidas e de alta intensidade. A caulinita e a mica aparecem nos difratogramas das frações $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$ sempre com reflexões basais 001 mal definidas e de muito baixa intensidade (Fig. 36, gráficos G, H).

Figura 33 – (A) Croqui da seção-tipo da Formação Sete Barras (Melo 1990), situado próximo à Cidade de Sete Barras, porção sul do Estado de São Paulo: 1) solo; 2) lamito argiloso arenoso; 3) arenito; 4) ortoconglomerado; 5) falha. (B) Difratoformas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem. (C) Difratoformas de raios X de frações finas da amostra B.

Prancha 27

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz de ortoconglomerado (amostra A, Fig. 33A, Formação Sete Barras). Notar a porosidade e a abundância em clastos.

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais constituintes da matriz argilosa da foto A.

EDS C – Espectro de EDS dos argilominerais da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção esquerda-inferior da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argilo-arenoso, contendo clastos circundados pela matriz argilosa (amostra B, Fig. 33A, Formação Sete Barras).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as esmectitas constituintes da matriz da foto D, os quais apresentam-se como placas de granulação grossa e bordas onduladas.

EDS F – Espectro de EDS dos argilominerais da foto E.

Figura 34

Legenda:

- 1 - Rochas do embasamento
- 2 - Unidades paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná
- 3 - Formação Guabirotuba
- 4 - Formação Piraquara
- 5 - Sedimentos quaternários

- 6 - Principais falhas rúpteis
- 7 - Contatos litológicos
- 8 - Principais cidades (CR - Curitiba, CL - Campo Largo, PI - Piraquara, QB - Quatro Barras, TJ - Tijucas do Sul)
- 9 - Afloramentos amostrados

**Mapa Geológico da Bacia de Curitiba e
Localização dos afloramentos amostrados**

Sant'Anna, L.G. 1999. Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo)

Base Geológica: Mineropar 1989

Figura 35A - Seção colunar e croqui de depósito da Formação Gubirotuba (Local CWB-02, Fig. 34): 1) solo recente; 2) lamito argiloso; 3) lamito argilo-arenoso; 4) arenito; 5) conglomerado; 6) calcrete preenchendo bioturbações; 7) calcrete nodular; 8) calcrete em rachadura; 9) falha.

Figura 35(B) - Difratoformas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem na seção-colunar da figura 35A.

Prancha 28

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando grão de feldspato alterado, com forma tabular preservada, presente em conglomerado da Formação Guabirotuba (amostra F, Fig. 35A, local CWB-02, Fig. 34).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a presença de argilominerais de granulação fina crescidos na porosidade intragranular do feldspato da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz argilosa de conglomerado da Formação Guabirotuba, contendo grãos imersos na matriz argilosa maciça (amostra Q, Fig. 35A, local CWB-02, Fig. 34).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia das esmectitas da matriz da foto D, as quais ocorrem como placas arredondadas de granulação grossa.

EDS E – Espectro de EDS da placa de esmectita da foto E.

Figura 35(C) - Difractogramas de raios X de amostras totais, correspondentes à amostragem da figura 35A.

Figura 36 - Difrátogramas de raios X obtidos para frações finas de lamitos argilosos e argilo-arenosos, e para nódulos de calcrete tratados com HCl, da Formação Guabirotuba. Numeração dos gráficos correspondente à amostragem da figura 35A.

Ao MEV observa-se a estrutura maciça da matriz argilosa destes lamitos (*Prancha 29, Foto A*), composta por esmectitas de granulação grossa e formas arredondadas (*Fotos B, C; EDS D*), e contendo Si, Al, Mg, K, Ca e Fe, encontrando-se também presente o Ti. Localmente, argilominerais com textura "larval" estão crescidos sobre as argilas da matriz (*Fotos B, E*) e, neste caso, os espectros de EDS obtidos tanto para as esmectitas da matriz (*EDS F*) como para as argilas finas (*EDS G*) indicaram a presença somente de Si, Al, Mg e Ca, destacando-se os picos de Mg e Ca com maior intensidade no espectro das argilas finas. Adicionalmente, caulinitas com textura de "livro" estão presentes nos poros da matriz (*Foto H*).

5.1.4.2 Associação de fácies de leques aluviais distais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados

A associação de leques aluviais distais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados é representada pelas fácies de lamitos argilosos, podendo conter calcretes, e arenitos, por vezes conglomeráticos. Depósitos expressivos desta associação ocorrem na parte sul da Bacia de Curitiba.

Fácies de lamitos argilosos

A fácies de lamitos argilosos apresenta-se em todas as exposições amostradas na Bacia de Curitiba, onde ocorre como pacotes com espessuras centimétrica a métrica e, em geral, associada a depósitos de calcrete (Figs. 35A, 37, 39, 40). Os sedimentos lamíticos argilosos (amostras B, D, J, K, M, Fig. 35A; amostras D, G, Fig. 37; amostras das Figs. 39, 40) são compostos por quantidades variáveis de grãos clásticos, principalmente de quartzo, disseminados em abundante matriz argilosa esmectítica maciça. Os raros grãos de feldspato apresentam-se intensamente alterados, sendo possível notar a geração de argilominerais muito finos na superfície destes grãos.

Em todos os difratogramas de raios X obtidos para amostras totais destes lamitos argilosos, o principal argilomineral identificado é a esmectita, com reflexão basal 001 bem definida de média a alta intensidade. Adicionalmente, estão bem representados os picos do quartzo e do feldspato, e da calcita quando os lamitos estão intimamente associados com calcrete.

Nos diversos gráficos de DRX obtidos para as frações finas dos lamitos argilosos pode-se caracterizar a esmectita como o argilomineral que constitui estes sedimentos (Fig. 36, gráficos B, M; Fig. 37C). Nestes difratogramas, a reflexão basal 001 da esmectita é sempre bem definida, com picos afilados e tendência a aumentar de intensidade com a diminuição da fração granulométrica da fração analisada, exibindo, assim, seu ápice nos gráficos das amostras da fração $< 2\mu\text{m}$. A caulinita e a mica exibem reflexões basais 001 de muito baixa intensidade, mal definidas e só se apresentam nos gráficos das amostras das frações $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$.

A confirmação da presença de esmectita foi efetuada também através da saturação de amostras das frações $< 31\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$ com Mg e solvatação com vapor de glicerol a 100°C ; os resultados obtidos mostraram a completa expansão do pico $16\text{\AA}$ para $18,4\text{\AA}$ (Fig. 38).

Os estudos por MEV dos lamitos argilosos revelaram a estrutura maciça da matriz (*Prancha 30, Foto A*), onde encontram-se disseminados grãos detríticos de quartzo, feldspato e mica. As esmectitas da matriz apresentam-se, predominantemente, como placas grossas ($> 5\mu\text{m}$) arredondadas (*Prancha 30, Fotos B, D; EDS C*) (*Prancha 31, Fotos A, B; EDS C*), cuja composição observada em espectro de EDS registra a presença de Mg, K, Ca e Fe, além de Si e Al. A estas placas de esmectita associam-se, localmente, argilominerais com textura "larval" (*Prancha 30, Foto D*), muito delgados, que originam-se das bordas e superfícies das esmectitas grossas; estes argilominerais finos tendem a crescer e preencher os poros do sedimento (*Prancha 30, Foto A*). Localmente são ainda encontrados cristais de barita, que impregnam irregularmente o sedimento (*Prancha 30, Fotos E, F, G; EDS H*) e apresentam-se como cristais euhedrais ou agregados irregulares. Nas fotos F e G (*Prancha 30*) é ainda possível se observar

os argilominerais com textura "larval" crescidos também a partir das paredes externas dos cristais de barita.

Calcretes

Na Formação Guabirota as ocorrências de calcrete incluem:

- a) calcretes nodulares (amostra I, Fig. 35A);
- b) calcretes preenchendo rachaduras (amostras C, L, N, O, P, Fig. 35A; amostra F, Fig. 37);
- c) calcretes substituindo feições de bioturbação, apresentando-se como concreções cilíndricas, com cerca de 2 a 4cm de comprimento e aproximadamente 0,5 a 1cm de diâmetro, e preenchidos por material carbonático (amostra A, Fig. 35A), e
- d) rizólitos (amostra I, Fig. 37).

Em todos os gráficos de DRX obtidos para amostras totais destes calcretes, o principal carbonato é calcita.

Em fatias de rochas polidas os calcretes nodulares apresentam matriz fina truncada por fissuras com calcitas recristalizadas (*Prancha 32, Foto A*) e, sob catodoluminescência, exibem poros vazios em sua parte interna e com crescimento centrípeto de calcita a partir de suas paredes internas (*Fotos B, C*). Ao MEV é possível observar a matriz composta por calcitas muito finas (*Foto D; EDS E*) e tendo calcitas de granulação grossa, em sua maioria exibindo feições de dissolução, preenchendo cavidades (cristalárias) (*Foto F*). Argilominerais esmectíticos, de granulação muito fina e formas onduladas (*Foto G; EDS H*), impregnam a superfície dos carbonatos e parecem deles se originar.

Os calcretes que preenchem fraturas apresentam continuidade decimétrica a métrica (0,1 a 1m) e espessuras centimétricas (1 a 3cm) (*Prancha 33, Foto A*). Estes calcretes exibem forte brechação (*Foto B*) e ao MEV apresentam as mesmas características texturais e mineralógicas que os calcretes nodulares, ou seja, presença de calcitas grossas, com feições de dissolução, associadas a calcita e esmectita finas.

Prancha 29

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argilo-arenoso, contendo grãos angulosos imersos na matriz argilosa maciça (amostra H, Fig. 35A, local CWB-02, Fig. 34).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia arredondada das placas de esmectita constituintes da matriz da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o crescimento de argilominerais finos, com textura "larval", a partir da superfície das placas grossas de esmectita.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando o crescimento de argilominerais finos, com textura "larval", sobre a matriz argilosa.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando caulinitas com textura de "livros" crescidas em poros do sedimento.

EDS 1 – Espectro de EDS da placa de esmectita da foto B (EDS correspondente ao ponto 1 da foto).

EDS 2 – Espectro de EDS da placa de esmectita da foto D (EDS correspondente ao ponto 2 da foto).

EDS 3 – Espectro de EDS de argilominerais finos da foto D (EDS correspondente ao ponto 3 da foto).

Figura 37 – (A) Croqui de afloramento da Formação Guabirotuba, situado a sul da Bacia de Curitiba (Local CWB-10, Fig. 34): 1) arenitos com estratificação incipiente; 2) arenitos com estratificações cruzadas; 3) lamito argiloso; 4) argilito verde com intercalação de arenito e argila orgânica. (B) Difratoformas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) Difratoformas de raios X das frações finas da amostra G da figura (A).

Figura 38 - Difractogramas de raios X das frações finas da amostra G da figura 37A, após saturação com Mg (gráfico A - fração < 2 μ m, gráfico B fração < 31 μ m).

Figura 39 – (A) Seção-colunar da Formação Guabirotuba, descrito em afloramento situado a sul da Bacia de Curitiba (Local CWB-11, Fig. 34): 1) lamitos argilosos; 2) calcete nodular; 3) arenito; 4) lamito argilo-arenoso conglomerático. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra C da figura (A).

Figura 40 – (A) Croqui de afloramento da Formação Guabirotuba, situado a sul da Bacia de Curitiba (Local CWB-12, Fig. 34): 1) aterro; 2) arenito conglomerático; 3) lamito argiloso; 4) lamito argilo-arenoso conglomerático. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) Difrátogramas de raios X das frações finas da amostra C da figura (A).

Prancha 30

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso (amostra D, Fig. 35A, local CWB-02, Fig. 34).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia dos argilominerais constituintes da matriz da foto A, os quais exibem formas arredondas e granulação grossa.

EDS C – Espectro de EDS da placa arredondada de esmectita da porção central foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o crescimento de argilominerais finos, com textura “larval”, a partir das bordas das placas grossas de esmectita.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando baritas crescidas em meio à matriz argilosa.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) das baritas da foto E. Notar o crescimento de argilominerais com textura “larval” também a partir das bordas dos cristais de barita.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia dos cristais euhedrais de barita da foto E.

EDS H – Espectro de EDS da barita da foto G (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Os rizólitos são feições bem desenvolvidas na Bacia de Curitiba (*Prancha 33, Foto C*) e apresentam-se intensamente recristalizados (*Foto D*).

Na Formação Guabirotuba, a dolomita é de ocorrência restrita, tendo sido identificada somente em um dolocrete que preenche fratura (amostra P, Fig. 38A) e no qual não ocorre calcita. Esta dolomita apresenta-se como cristais euhedrais constituindo um sedimento maciço (*Prancha 34, Foto A; EDS B*), ao qual se associam argilominerais com textura “larval” (*Fotos C, D; EDS E*), que por coalescência formam placas delgadas que circundam as dolomitas. No detalhe da foto D pode-se notar que parte destes argilominerais originam-se da superfície da dolomita. Conforme o difratograma de DRX de amostra total obtido para este dolocrete (Fig. 35C), estes argilominerais são provavelmente esmectitas, mas os picos correspondentes não se apresentaram no difratograma de DRX obtido após tratamento da amostra com HCl (Fig. 36, gráfico P). Junto a estes dolocretes ocorrem ainda, em raros poros do sedimento, cristais de fosfato de cério com cálcio, provavelmente monazita (*Prancha 34, Fotos, F, G; EDS H*), os quais se associam também a argilominerais com textura “larval”, que crescem no sentido de fechamento dos poros do sedimento.

Fácies de arenitos

O afloramento da figura 37 corresponde a uma das seções mais representativas da Formação Guabirotuba, onde estão expostos, na base e no topo do afloramento, arenitos com estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte, depositados em barras transversais de cristas sinuosas de rios entrelaçados.

Os difratogramas de DRX de amostras totais dos arenitos basais (Fig. 37B, gráficos A1, A2) demonstram suas composições quartzo-feldspáticas, tendo esmectita como o argilomineral presente. Em MEV é possível notar os grãos de quartzo e feldspato do sedimento, a alta porosidade do arenito e a matriz argilosa de infiltração, esta presente como preenchimento de poros e películas que envolvem os clastos (*Prancha 31, Fotos D, E; EDS F*). Parte dos feldspatos estão intensamente alterados e associados a argilas nas cavidades intragranulares.

Prancha 31

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de lamito argiloso, contendo grãos clásticos imersos na matriz argilosa maciça (amostra G, Fig. 37A, local CWB-10, Fig. 34).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais constituintes da matriz da foto B.

EDS F – Espectro de EDS da matriz da foto B (EDS correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de arenito, exibindo alta porosidade e contendo muitos grãos clásticos e pouca matriz (amostra A, Fig. 37A, local CWB-10, Fig. 34).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais constituintes da matriz da foto D.

EDS F – Espectro de EDS do argilomineral da foto E.

Prancha 32

Foto A – Foto de fatia de rocha deo calcrete nodular (amostra I, Fig. 35A, local CWB-02, Fig. 34). Notar fraturas preenchidas, seccionando a rocha.

Foto B - Fotomicrografia de catodoluminescência do calcrete nodular da foto A, mostrando poro vazio em sua parte central (sem luminescência) e contendo calcitas crescidas de forma centripeta, a partir de suas bordas internas (Tempo de exposição: 5 minutos, $I = 245\text{-}248\ \mu\text{A}$).

Foto C – Fotomicrografia em luz natural (polarizadores cruzados) da mesma região da foto C.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando as calcitas finas da matriz do calcrete nodular da foto A.

EDS E – Espectro de EDS das calcitas finas da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando cavidades preenchidas por calcitas de granulação grossa com feições de corrosão superficial.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando argilominerais de granulação fina e formas onduladas crescidos na superfície dos cristais de calcita fina da foto D.

EDS H – Espectro de EDS dos argilominerais da foto G.

Prancha 33

Foto A – Exposição do calcrete em fratura ocorrente na Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (local CWB –10, Fig. 34).

Foto B – Fatia de rocha polida do calcrete em fratura da foto A. Notar a brechação da rocha.

Foto C– Rizólito em afloramento da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (local CWB –10, Fig. 34).

Foto D – Fatia polida do rizólito da foto C. Notar as cavidades de dissolução bem desenvolvidas e os cristais de calcita bem formados que as preenchem.

Prancha 34

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do dolocrete nodular, constituído por cristais de dolomita formando uma matriz maciça (amostra P, Fig. 35A, local CWB-02, Fig. 34).

EDS B – Espectro de EDS das dolomitas da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando argilominerais de granulação fina e textura "larval", crescidos na superfície dos cristais de dolomita e ao seu redor.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais da foto C.

EDS E – Espectro de EDS dos argilominerais da foto D (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando fosfatos de terras raras crescidos em poros do dolocrete.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) da mesma região da foto F. Notar o crescimento de argilominerais também a partir das bordas dos cristais de fosfato.

EDS H – Espectro de EDS do fosfato da foto G.

5.1.5 Formação Tremembé

Na Formação Tremembé foram amostradas as associações de fácies lacustre e de borda de lago, do sistema lacustre *playa-lake*, o qual teve seu desenvolvimento principal na porção central da Bacia de Taubaté e, mais restritamente, na parte centro-norte da Bacia de São Paulo.

5.1.5.1 Associação de fácies de borda de lago

Os afloramentos da associação de fácies de borda de lago estão representados pela intercalação de leitos arenosos e camadas de argilitos e/ou folhelhos. Os arenitos apresentam granulação média a grossa, por vezes fina a muito fina, podendo ser maciços ou com laminações cavalgantes (*climbing ripples*) e, localmente, exibem marcas onduladas. Os folhelhos papiráceos contêm ostracodes e os argilitos apresentam-se laminados na base das camadas e gradam para estruturas maciças no topo, próximo ao contato com os níveis arenosos. Os depósitos desta associação de fácies estão bem expostos ao longo da borda norte da Bacia de Taubaté, entre as cidades de Caçapava e Lorena.

Fácies de arenitos

Para os sedimentos arenosos da associação de fácies de borda de lago expostos ao norte da Cidade de Caçapava (loais TB-30, TB-32, Anexo 1) Riccomini (1989) e Riccomini *et al.* (1996) descreveram a presença de halloysita (Figs. 41, 42). Os dados de DRX obtidos para amostras totais destes arenitos apontam a presença de quartzo, feldspato e filossilicato com reflexão 10Å de baixa intensidade e perfil assimétrico (Fig. 41B, gráficos A, B; Fig. 42, gráfico A). Após a obtenção de difratogramas de DRX das frações finas do arenito, pode-se notar a contribuição da esmectita, a qual se apresenta com reflexão basal 001 muito mal definida e de baixa intensidade (Fig. 41C). A halloysita foi melhor observada através dos estudos por MEV

das amostras destes locais, nas quais constitui uma manta que recobre os grãos detríticos dos arenitos (*Prancha 35, Fotos A, B; EDS C*).

A figura 43A corresponde a um depósito da associação de fácies de borda de lago que contém argilitos maciços a laminados, folhelhos com ostracodes e arenitos maciços. Os difratogramas de raios X de amostra total obtidos para os arenitos confirmaram sua composição quartzo-feldspática e indicaram ainda a contribuição de esmectita, com reflexões de baixa intensidade e formas alargadas, além de mica e caulinita (Fig. 43B). Apenas no gráfico C(arenito) da figura 43B ocorre mineral com $12,23\text{\AA}$. Os difratogramas de DRX obtidos para amostras das frações finas do arenito (amostra E, Fig. 43A) caracterizaram melhor a reflexão basal 001 da esmectita somente no gráfico da amostra da fração $< 2\mu\text{m}$ (Fig. 44A). A mica e a caulinita apresentam reflexões basais de baixa intensidade e estão melhor caracterizadas nos gráficos das frações $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$. (Fig. 44A). A reflexão $12\text{\AA}$ observada no gráfico da amostra total corresponde, provavelmente, ao pico com $10,7\text{\AA}$ no gráfico da fração $< 2\mu\text{m}$ natural (Fig. 44A), o qual não se alterou após glicolagem e expandiu para $12,9\text{\AA}$ após aquecimento.

Em MEV foi possível observar que os clastos que constituem os arenitos desta seção (amostras B, C(topo), E, Fig. 43A) estão envoltos por argilominerais delgados, com granulação fina (*Prancha 36*), os quais constituem uma manta que recobre parcialmente os grãos.

Fácies de argilitos

Os dados de DRX obtidos para amostras totais dos argilitos da associação de fácies de borda de lago apontam a presença de esmectita ($d_{001} = 15,98\text{\AA}$) como seu principal argilomineral constituinte, a qual exibe reflexões bem definidas, porém com intensidades médias e formas alargadas (Fig. 41B, gráfico C; Fig. 42B, gráfico B; Fig. 43B, gráfico C(argilito)). A caulinita apresenta reflexões de baixa a média intensidade nestes gráficos e a mica, de média a alta intensidade.

(A)

(B)

(C)

(D)

Figura 41 – (A) Seção colunar descrita na Formação Tremembé (Local TB-30r, Anexo 1): 1) solo; 2) argilito; 3) folhelho; 4) arenito; 5) estratificação cruzada. (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) e (D) Difratogramas de raios X de frações finas do arenito (amostra A) e do argilito (amostra C) da figura (A).

Figura 42 – (A) Foto de afloramento da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé (Local TB-32, Anexo 1): A - arenito; B - argilito. (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem indicada na foto.

Prancha 35

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de arenito da Formação Tremembé, contendo grãos clásticos imersos em matriz argilosa maciça constituída por halloysitas (amostra A, Fig. 41A, local TB-30r, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a forma tubular das halloysitas constituintes da matriz da foto A.

EDS C – Espectro de EDS da halloysita da foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a estrutura laminada do folhelho da base da seção colunar da figura 41 A.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito, contendo grãos clásticos imersos em matriz argilosa maciça (amostra B, Fig. 42, local TB-32, Anexo 1).

EDS F – Espectro de EDS da placa de mica da foto E.

EDS G – Espectro de EDS da esmectita constituinte da matriz argilosa da foto E.

Foto H - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a presença de piritas com textura framboidal preenchendo poros da matriz da foto E.

Figura 43 – (A) Seção colunar descrita na Formação Tremembé (Local TB-54, Anexo 1): 1) solo; 2) folhelho; 3) arenito; 4) argilito. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A).

Figura 44 - Difractogramas de raios X obtidos para frações finas de argilitos e folhelho (após tratamento com H_2O_2) da seção colunar da figura 43 (gráfico A – arenito, amostra E, gráfico B – argilito, amostra D, gráfico C – folhelho, amostra F).

Prancha 36

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de arenito, contendo muitos grãos clásticos, pouca matriz e exibindo alta porosidade (amostra B, Fig. 43A, local TB-54, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando manta de argilomineral fino envolvendo grão de feldspato alterado e recobrindo a superfície de grãos clásticos do arenito da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a manta de argilomineral fino recobrindo a superfície de grãos clásticos do arenito da foto A.

EDS D – Espectro de EDS da manta de argilomineral da foto C.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais finos que também recobrem os grão do arenito correspondente à amostra E da figura 43A.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a manta de argilomineral fino envolvendo parcialmente os grãos do arenito do topo da camada referente à amostra C da seção colunar da figura 43A.

EDS G – Espectro de EDS do argilomineral fino da foto F.

Os difratogramas da figura 43B, denominados de D (argilito laminado) e D (argilito maciço), correspondem a amostras representativas da mudança gradativa que ocorre na estrutura do argilito devido à intercalação de corpos arenosos, estes originados com a chegada de material detrítico no ambiente lacustre. No entanto, para estes sedimentos não se nota diferenças mineralógicas ou nas características das reflexões basais 001 dos filossilicatos nos gráficos de DRX de amostras totais. Adicionalmente, pode-se observar que a esmectita mantém-se com reflexão basal 001 alargada, de média a alta intensidade. Os difratogramas de DRX obtidos para amostras das frações finas do argilito maciço confirmaram a presença da esmectita, mica e caulinita, as quais apresentam reflexões basais de baixa intensidade. (Fig. 44B).

Os estudos por MEV do argilito verde, aflorante ao norte de Caçapava (local TB-32, Anexo 1) (Fig. 42), revelaram sua estrutura maciça (*Prancha 35, Foto E*) e a presença de grãos de quartzo, feldspato e mica disseminados na matriz argilosa. Nos espectros de EDS E e F estão registradas, respectivamente, as diferenças composicionais entre as placas de mica e as esmectitas que compõem a matriz. Adicionalmente, podem ser encontradas pirritas framboidais crescidas em poros da matriz (*Foto H*).

Na seção colunar da figura 43A, o nível argiloso correspondente à base da amostra C contém grãos envoltos por matriz argilosa maciça (*Prancha 37, Foto A; EDS B*), a qual está parcialmente recoberta por argilominerais em placas muito finas e com textura de “favo-de-mel” (*Foto C; EDS D*). O argilito correspondente à amostra D (Fig. 43A) apresenta estrutura laminada na base da camada, exibindo em MEV uma forte orientação das placas grossas de esmectita que compõem o sedimento (*Prancha 37, Foto E*); próximo ao topo, o argilito torna-se maciço, apresentando ao MEV uma matriz composta por placas grossas de esmectitas cuja composição registra apenas Si, Al, K e Fe (*Foto F; EDS G*).

Prancha 37

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito, contendo grãos clásticos imersos na matriz argilosa maciça (topo da camada referente à amostra C, Fig. 43A, local TB-54, Anexo 1).

EDS B – Espectro de EDS da matriz da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando manta de argilomineral fino crescido em textura de “favo-de-mel” recobrando a matriz argilosa da foto A.

EDS D – Espectro de EDS do argilomineral com textura “favo-de-mel” da foto C.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a estrutura laminada da matriz argilosa do argilito laminado da base da camada D, figura 43A.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a estrutura maciça da matriz argilosa do argilito maciço do topo da camada D da seção colunar da figura 43A.

EDS G – Espectro de EDS da matriz argilosa da foto F (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto H - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia arredondada das placas de esmectita que compõem o folhelho da camada E da seção colunar da figura 43A.

Fácies de folhelhos

A figura 43A corresponde a um depósito da associação de fácies de borda de lago que contém também folhelhos com ostracodes intercalados aos argilitos e arenitos. Nos difratogramas de DRX, obtidos para amostras totais (Fig. 43B, gráficos A, F), nota-se que a reflexão basal 001 da esmectita é bem definida, com perfil alargado e alta intensidade. Após tratamento da amostra com H_2O_2 , notou-se, no entanto, uma degradação na qualidade das reflexões basais da esmectita e mica, provavelmente, devido à interação destes minerais com o reagente (Fig. 44C).

Em MEV dos folhelhos é possível notar a forte orientação das placas de argila que os constituem (*Prancha 37, Foto H*).

5.1.5.2 Associação de fácies lacustre

A associação de fácies lacustre está representada essencialmente por folhelhos e argilitos, podendo conter calcretes, os quais estão expostos principalmente na porção central da Bacia de Taubaté, região de Taubaté-Tremembé-Pindamonhangaba, onde foram efetuadas amostragens em frentes de lavra de minerações. Afloramentos isolados ocorrem ainda na porção leste da bacia, entre as cidades de Pindamonhangaba e Guaratinguetá. Adicionalmente, foi amostrado o testemunho da sondagem nº 42 do CNP, no qual estão presentes as fácies lacustres (folhelhos e argilitos) da Formação Tremembé e algumas intercalações de lamitos distais da Formação Resende, as quais representam o avanço de material detrítico no lago e já foram abordadas no item 5.1.2.3 (*Associação de leques aluviais distais, fácies de lamitos argilosos*).

Melo *et al.* (1986) e Riccomini (1989) descreveram os sedimentos lacustres da Formação Tremembé em escavações da Estação Barra Funda do METRÔ, na porção centro-norte da Bacia de São Paulo. Os argilitos desta unidade puderam atualmente ser amostrados na

sondagem SP599/95 perfurada pela Engesolos – Engenharia de Solos e Fundações S.A., a sul da ocorrência descrita anteriormente, ainda na porção central da bacia.

Na porção central da Bacia de Taubaté, a associação de fácies lacustre compreende ainda ocorrência restrita de banco dolomítico e de nível de crosta dura ferruginosa, os quais foram incluídos no estudo da Formação Tremembé.

Fácies de folhelhos

A fácies de folhelhos está exposta em frentes de lavra atuais e abandonadas, tendo sido amostradas três minerações na região de Taubaté-Tremembé, correspondentes aos locais TB-53, TB-55 e TB-56r (Anexo 1).

No local TB-53, correspondente à área da Mineração ALIGRA, puderam ser amostradas duas frentes de lavra. Na seção colunar da figura 45A ocorre folhelho papiráceo, cujo difratograma de DRX obtido para amostra total apontou a contribuição de esmectita associada a mica, caulinita, quartzo e gipsita ($d_{001} = 7,66\text{\AA}$). Mesmo após tratamento da amostra com H_2O_2 a esmectita continuou a exibir reflexão de baixa intensidade e forma alargada (Fig. 45C). As imagens de MEV obtidas para o folhelho ilustram a forte laminação do sedimento e os espectros de EDS a composição das argilas contendo Si, Al, Mg, K e Fe (*Prancha 38, Foto A; EDS B*). No detalhe da foto C observam-se placas de mica sendo alteradas e, em seu espectro de EDS (*EDS D*), a abundância em K e Ti, quando comparado ao EDS das argilas (*EDS B*). Na foto E está ilustrado o crescimento de gipsita (*EDS F*) sobre a matriz argilosa (*EDS G*).

A seção colunar da figura 46 corresponde a exposição mais representativa da Formação Tremembé na área da Mineração ALIGRA (local TB-53, Anexo 1). O gráfico de DRX obtido para amostra total demonstra a presença de argilominerais dos grupos da esmectita e caulinita no folhelho (amostra F, Fig. 46A; gráfico F, Fig. 46B), ambos exibindo reflexões basais de baixa intensidade. A mica aparece com reflexão 001 de alta intensidade neste difratograma. A esmectita aparece ainda com pico de baixa intensidade no difratograma de amostra do folhelho tratada com H_2O_2 (Fig. 47, gráfico E).

Figura 45 – (A) Seção colunar de afloramento da Formação Tremembé (Local TB-53, Anexo 1): 1) folhelho; argilito; 3) solo. (B) Difratoformas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem. (C) Difratoformas de raios X de frações finas do argilito da figura A. (D) Difratoformas de raios X do folhelho da figura A, após tratamento com H_2O_2 .

Prancha 38

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a estrutura laminada do folhelho correspondente à amostra B da figura 45A (local TB-53, Anexo 1).

EDS B – Espectro de EDS dos argilominerais que compõem o folhelho da foto A (análise correspondente ao quadrado da porção central da foto).

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando placa de mica intercalada e orientada paralelamente à laminação da folhelho da foto A. Notar os sinais de alteração da mica.

EDS D – Espectro de EDS da placa de mica da foto C.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando o crescimento de gipsita sobre plano de laminação do folhelho.

EDS F – Espectro de EDS da gipsita da foto E.

EDS G – Espectro de EDS da matriz da foto E.

Figura 46 – (A) Seção colunar da Formação Tremembé (Local TB-53, Anexo 1): 1) folhelho; 2) argilito; 3) dolomito; 4) argilito com ostracode; 5) calcrete. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A).

Figura 47 - Difratoigramas de raios X obtidos para frações finas de argilitos e para amostra total de folhelho após tratamento com H_2O_2 , com amostragem correspondente à seção colunar da figura 46A. (Gráfico A – amostra A, Gráfico B – amostra B, Gráfico C – amostra C, Gráfico D – amostra E, Gráfico E – amostra F).

A seção colunar da figura 48, aflorante na Mineração Fumont (local TB-55, Anexo1), apresenta, no topo, camada de folhelho papiráceo, cujo difratograma de DRX de amostra total revelou mica e caulinita com reflexões bem definidas e esmectita com reflexão basal de perfil alargado. Quartzo e feldspato também estão presentes neste folhelho. Após tratamento da amostra com H_2O_2 pode-se melhor observar a reflexão basal 001 da esmectita (Fig. 48C) com $d_{001} = 16,5\text{\AA}$ e sua expansão ($d_{001} = 18,5\text{\AA}$) e contração ($d_{001} = 10,1\text{\AA}$), respectivamente com a glicolagem e aquecimento da amostra.

A área de lavra da Mineração Santa Fé (local TB-56r, Anexo 1) encontrou-se alagada durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho. Por isso, foram analisadas amostras anteriormente coletadas por Riccomini (1989), compreendendo argilito verde e folhelhos lacustres. Os gráficos de raios X de amostras totais (Fig. 49A) demonstram a contribuição de esmectita com reflexões basais 001 bem definidas nos folhelhos (gráficos B, C, D, E), onde a mica e a caulinita aparecem com picos de média a alta intensidade. Após tratamento de amostra do folhelho com H_2O_2 , a reflexão basal 001 da esmectita continuou bem caracterizada (Fig. 49B).

Na sondagem nº 42 do CNP (Fig. 50A) são abundantes os folhelhos papiráceos, desde o topo da sondagem até a profundidade de 145m. Os vários gráficos de DRX obtidos para amostras totais (Figs. 50B a 50E) apresentam, em geral, mica e caulinita com reflexões basais 001 bem caracterizadas, de média a alta intensidade (Fig. 50D, gráfico CNP222), às quais se associam normalmente quartzo e gipsita e, mais restritamente, calcita. A reflexão 001 da esmectita é raramente bem definida nos difratogramas das amostras totais, devido ao seu perfil alargado e ao oscilante nível de base (*background*). Somente para algumas amostras totais a esmectita foi mais seguramente reconhecida, destacando-se nos gráficos CNP205 (Fig. 50C) e CNP282 (Fig. 50D), os quais serviram de referência para a identificação deste argilomineral nos demais difratogramas de raios X. A partir do tratamento das amostras de folhelho com H_2O_2 , a esmectita pode ser melhor caracterizada, como pode ser observado nos gráficos da figura 51. Nestes gráficos é possível comparar as reflexões basais 001 observadas para as esmectitas

presentes em amostras totais de diferentes profundidades, e também a melhor definição destas reflexões nos gráficos obtidos para estas amostras após o tratamento com a H_2O_2 . O valor de d_{001} das esmectitas varia de 14,9Å a 16,3Å (gráficos denominados H2O2N, correspondentes às amostras lavadas com água destilada após a eliminação da matéria orgânica), expandindo para 17,2-18,4Å após glicolagem e contraindo para cerca de 10Å com o aquecimento destas mesmas amostras.

Os folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP são ricos em halotriquita, que ocorre como cristais milimétricos incolores crescidos nos planos de laminação dos folhelhos. Tendo em vista que a halotriquita apresenta reflexões na região de baixo ângulo 2θ em difratograma de raios X, procurou-se diferenciá-la dos filossilicatos, tendo como referência o gráfico da figura 52, obtido para cristais de halotriquita crescidos no folhelho correspondente à amostra CNP720 (Fig. 50A).

Nas pranchas 39 e 40 nota-se a forte laminação destes folhelhos, onde alinham-se placas de argila contendo Mg, K e Fe (*Prancha 39, Foto B; EDS C*) (*Prancha 40, Foto B; EDS C*). Cristais de gipsita (*Prancha 39, Fotos D, E, F; EDS G*) e pirita (*Prancha 40, Foto D*) preenchem cavidades alinhadas com a laminação da rocha. Na prancha 40, pode-se ainda observar placas arredondadas de mica (*Foto A*) envoltas pela matriz laminada (*Foto B; EDS C*).

Fácies de argilitos

A fácies de argilito está presente em todas as seções colunares amostradas na associação de fácies lacustre da Formação Tremembé. Os gráficos de DRX obtidos para amostras totais destes argilitos registraram, em geral, reflexões basais bem definidas, com média a baixa intensidade, somente para a mica, tendo a caulinita reflexão 001 mal definida e de baixa intensidade (por exemplo Fig. 45B, gráfico A). A esmectita exhibe normalmente reflexão basal 001 com perfil alargado em difratograma de raios X de amostra total (Fig. 46B, gráficos A, B(argilito), C(argilito); Fig. 48B, gráfico A). Esta reflexão pode ser ainda somente revelada por abaulamentos e variações no declive da linha de base dos gráficos (Fig. 45B, gráfico A; Fig.

46B, gráfico E; Fig. 49A, gráfico A). Em geral, a morfologia da reflexão basal 001 da esmectita, conforme exibida nos difratogramas das amostras totais, se mantém nos gráficos de DRX das amostras das frações finas, destacando-se apenas um ligeiro aumento na intensidade do pico no difratograma da fração $< 2\mu\text{m}$. Assim, para o argilito da base da seção colunar da figura 45A (amostra A), continua sendo observado apenas um suave abaulamento na região da reflexão 001 da esmectita nos gráficos das frações finas, o qual se destaca após a glicolagem das amostras (Fig. 48D). Já os argilitos das seções colunares das figuras 46 e 48 mantêm-se exibindo esmectitas com reflexões basais 001 com perfis alargados nos gráficos de DRX obtidos para as frações finas (Fig. 47, gráficos A, B, C; Fig. 48).

A seção colunar da figura 48A, de frente de lavra na Mineração Fumont (local TB-55, Anexo 1), apresenta, na base, argilitos verdes maciços, com feições de bioturbação, que gradam transicionalmente para folhelhos papiráceos, no topo. Esta gradação inicia-se com uma incipiente laminação dos argilitos, que progride até os folhelhos papiráceos. Nos difratogramas de DRX (Fig. 48B) das amostras totais pode-se, adicionalmente, observar que nos gráficos A e B(base), correspondentes, respectivamente, ao argilito maciço e ao argilito com laminação incipiente, a presença de esmectita, mica e caulinita com reflexões bem definidas, e nos difratogramas B(topo) e C, das amostras de argilito laminado e folhelho, sobressaem-se apenas as reflexões basais da mica e da caulinita, em detrimento da esmectita.

Na seção colunar da figura 53, também correspondente a área da Mineração ALIGRA (local TB-53, Anexo 1), foram coletados argilitos maciço e laminado situados, respectivamente, cerca de 1,2m e 5,5m abaixo do nível dolomítico (Fig. 53A). Os difratogramas de raios X obtidos para amostras totais destes argilitos demonstraram uma nítida diferença no perfil da reflexão basal 001 da esmectita presente em ambos os gráficos (Fig. 53B). Esta diferença é expressa por um perfil alargado no argilito inferior e apenas um abaulamento para as amostras de argilitos superiores, para os quais a reflexão 001 da esmectita pode ser melhor observada nos gráficos das amostras da fração $< 2\mu\text{m}$ (Figs. 53C, 53D).

Figura 48 – (A) Seção colunar de afloramento da Formação Tremembé (Local TB-55): 1) folhelhos; 2) argilitos maciços; 3) argilito com laminação incipiente. (B) Difrátogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem. (C) Difrátogramas de raios X obtidos para frações finas de argilito (amostra A) da figura (A). (D) Difrátogramas de raios X obtidos para amostra total do folhelho da seção colunar da figura A, após tratamento com H_2O_2 .

Figura 49 – (A) Difratogramas de raios X de amostras totais de argilito (gráfico A) e folhelhos (gráficos B, C, D, E) da Formação Tremembé, aflorantes no local TB-56r (Anexo 1). (B) Difratogramas de raios X de frações finas do argilito (gráfico A da figura A). (C) Difratogramas de raios X de amostra total de folhelho, após tratamento com H₂O₂.

Figura 50A - Perfil da sondagem nº 42 do CNP, Olaria do Couto, Município de Tremembé (SP) (Local CNP42, Anexo 1): 1) cobertura colúvio-aluvial; 2) argilitos; 3) folhelhos; 4) folhelhos papiráceos; 5) siltitos; 6) areias grossas; 7) lamitos, a largura das colunas indica a dimensão dos maiores clastos presentes; 8) estruturas "flame"; 9) gretas de contração; 10) calcrete; 11) bioturbações (Riccomini 1989, modificado).

Figura 50B - Difratogramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP. (A numeração dos gráficos corresponde àquele da figura 50A).

Figura 50C - Difractogramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP (A numeração dos gráficos corresponde àquela da figura 50A).

Figura 50D - Difractogramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP (A numeração dos gráficos corresponde àquela da figura 50A).

Figura 50E - Difractogramas de raios X de amostras totais, sem tratamento prévio, de argilitos e folhelhos da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP (A numeração dos gráficos corresponde àquela da figura 50A).

Em MEV foi possível notar a estrutura maciça dos argilitos lacustres da Formação Tremembé, os quais contêm grãos de quartzo imersos em matriz argilosa com textura "globular". Esta textura é formada por placas com granulação fina e formas arredondadas, contendo Si, Al, Mg, K, Ca e Fe, as quais foram interpretadas como esmectitas (*Pranchas 41, 42*).

Na prancha 41 (*Foto B*) notam-se ainda piritas framboidais e cúbicas, crescidas em poros da matriz, associadas a halotriquitais que ocorrem como delgados filamentos dispersos sobre os clastos e a matriz. Adicionalmente, na foto B da prancha 42 está presente carbonato contendo altos teores de Mg e Fe, correspondendo, provavelmente, à dolomita ferrosa (ankerita).

Na prancha 43 está ilustrado o contraste de estrutura entre o argilito maciço (*Foto A; EDS B*) da base da seção colunar da figura 48A e o argilito laminado (amostra B) (*Foto C*). Nas fotos D e E é possível observar, respectivamente, a forma arredondada das placas de argila que constituem a rocha e o crescimento de argilominerais delgados e com formas onduladas preenchendo os poros.

Em afloramentos isolados da Formação Tremembé, localizados na porção leste da Bacia de Taubaté, região de Guaratinguetá (loais TB-21, TB-22, TB-23, Anexo 1), foram amostrados argilitos verdes maciços, cujos difratogramas de raios X de amostras totais apresentam reflexões basais 001 bem definidas para a mica e caulinita, além de esmectita com perfis alargados a abaulados (*Prancha 44, Gráficos A, B, C*). Ao MEV encontram-se argilitos compostos por placas de esmectita com granulação grossa (*Prancha 44, Foto A; EDS B*) e também por esmectitas finas e textura "globular" (*Fotos B, C; EDS D*).

Na sondagem nº 42 do CNP a ocorrência de argilitos lacustres é subordinada, sendo o melhor exemplo o nível correspondente à amostra CNP96 (*Fig. 50A*), cujo difratograma de DRX de amostra total também permitiu a caracterização da mica com pico de alta intensidade e esmectita com reflexão 001 representada por suave abaulamento (*Fig. 50B, gráfico CNP96*). Macroscopicamente este argilito exhibe incipiente laminação. Os estudos por MEV mostraram

um sedimento maciço, contendo argilominerais finos com textura “larval” crescidos sobre a matriz (*Prancha 45*).

Na Bacia de São Paulo, os argilitos lacustres da Formação Tremembé são compostos por esmectita, mica e caulinita, as quais se caracterizam apenas nos difratogramas das amostras das frações finas, onde a esmectita também apresenta reflexão basal 001 com perfil abaulado, contrastando fortemente com os picos da mica e da caulinita (*Prancha 46, Gráfico B*). Adicionalmente, ao MEV, o argilito desta sondagem exhibe matriz argilosa maciça contendo esmectita com textura “globular”, semelhante aos argilitos da Bacia de Taubaté (*Prancha 46, Fotos C, D*).

Fácies de crosta dura ferruginosa

A base da seção colunar da figura 54A (Local TB-47, Anexo 1) é representada por sedimentos lacustres da Formação Tremembé, aos quais sobrepõe-se a Formação Pindamonhangaba. A Formação Tremembé, nesta localidade, é composta por argilitos verdes maciços e folhelhos semi-papiráceos; ocorre ainda um nível de crosta dura ferruginosa composta essencialmente por hematita (Fig. 54B, gráfico F). Os sedimentos lacustres desta localidade, tanto folhelhos quanto argilitos, contêm esmectita, com $d_{001} = 16,92\text{\AA}$ e reflexões basais bem definidas, mica e caulinita, estas com reflexões basais de baixa intensidade (Fig. 54B). Em MEV pode-se notar a textura maciça do argilitos da base da seção (*Prancha 47, Foto A*), que grada para textura laminada nos argilitos de topo (amostras D, E, Fig. 54A) (*Prancha 47, Foto B, EDS C*). As hematitas do nível ferruginoso puderam ser observadas em imagem de elétrons retroespalhados (*Foto D, EDS E*), e aparecem associadas a dolomitas com feições superficiais de alteração (*Fotos F, G, EDS H*).

Figura 51 - Difratoformas de raios X obtidos para amostras totais de folhelho da Formação Tremembé amostrados na sondagem nº 42 do CNP, após tratamento com H_2O_2 (gráfico A - amostra CNP16, gráfico B - amostra CNP17, gráfico C - amostra CNP 194, gráfico D - amostra CNP205, gráfico E - amostra CNP306, gráfico F - amostra CNP360).

Figura 52 - Difratoformas de raios X obtidos para amostras total de folhelho da Formação Tremembé (amostra CNP720, Fig. 50A, gráfico preto) e de cristais de halotriquite (gráfico vermelho). Destaca-se que, no gráfico vermelho todas as reflexões são da halotriquite, não existindo nenhum outro mineral.

Prancha 39

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de folhelho, com estrutura laminada pronunciada (amostra CNP222, Fig. 50A, local CNP42, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a granulação fina dos argilominerais que compõem o folhelho da foto A.

EDS C – Espectro de EDS do folhelho da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção centro-inferior da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a orientação de cavidades paralelas a laminação, preenchidas por gipsita.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando o preenchimento da cavidade da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando os cristais de gipsita.

EDS G – Espectro de EDS da gipsita da foto F.

Prancha 40

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de folhelho, com estrutura laminada da matriz argilosa e contendo grãos (por exemplo placa de mica, na porção central da foto) discordantes da laminação (amostra CNP308, Fig. 50A, local CNP 42, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a granulação fina dos argilominerais que compõem o folhelho e detalhando a laminação da matriz da foto A.

EDS C – Espectro de EDS da matriz da foto B (análise correspondente ao quadrado da porção centro-superior da foto).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando o aspecto geral da rocha, com estrutura laminada pronunciada e cavidades preenchidas por pirita.

Prancha 41

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito, contendo raros grãos clásticos associados à matriz argilosa maciça (amostra A, Fig. 45A, local TB-53, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) ilustrando a presença de piratas octaédricas e com textura framboidal crescidas nos poros do argilito da foto A.

EDS 1 – Espectro de EDS da matriz da foto A (EDS correspondente ao ponto 1 da foto).

EDS 2 – Espectro de EDS da matriz da foto A (EDS correspondente ao ponto 2 da foto).

Prancha 42

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito, contendo matriz argilosa maciça com textura "globular" e carbonato com altos teores de Mg e Fe, além de Ca, provavelmente dolomita ferrosa/ankerita (amostra B, Fig. 46A, local TB-53, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) ilustrando a granulação fina e a textura "globular" da matriz do argilito da foto A.

EDS 1 – Espectro de EDS do carbonato da foto A (EDS correspondente ao ponto 1 da foto).

EDS 2 – Espectro de EDS da matriz da foto A (EDS correspondente ao ponto 2 da foto).

EDS 3 – Espectro de EDS da matriz da foto B (EDS correspondente ao ponto 3 da foto).

Full scale = 1.87 k counts Cursor: 8.7275 keV

Full scale = 4.61 k counts Cursor: 12.8475 keV

Full scale = 421 counts Cursor: 9.6475 keV

Prancha 43

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito maciço, contendo grãos de quartzo imersos na matriz argilosa maciça (amostra A, Fig. 48A, local TB-55, Anexo 1).

EDS B – Espectro de EDS da matriz da foto A (análise correspondente ao quadrado da porção centro-inferior da foto).

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a orientação das argilas no argilito laminado (amostra B, Fig. 48A).

EDS D – Espectro de EDS da matriz da foto C (análise correspondente ao quadrado da porção centro-inferior da foto).

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a morfologia arredondada dos grãos que constituem o argilito laminado da foto C.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a presença de argilominerais com formas onduladas preenchendo os poros do argilito laminado e crescidos a partir das superfícies e bordas dos argilominerais grossos.

EDS G – Espectro de EDS do argilomineral de granulação grossa da foto F (análise correspondente ao quadrado da porção direita da foto).

Prancha 44

Gráfico A – Difratoograma de raios X de amostra total de argilito da Formação Tremembé aflorante no local TB-21 (Anexo 1).

Gráfico B – Difratoograma de raios X de amostra total de argilito da Formação Tremembé aflorante no local TB-22 (Anexo 1).

Gráfico C – Difratoograma de raios X de amostra total de argilito da Formação Tremembé aflorante no local TB-23 (Anexo 1).

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito, com estrutura maciça da matriz, formada por argilominerais de formas arredondadas (amostra correspondente ao gráfico A).

EDS E – Espectro de EDS dos argilominerais da matriz da foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito correspondente ao gráfico C. Notar a textura globular da matriz argilosa.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a textura "globular" dos argilominerais que compõem a matriz do argilito da foto F.

EDS H – Espectro de EDS dos argilominerais da matriz da foto G (EDS correspondente ao quadrado da porção centro-superior da foto).

Fácies de dolomitos

Em duas exposições de frente de lavra da Mineração ALIGRA (local TB-53, Anexo 1) aflora um mesmo nível dolomítico, com espessura decimétrica (~ 20 cm), tabular e com continuidade lateral (Fig. 46A, amostra D; Fig. 53A, amostra D).

Os difratogramas de raios X (Figs. 46B, 53B), obtidos para amostras totais, mostram a composição mineralógica do dolomito, contendo, além da dolomita, mica ($d_{001} \sim 10 \text{ \AA}$) e argilomineral com $d_{001} = 11,63 \text{ \AA}$. Na prancha 48 (*Foto A*) pode-se notar o hábito euhedral das dolomitas (*EDS B*); nas fotos C e D estão ilustradas argilas com composição (*EDS E*) rica em K e Ca, correspondendo, provavelmente, às placas de mica apontadas pelo difratogramas de raios X de amostra total e após tratamento com HCl. Em catodoluminescência (*Foto F*) estes dolomitos exibem granulação muito fina (*Foto F*).

Calcretes

Os calcretes ocorrentes no contexto da associação de fácies lacustre encontram-se desenvolvidos nos argilitos expostos na área da Mineração ALIGRA (local TB-53, Anexo 1) (Fig. 46A) e no testemunho de sondagem nº 42 do CNP (Fig. 50A). Os dados de DRX obtidos para amostra total dos sedimentos demonstram a constituição calcítica e pobre em argilominerais dos calcretes (gráfico C(calcrete), Fig. 46B).

PRANCHA 45

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do argilito, com estrutura maciça da matriz (amostra CNP96, Fig. 50A; Local CNP42, Anexo 1).

EDS 1 - Espectro de EDS da matriz da foto A (EDS correspondente ao ponto 1 da foto).

Prancha 46

A – Perfil de sondagem perfurada na Bacia de São Paulo (Local SP599/95, Anexo 2): 1) lamitos argilo-arenosos da Formação Resende, 2) argilitos da Formação Tremembé, NR – testemunho não recuperado.

Gráfico B – Difractogramas de raios X obtidos para amostra total e frações finas do argilito da Formação Tremembé.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do argilito da Formação Tremembé, com estrutura maciça da matriz .

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a granulação fina e a textura “globular” da matriz da foto C.

EDS E – Espectro de EDS da matriz da foto D (EDS correspondente ao ponto E da foto).

EDS F – Espectro de EDS da matriz da foto D (EDS correspondente ao ponto F da foto).

(A)

(m)
4
0

(B)

Prancha 47

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral de argilito, contendo grãos clásticos associados à matriz argilosa maciça (amostra G, Fig. 54A, local TB-47, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando a estrutura laminada da matriz do argilito correspondente à amostra E da figura 54A.

EDS C – Espectro de EDS da matriz da foto B.

Foto D - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando o aspecto geral da crosta dura, contendo grãos clásticos e de óxido de ferro (hematita).

EDS E – Espectro de EDS da hematita foto D.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons retroespalhados) mostrando a presença de dolomita e hematita.

Foto G - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) da mesma região da foto F.

EDS H – Espectro de EDS da dolomita da foto G.

Prancha 48

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do dolomito, contendo grãos de quartzo associados à matriz argilosa (amostra D, Fig. 46A, local TB-53, Anexo 1).

EDS B – Espectro de EDS de argilomineral da matriz da foto A.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da rocha, contendo dolomitas euhedrais constituindo uma matriz maciça, onde argilominerais estão presentes.

EDS D – Espectro de EDS de dolomita da foto C.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando os argilominerais sobre as dolomitas da foto C.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a morfologia arredondada dos argilominerais da foto C.

EDS G – Espectro de EDS da placa de argilomineral da foto F.

Foto H - Fotomicrografia de catodoluminescência do dolomito da foto C, mostrando a matriz micrítica com fraca luminescência e material secundário com luminescência amarelada (Tempo de exposição: 1 minuto, $I = 234\text{-}238 \mu\text{A}$).

5.1.5.3 A esmectita nos difratogramas de raios X da Formação Tremembé

A reflexão 001 da esmectita é marcadamente diferente nos gráficos de DRX de amostras totais dos argilitos e folhelhos da Formação Tremembé quando comparada aos difratogramas de amostras totais dos sedimentos lamíticos das formações Resende, Itaboraí e Guabirubá.

Nos difratogramas de raios X de amostras totais dos folhelhos da Formação Tremembé, a esmectita apresenta reflexão basal 001 de baixa a média intensidade e perfil alargado, com valores de largura a meia altura entre 1,3 e 1,9° de (Tabela 5), incluindo folhelhos das associações de fácies de borda de lago e lacustre.

Nos gráficos de DRX de amostras totais dos argilitos da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, a esmectita caracteriza-se por dois tipos bem distintos: 1) reflexão basal 001, com baixa a média intensidade e perfil alargado, 2) reflexão basal 001, de muito baixa intensidade e perfil abaulado. Este comportamento é muito discrepante daquele apresentado por este argilomineral nos gráficos de DRX das fácies sedimentares de leques aluviais e dos argilitos de borda de lago, bem como dos folhelhos lacustres. O alargamento da reflexão 001 destas esmectitas é pronunciado o suficiente para impedir a medição de FWHM nos gráficos das amostras totais, tendo sido a medição efetuada no gráfico das amostras das frações < 2µm, após glicolagem, onde foram obtidos valores maiores que 2° para a FWHM. Nos gráficos de DRX de amostras naturais das frações finas dos argilitos da Formação Tremembé, a esmectita manteve o mesmo comportamento exibido nos difratogramas das respectivas amostras totais.

Tabela 5 – Valores de largura a meia altura (FWMH) para a reflexao 001 da esmectita de sedimentos da Formação Tremembe.

Unidade litoestratigráfica	Assoc. fácies	Local (Anexo 1)	Amostra	d ₀₀₁ (Å)	I _{máx.} (cps)	FWHM (° 2θ)
Fm. Tremembé	AFBL	TB30r	tb30re	15.825	309.247	1.5
Fm. Tremembé	AFBL	TB32	tb32	17.610	325.31	1.771
Fm. Tremembé	AFBL	TB54	tb54a	16.66	589.99	1.895
Fm. Tremembé	AFBL	TB54	tb54cbase	16.68	318.79	1.83
Fm. Tremembé	AFL	TB55	tb55a	16.35	294.64	1.351
Fm. Tremembé	AFL	TB55	tb55c	16.51	194.34	1.302
Fm. Tremembé	AFL	TB53 (Fig. 46)	tb53b	15.61	329.07	0.919
Fm. Tremembé	AFL	TB53 (Fig. 53)	tb53a	15.83	325.151	1.515
Fm. Tremembé	AFL	TB56	tb56rc	15.24	315.58	1.502
Fm. Tremembé	AFL	TB47	tb47g	15.63	394.01	1.674
Fm. Tremembé	AFL	TB22	tb22	16.67	555.26	1.118

AFBL – Associação de fácies de borda de lago
AFL – Associação de fácies de lacustre

5.1.6 Formação São Paulo

Os sedimentos da Formação São Paulo foram amostrados nas bacias de São Paulo (local BSP-51 e sondagem SP-104, Anexo 2), Resende (local RE-06, Anexo 1) e Volta Redonda (local VR-38, Anexo 1). Nestas localidades, a unidade compreende as fácies de arenitos e argilitos com composições mineralógicas restritas a quartzo e argilominerais dos grupos da caulinita e mica; feldspato pode ocorrer subordinadamente em alguns arenitos (Figs. 27, 55, 56).

Os dados de MEV obtidos para os sedimentos da Formação São Paulo na Bacia de Resende (Fig. 55) indicaram para os argilitos (amostra C) a presença de clastos detríticos (*Prancha 49, Foto A*) na matriz argilosa, esta composta por caulinitas arredondadas, de granulação grossa, associadas a caulinita vermiforme (*Foto B*). Os arenitos conglomeráticos da base da coluna, apresentam quartzo e feldspato, em sua maioria alterados, imersos em matriz argilosa de granulação grossa (*Prancha 49, Foto C; EDS D*); alguns grãos de quartzo apresentam feições de corrosão superficial, sendo esta uma textura pouco comum nestes sedimentos. A foto C ilustra a forma arredondada das caulinitas constituintes da matriz. Foram ainda encontrados fosfatos de terras raras recobrendo grãos detríticos de feldspato.

Os arenitos da Formação São Paulo, amostrados na Bacia de Volta Redonda (local VR-38, Anexo 1), exibem feições texturais semelhantes aqueles da Bacia de Resende, isto é, apresentam clastos detríticos (quartzo e mica) circundados por matriz argilosa composta por caulinitas arredondadas, de granulação grossa (*Prancha 49, Fotos A, B; EDS C*). Os dados de DRX obtidos para sedimentos estão ilustrados na figura 56.

Na Bacia de São Paulo, a formação homônima foi amostrada em afloramento na porção oeste da bacia (local BSP-51) (Fig. 27A) e em sondagem da Engesolos na parte central (local SP-104) (Fig. 57A) (Anexo 2). Os dados de DRX, obtidos para amostras de ambos os locais, confirmaram a composição caulinitica dos argilominerais dos sedimentos argilosos e arenosos (Figs. 27B, 57B).

Figura 55 - (A) Seção-colunar de afloramento da Formação São Paulo, exposto na Bacia de Resende (Local RE-06, Anexo 1): 1) arenito médio a fino; 2) argilito; 3) arenito conglomerático; 4) argilito com fósseis vegetais. (B) Difratogramas de raios X de amostras totais, correspondentes a amostragem em (A). (C) e (D) Difratogramas de raios X das frações finas de arenito (gráfico C) e argilito (gráfico D), conforme amostragem na figura A.

Figura 56 - Difrátogramas de raios X obtidos para amostras da Formação São Paulo, na Bacia de Volta Redonda (Local VR-38, Anexo 1) (gráfico A – arenito fino; gráfico B – arenito conglomerático; gráfico C – intraclasto de argilito na amostra B).

Prancha 49

Foto A - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral do argilito, contendo grãos de quartzo imersos na matriz argilosa (amostra B, Fig. 55A, local RE-06, Anexo 1).

Foto B - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) detalhando a matriz maciça do argilito da foto A, onde caulinitas com textura vermiforme estão presentes.

Foto C - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando as caulinitas que constituem a matriz de arenito conglomerático (amostra A, Fig. 55A, local RE-06, Anexo 1).

EDS D – Espectro de EDS da caulinita da matriz da foto C.

Foto E - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da rocha.

Foto F - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando as caulinitas que constituem a matriz.

EDS G – Espectro de EDS de argilomineral da matriz da foto F.

Foto H - Imagem de MEV (sinal de elétrons secundários) mostrando o aspecto geral da matriz.

Figura 57 - (A) Seção colunar da Formação São Paulo (Local SP104, Anexo 2): 1) arenitos finos, 2) arenitos conglomeráticos; 3) argilitos. (B) Difratoograma de raios X de amostra total de arenito. (C) Difratoogramas de raios X de amostra total e frações finas de argilito.

5.2 Resultados geoquímicos

5.2.1 Estudos geoquímicos de rocha total e frações finas

Os estudos geoquímicos estiveram voltados para a caracterização da geoquímica de rocha total, incluindo calcretes e dolocrete, e das amostras das frações finas dos lamitos argilosos das associações de fácies de leques aluviais das formações Resende, Itaboraí e Guabirota, bem como dos argilitos e folhelhos lacustres da Formação Tremembé.

5.2.1.1 Geoquímica de rocha total e frações finas dos lamitos argilosos das formações Itaboraí, Resende e Guabirota

Na tabela 6A estão apresentados os resultados obtidos para as amostras totais e frações finas dos lamitos argilosos das formações Resende, Itaboraí e Guabirota, os quais tiveram seus óxidos maiores analisados por ICP/AES e seus elementos menores, traços e terras raras dosados por ICP/MS.

Os resultados geoquímicos obtidos para amostras totais de sedimentos lamíticos das formações Resende, Itaboraí e Guabirota mostram a semelhança na composição química destas litologias. Na figura 58 está ilustrada a variação dos valores médios dos teores dos óxidos maiores obtidos para as amostras totais e frações finas dos lamitos analisados. De modo geral, podem-se observar maiores valores de SiO_2 e K_2O para as amostras totais quando comparados as frações $< 2\mu\text{m}$, refletindo a retirada de minerais detríticos, como quartzo e mica, após a segregação granulométrica das frações finas. O contrário, isto é, elevação dos teores nas amostras das frações $< 2\mu\text{m}$, foi observado para Al_2O_3 , Fe_2O_3 e MgO , confirmando a presença destes elementos na composição química dos filossilicatos, em especial das esmectitas, conforme indicado anteriormente pelas análises qualitativas via EDS. O TiO_2 permanece com valores praticamente constantes entre as amostras totais e frações finas e o

CaO varia em função da contribuição de calcita, devido à associação com calcretes em partes destes lamitos (Tabela 6A).

Dentre os elementos menores e traços analisados para estes lamitos (Tabelas 6B, 6C), apenas rubídio, bário e zircônio apresentaram teores significativos, para as amostras totais e das frações finas, quando comparados aqueles apresentados para a crosta continental superior por Taylor & McLennan (1985). Para o estrôncio foram obtidos teores inferiores aos da crosta continental superior (Taylor & McLennan 1985), mesmo para amostras totais.

Em geral, todos os elementos terras raras apresentam-se enriquecidos em relação a crosta continental superior (Taylor & McLennan 1985) (Tabela 6D, Fig. 59A). No entanto, os valores obtidos são muito variáveis entre as amostras analisadas, ocorrendo amostras com teores próximos aos da crosta e outras com enriquecimentos de até 20 vezes (Fig. 59A). Como exemplo, destacam-se amostras com cerca de 45 ppm de lantânio (amostra re14-tot) e outra com 523 ppm (amostra tb18-tot), sendo ambas de leques aluviais da Formação Resende, sugerindo um controle mineralógico na composição química, dado pela presença de um mineral rico em terras raras.

De modo geral, a comparação dos resultados obtidos para os óxidos maiores dos lamitos argilosos coletados em superfície e daqueles amostrados na sondagem nº 42 do CNP indica as mesmas ordens de grandeza para os diferentes óxidos (Tabela 6A), sugerindo que a composição global destas rochas manteve-se constante.

A comparação dos resultados obtidos para elementos terras raras de amostras totais dos sedimentos lamíticos da Formação Resende da sondagem nº 42 do CNP com os valores apresentados por Taylor & McLennan (1985) para a composição da crosta continental superior mostra, no geral, pequenos enriquecimentos (Fig. 59B).

Tabela 6A - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB - Elementos maiores em % de óxidos

Unidade Litoestratigráfica	Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
Fm. Itaboraí	it04-tot	56,26	0,48	15	7,89	0,19	1,99	1,4	0,52	2,3	0,19	14,35	100,57
Fm. Itaboraí	it04-2u	46,56	0,58	18,74	9,64	0,12	2,32	1,58	0,29	1,06	0,27	19,12	100,28
Fm. Resende	re14-tot	74,01	0,59	11,78	2,56	0,05	1,01	0,68	0,79	2,99	0,22	6,1	100,76
Fm. Resende	re16-tot	50,02	1,32	23,42	6,92	0,03	1,66	0,01	0,13	2,45	0,12	13,63	99,7
Fm. Resende	re16-31u	47,06	1,52	24,45	7,08	0,03	1,82	0	0,49	2,43	0,23	14,54	99,68
Fm. Resende	re16-2u	43,56	1,4	26,12	7,32	0	1,44	0	0,84	1,61	0,56	0	82,48
Fm. Resende	tb18-tot	59,44	1,15	17,31	6,27	0,03	1,4	0,28	0,4	3,11	0,2	10,85	100,43
Fm. Resende	tb49a-tot	58,86	1	17,27	5,53	0,02	1,26	0,88	0,17	2,77	0,06	12,18	100
Fm. Resende	tb49b-tot	58,88	0,99	18,05	5,51	0,02	1,23	0,85	0,24	3,02	0,05	11,42	100,24
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp270-tot	48,32	0,75	16,31	8,38	0,11	3,29	3,36	0,41	4,12	1,18	13,39	99,64
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp688-tot	48,06	0,83	19,44	7,65	0,06	2,74	1,99	0,4	3,23	0,1	14,62	99,11
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp738-tot	50,72	0,83	17,87	8,33	0,06	2,63	1,68	0,39	3,43	0,79	13	99,74
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp763-tot	42,48	0,86	16,98	8,11	0,36	2,57	7,03	0,36	2,78	0,09	17,66	99,26
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp770-tot	49,07	0,89	18,79	8,6	0,04	2,76	0,71	0,41	3,31	0,05	13,73	98,37
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp806-tot	50,16	0,87	18,12	8,27	0,03	2,37	0,81	0,44	2,72	0,05	14,81	98,66
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp818-tot	59,32	0,99	17,46	6,39	0,03	1,39	0,53	0,57	3,28	0,04	9,94	99,94
Fm. Resende	re10a-tot	57,67	1,25	19,98	4,65	0,03	1,41	0,56	0,32	3,09	0,07	10,32	99,35
Fm. Resende	tb48b-tot	51,6	1,08	21,83	6,69	0,03	1,34	0,37	0,25	2,87	0,07	12,42	98,54
Fm. Resende	tb48b-2u	45,2	1,14	25,12	8,51	0,03	1,53	0,44	0,29	2,11	0,16	14,68	99,21
Fm. Resende	tb50c-tot	57,47	0,92	20,57	5,57	0,01	0,71	0,36	0,21	2,01	0,06	12,1	99,98
Fm. Guabirota	cwb2m-tot	60,79	0,96	13,12	4,77	0,05	1,55	1,93	0,46	1,86	0,07	13,61	99,17
Fm. Guabirota	cwb2m-31u	57,77	0,91	14,52	5,37	0,03	1,82	1,46	0,4	1,78	0,06	15,52	99,63
Fm. Guabirota	cwb2m-2u	46,22	0,75	18,01	6,81	0,03	2,4	1,52	0,2	1,71	0,1	0	77,76
Fm. Guabirota	cwb10g-tot	67,01	1,09	12,65	4,12	0,03	1,19	0,63	0,43	1,71	0,04	10,79	99,68

Rocha Total	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
média	55,56	0,94	17,55	6,46	0,07	1,81	1,34	0,38	2,84	0,19	12,50	99,62
dp	7,59	0,21	3,06	1,73	0,08	0,74	1,64	0,16	0,60	0,30	2,48	0,68
min	42,48	0,48	11,78	2,56	0,01	0,71	0,01	0,13	1,71	0,04	6,1	98,37
max	74,01	1,32	23,42	8,6	0,36	3,29	7,03	0,79	4,12	1,18	17,66	100,76
Fração <2um	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
média	46,56	0,58	18,74	9,64	0,12	2,32	1,58	0,29	1,06	0,27	19,12	100,28
dp	43,56	1,4	26,12	7,32	0	1,44	0	0,84	1,61	0,56	0	82,48
min	45,2	1,14	25,12	8,51	0,03	1,53	0,44	0,29	2,11	0,16	14,68	99,21
max	46,22	0,75	18,01	6,81	0,03	2,4	1,52	0,2	1,71	0,1	0	77,76

Figura 58 - Histograma das porcentagens médias dos óxidos maiores de amostras totais e frações < 2 μ m de lamitos das formações Itaboraí, Resende e Guabirrotuba.

Tabela 6B - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB - Elementos menores em ppm

Unidade Litoestratigráfica	Amostra	Rb	Cs	Be	Sr	Ba	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y
Fm. Itaboraí	it04-tot	230	43	45	40.9	433	15	87	26	11	30	14	101	89
Fm. Itaboraí	it04-2u	220	41	60	67.7	347	18	119	74	13	44	19	26	70
Fm. Resende	re14-tot	155	3.3	1	229	1340	9	54	66	11	45	45	17	46
Fm. Resende	re16-tot	265	13	4	54.7	943	24	135	109	17	56	37	176	143
Fm. Resende	re16-31u	338	16	5	63.9	1400	23	135	135	20	59	49	190	150
Fm. Resende	re16-2u	191	8.9	4	93.8	2290	24	174	94	20	72	47	163	187
Fm. Resende	tb18-tot	194	4.5	6	160	1030	15	98	92	15	62	25	198	279
Fm. Resende	tb49a-tot	181	6.0	3	189	1370	14	74	56	11	52	18	184	143
Fm. Resende	tb49b-tot	170	5.5	3	190	1240	13	78	64	9.9	46	24	97	151
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp270-tot	172	9.9	4	181	440	16	110	79	14	57	46	68	26
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp688-tot	232	14	3	187	467	18	94	75	30	62	43	76	14
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp738-tot	198	9.7	3	302	441	19	146	87	17	72	51	111	36
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp763-tot	188	8.2	3	318	480	18	71	69	13	49	38	69	23
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp770-tot	235	12	3	144	514	17	90	74	18	50	36	44	15
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp806-tot	199	9.4	3	225	542	17	95	81	18	50	75	81	20
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp818-tot	209	6.6	2	142	668	15	95	90	11	46	24	19	33
Fm. Resende	re10a-tot	206	7.7	7	139	652	16	121	85	12	48	33	119	87
Fm. Resende	tb48b-tot	260	16	6	101	678	19	93	70	16	51	31	89	77
Fm. Resende	tb48b-2u	271	16	6	111	549	22	131	95	21	55	40	129	64
Fm. Resende	tb50c-tot	158	12	4	122	688	15	88	58	12	45	28	93	49
Fm. Guabirota	cwb2m-tot	93	4.5	2	84	438	12	63	61	6.8	67	22	59	85
Fm. Guabirota	cwb2m-31u	104	5.2	2	83.1	393	13	66	53	8.3	42	26	89	86
Fm. Guabirota	cwb2m-2u	122	6.6	3	65.4	392	16	87	69	9.6	43	35	109	99
Fm. Guabirota	cwb10g-tot	88	4	5	113	575	12	61	104	10	43	17	69	79

Tabela 6C - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB - Elementos menores em ppm

Unidade Litoestratigráfica	Amostra	Zr	Nb	Mo	Ag	Hf	Ta	W	Ga	Ge	In	Sn	Sb	Tl	Pb	Bi	As
Fm. Itaboraí	it04-tot	181	17	0.3	n.d.	5.5	1.49	7.2	22	5.6	n.d.	7	7.18	3.51	14	0.2	15
Fm. Itaboraí	it04-2u	35	22	n.d.	n.d.	1.3	2.06	6.1	27	6.1	n.d.	6.7	5.94	0.85	n.d.	n.d.	8
Fm. Resende	re14-tot	345	14	0.4	n.d.	12	0.85	1.5	14	1.1	n.d.	2.1	0.74	0.42	14	0.09	n.d.
Fm. Resende	re16-tot	254	30	0.4	n.d.	7	1.91	12	26	1.9	n.d.	17	0.13	1.3	13	0.6	n.d.
Fm. Resende	re16-31u	163	44	0.4	n.d.	5.4	2.5	14	29	2.1	n.d.	4.7	0.46	1.68	17	0.77	0.0
Fm. Resende	re16-2u	73	28	1.3	n.d.	1.9	2.41	23	38	2.4	n.d.	4.2	0.32	0.85	36	1.19	n.d.
Fm. Resende	tb18-tot	364	42	0.7	n.d.	10	2.44	1.3	25	2.1	n.d.	6.6	0.17	1.79	17	0.19	n.d.
Fm. Resende	tb49a-tot	218	22	1.0	n.d.	6.2	1.48	1.3	30	2.6	0.0	5.0	0.42	1.77	30	0.19	0.0
Fm. Resende	tb49b-tot	191	21	0.9	n.d.	5.9	1.35	1.2	26	1.6	n.d.	3.7	0.24	0.9	11.0	0.09	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp270-tot	79	15	1.3	0.00	2.4	1.34	1.6	21	1.5	0.00	4.6	0.32	0.61	7	0.36	0.00
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp688-tot	65	21	0.9	0.00	2.1	2.03	2.1	28	1.2	0.00	5.1	0.55	1.91	13	0.12	0.00
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp738-tot	87	21	1.3	n.d.	2.8	1.72	1.7	28	1.2	n.d.	3.9	0.24	0.58	n.d.	0.36	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp763-tot	58	23	1	n.d.	1.8	1.92	1.9	24	1.3	n.d.	4.5	0.31	0.76	9	0.28	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp770-tot	100	23	1.7	n.d.	3.2	2.14	2.1	28	1.4	n.d.	5.5	0.4	1.33	n.d.	0.59	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp806-tot	98	23	1.2	n.d.	3.1	2.08	2.4	27	1.6	n.d.	4.7	0.32	0.91	10	0.16*	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp818-tot	295	30	0.5	n.d.	9.2	2.35	1.3	24	1.6	n.d.	5.7	0.43	0.64	n.d.	0.07	n.d.
Fm. Resende	re10a-tot	353	80	0.8	n.d.	11	5.18	6.1	27	1.6	n.d.	3.6	0.21	1.05	19	0.4	n.d.
Fm. Resende	tb48b-tot	188	25	0.6	n.d.	5.7	1.9	2.7	28	1.8	n.d.	6.2	0.27	2.06	12	0.33	n.d.
Fm. Resende	tb48b-2u	70	26	1.1	n.d.	2.4	2.61	3.8	36	2.6	n.d.	7	0.38	1.74	33	1.25	n.d.
Fm. Resende	tb50c-tot	194	21	1.0	n.d.	5.8	1.79	2.6	28	2.0	n.d.	5.7	0.5	1.41	34	1.03	n.d.
Fm. Guabirota	cwb2m-tot	336	18	0.3	n.d.	9.4	1.2	1.0	15	1.9	n.d.	2.5	1.09	0.51	11.0	0.39	n.d.
Fm. Guabirota	cwb2m-31u	222	18	0.3	n.d.	6	1.23	1.5	18	1.6	n.d.	3	0.86	0.74	13	0.37	n.d.
Fm. Guabirota	cwb2m-2u	118	17	0.3	n.d.	3.4	0.95	0.9	20	1.4	n.d.	3.9	0.69	0.66	11	0.3	n.d.
Fm. Guabirota	cwb10g-tot	444	21	0.8	n.d.	13	1.47	1.1	16	1.3	n.d.	3.9	0.41	0.31	n.d.	0.1	n.d.

Tabela 6D - Análises químicas de lamitos (amostras totais e frações finas) do RCSB - Elementos terras raras em ppm

Unidade Litoestratigráfica	Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
Fm. Itaboraí	it04-tot	28.3	62.3	7.634	39.3	11.8	2.39	13.2	2.4	13.6	2.75	7.89	1.24	7.4	1.16	19.5	2.25
Fm. Itaboraí	it04-2u	38.4	76.1	12.67	67.7	16.1	3.03	13.8	2.52	12.1	2.12	6.52	1.04	6.08	0.83	19.3	3.08
Fm. Resende	re14-tot	45.3	89.2	10.53	38.8	6.05	1.38	6.69	0.84	4.83	1.12	3.77	0.56	2.77	0.46	13.3	1.72
Fm. Resende	re16-tot	103	206	29.98	117	23.3	6.43	23	3.42	20.5	4.46	12.7	1.77	10.9	1.78	17	3.44
Fm. Resende	re16-31u	134	249	40.02	158	28.5	8.04	30.6	4.55	23.6	5.11	16.2	2.30	12.1	2	17.9	3.56
Fm. Resende	re16-2u	272	391	51.05	222	43.9	11.57	39.1	6.02	33.4	6.02	17.1	2.61	15.6	2.23	25.5	3.96
Fm. Resende	tb18-tot	523	267	100	377	54.4	14.13	54.9	7.14	43	9.39	27.2	3.88	22.5	3.58	16.1	3.56
Fm. Resende	tb49a-tot	91.0	122	20.59	88.6	21.3	5.43	22.8	5.17	33.5	6.38	21.1	4.46	36.1	5.51	23.6	1.79
Fm. Resende	tb49b-tot	105	149	22.53	90.1	20.6	5.53	23.7	4.72	31.3	6.6	20.0	3.63	23.6	3.86	24.4	1.4
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp270-tot	45.7	91.7	8.909	35.1	6.67	1.41	6.13	0.8	4.75	0.91	2.66	0.36	2.41	0.39	16.3	3.87
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp688-tot	30.3	53.1	6.037	24.6	4.01	0.69	3.49	0.53	2.57	0.45	1.5	0.25	1.43	0.21	14.5	4.34
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp738-tot	94.3	161	17.89	75.5	13.1	2.53	11	1.49	7.77	1.28	3.98	0.58	3.36	0.49	20.8	9.05
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp763-tot	49.6	87.8	8.319	34.5	6.44	1.14	4.82	0.73	4.31	0.75	2.12	0.38	2.55	0.34	18.7	1.48
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp770-tot	37.3	62.8	6.917	29	4.58	0.73	3.66	0.57	2.77	0.48	1.6	0.29	1.86	0.28	17.2	1.81
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp806-tot	85.9	117	10.14	40.2	6.16	1.01	4.88	0.71	3.74	0.68	2.28	0.42	2.58	0.37	19.5	1.92
Fm. Resende (Sond. CNP)	cnp818-tot	64.4	128	15.41	58.8	9.77	1.81	9.03	1.21	6.15	1.13	3.68	0.50	2.98	0.49	21.8	2.51
Fm. Resende	re10a-tot	111	245	24.89	90.3	12.8	2.85	15.3	1.99	10.8	2.33	7.88	1.05	5.25	0.89	22.8	3.8
Fm. Resende	tb48b-tot	91.1	218	29.18	110	20.6	5.21	19.7	2.51	13.8	2.72	7.46	0.93	5.37	0.91	21.5	5.62
Fm. Resende	tb48b-2u	130	231	30.41	132	25.2	5.31	19	2.87	15	2.35	6.22	0.91	5.28	0.66	18.9	4.63
Fm. Resende	tb50c-tot	53.9	104	13.18	53.7	10.2	2.34	9.36	1.39	7.9	1.56	4.44	0.68	4.07	0.63	17.6	5.68
Fm. Guabirota	cwb2m-tot	59.1	95.6	12.72	52.1	10.9	2.72	13.3	2.07	12.3	2.69	7.4	0.91	3.72	0.54	11.2	1.41
Fm. Guabirota	cwb2m-31u	61	99.1	13.06	55.3	10.9	2.62	13.2	2.2	13	2.7	7.37	0.96	3.69	0.49	11.3	1.34
Fm. Guabirota	cwb2m-2u	69.6	130	16.84	66.4	12.6	3.32	17.9	2.63	13.9	3.23	8.76	0.94	2.76	0.40	12.8	1
Fm. Guabirota	cwb10g-tot	80.6	83.8	30.07	130	25	4.64	17.3	2.56	13.2	2.4	7.14	1.05	6.23	0.95	10.7	2.02

(abreviações utilizadas: tot - amostra total; 31u - amostra da fração < 31µm; 5u - amostra da fração < 5µm; 2u - amostra da fração < 2µm)

Figura 59 - Gráficos de normalização dos teores de elementos terras raras em relação ao NASC (composição de 40 folhelhos norte americanos) (Taylor & McLennan 1985) (Gráficos: A - limites das formações Resende, Itaboraí e Guabirotuba; B - limites argilosos da Formação Resende amostrados na sondagem n°42 do CNP; C - argilitos da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé; D - argilitos lacustres da Formação Tremembé, correspondendo a linha azul à amostra TB-23 da tabela 7D, as linhas verdes ao demais argilitos coletados em superfície e as linhas rosas às amostras de argilitos amostrados na sondagem do CNP; E - folhelhos lacustres da Formação Tremembé).

5.2.1.2 Geoquímica de rocha total e frações finas dos argilitos e de rocha total dos folhelhos da Formação Tremembé

A tabela 7A apresenta os resultados geoquímicos (óxidos maiores e elementos menores, traços e terras raras) obtidos para amostras totais e frações finas dos argilitos e amostras totais dos folhelhos da Formação Tremembé, coletados em superfície e amostrados na sondagem nº 42 do CNP.

A partir destes dados foram calculados os teores médios dos vários óxidos nas distintas fácies sedimentares; os valores obtidos mostram a homogeneidade da composição química global destas rochas, as quais apresentam no geral óxidos maiores com teores nas mesmas ordens de grandeza (Fig. 60). Destacam-se apenas pequenas variações como: 1) a variação da sílica entre as diferentes fácies sedimentares da Formação Tremembé, sendo os argilitos da associação de borda de lago os mais enriquecidos (~ 50% de SiO_2) e os folhelhos lacustres os mais empobrecidos (~ 45% de SiO_2); 2) os valores de Al_2O_3 também diminuem das fácies marginais do lago para aquelas mais centrais (folhelhos lacustres), ocorrendo o contrário com o MgO e CaO ; 3) Fe_2O_3 e K_2O mais abundantes nos argilitos lacustres, quando comparados aos teores obtidos para os argilitos de borda de lago e folhelhos lacustres. O TiO_2 permanece com valor constante em todas as fácies sedimentares analisadas.

Em geral, os argilitos e folhelhos da Formação Tremembé apresentam menores teores em SiO_2 (< 50% de SiO_2 , rocha total), quando comparados aos sedimentos lamíticos das formações Resende, Itaboraí e Guabirota (~ 55% de SiO_2 , rocha total). Dentre os demais óxidos maiores, somente MgO e CaO apresentam-se com teores mais elevados nas fácies sedimentares da Formação Tremembé, em comparação com os depósitos lamíticos. Os óxidos Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 e Na_2O permanecem na mesma ordem de grandeza entre estas unidades.

A composição química global dos argilitos e folhelhos da Formação Tremembé foi comparada aos dados publicados por Taylor & McLennan (1985) para uma composição química média de folhelhos terrígenos pós-arqueanos (vide tabelas 7A, 7B, 7C, 7D). Adicionalmente,

foram utilizados os teores de elementos terras raras obtidos para folhelhos da América do Norte (NASC) publicados na década de 60 por L.A. Haskin e rerepresentados por Taylor & McLennan (1985).

De modo geral, notam-se apenas menores teores de SiO_2 para os argilitos e folhelhos da Formação Tremembé, tendo os demais óxidos maiores teores similares aqueles apresentados para os folhelhos pós-arqueanos (Taylor & McLennan 1985). Em relação aos elementos menores e traços, os resultados obtidos para a Formação Tremembé apresentam o mesmo comportamento dos dados de Taylor & MacLennan (1985), podendo-se destacar somente um pequeno enriquecimento em Rb e menores teores em Zr provavelmente relacionados a mineralogia detrítica das rochas analisadas. Esta comparação permitiu ainda observar um ligeiro enriquecimento em alguns elementos terras raras, como lantânio e cério, nos sedimentos da Formação Tremembé, em relação aos teores obtidos para folhelhos pós-arqueanos e folhelhos norte americanos (NASC) (Figs. 59C, D, E).

5.2.2 Estudos geoquímicos das esmectitas

5.2.2.1 Tratamento dos dados

Para a caracterização química das esmectitas foram efetuadas análises químicas pontuais via EDS em amostras de lamitos das formações Itaboraí, Resende e Guabirota, e amostras de argilitos da Formação Tremembé.

Os dados obtidos com as análises químicas pontuais via EDS estão relacionados por amostra nas tabelas 8A a 8L. A partir das porcentagens em peso de cada elemento analisado (Si, Al, Fe, Mg, Ca, K e Ti), normalizadas para 100% (em função do *software* disponível no laboratório), foram recalculadas as porcentagens em peso dos respectivos óxidos utilizando-se os pesos atômicos de cada elemento.

Tabela 7A - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé - Elementos maiores em porcentagem (%) de óxidos

Fácies de Argilitos da associação de fácies de borda de lago (amostras de superfície)												
Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
tb30ra-tot	49,99	1,05	23,68	5,41	0,02	1,34	0,13	0,16	2,32	0,1	15,42	99,6
tb32-tot	51,01	1,11	22,06	7,4	0,05	2,32	0,41	0,17	3,27	0,16	12,94	100,9
tb54dt-tot	50,3	0,88	23,42	5,59	0,03	1,93	0,14	0,14	2,48	0,06	14,97	99,96
tb54dt-2u	46,85	0,84	22,51	5,21	0,03	1,93	0,17	0,12	2,15	0,16	19,34	99,31

Rocha Total	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
média	50,43	1,013	23,05	6,133	0,033	1,863	0,227	0,157	2,69	0,107	14,44	100,2
DP	0,523	0,119	0,87	1,101	0,015	0,493	0,159	0,015	0,509	0,05	1,321	0,666
mínimo	49,99	0,88	22,06	5,41	0,02	1,34	0,13	0,14	2,32	0,06	12,94	99,6
máximo	51,01	1,11	23,68	7,4	0,05	2,32	0,41	0,17	3,27	0,16	15,42	100,9

Fácies de argilitos da associação de fácies lacustre (amostras de superfície, numeração tb, e da sondagem nº 42 do CNP, numeração cnp)												
Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
tb53b-tot	46,6	0,79	18,23	10,23	0,24	2,9	2,23	0,32	4,42	1,16	12,8	99,93
tb53b-2u	48,29	0,83	19,75	9,44	0,17	2,98	0,7	0,16	4,33	0,53	12,61	99,78
tb53d-tot	46,36	0,79	17,43	9,72	0,25	2,83	2,24	0,36	4,34	0,99	13,35	98,66
tb53d-2u	47,24	0,82	19,35	8,8	0,09	2,94	1,9	0,17	4,57	1,16	12,52	99,56
tb534ra-tot	46,22	0,79	18,48	6,91	0,08	3,05	3,95	0,24	3,45	0,43	16,1	99,71
tb534ra-2u	46,17	0,79	18,37	7,01	0,09	3,13	3,68	0,16	3,38	0,58	16,02	99,38
tb534rb-tot	49,6	0,87	19,89	7,37	0,06	3,02	1,03	0,26	2,91	0,11	14,8	99,92
tb534rb-2u	48,68	0,87	20,1	7,34	0,05	3,06	1,09	0,13	2,79	0,14	15,64	99,88
tb534r,c-tot	45,24	0,82	18,57	7,11	0,26	2,53	5,09	0,26	3,09	0,28	15,51	98,77
tb534rc-2u	45,61	0,85	19,71	7,36	0,24	2,68	3,05	0,12	3,02	0,24	15,94	98,82
tb534re-tot	46,13	0,79	18,19	8,84	0,13	3,26	3,1	0,32	4,45	1,3	13,02	99,53
tb534re-2u	46,35	0,76	18,57	8,62	0,11	3,36	2,69	0,18	4,31	1,18	13,18	99,32
tb533rb-tot	49,32	0,81	20,47	8,16	0,05	2,53	0,78	0,27	4,05	0,25	12,51	99,19
tb533rb-2u	49,01	0,84	20,92	8,17	0,06	2,6	1,08	0,15	3,78	0,44	13,2	100,3
tb55a-tot	47,77	0,99	23,1	6,54	0,05	2,16	0,56	0,18	3,23	0,08	13,89	98,55
tb55a-2u	47,79	1,01	23,91	6,97	0,05	2,22	0,62	0,11	2,85	0,15	14,52	100,2
tb56ra-tot	47,81	0,74	16,86	9,25	0,13	3,1	3,16	0,37	3,95	0,79	14,08	100,2
tb56ra-2u	47,58	0,79	18,18	9,09	0,1	3,24	2,79	0,19	4,1	0,92	13,34	100,3
tb21-tot	49,33	1,04	22,75	8,65	0,05	2,05	0,07	0,12	3,04	0,07	12,93	100,1
tb23-tot	50,87	0,89	20,15	7,39	0,05	2,9	0,11	0,17	3,47	0,22	13,96	100,2
tb47e-tot	51	0,94	21,98	6,31	0,03	2,07	0,12	0,13	2,59	0,12	14,94	100,2
cnp96-tot	48,3	0,74	16,78	9,19	0,09	2,98	2,59	0,32	3,83	0,63	13,37	98,81
cnp185-tot	45,9	0,81	17,93	8,15	0,1	3,08	3,99	0,41	3,88	0,32	14,66	99,24
cnp289-tot	49,79	0,87	18,64	6,92	0,05	2,65	0,75	0,48	2,94	0,08	16,04	99,22
cnp711-tot	45,7	0,79	18,26	8,21	0,11	3,09	2,75	0,42	2,97	0,24	16,18	98,72

Rocha Total	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
média	47,87	0,84	19,23	8,06	0,11	2,76	2,03	0,29	3,54	0,44	14,26	99,44
DP	1,92	0,09	1,98	1,18	0,08	0,39	1,59	0,11	0,60	0,41	1,24	0,62
mínimo	45,24	0,74	16,78	6,31	0,03	2,05	0,07	0,12	2,59	0,07	12,51	98,55
máximo	51,00	1,04	23,10	10,23	0,26	3,26	5,09	0,48	4,45	1,30	16,18	100,24

Fração <2µm	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
média	47,41	0,84	19,87	8,089	0,107	2,912	1,956	0,152	3,681	0,593	14,11	99,72
DP	1,18	0,07	1,75	0,94	0,06	0,36	1,13	0,03	0,69	0,41	1,44	0,50
mínimo	45,61	0,76	18,18	6,97	0,05	2,22	0,62	0,11	2,79	0,14	12,52	98,82
máximo	49,01	1,01	23,91	9,44	0,24	3,36	3,68	0,19	4,57	1,18	16,02	100,31

Fácies de folhelhos da associação de fácies lacustre (amostras da sondagem nº 42 do CNP)												
Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
cnp33-tot	40,53	0,77	15,76	7,61	0,08	2,55	1,97	0,21	2,7	0,07	26,52	98,76
cnp46-tot	39,85	0,76	16,03	6,74	0,13	2,52	1,93	0,24	2,49	0,09	27,95	98,73
cnp121-tot	44,07	0,81	18,34	9,09	0,19	2,39	0,84	0,33	2,41	0,08	20,8	99,36
cnp129-tot	46,24	0,82	17,39	8,48	0,14	2,98	3	0,37	3,39	0,7	15,52	99,03
cnp148-tot	45,55	0,74	16,43	7,75	0,15	2,88	4,93	0,37	3,01	0,85	17,2	99,84
cnp314-tot	48,02	0,88	18,18	7,2	0,08	2,65	2,63	0,51	3,02	0,27	15,77	99,21
cnp404-tot	50,35	0,89	18,75	6,99	0,04	2,7	1,36	0,53	2,94	0,44	14,37	99,37
cnp699-tot	45,75	0,88	18,35	7,66	0,17	2,85	4,34	0,39	3,3	0,16	15,31	99,16

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
média	45,17	0,83	17,67	7,59	0,12	2,71	2,74	0,38	2,92	0,32	18,70	99,14
DP	3,15	0,06	1,19	0,77	0,05	0,24	1,28	0,10	0,31	0,28	4,84	0,35
mínimo	39,85	0,74	15,76	6,61	0,04	2,39	0,84	0,21	2,41	0,07	14,37	98,7
máximo	50,35	0,9	19,11	9,09	0,19	3,12	4,93	0,53	3,39	0,85	27,95	99,84

Tabela 7B - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé - Elementos menores em ppm

Fácies de Argilitos da associação de fácies de borda de lago (amostras de superfície)													
Amostra	Rb	Cs	Be	Sr	Ba	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y
tb30ra-tot	196	15,0	4	45,3	436	21	108	81	18	54	56	135	32
tb32-tot	323	21	5	68,2	401	20	108	81	24	57	34	93	46
tb54dt-tot	173	14	5	40,1	327	19	106	79	18	44	49	140	30
tb54dt-2u	153	11	5	32,1	246	18	132	95	17	46	34	67	30

Fácies de argilitos da associação de fácies lacustre (amostras de superfície, numeração tb, e da sondagem nº 42 do CNP, numeração cnp)													
Amostra	Rb	Cs	Be	Sr	Ba	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y
tb53b-tot	189	11	4	176	461	19	120	74	20	47	58	104	43
tb53b-2u	208	12	4	95,7	312	19	148	83	21	50	45	137	25
tb53d-tot	198	10	4	167	451	17	123	76	21	43	49	78	43
tb53d-2u	231	12	4	139	301	19	149	97	23	49	46	121	31
tb534ra-tot	238	13	4	241	593	17	120	82	12	39	35	93	25
tb534ra-2u	235	11	4	234	518	17	128	95	23	41	29	47	25
tb534rb-tot	213	12	4	109	453	18	130	73	17	47	47	93	28
tb534rb-2u	237	12	4	98,1	290	19	139	100	24	43	42	102	19
tb534r.c-tot	236	14	4	248	588	17	111	75	18	43	46	133	28
tb534rc-2u	247	13	4	139	395	17	142	97	19	45	36	53	18
tb534re-tot	200	11	4	215	556	19	109	79	19	48	54	89	44
tb534re-2u	202	11	4	207	390	18	122	84	18	91	45	39	36
tb533rb-tot	220	19	4	75,1	342	17	118	73	16	45	47	135	23
tb533rb-2u	232	11	4	85	278	18	129	73	15	48	43	14	23
tb55a-tot	269	19	6	77,9	407	20	142	88	16	52	114	134	47
tb55a-2u	245	16	6	91,6	347	21	154	91	17	52	78	37	33
tb56ra-tot	209	11	5	172	462	16	131	73	17	42	41	91	39
tb56ra-2u	201	12	5	195	386	18	139	79	18	79	82	148	31
tb21-tot	299	19	4	40,6	404	26	136	90	16	51	46	189	26
tb23-tot	176	13	5	82,2	473	18	118	64	23	45	40	90	142
tb47e-tot	196	19	5	44,6	380	21	142	85	21	47	59	168	58
cnp688-tot	232	14	3	187	467	18	94	75	30	62	43	76	14
cnp96-tot	193	9,2	4	170	431	15	134	80	18	44	47	98	33
cnp185-tot	225	13	4	277	569	17	132	67	15	47	46	18	29
cnp289-tot	213	12	3	124	510	17	147	86	16	69	56	50	18
cnp711-tot	218	12	3	208	513	17	88	72	15	44	41	91	22

Continuação da Tabela 7B

Fácies de folhelhos da associação de fácies lacustre (amostras da sondagem nº 42 do CNP)													
Amostra	Rb	Cs	Be	Sr	Ba	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y
cnp33-tot	171	7.9	3	117	397	15	128	81	15	45	36	0.00	18
cnp46-tot	209	9.7	3	195	457	15	124	88	19	43	39	0.00	21
cnp121-tot	197	11	4	99.7	489	16	148	80	30	66	58	46	25
cnp129-tot	204	10	4	186	466	16	122	71	16	72	46	25	27
cnp148-tot	199	10	4	257	570	18	128	76	14	67	55	120	30
cnp314-tot	202	12	3	204	543	17	107	68	16	48	55	133	24
cnp404-tot	188	10	4	174	532	19	133	75	13	64	63	25	58
cnp699-tot	225	13	4	220	444	18	114	82	18	55	45	27	22

Tabela 7C - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé - Elementos menores em ppm

Fácies de Argilitos da associação de fácies de borda de lago (amostras de superfície)																
Amostra	Zr	Nb	Mo	Ag	Hf	Ta	W	Ga	Ge	In	Sn	Sb	Tl	Pb	Bi	As
tb30ra-tot	155	26.0	2.3	n.d.	5.0	2.06	2.3	32	1.4	n.d.	6.2	0.36	1.19	17.0	0.41	n.d.
tb32-tot	152	29	2	n.d.	5.0	2.59	2.9	34	1.7	n.d.	6.5	0.38	2.75	25	0.9	6
tb54dt-tot	78	25	0.7	n.d.	2.6	2.04	2.5	32	1.2	n.d.	5.9	0.37	0.92	13	0.12	n.d.
tb54dt-2u	66	21	0.5	n.d.	1.9	1.84	2.2	25	1.2	n.d.	4.3	0.33	0.37	n.d.	n.d.	n.d.

Fácies de argilitos da associação de fácies lacustre (amostras de superfície, numeração tb, e da sondagem nº 42 do CNP, numeração cnp)																
Amostra	Zr	Nb	Mo	Ag	Hf	Ta	W	Ga	Ge	In	Sn	Sb	Tl	Pb	Bi	As
tb53b-tot	82	17	2.8	n.d.	2.4	1.24	1.9	23	1.4	n.d.	3.4	0.51	1.15	15.0	0.41	10
tb53b-2u	59	15	0.6	n.d.	1.9	1.44	1.2	25	1.6	n.d.	4.7	0.27	0.3	n.d.	0.1	n.d.
tb53d-tot	24	19	3	n.d.	3.3	1.49	1.9	23	1.2	n.d.	3.1	0.55	0.95	14	0.47	14
tb53d-2u	70	18	0.7	n.d.	2.1	1.57	1.9	25	1.8	n.d.	4.2	0.46	1.39	16	0.55	5
tb534ra-tot	69	21	1	n.d.	2.1	1.48	1.7	25	1.2	n.d.	4	0.37	1.11	10	n.d.	n.d.
tb534ra-2u	19	20	1.5	n.d.	1.7	1.86	1.7	26	1.5	n.d.	3.8	0.5	0.9	n.d.	n.d.	n.d.
tb534rb-tot	80	20	1.1	n.d.	2.6	1.68	2.4	27	1.3	n.d.	4.3	0.48	1.04	14.0	0.07	8
tb534rb-2u	43	21	1.5	n.d.	2	1.86	6.4	29	1.2	n.d.	4.7	0.52	1.22	11	0.06	n.d.
tb534r.c-tot	86	22	1.2	n.d.	2.9	1.75	2.3	28	1.4	n.d.	4.6	0.46	1.59	20.0	0.61	8
tb534rc-2u	63	22	0.7	n.d.	2	1.98	2.3	29	1.4	n.d.	5.2	0.31	0.67	n.d.	0.18	n.d.
tb534re-tot	79	18	2.6	n.d.	2.6	1.5	2.2	25	1.3	n.d.	3.4	0.38	1.04	14	0.38	7
tb534re-2u	42	14	0.1	n.d.	1.4	1.38	1.2	27	1.7	n.d.	4	0.53	0.26	10	0.08	n.d.
tb533rb-tot	79	19	1.2	n.d.	3.5	1.89	2.2	26	1.7	n.d.	4.4	0.51	1.49	12.0	0.75	5
tb533rb-2u	27	19	0.1	n.d.	1.9	1.79	1.3	24	1.7	n.d.	4.9	0.67	0.25	n.d.	0.06	n.d.
tb55a-tot	109	26	0.9	n.d.	3.5	1.89	2.2	31	1.6	n.d.	5.9	0.3	1.49	12	n.d.	n.d.
tb55a-2u	53	22	0.6	n.d.	2.2	1.92	1.8	30	2.1	n.d.	6.8	0.52	0.46	8	0.16	n.d.
tb56ra-tot	19	20	1	n.d.	2.3	1.47	1.9	26	1.3	n.d.	4.2	0.7	1.05	14	0.32	n.d.
tb56ra-2u	51	18	0.4	n.d.	1.6	1.55	1.7	27	1.6	n.d.	6	0.32	0.74	7	0.34	n.d.
tb21-tot	223	33	0.7	n.d.	6.7	2.44	2.0	34	2.1	n.d.	6.3	0.42	2.41	33	0.94	n.d.
tb23-tot	72	18	0.7	n.d.	2.6	1.42	1.8	25	1.3	n.d.	6.4	0.75	0.71	6.0	0.2	n.d.
tb47e-tot	75	22	1.4	n.d.	2.6	1.61	5.3	32	1.9	n.d.	5.9	0.55	0.86	13.0	0.46	n.d.
cnp96-tot	28	18	1.3	0.00	2.4	1.72	2.6	26	1.5	0.00	4.5	0.68	1.14	20	0.72	8
cnp185-tot	45	19	1.1	0.00	2.6	1.93	2.1	28	1.4	0.00	5.6	0.62	1.35	24	0.51	7
cnp289-tot	77	20	1.2	0.00	2.7	2	1.8	26	1.6	0.00	5.8	0.91	0.52	0.00	0.49	0.00
cnp711-tot	70	21	2.3	0.00	2.3	1.88	1.8	27	1.1	0.00	4.1	0.49	0.84	12	0.2	0.00

Fácies de folhelhos da associação de fácies lacustre (amostras da sondagem nº 42 do CNP)																
Amostra	Zr	Nb	Mo	Ag	Hf	Ta	W	Ga	Ge	In	Sn	Sb	Tl	Pb	Bi	As
cnp33-tot	63	16	4.3	0.00	2	1.44	1.4	19	1.1	0.00	2.1	0.81	0.21	0.00	0.00	9
cnp46-tot	48	20	2.9	0.00	1.9	1.87	2.7	24	1.5	0.00	4.3	0.69	0.17	0.00	0.00	11
cnp121-tot	63	19	2.9	0.00	2.3	1.69	2.9	28	1.8	0.00	7.4	0.79	0.62	10	0.25	9
cnp129-tot	25	20	0.2	0.00	2.2	1.72	1.4	23	1.4	0.00	4.6	0.67	0.53	7	0.14	0.00
cnp148-tot	72	18	1.3	0.00	1.7	1.52	1.4	22	1.1	0.00	5.4	0.37	0.49	0.00	0.25	6
cnp314-tot	76	20	0.9	0.00	2.5	1.71	1.8	27	1.2	0.00	6.5	0.7	0.7	8	0.35	6
cnp404-tot	57	18	3	0.00	3.4	1.74	2.3	24	1.8	0.00	4.2	0.85	0.62	7	0.23	5
cnp699-tot	61	21	2.5	0.00	2.9	2.04	2.1	27	1.6	0.00	5.8	0.53	1.45	21	0.6	0.00
cnp688-tot	65	21	0.9	0.00	2.1	2.03	2.1	28	1.2	0.00	5.1	0.55	1.91	13	0.12	0.00

Tabela 7D - Análises químicas de argilitos (amostras totais e frações finas) e folhelhos (amostras totais) da Formação Tremembé - Elementos terras raras em ppm

Fácies de Argilitos da associação de fácies de borda de lago (amostras de superfície)																
Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
tb30ra-tot	46.0	107	12.86	46.6	7.51	1.491	7.62	0.99	5.06	1.06	3.47	0.497	2.82	0.459	24.6	5.42
tb32-tot	53.6	112	12.25	48.5	7.93	1.467	7.66	1.12	6.31	1.32	4.11	0.603	3.49	0.547	22	6.16
tb54dt-tot	43.9	98.4	11.36	46.8	7.56	1.528	7.6	1.03	5.22	0.99	3.07	0.445	2.51	0.358	17.7	3.87
tb54dt-2u	48.1	101	11.53	46.5	7.98	1.686	7.63	1.02	5.1	0.96	2.91	0.438	2.23	0.336	12.5	3.04

Fácies de argilitos da associação de fácies lacustre (amostras de superfície, numeração tb, e da sondagem nº 42 do CNP, numeração cnp)																
Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
tb53b-tot	50.3	116	11.43	43.4	8	1.79	7.79	1.05	6.26	1.3	3.71	0.515	3.2	0.53	17.8	4.62
tb53b-2u	48.6	96.5	10.3	39.6	6.99	1.40	6.23	0.83	4.12	0.78	2.38	0.326	1.77	0.28	18	4.58
tb53d-tot	52	114	12.38	43.9	7.96	1.89	8.36	1.05	6.26	1.32	3.88	0.54	3.1	0.52	17.4	2.89
tb53d-2u	58.6	115	12.5	47.1	8.24	1.74	7.53	1.03	5.14	0.98	2.94	0.427	2.45	0.39	17.7	2.51
tb534ra-tot	39.6	91.2	10.06	36.2	5.8	1.22	5.94	0.73	3.6	0.75	2.39	0.327	1.7	0.31	15.8	5.86
tb534ra-2u	54.2	101	10.91	46	7.74	1.39	6.64	0.94	4.71	0.78	2.44	0.376	2.09	0.31	13.6	6.56
tb534rb-tot	51.8	112	11.45	45.1	8.33	1.63	6.99	0.95	5.44	0.99	2.74	0.411	2.36	0.36	18.7	3.42
tb534rb-2u	48.3	90.3	10.2	41.9	6.83	1.36	5.94	0.86	3.95	0.67	2.09	0.313	1.64	0.23	16.1	3.81
tb534rc-tot	45.5	99.5	10.73	42.3	7	1.34	6.63	0.89	4.63	0.9	2.87	0.422	2.35	0.37	18.5	3.51
tb534rc-2u	44	82.5	9.34	36.3	6.06	1.12	5.24	0.71	3.32	0.6	1.9	0.284	1.57	0.23	15.3	2.76
tb534re-tot	54	114	11.54	46.8	8.23	1.71	7.59	1.16	6.64	1.31	3.97	0.613	3.68	0.53	17.9	3.52
tb534re-2u	58.3	105	10.81	46.8	8.24	1.61	6.83	1.1	6.02	1.06	3.22	0.51	3.17	0.42	11.7	2.57
tb533rb-tot	57.1	167	23.94	109	19.9	4.35	18	2.26	10.1	1.78	5.2	0.637	3.31	0.53	20.4	9.58
tb533rb-2u	53.9	101	11.24	46.4	8.12	1.44	6.88	0.95	4.56	0.78	2.47	0.383	2.11	0.27	15.9	3.93
tb55a-tot	57.1	167	23.94	109	19.9	4.34	18	2.26	10.1	1.78	5.2	0.637	3.31	0.53	20.4	9.58
tb55a-2u	63.2	152	20.54	93.1	18.8	3.85	14	1.91	8.46	1.31	3.59	0.466	2.5	0.37	19.2	10.1
tb56ra-tot	53.5	108	12.2	48.4	8.04	1.61	7.71	1.05	5.56	1.09	3.54	0.553	3.07	0.48	17.2	3.97
tb56ra-2u	55.9	100	10.15	42.2	8.27	1.55	6.61	0.98	5.69	1.02	3.05	0.478	3	0.43	18.6	4.14
tb21-tot	54.8	109	11.55	39.2	5.8	0.92	6.57	0.79	4.09	0.83	2.74	0.394	2.18	0.39	24.5	6.36
tb23-tot	183	405	49.07	175	30.4	6.60	34.7	4.24	22.8	4.39	13.6	1.832	9.39	1.49	16.4	3.41
tb47e-tot	97.8	179	24.86	100	17.2	3.39	15.1	2.0	10.7	1.83	5.48	0.799	4.34	0.62	19.5	5.22
cnp96-tot	61.8	110	11.82	51.1	9.1	1.65	7.14	1.16	6	1.04	3.19	0.523	3.07	0.41	15.9	3.38
cnp185-tot	48.7	87.1	9.48	42.1	7.29	1.34	6.18	1.03	5.41	0.93	2.73	0.473	2.71	0.37	17.9	4.01
cnp289-tot	39.2	71	8.37	33.6	5.79	1.07	5.14	0.67	3.61	0.64	2.04	0.293	1.68	0.26	18.9	4.08
cnp711-tot	38.9	77.7	8.82	38.1	6.72	1.22	5.64	0.88	4.18	0.7	2.23	0.357	1.93	0.26	16	5.77

Figura 60 - Histograma para comparação das porcentagens médias dos óxidos maiores de amostras totais e frações < 2 μ m de argilitos e de amostras totais de folhelhos da Formação Tremembé.

Dentre os elementos analisados, o titânio é considerado por vários autores como impureza, principalmente quando se apresenta em análises químicas de rochas sedimentares (e.g. Bain & Smith 1994). Adicionalmente, o fato dos teores de TiO_2 permanecerem constantes nas análises de rochas totais e frações finas de sedimentos lamíticos e argilitos lacustres via ICP é sugestivo da presença deste elemento como uma fase mineral, não sujeita as variações dos demais óxidos. Nas tabelas 9A a 9L constam as porcentagens em peso dos óxidos obtidas para cada ponto analisado em cada amostra, cujos valores foram normalizados para 100% após a eliminação do titânio, e respectivas fórmulas estruturais calculadas. Para o cálculo das fórmulas estruturais seguiu-se o procedimento indicado por Bain & Smith (1994), que inclui: 1) o cálculo do número de moles dos óxidos, dividindo-se as porcentagens em peso de cada óxido pelos respectivos pesos moleculares; 2) obtenção do número de equivalentes-grama dos cátions, através da multiplicação dos números de moles de cada óxido pela carga positiva do cátion; 3) obtenção do fator de proporcionalidade, pela divisão do total de equivalentes-grama pelo número de cargas totais de ânions; 4) obtenção do número de cátions na célula unitária, através da multiplicação do equivalente-grama de cada cátions pelo fator de proporcionalidade e então a divisão do produto pela carga do cátion. Neste cálculo, o número de cátions (representados pela sigla dos elementos) foi normalizado em relação a 11 átomos de oxigênio, correspondentes à metade da cela unitária ($\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) da esmectita e equivalente à sua fórmula anidra.

A atribuição dos cátions aos sítios estruturais foi, inicialmente, efetuada para a camada tetraédrica, seguida da posição octaédrica e finalmente do preenchimento do espaço interplanar. A conferência destas fórmulas estruturais incluiu a contabilização do número total de cátions para cada um dos sítios estruturais e balanço das cargas positivas e negativas (22 cargas negativas, referentes aos 11 átomos de oxigênio).

Tabela 8A – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: matriz argilosa de lamito argilo-arenoso conglomerático da associação de fácies de leques aluviais da Formação Itaboraí, Bacia de Itaboraí (local IT-04, Fig. 7, amostra IT-04). Vide DRX na figura 15 e foto de MEV na prancha 07.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Pontos																					
Ponto 1	67,01	20,07	7,51	2,15	1,81	1,47		61,42	20,83	10,30	2,54	2,53	2,39		64,86	22,89	5,47	3,10	1,87	1,81	
Ponto 2	66,88	20,25	7,5	2,15	1,95	1,26		61,34	21,03	10,29	2,55	2,74	2,06		64,74	23,1	5,46	3,11	2,03	1,56	
Ponto 3	66,56	19,75	7,87	2,31	1,95	1,57		60,75	20,43	10,81	2,72	2,72	2,57		64,39	22,54	5,76	3,34	2,02	1,95	
Ponto 4	65,6	21,42	7,48	2,08	1,86	1,56		60,00	22,19	10,23	2,45	2,6	2,54		63,35	24,38	5,43	2,99	1,92	1,92	
Ponto 5	67,01	20,13	7,32	2,07	1,88	1,58		61,40	20,89	10,04	2,45	2,64	2,57		64,82	22,96	5,33	2,99	1,96	1,95	
Ponto 6	67,24	19,8	7,27	2,25	2,00	1,43		61,65	20,56	9,98	2,66	2,81	2,33		65,04	22,58	5,29	3,25	2,08	1,76	
Ponto 7	66,71	20,64	7,42	1,91	1,91	1,41		61,17	21,43	10,18	2,26	2,67	2,29		64,58	23,55	5,4	2,76	1,98	1,74	
Ponto 8	66,88	20,23	7,09	2,03	2,05	1,71		61,24	20,98	9,72	2,4	2,87	2,78		64,63	23,05	5,16	2,93	2,12	2,1	
Ponto 9	63,96	20,67	7,33	2,07	1,79	2,43	1,75	57,99	21,22	9,95	2,42	2,48	3,92	2,03	61,94	23,59	5,34	2,98	1,85	3,01	1,27

Tabela 8B – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: matriz argilosa de lamito arenoso da associação de fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende, Bacia de Resende (local RE-14, Anexo 1, amostra RE-14). Vide DRX na figura 17e foto de MEV na prancha 09.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Pontos																					
Ponto 1	61,73	28,14	5,51	1,09	1,01	1,38	1,14	56,79	29,31	7,59	1,29	1,42	2,25	1,35	59,16	31,78	3,98	1,55	1,04	1,68	0,83
Ponto 2	62,68	27,3	4,95	1,17	1,21	1,39	1,29	57,78	28,5	6,83	1,39	1,70	2,28	1,53	60,05	30,84	3,57	1,67	1,24	1,70	0,93
Ponto 3	65,52	27,69	3	0,34	0,93	2,08	0,44	60,96	29,17	4,17	0,41	1,33	3,44	0,52	62,46	31,11	2,15	0,49	0,96	2,53	0,31
Ponto 4	61,82	26,98	5,52	1,55	1,19	1,92	1,02	56,62	27,98	7,57	1,83	1,67	3,13	1,20	59,11	30,4	3,97	2,2	1,22	2,35	0,73
Ponto 5	57,68	26,64	6,63	1,63	1	2,59	3,82	52,01	27,2	8,95	1,9	1,37	4,15	4,42	55,6	30,26	4,81	2,35	1,02	3,18	2,77
Ponto 6	65,39	24,77	4,87	1,68	1,66	1,14	0,49	60,5	25,95	6,74	2,01	2,35	1,88	0,58	62,66	27,97	3,51	2,41	1,7	1,4	0,35
Ponto 7	57,44	27,62	7,67	0,54	1,39	4,24	1,1	51,3	27,93	10,25	0,62	1,9	6,73	1,26	55,07	31,21	5,54	0,77	1,43	5,19	0,79

Tabela 8C – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende, Bacia de Resende (local RE-08, Anexo 1, amostra RE-08C). Vide DRX na figura 22A, gráfico A, e foto de MEV na prancha 16.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	66,11	21,68	6,4	2,43	1,61	1,04	0,73	60,87	22,61	8,82	2,89	2,27	1,69	0,86	63,75	24,65	4,65	3,49	2,27	1,69	0,53
Ponto 2	65,84	21,85	6,02	2,75	2,08	0,94	0,52	60,59	22,77	8,29	3,27	2,92	1,54	0,62	63,28	24,75	4,36	3,95	2,14	1,15	0,38
Ponto 3	65	22,1	7,13	2,21	1,52	0,98	1,05	59,65	22,96	9,79	2,62	2,14	1,6	1,24	62,87	25,19	5,19	3,2	1,58	1,21	0,77
Ponto 4	67,06	20,08	6,71	1,86	1,77	1,38	1,14	61,61	20,89	9,23	2,2	2,48	2,25	1,34	65,07	22,97	4,9	2,68	1,83	1,71	0,83
Ponto 5	61,41	21,27	6,72	2,33	1,72	1,27	5,29	55,72	21,85	9,13	2,73	2,38	2,04	6,15	59,94	24,47	4,94	3,4	1,8	1,57	3,88
Ponto 6	67,57	19,21	5,73	2,74	3,03	0,86	0,85	62,16	20,01	7,88	3,25	4,27	1,41	1,01	65,22	21,86	4,16	3,94	3,14	1,07	0,62
Ponto 7	67,35	21,97	5,07	2,69	1,52	0,89	0,51	62,45	23,07	7,03	3,22	2,16	1,46	0,61	64,62	24,85	3,66	3,85	1,57	1,08	0,37
Ponto 8	63,36	21,36	8,83	2,16	1,82	1,34	1,13	57,51	21,95	11,99	2,53	2,53	2,16	1,32	61,57	24,45	6,45	3,13	1,9	1,66	0,83

Tabela 8D – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende, Bacia de Taubaté (local TB-49, Anexo 1, amostra TB-49B). Vide DRX na figura 21B, gráfico B, e foto de MEV na prancha 15.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	66,22	20,33	7,97	2,03	1,89	1,57	—	60,50	21,03	10,89	2,39	2,64	2,54	—	64,15	23,21	5,81	2,93	1,96	1,93	
Ponto 2	61,9	25,05	7,4	0,81	1,3	2,13	1,41	56,29	25,79	10,07	0,95	1,81	3,44	1,64	59,88	28,56	5,39	1,16	1,35	2,63	1,02
Ponto 3	66,6	21,13	6,98	1,06	0,95	1,92	1,37	61,13	21,96	9,58	1,26	1,33	3,13	1,61	64,76	24,22	5,10	1,54	0,99	2,38	1,00
Ponto 4	66,08	21,56	6,68	0,65	1,35	2,31	1,37	60,48	22,34	9,15	0,77	1,89	3,75	1,61	64,21	24,69	4,88	0,95	1,41	2,86	1,00
Ponto 5	62,03	25,51	7,22	1,04	1,21	1,73	1,26	56,60	26,36	9,86	1,22	1,69	2,81	1,47	59,92	29,05	5,25	1,49	1,25	2,14	0,91
Ponto 6	61,5	24,2	8,71	0,75	1,32	2,2	1,34	55,64	24,79	11,79	0,87	1,82	3,54	1,55	59,76	27,72	6,37	1,08	1,37	2,73	0,98
Ponto 7	63,51	24,07	6,33	0,74	1,38	2,51	1,47	57,94	24,86	8,64	0,87	1,92	4,06	1,72	61,35	27,40	4,60	1,07	1,42	3,09	1,07

Tabela 8E – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais distais da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (local CWB-02, Fig. 34, amostra CWB-02M). Vide DRX na figura 35C, gráfico M, e foto de MEV na prancha 30.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	63,05	28,23	4,86	0,64	0,16	2,27	0,79	58,16	29,49	6,71	0,76	0,23	3,71	0,93	60,28	31,81	3,5	0,92	0,17	2,76	0,57
Ponto 2	59,79	27,5	6,47	1,86	0,02	3,43	0,92	54,19	28,23	8,78	2,18	0,03	5,52	1,07	56,97	30,89	4,64	2,65	0,02	4,17	0,66
Ponto 3	58,66	29,89	7,08	0,5	0,15	2,99	0,74	53,21	30,7	9,61	0,58	0,21	4,82	0,86	56,14	33,72	5,1	0,7	0,16	3,66	0,53
Ponto 4	61,35	31,34	3,53	0,32	0,08	2,27	1,12	56,74	32,82	4,88	0,38	0,11	3,73	1,33	58,29	35,1	2,52	0,45	0,08	2,75	0,8
Ponto 5	62,21	33,06	2,23	0	0,3	1,11	1,08	58,24	35,05	3,13	0	0,43	1,85	1,3	59,02	36,96	1,59	0	0,3	1,35	0,77
Ponto 6	59,03	36,83	1,22	0	0,01	1,24	1,67	55,21	39,01	1,71	0	0,01	2,06	2,01	55,58	40,88	0,86	0	0,01	1,49	1,19
Ponto 7	60,77	33,94	2,23	0,07	0,2	1,68	1,12	56,61	35,8	3,11	0,09	0,28	2,77	1,34	57,46	37,83	1,59	0,11	0,2	2,02	0,8
Ponto 8	61,14	28,64	4,86	0,85	0,1	3,43	0,97	55,87	29,63	6,65	1	0,14	5,57	1,14	58,21	32,13	3,49	1,21	0,1	4,17	0,7
Ponto 9	60,46	31,32	4,13	0,47	0,01	2,2	1,41	55,75	32,7	5,7	0,56	0,01	3,6	1,67	57,54	35,14	2,96	0,67	0,01	2,67	1,01
Ponto 10	57,78	28,5	6,79	0,87	0,13	2,99	2,95	52,23	29,17	9,18	1,01	0,18	4,81	3,42	55,58	32,32	4,91	1,25	0,14	3,68	2,13

Tabela 8F – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais distais da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (local CWB-10, Fig. 34, amostra CWB-10G). Vide DRX na figura 37B, gráfico G, e foto de MEV na prancha 31.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	60,93	20,23	8,68	2,26	1,98	5,09	0,83	53,99	20,3	11,51	2,58	2,69	8	0,95	58,64	22,95	6,29	3,24	2,05	6,24	0,6
Ponto 2	53,76	32,29	2,15	0	0,31	10,88	0,61	47,11	32,04	2,82	0	0,41	16,93	0,69	49,73	35,21	1,5	0	0,3	12,83	0,43
Ponto 3	55,4	29	4,25	0,4	0,31	10,2	0,44	48,48	28,74	5,56	0,45	0,42	15,86	0,49	51,75	31,93	2,98	0,56	0,32	12,16	0,3

Tabela 8G – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-32, Anexo 1, amostra TB-32B). Vide DRX na figura 42B, gráfico B, e foto de MEV na prancha 35.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Pontos																					
Ponto 1	63,24	25,00	4,89	1,15	0,77	3,19	1,76	57,78	25,86	6,69	1,36	1,08	5,17	2,06	60,62	28,24	3,53	1,65	0,8	3,9	1,27
Ponto 2	63,49	25,21	5,50	1,09	0,62	3,28	0,81	57,99	26,08	7,52	1,28	0,87	5,31	0,95	60,8	28,46	3,97	1,56	0,64	4	0,58
Ponto 3	61,97	23,19	7,86	0,68	0,96	4,05	1,28	55,74	23,62	10,58	0,79	1,32	6,47	1,48	59,94	26,44	5,72	0,98	0,99	5	0,93
Ponto 4	64,78	22,54	6,44	0,71	0,6	4,15	0,78	58,82	23,17	8,75	0,83	0,83	6,69	0,91	62,43	25,6	4,67	1,02	0,62	5,1	0,57
Ponto 6	62,82	25,46	5,50	0,94	0,83	3,45	0,99	57,23	26,26	7,5	1,11	1,15	5,59	1,16	60,17	28,74	3,97	1,35	0,84	4,22	0,72
Ponto 7	64,22	22,69	6,67	0,84	0,68	3,76	1,14	58,3	23,32	9,06	0,98	0,95	6,06	1,33	61,98	25,81	4,84	1,2	0,71	4,63	0,83
Ponto 8	59,65	24,04	9,19	0,61	0,9	4,41	1,2	53,18	24,27	12,26	0,7	1,23	6,99	1,37	57,74	27,43	6,7	0,88	0,94	5,45	0,87
Ponto 9	60,89	23,99	8,03	1,16	0,49	4,27	1,17	54,66	24,39	10,79	1,34	0,67	6,82	1,34	58,67	27,24	5,82	1,66	0,5	5,26	0,84
Ponto 10	59,75	24,87	8,20	1,00	0,89	4,21	1,08	53,49	25,21	10,99	1,16	1,22	6,69	1,24	57,53	28,22	0,78	1,44	0,92	5,17	0,78
Ponto 11	49,89	18,05	12,01	9,11	0,08	8,93	1,94	42,1	17,25	15,16	9,92	0,10	13,38	2,10	46,76	19,94	8,47	12,7	0,08	10,67	1,36

Tabela 8H – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-21, Anexo 1, amostra TB-21). Vide DRX (gráfico A) e foto de MEV na prancha 44.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Pontos																					
Ponto 1	68,37	20,03	5,96	1,9	1,55	1,68	0,52	63,06	20,92	8,22	2,26	2,18	2,75	0,61	66,07	22,82	4,33	2,73	1,6	2,07	0,38
Ponto 2	66,16	21,4	6,32	1,78	1,56	2,14	0,65	60,61	22,2	8,66	2,1	2,18	3,48	0,76	63,81	24,33	4,59	2,55	1,61	2,63	0,47
Ponto 3	66,12	20,57	6,45	1,86	1,38	2,32	1,3	60,46	21,3	8,82	2,2	1,93	3,77	1,52	63,94	23,44	4,69	2,69	1,43	2,86	0,94
Ponto 4	66,89	20,5	5,82	1,89	1,84	1,75	1,32	61,45	21,32	8,00	2,24	2,58	2,85	1,55	64,67	23,36	4,24	2,72	1,9	2,15	0,96
Ponto 5	66,59	21,4	5,99	1,82	1,49	2,14	0,58	61,12	22,24	8,23	2,15	2,09	3,49	0,68	64,16	24,3	4,35	2,61	1,54	2,63	0,42
Ponto 6	64,89	20,59	6,66	1,89	1,9	1,99	2,07	59,15	21,25	9,09	2,22	2,65	3,23	2,42	62,93	23,53	4,86	2,73	1,97	2,46	1,51
Ponto 7	67,7	19,97	5,87	1,66	1,55	2,44	0,82	62,12	20,75	8,06	1,96	2,17	3,98	0,96	65,4	22,75	4,27	2,38	1,6	3,01	0,59
Ponto 8	63,99	20,66	8,32	1,54	2,01	2,89	0,6	57,76	21,12	11,24	1,79	2,77	4,63	0,69	62,02	23,61	6,07	2,22	2,08	3,57	0,44

Tabela 8I – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-53, Anexo 1, amostra TB-53A). Vide DRX na figura 45B, gráfico A, e foto de MEV na prancha 41.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	64,87	22,5	5,05	1,09	1,13	1,14	4,23	59,80	23,49	6,96	1,3	1,59	1,86	5,00	63,19	25,83	3,70	1,58	1,18	1,41	3,1
Ponto 2	68,64	21,77	5,05	1,38	1,36	1,24	0,56	63,78	22,91	7,02	1,65	1,93	2,04	0,67	66,25	24,77	3,67	1,98	1,41	1,52	0,41
Ponto 3	67,59	20,86	6,67	1,07	1,42	1,61	0,78	62,22	21,75	9,19	1,27	2,00	2,63	0,92	65,64	23,89	4,88	1,55	1,48	2,00	0,57
Ponto 4	68,3	22,06	4,81	1,31	1,38	1,16	0,98	63,48	23,22	6,69	1,57	1,96	1,91	1,17	65,95	25,11	3,5	1,88	1,42	1,43	0,71

Tabela 8J – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-55, Anexo 1, amostra TB-55A). Vide DRX na figura 48B, gráfico A, e foto de MEV na prancha 43.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	66,53	23,44	4,56	1,51	0,28	3,05	0,62	61,32	24,47	6,29	1,8	0,4	5	0,73	63,66	26,44	3,28	2,16	0,29	3,73	0,44
Ponto 2	60,36	25,62	6,97	1,47	0,54	3,87	1,18	54,42	26,16	9,4	1,71	0,75	6,19	1,36	57,82	28,93	5,02	2,1	0,56	4,73	0,85
Ponto 3	61,63	23,53	9,46	1,38	0,8	2,4	0,79	55,67	24,07	12,79	1,61	1,11	3,84	0,91	59,8	26,92	6,91	2	0,83	2,96	0,57
Ponto 4	65,53	23,81	5,27	1,04	0,53	3,04	0,78	60,15	24,75	7,24	1,23	0,74	4,96	0,92	62,92	26,95	3,81	1,49	0,54	3,73	0,56
Ponto 5	64,00	25,31	4,93	1,49	0,4	2,89	0,98	58,73	26,3	6,77	1,76	0,56	4,71	1,15	61,17	28,53	3,55	2,11	0,41	3,53	0,7
Ponto 6	62,36	25,2	6,13	1,1	0,79	3,55	0,86	56,64	25,92	8,33	1,29	1,1	5,72	1,01	59,77	28,47	4,42	1,57	0,81	4,33	0,62
Ponto 7	60,56	25,28	7,00	1,25	0,72	4,31	0,88	54,48	25,75	9,42	1,45	0,99	6,89	1,02	58	28,53	5,04	1,78	0,74	5,27	0,64
Ponto 8	64,62	25,93	4,60	1,09	0,36	2,62	0,78	59,56	27,07	6,34	1,3	0,51	4,29	0,92	61,78	29,22	3,31	1,56	0,37	3,19	0,56
Ponto 9	64,55	22,95	6,21	1,4	0,77	3,24	0,86	58,84	23,69	8,47	1,65	1,08	5,25	1,01	62,08	26,01	4,49	2,02	0,8	3,98	0,63
Ponto 10	63,06	26,25	5,31	1,17	0,36	2,82	1,05	57,8	27,24	7,28	1,38	0,5	4,58	1,23	60,35	29,6	3,82	1,67	0,36	3,43	0,75

Tabela 8K – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: placas de mica em argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-55, Anexo 1, amostra TB-55A). Vide DRX na figura 48B, gráfico A, e foto de MEV na prancha 35.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 11	55,04	31,15	1,77	0,12	0,14	11,03	0,74	48,34	30,98	2,32	0,14	0,19	17,21	0,83	50,95	33,98	1,23	0,17	0,14	13,03	0,51
Ponto 12	55,93	32,81	1,12	0,02	0,07	9,7	0,35	49,68	33	1,49	0,02	0,1	15,31	0,4	51,69	35,74	0,78	0,03	0,07	11,44	0,24
Ponto 13	49,66	20,84	13,62	6,17	0,26	7,25	2,21	42,19	20,05	17,31	6,76	0,34	10,94	2,41	47,36	23,43	9,77	8,77	0,27	8,82	1,59
Ponto 14	49,99	20,18	10,94	7,34	0,29	8,94	2,31	42,37	19,37	13,88	8,03	0,37	13,46	2,51	46,98	22,36	7,74	10,3	0,29	10,72	1,63
Ponto 15	48,39	22,32	12,47	6,2	0,9	7,87	1,84	40,99	21,41	15,81	6,78	1,17	11,84	2	45,77	24,89	8,88	8,74	0,92	9,49	1,31
Ponto 16	55,29	24,7	9,94	2,29	0,16	6,04	1,57	48,47	24,52	13,04	2,59	0,22	9,41	1,76	52,98	27,9	7,17	3,27	0,17	7,39	1,13
Ponto 17	61,92	29,75	2,63	0,52	0,19	4,44	0,55	56,75	30,88	3,61	0,61	0,27	7,23	0,65	58,4	33,08	1,87	0,73	0,2	5,35	0,39
Ponto 18	59,29	32,05	2,28	0,24	0,09	5,79	0,26	53,87	32,97	3,1	0,28	0,13	9,35	0,3	55,51	35,36	1,61	0,33	0,09	6,92	0,18
Ponto 19	53,89	24,22	10,70	3,72	0,17	5,86	1,44	47,01	23,92	13,96	4,19	0,23	9,08	1,61	51,43	27,24	7,68	5,3	0,18	7,14	1,03
Ponto 20	60,01	28,72	4,59	0,55	0,1	4,92	1,11	54,35	29,45	6,22	0,64	0,14	7,92	1,29	56,97	32,13	3,28	0,77	0,1	5,96	0,79

Tabela 8L – Análises químicas semi-quantitativas pontuais via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (amostra 96 da sondagem do CNP, local CNP42, Anexo 1). Vide DRX na figura 50B, gráfico CNP96, e foto de MEV na prancha 45.

Análises	Elementos maiores (% em óxidos)							Elementos maiores (% em peso)							Elementos maiores (% atômicas)						
Pontos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti
Ponto 1	63,65	23,56	5,99	1,35	0,79	3,33	1,33	57,93	24,28	8,16	1,59	1,09	5,39	1,55	61,18	26,69	4,33	1,94	0,80	4,09	0,96
Ponto 2	64,85	22,14	6,44	1,72	0,7	3,26	0,89	59,07	22,84	8,78	2,02	0,98	5,27	1,04	62,39	25,12	4,66	2,47	0,72	4,00	0,64
Ponto 3	64,35	23,93	5,89	1,3	0,91	2,67	0,95	58,88	24,80	8,06	1,54	1,28	4,33	1,11	61,86	27,12	4,26	1,87	0,94	3,26	0,68
Ponto 4	64,07	23,78	6,25	1,54	0,99	2,61	0,76	58,54	24,6	8,54	1,81	1,39	4,24	0,89	61,58	26,93	4,52	2,2	1,02	3,2	0,55
Ponto 5	70,64	19,95	4,85	1,04	0,58	2,33	0,6	65,63	20,99	6,74	1,25	0,83	3,84	0,72	68,32	22,74	3,53	1,5	0,61	2,87	0,44
Ponto 6	63,06	23,68	6,2	1,57	0,76	3,59	1,13	57,24	24,34	8,42	1,84	1,05	5,79	1,32	60,5	26,78	4,47	2,25	0,78	4,4	0,82
Ponto 7	65,01	23,69	5,27	1,14	0,66	3,35	0,89	59,49	24,55	7,21	1,34	0,92	5,44	1,05	62,36	26,79	3,8	1,63	0,68	4,09	0,65
Ponto 8	62,98	24,57	6,14	1,5	0,95	2,97	0,88	57,36	25,34	8,37	1,76	1,33	4,81	1,03	60,39	27,77	4,43	2,14	0,98	3,64	0,63
Ponto 9	63,3	24,15	6,53	1,4	0,85	2,84	0,92	57,67	24,92	8,9	1,65	1,18	4,6	1,08	60,86	27,38	4,72	2,01	0,87	3,49	0,67
Ponto 10	64,17	23,68	6,05	1,39	0,77	2,9	1,03	58,6	24,49	8,27	1,64	1,08	4,71	1,21	61,69	26,84	4,38	1,99	0,8	3,56	0,75

Moore & Reynolds Jr. (1997) generalizaram as fórmulas estruturais das esmectitas dioctaédricas e trioctaédricas conforme segue:

a) esmectitas dioctaédricas:

- montmorillonita: $R_{0,33}^{+} (Al_{1,67} Mg_{0,33}) Si_4O_{10}(OH)_2$
- beidellita: $R_{0,33}^{+} Al_2 (Si_{3,67} Al_{0,33}) O_{10}(OH)_2$
- nontronita: $R_{0,33}^{+} Fe^{3+}_2 (Si_{3,67} Al_{0,33}) O_{10}(OH)_2$

b) esmectitas trioctaédricas:

- hectorita: $R_{0,33}^{+} (Mg_{2,67} Li_{0,33}) Si_4O_{10}(OH)_2$
- saponita: $R_{0,33}^{+} (Mg_{2,67} R_{0,33}^{3+}) (Si_{3,34} Al_{0,66}) O_{10}(OH)_2$

Estas fórmulas gerais serviram de referência para o balanceamento das fórmulas estruturais e classificação das esmectitas do RCSB.

5.2.2.2 Resultados obtidos

Nas tabelas 9A a 9L são apresentados os resultados obtidos com o cálculo das fórmulas estruturais das esmectitas, presentes em amostras de diferentes fácies sedimentares lamíticas das formações Itaboraí, Resende e Guabirota, e amostras de argilitos da Formação Tremembé.

De modo geral, para as esmectitas presentes nos lamitos das formações Resende, Itaboraí e Guabirota, a posição tetraédrica é ocupada por Si e Al, os quais totalizam quatro cátions por meia cela unitária, e a posição octaédrica contém Al, Fe e Mg, tendo um total de cátions por meia cela variável entre 1,90 e 2,03 cátions. O espaço interlamelar contém sempre K, Ca e, mais raramente Mg e Al (somente a amostra CWB2M apresenta ainda Fe), os quais somam valores entre 0,12 e 0,28. Apenas a amostra CWB10G apresenta total de cátions no espaço interplanar variando entre 0,32 e 0,48. O total de cargas positivas oscila entre 21,90 e 22,04, balanceando-se com as 22 cargas negativas.

As fórmulas estruturais obtidas para as esmectitas dos argilitos da Formação Tremembé também mostram a posição tetraédrica ocupada por Si e Al, os quais totalizam quatro cátions na meia cela unitária e a posição octaédrica contendo Al, Fe e Mg, totalizando entre 1,93 e 2,03 cátions por meia cela. Algumas exceções ocorrem com fórmulas estruturais cujos cátions octaédricos somam valores entre 1,82 e 1,89 (p. ex.: amostra TB-21, Tabela 9H). O espaço interlamelar contém, no geral, K, Ca e, mais raramente Mg, os quais somam valores entre 0,11 e 0,26 cátions. O total de cargas positivas oscila entre 21,96 e 22,05, balanceando-se com as 22 cargas negativas.

Güven (1988) propôs um gráfico ternário para classificação das esmectitas com base em seus cátions octaédricos. Na figura 61 pode-se observar que as esmectitas dos sedimentos lamíticos das formações Itaboraí, Resende e Guabirubá e argilitos lacustres da Formação Tremembé situam-se essencialmente no campo das beidellitas (Campo BI) e ferro-beidellitas (campo Fe-BI). Somente uma pequena parte das amostras, correspondentes a lamitos argilosos distais da Formação Resende, depositados na bacia homônima, situam-se no campo das montmorillonitas do tipo Wyoming (campo WY).

Os teores dos óxidos maiores obtidos para as esmectitas do RCSB quando comparados aqueles apresentados para beidellitas por outros autores (e.g. Deer *et al.* 1967, Weaver & Pollard 1973) mostram-se ligeiramente mais enriquecidos em SiO₂ (Tabela 10). Os demais óxidos exibem valores comparáveis aqueles registrados por estes autores. A proporção dos cátions nas fórmulas estruturais obtidas para as beidellitas do RCSB são comparáveis àquelas apresentadas na literatura para estes argilominerais, distinguindo-se apenas por conterem menor quantidade de cátions nos espaços interlamelares.

A relação entre estes cátions na estrutura da esmectita está representada nos gráficos binários das figuras 62A e 62B, onde pode-se observar:

a) a relação negativa entre Si e Al^{IV}, indicando a substituição entre estes cátions na posição tetraédrica (Fig. 62A, gráfico A);

- b) a relação positiva entre o Al total ($Al^{VI} + Al^{IV}$) e os cátions de Al tetraédrico e octaédrico, cujas retas obtidas são muito semelhantes e de baixo gradiente (Fig. 62A, gráficos B, C);
- c) o número de cátions de Al^{VI} permanece constante em relação a variação do Al^{IV} em praticamente todas as amostras analisadas, sugerindo que a proporção de Al^{IV} na estrutura da esmectita não afeta os cátions de Al nos sítios octaédricos (Fig. 62A, gráfico D);
- d) a distribuição dos pontos no gráfico Si x Mg (Fig. 62A, gráfico E) permite a visualização de uma relação positiva entre estes elementos, sugerindo uma certa influência do silício na entrada de magnésio na estrutura da esmectita;
- e) a dispersão dos pontos observada no gráfico que correlaciona o silício com o ferro (Fig. 62A, gráfico F) indica não haver relação entre estes cátions na estrutura da esmectita;
- e) a comparação do declive das retas obtidas para os gráficos Fe x Al^{VI} (Fig. 62A, gráfico G) e Al^{VI} x Mg (Fig. 62B, gráfico A), sugere uma relação estreita (forte correlação) de substituição entre alumínio e ferro na posição octaédrica, tendo em vista o maior declive negativo da reta obtida, e uma relação quase invariável entre o alumínio e o magnésio, indicando que a entrada de magnésio no sítio octaédrico pouco altera o número de cátions de Al;
- f) o ferro parece não estar correlacionado com o magnésio na posição octaédrica, conforme indica o gráfico B da figura 62B. No entanto, esta relação será melhor observada adiante;
- g) o preenchimento do espaço interplanar com cátions de K e Ca está relacionado com Al^{VI} , conforme indicado pela reta negativa do gráfico C da figura 62B, e não com a substituição de Si por Al na camada tetraédrica, tendo em vista que não foi observada qualquer correlação do Al^{IV} com os cátions interplanares (K+Ca) (Fig. 62B, gráfico D).

Na matriz de correlação da figura 63, obtida a partir do número de cátions presentes nas fórmulas estruturais das esmectitas, podem-se observar as fortes correlações negativas entre Si e Al^{IV} e Al^{VI} e Fe, conforme mostrado nos gráficos da figura 62A, e a correlação entre Fe e Mg e Al^{VI} e Mg na posição octaédrica, o que não havia sido tão bem caracterizado pelos gráficos da figura 62B.

Tabela 9A - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: matriz argilosa de lamito argilo-arenoso conglomerático da associação de fácies de leques aluviais da Formação Itaboraí, Bacia de Itaboraí (local IT-04, Fig. 7, amostra IT-04). Vide DRX na figura 15 e foto de MEV na prancha 07.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	67,01	66,88	66,56	65,60	67,01	67,24	66,72	66,88	63,96	66,43	1,04	63,96	67,24
Al ₂ O ₃	20,07	20,25	19,75	21,42	20,13	19,80	20,64	20,23	20,67	20,33	0,52	19,75	21,42
Fe ₂ O ₃	7,51	7,50	7,87	7,48	7,32	7,27	7,42	7,09	7,33	7,42	0,22	7,09	7,87
MgO	2,15	2,15	2,31	2,08	2,07	2,25	1,91	2,03	2,07	2,11	0,12	1,91	2,31
CaO	1,81	1,95	1,95	1,86	1,88	2,00	1,91	2,05	1,79	1,91	0,09	1,79	2,05
K ₂ O	1,47	1,26	1,57	1,56	1,58	1,43	1,41	1,71	2,43	1,60	0,34	1,26	2,43
Total	100,02	99,99	100,01	100,00	99,99	99,99	100,01	99,99	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios										Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro													
Si	4,02	4,00	4,00	3,94	4,01	4,03	4,00	4,01	3,94	3,99	0,03	3,94	4,03
Al	--	--	--	0,06	--	--	--	--	0,06	0,01	0,03	0,00	0,06
Octaedro													
Al	1,42	1,43	1,40	1,46	1,42	1,40	1,45	1,43	1,44	1,43	0,02	1,40	1,46
Fe	0,34	0,34	0,36	0,34	0,34	0,32	0,34	0,32	0,34	0,34	0,01	0,32	0,36
Mg	0,19	0,19	0,20	0,19	0,18	0,20	0,16	0,18	0,20	0,19	0,01	0,16	0,20
Σ Oct.	1,95	1,96	1,96	1,99	1,94	1,92	1,95	1,93	1,98	1,95	0,02	1,92	1,99
Esp. Interpl.													
Ca	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,13	0,01	0,11	0,13
K	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07	0,04	0,07	0,11	0,07	0,02	0,04	0,11
Σ Int.	0,18	0,18	0,20	0,18	0,20	0,20	0,17	0,20	0,22	0,19	0,02	0,17	0,22
C.C.Tetr.	16,08	16,00	16,00	15,82	16,04	16,12	16,00	16,04	15,94	16,00	0,09	15,82	16,12
C.C.Oct.	5,66	5,69	5,68	5,78	5,64	5,56	5,69	5,61	5,74	5,67	0,07	5,56	5,78
C.Interpl.	0,30	0,31	0,33	0,30	0,33	0,33	0,30	0,33	0,33	0,32	0,01	0,30	0,33
C.Total	22,04	22,00	22,01	22,02	22,01	22,01	21,99	21,98	21,90	22,00	0,04	21,90	22,04

DP = desvio padrão C.C. Tetr. = Carga na camada tetraédrica C.C.Oct. = Carga na camada octaédrica C.Total = Carga total

Tabela 9B – Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: matriz argilosa de lamito arenoso da associação de fácies de leques aluviais proximais da Formação Resende, Bacia de Resende (local RE-14, Anexo 1, amostra RE-14). Vide DRX na figura 17 e foto de MEV na prancha 09.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	62,44	63,51	65,81	62,46	59,98	65,71	58,08	62,57	2,83	58,08	65,81
Al ₂ O ₃	28,46	27,66	27,81	27,26	27,70	24,89	27,93	27,39	1,16	24,89	28,46
Fe ₂ O ₃	5,57	5,02	3,01	5,58	6,89	4,89	7,76	5,53	1,52	3,01	7,76
MgO	1,10	1,19	0,34	1,57	1,69	1,69	0,55	1,16	0,54	0,34	1,69
CaO	1,02	1,23	0,93	1,20	1,04	1,67	1,41	1,21	0,26	0,93	1,67
K ₂ O	1,40	1,41	2,09	1,94	2,69	1,15	4,29	2,14	1,08	1,15	4,29
Total	99,99	100,02	99,99	100,01	99,99	100,00	100,02				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios								Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro											
Si	3,73	3,78	3,89	3,74	3,64	3,90	3,59	3,75	0,12	3,59	3,89
Al	0,27	0,22	0,11	0,26	0,36	0,10	0,41	0,25	0,12	0,10	0,41
Octaedro											
Al	1,72	1,72	1,83	1,66	1,62	1,64	1,62	1,69	0,08	1,62	1,83
Fe	0,25	0,23	0,13	0,25	0,32	0,21	0,36	0,25	0,07	0,13	0,36
Mg	0,03	0,05	0,04	0,09	0,06	0,14	0,02	0,06	0,04	0,02	0,14
Σ	2,00	2,01	2,00	2,00	2,00	1,99	2,00	2,00	0,01	1,99	2,01
Esp. Interpl.											
Ca	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,11	0,09	0,08	0,02	0,05	0,11
K	0,04	0,04	0,07	0,07	0,11	0,04	0,19	0,08	0,05	0,04	0,19
Mg	0,06	0,06	--	0,05	0,10	--	0,04	0,04	0,04	0,00	0,10
Σ	0,17	0,17	0,12	0,19	0,28	0,15	0,32	0,20	0,07	0,12	0,32
C.C.Tetr.	15,73	15,78	15,89	15,74	15,64	15,90	15,59	15,75	0,12	15,59	15,90
C.C.Oct.	5,97	5,95	5,96	5,91	5,94	5,83	5,98	5,93	0,05	5,83	5,98
C.Interpl.	0,30	0,30	0,17	0,31	0,45	0,26	0,45	0,32	0,10	0,17	0,45
C.Total	22,00	22,03	22,02	21,96	22,03	21,99	22,02	22,01	0,03	21,96	22,03

Tabela 9C - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende, Bacia de Resende (local RE-08, Anexo 1, amostra RE-08C). Vide DRX na figura 22A, gráfico A, e foto de MEV na prancha 16.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	66,60	66,18	65,70	67,83	64,83	68,16	67,70	64,08	66,39	1,48	64,08	71,62
Al ₂ O ₃	21,84	21,96	22,34	20,31	22,46	19,38	22,08	21,60	21,50	1,08	17,51	22,46
Fe ₂ O ₃	6,45	6,05	7,21	6,79	7,09	5,78	5,10	8,93	6,68	1,15	5,10	8,93
MgO	2,45	2,76	2,23	1,88	2,46	2,76	2,70	2,18	2,43	0,32	1,88	2,76
CaO	1,62	2,09	1,54	1,79	1,82	3,06	1,53	1,84	1,91	0,50	1,44	3,06
K ₂ O	1,05	0,95	0,99	1,40	1,34	0,87	0,89	1,36	1,11	0,22	0,87	1,40
Total	100,01	99,99	100,01	100,00	100,00	100,01	100,00	99,99				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios									Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro												
Si	3,96	3,94	3,93	4,05	3,90	4,05	4,01	3,87	3,96	0,07	3,87	4,05
Al	0,04	0,06	0,07	--	0,10	--	--	0,13	0,05	0,05	0,00	0,13
Octaedro												
Al	1,50	1,48	1,50	1,43	1,49	1,36	1,54	1,40	1,46	0,06	1,22	1,54
Fe	0,29	0,27	0,32	0,31	0,32	0,26	0,23	0,41	0,30	0,05	0,23	0,41
Mg	0,21	0,25	0,18	0,16	0,19	0,25	0,23	0,19	0,21	0,03	0,16	0,25
Σ	2,00	2,00	2,00	1,90	2,00	1,87	2,00	2,00	1,97	0,05	1,87	2,00
Esp. Interpl.												
Ca	0,11	0,13	0,09	0,11	0,11	0,20	0,09	0,13	0,12	0,04	0,09	0,20
K	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04
Mg	--	--	0,02	--	0,03	--	--	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
Σ	0,15	0,17	0,15	0,15	0,18	0,24	0,13	0,18	0,17	0,03	0,13	0,24
C.C.Tetr.	15,96	15,94	15,93	16,20	15,90	16,20	16,04	15,87	16,01	0,13	15,87	16,20
C.C.Oct.	5,79	5,75	5,82	5,54	5,81	5,36	5,77	5,81	5,71	0,17	5,36	5,82
C.Interpl.	0,26	0,30	0,26	0,26	0,32	0,44	0,22	0,32	0,30	0,07	0,22	0,44
C.Total	22,01	21,99	22,01	22,00	22,03	22,00	22,03	22,00	22,01	0,01	21,99	22,03

Tabela 9D - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS
Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende, Bacia de Taubaté (local TB-49, Anexo 1, amostra TB-49B). Vide DRX na figura 21B, gráfico B, e foto de MEV na prancha 15.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	66,22	62,79	67,52	67,00	62,82	62,32	64,45	64,73	2,18	62,32	67,52
Al ₂ O ₃	20,33	25,41	21,42	21,86	25,83	24,52	24,43	23,40	2,16	20,33	25,83
Fe ₂ O ₃	7,97	7,51	7,08	6,77	7,31	8,83	6,42	7,41	0,80	6,42	8,83
MgO	2,03	0,82	1,07	0,66	1,05	0,76	0,75	1,02	0,47	0,66	2,03
CaO	1,89	1,30	0,96	1,37	1,23	1,34	1,40	1,36	0,28	0,96	1,89
K ₂ O	1,57	2,13	1,95	2,34	1,75	2,23	2,55	2,07	0,34	1,57	2,55
Total	100,01	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios								Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro											
Si	3,98	3,78	4,04	4,02	3,78	3,79	3,87	3,89	0,12	3,78	4,04
Al	0,02	0,22	--	--	0,22	0,21	0,13	0,12	0,11	0,00	0,22
Octaedro											
Al	1,42	1,60	1,51	1,55	1,61	1,54	1,60	1,55	0,07	1,42	1,61
Fe	0,36	0,34	0,32	0,30	0,33	0,40	0,29	0,33	0,04	0,29	0,40
Mg	0,18	0,07	0,09	0,05	0,09	0,07	0,07	0,09	0,04	0,05	0,18
Σ	1,96	2,01	1,92	1,90	2,03	2,01	1,96	1,97	0,05	1,90	2,03
Esp. Interpl.											
Ca	0,13	0,09	0,05	0,09	0,07	0,09	0,09	0,09	0,02	0,05	0,13
K	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,11	0,08	0,02	0,07	0,11
Σ	0,20	0,16	0,12	0,16	0,14	0,16	0,20	0,16	0,03	0,12	0,20
C.C.Tetr.	15,98	15,78	16,16	16,08	15,78	15,79	15,87	15,92	0,16	15,78	16,16
C.C.Oct.	5,70	5,96	5,67	5,65	6,00	5,96	5,81	5,82	0,15	5,65	6,00
C.Interpl.	0,33	0,25	0,17	0,25	0,21	0,25	0,29	0,25	0,05	0,17	0,33
C.Total	22,01	21,99	22,00	21,98	21,99	22,00	21,97	21,99	0,01	21,97	22,01

Tabela 9E - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais distais da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (local CWB-02, Fig. 34, amostra CWB-02M). Vide DRX na figura 35C, gráfico M, e foto de MEV na prancha 30.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	63,55	60,35	59,09	62,04	62,90	60,03	61,45	61,75	61,32	59,53	61,20	1,45	59,09	63,55
Al ₂ O ₃	28,45	27,76	30,11	31,69	33,42	37,46	34,32	28,92	31,77	29,36	31,33	3,04	27,76	37,46
Fe ₂ O ₃	4,90	6,53	7,13	3,57	2,25	1,24	2,26	4,91	4,19	7,00	4,40	2,09	1,24	7,13
MgO	0,65	1,88	0,50	0,32	0,00	0,00	0,07	0,86	0,48	0,90	0,57	0,57	0,00	1,88
CaO	0,16	0,02	0,15	0,08	0,30	0,01	0,20	0,10	0,01	0,13	0,12	0,09	0,01	0,30
K ₂ O	2,29	3,46	3,01	2,30	1,12	1,26	1,70	3,46	2,23	3,08	2,39	0,85	1,12	3,46
Total	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios											Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro														
Si	3,79	3,67	3,58	3,69	3,68	3,51	3,62	3,72	3,65	3,61	3,65	1,45	3,51	3,79
Al	0,21	0,33	0,42	0,31	0,32	0,49	0,38	0,28	0,35	0,39	0,35	3,04	0,21	0,49
Octaedro														
Al	1,78	1,66	1,73	1,91	1,99	2,00	2,00	1,77	1,88	1,71	1,84	0,57	1,66	2,00
Fe	0,21	0,30	0,27	0,09	0,01	--	--	0,22	0,12	0,29	0,15	0,09	0,00	0,30
Mg	0,01	0,04	--	--	--	--	--	0,01	--	--	0,01	0,85	0,00	0,04
Σ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	2,00	2,00
Esp. Interpl.														
Ca	0,02	0,002	0,02	0,01	0,02	0,001	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,08	0,001	0,02
K	0,07	0,14	0,11	0,09	0,04	0,05	0,06	0,13	0,08	0,12	0,09	0,08	0,04	0,14
Mg	0,04	0,13	0,04	0,03	--	--	0,01	0,07	0,04	0,08	0,04	0,00	0,00	0,13
Fe	--	--	0,06	0,07	0,08	0,05	0,1	--	0,07	0,03	0,05	0,13	0,00	0,08
Al	--	--	--	--	--	0,09	--	--	--	--	0,01	0,12	0,00	0,09
Σ	0,13	0,272	0,23	0,20	0,14	0,191	0,18	0,21	0,191	0,24	0,20	0,01	0,13	0,27
C.C.Tetr.	15,79	15,67	15,58	15,69	15,68	15,51	15,62	15,72	15,65	15,61	15,65	0,00	15,51	15,79
C.C.Oct.	5,99	5,96	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,99	6,00	6,00	5,99	0,01	5,96	6,00
C.Interpl.	0,19	0,402	0,41	0,38	0,32	0,472	0,40	0,29	0,372	0,39	0,36	0,03	0,19	0,47
C.Total	21,97	22,032	21,99	22,07	22,00	21,982	22,02	22,00	22,022	22,00	22,01	0,04	21,97	22,07

Tabela 9F - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: lamito argiloso da associação de fácies de leques aluviais distais da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (local CWB-10, Fig. 34, amostra CWB-10G). Vide DRX na figura 37B, gráfico G, e foto de MEV na prancha 31.

Óxidos (%)	1	2	3	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	61,44	54,09	55,64	57,06	3,87	54,09	61,44
Al ₂ O ₃	20,40	32,49	29,13	27,34	6,24	20,40	32,49
Fe ₂ O ₃	8,75	2,16	4,27	5,06	3,37	2,16	8,75
MgO	2,28	0,00	0,40	0,89	1,22	0,00	2,28
CaO	2,00	0,31	0,31	0,87	0,98	0,31	2,00
K ₂ O	5,13	10,95	10,25	8,78	3,18	5,13	10,95
Total	100,00	100,00	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios				Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro							
Si	3,85	3,46	3,56	3,62	0,20	3,46	3,85
Al	0,15	0,54	0,44	0,38	0,20	0,15	0,54
Octaedro							
Al	1,35	1,91	1,76	1,67	0,29	1,35	1,91
Fe	0,41	0,10	0,21	0,24	0,16	0,10	0,41
Mg	0,21	--	0,04	0,13	0,11	0,00	0,21
Σ	1,97	2,01	2,01	2,00	0,02	1,97	2,01
Esp. Interpl.							
Ca	0,13	0,02	0,02	0,06	0,06	0,02	0,13
K	0,19	0,46	0,42	0,36	0,15	0,19	0,46
Σ	0,32	0,48	0,44	0,41	0,08	0,32	0,48
C.C.Tet.	15,85	15,46	15,56	15,62	0,20	15,46	15,85
C.C.Oct.	5,70	6,03	5,99	5,91	0,18	5,70	6,03
C.Interpl.	0,45	0,50	0,46	0,47	0,03	0,45	0,50
C.Total	22,00	21,99	22,01	22,00	0,01	21,99	22,01

Tabela 9G - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-32, Anexo 1, amostra TB-32B). Vide DRX na figura 42B, gráfico B, e foto de MEV na prancha 35.

Oxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	64,37	64,01	62,78	65,29	63,45	64,96	60,37	61,61	60,40	63,03	1,87	60,37	65,29
Al ₂ O ₃	25,45	25,42	23,49	22,72	25,72	22,95	24,33	24,27	25,14	24,39	1,13	22,72	25,72
Fe ₂ O ₃	4,98	5,54	7,96	6,49	5,56	6,75	9,30	8,13	8,29	7,00	1,49	4,98	9,30
MgO	1,17	1,10	0,69	0,72	0,95	0,85	0,62	1,17	1,01	0,92	0,21	0,62	1,17
CaO	0,78	0,63	0,97	0,60	0,84	0,69	0,91	0,50	0,90	0,76	0,16	0,50	0,97
K ₂ O	3,25	3,31	4,10	4,18	3,48	3,80	4,46	4,32	4,26	3,91	0,46	3,25	4,46
Total	100,00	100,01	99,99	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios										Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro													
Si	3,87	3,85	3,86	3,97	3,83	3,95	3,74	3,78	3,72	3,84	0,07	3,72	3,97
Al	0,13	0,15	0,14	0,03	0,17	0,05	0,26	0,22	0,28	0,16	0,07	0,03	0,28
Octaedro													
Al	1,67	1,66	1,56	1,60	1,66	1,59	1,51	1,54	1,55	1,59	0,06	1,51	1,67
Fe	0,23	0,25	0,37	0,29	0,25	0,30	0,43	0,38	0,38	0,32	0,07	0,23	0,43
Mg	0,10	0,09	0,06	0,07	0,09	0,07	0,06	0,11	0,06	0,08	0,02	0,06	0,11
Σ	2,00	2,00	1,99	1,96	2,00	1,96	2,00	2,03	1,99	1,99	0,02	1,96	2,03
Esp. Interpl.													
Ca	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	0,06	0,04	0,06	0,05	0,01	0,04	0,06
K	0,11	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,19	0,18	0,19	0,16	0,03	0,11	0,19
Σ	0,16	0,18	0,21	0,19	0,20	0,19	0,25	0,22	0,25	0,21	0,03	0,16	0,25
C.C.Tetr.	15,87	15,85	15,58	15,97	15,83	15,95	15,74	15,78	15,72	15,81	0,12	15,58	15,97
C.C.Oct.	5,92	5,91	5,91	5,81	5,91	5,81	5,94	5,98	5,91	5,90	0,06	5,81	5,98
C.Interpl.	0,21	0,22	0,27	0,23	0,25	0,23	0,31	0,26	0,31	0,25	0,03	0,21	0,31
C.Total	22,00	21,98	22,04	22,01	21,99	21,99	21,99	22,02	21,94	22,00	0,02	21,94	22,04

Tabela 9H - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-21, Anexo 1, amostra TB-21). Vide DRX (gráfico A) e foto de MEV na prancha 44.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	68,72	66,59	66,99	67,78	66,97	66,27	68,25	64,37	66,99	1,35	64,37	68,72
Al ₂ O ₃	20,13	21,54	20,84	20,77	21,52	21,03	20,13	20,78	20,84	0,54	20,13	21,54
Fe ₂ O ₃	5,99	6,36	6,53	5,90	6,02	6,80	5,92	8,37	6,49	0,83	5,90	8,37
MgO	1,91	1,79	1,88	1,92	1,83	1,93	1,67	1,55	1,81	0,14	1,55	1,93
CaO	1,56	1,57	1,40	1,86	1,50	1,94	1,56	2,02	1,68	0,23	1,40	2,02
K ₂ O	1,69	2,15	2,35	1,77	2,15	2,03	2,46	2,91	2,19	0,39	1,69	2,91
Total	100,00	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios									Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro												
Si	4,09	3,99	4,03	4,04	4,01	3,98	4,09	3,93	4,02	0,05	3,93	4,09
Al	--	0,01	--	--	--	0,02	--	0,07	0,01	0,02	0,00	0,07
Octaedro												
Al	1,40	1,52	1,48	1,46	1,52	1,47	1,42	1,42	1,46	0,05	1,40	1,52
Fe	0,27	0,29	0,29	0,26	0,28	0,31	0,26	0,38	0,29	0,04	0,26	0,38
Mg	0,16	0,16	0,16	0,18	0,16	0,18	0,14	0,15	0,16	0,01	0,14	0,18
Σ	1,83	1,97	1,93	1,90	1,96	1,96	1,82	1,95	1,92	0,06	1,82	1,97
Esp. Interpl.												
Ca	0,11	0,11	0,09	0,13	0,09	0,13	0,11	0,13	0,11	0,02	0,09	0,13
K	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,11	0,11	0,08	0,02	0,07	0,11
Σ	0,18	0,18	0,16	0,20	0,16	0,20	0,22	0,24	0,19	0,03	0,16	0,24
C.C.Tetr.	16,36	15,99	16,12	16,16	16,04	15,98	16,36	15,93	16,12	0,17	15,93	16,36
C.C.Oct.	5,33	5,75	5,63	5,52	5,72	5,70	5,32	5,70	5,58	0,17	5,32	5,75
C.Interpl.	0,29	0,29	0,25	0,33	0,25	0,33	0,33	0,37	0,31	0,04	0,25	0,37
C.Total	21,98	22,03	22,00	22,01	22,01	22,01	22,01	22,00	22,01	0,01	21,98	22,03

Tabela 9I - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS
Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-53, Anexo 1, amostra TB-53A). Vide DRX na figura 45B, gráfico B, e foto de MEV na prancha 41.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	67,73	69,03	68,12	68,98	64,45	62,37	66,78	2,74	62,37	69,03
Al ₂ O ₃	23,49	21,89	21,02	22,28	24,43	24,96	23,01	1,54	21,02	24,96
Fe ₂ O ₃	5,27	5,08	6,72	4,86	6,42	8,21	6,09	1,28	4,86	8,21
MgO	1,14	1,39	1,08	1,32	0,75	0,95	1,11	0,24	0,75	1,39
CaO	1,18	1,37	1,43	1,39	1,40	1,32	1,35	0,09	1,17	1,43
K ₂ O	1,19	1,25	1,62	1,17	2,55	2,18	1,66	0,58	1,17	2,55
Total	100,00	100,01	99,99	100,00	100,00	99,99				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios							Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro										
Si	4,00	4,07	4,06	4,07	3,87	3,77	3,97	0,13	3,77	4,07
Al	--	--	--	--	0,13	0,23	0,06	0,10	0,00	0,23
Octaedro										
Al	1,63	1,52	1,48	1,55	1,60	1,55	1,56	0,05	1,48	1,63
Fe	0,23	0,23	0,30	0,22	0,29	0,38	0,28	0,06	0,22	0,38
Mg	0,10	0,12	0,10	0,12	0,07	0,09	0,10	0,02	0,07	0,12
Σ	1,96	1,87	1,88	1,89	1,96	2,02	1,93	0,06	1,87	2,02
Esp. Interpl.										
Ca	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,01	0,07	0,09
K	0,04	0,05	0,06	0,04	0,11	0,07	0,06	0,03	0,04	0,11
Σ	0,11	0,14	0,15	0,15	0,20	0,16	0,15	0,03	0,11	0,20
C.C.Tetr.	16,00	16,28	16,24	16,28	15,87	15,77	16,07	0,22	15,77	16,28
C.C.Oct.	5,78	5,49	5,54	5,55	5,81	5,97	5,69	0,19	5,49	5,97
C.Interpl.	0,18	0,23	0,24	0,22	0,29	0,25	0,24	0,04	0,18	0,29
C.Total	21,96	22,00	22,02	22,05	21,97	21,99	22,00	0,03	21,96	22,05

Tabela 9J - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-55, Anexo 1, amostra TB-55A). Vide DRX na figura 48B, gráfico A, e foto de MEV na prancha 43.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	66,95	61,07	62,13	66,05	64,63	62,91	61,10	65,13	65,12	63,72	63,90	2,04	61,07	66,95
Al ₂ O ₃	23,59	25,92	23,72	24,00	25,56	25,42	25,50	26,13	23,15	26,52	24,78	1,21	23,15	26,52
Fe ₂ O ₃	4,59	7,05	9,54	5,31	4,98	6,18	7,06	4,64	6,26	5,37	6,18	1,51	4,59	9,54
MgO	1,52	1,49	1,39	1,05	1,50	1,11	1,26	1,10	1,42	1,18	1,32	0,18	1,05	1,52
CaO	0,28	0,55	0,81	0,53	0,40	0,80	0,73	0,36	0,78	0,36	0,58	0,21	0,28	0,81
K ₂ O	3,07	3,92	2,42	3,06	2,92	3,58	4,35	2,64	3,27	2,85	3,25	0,59	2,42	4,35
Total	100,00	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios											Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro														
Si	4,00	3,74	3,78	3,96	3,88	3,81	3,74	3,89	3,93	3,82	3,86	0,09	3,74	4,00
Al	--	0,26	0,22	0,04	0,12	0,19	0,26	0,11	0,07	0,18	0,14	0,09	0,00	0,26
Octaedro														
Al	1,66	1,61	1,48	1,65	1,68	1,63	1,58	1,73	1,57	1,70	1,62	0,07	1,48	1,73
Fe	0,21	0,32	0,44	0,24	0,23	0,28	0,33	0,20	0,29	0,24	0,28	0,07	0,20	0,44
Mg	0,13	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,06	0,13	0,06	0,09	0,02	0,06	0,13
Σ	2,00	2,00	2,00	1,98	2,00	2,00	2,00	1,99	1,99	2,00	2,00	0,01	1,98	2,00
Esp. Interpl														
Ca	0,02	0,04	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,05	0,02	0,04	0,02	0,02	0,06
K	0,12	0,15	0,11	0,11	0,11	0,15	0,18	0,12	0,11	0,11	0,13	0,02	0,11	0,18
Mg	0,01	0,06	0,05	--	0,04	0,02	0,02	--	--	0,05	0,02	0,02	0,00	0,06
Σ	0,15	0,25	0,21	0,15	0,17	0,22	0,26	0,14	0,16	0,18	0,19	0,04	0,14	0,26
C.C.Tetr.	16,00	15,74	15,78	15,96	15,88	15,81	15,74	15,89	15,93	15,82	15,86	0,09	15,74	16,00
C.C.Oct.	5,87	5,93	5,92	5,85	5,91	5,91	5,91	5,91	5,84	5,94	5,89	0,03	5,84	5,94
C.Interpl.	0,18	0,35	0,42	0,19	0,23	0,29	0,34	0,16	0,21	0,25	0,26	0,09	0,16	0,42
C.Total	22,05	22,02	22,12	22,00	22,02	22,01	21,99	21,96	21,98	22,01	22,02	0,04	21,96	22,12

Tabela 9K - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: placas de mica em argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (local TB-55, Anexo 1, amostra TB-55A). Vide DRX na figura 48B, gráfico A, e foto de MEV na prancha 35.

Elementos (%)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	55,46	56,13	50,78	51,18	49,30	56,18	62,26	59,44	54,68	60,68	55,61	4,33	49,30	62,26
Al ₂ O ₃	31,39	32,93	21,31	20,66	22,74	25,10	29,92	32,13	24,57	29,04	26,98	4,64	20,66	32,93
Fe ₂ O ₃	1,78	1,12	13,93	11,20	12,71	10,10	2,65	2,29	10,86	4,64	7,13	5,07	1,12	13,93
MgO	0,12	0,02	6,31	7,51	6,32	2,33	0,52	0,24	3,77	0,56	2,77	2,98	0,02	7,51
CaO	0,14	0,07	0,27	0,30	0,92	0,16	0,19	0,09	0,17	0,10	0,24	0,25	0,07	0,92
K ₂ O	11,11	9,73	7,41	9,15	8,02	6,14	4,47	5,81	5,95	4,98	7,28	2,19	4,47	11,11
Total	100,00	100,00	100,01	100,00	100,01	100,01	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	0,01	100,00	100,01

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios											Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro														
Si	3,54	3,53	3,35	3,39	3,26	3,55	3,74	3,62	3,48	3,70	3,52	0,15	3,26	3,74
Al ^{IV}	0,46	0,47	0,65	0,61	0,74	0,45	0,26	0,38	0,52	0,30	0,48	0,15	0,26	0,74
Σ														
Octaedro														
Al ^{VI}	1,90	1,97	1,00	1,01	1,04	1,42	1,86	1,93	1,33	1,79	1,53	0,41	1,00	1,97
Fe	0,09	0,05	0,69	0,56	0,64	0,48	0,12	0,07	0,52	0,21	0,34	0,26	0,05	0,69
Mg	0,01	--	0,31	0,43	0,32	0,10	0,02	--	0,15	--	0,19	0,16	0,01	0,43
Σ	2,00	2,02	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,01	2,00	2,02
Esp. Interpl														
Ca	0,01	0,004	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,06
K	0,45	0,39	0,32	0,40	0,36	0,27	0,18	0,23	0,23	0,19	0,30	0,10	0,18	0,45
Mg	--	0,002	0,30	0,31	0,30	0,13	0,03	0,02	0,21	0,05	0,15	0,13	0,00	0,31
Fe	--	0,02	--	--	--	--	--	0,03	--	--	0,03	0,01	0,02	0,03
Σ	0,46	0,416	0,64	0,73	0,72	0,42	0,23	0,30	0,46	0,25	0,46	0,18	0,23	0,73
C.C.T.	15,54	15,53	15,35	15,39	15,26	15,55	15,74	15,62	15,48	15,70	15,52	0,15	15,26	15,74
C.C.O.	5,99	6,00	5,69	5,57	5,68	5,90	5,98	6,00	5,85	6,00	5,87	0,16	5,57	6
C.I.	0,47	0,462	0,96	1,06	1,08	0,57	0,28	0,40	0,69	0,31	0,63	0,30	0,28	1,08
C.T.	22,00	21,992	22,00	22,02	22,02	22,02	22,00	22,02	22,02	22,01	22,01	0,01	21,99	22,02

Tabela 9L - Fórmulas estruturais obtidas para cada ponto de análise química semi-quantitativa via EDS

Material analisado: argilito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté (amostra 96 da sondagem do CNP, local CNP42, Anexo 1). Vide DRX na figura 50B, gráfico CNP96, e foto de MEV na prancha 45.

Óxidos (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	DP	Mínimo	Máximo
SiO ₂	64,51	65,43	64,97	64,56	63,79	65,59	63,55	63,89	64,84	64,57	0,72	63,55	65,59
Al ₂ O ₃	23,88	22,34	24,16	23,96	23,95	23,90	24,79	24,38	23,93	23,92	0,66	22,34	24,79
Fe ₂ O ₃	6,07	6,50	5,95	6,30	6,27	5,32	6,20	6,59	6,11	6,15	0,37	5,32	6,59
MgO	1,37	1,74	1,31	1,55	1,59	1,15	1,51	1,41	1,40	1,45	0,17	1,15	1,74
CaO	0,80	0,71	0,92	1,00	0,77	0,67	0,96	0,86	0,78	0,83	0,11	0,67	1,00
K ₂ O	3,37	3,29	2,70	2,63	3,63	3,38	3,00	2,87	2,93	3,09	0,34	2,63	3,63
Total	100,00	100,01	100,01	100,00	100,00	100,01	100,01	100,00	99,99				

Fórmulas estruturais baseadas em 11 oxigênios										Média	DP	Mínimo	Máximo
Tetraedro													
Si	3,90	3,95	3,90	3,88	3,86	3,94	3,85	3,86	3,90	3,89	0,04	3,85	3,95
Al	0,10	0,05	0,10	0,12	0,14	0,06	0,15	0,14	0,10	0,11	0,04	0,05	0,15
Octaedro													
Al	1,60	1,54	1,61	1,58	1,57	1,64	1,62	1,59	1,60	1,59	0,03	1,54	1,64
Fe	0,28	0,30	0,27	0,29	0,29	0,24	0,28	0,30	0,28	0,28	0,02	0,24	0,3
Mg	0,12	0,16	0,12	0,14	0,15	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,02	0,11	0,16
Σ	2,00	2,00	2,00	2,01	2,01	1,99	2,03	2,02	2,01	2,01	0,01	1,99	2,03
Esp. Interpl.													
Ca	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,04	0,07
K	0,13	0,13	0,10	0,11	0,15	0,14	0,11	0,11	0,11	0,12	0,02	0,10	0,15
Σ	0,18	0,18	0,16	0,18	0,20	0,18	0,16	0,16	0,16	0,17	0,01	0,16	0,2
C.C.Tetr.	15,90	15,95	15,90	15,88	15,86	15,94	15,85	15,86	15,90	15,89	0,04	15,85	15,95
C.C.Oct.	5,88	5,84	5,88	5,87	5,88	5,86	5,96	5,93	5,90	5,89	0,04	5,84	5,96
C.Interpl.	0,23	0,23	0,22	0,25	0,25	0,22	0,21	0,21	0,21	0,23	0,02	0,21	0,25
C.Total	22,01	22,02	22,00	22,00	21,99	22,02	22,02	22,00	22,01	22,01	0,01	21,99	22,02

Figura 61 - (A) Gráfico ternário discriminando os campos das esmectitas dioctaédricas aluminosas e férricas (Güven 1988) (Fe-M, montmorillonita com ferro; Fe-BI, beidellita com ferro; NT, nontronita). (B) Projeção das esmectitas do RSCB no gráfico ternário proposto por Güven (1988) para classificação de esmectitas dioctaédricas aluminosas, com base nos principais cátions octaédricos.

Tabela 10 - Análises químicas e fórmulas estruturais de beidellitas referenciadas na literatura.

Análises químicas					Fórmulas estruturais				
Óxidos (%)	1	2	3	4	Tetraedro	1	2	3	4
SiO ₂	59,49	45,32	45,83	47,28	Si	3,84	6,92	7,08	7,16
Al ₂ O ₃	21,93	27,84	22,79	20,27	Al	0,16	1,08	0,92	0,84
Fe ₂ O ₃	3,77	0,70	5,71	8,68	Octaedro				
FeO	0,20	--	0,28	--	Al	1,49	3,92	3,23	2,78
MgO	3,55	0,16	0,86	0,70	Fe ³⁺	0,19	0,08	0,66	1,00
CaO	1,18	2,76	1,41	2,75	Fe ²⁺	0,01	--	0,04	--
Na ₂ O	0,82	0,10	0,16	0,97	Mg	0,35	0,04	0,20	0,16
K ₂ O	0,34	0,12	0,09	tr.	Ti		--	0,06	--
TiO ₂	0,25	--	0,46	--	Σ	2,04	4,04	4,19	3,94
H ₂ O+	8,38	14,48	9,79	--	Esp. Interpl.				
H ₂ O-	--	8,16	12,55	13,07	Ca	0,01	0,46	0,23	0,44
Total	99,91	99,64	99,93	100,37	Na	0,01	0,04	0,05	0,28
					K	0,004	0,02	0,02	--
					Σ	0,024	0,52	0,30	0,72

1 - Composição média de 101 montmorillonita-beidellitas apresentada por Weaver & Pollard (1973).

2 - Beidellita, Mina de Black Jack, Distrito de Carson, Condado de Owyhee, Idaho, EUAS (Shannon 1922 *apud* Deer et al. 1967).

3 - Beidellita, Velka Kopan, Cárpatos ucranianos (Rost 1944 *apud* Deer et al. 1967).

4 - Beidellita, Beidell, Condado de Saguache, Colorado, EUA (Larsen and Wherry 1917 *apud* Deer et al. 1967) (inclui SO₃ - 6,65).

Com o objetivo de caracterizar as diferenças composicionais entre as micas e as esmectitas, conforme já anteriormente indicado pelas análises qualitativas via EDS, foram efetuadas análises químicas semi-quantitativas em placas de mica contidas em argilito da Formação Tremembé. As fórmulas estruturais obtidas classificaram estas micas como illitas (Tabela 9K).

Para os argilominerais com textura "larval", identificados em várias fácies sedimentares do RCSB, não foram obtidos dados químicos semi-quantitativos. No entanto, as análises químicas qualitativas via EDS em geral indicam apenas Ca e Mg, além de Si e Al, na composição destes argilominerais.

Figura 62A – Gráficos binários correlacionando os elementos químicos presentes nas fórmulas estruturais das esmectitas.

Figura 62B – Gráficos binários correlacionando os elementos químicos presentes nas fórmulas estruturais das esmectitas.

	<i>Si</i>	<i>AlIV</i>	<i>AlVI</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>K+Ca</i>
Si	1					
AlIV	-0,99514	1				
AlVI	-0,18642	0,168468	1			
Fe	-0,07926	0,078505	-0,89396	1		
Mg	0,243354	-0,23625	-0,8784	0,644417	1	
K+Ca	-0,44766	0,459241	-0,32425	0,338729	0,278029	1

Figura 63 - Matriz de correlação dos elementos químicos na estrutura das esmectitas.

5.2.3 Estudos geoquímicos e isotópicos dos calcretes e dolomitos

Os calcretes nodulares ocorrentes nas formações Itaboraí, Resende, Guabirrotuba e Tremembé apresentam valores de CaO em torno de 50% (Tabela 11A), os quais são diminuídos pela sílica (SiO_2) e alumínio (Al_2O_3) quando as amostras de calcretes analisadas estavam intimamente associadas à matriz dos lamitos, dificultando a separação do material. Este problema ocorreu com os calcretes nodulares contidos nos lamitos argilosos da Formação Resende, amostrados na sondagem nº 42 do CNP, para os quais os valores de CaO variam de 23,35% a 49,79%. A composição química do rizólito da Formação Guabirrotuba é semelhante a dos calcretes nodulares, tendo 51,91% de CaO, e o dolocrete encontrado nesta unidade diferencia-se por conter alto teor de MgO (9,24%). Para este dolocrete salienta-se, ainda, que o valor de SiO_2 obtido (34,05%) representa as esmectitas finas que se associam às dolomitas desta rocha; nesse sentido, parte do magnésio também refere-se à contribuição destas argilas, conforme anteriormente indicado pelo espectro de EDS. O dolomito lacustre da Formação Tremembé contém cerca de 20% de CaO e 11-13% de MgO.

Entre os elementos menores, traços e terras raras analisados para estas rochas carbonáticas (Tabelas 11B, 11C, 11D), somente estrôncio e bário apresentaram teores elevados, ainda que extremamente variáveis.

Tabela 11A - Análises químicas de rocha total (calcários nodulares e dolomitos) - Elementos maiores em % de óxidos

Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5a-tot	2.70	0.01	0.66	0.18	0.08	0.39	52.98	0.04	0.15	n.d.	41.41	98.60
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5c-tot	9.11	0.02	1.32	0.18	0.04	0.38	47.82	0.14	0.40	0.02	38.50	97.91
Fm. Resende	calcário nodular	re8a1	4.31	0.06	1.33	0.46	0.58	0.72	50.40	n.d.	0.01	0.06	40.62	98.56
Fm. Resende	calcrete tabular	re8e-tot	11.40	0.14	3.32	0.97	0.40	1.68	42.41	0.02	0.07	0.05	38.33	98.78
Fm. Resende	calcário nodular	re8f11-tot	5.55	0.07	1.29	0.43	0.50	0.75	51.11	0.03	0.09	0.04	39.99	99.85
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp680c	21.01	0.38	8.48	3.96	0.93	2.16	28.88	0.20	1.65	0.32	30.77	98.73
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp682c	22.71	0.43	8.89	4.52	0.66	3.02	26.35	0.23	1.63	0.20	29.95	98.58
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp735c	13.01	0.22	4.97	2.35	0.95	1.58	39.48	0.15	0.94	0.23	35.98	99.87
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp741c	12.79	0.21	4.42	2.30	1.15	1.17	39.76	0.13	0.97	0.35	35.29	98.54
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp767c	6.08	0.15	2.36	1.07	0.74	1.07	47.18	0.10	0.41	0.79	39.01	98.96
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp768c	4.06	0.09	1.57	0.78	0.70	1.01	49.79	0.07	0.28	0.28	40.32	98.93
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp776c	8.42	0.15	3.44	1.41	1.75	0.98	44.21	0.11	0.51	0.14	38.17	99.28
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp777c	10.20	0.19	4.24	1.75	1.76	1.10	41.41	0.10	0.71	0.24	36.98	98.69
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp782c	22.11	0.38	8.24	4.26	0.45	1.36	29.09	0.21	1.29	0.70	30.50	98.59
Fm. Resende	calcário nodular	bsp58r	3.16	0.04	0.88	0.33	0.30	0.41	52.12	0.03	0.07	0.02	41.21	98.57
Fm. Guabirotuba	calcário nodular	cwb2i11-tot	5.85	0.09	1.25	0.48	n.d.	0.86	49.82	0.05	0.16	0.04	40.10	98.71
Fm. Guabirotuba	calcário nodular	cwb2i2-tot	2.82	0.04	0.65	0.26	n.d.	0.82	53.05	0.03	0.03	0.03	41.32	99.06
Fm. Guabirotuba	dolomito em rachadura	cwb2p-tot	34.05	0.44	6.83	2.66	0.27	9.24	15.87	0.18	1.05	0.06	28.04	98.68
Fm. Guabirotuba	rizólito	cwb10i3a-tot	3.19	0.05	0.67	0.25	n.d.	0.79	51.91	0.04	0.03	0.06	41.78	98.77
Fm. Tremembé	calcário nodular	tb534rbc	28.64	0.53	10.48	6.48	0.48	4.10	18.73	0.20	1.68	0.20	27.20	98.72
Fm. Tremembé	dolomito	tb534rd	16.23	0.29	6.47	6.37	1.00	11.21	21.49	0.16	1.51	0.56	33.26	98.52
Fm. Tremembé	dolomito	tb53c	12.79	0.25	5.27	4.88	0.83	13.50	23.50	0.16	0.63	0.47	36.36	98.63

Obs: as linhas coloridas destacam elementos comentados no texto.

Tabela 11B - Análises químicas de rocha total (calcários nodulares e dolomitos) - Elementos menores e traços em ppm

Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Amostra	Rb	Cs	Be	Sr	Ba	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5a-tot	14	2.0	8	608	38	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34	51	n.d.	20
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5c-tot	19	1.4	7	590	80	1	n.d.	n.d.	n.d.	29	44	n.d.	65
Fm. Resende	calcário nodular	re8an1	4.2	0.7	n.d.	30.7	41	2	8	n.d.	n.d.	27	46	64	12
Fm. Resende	calcrete tabular	re8e-tot	7.4	1.1	1	66.8	109	4	34	11	n.d.	28	47	35	15
Fm. Resende	calcário nodular	re8f11-tot	3.2	0.3	n.d.	43.8	46	2	10	n.d.	n.d.	27	45	16	18
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp680c	100	5.5	2	336	279	10	56	38	7.9	42	53	70	16
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp682c	103	5.7	2	335	306	11	71	42	6.7	30	53	54	22
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp735c	52	3.2	n.d.	372	208	9	32	21	2.8	37	62	55	17
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp741c	41	2.2	n.d.	215	103	7	28	16	2.7	34	54	33	14
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp767c	30	1.2	n.d.	364	187	5	18	14	1.2	30	67	33	34
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp768c	19	0.8	n.d.	333	119	4	10	n.d.	n.d.	30	58	26	9.1
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp776c	35	2.3	n.d.	227	131	4	24	15	1.9	27	86	46	15
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp777c	47	2.5	1	288	163	6	28	20	3.1	30	114	53	21
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp782c	75	3.7	2	277	404	13	67	35	6.7	37	163	54	43
Fm. Resende	calcário nodular	bsp58r	8.5	0.9	n.d.	120	72	2	7	n.d.	n.d.	29	52	19	59
Fm. Guabirota	calcário nodular	cwb2i11-tot	8.4	0.4	0.0	129	41	2	5	n.d.	n.d.	29	47	16	43
Fm. Guabirota	calcário nodular	cwb2i2-tot	4.8	0.2	n.d.	161	26	3	n.d.	n.d.	n.d.	28	46	15	70
Fm. Guabirota	dolomito em rachadura	cwb2p-tot	59	2.8	1	213	871	7	47	21	33	34	33	35	125
Fm. Guabirota	rizólito	cwb10i3a-tot	3.6	0.2	n.d.	132	32	2	n.d.	n.d.	n.d.	26	48	n.d.	70
Fm. Tremembé	calcário nodular	tb534rbc	128	6.3	3	623	523	14	67	40	10	38	48	62	40
Fm. Tremembé	dolomito	tb534rd	80	4.5	1	347	468	7	46	29	7.4	37	65	72	12
Fm. Tremembé	dolomito	tb53c	70	3.5	1	445	447	6	49	24	7.9	26	38	59	9.2

n.d. = elemento não detectado na amostra

Tabela 11C - Análises químicas de rocha total (calcários nodulares e dolomitos) - Elementos menores e traços em ppm

Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Amostra	Zr	Nb	Mo	Ag	Hf	Ta	W	Ga	Ge	In	Sn	Sb	Ti	Pb	Bi	As
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5a-tot	6,6	1,4	n.d.	n.d.	0,4	0,20	0,3	1	0,6	n.d.	1,2	0,16	1,64	9	n.d.	n.d.
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5c-tot	23	0,8	0,1	n.d.	0,8	0,03	n.d.	2	0,5	n.d.	n.d.	0,14	4,95	19	n.d.	n.d.
Fm. Resende	calcário nodular	re8an1	14	2,7	0,1	n.d.	0,3	0,23	0,4	2	n.d.	n.d.	n.d.	0,15	0,06	n.d.	0,17	n.d.
Fm. Resende	calcrete tabular	re8e-tot	28	5,7	n.d.	n.d.	0,7	0,49	0,8	5	0,7	n.d.	1,4	0,10	0,09	8	0,81	n.d.
Fm. Resende	calcário nodular	re8f11-tot	34	2,8	0,1	n.d.	1,0	0,25	0,4	2	n.d.	n.d.	0,5	0,13	n.d.	15	0,15	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp680c	24	9,7	0,9	n.d.	0,8	0,53	1,0	15	1,1	n.d.	2,2	0,23	0,72	15	0,36	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp682c	36	11	n.d.	n.d.	1,0	0,60	0,7	13	1,0	n.d.	2,5	0,16	0,51	8	0,16	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp735c	18	5,8	0,5	n.d.	0,6	0,33	0,6	8	0,7	n.d.	1,6	0,25	0,45	20	0,13	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp741c	24	5,0	0,8	n.d.	0,7	0,29	0,6	6	0,6	n.d.	1,1	0,13	0,24	8	0,12	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp767c	18	5,3	1,6	n.d.	0,5	0,37	0,4	5	n.d.	n.d.	0,7	0,20	0,20	10	n.d.	14
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp768c	8,1	2,8	0,4	n.d.	0,3	0,18	0,2	3	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	0,19	15	n.d.	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp776c	11	4,1	0,7	n.d.	0,3	0,22	0,3	5	n.d.	n.d.	0,9	0,13	0,36	16	0,07	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp777c	15	5,3	1,5	n.d.	0,5	0,28	0,4	7	0,6	n.d.	1,1	0,18	0,44	14	0,07	n.d.
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp782c	28	9,0	1,2	n.d.	0,9	0,46	1,3	14	1,4	n.d.	1,9	0,41	0,47	16	0,39	n.d.
Fm. Resende	calcário nodular	bsp58r	8,9	1,3	n.d.	n.d.	0,5	0,05	1,9	2	0,7	n.d.	n.d.	0,23	0,09	8	0,09	n.d.
Fm. Guabirotuba	calcário nodular	cwb2i11-tot	28	1,6	n.d.	n.d.	0,7	0,10	n.d.	2	n.d.	n.d.	n.d.	0,19	1,32	9	0,08	n.d.
Fm. Guabirotuba	calcário nodular	cwb2i2-tot	13	0,9	n.d.	n.d.	0,4	0,04	n.d.	1	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	n.d.	5	0,17	n.d.
Fm. Guabirotuba	dolomito em rachadura	cwb2p-tot	150	8,9	0,3	n.d.	4,2	0,04	n.d.	11	1	n.d.	1,3	0,28	n.d.	5	0,17	n.d.
Fm. Guabirotuba	rizólito	cwb10i3a-tot	22	0,9	n.d.	n.d.	0,5	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	0,06	n.d.
Fm. Tremembé	calcário nodular	tb534rbc	62	13	1,4	n.d.	1,9	1,04	1,8	18	1,2	n.d.	2,4	1,27	0,65	22	0,23	7
Fm. Tremembé	dolomito	tb534rd	35	6,7	1,7	n.d.	0,9	0,48	0,9	11	1,0	n.d.	2,0	0,36	0,79	16	0,12	n.d.
Fm. Tremembé	dolomito	tb53c	27	5,8	1,4	n.d.	0,7	0,46	5,6	8	0,7	n.d.	1,2	0,26	0,81	13	0,07	n.d.

* n.d. = elemento não detectado na amostra

Tabela 11D - Análises químicas de rocha total (calcários nodulares e dolomitos) - Elementos terras raras em ppm

Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5a-tot	16.2	44.8	4.342	18.4	3.54	0.730	3.78	0.59	3.26	0.63	1.89	0.252	1.45	0.211	0.90	0.67
Fm. Itaboraí	calcário nodular	it5c-tot	31.2	58.5	7.215	33.0	8.19	1.659	8.41	1.79	11.3	2.12	5.78	0.930	5.87	0.777	2.28	0.68
Fm. Resende	calcário nodular	re8an1	10.0	15.5	1.955	8.33	1.65	0.389	1.65	0.30	1.69	0.33	1.04	0.153	0.91	0.140	1.23	1.48
Fm. Resende	calcrete tabular	re8e-tot	12.2	26.1	3.128	11.7	2.05	0.466	2.26	0.31	1.85	0.39	1.24	0.173	1.04	0.164	3.50	2.26
Fm. Resende	calcário nodular	re8f11-tot	16.3	31.0	3.534	14.6	2.83	0.665	2.78	0.48	2.65	0.49	1.45	0.207	1.24	0.177	1.56	1.80
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp680c	30.4	53.4	5.379	22.4	3.79	0.772	3.17	0.45	2.69	0.51	1.63	0.262	1.64	0.259	7.83	4.01
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp682c	33.1	66.3	7.307	28.4	4.40	0.960	4.38	0.61	3.37	0.68	2.32	0.338	1.97	0.324	8.97	3.84
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp735c	28.4	51.1	4.623	18.4	3.23	0.691	2.95	0.41	2.58	0.53	1.61	0.257	1.83	0.287	4.85	3.70
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp741c	21.7	41.4	3.822	15.4	2.81	0.602	2.45	0.35	2.23	0.45	1.33	0.197	1.35	0.230	4.29	4.66
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp767c	36.5	67.7	6.855	28.5	4.72	1.067	4.98	0.78	4.57	0.90	2.97	0.468	2.73	0.406	3.17	52.3
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp768c	13.3	22.1	2.206	9.0	1.46	0.304	1.37	0.20	1.19	0.24	0.85	0.159	1.13	0.180	1.97	5.77
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp776c	18.5	35.3	3.360	12.3	2.00	0.480	2.12	0.30	1.84	0.46	1.51	0.231	1.45	0.251	3.00	8.09
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp777c	21.1	44.0	4.693	18.4	2.96	0.731	3.25	0.49	2.78	0.63	2.20	0.311	1.94	0.342	3.94	10.2
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular	cnp782c	50.6	147	16.58	77.5	14.4	3.106	11.1	1.62	9.09	1.62	4.51	0.620	3.94	0.512	15.1	7.61
Fm. Resende	calcário nodular	bsp58r	88.0	31.0	25.19	112	22.5	5.985	19.8	2.48	12.4	2.25	5.58	0.584	2.83	0.419	0.80	0.09
Fm. Guabirota	calcário nodular	cwb2i11-tot	32.5	15.9	6.563	27.1	5.51	1.284	5.59	0.85	5.43	1.16	3.03	0.409	2.46	0.380	1.55	0.37
Fm. Guabirota	calcário nodular	cwb2i2-tot	50.1	10.8	8.730	40.6	8.31	1.877	8.18	1.40	8.34	1.63	4.49	0.654	3.91	0.545	1.07	0.35
Fm. Guabirota	dolomito em rachadura	cwb2p-tot	43.1	53.7	7.118	30.4	5.18	1.258	9.45	1.29	6.87	1.65	4.52	0.527	2.65	0.417	1.07	0.35
Fm. Guabirota	rizólito	cwb10i3a-tot	12.8	10.8	1.999	8.05	1.70	0.560	2.79	0.51	3.89	1.12	3.68	0.584	3.80	0.724	0.59	0.78
Fm. Tremembé	calcário nodular	tb534rbc	43.3	94.1	10.78	44.3	8.03	1.781	7.67	1.24	6.88	1.34	4.37	0.712	4.76	0.709	14.1	6.31
Fm. Tremembé	dolomito	tb534rd	16.2	32.9	3.687	15.3	2.76	0.535	2.43	0.35	1.90	0.38	1.14	0.170	1.14	0.166	6.41	1.31
Fm. Tremembé	dolomito	tb53c	20.7	39.2	3.611	14.1	2.70	0.514	2.04	0.28	1.68	0.32	0.92	0.136	0.92	0.138	5.02	1.11

* n.d. = elemento não detectado na amostra

Os resultados obtidos das análises de isótopos estáveis dos calcretes nodulares mostraram valores negativos de δO^{18}_{PDB} , variando de -1.29‰ a -5.5651‰ , e δC^{13}_{PDB} oscilando entre -7.486‰ e -10.731‰ (Fig. 64, Tabela 12). Somente os calcretes nodulares da Bacia de Itaboraí são mais enriquecidos em C^{13} e O^{18} , apresentando valores de δC^{13}_{PDB} próximos a $-3,5\text{‰}$ e δO^{18}_{PDB} em torno de -5‰ . O rizólito e o dolocrete da Formação Guabirota concordam com os dados isotópicos obtidos para os calcretes nodulares desta unidade e da Formação Resende.

Os dolomitos lacustres da Formação Tremembé caracterizaram-se por valores positivos de δC^{13} ($\sim +10$ a $+12\text{‰}$) e δO^{18} ($\sim +2,8$ a $+3,9\text{‰}$) (Fig. 64, Tabela 12).

Figura 64 - Gráfico binário correlacionando os valores de δO^{18} e δC^{13} obtidos para calcretes e dolomito do RCSB.

Tabela 12 - Valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ obtidos para calcrites e dolomitos do RCSB.

Unidade Litoestratigráfica	Fácies	Nome da amostra	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} (\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} (\text{‰})$
Fm. Resende	calcário nodular (calcrete)	RE8AN1	-5.305	-10.391	+25.391
Fm. Resende	calcário nodular (calcrete)	RE8F11	-5.565	-9.735	+25.123
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP680c	-2.326	-7.780	+28.462
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP682c	-1.945	-7.486	+28.855
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP735c	-2.756	-7.916	+28.019
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP741c	-1.676	-10.731	+29.149
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP748c	-3.143	-7.536	+27.620
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP767c	-4.260	-9.462	+26.468
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP768c	-4.139	-9.524	+26.593
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP776c	-2.082	-10.444	+28.714
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP777c	-2.356	-9.650	+28.431
Fm. Resende (Sond. CNP)	calcário nodular (calcrete)	CNP782c	-3.279	-10.588	+27.480
F. Resende	calcário nodular (calcrete)	BSP58r	-5.863	-8.828	+24.816
Fm. Guabirota	calcário nodular (calcrete)	CWB2111	-4.743	-8.296	+25.971
Fm. Guabirota	calcário nodular (calcrete)	CWB212	-4.848	-8.468	+25.863
Fm. Guabirota	dolomito em rachadura (calcrete)	CWB2P	-0.766	-6.383	+30.070
Fm. Guabirota	calcário nodular (calcrete)	CWB10E2	-4.383	-8.325	+26.342
Fm. Guabirota	rizólito	CWB10I3	-4.540	-8.255	+26.180
Fm. Tremembé	calcário nodular (calcrete)	TB534RC	-1.29	-9.87	+29.53
Fm. Itaboraí	calcário nodular (calcrete)	IT-5A	-5.434	-3.481	+25.258
Fm. Itaboraí	calcário nodular (calcrete)	IT-5C	-5.078	-3.865	+25.625
Fm. Tremembé	dolomito	TB534RD	+2.847	+12.633	+33.795
Fm. Tremembé	dolomito	TB53C	+3.951	+9.864	+34.933

6. DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES

6.1 Rochas carbonáticas no contexto evolutivo do RCSB

As rochas carbonáticas caracterizadas nos depósitos paleogenênicos do RBSC compreendem os calcários da associação de fácies lacustre da Formação Itaboraí, os calcrites presentes nas associações de fácies de leques aluviais das várias unidades litoestratigráficas, o dolocrete da Formação Guabirotuba e o dolomito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé.

6.1.1 Calcários lacustres da Formação Itaboraí

Na Bacia de Itaboraí, os calcários fitados, com idade mínima do Paleoceno, correspondem aos depósitos mais antigos do preenchimento sedimentar do RCSB. As análises de isótopos estáveis (C, O) apresentam valores negativos de δO^{18}_{PDB} , variando de -6.6‰ a -12.1‰ , e δC^{13} oscilando entre 0.0‰ e -1.6‰ .

Estas rochas são compostas exclusivamente por calcitas, cujas feições morfológicas e texturais exibidas nos estudos petrográficos via catodoluminescência e MEV, quando comparadas àquelas descritas em outros depósitos (e.g. Guo & Riding 1998), corroboram a classificação do calcário fitado como travertino (Rodrigues Francisco & Cunha 1978) e a origem a partir fontes ou ressurgências (Leinz 1938). Guo & Riding (1998) também caracterizaram crostas de calcita fibrosa de granulação grossa em travertinos pleistocênicos da Itália. Os dados morfológicos e texturais obtidos permitem ainda efetuar comparações com as crostas de calcários do tipo *sinter* descritas por Irion & Müller (1968) em depósitos jurássicos do nordeste da Alemanha, cuja principal característica é a origem inorgânica, em condições de rápida precipitação a partir de fontes de águas ricas em cálcio e bicarbonato. O termo *sinter* segundo Bates & Jackson

(1987) é de origem alemã e refere-se a rocha sedimentar química, precipitada a partir de águas quentes ou frias e depositadas como incrustações em outras rochas ou constituindo camadas.

Os valores de δO^{18} são concordantes com dados isotópicos obtidos para travertinos originados a partir de águas meteóricas em condições de temperatura levemente aquecida (cerca de dezenas de graus) (Turi 1986), enquanto que os valores de δC^{13} indicam a contribuição dos mármore do embasamento para o enriquecimento em C^{13} das águas percolantes.

Neste trabalho é mantido o modelo proposto por Leinz (1938) e corroborado pelos autores que o seguiram, o qual identifica a falha da borda sul da Bacia de Itaboraí como o caminho de percolação das águas hidrotermais intermitentes. Esta percolação teria provocado a dissolução dos mármore do embasamento que forneceriam o cálcio e o carbonato para a precipitação em superfície em depósitos de travertinos. A rápida precipitação do carbonato é devida à rapidez com que ocorrem o resfriamento da água quente em superfície e a perda de CO_2 (*degassing*), provocando a cristalização da calcita junto à fonte (Guo & Riding 1998).

Os resultados das análises químicas dos calcários fitados indicam sua pureza, com alto teor de CaO , e a baixa concentração de elementos menores e terras raras, com exceção apenas do Sr. A concentração de ferro nos níveis marrons do calcário fitado pode ser indicativa da contribuição das águas da chuva, lixiviando pequenas quantidades de outros elementos químicos nas rochas das vizinhanças e carreando-os para dentro do sistema de travertinos, os quais se misturariam às águas hidrotermais. Adicionalmente, os valores ligeiramente mais enriquecidos em O^{18} obtidos para as bandas marrons, quando comparados aos valores das bandas brancas, também sugerem um pequeno resfriamento destas águas, talvez pela contaminação com as águas pluviais.

Os calcários cinzentos também apresentam isótopos estáveis condizentes com origem a partir de águas quentes. No entanto, sua associação com detritos terrígenos permitiu apenas a formação de calcita anedral fina, constituindo uma matriz maciça. Esta fácies de calcários cinzentos tende a se desenvolver em contexto paleogeográfico mais distal em relação a fonte das águas hidrotermais, esta localizada na borda sul da bacia. Sua intercalação com os calcários fitados nos testemunhos de sondagem mostra a variação na localização da fonte das águas ao longo do plano de falha, durante o preenchimento sedimentar da Bacia de Itaboraí. Os detritos encontrados nos calcários cinzentos chegaram à bacia através de enxurradas, por ocasião de épocas chuvosas, quando eram erodidos e transportados paleossolos adjacentes à bacia. Estes grãos detríticos de mica, caulinita, quartzo e feldspato são ainda responsáveis pelos maiores teores de SiO_2 , Rb, Ba e elementos terras raras nas análises químicas dos calcários cinzentos.

Em sistemas de travertinos, os depósitos de tufa fornecem uma visão paleogeográfica do sítio deposicional, pois representam depressões inundadas, onde cresce a vegetação, distais em relação à fonte das águas hidrotermais, (Irion & Müller 1968, Ford & Pedley 1996). O depósito de tufa descrito neste estudo está situado na borda oeste da Bacia de Itaboraí (local IT-01); adicionalmente, Rodrigues Francisco & Cunha (1978) descreveram uma outra ocorrência na borda norte. Esta tufa é representada pela fácies de calcário poroso contendo rizólitos, cujos dados isotópicos de O^{18} e C^{13} indicam, respectivamente, águas ligeiramente quentes e contaminação com carbono atmosférico na geração das calcitas que impregnaram o caule as plantas. A presença de quartzo e mica na matriz carbonática deste calcário mostra o aporte de material terrígeno nestas depressões. A calcita que constitui a matriz do calcário e que impregnou as plantas tem sua origem vinculada às águas quentes dos travertinos que inundaram porções mais distais da bacia.

O calcário maciço, descrito na borda oeste da Bacia de Itaboraí (local IT-01, Fig. 6), corresponde à fácies com gênese mais duvidosa, tendo em vista que seus aspectos texturais (lama micrítica) não correspondem aqueles gerados em sistema de travertinos. No entanto, os dados isotópicos de O^{18} e C^{13} , semelhantes aos obtidos para os calcários fitados indicam para os calcários maciços formação também a partir das águas hidrotermais.

Localmente é possível observar a presença de uma fase de cimento secundário, com forte luminescência, crescido sobre as calcitas fibrosas do calcário fitado, e também feições de alteração da rocha original. Quando alterados, os calcários apresentam valores isotópicos mais enriquecidos em O^{18} (δO^{18} variando de -6.5‰ a $-5.4\text{‰}_{\text{PDB}}$) e empobrecidos em C^{13} (δC^{13} variando de -4.0‰ a -5.3‰), evidenciando a influência da água meteórica em sua alteração, esta atribuída a tempos mais recentes.

6.1.2 Calcretes e dolocrete das associações de fácies de leques aluviais

Os calcretes encontrados no RCSB estão bem desenvolvidos nas associações de fácies de leques aluviais das formações Itaboraí, Resende e Guabirota. Nestes depósitos predominam os calcretes do tipo nodular, com diâmetros centimétricos, disseminados nos sedimentos lamíticos argilosos e argilo-arenosos. Os tipos morfológicos de calcretes encontrados (calcretes nodular, tabular, rizólitos e bioturbações, segundo as classificações de Netterberg 1980 e Goudie 1983) indicam origem pedogenética, a partir do desenvolvimento de perfis de solo nas porções superiores dos pacotes lamíticos (Freytet & Plaziat 1982). Adicionalmente, a existência de microestruturas do tipo *alpha* (Wright 1990 *apud* Wright & Tucker 1991), caracterizadas pela presença de microfábrica densa (matriz carbonática maciça de granulação fina), fissuras, cristalárias e grãos detríticos flutuando na matriz, também endossa a origem pedogenética na zona vadosa

(Carlisle 1983). Nesse sentido, estes calcretes representam paleossolos formados logo após a deposição dos lamitos, por ocasião da exposição destes sedimentos aos processos exógenos vigentes àquela época (Eoceno Superior-Oligoceno Inferior), como anteriormente referido (Coimbra & Riccomini 1985). A figura 65 compreende um esquema paleogeográfico, onde estão indicados os sítios de desenvolvimento dos calcretes no contexto do sistema de leques aluviais.

No contexto regional do RCSB, a presença de calcrete parece estar relacionada a existência de rochas calcárias no embasamento; este fato ainda que não firmemente comprovado é sugerido: 1) pela ocorrência restrita de calcrete a algumas áreas; 2) pela maior abundância em calcretes na Bacia de Curitiba, que possui extensiva área de rochas carbonáticas no embasamento a oeste, e 3) intensa cimentação carbonática nos lamitos da Bacia de Itaboraí. Assim, a fonte do carbonato poderia ser os grãos carbonáticos detríticos disseminados na matriz argilosa dos lamitos. Após a deposição, o carbonato estaria sujeito a dissolução e reprecipitação, em um processo de equilíbrio, segundo a reação (Pendall *et al.* 1994): $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$

A água nesta reação é de natureza meteórica, que ocasionalmente encharca pelo menos as porções superiores dos pacotes lamíticos, durante o tempo de exposição deste sedimento. Este processo resultaria na progressiva redistribuição, precipitação e acumulação do carbonato dentro do perfil de solo hospedeiro, em épocas de ressecamento do solo, tendo em vista a conseqüente perda de H_2O (através da evaporação) e CO_2 (*degassing*), e a adição de Ca^{2+} (efeito do íon comum).

Adicionalmente, torna-se importante o crescimento displacivo (*displacement*) de calcita, o qual reflete a preferência deste mineral em estabelecer ligações coesas com outras calcitas e deslocar outros grãos, ocasionando o fraturamento destes e originando a presença de grãos flutuando na matriz carbonática. Estas feições foram observadas em lâminas delgadas e fotos de MEV, obtidas para vários dos calcretes analisados. Na

microfábrica do tipo *alpha*, os processo de substituição (*replacement*) dos outros grãos, em geral silicáticos, é subordinado (Wright & Tucker 1991); no entanto, foi possível caracterizá-lo através da corrosão de minerais detríticos (quartzo, feldspato e mica) nas rochas lamíticas.

Os estudos petrográficos macro e microscópicos (microscopia óptica e catodoluminescência) mostraram cristalárias, as quais indicam processos de alteração posterior dos nódulos carbonáticos. Segundo Wright & Tucker (1991) a formação de cristalária se deve a dessecação e crescimento expansivo da matriz, seguido por rápida precipitação em poros, onde os efeitos da evaporação e perda de CO₂ são aumentados.

Na Bacia de Resende, a presença de nível de calcrete tabular com espessura métrica (local RE-08, Anexo 1), situado acima de pacote lamítico com calcrete nodular, indica condições locais para desenvolvimento de perfil de solo maduro, atingindo o estágio 6 de Machette (1985).

Os rizólitos e bioturbações, bem desenvolvidos na Formação Guabirotuba, indicariam a vigência de processo de evapotranspiração em sua gênese.

Calcretes calcíticos preenchendo fraturas foram encontrados nas formações Resende (bacias de Taubaté e Resende) e Guabirotuba, os quais mostram a migração das águas carbonáticas intraestratais para estes espaços vazios, onde a calcita precipitava e cimentava brechas do lamito fraturado.

A interpretação paleoclimática a partir do estudo de calcretes é muito difundida, tendo em vista a estreita dependência de sua formação com os processos supérgenos, em alguma medida controlados pelo clima. Nesse sentido, Wright & Tucker (1991) destacam que os calcretes do tipo *alpha* geralmente ocorrem em áreas com clima de tendência árida, onde predominam os processos de evaporação/evapotranspiração e perda de CO₂ (*degassing*) em detrimento da atividade biológica. Cerling (1984) restringe

os solos carbonáticos a áreas com precipitação pluviométrica média anual menor do que 75cm e, mais raramente, maior do que 100cm, para os últimos 10.000 anos.

Vários trabalhos ainda inferem condições paleoclimáticas a partir de estudos isotópicos (e.g. Cerling 1984, Quade *et al.* 1989, Calvo *et al.* 1995). Para os diferentes tipos morfológicos de calcretes do RCSB, os resultados das análises isotópicas são claramente negativos para δO^{18} e δC^{13} e demonstram a forte influência de águas meteóricas em sua formação, compatível com sua origem pedogenética. No entanto, a abundância em feições de dissolução e reprecipitação (cristalárias e fissuras) indica certamente que as razões isotópicas originais estão em grande parte alteradas, impossibilitando considerações paleoclimáticas a partir dos estudos isotópicos.

Os dados isotópicos obtidos permitiram, entretanto, observar a influência dos calcários fitados nos valores de C^{13} dos calcretes nodulares da Formação Itaboraí, os quais são mais enriquecidos neste isótopo quando comparados aos calcretes das outras unidades. A influência do material parental (Salomons & Mook 1986) altera a composição isotópica do bicarbonato produzido pela reação de dissolução do carbonato detrítico. No caso da Formação Itaboraí, os calcretes devem ter sido gerados a partir de grãos carbonáticos disseminados na matriz dos lamitos, os quais eram originalmente mais enriquecido em C^{13} devido à influência dos calcários fitados na composição das águas carbonatadas intraestratais que cimentaram estas rochas.

Apenas em uma ocorrência da Formação Guabirotuba, situada na borda nordeste da Bacia de Curitiba (local CWB-02, Fig. 37), foi encontrado um nível de dolocrete, o qual apresenta valores isotópicos de O^{18} e C^{13} concordantes com aqueles dos calcretes. Entretanto, a falta de feições pedogenéticas sugere origem a partir de águas freáticas (*groundwater*) para esta rocha, sendo este o mecanismo mais comum para formação de dolocrete (Wright & Tucker 1991).

Figura 65 - Esquema paleogeográfico indicando as ocorrências de argilominerais e rochas carbonáticas nos depósitos paleogênicos do RCSB (modificado de Eugster & Hardie 1975).

6.1.3 Dolomito da associação de fácies lacustre da Formação Tremembé

Em exposições da Formação Tremembé, na porção central da Bacia de Taubaté, foi descrita a fácies de dolomitos lacustres (Fig. 65), caracterizada pela presença predominante de dolomitas euhedrais de granulação fina, indicando deposição em períodos de menor fluxo de água fluviais e carreamento de detritos para o lago. Os dados isotópicos obtidos para o dolomito são positivos para O^{18} e C^{13} ; resultado semelhante a estes foi obtido por Freitas & Appi (1987) em análise isotópica desta rocha, a qual, no entanto, foi interpretada como depósito de calcrete pedogenético por estes autores.

O enriquecimento em O^{18} reflete a progressiva concentração por evaporação das águas lacustres, em época de clima seco e com aumento da temperatura. A partir dos

resultados de análises químicas de elementos maiores, menores e terras raras não se observa, entretanto, nenhum enriquecimento, com exceção do Mg.

6.2 Estudos mineralógicos das esmectitas

Os estudos mineralógicos via difração de raios X de amostras totais das matrizes dos sedimentos lamíticos das associações de fácies de leques aluviais das formações Itaboraí, Resende e Guabirota indicaram a presença de esmectita e caulinita, às quais se associam, quartzo, feldspato, mica e, mais raramente, calcita e dolomita. Esta mineralogia está presente tanto em amostras de superfície como de subsuperfície (Fig. 65).

A análise das frações finas $< 31\mu\text{m}$, $< 5\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$ confirmaram a presença da esmectita nos lamitos destas unidades, tendo a reflexão basal 001 deste argilomineral apresentado os comportamentos esperados após os tratamentos específicos com as amostras: 1) expansão para 17 - 18Å após solvatação com etilenoglicol; 2) diminuição para 10Å após aquecimento e 3) expansão para 18Å após saturação da amostra com Mg e solvatação com glicerol. Adicionalmente, também foram caracterizadas a mica e a caulinita.

A esmectita apresenta-se sempre com reflexões de média a alta intensidade e perfis afilados nos difratogramas de raios X de amostra total da matriz argilosa dos lamitos das formações Resende, Itaboraí e Guabirota. O estudo dos lamitos da Formação Resende permitiu ainda observar que a intensidade da reflexão basal 001 da esmectita varia em função da fácies sedimentar analisada, sendo de intensidade mais baixa em gráficos de DRX dos lamitos das fácies proximais e mais intensa nos lamitos da associação de fácies de leques aluviais medianos. Esta variação da intensidade pode estar relacionada com a proporção de esmectita no sedimento analisado.

O estudo de amostras totais dos argilitos e folhelhos da Formação Tremembé, através de difração de raios X, revelou também esmectita, mica e caulinita como os filossilicatos constituintes destas fácies sedimentares, nos contextos de borda de lago e lacustre. Halloysita foi caracterizada apenas em arenitos da associação de fácies de borda de lago (Fig. 65).

A reflexão 001 da esmectita é diferente, quanto a forma e valores de FWHM, nos gráficos de DRX de amostras totais dos argilitos e folhelhos da Formação Tremembé quando comparada aos difratogramas de amostras totais dos sedimentos lamíticos das formações Resende, Itaboraí e Guabirotuba.

A largura a meia altura da reflexão basal dos argilominerais pode ser função: 1) do tamanho da partícula (partículas com granulação fina causam o alargamento do pico) (Moore & Reynolds 1997); 2) deslocamento aleatório de celas unitárias ou grupos de celas unitárias a partir de suas posições ideais (Klug & Alexander 1974), e 3) existência de argilominerais interestratificados (Brindley & Brown 1980, Moore & Reynolds 1997).

A caracterização mineralógica das fácies sedimentares das formações Resende, Itaboraí, Guabirotuba e Tremembé não revelou a presença de interestratificados, inclusive em difratogramas de raios X de amostras de subsuperfície. Nos gráficos de DRX de amostras glicoladas foram observadas as reflexões basais 001 e 002 da esmectita ($\sim 17\text{\AA}$, $\sim 8,5\text{\AA}$) e da mica ($\sim 10\text{\AA}$, $\sim 5\text{\AA}$), não se encontrando presentes valores intermediários a estes, sugestivos de interestratificação.

Assim, considerando-se que foi empregado o mesmo procedimento na preparação das amostras para as análises de difração de raios X e que as possíveis influências instrumentais na região de baixo grau 2θ seriam as mesmas para todas as amostras, uma vez que foram mantidas as condições analíticas na realização deste trabalho, então atribui-se a variação no perfil da reflexão 001 das esmectitas a uma combinação das diferenças granulométricas e cristalográficas destes argilominerais.

Nesse sentido, os valores de FWHM menores do que $1,3^\circ$, obtidos para as esmectitas das fácies lamíticas, estariam representando a maior granulação destes argilominerais na matriz lamítica, conforme demonstrado nos estudos por MEV, e também refletindo seu melhor arranjo estrutural. Esta interpretação também é válida para as esmectitas constituintes da matriz dos lamitos das formações Itaboraí e Guabiruba.

Na Formação Tremembé, os folhelhos e argilitos contendo esmectita com perfil alargado apresentam valores de FWHM maiores do que $1,3^\circ$ para a reflexão basal 001 da esmectita. Os dados de MEV obtidos para estes sedimentos demonstram a diminuição da granulação da esmectita, quando comparadas àquelas das fácies lamíticas. A análise conjunta destes dados sugere que a esmectita da Formação Tremembé, além de ser mais fina que nas outras unidades litoestratigráficas do RCSB, ainda apresenta uma maior desordem estrutural.

Nesse contexto, a esmectita com perfil abaulado e $\text{FWHM} > 2^\circ$ presente nos argilitos lacustres da Formação Tremembé, depositados próximo aos dolomitos, apresenta o máximo de desordem estrutural. Os dados de MEV corroboram esta interpretação de intensa desordem estrutural, tendo em vista que a granulação das esmectitas destes argilitos é tão fina quanto aquelas dos argilitos estratigraficamente distanciados dos dolomitos, os quais contêm esmectitas que exibem picos com perfis alargados.

6.3 Gênese das esmectitas detríticas e suas implicações paleoclimáticas

Os critérios utilizados para interpretação da gênese dos minerais, se detríticos ou autigênicos, estiveram amparados na caracterização morfológica e textural efetuada através dos estudos por MEV. A esta caracterização foram ainda integrados os dados de

difração de raios X e geoquímicos, o que permitiu a discussão das condições de formação destes minerais no contexto do RCSB.

A mineralogia encontrada nos lamitos de leques aluviais das formações Itaboraí, Resende, Sete Barras e Guabirota inclui grãos de quartzo, feldspato, mica e fosfatos de terras raras (Ce), provavelmente monazitas, para os quais é atribuída origem detrítica, tendo em vista a angulosidade, a granulação grossa e a forma de ocorrência como clastos imersos na matriz argilosa dos lamitos. A mesma origem detrítica é assumida para estes minerais presentes nas fácies arenosas fluviais das formações Resende e Guabirota. A lantanita, encontrada localmente como grãos de granulação fina imersos na matriz argilosa de lamito da Formação Resende, também é considerada como mineral detrítico conforme anteriormente referido por Trescases *et al.* (1986). Na figura 66 estão relacionados os minerais detríticos reconhecidos nas unidades litoestratigráficas paleogênicas do RCSB.

A morfologia de placas arredondadas a irregulares com bordas onduladas, bem como a granulação grossa ($> 5\mu\text{m}$), exibida pela esmectita caracterizada na matriz das fácies lamíticas das diferentes unidades litoestratigráficas, indicam sua origem detrítica. Os dados de DRX sugerem a alta cristalinidade destes argilominerais e as fórmulas estruturais obtidas permitem classificá-las como beidellitas.

Chamley (1989) descreveu a formação de beidellitas perfis de alteração formados em áreas submetidas a climas temperados a semi-áridos quentes, onde ocorre uma nítida alternância entre as estações úmidas (pluviosidade variando de 500 a 1300 mm/ano) e secas. Nestas condições, prevalece o intemperismo químico, o qual desenvolve-se descontinuamente, sendo a hidrólise atuante durante as estações úmidas, quando se processa a subtração de íons dos minerais da rocha parental (transformações negativas dos minerais constituintes da rocha). Os cátions liberados (Si, Al, Fe, bases) tendem a ser retidos no perfil de solo até a próxima estação seca, quando se combinarão para formar

minerais neoformados (Millot 1970). Estes solos, classificados como vertisolos, podem adquirir espessuras métricas e, em geral contêm calcita disseminada, o que os inclui no grupo dos solos calcimórficos. Nestes solos, a esmectita neoformada é normalmente bem cristalizada, caracterizando o processo de bissialitização (Pedro 1979, 1981), e corresponde muitas vezes ao principal argilomineral formado nos níveis superiores do perfil, independentemente da rocha parental (Paquet 1970). Weaver (1989) relacionou como condições que favorecem a formação de esmectita, a manutenção da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,7$, a disponibilidade de Mg e/ou Fe, e de cátions trocáveis (Ca, Na), a existência de relevos atenuados e/ou baixa porosidade, baixa pluviosidade e/ou pequeno afluxo de água e baixa temperatura.

No sudeste brasileiro, após o aplainamento de extensa área pela Superfície Sul-Americana, no limite entre o Cretáceo e Terciário (King 1956, Almeida 1964), as rochas que constituem o embasamento do RCSB estavam sujeitas aos processos exógenos, facilitando o desenvolvimento de perfis de solos. Nesse quadro paleogeográfico, ocorreu a geração das esmectitas que viriam a constituir os espessos pacotes lamíticos das formações Resende, Itaboraí, Sete Barras e Guabirota, depositados no Eoceno Superior-Oligoceno com o início das manifestações tectônicas formadoras do *rift*.

A origem das esmectitas é atribuída ao intemperismo químico atuante nas rochas pré-cambrianas do embasamento, o qual foi condicionado essencialmente pelos fatores climáticos da época, minimizando a influência litológica destas rochas e gerando produtos de alteração homogeneizados mineralógica e geoquimicamente, em escala regional. O embasamento do RCSB é composto por rochas gnáissicas, xistos e granitos, cujos feldspatos e micas são suscetíveis à atuação da hidrólise e forneceriam os cátions necessários à formação das esmectitas. A principal época de geração destes paleossolos corresponde, provavelmente, ao Eoceno Inferior a Médio, quando as condições paleoclimáticas no sudeste brasileiro apresentavam tendência à aridez, talvez sob clima

temperado a semi-árido quente. Este quadro está de acordo com a tendência paleoclimática global que registra o período de 105 a 55 Ma (Cretáceo Superior a Eoceno Inferior) como um dos mais quentes do Fanerozóico tardio (Frakes *et al.* 1994).

A presença de placas de mica, com granulação grossa ($> 30\mu\text{m}$), morfologia lamelar preservada e composicionalmente classificadas como illitas, nos lamitos das formações Resende, Itaboraí, Guabiruba e Sete Barras e depósitos lacustres da Formação Tremembé, sugere a atuação de processos de transformações negativas que alteraram estes minerais, liberando os cátions necessários para a geração dos paleossolos esmectíticos. Adicionalmente, a caracterização textural dos paleoregolitos permitiu observar grãos de quartzo, feldspato e mica coexistindo com esmectita, cuja forma de ocorrência como agregados ou placas individualizadas indica a vigência de processos de neoformação em sua gênese.

A manutenção destas condições paleoclimáticas na área do RCSB ainda durante o Eoceno Superior-Oligoceno é revelada pelos sistemas deposicionais desenvolvidos (leques aluviais associados a planícies de rios entrelaçados e lago do tipo *playa-lake*), bem como pelas rochas carbonáticas (calcretes e dolomitos) associadas a estes depósitos. Nesse sentido, vários autores vinculam o desenvolvimento de calcretes pedogenéticos com a vigência de climas com graus variados de aridez (semi-áridos a áridos) e marcada alternância de estações secas e chuvosas (v.g. Carlisle 1983, Chamley 1989, Wright & Tucker 1991). Adicionalmente, a formação de banco dolomítico intercalado a argilitos lacustres da Formação Tremembé também evidencia a existência de períodos secos e quentes, quando as águas do paleolago tornavam-se hipersalinas e aquecidas, devido à elevação da taxa de evaporação.

6.4 A interação das esmectitas detríticas com o ambiente deposicional da Formação Tremembé

No Oligoceno, os grãos detríticos presentes nos lamitos distais da Formação Resende eram carregados e depositados no sistema *playa-lake* da Formação Tremembé. As análises de amostras totais via DRX mostraram, através das características da reflexão 001 (perfil da reflexão e valor de FWHM), que a esmectita detrítica contida nos sedimentos lacustres apresenta graus de cristalinidade diferentes em função da fácies sedimentar em que se encontra. Estes dados permitem supor que a esmectita detrítica interagiu com as condições geoquímicas reinantes no ambiente lacustre.

No contexto paleogeográfico lacustre da Formação Tremembé, os folhelhos representam a deposição com lâmina de água alta no lago, esta relacionada com épocas de maior pluviosidade (chuvas) (Riccomini 1989). Nesse sentido, as alterações sofridas pela esmectita detrítica oriunda dos leques aluviais distais deveriam ser minimizadas pela baixa salinidade das águas lacustres. Assim, a boa definição da reflexão 001 da esmectita nos gráficos de DRX dos folhelhos é considerada indicativa da manutenção de suas características mineralógicas originais.

Por outro lado, os argilitos lacustres representam a sedimentação em períodos de lâmina de água baixa no lago (Riccomini 1989), o que favorece o aumento da salinidade. Neste contexto, o nível dolomítico representa o ápice das condições salinas. A partir dos difratogramas de raios X obtidos para amostras totais de argilitos coletadas em níveis com diferentes distâncias do pacote dolomítico, pode-se observar uma estreita relação entre as características das esmectitas e a salinidade do lago, a qual é melhor expressa pela reflexão basal 001 destes argilominerais. As esmectitas com reflexões 001 de perfil abaulado encontram-se situadas próximas ao nível dolomítico, em geral distando até 1 metro do contato deste, e esmectitas com perfil alargado são distantes, estando bem

caracterizadas em argilitos coletados aproximadamente 3m abaixo do nível dolomítico. É importante notar que, a despeito das alterações cristalgráficas possivelmente existentes entre as esmectitas dos argilitos lacustres da Formação Tremembé e aquelas constituintes da matriz argilosa das fácies lamíticas da Formação Resende, conforme sugerido pelos dados de DRX, os resultados obtidos com o cálculo das fórmulas estruturais destes argilominerais não indicaram mudanças na composição química entre as esmectitas destas unidades litoestratigráficas, sendo ambas classificadas como beidellitas.

As diferenças notadas nos teores de MgO e CaO obtidos para amostras totais de rochas lamíticas da Formação Resende e argilitos da Formação Tremembé, através das análises geoquímicas de rochas totais, são atribuídas à presença de carbonatos nos sedimentos lacustres.

6.5 Diagênese e intemperismo nos depósitos paleogênicos do RCSB

Dentre as unidades litoestratigráficas estudadas, as formações Resende e Tremembé correspondem àquelas amostradas em maiores profundidades, atingindo o máximo de 200m na sondagem nº 42 do CNP (Formação Resende). Ainda que se considere o papel da erosão na exposição dos depósitos destas unidades atualmente aflorantes, estima-se, a partir das diferenças de cotas topográficas entre os depósitos, que os lamitos da Formação Resende, na base da sondagem do CNP, não estiveram submetidos a profundidades maiores do que 300m. Estas são profundidades rasas, que limitam as inúmeras possibilidades de atuação dos processos diagenéticos ao longo da história de soterramento de uma pilha sedimentar. No entanto, as análises mineralógicas e geoquímicas efetuadas para os diferentes litotipos das formações Resende e Tremembé, coletados em superfície e subsuperfície, caracterizaram a influência da

diagênese sobre estes sedimentos em diferentes profundidades de amostragem. Os processos diagenéticos observados são característicos da eodiagênese (Choquette & Pray 1970) e incluem a geração de piratas, a compactação dos sedimentos e a formação de argilominerais, os quais, provavelmente ocorreram nesta ordem cronológica (Fig. 66).

A formação de piratas framboidais foi observada nos argilitos e folhelhos das associações de fácies de borda de lago e lacustre da Formação Tremembé. Estes frambóides formam-se no sedimento inconsolidado, ainda encharcado e úmido pelas águas do meio deposicional, sendo comuns em argilitos e folhelhos ricos em matéria orgânica (O'Brien & Slatt 1990). A precipitação da pirita em arranjo esférico pode ser interpretada como pseudomorfismo, substituição ou preenchimento de um corpo originalmente com esta forma, como, por exemplo, glóbulos de líquido orgânico ou vacúolos gasosos (Rickard 1970, Kalliokoski 1974, O'Brien & Slatt 1990). Suas condições de formação indicam diagênese anaeróbica de sulfeto (Berner 1970), podendo ocorrer em profundidades rasas (10cm a 3m) e temperaturas baixas ($< 80^{\circ}\text{C}$) (Love 1967, Berner 1969).

A compactação dos sedimentos é melhor caracterizada nos folhelhos lacustres de subsuperfície da Formação Tremembé, tendo em vista a reorientação preferencial das partículas segundo os planos de laminação, a deformação (alongamento) das cavidades atualmente preenchidas por gipsita e a diminuição da porosidade. O estudo por MEV de argilito lacustre da Formação Tremembé, coletado a 25m de profundidade na sondagem nº 42 do CNP, exibiu rocha com estrutura maciça e muito compactados, podendo-se observar macroscopicamente incipiente laminação. Os lamitos da Formação Resende, no entanto, preservam-se ainda com estrutura maciça, mesmo em profundidade de até 200m, ocorrendo, uma tênue diminuição na porosidade da rocha. Estes litotipos, quando amostrados em superfície, mostram ainda o arranjo deposicional original das partículas,

estando preservada a textura globular dos argilitos e a alta porosidade da matriz dos lamitos.

A formação de argilominerais autigênicos com granulação fina e textura "larval" correspondeu a um processo diagenético que afetou os depósitos das formações Resende e Tremembé, tendo sido caracterizado nas exposições superficiais e subsuperficiais, até a profundidade de 200m na sondagem nº 42 do CNP (amostra CNP850). Estes minerais autigênicos foram ainda observados nos depósitos das formações Itaboraí e Guabirrotuba. Os estudos via DRX indicam serem estes argilominerais também esmectitas, tendo em vista que não ocorrem outros grupos de argilominerais nos gráficos das amostras das frações menores do que 2 μ m. A MEV mostrou que os argilominerais com textura "larval" contêm Si, Al, Ca e Mg e crescem a partir das bordas e superfícies das esmectitas detriticas, sendo sugerido um processo de transformação, no sentido de Millot (1970), para sua gênese.

Esmectitas com textura "larval" crescem ainda nos depósitos de calcretes das formações Itaboraí, Resende e Guabirrotuba, e também junto ao dolocrete desta última unidade. Nestas rochas carbonáticas, a neoformação a partir de soluções que corroem as calcitas parece ser o processo gerados das esmectitas.

Argilominerais de granulação fina constituindo mantas de recobrimento em grãos de arenitos da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé, bem como crescidos com textura de "favo-de-mel" sobre a matriz de argilitos desta associação, são considerados como minerais autigênicos neoformados. Uma interpretação genética mais detalhada ainda é duvidosa. No entanto, devido ao seu aspecto local e características autigênicas, apontam-se processos diagenéticos precoces e condicionados pela condições geoquímicas meio deposicional.

<i>Assembléia mineralógica detrítica</i>	
formações Resende, Itaboraí, Guabiruba e Sete Barras	esmectita mica caulinita feldspato quartzo fosfato de terras raras (monazita) barita carbonato de terras raras (lantanita)
Formação Tremembé	esmectita mica caulinita feldspato quartzo
Formação São Paulo	caulinita mica quartzo

<i>Assembléia mineralógica diagenética (eodiagenética)</i>	
formações Resende, Itaboraí, Guabiruba e Sete Barras	esmectita com textura "larval"
Formação Tremembé	pirita esmectita com textura "larval" esmectita com textura "favo-de-mel"

<i>Assembléia mineralógica intempérica</i>	
formações Resende, Itaboraí, Guabiruba e Sete Barras	calcita em calcretes dolomita em dolocrete (exclusivo da Fm. Guabiruba) caulinita vermiforme britholita
Formação Tremembé	halloysita hematita em <i>hardground</i> halotriquita

<i>Assembléia mineralógica hidrotermal</i>	
Formação Resende	dickita opala C/T barita

Figura 66 - Quadro dos minerais constituintes das assembléias mineralógicas detrítica, eodiagenética, intempérica e hidrotermal, reconhecidos nos depósitos paleogênicos do RCSB.

Neste contexto, também se enquadram os glóbulos compostos por argilominerais de granulação fina e formas delicadas, que preenchem poros em lamitos da associação de fácies de leques aluviais medianos na Bacia de Volta Redonda. Para esta exposição destaca-se que os depósitos da Formação Resende encontram-se recobertos por lavas ankaramíticas. Entretanto, não foram observadas quaisquer influências do magmatismo nos sedimentos.

O intemperismo químico tem atuado sobre os depósitos paleogênicos do RCSB desde sua deposição, sendo possível reconhecer e hierarquizar cronologicamente como processos intempéricos (Fig. 66):

a) formação de halloysitas nos arenitos da associação de fácies de borda de lago da Formação Tremembé. Vários autores têm descrito a origem intempérica da halloysita, originando solos azonais em áreas marcadas pela alternância de períodos úmidos e secos (v.g. Sudo & Takahashi 1955, Hosterman 1960, Chamley 1989), tendo o argilomineral $10\text{\AA}$ um crescimento rápido e desordenado (Giese Jr. 1988). A gênese das halloysitas da Formação Tremembé é atribuída a processos de alteração supérgena dos grãos de feldspato dos arenitos, através da hidrólise por águas ácidas (Brindley & Commer 1955), acompanhada do carreamento das bases para as águas alcalinas do lago, permitindo a formação de um gel enriquecido em Si e Al (imogolita). O encharcamento temporário das fácies arenosas é devido, provavelmente, à subida do lençol freático por ocasião das chuvas. Em épocas de seca, após o rebaixamento do lençol freático, as halloysitas neoformadas se cristalizariam desordenadamente a partir do gel, em condições ácidas, nos poros do sedimento;

b) geração de calcretes pedogenéticos nos depósitos de leques aluviais das formações Resende, Itaboraí e Guabirota, e também em argilitos lacustres da Formação Tremembé;

- c) formação de crosta dura hematítica no contexto da associação de fácies lacustres da Formação Tremembé. A formação da hematita é atribuída à dissolução da dolomita ferrosa em condições redutoras e com alta concentração de CO₂, em um processo similar ao proposto para a formação de *ironstones* a partir da alteração de sideritas (Durham Jr. 1964). Neste processo, a água carregada com CO₂ dissolve a siderita, e o Fe²⁺ liberado é carregado e precipitado como óxidos de ferro trivalente (por exemplo goethita). Estas crostas constituem camadas horizontais em níveis de descontinuidade no depósito sedimentar, onde o movimento da água é interrompido e subseqüentes dissolução e oxidação levam à precipitação dos óxidos de ferro (Doner & Lynn 1989);
- d) geração de paleossolos cauliniticos, posteriormente depositados como lamitos argilosos de coloração avermelhada, correspondendo aos níveis observados no topo da Formação Resende, expostos na borda oeste da Bacia de São Paulo (local BSP-51, Anexo 2), sobre os quais depositaram-se os argilitos e arenitos fluviais da Formação São Paulo. Estes lamitos argilosos avermelhados contêm caulinita como seu principal argilomineral, indicando mudança para condições paleoclimáticas mais úmidas, talvez ainda quentes, na região. Este paleoclima seria então o responsável pela geração das caulinitas detríticas da Formação São Paulo no Oligoceno Superior-Mioceno, como já referido por Riccomini (1989). De modo geral, esta passagem para condições climáticas mais úmidas está de acordo com as tendências globais, que marcam o final do Oligoceno como um período de resfriamento global e aumento na umidade do ar (Frakes *et al.* 1994);
- e) alteração das calcitas constituintes dos calcretes pedogenéticos, originando cavidades de dissolução (cristalárias);
- f) alteração dos grãos de feldspato, podendo estar preservada a morfologia tabular do grão e ocorrer a formação de argilominerais, provavelmente caulinitas, na porosidade intragranular;

g) formação de caulinitas neoformadas, com textura de “livro” e crescidas nos poros da matriz de lamitos arenosos. Esta alteração está melhor caracterizada na Formação Guabirotuba, provavelmente devido a menor profundidade da Bacia de Curitiba e conseqüente exposição dos sedimentos ao intemperismo;

h) cristalização de britholita em depósito da associação de fácies de leques aluviais medianos da Formação Resende. Mineral do grupo do rabdofânio foi descrito por Soubiés *et al.* (1991) em perfil de solo aflorante em jazida de fosfato e titânio na região de Tapira, MG, tendo os autores atribuído origem meteórica a partir da alteração de apatita primária. Soubiés *et al.* (1991) sugeriram ainda a contribuição de águas hidrotermais, fortemente ácidas ou alcalinas, para a alteração da apatita e liberação de grandes quantidades de fosfatos. Para as britholitas da Formação Resende considera-se a possibilidade de uma gênese similar a proposta por Soubiés *et al.* (1991), não sendo também descartada a influência do hidrotermalismo.

6.6 Manifestações de hidrotermalismo no RCSB

A influência do hidrotermalismo no RCSB foi reconhecida através da observação de glóbulos e lepisferas de sílica, provavelmente opala C/T (cristobalita/tridimita, Welton 1984, Graetsch 1994), precipitados principalmente nas fácies arenosas e mais restritamente nos lamitos argilosos da Formação Resende (bacias de Taubaté e São Paulo). Tendo em vista que estes glóbulos e lepisferas apenas recobrem os grãos arenosos do sedimento, não se apresentando em cavidades intragranulares de grãos de feldspatos alterados, conclui-se que a cimentação dos arenitos fluviais da Formação Resende ocorreu após sua deposição no Eoceno Superior – Oligoceno Inferior e previamente à alteração intempérica a que estiveram sujeitos posteriormente.

Na borda oeste da Bacia de São Paulo, a presença de diques clásticos nos lamitos distais da Formação Resende foi considerada como indicativa de atividade sísmica sinsedimentar (Riccomini 1989). No presente trabalho, a caracterização por MEV dos arenitos destes diques permitiu observar a contribuição de glóbulos de sílica envolvendo os grãos do arenito e preenchendo localmente poros do sedimento lamítico; esta observação permite recuar o evento de silicificação hidrotermal para época próxima ao final da sedimentação destes depósitos da Formação Resende, talvez concomitante à paleossismicidade.

Adicionalmente, a partir de estudos por microscopia eletrônica, foi possível caracterizar a associação de cristais euhedrais de barita junto a glóbulos de sílica, em afloramento na borda oeste da Bacia de Taubaté. A relação textural entre estes minerais sugere que a barita formou-se posteriormente a sílica, tendo em vista que glóbulos silicosos não recobrem os cristais de barita.

Riccomini *et al.* (1987) e Riccomini (1989) descreveram dickita em lamitos proximais e medianos da Bacia de São Paulo, tendo atribuído origem hidrotermal para este argilomineral. Os autores também descreveram barita preenchendo fraturas no sedimento lamítico cimentado por dickita.

De modo geral, as ocorrências de manifestações hidrotermais no *rift* são localizadas e intimamente associadas a zonas de falha. No entanto, as relações texturais macro e microscópicas observadas até o momento para a dickita, barita e sílica permite hierarquizar cronologicamente os eventos de hidrotermalismo no RCSB, sendo a dickita provavelmente a fase mais antiga e tendo ocorrência restrita, seguida pela sílica com precipitação em maior número de depósitos (porção central da Bacia de São Paulo, afloramentos na borda oeste da Bacia de Taubaté) e posteriormente pela barita (Fig. 66). A origem das águas hidrotermais é atribuída à percolação de águas no embasamento pré-cambriano por ocasião de movimentações tectônicas. O caráter silicoso das precipitações

de dickita e sílica e a presença de barita em zonas de fraturas encontradas nestas rochas, por exemplo na Bacia de Resende (local RE-15, Anexo 1) também corroboram a contribuição das rochas gnáissicas e graníticas do embasamento no hidrotermalismo que afetou os depósitos do RCSB.

A precipitação de dickita a partir de fluidos hidrotermais é atribuída a temperaturas da ordem de 200 a 300°C (Velde 1995). Os estudos sobre as condições de solubilidade da barita realizados por Blount (1977) indicaram que, para depósitos situados próximo à superfície, submetidos a baixas pressões atmosféricas, a barita precipita em altas temperaturas (> 300°C) a partir de soluções percolantes contendo pequenas concentrações de bário (~0,01 milimoles de BaSO₄). Quanto à formação de opala C/T, em trabalho de síntese mineral, Flörke *et al.* (1975) originou cristais em temperaturas de 150-200°C a partir de soluções saturadas em sílica.

6.7 Aplicação dos estudos geológicos e mineralógicos

Os estudos realizados no presente trabalho permitiram avaliar os condicionantes geológicos e mineralógicos no aproveitamento tecnológico das argilas esmectíticas do RCSB, em especial da Formação Tremembé.

Os resultados obtidos permitem corroborar a origem detrítica das esmectitas dos depósitos de leques aluviais como um fator limitante para o seu emprego na indústria, conforme anteriormente comentado por Riccomini *et al.* (1994).

Para as esmectitas dos argilitos lacustres da Formação Tremembé considera-se a interação com as condições geoquímicas das águas do lago como o fator que causou a degradação estrutural destes argilominerais. Esta degradação permitiu o desenvolvimento de estruturas desordenadas, com maior capacidade de trocas catiônicas e portanto maiores possibilidades de uso tecnológico. Destaca-se, no entanto, que as diferenças observadas

nas esmectitas destes argilitos, quando próximos ao nível de dolomito, podem implicar em uma variação no comportamento e desempenho tecnológicos destas argilas em um processo industrial.

Assim, tendo em vista que análises por difração de raios X são rápidas e de baixo custo, e a facilidade de preparação das amostras, aponta-se a medição da largura a meia altura da reflexão 001 da esmectita, em difratograma de amostra total, como um parâmetro para o controle das características mineralógicas deste argilomineral quando destinado ao uso industrial. Nesse sentido, valores maiores do que $1,3^\circ$ caracterizariam esmectitas semelhantes aquelas da Formação Tremembé, empregadas na indústria de refino de óleo há cerca de cinco décadas.

7. CONCLUSÕES

Os depósitos paleogênicos do RCSB são representados pela Formação Itaboraí, na bacia homônima, formações Resende, Tremembé e São Paulo (Grupo Taubaté) nas bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo, Formação Sete Barras no *graben* homônimo e formações Guabirota e Piraquara na Bacia de Curitiba.

Dentre as rochas carbonáticas caracterizadas nos depósitos paleogênicos do RCSB, os calcários fitados da Formação Itaboraí, com idade paleocênica, apresentaram feições texturais e valores de isótopos estáveis (C, O) que corroboram sua classificação como depósitos de travertino (Rodrigues Francisco & Cunha 1978) originados a partir de fontes ou ressurgências (Leinz 1938) de águas quentes (dezenas de graus Celsius).

As formações São Paulo e Piraquara foram originadas em sistema fluvial meandrante oligocênico/miocênico, a Formação Tremembé em um sistema lacustre *playa-lake* oligocênico e as demais unidades – formações Resende, Sete Barras, Guabirota e pacotes superiores da Formação Itaboraí – são representativas de sistema

de leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, de idade eocênica/oligocênica.

No sistema de leques aluviais, a matriz dos sedimentos lamíticos é constituída essencialmente por esmectitas. Mica e caulinita ocorrem em proporções variáveis e quartzo e feldspato são os principais clastos encontrados nestes lamitos. As esmectitas são de origem detrítica e ocorrem como placas de granulação grossa ($> 5\mu\text{m}$) e bordas onduladas, compondo uma matriz maciça; o perfil afilado da reflexão basal 001 destas esmectitas, com $\text{FWHM} < 1,3^\circ$, sugere alta cristalinidade. Os resultados geoquímicos permitiram classificar estas esmectitas como beidellitas, podendo ocorrer ainda localmente beidellitas com ferro e montmorillonitas do tipo Wyoming, segundo os campos classificatórios de Güven (1988).

As esmectitas que constituem os sedimentos lacustres da Formação Tremembé também correspondem a beidellitas detríticas, diferenciando-se, no entanto, daquelas presentes nos sedimentos lamíticos de leques aluviais, por apresentarem granulação fina a média ($< 5\mu\text{m}$) e menor grau de cristalinidade, o qual se expressa pelo alargamento ou abaulamento da reflexão basal 001 ($\text{FWHM} > 1,3^\circ$) deste argilomineral nos difratogramas de raios X. Esta degradação na cristalinidade da esmectita é devido à interação destes minerais com as condições geoquímicas das águas lacustres, onde a evaporação propiciava o aumento da salinidade, inclusive com a precipitação de extensa camada de dolomito.

Na estrutura destas esmectitas, tanto dos lamitos de leques aluviais quanto dos sedimentos lacustres, ocorre a substituição de Si por Al no sítio tetraédrico e existem estreitas relações positiva entre Al e Fe e negativa entre Fe e Mg no sítio octaédrico. Adicionalmente, a proporção de Mg na camada octaédrica é influenciada, em certa medida, pelo Si. O Al octaédrico apresenta ainda correlação negativa com os cátions interplanares (K e Ca).

Os resultados de geoquímica global mostraram que os argilitos e folhelhos lacustres são mais enriquecidos em MgO e CaO e empobrecidos em SiO₂ quando comparados aos sedimentos lamíticos de leques aluviais, tendo os demais óxidos as mesmas ordens de grandeza entre estas litologias. Ocorre ainda uma variação no teor dos óxidos maiores entre as fácies de borda de lago e lacustre da Formação Tremembé, com maiores teores de Al₂O₃ nos sedimentos marginais, e de MgO, CaO, Fe₂O₃ e K₂O nos sedimentos depositados nas porções centrais do lago.

A origem destas esmectitas é atribuída à geração de paleossolos a partir da alteração das rochas pré-cambrianas do embasamento do RCSB, no Eoceno Inferior a Médio, quando as condições climáticas tendiam à aridez e o relevo havia sido aplainado pela Superfície Sul-Americana (King 1956, Almeida 1964) no final do Cretáceo Superior a Paleógeno. Nestes perfis de alteração, a mica e o feldspato estavam sujeitos a processos de transformação negativa, possibilitando a neoformação de esmectitas (beidellitas) a partir dos cátions liberados. Nesse contexto paleogeográfico e paleoclimático, o intemperismo químico atuou no sentido de homogeneizar mineralógica e geoquimicamente os produtos de alteração, em escala regional.

Ainda durante o Eoceno Superior e Oligoceno essas condições climáticas se mativeram, possibilitando o desenvolvimento dos leques aluviais associados a planícies de rios entrelaçados e do sistema lacustre do tipo *playa-lake*, bem como a geração de rochas carbonáticas (calcretes e dolomitos) associados a estes depósitos.

Através dos estudos mineralógicos foram observados produtos diagenéticos, característicos da eodiagênese, como a formação de piritas, a compactação dos sedimentos e a formação de esmectitas autigênicas. Estas esmectitas formaram-se a partir das esmectitas detríticas da matriz dos sedimentos lamíticos, através de processos de transformação, e das calcitas dos depósitos de calcrete, envolvendo, neste caso, a neoformação.

O intemperismo químico atuou sobre os depósitos paleogênicos do RCSB desde sua deposição, tendo permitido a geração de: 1) halloysitas em arenitos de borda de lago da Formação Tremembé; 2) calcretes pedogenéticos nos depósitos de leques aluviais e argilitos lacustres; 3) crosta dura hematítica no sistema lacustre da Formação Tremembé; 4) paleossolos cauliniticos no Oligoceno Médio a Superior, os quais constituem atualmente os níveis superiores da Formação Resende; 5) cristalárias nos calcretes; 6) neoformação de caulinitas com textura de “livro”, a partir da alteração dos feldspatos dos sedimentos lamíticos.

Dickita foi reconhecida em depósitos lamíticos da Formação Resende, na Bacia de São Paulo (Riccomini 1989). No presente trabalho, a influência de soluções hidrotermais sobre os depósitos da Formação Resende pôde ser reconhecida através da observação de glóbulos e lepisferas de sílica e cristais euhedrais de barita precipitados nas fácies arenosas desta unidade nas bacias de Taubaté e São Paulo. As relações texturais encontradas indicam que a dickita corresponde à primeira manifestação hidrotermal (formação em ~ 200-300°C), sendo seguida pela sílica (opala C/T formada a cerca de 150-200°C) e então a barita (> 300°C).

A caracterização geológica, mineralógica e genética das esmectitas dos depósitos paleogênicos do RCSB permite apontar a origem detrítica e o alto grau de cristalinidade das esmectitas dos sedimentos lamíticos como fatores limitantes para o seu emprego na indústria. No contexto da Formação Tremembé, estas esmectitas detríticas sofreram alterações que induziram a formação de estruturas desordenas, com maiores possibilidades de uso tecnológico. Para avaliação preliminar das potencialidades de uso destes argilominerais aponta-se a medição da largura a meia altura da reflexão 001 da esmectita, em difratograma de amostra total, como um parâmetro para o controle das características mineralógicas deste mineral quando destinado ao uso industrial. Neste caso, valores maiores do que 1,3° indicariam esmectitas semelhantes aquelas da

Formação Tremembé, empregadas na indústria de refino de óleo há cerca de cinco décadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.F. 1960. Recursos minerais do Brasil. Materiais não-metálicos. Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio/Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, v.1, 471p.

AB'SÁBER, A.N. & BIGARELLA, A.N. 1961. Considerações sobre a morfogênese da Serra do Mar no Paraná. *Bol. Par. Geogr.*, 4/5:94-110.

ALMEIDA, F.F.M. 1951. A propósito dos "relevos policíclicos na tectônica do Escudo Brasileiro. *Bol. Paul. Geogr.*, 9:3-18.

ALMEIDA, F.F.M. 1952. Novas ocorrências de camadas supostas pliocênicas nos estados de São Paulo e Paraná. *Bol. SBG*, 1(1):53-58.

ALMEIDA, F.F.M. 1958. Vale do Paraíba. In: *Relatório anual do Diretor*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 139:90-91.

ALMEIDA, F.F.M. 1964. Fundamentos geológicos do relêvo paulista. *Bol. IGG*, 41:167-263p.

ALMEIDA, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *An. Acad. bras. Ci.*, 48 (suplemento):15-26.

ALMEIDA, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Rev. Bras. Geoc.*, 13(3):139-158.

ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. 1984. *O pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, 378p.

ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. 1973. The precambrian evolution of the South American Cratonic Margin South of Amazon River. In: NAIRN & STEHLI (eds.) 1973. *The ocean basin and margins*. New York, 11:411-446.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Bol. IGUSP*, 7:45-80.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. Nota Explicativa*. São Paulo, IPT, v.1, Monografia 6, Publicação 1.184, 126p.

AMADOR, E.S. 1975. Estratigrafia e sedimentação da Bacia de Resende, RJ. *An. Acad. bras. Ci.*, 47:181-225.

AMADOR, E.S. 1976. Paleoclimatologia dos depósitos continentais cenozóicos da Bacia de Resende. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto. *Anais*. Ouro Preto, SBG, v.1, p.329-341.

AMARAL, G. 1978. Potassium-argon ages studies on the Jacupiranga Alkaline District, State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CARBONATITES, 1, Poços de Caldas, MG, Brasil. 1976. *Proceedings...* Poços de Caldas. MME/DNPM, p.295-302.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. 1967. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 31:117-142.

ANSELL, H.G.; PRINGLE, G.J.; ROBERTS, A.C. 1976. A hydrated neodymium-lanthanum carbonate from Curitiba, Paraná, Brazil. *Geol. Surv. Can. Pap.*, 76-1B:353-355.

BAIN, D.C. & SMITH, F.L. 1994. Chemical analysis. In: WILSON, M.J. (ed.) 1994. *Clay mineralogy: spectroscopic and chemical determinative methods*. London, Chapman & Hall, p.300-332.

BARSHAD, I. 1966. The effect of a variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soils from acid and basic igneous rocks. In: *INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE*, Jerusalem, 1966. *Proceedings...*, v.1, p.167-173.

BATES, R.L. & JACKSON, J.A. 1987. *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Alexandria, 788p.

BERG, E.A.T. & LOURENÇO, O.B. 1973. Sobre a composição mineralógica de argilas dos solos do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 31:13-30.

BERGGREN, W.A.; KENT, D.V.; FLYNN, J.J. 1985. Jurassic to Paleogene: Part2. Paleogene geochronology and chronostratigraphy. In: SNELLING, N.J. (ed) 1985. *The Chronology of the Geological Record*. *Geological Society Memoir* 10, p.141-186.

BERNER, R.A. 1969. The synthesis of framboidal pyrite. *Economic Geology*, 64:383-384.

BERNER, R.A. 1970. Sedimentary pyrite formation. *American Journal Science*, 268:1-23.

BEURLEN, K. & SOMMER, F.W. 1954. Restos vegetais fósseis e tectônica da Bacia Calcárea de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. DNPM/DGM, *Boletim*, 149,

BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. 1957. Aspectos geográficos e geológicos da Cidade de Curitiba e arredores. *Faculdade Católica de Filosofia de Curitiba. Cadeiras de Mineralogia-Petrografia e Geologia-Paleontologia*. Contribuição nº 2. (Reimpresso do volume comemorativo do 1º Centenário da Farmácia Stellfeld).

BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. 1962. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. *Bol. Univ. Fed. Paraná, Geologia*, 7:1-164.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; MARQUES FILHO, P.L. 1959. Ocorrência de depósitos sedimentares continentais do litoral do Estado do Paraná (Formação Alexandra). *Inst. Biol. Pesq. Técn., Notas Preliminares e Estudos*, 1:77p.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; AB'SÁBER, A.N. 1961. Origem e ambiente de deposição da Bacia de Curitiba. *Bol. Paran. Geogr.*, 4/5:71-81.

BIRKELAND, P.W. 1974. *Pedology, weathering and geomorphological research*. Oxford University Press, London, 258p.

BLAKE, W.P. 1902. The caliche of southern Arizona: an example of deposition by the vadose circulation. *Transactions, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, 31:220-226.

BLOUNT, C.W. 1977. Barite solubilities and thermodynamic quantities to 300°C and 1400 bars. *Am. Mineral.*, 62(9/10):942-957.

BRANDT NETO, M.; RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; MATOS, S.L.F. 1991. Argilominerais da Bacia de Taubaté. *Bol. IG-USP, Publicação Especial*, 9:111-115.

BRINDLEY, G.W. & COMMER, J.J. 1955. The structure and morphology of a kaolin clay from Les Eyzies (France). In: *NATIONAL CONFERENCE OF CLAYS AND CLAY MINERALS*, 4, Pennsylvania, 1955. Proceedings..., p.61-66.

BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (eds) 1980. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. London, Mineralogical Society, 495p.

BRITO, I.M.; FRANKE, H.E.C.M.; ALMEIDA CAMPOS, D. 1972. Geologia e petrografia da Bacia de São José de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. *An. Acad. Bras. Ci.*, 44(2):225-234.

BROTZU, P.; BECCALUVA, L.; CONTE, A.; FONSECA, M.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; LEONG, R.; MACCIOTA, G.; MANSUR, R.L.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J.B.; TRAVERSA, G.; VALENÇA, J.G. 1989. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 8. The syenitic intrusion of Morro Redondo, RJ. *Geochimica Brasiliensis*, 3(1):63-80.

CALVO, J.P.; JONES, B.F.; BUSTILLO, M.; FORT, R.; ALONSO ZARZA, A.M.; KENDALL, C. 1995. Sedimentology and geochemistry of carbonates from lacustrine sequences in the Madrid Basin, central Spain. *Chemical Geology*, 123:173-191.

CAMPANHA, G.A.C. 1991. *Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná*. São Paulo, 296p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

CAMPANHA, V.A. 1994. *A arquitetura deposicional da bacia sedimentar de Taubaté, SP, como subsídio à delimitação das zonas de produção mineral*. Rio Claro, 193p. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).

CARLISLE, D. 1983. Concentration of uranium and vanadium in calcretes and gypcretes. In: WILSON, R.C.L. 1983. Residual deposits. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 11:185-195.

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D. 1976. Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto. *Anais. Ouro Preto, SBG*, v.4, p.247-256.

CARVALHO, K.W.B. 1965. Geologia da bacia sedimentar do Rio Almada. *Bol. Téc. PETROBRÁS*, 8(1):5-55.

CERLING, T.E. 1984. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate. *Earth Planetary Science Letters*, 71:229-240.

CESBRON, F.; SICHÈRE, M.C.; VACHEY, H.; CASSEDANE, J.P.; CASSEDANE, J.O. 1979. La lanthanite à europium de Curitiba, Paraná, Brésil. *Bull. Minéral.*, 102:342-347.

CHAMLEY, H. 1989. *Clay sedimentology*. Heidelberg, Springer-Verlag, , 623p.

CHIARI, G.; GIORDANO, A.; MENGES, G. 1996. Non destructive X-ray diffraction analyses of unprepared samples. *Science and Technology for Cultural Heritage*, 5(1):21-36.

- CHOQUETTE, P.W. & PRAY, L.C. 1970. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Bull. Am. Assoc. of Petroleum Geologist*, **54**:207-250.
- COIMBRA, A.M. & RICCOMINI, C. 1985. Considerações paleoambientais sobre as ocorrências de caliche nas bacias de Curitiba (PR), Taubaté (SP) e Resende (RJ). *An. Acad. bras. Ci.*, **57**:517-518.
- COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; MELO, M.S. 1983. A Formação Itaquaquecetuba: evidências de tectonismo no quaternário paulista. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo. *Atas. São Paulo, SBG*, p.253-266.
- COIMBRA, A.M.; COUTINHO, J.M.V.; ATENCIO, D.; IWANUCH, W. 1989. Lanthanite-(Nd) from Santa Isabel, State of São Paulo: second brazilian and world occurrence. *Can. Mineral.*, **27**:119-123.
- COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G.; VALARELLI, J.V. 1996. Bacia de Curitiba: estratigrafia e correlações regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador. *Anais. Salvador, SBG/BA*, v.1, p.135-137.
- CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO - CNP. 1951. *Xisto Betuminoso*. Rio de Janeiro, CNP, Relatório de 1951.
- COUTINHO, J.M.V. 1955. Lantanita de Curitiba, Paraná. *Boletim FFCHL-USP, Mineralogia*, **186**:119-126.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1967. Rock-forming minerals. Sheet silicates. London, Longmans, v.3, 270p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. 1979. *Carta do Brasil ao Milionésimo, Folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape*. MME, Brasília, 178p.
- DIXON, J.B. & WEED, S.B. 1989. *Minerals in soil environments*. Wisconsin, SSSA, 1244p.
- DONER, H.E. & LYNN, W.C. 1989. Carbonate, halides, sulfate and sulfide minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. (eds). 1989. *Minerals in soil environments*. Wisconsin, SSSA, p.279-330.
- DURHAM Jr., C.O. 1964. Iron ore of central north Louisiana. *Geol. Bull.* **41**. Dept. Cons., Louisiana Geol. Survey.
- ESTEBAN, M. & KLAPPA, C.F. 1983. Subaerial exposure environment. *AAPG Mem.*, **33**:1-54.
- EUGSTER, H.P. & HARDIE, L.A. 1975. Sedimentation in an ancient playa-lake complex: the Wilkins Peak Member of the Green River Formation of Wyoming. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **86**:319-334.
- FEIJÓ, F.J. 1994a. Bacia de Pernambuco-Paraíba. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, **8**(1):143-147.
- FEIJÓ, F.J. 1994b. Bacias de Sergipe e Alagoas. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, **8**(1):149-161.
- FERNANDES, F.L. 1993. *Arcabouço estrutural e evolução da Bacia de Taubaté - SP*. Ouro Preto, 147p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto).
- FERRARI, A. & SILVA, M.A.M. 1997. Bacia do Macacú (RJ): proposta de uma nova bacia do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5, Itatiaia. *Atas. Rio de Janeiro, SBG*, p.32-34.

- FERREIRA, C.S. & COELHO, A.C.S. 1971. Novos gastrópodos pulmonados da Bacia Calcária de São José de Itaboraí, RJ, Brasil. *Geocronologia. An. Acad. Bras. Ci.*, **43**(Suplemento): .
- FISCHER, W.L.; MORALES, R.G.; DELLA PIAZZA, H.; BROWN Jr., L.F. 1974. Sistemas deposicionais das bacias de Mucuri, Cumuruxatiba e Jequitinhonha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. *Anais. Porto Alegre, SBG*, v.1, p.13-26.
- FISHER, W.L. & MCGOWEN, J.H. 1967. Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, **17**:105-125.
- FLÖRKE, O.W.; JONES, J.B.; SEGNET, E.R. 1975. Opal-CT crystals. *N. Jahrb. Min.*, Mh:369-377.
- FOLK, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Hemphill, 182p.
- FORD, T.D. & PEDLEY, H.M. 1196. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews*, **41**:117-175.
- FRAKES, L.A.; FRANCIS, J.E.; SYKTUS, J.I. 1994. *Climate modes of the Phanerozoic*. Glasgow, Cambridge Press, 274p.
- FRANCHI, J.G.; MANGIALARDO, R.C.; LAZZARI, R.T.; VOGT, J.C.; FERNANDES, J.L.; YOSHIDA, R. 1992. Bleaching clays of Paraíba Valley, State of São Paulo, Brazil. In: CIMINELLI, R.R. (ed.). 1992. *Minerais industriais: oportunidades e tendências*. Belo Horizonte, ABMT, p.39-55.
- FREITAS, E.L. & APPI, C.J. 1987. Evento de ressecção (caliche); um marco estratigráfico do Terciário das bacias de Taubaté e Resende. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, Rio Claro. *Afas. Rio Claro, SBG*, v.1, p.323-337.
- FREITAS, R.O. 1951. Ensaio sobre o relevo tectônico do Brasil. *Rev. Bras. Geogr.*, ano XIII, nº 2, p.171-222.
- FREYTET, P. & PLAZIAT, J.C. 1982. Continental carbonate sedimentation and pedogenesis – Late Cretaceous and Early Tertiary of southern France. *Contributions to Sedimentology*, **12**, 213p.
- GIESE Jr., R.F. 1988. Kaolin minerals: structures and stabilities. In: BAILEY, S.W. (ed.) 1988. *Hydrous phyllosilicates*. Mineralogical Society of America, Michigan, *Reviews in Mineralogy*, **19**(3):29-64.
- GOENOPAWIRO, K.S. 1997. *Diagênese dos arenitos terciários da Bacia de Taubaté - SP*. Rio Claro, 149p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).
- GOUDIE, A.S. 1983. Calcrete. In: GOUDIE, A.S. & PYE, K. 1983. *Chemical sediments and geomorphology: precipitates and residua in the near-surface environment*. London, Academic Press, p.93-131.
- GRAETSCH, H. 1994. Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. In: HEANEY, P.J.; PREWITT, C.T.; GIBBS, G.V. (eds). 1994. *Silica. Physical behaviour, geochemistry and materials applications*. Michigan, Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy*, **29**, p.209-232.
- GRIM, R.E. 1953. *Clay mineralogy*. New York, McGraw-Hill, 384p.
- GUO, L. & RIDING, R. 1998. Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, **45**:163-180.

GÜVEN, N. 1988. Smectites. In: BAILEY, S.W. (ed), *Hydrous phyllosilicates (exclusive of micas)*. Reviews in Mineralogy 19, p.497-559.

HARLAND, W.B.; ARMSTRONG, R.L.; COX, A.V.; CRAIG, L.E.; SMITH, A.G.; SMITH, D.G. 1989. *A geologic time scale*. Cambridge, Cambridge University Press, 263p.

HASUI, Y. 1975. Geologia da Folha São Roque. *Bol. IG*, 6:157-183.

HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do Pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 6(3):182-200.

HASUI, Y. & PONÇANO, W.L. 1978. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife. *Anais*. Recife, SBG, v.1, p.368-381.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5:257-266.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICH, C.A. 1978. As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife. *Anais*. Recife, SBG, 6:2423-2437.

HESEL, M.H.R.; AIRES, J.R.; SPADINI, A.R.; AZAMBUJA FILHO, N.C.; BERGQVIST, L.P.; MEDEIROS, R.A. 1993. História geológica da Bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 3, Rio de Janeiro. *Boletim de Resumos e Breves Comunicações*. Rio de Janeiro, SBG, p.18-19.

HORBACH, R.; KUCK, L.; MARIMON, R.G.; MOREIRA, H.L.; FUCK, G.F.; MOREIRA, M.L.O.; MARIMON, M.P.C.; PIRES, J.L.; VIVIAN, O.; ALMEIDA e MARINHO, D.A.; TEIXEIRA, W. 1986. Geologia. In: MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. 1986. *Projeto Radambrasil, Levantamento de Recursos Minerais, Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim*. vol.33, p.27-304.

HOSTERMAN, J.W. 1960. Geology of the clay deposits in parts of Washington and Idaho. In: *NATIONAL CONFERENCE OF CLAYS AND CLAY MINERALS*, 7, Washington, 1960. Proceedings..., p.285-292.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - IPT. 1983. Estudos geológico-tectônicos na Bacia de resende (RJ) e sedimentos terciários da área de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro, SP). *Relatório 17.737*, 2v., São Paulo.

IRION, G. & MÜLLER, G. 1968. Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany. In: Muller, G. & Friedman, G.M. (eds) *Recent developments in carbonate sedimentology in central Europe*. New York, Springer-Verlag, p.157-171.

JULIANI, C. 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da Cidade de São Paulo, SP*. São Paulo, 803p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

KALLIOKOSKI, J. 1974. Pyrite framboid: animal, vegetable, or mineral? *Geology*, 2:26-27.

KING, L.C. 1956. A geomorfologia do Brasil oriental. *Rev. Bras. Geol.*, 18(2):147-265.

KLAPPA, C.F. 1983. A process-response model for the formation of pedogenic calcretes. In: WILSON, R.C.L. 1983. Residual deposits. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 11:185-195.

KLEIN, V.C. 1992. *O vulcão alcalino de Nova Iguaçu (Estado do Rio de Janeiro): controle estrutural e processo de erupção*. Rio de Janeiro, 107p. (Tese apresentada a Universidade Federal do Rio de Janeiro).

KLEIN, V.C. & RODRIGUES FRANCISCO, B.H. 1981. A formação de bolas de areia na Bacia Calcária de São José de Itaboraí, Rio de Janeiro. *An. Acad. Bras. Ci.*, **53**(1):143- .

KLEIN, V.C. & VALENÇA, J.G. 1984. Estruturas almofadadas em derrame ankaramítico na Bacia de São José de Itaboraí, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG,

KRAUSKOPF, K.B. 1967. *Introduction to geochemistry*. New York, McGraw-Hill, 721p.

KLUG, H.P. & ALEXANDER, L.E. 1974. *X-ray diffraction procedures*. Wiley, New York, 966p.

LAMPLUGH, G.H. 1902. Calcrete. *Geological Magazine*, 9:75p.

LAUAR, C.R.M. 1988. *Paleomagnetismo e correlações com idades radiométricas: alguns exmplos*. São Paulo, 29p. (Seminário apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

LEINZ, V. 1938. Os calcários de São José, Niiterói, Estado do Rio. *Min. Metal.*, **3**:153-155.

LIMA, M.R. & AMADOR, E.S. 1985. Análise palinológica de sedimentos da Formação Resende, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: Coletânea de trabalhos paleontológicos, Brasília, DNPM. *Série Geologia*, 27, *Seção Paleontologia e Estratigrafia*, 2, p.371-378.

LIMA, M.R. & CUNHA, F.L.S. 1986. Análise palinológica de um nível linhítico da Bacia de São José de Itaboraí, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *An. Acad. Bras. Ci.*, **58**(4):579-588.

LIMA, M.R. & ANGULO, R.J. 1990. Descoberta de microflora em um nível linhítico da Formação Alexandra, Terciário do Estado do Paraná, Brasil. *An. Acad. Bras. Ci.*, **62**(4):357-371.

LIMA, M.R. & MELO, M.S. 1994. Palinologia de depósitos rudáceos da região da Itatiaia, Bacia de Resende - RJ. *Geonomos*, **2**(1):12-21.

LIMA, M.R.; SALARD-CHEBOLDIAEFF, M.; SUGUIO, K. 1985a. Étude palynologique de la Formation Tremembé, Tertiaire du Bassin de Taubaté (État de São Paulo, Brésil), d'après les échantillons du sondage n° 42 du CNP. In: Coletânea de trabalhos paleontológicos, Brasília, DNPM. *Série Geologia*, 27, *Seção Paleontologia e Estratigrafia*, 2, p.379-393.

LIMA, M.R.; SUGUIO, K.; VESPUCCI, J.B.O. 1985b. Estudo palinológico de uma camada de linhito da Formação Caçapava. Bacia de Taubaté, Terciário do Estado de São Paulo, Brasil. *An. Acad. Bras. Ci.*, **57**:183-197.

LIMA, M.R.; RICCOMINI, C.; SOUZA, P.A. 1994. Palinologia de folhelhos do Gráben de Casa de Pedra, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 27(39/2):485-504.

LOVE, L.G. 1967. Early diagenetic iron sulphide in recent sediments of the Wash England. *Sedimentology*, **9**:327-352.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F. 1983. Geologia. In: MINISTÉRIO

DAS MINAS E ENERGIA. 1983. *Projeto Radambrasil, Levantamento de Recursos Minerais, Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória*. vol.32, p.27-304.

MACHETTE, M.N. 1985. Calcic soils of the south-western United States. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 203, 21p.

MAGALHÃES, J. 1948. Sobre a ocorrência de vegetal fóssil na Fazenda São José, Município de Guaxindiba, RJ. *Miner. Metalurgia*, 75:194.

MAGALHÃES, J. 1950. Sobre a ocorrência de *Acrocarpus santosi* sp. nov., no Eoceno Inferior de São José de Itaboraí (Estado do Rio de Janeiro). *Rev. Científica*, ano I, nº 1, p.42-43.

MANCINI, F. 1995. *Estratigrafia e aspectos da tectônica deformadora da Formação Pindamonhangaba, Bacia de Taubaté, SP*. São Paulo, 107p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

MARQUES, A. 1990. Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 4(3):221-340.

MARSHAL, L.G. 1985. Geochronology and land-mammal biochronology of transamerican faunal interchange. In: *The Great American Interchange*, New York, Plenum Press, p.50-85.

MARTONNE, E. 1943. Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. *Rev. Bras. Geogr.*, 5(4):523-550.

MAURY, C.J. 1929. Novas coleções paleontológicas do Serviço Geológico do Brasil. *Serv. Geol. Mineralógico*, Bol. 33, 23p.

MAURY, C.J. 1935. New genera and new species of fossil terrestrial mollusca from Brazil. *Amer. Mus. Novit.*, nº 764, 5p.

MAWE, J. 1812. *Travels in the interior of Brazil, particularly in the gold and diamond districts, by authority of the Prince Regent of Portugal*. London, Patternoster-Row, 368p.

MELO, M.S. 1990. *A Formação Pariquêra-Açu e depósitos relacionados: sedimentação, tectônica e geomorfogênese*. São Paulo, 211p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M. 1986. Tectônica e sedimentação na área das bacias de São Paulo e Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. *Anais*. Goiânia, SBG, v.1, p.321-336.

MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.; COIMBRA, A.M. 1985a. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 15:193-201.

MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; ALMEIDA, F.F.M.; HASUY, Y. 1985b. Sedimentação e tectônica da Bacia de Resende - RJ. *An. Acad. Bras. Ci.*, 57:467-479.

MENEZES, S.O. & CURVELLO, W.S. 1973. Oolitos de Itaboraí, RJ. *An. Acad. Bras. Ci.*, 45(2):245-252.

MEZZALIRA, S. 1946. *Australorbis itaboraiensis*, n. sp. *Rev. Inst. Geogr. Geol.*, ano IV, nº 2, p.158-160.

- MEZZALIRA, S. 1962. Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no Estado de São Paulo. *O IGG*, 15:73-94.
- MEZZALIRA, S. 1989. Os fósseis do Estado de São Paulo. *IGG, Série Pesquisa*, 155p.
- MILLOT, G. 1970. *Geology of clays*. Springer-Verlag, New York, 425p.
- MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ S.A. 1989. *Mapa geológico do Estado do Paraná*. Brasília, DNPM. Escala 1:650.000.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS Jr., R.C. 1997. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University, New York, 377p.
- MORAES, M.C.; GABAS, S.G.; MELO, M.S.; FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. 1991. Sedimentologia dos depósitos cenozóicos continentais do baixo vale do Rio Ribeira do Iguape, SP. *Rev. IG*, 12(1/2):39-53.
- MORAES REGO, L.F. 1933. *As formações cenozóicas de São Paulo*. São Paulo, Esc. Polit. S. Paulo (Anuário), 2:231-267.
- MORBIDELLI, L.; GOMES, C.B.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.M.; RUBERTI, E.; TRAVERSA, G. 1995. Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil. *Earth Science Reviews*, 39:135-168.
- NETTERBERG, F. 1980. Geology of southern African calcretes. I. Terminology, description, macrofeatures and classification. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, 83:255-283.
- NETTO, A.S.T.; FILHO, J.R.W.; FEIJÓ, F.J. 1994. Bacias de Jacuípe, Camamu e Almada. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 8(1):173-183.
- NICOT, B.N.F. & VISCONTI, Y.S. 1959. Algumas observações sobre a plasticidade e resistência de argilas nacionais. *Cerâmica*, 5:18-29.
- O'BRIEN, N.R. & SLATT, R.M. 1990. *Argillaceous rock atlas*. New York, Springer-Verlag, 141p.
- OJEDA, H.A. & FUGITA, A.M. 1974. Bacia Sergipe/Alagoas. Geologia regional e perspectivas petrolíferas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, SBG, v.1, p.137-158.
- PAIVA NETTO, J.E. & NASCIMENTO, A.C. 1956. Argilas bentoníticas no terciário do Vale do Paraíba. *Bol. SBG*, 5:5-15.
- PALMA, J.M.C. & BRITO, I.M. 1974. Paleontologia e estratigrafia da Bacia de São José de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. *An. Acad. Bras. Ci.*, 46(3/4):383-406.
- PAQUET, H. 1970. Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. *Mém. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr.*, 30:212p.
- PAULA COUTO, C. 1949. Novas observações sobre a paleontologia e geologia do depósito calcáreo de São José de Itaboraí. DNPM/DGM, *Notas Preliminares e Estudos*, 49, 13p.
- PAULA COUTO, C. 1952a. Fossil mammals from the beginning of the Cenozoic in Brazil. Marsupialia. Polydolopidae and Borhyaenidae. *Amer. Mus. Novit.*, nº 1559, 27p.

PAULA COUTO, C. 1952b. Fossil mammals from the beginning of the Cenozoic in Brazil. Marsupialia. Didelphidae. *Ibidem.*, nº 1567, 26p.

PAULA COUTO, C. 1952c. Fossil mammals from the beginning of the Cenozoic in Brazil. Notoungulata. *Ibidem.*, nº 1568, 16p.

PAULA COUTO, C. 1952d. Fossil mammals from the beginning of the Cenozoic in Brazil. Condylarthra, Litopterna, Xenungulata and Astrapotheria. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 99, art. 6, p.355-394.

PÉDRO, G. 1963. Contribution a l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. (Thèses présentées a la Faculté des sciences de L'Université de Paris). Paris, 344p.

PÉDRO, G. 1979. Caractérisation générale des processus de l'altération hydrolytique. Base des méthodes géochimique et thermodynamique. *Science du Sol. Bull. A. F. E. S.*, 2-3:93-105.

PÉDRO, G. 1981. Les grands traits de l'évolution cristalochimique des minéraux au cours de l'altération superficielle des roches. *Rediconti Soc. It. Min. Petrol.*, 37:633-666.

PENDALL, E.G.; HARDER, J.W.; TRUMBORE, S.E.; CHADWICK, O.A. 1994. Isotopic approach to soil carbonate dynamics and implications for paleoclimatic interpretations. *Quaternary Research*, 42:60-71.

PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. 1983. *Geologia do Brasil*. São Paulo, EDUSP, 631p.

PISSIS, A. 1842a. Considérations générales sur les terrains du Brésil. *bulletin de la Société Géologique de France*, 13:282-290, Paris.

PISSIS, A. 1842b. Mémoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulèvements qui, à diverses époques, ont change le relief de cette contres. *Compte Rendus de la Académie des Sciences*, 14:353-413, Paris.

POMEROL, C. 1982. *The Cenozoic Era. Tertiary and Quaternary*. Chichester, Ellis Horwood, 272p.

PRICE, L.I. & CAMPOS, D.A. 1970. Fósseis pleistocênicos no Município de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. *Soc. Bras. Geol., Núcleo Centro-Oeste, Bol. Esp.*, 1, p.308.

PRICE, L.I. & PAULA COUTO, C. 1946. Vertebrados fósseis do Eoceno Inferior de Itaboraí. *Notas Preliminares e Estudos, DNPM/DGM*, 31, 2p.

QUADE, J.; CERLING, T.E.; BOWMAN, J.R. 1989. Systematic variations in the carbon and oxygen isotopic composition of pedogenic carbonate along elevation transects in the southern Great Basin, United States. *Geological society of America Bulletin*, 101:464-475.

RABENHORST, M.C. & WILDING, L.P. 1986. Pedogenesis on the Edwards Plateau, Texas. III. New model for the formation of petrocalcic horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:693-699.

REHEIS, M.C. 1987. Gypsic doils on the Kane Alluvial Fans, Big Horn County, Wyoming. *USGS Bull.*, 1590-C, 39p.

RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo, 256p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

RICCOMINI, C. & COIMBRA, A.M. 1992. Geologia da bacia sedimentar. In: NEGRO JR., A.; FERREIRA, A.A.; ALONSO, U.R.; LUZ, P.A. (eds). 1992. *Solos da Cidade de São Paulo*. ABMS/ABEF, São Paulo, p.37-94.

RICCOMINI, C. & RODRIGUES FRANCISCO, B.H. 1992. Idade potássio-argônio do derrame de ankaramito da Bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil: implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*. São Paulo, SBG, v.2, p. 469-470.

RICCOMINI, C.; MELO, M.S.; ALMEIDA, F.F.M.; MIOTO, J.A.; HASUI, Y. 1983. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogências continentais do sudeste do brasileiro. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo. *Resumos*. São Paulo, SBG, p.23-24.

RICCOMINI, C.; MELO, M.S.; ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. 1985. Geologia da Bacia de Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. *An. Acad. bras. Ci.*, 57:518-519.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; SUGUIO, K.; MIHÁLY, P.; MATURANA, E.C. 1991. Nova unidade litoestratigráfica cenozóica da Bacia de Taubaté, SP: Formação Pindamonhangaba. *Bol. IG-USP*, 9:141-147.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M.; SANT'ANNA, L.G. 1994. Geologia e aspectos tecnológicos das argilas esmectíticas do Estado de São Paulo. In: WORKSHOP RECURSOS MINERAIS NÃO-METÁLICOS PARA O ESTADO DE SÃO PAULO, São Paulo. *Boletim*. São Paulo, SBG/NSP, p.43-50.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; SANT'ANNA, L.G.; BRANDT NETO, M.; VALARELLI, J.V. 1996. Argilominerais do paleolago Tremembé e sistemas deposicionais relacionados (Paleógeno, Riff Continental do Sudeste do Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, 26(3):167-180.

RICKARD, D.T. 1970. The origin of framboids. *Lithos*, 3:269-293.

RODEN, M.F.; MURTH, V.R.; GASPAS, J.C. 1985. Sr and Nd isotopic composition of the Jacupiranga carbonatite. *J. Geol.*, 93:212-220.

RODRIGUES FRANCISCO, B.H. & CUNHA, F.L.S. 1978. Geologia e estratigrafia da Bacia de São José, Município de Itaboraí, RJ. *An. Acad. Bras. Ci.*, 50(3):381-416.

RUELLAN, F. 1944. Evolução geomorfológica da baía de Guanabara e das regiões vizinhas. *Rev. Bras. Geogr.*, ano VI, nº 4, p.445-508.

SALOMONS, W. & MOOK, W.G. 1986. Isotope geochemistry of carbonates in the weathering zone. In: FRITZ, P. & FONTES, J.Ch. (eds), *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, v.2, p.239-269.

SALVADOR, E.D. 1994. *Análise neotectônica da região do Vale do Rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. São Paulo, 129p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

SALVADOR, E.D. & RICCOMINI, C. 1995. Neotectônica da região do Alto Estrutural de Queluz, SP-RJ, Brasil. *Rev. Bras. Geol.*, 25:151-164.

SANT'ANNA, L.G & VALARELLI, J.V. 1996. Significado paleoclimático das halloisitas da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador. *Boletim de Resumos Expandidos*. Salvador, SBG, v.1, p.230-232.

SANTOS, C.F.; GONTIJO, R.C.; ARAÚJO, M.B.; FEIJÓ, F.J. 1994. Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 8(1):185-189.

- SCHALLER, H. 1969. Revisão estratigráfica da Bacia Sergipe/Alagoas. *Bol. Téc. PETROBRÁS*, 12(1):21-86.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. 1984. *Geologia do Brasil*. Brasília, MME/DNPM, 501p.
- SIAL, A.N.; FERREIRA, V.P.; MARIANO, G.; CHAVES, N.S.; ALMEIDA, J.A.C. 1992. Isótopos de carbono e oxigênio em calcários Gramame e Maria Farinha, Pernambuco: um contribuição ao estudo da transição Cretáceo-Terciário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*. São Paulo, SBG, v.2, p.465-467.
- SMITH, A.G.; HURLEY, A.M.; BRIDEN, J.C. 1981. *Phanerozoic paleocontinental world maps*. Cambridge, Cambridge University Press, 102p.
- Soubiès, F.; MELFI, A. J.; AUTEFAGE, F. 1991. Comportamento geoquímico dos elementos terras raras nos alteritos da jazida de fosfato e titânio de Tapira (Minas Gerais, Brasil): a importância dos fosfatos. *Rev. Bras. Geoc.*, 21(1):3-16.
- SOUZA, L.A.P.; TESSLER, M.G.; GALLI, V.L. 1996. O Gráben de Cananéia. *Rev. Bras. Geol.*, 26(3):139-150.
- SOUZA SANTOS, P. 1963. Análise térmica diferencial de argilas descorantes. *Bol. Téc. PETROBRÁS*, 6(2):1170174.
- SOUZA SANTOS, P. & SANTINI, P. 1965. Ocorrências de argilas montmoriloníticas no Brasil. *Cerâmica*, 21(44):36-64.
- SUDO, T. & TAKAHASHI, H. 1955. Shapes of halloysite particles in japanese clays. In: *NATIONAL CONFERENCE OF CLAYS AND CLAY MINERALS*, 4, Pennsylvania, 1955. *Proceedings...*, p.67-79.
- SUGUIO, K. 1969. *Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba - Estado de São Paulo*. São Paulo, 106p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- SUGUIO, K. & BARBOUR, A.P. 1969. Morfologia e gênese das estruturas limoníticas dos sedimentos da Bacia de São Paulo. *An. Acad. bras. Ci.*, 41:161-180.
- TAYLOR, S.R. & McLENNAN, S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. London, Blackwell, 312p.
- TRESCASES, J.J.; FORTIN, P.; MELFI, A.; NAHON, D. 1987. Rare earths elements accumulation in lateritic weathering of Pliocene sediments, Curitiba Basin (Brazil). In: RODRÍGUEZ-CLEMENTE, R. & TARDY, Y. 1987. *Geochemistry and mineral formation in the Earth surface: proceedings of the International Meeting Geochemistry of the Earth Surface and Process of Mineral Formation: held in Granada, Spain, 16-22 march, 1986*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Centre National de la Recherche Scientifique, p.259-272.
- TIBANA, V.C.; CASTRO, J.C.; BARROCAS, S.L.S. 1984. Bacia de Itaboraí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG, v.12, p. 5309-5316.
- TURI, B. 1986. Stable isotope geochemistry of travertines. In: FRITZ, P. & FONTES, J.Ch. (eds) *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Amsterdam, Elsevier, v.2, p.207-238.

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, S.; MANTOVANI, M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **124**:333-348.

VAIL, P.R.; MITCHUM, R.M.; TODD, R.G.; WIDMIER, S.M.; THOMPSON, J.D.; SANGREE, J.B.; BUBB, J.N.; HATLELID, W.G. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, application to hydrocarbon exploration. In: Payton, C.E. (ed), *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration*, AAPG Memoir 26, p.49-212.

VELDE, B. 1995. *Origin and mineralogy of clays*. Berlin, Springer, 333p.

YAMAMOTO, I.T. 1995. *Palinologia das bacias tafrogênicas do sudeste (bacias de Taubaté, São Paulo e Resende): análise bioestratigráfica integrada e interpretação paleoambiental*. Rio Claro, 217p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).

ZANDONADI, A.R. 1972. *Estudo tecnológico de argilas nontroníticas brasileiras*. São Paulo, 137p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo).

ZANDONADI, A.R. 1974. Estudos recentes de argilas montmoriloníticas realizados no Instituto de Pesquisas tecnológicas de São Paulo. *Cerâmica*, **20**(77):77-95.

ZANDONADI, A.R.; SOUZA SANTOS, P.; LOURENÇO, O.B. 1970. Ensaio preliminares de laboratório de argilas montmoriloníticas visando a utilização industrial. *Cerâmica*, **16**(64):263-303.

WALKER, R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R. & JAMES, N.P. (eds), *Facies models - response to sea level change*, Toronto, Geol. Assoc. Canada, p.1-14.

WEAVER, C.E. 1989. *Clays, Muds, and Shales*. Elsevier, Amsterdam, 819p.

WEAVER, C.E. & POLLARD, L.D. 1973. *The chemistry of clay minerals*. Amsterdam, Elsevier. *Developments in Sedimentology*, **15**, 213p.

WELTON, J.E. 1984. *SEM Petrology Atlas*. [Methods in Exploration Series]. Tulsa, AAPG, 237p.

WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, **30**:377-392.

WRIGHT, V.P. 1982. Calcrete paleosols from the Lower Carboniferous Llanelly Formation, South Wales. *Sedim. Geol.*, **33**:1-33.

WRIGHT, V.P. & TUCKER, M.E. 1991. *Calcretes*. Oxford, Blackwell, 351p.

MAPA GEOLÓGICO DO RIFT CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL E LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS E SONDAGEM AMOSTRADOS (BACIAS DE TAUBATÉ, RESENDE E VOLTA REDONDA)

MAPA GEOLÓGICO DO RIFT CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL
E LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS E SONDAGENS AMOSTRADOS
(BACIA DE SÃO PAULO)

MAPA GEOLÓGICO DO RIFT CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL
E LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS E SONDAGENS AMOSTRADOS
(Bacia de São Paulo)

Sant'Anna, L.G. 1999. Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo)

Base Geológica: Riccomini & Coimbra 1992