FU - TAI WU

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005918

MINERAIS PESADOS DAS SEQUÊNCIAS ARENOSAS PALEOZÓICA E MESOZÓICA NO CENTRO - LESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências da Universidade de
São Paulo.

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim

SÃO PAULO

1981

ÍNDICE

	página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA.....	2
2.1. Rochas Sedimentares e Ígneas.....	2
2.1.1. Formações Itararé e Aquidauana.....	2
2.1.2. Formação Pirambôia.....	3
2.1.3. Formação Botucatu.....	4
2.1.4. Formação Serra Geral e rochas intrusivas básicas associadas.....	5
2.1.5. Formação Bauru.....	5
2.2. Embasamento Cristalino.....	6
3. MÉTODOS DE ESTUDO.....	7
3.1. Coleta de amostras no campo.....	7
3.2. Preparação das amostras no laboratório.....	7
3.2.1. Minerais pesados.....	7
3.2.2. Minerais leves.....	13
3.3. Determinação dos minerais e feições morfoscópicas.....	13
3.4. Escala de abundância dos minerais.....	14
4. ANÁLISE MINERALÓGICA.....	15
4.1. Formações Itararé e Aquidauana.....	15
4.1.1. Descrição dos minerais pesados.....	15
4.1.2. Descrição dos minerais leves.....	19
4.1.3. Variações mineralógicas.....	22
4.2. Formação Pirambôia.....	23
4.2.1. Descrição dos minerais pesados.....	23
4.2.2. Descrição dos minerais leves.....	26
4.2.3. Variações mineralógicas.....	28
4.3. Formação Botucatu.....	29
4.3.1. Descrição dos minerais pesados.....	29
4.3.2. Descrição dos minerais leves.....	31
4.3.3. Variações mineralógicas.....	32
4.4. Formação Bauru.....	34
4.4.1. Descrição dos minerais pesados.....	34
4.4.2. Variações mineralógicas.....	38
5. PROVÍNCIAS MINERALÓGICAS.....	40
5.1. Formações Itararé e Aquidauana.....	40
5.1.1. Província A.....	41

	página
5.1.2. Província B.....	41
5.1.3. Província C.....	41
5.2. Formações Pirambóia e Botucatu.....	44
5.2.1. Província A.....	44
5.2.2. Província B.....	44
5.3. Formação Bauru.....	47
5.3.1. Província A.....	47
5.3.2. Província B.....	47
6. PROVENIÊNCIA.....	50
6.1. Estabilidade mineral.....	50
6.2. Maturidade dos arenitos.....	52
6.2.1. Maturidade mineralógica.....	52
6.2.2. Maturidade textural.....	53
6.2.3. Maturidade nos vários arenitos e respectivos controles geológicos.....	53
6.3. Maturidade dos minerais pesados transparentes não micáceos.....	55
6.4. Minerais e rochas fontes.....	58
6.4.1. Assembléias de Minerais e suas rochas fontes.....	58
6.4.2. Minerais ultra-estáveis arredondados mascu- rando suas rochas fontes.....	58
6.4.3. Rochas fontes.....	61
6.4.3.1. Arcôsois e subarcôsois no topo do pacote superior e no pacote infe- rior da Formação Itararé.....	61
6.4.3.2. Quartzo-arenitos da Formação Aquidauana.....	61
6.4.3.3. Subarcôsois do pacote superior da Formação Itararé e maioria dos subarcôsois da Formação Aquidauana.....	63
6.4.3.4. Quartzo-arenitos e subarcôsois das formações Itararé e Aquidauana nas regiões de Americana e Araras.....	64
6.4.3.5. Subarcôsois e quartzo-arenitos das formações Pirambóia e Botucatu	64
6.4.3.6. Arenitos da Formação Bauru	65
7. FATORES GOVERNANDO A OCORRÊNCIA DE MINERAIS	66
7.1. Abrasão seletiva.....	66
7.2. Seleção hidráulica.....	66
7.3. Intemperismo.....	67

	página
7.4. Dissolução intra-estratal.....	68
8. CONCLUSÕES.....	69
8.1. Tipos de rochas.....	69
8.2. Províncias mineralógicas.....	69
8.3. Maturidade em arenitos.....	69
8.4. Fatores governando a ocorrência de minerais.....	70
8.5. Rochas fontes dos arenitos e suas condições deposicionais.....	70
8.5.1. Formações Itararê e Aquidauana.....	71
8.5.2. Formações Pirambôia e Botucatu.....	72
8.5.3. Formação Bauru.....	72
9. AGRADECIMENTOS	74
10. BIBLIOGRAFIA.....	75

MINERAIS PESADOS DAS SEQUÊNCIAS ARENOSAS PALEOZÓICA E MESOZÓICA NO CENTRO-LESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

1. INTRODUÇÃO

A coluna estratigráfica das seqüências paleozóica e mesozóica da Bacia do Paran no Centro-Leste do Estado de So Paulo constituda pelos grupos Tubaro, Passa Dois, So Bento e Formao Bauru. Nesta regio, os trs grupos tem sido divididos em oito formaes: Itarar, Aquidauana, Tatu, Irati, Estrada Nova, Pirambia, Botucatu e Serra Geral, sendo os arenitos bem desenvolvidos nas formaes Itarar, Aquidauana, Pirambia, Botucatu e Bauru.

Diversos trabalhos tm sido feitos em mapeamento fotogeolgico, estratigrafia, tectnica, geomorfologia e geologia econmica da faixa de ocorrncia dos arenitos dessas formaes. Estudos sobre a mineralogia desses arenitos, contudo, tm sido bastante raros. Alguns trabalhos que se ocuparam da mineralogia dessas rochas so os seguintes. *Carvalho* (1954) que apresentou dados sobre a petrografia e a origem da Formao Botucatu nas rodovias Botucatu - Conchas e Piraju - Fartura; *Amaral* (1961) que estudou a silicificao intersticial de arenitos da Srie Itarar em algumas localidades de Varnhagen; *Paraguassu* (1968) que realizou estudo sobre a sedimentologia, estruturas e silicificao da Formao Batucatu na regio de So Carlos; o trabalho desenvolvido por *Wu e Soares* (1974) nas formaes Pirambia e Botucatu mostrou que as associaes de minerais pesados, bem como as reas fontes destas formaes so diferentes e *Coimbra* (1976) que promoveu minucioso estudo sobre a provenincia dos sedimentos de Formao Bauru, a partir de anlises granulomtricas e estudos de minerais pesados.

No presente trabalho foram estudados os minerais pesados encontrados nos arenitos das formaes Itarar, Aquidauana, Pirambia, Botucatu e Bauru, no Centro-Leste do Estado de So Paulo. Alm disso, as lminas delgadas dos arenitos das formaes Itarar, Aquidauana, Pirambia e Botucatu foram tm investidas. A figura I mostra o mapa geolgico simplificado com a localizao das amostras. O objetivo de tal estudo foi determinar as associaes de minerais pesados e leves desses arenitos para utiliz-las na diferenciao gentica das diversas unidades e no conhecimento das respectivas reas fontes.

2. GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Rochas Sedimentares e Ígneas

Na área estudada as rochas sedimentares são representadas pelas formações Itararé, Aquidauana, Tatuí, Irati, Estrada Nova, Pirambóia, Botucatu e Bauru. As rochas ígneas constituem a Formação Serra Geral e as intrusivas básicas associadas. Como dito, somente cinco formações apresentam um desenvolvimento significativo de clásticos grosseiros, ou seja, Itararé, Aquidauana, Pirambóia, Botucatu e Bauru, cujas características são apresentadas a seguir.

2.1.1. Formações Itararé e Aquidauana

As formações Itararé e Aquidauana na área estudada são representadas por diamictitos, arenitos, ritmitos, siltitos, lamitos e argilitos. A espessura do Itararé no Centro-Leste do Estado de São Paulo chega a 1200 m, decrescendo no sentido nordeste.

Os diamictitos, englobando conglomerado lamítico, arenito lamítico conglomerático e conglomerado arenoso lamítico, ocorrem predominantemente na parte sudoeste da área estudada, intercalados com arenitos e sedimentos finos. Os corpos variam em forma, tendo espessuras em torno de 5 m. Alguns são maciços, polimíticos, contendo seixos estriados indicando verdadeiros tilitos; em sua maioria são levemente estratificados, contendo muitas vezes lentes de arenito amarrotadas. Os seixos atingem 30% em abundância, sendo constituídos por litologias resistentes como quartzito, metagrauwaca, metarcósio, granito, etc. Seixos estriados não são comuns. A matriz arenosa é quase sempre predominante e um diamictito com alta porcentagem de finos, isto é, partículas menores que 62 micra, é um indício seguro de que se trata de um verdadeiro tilito (Soares e Landim, 1973).

Os arenitos da Formação Itararé, de cor cinza clara a cinza acastanhada, com granulações variáveis, ocorrem predominantemente na parte sudoeste da área estudada. Esses corpos arenosos variam tanto em forma e relações com as demais litologias existentes como em dimensões. Exibem diversas estruturas sedimentares singenéticas como marcas ondulares, marcas de sola, estratificação cruzada, estratificação gradacional, etc., e estru

turas deformacionais plásticas penecontemporâneas à deposição. Texturalmente, os arenitos são imaturos a submaturos, raramente maduros.

Os sedimentos finos da Formação Itararé, incluindo siltitos, lamitos e argilitos, ocorrem predominantemente na parte sudoeste da área estudada, e apresentam-se tanto bem estratificados como maciços, ritmitos com seixos *pingados* estão presentes nesta área.

Na parte nordeste da área estudada, os sedimentos predominantes são arenitos lamíticos e siltitos arenosos, avermelhados, da Formação Aquidauana (Soares e Landim, 1973 e Fiori, 1977).

Quanto às relações entre essas rochas avermelhadas da Formação Aquidauana e os sedimentos da Formação Itararé do sudoeste da área estudada, as evidências indicam mútuas interdigitações tanto na base como no topo. Isso pode muito bem ser visto na região da Fazenda Pitanga e em Tatu, Campinas, Leme, Conchal e Mogi-Guaçu. Em todas essas seções observa-se os sedimentos avermelhados, atribuídos à Formação Aquidauana, intercalados por arenitos, diamictitos e ritmitos de cores acinzentadas.

Esta unidade assenta-se discordantemente sobre o Embasamento Cristalino e seu contato superior com Formação Tatuí é uma discordância erosiva.

A idade destas formações deve ser Carbonífero superior a Permiano inferior, (Andrade e Soares, 1971 e Soares e Landim, 1973).

Baseado na mineralogia dos pesados (figura 3), o Autor divide a Formação Itararé em dois pacotes: pacote superior e pacote inferior. O pacote inferior corresponde aproximadamente ao membro inferior e o superior aos membros médio e superior, segundo a terminologia de Soares et alii, 1977.

2.1.2. Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia na área estudada é caracterizada por arenitos de granulação média a muito fina, raramente grosseira, com intercalação de camadas de silito e folhelho. A espessura desta formação é em torno de 200 m a 260 m nas áreas da Rodovia Castelo Branco e Analândia e tende a reduzir-se para norte. Na área de Franca, a espessura não deve ultrapassar 60 m (Andrade e Soares, 1971 e Soares et alii, 1973).

Os arenitos Pirambóia são principalmente de granulometria muito fina a média, subangular a arredondada, contendo pouca argila, regularmente selecionada e maturidades textural e mineralógica submatura a matura. Estes arenitos apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada

da planar de porte pequeno a grande, tangencial na base; mais raramente estratificação cruzada acanalada. Apresentam cores amarelo-esbranquiçada e avermelhada.

Camadas de siltito e argilito ou folhelho são raras, desde milimétricas até 1m. Geralmente apresentam grãos esparsos de areia e tem cor vermelho-escura a marrom-avermelhada. São maciços ou laminados (*Soares et alli*, 1973).

O contato da Formação Pirambóia com a Formação Estrada Nova é através de uma discordância erosiva e o contato com a Formação Botucatu é gradacional.

Segundo *Soares et alli* (1973), a idade do Pirambóia fica situada entre o Triássico inferior e Jurássico superior.

2.1.3. Formação Botucatu

A Formação Botucatu na área estudada é predominantemente constituída por arenitos de granulação média a fina, com arenitos conglomeráticos na parte basal da unidade e lamitos arenosos, siltitos e arenitos lamíticos na parte superior. A espessura média é em torno de 60m, atingindo 120m na Serra de São Pedro (*Andrade e Soares*, 1971 e *Soares et alli*, 1973).

Os arenitos da Formação Botucatu são predominantemente finos a médios, sem argila, arredondados a bem arredondados, com grau de seleção regular a boa, sempre bimodais, e maturidade submatura a supermatura. A estratificação cruzada planar é predominantemente de grande porte e tangencial na base.

Os arenitos conglomeráticos e grosseiros são friáveis e argilosos. Os seixos presentes são predominantemente de quartzo e quartzito, com tamanho variável atingindo até 10 cm. Os seixos são tanto angulares como arredondados, alguns ventifactos, e os grãos de areia são sempre arredondados. Estes depósitos conglomeráticos apresentam estratificação cruzada de pequeno a médio porte (*Soares*, 1973).

Os sedimentos finos são siltitos argilosos ou arenosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos, com estratificação incipiente, plano-paralela e cruzada (*Soares*, 1973).

Esta unidade assenta-se concordantemente sobre a Formação Pirambóia. O contato com a unidade superior, isto é, os derrames basálticos, é complexo em virtude de ocorrência de interdigitamento e recorência das litologias. A idade do Botucatu deve ser Jurássico superior a Cre

táceo inferior (*Soares et alli*, 1973).

2.1.4. Formação Serra Geral e rochas intrusivas básicas associadas

A Formação Serra Geral é uma sequência vulcânica constituída de basaltos toleíticos. Na parte inferior é comum a presença de arenitos semelhantes ao Botucatu em finas camadas intercaladas nos derrames ou a inclusão de grandes línguas que refletem o interdigitamento das formações Serra Geral e Botucatu. Os conjuntos de derrames superiores apresentam grande continuidade. A espessura máxima da Formação Serra Geral na região estudada atinge 400 m na Serra de Botucatu (*Andrade e Soares*, 1971).

As formações inferiores aos derrames da Formação Serra Geral no nordeste do Estado de São Paulo sofreram grandes intrusões de diabásio, predominantemente sob a forma de sill e mais raramente sob a forma de dique. O mais extenso e espesso sill da região, em torno de 100m de espessura, é o de Borda da Mata, entre Cajuru e São Sebastião de Gramma. Grandes diques não ocorrem, mas os pequenos são frequentes (*Soares et alli*, 1973).

No diabásio que constitui o sill de Borda da Mata ocorrem texturas quase equigranulares, localmente com cristais de até mais de 1 cm, dando à rocha o aspecto de gabro. Na ramificação de Cajuru é comum a textura ofítica, o que é característica de rochas intrusivas (*Leinz*, 1949).

Estas rochas extrusivas e intrusivas básicas foram originadas num período de intenso vulcanismo basáltico de fissura, correspondendo ao Jurássico superior e Cretáceo inferior (*Amaral et alli*, 1966).

2.1.5. Formação Bauru

A Formação Bauru, posterior aos derrames basálticos do Nordeste da Bacia do Paraná, foi dividida em dois pacotes: um inferior e outro superior. O pacote inferior é constituído por fácies de arenitos finos e arenitos argilosos e o pacote superior por fácies de arenitos silteíticos, calco-conglomerados e arenitos tufáceos (*Soares e Landim*,

1976). Na área estudada, a espessura máxima é da ordem de 200 m, em Monte Alto. A partir daí, decresce para norte e sul e desaparece a leste.

Os arenitos são predominantemente médios a finos, argilosos, de cor castanho-avermelhada, raramente cinza e verde, pobremente selecionados, ricos em feldspatos e minerais ferro-magnesianos e opacos. Estes arenitos apresentam-se maciços ou com acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada acanalada de pequeno porte (*Andrade e Soares, 1971 e Soares et alli, 1973*).

Os conglomerados, com seixos de basalto, arenitos, lamitos e sílex, são maciços, cinza e castanho e pobremente selecionados (*Andrade e Soares, 1971*).

Camadas argilosas vermelhas são raras, delgadas e de pequena extensão.

O contato da Formação Bauru com a Formação Serra Geral é uma superfície de desconformidade. A idade do Bauru obtida através de dados paleontológicos é Cretáceo superior (*Andrade e Soares, 1971*).

2.2. Embasamento Cristalino

As rochas sedimentares da área estudada repousam sobre o Embasamento Cristalino de idade Pré-Cambriana, representado pelo Grupo São Roque a sudeste da área; Grupo Amparo e Grupo Pinhal (*Artur et alli, 1979*) a leste; e Grupo Araxá (*Penalva e Wernick, 1973*) a nordeste. As rochas mais comuns destes grupos são as seguintes: O Grupo São Roque é constituído por filitos, metarenitos, quartzitos e metaconglomerados; o Grupo Amparo é representado por gnaisses, quartzitos, anfíbolitos e granulitos e o Grupo Pinhal por granitóides e migmatitos; o Grupo Araxá é constituído por micaxistos, granada-anfíbolitos, anfíbolitos e quartzitos.

3. MÉTODOS DE ESTUDO

3.1. Coleta de amostras no campo

As amostras coletadas na região Centro-Leste do Estado de São Paulo compreendem principalmente arenitos e arenitos conglomeráticos e raramente siltitos arenosos e siltitos. Os tipos de amostragem efetuados foram: amostragem pontual e amostragem composta.

Foram analisadas 35 amostras pontuais coletadas nas formações Itararé (17) e Aquidauana (18), cujas localizações estão representadas na figura 1 e tabela I.

Devido à pequena quantidade de minerais pesados nas formações Pirambôia e Botucatu e à variabilidade encontrada em diferentes níveis, foram combinadas diversas amostras coletadas em uma mesma região para formar amostras compostas de 1 a 2 kg cada uma. Dessa forma, foram compostas 9 amostras, apresentadas na figura 1 e tabela I.

Na Formação Bauru, 27 amostras pontuais foram coletadas no noroeste da área estudada, sendo 7 amostras da região de Olímpia e 20 amostras da região de Taquaritinga (figura 1 e tabela I).

Além disso, com a finalidade de reconhecimento dos minerais pesados existentes nas rochas cristalinas da região, 2 amostras foram coletadas: uma de quartzito e outra de gnaiss (figura 1 e tabela I).

A amostragem teve como finalidade obter material para estudo principalmente dos minerais pesados e, secundariamente, dos minerais leves dos arenitos daquelas formações.

3.2. Preparação das amostras no laboratório

3.2.1. Minerais pesados

As amostras simples e/ou compostas foram desagregadas manualmente ou com o auxílio de almofariz e pistilo, e quarteadas com quarteador simples.

Após a desagregação e quarteamento, as amostras de 100 gramas em peso foram lavadas em peneira com abertura de 0,062 mm, visando

Tabela 1

Relação de amostras de sedimentos das formações Bauru, Botucatu, Pirambôia, Aquidauana e Itararé com especificações de procedência e natureza litológica.

Amostras	Localização	Litologia	Formação
1	Ibitu	Arenito calcífero, granulação variável, maciço, cor verde	Bauru
2a	Olímpia	Arenito fino a médio, estratificação cruzada	
2b	Olímpia	Arenito fino a muito fino, maciço	
2c	Olímpia	Arenito muito fino, calcífero, maciço	
3	Severinia	Arenito fino, estratificação cruzada	
4	Severinia	Arenito fino a muito fino, estratificação paralela e cruzada	
5	Marcondesia	Arenito muito fino a fino, argiloso, maciço	
6	Santa Adelia	Arenito muito fino, com seixos e fragmentos de osso, cor marrom	
7	Santa Adelia	Arenito fino a muito fino com fragmentos de osso, cor vermelha	
8a	Cândido Rodrigues	Lamito arenoso, maciço, cor marrom	
8b	Cândido Rodrigues	Arenito fino a médio, maciço, cor marrom	
9	Rodovia Taquaritinga para Jurupema	Arenito muito fino a médio, maciço, cor vermelha	
10	Cruzamento da Rodovia Jabuticabal-Taquaritinga	Arenito fino a médio, maciço ou estratificação cruzada	
11	Monte Alto	Arenito lamítico, maciço, cor branca	
12a	Monte Alto	Arenito fino a médio, maciço, cor vermelha	
12b	Monte Alto	Lamito arenoso, maciço, cor verde	

Continuação - Tabela 1

Amostras	Localização	Litologia	Formação
12c	Monte Alto	Arenito calcífero, maciço	Bauru
12d	Monte Alto	Arenito lamítico, maciço	
12e	Monte Alto	Arenito maciço, friável, cor cinza	
12f	Monte Alto	Arenito maciço, cor marrom	
12g	Monte Alto	Arenito maciço, friável, cor marrom	
13	Monte Alto	Arenito maciço	
14a	Monte Alto	Arenito friável, estratificação cruzada	
14b	Monte Alto	Arenito friável, maciço	
15	Rodovia Matão-Jaboticabal	Arenito fino a muito fino, maciço	
16	Rodovia Matão-Jaboticabal	Arenito médio, conglomerático, maciço, cor <u>verme</u> <u>lha</u>	
17	Fazenda Itaqueri-Matão	Arenito conglomerático, maciço, cor vermelha	Botucatu
22	Rodovia Castelo Branco (3 amostras)	Arenito bem selecionado, estratificação cruzada, cor marrom	
24	Rodovia Marechal Rondon (12 amostras)	Arenito bem selecionado, estratificação cruzada, cor marrom	
26	Serra de São Pedro (9 amostras)	Arenito bimodal, estratificação cruzada, cor marrom	
27	Analândia, Itirapina, Brotas (4 amostras)	Arenito bimodal, conglomerático, cor marrom	
28	Rodovia Ribeirão Preto a Cajuru (2 amostras)	Arenito bimodal, estratificação cruzada, cor <u>mar</u> <u>rom</u>	
30	Serra de Franca (11 amostras)	Arenito regularmente selecionado, estratificação, cruzada, cor cinza a marrom	

Continuação - Tabela 1

Amostras	Localização	Litologia	Formação
21	Rodovia Castelo Branco (12 amostras)	Arenito mal selecionado, estratificação cruzada, cor marrom	Pirambôia
23	Rodovia Marechal Rondon (14 amostras)	Arenito de seleção regular a boa, estratificação cruzada, cor marrom	
25	Rodovia Washington Luiz (9 amostras)	Arenito de seleção regular, estratificação cruzada, cor marrom	
29	Rodovia Ribeirão Preto a Cajuru (1 amostra)	Arenito de seleção regular a boa, estratificação cruzada, cor marrom	
33	Limeira	Siltito a arenito muito fino, maciço, cor arroxeada	Itararé e Aquidauana
34	Tatu	Siltito a arenito muito fino, laminado, cor cinza avermelhada	
35	Tatu	Arenito muito fino a fino, maciço, estratificação cruzada, cor marrom	
36	Rodovia Anhanguera	Arenito lamítico, ligeiramente conglomerático, maciço, cor amarela-acastanhada	
37	Rodovia Anhanguera	Lamito arenoso ligeiramente conglomerático, maciço, cor cinza clara	
38	Campinas	Arenito muito fino a grosseiro, maciço, estratificação cruzada, cor cinza a amarelo-avermelhada	
40	Rodovia Anhanguera	Arenito muito fino a grosseiro, maciço, cor cinza a cinza amarronzada	

Continuação - Tabela 1

Amostras	Localização	Litologia	Formação
42	Sumarê	Arenito lamítico, ligeiramente conglomerático, <u>ma</u> ciço, cor cinza-amarelado	Itararê e Aquidauana
43	Rodovia Piracicaba-Sumarê	Arenito muito fino, maciço, cor cinza a marrom	
44	Rodovia Piracicaba-Sumarê	Arenito muito fino, maciço, cor cinza-amarelada	
45	Rodovia Piracicaba-Sumarê	Lamito arenoso, maciço, cor cinza-amarronzada	
46	Rodovia Piracicaba-Sumarê	Lamito arenoso, maciço a estratificação cruzada, cor cinza amarelada	
48	Itu	Lamito arenoso, maciço, cor marrom amarelada	
49	Rodovia Tietê-Itu	Arenito lamítico, ligeiramente conglomerático, <u>ma</u> ciço, cor cinza amarronzada	
50	Rodovia Tietê-Itu	Arenito lamítico, ligeiramente conglomerático, <u>ma</u> ciço, cor cinza	
51	Rodovia Tietê-Itu	Arenito muito fino a fino, maciço e estratifica- ção cruzada, cor cinza a cinza-amarronzada	
52	Rodovia Tietê-Itu	Arenito lamítico, ligeiramente conglomerático, <u>ma</u> ciço, cor cinza a cinza-amarronzada	
53-55	Rodovia Tietê-Itu	Arenito muito fino a grosseiro, maciço e estrati- ficação cruzada, cor cinza a marrom	
56	Fazenda Pitanga	Arenito ligeiramente conglomerático, estratifica- ção cruzada, cor cinza a marrom	
57	Fazenda Pitanga	Arenito fino a muito grosseiro, maciço a estratifi- cação cruzada, cor cinza a marrom	
58	Fazenda Pitanga	Arenito fino a grosseiro, maciço a estratificação cruzada, cor cinza	

Continuação - Tabela 1

Amostras	Localização	Litologia	Formação
59	Araras	Arenito fino a muito fino, estratificação cruzada, cor cinza-avermelhada	Itararé e Aquidauana
60	Araras	Arenito fino a muito fino, estratificação cruzada, cor cinza-amarronzada	
61	Rodovia Araras-Mogi Mirim	Arenito muito fino a grosseiro, maciço, cor vermelha	
62	Rodovia Araras-Mogi Mirim	Siltito arenoso, maciço, cor cinza-avermelhada	
63	Rodovia Araras-Mogi Mirim	Arenito muito fino a grosseiro, maciço, cor vermelha	
65	Aguaí	Arenito muito fino a grosseiro, maciço, cor vermelha	
66	Casa Branca	Arenito fino a médio, lamítico, maciço, cor vermelha	
67	Casa Branca	Arenito fino a médio, lamítico, maciço, cor vermelha	
68	Rodovia Casa Branca-Mococa	Arenito lamítico, ligeiramente conglomerático, maciço, cor vermelha	
69	Rodovia Cajuru-Mococa	Arenito muito fino, lamítico, maciço, cor cinza a vermelha	
70	Rodovia Cajuru-Mococa	Arenito médio, lamítico, maciço, cor vermelha	
71	Rodovia Cajuru-Mococa	Arenito médio, lamítico, maciço, cor vermelha	
72	Rodovia Mogi Mirim-Itapira	Quartzito	Pré-Cambriano
73	São João da Boa Vista	Gnaiss intemperizado	Indiviso

à eliminação das frações silte e argilosa. Posteriormente à secagem, as amostras foram peneiradas a fim de se obter a fração 0,125 - 0,062mm que foi a escolhida para o estudo mineralógico.

A separação entre a fração leve e a pesada foi efetuada em funis apropriados, utilizando-se bromofórmio de densidade $d = 2,89$.

A última operação consistiu na montagem dos minerais em lâminas, utilizando-se bálsamo de Canadá de índice de refração $n = 1,54$.

3.2.2. Minerais leves

Os processos detalhados para a preparação de lâminas delgadas tem sido amplamente publicados, tornando-se desnecessária sua apresentação.

Devido à friabilidade dos arenitos estudados, foi necessário um tratamento prévio para endurecê-los. Uma pequena fatia de cada amostra foi fervida em um recipiente contendo bálsamo do Canadá tendo sido adicionada pequena quantidade de goma-laca, durante cinco a dez minutos. Algumas amostras mais argilosas foram submetidas duas ou mais vezes a este processo, no sentido de colar seguramente os grãos de areia para a confecção das lâminas delgadas. Estas, finalmente, foram feitas pelos processos convencionais.

3.3. Determinação dos minerais e feições morfoscópicas

No estudo da composição mineralógica, foram analisados tanto os minerais pesados como os minerais leves dos arenitos coletados.

Para os minerais pesados, foram estudadas as características mineralógicas e contados um mínimo de 100 grãos por amostra. Após a contagem foi realizada uma varredura completa na lâmina. Para algumas amostras em que apareceram dúvidas na identificação dos minerais, os índices de refração dos mesmos foram determinados pelo método da imersão. Além da determinação dos minerais, foi feita a análise morfoscópica como arredondamento e hábito cristalino, e calculados os índices de maturidade mineralógica.

Para minerais leves, foram identificados e contados 100 grãos por lâmina, e verificadas as características de matriz e cimento. Em seguida, foram medidos o tamanho médio dos grãos e os valores correspon

dentes ao arredondamento, seguido do cálculo do grau de seleção, maturidade textural e índice de maturidade mineralógica.

3.4. Escala de abundância dos minerais

Os primeiros pesquisadores no assunto se limitaram a organizar tabelas de ordem de abundância dos minerais usando termos descritivos, tais como *predominante*, *raro*, *abundante*, etc. Outros estabeleceram *escalas de abundância* arranjando os termos descritivos e escalas numéricas em sequência de crescente raridade ou abundância (*Boswell*, 1923 e *Milner*, 1962). *Evans*, *Hayman* e *Majeed* (1933) usaram uma série de números de frequência que fornece uma relação logarítmica à frequência real dada pela contagem. Modificadas essas várias escalas, é aqui sugerida uma escala de abundância arranjando os termos descritivos em relação a porcentagem real, como é mostrado a seguir:

Termos	Porcentagem
Ultra predominante	40-80
Predominante	20-40
Muito Abundante	10-20
Abundante	5 -10
Muito freqüente	3-5
Freqüente	2-3
Escasso	1-2
Muito escasso	0,5-1
Raro	0,25-0,5
Traço	< 0,25

Durante o presente trabalho fez-se uso desta classificação.

4. ANÁLISE MINERALÓGICA

Este trabalho não pretendeu realizar estudos exaustivos de minerais pesados e leves, incluindo fragmentos de rocha encontrados nos arenitos amostrados, por serem eles por demais conhecidos. Em alguns casos não foi identificada a espécie, apenas o grupo ou família. Por outro lado, as frequências, características mineralógicas e feições morfooscópicas dos minerais pesados e leves dos arenitos nas formações Itararé e Aquidauana são discutidas totalmente, nas outras formações são descritas somente as frequências, as feições morfooscópicas dos minerais e parcialmente suas características mineralógicas. Fotomicrografias dos minerais pesados não são apresentadas, pois *Coimbra* (1976) mostra fotomicrografias detalhadas de minerais pesados na Formação Bauru.

4.1. Formações Itararé e Aquidauana

4.1.1. Descrição dos minerais pesados

Os minerais pesados das formações Itararé e Aquidauana são: zircão, turmalina, rutilo, granada, apatita, estauroлита, monazita, muscovita, cianita, epidoto, titanita, magnetita e ilmanita, leucóxênio e limonita. A tabela II mostra o conteúdo em minerais pesados em porcentagem média nos arenitos e em alguns siltitos pertencentes às duas formações; o arredondamento e o hábito cristalino dos minerais, e o peso desses minerais em arenitos.

A descrição mineralógica, ordenada por estabilidade mineralógica, é a seguinte:

Zircão - Mineral abundante a muito abundante nas duas formações; apresenta-se incolor e raramente púrpura, marrom e rosa; grãos predominantemente bem arredondados a arredondados e subordinadamente subangulares a subarredondados, comumente globulares, elípticos e alongados; os grãos euédricos e subédricos são comuns, com ou sem zoneamento; muitos grãos contêm inclusões orientadas ou não, sólidas ou fluídas; por vezes mostram mar

Tabela II

Composição percentual, arredondamento e hábito cristalino dos minerais pesados das formações Itararé e Aquidauana

Formação		Itararé										Aquidauana																												
		Superior					Inferior																																	
Localização		Rod. Tietê-Itu		Rod. Pirac.-Sumaré e Rod. Anhanguera		Fazenda Pitanga			Rod. Tietê-Itu		Sumaré		Rod. Pirac.-Americana Limeira-Tatu		Itu		Rodovia Anhanguera		Araras		Rod. Araras-M. Mirim		Aguaí		Casa Branca		Rod. Casa Branca- Mococa		Rod. Cajuru-Mococa											
Amostras		55, 54, 53, 51, 51		46		44, 43, 35, 36, 3			56, 57			58			50, 49		42		45, 33, 34		48		38		40		59, 60		61, 62, 63		65		66, 67		68		69		70, 71	
Minerais pesados		%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito			
Zircão		29,6	ar-b-ar (s.a-s.ar) eh-sh	14,4	b.ar-ar (s.a-s.ar) ah-eh	16,2	b.ar-ar (s.a-s.ar) ah-eh	18,2	s.ar-s.a (ar-b.ar) sh-ah(eh)	43,7	a.r-b.ar (s.a-s.ar) ah-eh	3,6	s.ar-b.ar sh-eh(ah)	13,5	s.a-s.ar (a.r-b.ar) eh-sh	14,4	ar-b.ar (s.a) ah-eh	11,6	s.a-s.ar (ar-b.ar) sh-ah(eh)	15,2	s.a-s.ar (ar-b.ar) eh-ah	6,3	s.a-ar (b.ar) ah-eh	6,0	b.ar-ar (s.ar-s.a) ah-sh (eh)	6,6	b.ar-ar (s.ar-s.a) sh-eh (ah)	7,2	s.a-s.ar (ar-b.ar) eh-ah	11,3	b.ar-s.a ah-eh	25,4	s.a-s.ar (ar-b.ar) eh-ah	30,4	ar-b.ar (s.ar-s.a) ah-sh (eh)	15,2	s.a-s.ar (ar-b.ar) eh-ah			
Turmalina	cast. amarelado- cast. escuro	1,8		1,3		15,4		8,0		25,2		5,3		10,3		1,9		1,1		5,0		1,7		2,0		0,8			1,4		1,8		0,9		0,4					
	rosa acastanhado		s.a-s-ar (ar-b.ar) eh-sh		s.a-s-ar (ar) eh-sh(ah)	0,8	s.a-ar (b.ar) sh-ah(eh)	0,5	s.a-ar (b.ar) ah-sh(eh)	1,6	ar-b.ar (s.a-s.ar) ah-sh(eh)		s.a-s-ar (ar-b.ar) eh-sh(ah)	0,6	s.ar-ar (b.ar) sh-eh		ar-b.ar (s.a-s.ar) sh-ah		s.a-s-ar (ar-b.ar) sh(ah)	0,5	s.a-s-ar (ar-b.ar) ah-eh		s.ar-s.a (ar-b.ar) ah-sh (eh)	0,2	b.ar-ar (s.a-s.ar) ah-sh (eh)	t	b.ar-ar (s.ar-s.a) ah-sh (eh)		ar-b.ar (s.ar-s.a) ah-eh	t	s.a-s-ar eh-ah		s.ar-b.ar ah-eh		s.a-s-ar (ar-b.ar) eh-ah					
	azul acastanhado- verde acastanhado					0,9		1,2				0,2								3,2				0,3		0,3									t					
	azul pálido- azul	1,2		1,3		4,1		1,0		5,8		1,3		2,2		0,5		1,1		0,5		0,6		0,5		0,2			0,4		t		2,2		0,2					
Rutilo		2,4	ar-s-ar ah-sh	1,9	s.ar-ar ah-sh	3,1	s.a-ar ah-sh	2,5	s.a-s-ar ah-sh	4,2	a-s-a sh	0,6	s.a-ar sh(eh)	2,2	s.ar-ar sh	t	s.ar-ar sh	0,3	s.a-s-ar ah-sh	1,4	s.a-s-ar sh	0,6	s.ar-ar ah-sh	1,6	s.a-s-ar ah-sh	1,2	ar-s-ar ah-sh	1,8	ar-b.ar ah	1,8	s.ar-b.ar ah-sh(eh)	1,2	s.a-s-ar (ar) sh	2,2	s.ar-ar ah-sh	2,0	s.ar-ar ah-sh			
Granada		t	s.a-s-ar ah	1,9	s.a-s-ar ah	t	s.a-s-ar ah-sh	8,7	s.a-s.ar (b.ar) ah-sh	23,0	s.a-s.ar (ar) ah-sh	0,8	s.a-s-ar ah-sh																											
Apatita				8,1	b.a-ar ah-sh			6,3	ar-b.ar (s.a-s.ar) sh-ah	2,7	s.ar-s.a (b.ar) ah-sh(eh)	t	s.a-s-ar ah-sh	0,3	a ah																									
Estaurolita					0,5	a-s-a ah		1,3	a ah	1,1	a-s-a ah	0,3	a-s-a ah	0,3	s.a-a ah	1,4	a-s-a ah	0,3	a-s-a ah	1,1	a ah	t	s.a ah			2,2	s.a-s-ar ah	t	a-s-a ah	t	a ah	0,8	s.a-a ah							
Monazita					0,5	ar-b.ar ah-sh				t	s.a-ar ah-sh			t	s.a-ar ah-sh		t	s.ar-ar ah	0,9	b.ar-ar (s.a) ah-sh	1,0	b.ar-ar (s.a) ah-sh	t	b.ar-ar ah	t	s.ar-ar ah-sh	t	ar-b.ar ah		0,6	s.ar-ar ah	1,7	ar-b.ar ah	0,7	s.ar-ar ah					
Muscovita				1,3	s.ar ah	t	ar-b.ar ah	t	ar ah	0,5	s.ar-ar ah					0,2	s.a ah	0,3	ar ah			t	s.ar-ar ah	t	s.a ah	t	s.a ah													
Cianita		t	s.a sh		t	ar-s.ar ah																				t	s.a ah													
Epidoto						0,9	s.a-s-ar ah					t	ar-b.ar ah	2,0	s.a-s-ar ah-sh	t	ar-b.ar ah-sh			t	ar-b.ar ah-sh																			
Titanita		0,3	s.a-s-ar sh-ah	t	s.ar ah-sh	t	s.a-s-ar ah-sh	t	s.a-s-ar ah-sh		t	s.a ah-eh			t	s.a-ar ah-sh	t	s.ar-ar (ar-b.ar) ah-sh		t	s.ar-ar ah-sh	t	s.ar-ar (ar-b.ar) ah-sh		t	s.a-ar ah-sh(eh)	t	ar-s.ar sh-eh				t	s.a-s-ar ah-sh	t	s.ar-ar ah-sh	0,4	s.a eh-sh			
Magnetita e Ilmenita		15,4	s.a-s-ar (ar) ah-sh	28,5	s.a-s-ar (b.ar) ah-sh	20,8	s.a-s-ar (b.ar) ah-sh(eh)	4,4	s.a-s-ar (b.ar) sh-ah	3,4	s.ar-s.a (b.ar) sh-eh	38,6	s.a-s-ar (ar) ah-eh	13,0	s.a-s-ar (ar) ah-sh (eh)	64,2	s.a-s-ar (b.ar) ah-eh	72,4	s.a-s-ar (ar-b.ar) sh-ah(eh)	59,4	s.a-s-ar (ar-b.ar) ah-sh	84,4	s.a-s-ar (ar-b.ar) ah-sh (eh)	61,8	b.ar-ar (s.a-s.ar) ah-sh(eh)	78,5	s.a-s-ar (ar-b.ar) eh-sh (ah)	70,2	s.a-s-ar (ar-b.ar) ah-sh	81,3	s.a-s-ar sh-eh(ah)	69,6	s.a-s-ar sh-ah	55,0	ar-b.ar (s.a-s.ar) ah-sh (eh)	74,5	s.a-s-ar (b.ar) eh-ah			
Leucóxênio		48,9	s.a-s-ar ah	34,6	s.a-s-ar (ar) ah	37,5	s.a-s-ar (b.ar) ah	48,1	s.a-s-ar (b.ar) ah	5,0	ar-s-ar ah	20,3	s.a-s-ar ah	9,0	ar-s.ar ah	12,3	s.a-ar (b.ar) ah	8,0	ar-b.ar ah	9,6	s.ar-ar ah	4,7	s.ar-ar (b.ar) ah	26,1	ar-s.ar ah	9,7	s.ar-b.ar ah	12,6	a-s-a (ar-b.ar) ah	1,0	s.ar-ar ah	1,2	ar ah	7,0	s.a-ar ah	5,4	s.a-b.ar ah			
Limonia		0,2	a-s-a ah	6,2	s.a-s-ar ah	0,2	s.a-ar ah	t	s.a ah			1,5	s.a ah			5,4	s.ar-s.a ah	2,2	s.a-s-ar ah	2,7	s.ar ah	0,3	s.a ah	0,5	s.a-s-ar ah	2,3	s.ar-ar ah	8,1	s.a ah	0,4	s.ar-s.a ah	t	s.a-s-ar ah	0,4	a-s-a ah	0,4	s.a ah			
Pesados em arenitos (%)		0,16		0,37		0,28		0,59		0,23		0,89		0,21		0,28		0,16		0,98		1,78		0,43		0,99		0,35		0,16		1,14		0,11		0,31				

Notas: t = traço; a = angular; s.a = subangular; s.ar 2 subarredondado; ar = arredondado; b.ar = bem arredondado; ah = anédrico; sh = subédrico; eh = euédrico; (....) = pouco.

cas de corrosão.

- Turmalina** - Em geral, é um constituinte freqüente a muito abundante na Formação Itararé e traço a escasso na Formação Aquidauana; baseado na cor, seus grãos podem ser divididos em quatro variedades: castanho-amarelada a castanho-escura, rosa-acastanhada, azul - verde acastanhada e azul a azul-pálida; turmalina castanho-amarelada a castanho-escura é dominante em todas as localidades amostradas destas formações e a azul a azul-pálida é comum; as outras variedades, cuja soma é baixa, estão presentes em algumas amostras; os grãos são subangulares a subarredondados e subordinadamente arredondados, com formas fragmentadas, prismáticas e poucas ovaladas; são cristais com raras inclusões esparsas de pontos opacos ou bolhas e lamelas incolores; alguns grãos mostram fraturamento serrilhado e marcas de corrosão.
- Rutilo** - Constituinte raro a freqüente; sua cor é vermelha com bordas escuras; ocorre com formas alongadas e equidimensionais, subangulares a subarredondados; exhibe por vezes formas prismáticas com terminações piramidais, grãos serrilhados e geminações em joelho, com ou sem estrias longitudinais e oblíquas.
- Granada** - Componente muito variado, abundante a muito abundante em algumas amostras da Formação Itararé e traço ou ausente em outras; os grãos são subangulares a subarredondados, marcados por fratura conchoidal e padrões superficiais retangulares e reticulado (dissolução superficial); são predominantemente incolores ou rosa, raramente mostrando cores marrom-rosadas e marrom-esverdeadas; inclusões são escassas.
- Apatita** - Outro componente variável, freqüente a abundante em algumas amostras da Formação Itararé e traço ou ausente em outras; suas inclusões orientadas, sinal de alongamento, bi-refringência baixa, etc., permitem sua rápida identificação: os grãos são predominantemente arredondados a bem arredondados, anédricos a subédricos, raramente subangulares e euédricos.

Estauroлита - Constituinte traço a muito escasso nas duas formações; a

cor é amarelo-pálida a amarelo-ouro; os grãos são angulares e subangulares, marcados por fratura subconchoidal: alguns grãos mostram fraturamento serrilhado altamente característico; as inclusões são numerosas.

- Monazita - Mineral traço a muito escasso em todas as amostras; apresenta-se predominantemente arredondado até esférico, com cor amarela e alto relevo.
- Muscovita - Em geral, é um mineral traço a muito escasso; seus grãos são tabulares, angulares e arredondados, caracterizados pelo relevo baixo, cor de interferência cinza-esverdeada e figura biaxial negativa.
- Cianita - Constituinte traço, ocorrendo somente em poucas amostras; seus grãos são incolores, alongados, marcados por figuras retangulares controladas pela clivagem.
- Epidoto - Mineral traço a raro nos arenitos estudados, os grãos são subangulares a bem arredondados, sempre em tonalidades verde-amareladas, pleocrônicas; as vezes apresenta-se a variedade rosa-amarronzada (zoisita).
- Titanita - Mineral traço em todas as amostras; seus grãos são incolores e marrom-amarelados, subangulares a arredondados, equidimensionais ou ovalados; grãos euédricos em forma adamantina, são as vezes encontrados; muitos grãos não chegam a mostrar extinção completa em luz branca devido à alta dispersão.
- Magnetita e ilmenita - Minerais opacos abundante a predominante nas duas formações; relativamente, sua quantidade na Formação Aquidaua é maior que na Formação Itararé; a maioria dos grãos são subarredondados a subangulares, com hábito cristalino anédrico, subédrico e euédrico; os grãos arredondados a bem arredondados são raros; normalmente a magnetita aparece incrustada por limonita, sendo identificada por sua forma cristalina e a ilmenita contém manchas de leucoxênio; no caso de grãos arredondados é difícil distinguir a ilmenita da magnetita.

Leucoxênio - Mineral predominante na Formação Itararé e muito freqüente na Formação Aquidauana; os grãos são agregados microcristalinos, brancos a branco-amarronzados em luz refletida, subangulares a arredondados; em algumas amostras da Formação Itararé, altera-se para anatásio que possui formas cristalinas euédricas e subédricas com tamanhos variáveis.

Limonita - Traço a muito freqüente nas duas Formações; apresenta grãos subangulares a arredondados, marrom a vermelho-amarronzados em luz refletida.

4.1.2. Descrição dos minerais leves

Os arenitos das formações Itararé e Aquidauana, de um modo geral, são friáveis mostrando granulometria variável, com cores acinzentadas na Formação Itararé e avermelhadas na Formação Aquidauana. Os componentes principais dos arenitos são quartzo, feldspato e fragmentos de rochas. A matriz é predominantemente argilo-micácea e clorítica, com quantidade considerável de silte em ambas unidades estratigráficas. O cimento é ferruginoso com menor quantidade de calcita e sílica. O tamanho médio, seleção, arredondamento, maturidade textural, maturidade mineralógica e nome das rochas são apresentados na tabela III. A descrição é a seguinte:

Quartzo - É o ultra predominante componente mineralógico dos arenitos, muitas vezes apresentando início de corrosão e superfícies - côncavas ou serrilhadas, as vezes substituído por sericita ou calcita; recrescimento secundário ao longo de um núcleo de quartzo é escasso; também é comum a deposição de uma fina película de óxido-hidróxidos de ferro que faz parte do material cimentante das rochas; segundo as inclusões e extinções e outras características, o quartzo foi classificado em três variedades, descritas a seguir em ordem de abundância:

a. quartzo comum - contendo poucos vacúolos e microlitos, extinção aproximadamente reta ou levemente ondulante e forma aproximadamente equidimensional.

Composição mineralógica e características texturais dos arenitos das formações Itararé e Aquidauana

Localização	Anos tras	Tamanhos dos grãos	Sele ção	Arredon damento	Maturidade textural	Composição mineralógica							MAT. MIN. %	Nome das rochas
						Quart zo	Felds pato	FR		Mica	Matriz	Cimento		
								S	R					
Rod. Tietê-Itu	54	med.-mf.	r	sa-sar-ar	sm	88	12	-	-	tr. arg.	fe		88	subarcôso
Rod. Tietê-Itu	52	g.-med.	mā	sa-sar-ar	imat	80	20	-	tr.	tr. arg.	fe		80	subarcôso
Rod. Tietê-Itu	51	f.-m.f.	r	sa-sar	sm	81	18	-	-	1 arg.	fe		81	subarcôso
Rod. Tietê-Itu	50	g.-m.f.	mā	sa-sar	imat	70	27	1	2	-	st.arg.	cal.fe	71	arcôso
Itu	48*	m.f.-st.	r	a-sa	sm	87	11	tr.	-	2 arg.	fe.si		87	subarcôso
Rod. Americ.-Pirac. 46		m.f.-st.	r	sa-a	sm	89	10	-	-	1 arg.	fe		89	subarcôso
Rod. Americ.-Pirac. 45*		m.f.-st.	r-b	a-sa	sm-mat	92	5	-	-	3 arg.	fe		92	subarcôso
Rod. Americ.-Pirac. 44		f.-st.	r	sa-sar	sm-mat	91	5	1	-	3 arg.	fe.mg		92	subarcôso
Sumaré	42	g.-st.	mā	a-sa-sar	imat	73	22	3	1	1 st.arg.	fe.si		76	subarcôso
Tatu	35	f.-mf.	r	sa-sar	sm	93	4	1	-	2 arg.	fe		94	subarcôso
Rod. Anhanguera	36	med.-m.f.	mā	sa-sar	imat	82	16	1	-	1 st.arg.	fe		83	subarcôso
Rod. Anhanguera	40*	med.-m.f.	r	sa-sar	imat-sm	89	10	-	-	1 st.arg.	fe-si		89	subarcôso
Campinas	38*	g.-f.	mā	sa-sar	imat	95	4	-	1	-	st.arg.	fe-si	97	quartzarenito
Fazenda Pitanga	57	m.g.-f.	mā	sa-ar	imat	71	25	-	4	-	st.arg.	fe	71	arcôso
Fazenda Pitanga	58	g.-f.	r-b	sa-sar-ar	sm	81	18	-	-	1 arg.	fe		81	subarcôso
Araras	59*	f.-m.f.	r-b	sa-sar-ar	sm-mat	98	2	-	-	tr. arg.	fe.si		98	quartzarenito
Rod. Araras-M. Mirim 61*		g.-m.f.	mā	sa-sar	imat	97	2	-	-	1 arg.	fe.si		97	quartzarenito
Mogi-Mirim	63*	g.-m.f.	mā	sa-sar	imat	100	-	-	-	-	st.arg.	fe	100	quartzarenito
Aguaí	65*	g.-m.f.	mā	a-sar	imat	93	5	1	1	tr. st.arg.	fe		94	subarcôso
Casa Branca	67*	med.-f.	r-mā	sa-sar	imat	100	-	-	-	-	st.arg.	fe	100	quartzarenito
Rod. Casa Branca-	68a*	g.-med.	mā	sa-a	imat	84	14	2	tr.	tr. st.arg.	fe		86	subarcôso
-Mococa	68b*	med.-st.	mā	sa-sar	sm-imat	83	15	1	tr.	1 st.arg.	fe		84	subarcôso
Rod. Cajuru-Mococa	69*	m.f.	r	sar	sm	87	11	-	-	2 arg.	fe		87	subarcôso
Rod. Cajuru-Mococa	70*	med.	mā	sa-sar	imat	95	2	1	tr.	2 arg.	fe.si		96	quartzarenito
Rod. Cajuru-Mococa	71*	med.	mā	sa-sar	imat	90	8	tr.	1	1 st.arg.	fe		90	subarcôso

Notas: * = Amostras da Formação Aquidauana; st. = silte; m.f. = muito fino; f = fino; med. = médio; g. = grosseiro; m.g. = muito grosseiro; b = boa; r = regular; a = angular; sa = subangular; sar = subarredondado; ar = arredondado; imat = imaturo; sm = submaturo; mat = maturo; FR = fragmentos de rochas; S = sílex; O = outros; - = não encontrado; tr. = traço; arg. = argila; fe = limonita e/ou hematita; si = sílica; MAT.MIN. = maturidade mineralógica; cal. = calcita; mg. = manganita.

b. quartzo metamórfico - caracterizado por inclusões mine
rais, extinção fortemente ondulante, tanto nos grãos sim
ples como nos compostos.

c. quartzo retrabalhado - muito raro, bem arredondado, com
recrescimento e abrasão.

Feldspato - Representados por feldspato potássico, plagioclásio e fragmentos de granitos e/ou gnaisses; sua soma, variando de 0 - 26%, decresce de sudoeste para nordeste da área estudada; seu tamanho médio é equivalente ao do quartzo, as vezes maior; consiste geralmente em ortoclásio, microclínio e plagioclásio alcalino, intemperizados parcialmente e alterados em sericita e caolim, às vezes substituídos pela calcita e/ou sericita.

Fragmentos de rochas - Traço a muito freqüente nos arenitos, inclui fragmentos de rochas metamórficas, como xistos e filitos, e rochas sedimentares, como silex e poucos arenitos muito finos; os grãos de silex são subangulosos a arredondados, também mostrando feições de corrosão.

Mica - Os grandes fragmentos (> 20 micra) são principalmente de muscovita, biotita e alguma clorita, concentrados nos arenitos finos a muito finos; as formas são angulosas, alongadas, às vezes curvadas.

Cimento - Consiste predominantemente de limonita e/ou hematita, com pouca calcita, sílica e manganita; preenche parcialmente ou levemente os vazios entre os grãos maiores; argilo-minerais recristalizados através de processos diagenéticos servem também como cimento.

Matriz - Em geral supera 5%, sendo constituída por argilo-minerais e silte; os minerais de argila são principalmente micáceos e cloríticos; grãos detríticos e microcristalinos de origem diagenética são igualmente encontrados, estes últimos constituídos por uma mistura de vários minerais de argila.

Segundo a classificação de *Polk* (1968), os arenitos da For

mação Itararé, situados no sudoeste da área estudada, são classificados principalmente como subarcósios a arcósios e os da Formação Aquidauana, no nordeste da área estudada, como quartzoarenitos e subarcósios (tabela III).

4.1.3. Variações mineralógicas

As suites dos minerais pesados das formações Itararé e Aquidauana na área estudada são muito variáveis, tanto vertical como lateralmente, como mostrado na tabela II. Suas variações mais notáveis são as seguintes:

Formação Itararé:

O zircão é um mineral predominantemente arredondado a bem arredondado, cuja quantidade é maior no pacote superior da Formação Itararé que em seu pacote inferior. Turmalinas são principalmente subangulares a arredondados, com maior frequência nas regiões de Piracicaba, Fazenda Pitanga, Limeira e Sumaré, tanto no pacote superior como inferior da unidade. A distribuição de rutilo é mais ou menos homogênea.

Os minerais meta-estáveis, granada e apatita, são encontrados no topo do pacote superior da Formação, nas proximidades de Piracicaba e Fazenda Pitanga e os minerais granada, apatita e estauroлита são encontrados no pacote inferior, nas proximidades de Porto Feliz e Sumaré. Os grãos de apatita são arredondados a bem arredondados, os de granada são subangulares a subarredondados, e os de estauroлита angulares. O epidoto, subangular a subarredondado, somente aparece na Fazenda Pitanga.

Os minerais opacos são subangulares a subarredondados e seus hábitos cristalinos são anédricos a euédricos, no caso da magnetita e anédrico, no caso do leucoxênio e da limonita. A quantidade de leucoxênio é predominantemente maior que a de magnetita e ilmenita no pacote superior e menor no pacote inferior da Formação.

Formação Aquidauana:

O zircão é um mineral subangular a bem arredondado nesta

formação. Sua distribuição é variável, concentrando-se nas regiões de Casa Branca, Mococa e onde as formações Aquidauana e Itararé são interdigitadas. Turmalina e rutilo são minerais subangulares a bem arredondados. Ocorrem em pequena quantidade e espalhados homogeneamente nas regiões estudadas.

Os minerais meta-estáveis, estaurolita e monazita, apresentam-se em quantidades consideráveis em quase todas as localidades. Nas regiões de Itu, Campinas e Tatu, aparece epidoto arredondado a bem arredondado.

Os minerais opacos são principalmente subangulares a subarredondados e subordinadamente arredondados. Magnetita e ilmenita predominam em todas as amostras desta Formação, sendo a quantidade de leucoxênio relativamente baixa. A limonita, cuja quantidade é maior que na Formação Itararé, é freqüente em quase todas as amostras.

4.2. Formação Pirambóia

4.2.1. Descrição dos minerais pesados

Os minerais pesados da Formação Pirambóia são: zircão, turmalina, rutilo, granada, estaurolita, muscovita, cianita, epidoto, biotita, sillimanita, magnetita e ilmenita, hematita e limonita. A tabela IV mostra o conteúdo percentual em minerais pesados presente nos arenitos desta Formação, o arredondamento e o hábito cristalino e peso desses minerais nos arenitos. As características mineralógicas foram anteriormente descritas para as formações Itararé e Aquidauana(P.15). As frequências e feições morfoscópicas dos minerais pesados são as seguintes:

Zircão - Constituinte muito escasso dos minerais pesados não opacos , mas abundante na amostra 29, chegando a 11%, seus grãos principalmente incolores são bem desgastados, comumente alongados, elípticos e globulares; os grãos euédricos ou subédricos são raros, com ou sem zoneamento; as variedades púrpura e marrom as vezes estão presentes.

Turmalina - Constituinte freqüente a abundante nesta Formação; seus grãos

Localização		Rod. Castelo Branco		Rod. Mal. Rondon		Rod. Washington Luiz		Rod. Ribeirão Preto-Cajuru	
Amostras		21		23		25		29	
Minerais pesados		%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito
NÃO OPACOS	Zircão	2	ar-b.ar ah	2	ar ah-sh	1	ar-b.ar ah	11	ar-b.ar (s.ar) ah.(sh)
	cast.amarelado- cast. escuro	8		11		11		2	
	Turmalina rosa acastanhado	1	b.ar-ar ah.(sh e eh)	1	ar-b.ar (s.a) ah.(sh e eh)		ar-b.ar ah-sh		s.ar-ar (b.ar) ah-sh(eh)
	azul acastanhado- verde acastanhado							1	
	azul pálido- azul	1		3		4		1	
	Rutilo							3	ar-s.ar (s.a) ah-sh
	Granada	41	ar-b.ar (s.a) ah	5	ar-b.ar ah				
	Estauronita	18	a-s.a (ar) ah(sh)	34	a-s.a (ar) ah-sh	30	s.ar-ar (b.ar) ah-sh	2	a-s.a ah
	Muscovita	t	ar-b.ar ah	2	b.ar-ar ah	2	ar-b.ar ah	t	a ah
	Cianita			t	s.a-s.ar ah	t	s.a sh		
	Epidoto	2	ar-b.ar ah	8	ar-s.ar ah			t	s.a-s.ar ah
	Biotita			t	ar ah	t	ar ah		
	Sillimanita			t	a ah	t	a ah		
OPACOS	Magnetita e Ilmenita	20*	s.ar-a sh-ah(eh)	25	b.ar-ar (s.a) ah (eh)	29	ar-b.ar (a) ah-sh (eh)	71	s.ar-ar (b.ar) ah-sh
	Leucoxênio	7	ar ah	6	ar ah	6	ar-b.ar (s.a) ah	4	ar-b.ar ah
	Hematita	t	a ah	3	a ah	16	a-s.a ah	1	s.a ah
	Limonita	t	a ah	—				4	s.a ah
Pesados em arenitos (%)		0,15		0,06		0,12		0,025	

Notas: t = traço; * ilmenita dominante; a = angular; s.a = subangular; s.ar = subarredondado; ar = arredondado; b.ar = bem arredondado; ah = anédrica; sh = subédrica; eh = euédrica; (...) = pouco.

podem ser divididos em quatro variedades como nas formações Itararê e Aquidauana; turmalinas castanho-amareladas a castanho-escuras são abundantes na maioria das localidades amostradas desta formação, enquanto as outras variedades aparecem em porcentagem muito baixa; os grãos são arredondados a bem arredondados, equidimensionais ou ovalados e a forma prismática é rara.

- Rutilo - Constituinte accidental, aparecendo somente na amostra 29; os grãos são arredondados a bem arredondados, anédricos a subédricos.
- Granada - Componente muito variado nesta Formação chegando a atingir 5 e 41% nas amostras 23 e 21, respectivamente; as granadas incolores e em parte as variedades rosa e marrom, arredondadas a bem arredondadas, são encontradas nesta Formação.
- Estauroлита - Constituinte muito abundante no conjunto dos não opacos, mas escasso na amostra 29; os grãos são angulares, subangulares e subarredondados a arredondados.
- Muscovita - Mineral traço a muito escasso; os grãos são arredondados a bem arredondados e anédricos.
- Cianita - Constituinte traço; seus grãos são subangulares a subarredondados e anédricos a subédricos.
- Epidoto - Mineral encontrado nas amostras 21, 23 e 29, em porcentagem de até 8%; os grãos são subarredondados a bem arredondados.
- Biotita - Constituinte traço; seus grãos são de cor marrom, arredondados e anédricos.
- Sillimanita - Constituinte traço; seus grãos são incolores, em pequenos prismas, marcados por partição longitudinal e estrias paralelas ao comprimento.
- Magnetita e Ilmenita - Minerais opacos muito abundantes na maioria das amostras.

tras, mas predominantemente na amostra 29; apresentam grãos bem arredondados a arredondados, subangulares a angulares e hábito cristalino anédrico, subédrico e euédrico, respectivamente; alguns grãos de magnetita foram alterados para hematita, com a tendência para a cor vermelha nas bordas; a quantidade de magnetita de um modo geral é maior que a de ilmenita.

Leucoxênio - Mineral opaco freqüente a muito freqüente; os grãos são arredondados a bem arredondados e anédricos.

Hematita - Mineral opaco, traço a escasso, abundante apenas na amostra 25; os grãos são angulares e arredondados, pretos com bordos vermelhos ou translúcidos; partes dos grãos são alteradas a limonita.

Limonita - Mineral traço a freqüente; apresenta grãos angulares a subangulares, marrom e preto-amarronzados em luz refletida; ocorrem em agregados pulverulentos e, em parte, cimentando pequenos grãos de quartzo.

4.2.2. Descrição dos minerais leves

Os arenitos da Formação Pirambôia de um modo geral são friáveis, de cores cinza-clara a cinza-amarelada e vermelha a vermelho-acastanhada, de granulometria fina a média, predominantemente. Os componentes principais dos arenitos são quartzo, feldspato, fragmentos das rochas, cimento e matriz. Seu tamanho médio, arredondamento, grau de seleção, maturidade e nome das rochas são apresentados na tabela V. A descrição é a seguinte:

Quartzo - Ultra predominante componente mineralógico dos arenitos; muitas vezes apresenta com sinais de recrescimento, exibindo, em seus contornos, sílica cristalina precipitada com a mesma orientação ótica do mineral; também é comum a deposição de uma fina película de coloração vermelha na superfície dos grãos, constituída de óxido-hidróxidos de ferro que algumas vezes faz parte do material cimentante da rocha; foi classificado em três variedades principais: quartzo comum, quartzo meta

Tabela V

Composição mineralógica e características texturais dos arenitos da Formação Pirambóia

Localização	Amostras	Tamanhos dos grãos	Seleção	Arredondamento	Maturidade textural	Composições mineralógicas							MAT. MIN. %	Nome das rochas
						Quartzo	Feldspato	FR S 0		Mica	Matriz	Cimento		
Rod. Castelo Branco	21	m.f.-g.	r-mã	a-sar	imat-sm	85	15	-	-	-	-	si.	85	Subarcósio
Rod. Marechal Rondon	23	f.-g.	r-b	sar-ar	sm-mat	93	7	-	-	tr.	tr.	fe.si.	93	Subarcósio
Rod. Washington Luiz	25	m.f.-g.	r	sa-sar	sm	92	5	2	-	1	tr.	fe.si.	94	Subarcósio
Rod. Ribeirão Preto-Cajuru	29	m.f.-med.	r-b	sa-ar	sm-mat	88	11	tr.	-	1	tr.	fe.si.	88	Subarcósio

Notas: m.f. = muito fino; f. = fino; med. = médio; g. = grosseiro; r = regular; b = boa; a = angular; sa = subangular; sar = subarredondado; ar = arredondado; imat = imaturo; sm = submaturo; mat = maturo; FR = fragmentos de rochas; S = sílex; 0 = outros; - = não encontrado; tr = traço; si = sílica; fe = limonita e/ou hematita; MAT.MIN. = maturidade mineralógica.

mórfico e quartzo retrabalhado.

Feldspato - Constituinte muito freqüente a abundante, cujo tamanho é me
nor que o do quartzo; consiste geralmente em ortoclásio, mi
croclínio e plagioclásios alcalinos, intemperizados parcialmente
te e alterados a caolim e/ou sericita.

Fragmentos de rochas - Partículas finas a médias, bem arredondadas, prin
cipalmente sillex; suas quantidades são traço a escasso.

Mica - Principalmente representada pela muscovita e sericita, em quanti
dade menor que 1%.

Cimento - Consiste predominantemente de sílica recristalizada (quartzo
microcristalino) e pouca limonita e/ou hematita na superf
cie dos grãos; a sílica preenche parcialmente os vazios en
tre os grãos.

Matriz - Encontra-se apenas traço de matriz siltica.

Segundo a classificação de *Folk* (1968), os arenitos da For
mação Pirambóia são classificados como subarcócio.

4.2.3. Variações Mineralógicas

O estudo detalhado da suite de minerais pesados da Formação
Pirambóia mostrou algumas variações na distribuição horizontal na faixa
de afloramentos (tabela IV).

Os minerais ultra-estáveis, como zircão e turmalina, são do
minantemente arredondados a bem arredondados. Suas distribuições são simi
lares nas regiões da Rodovia Castelo Branco, Rodovia Marechal Rondon e
Rodovia Washington Luiz (parte sudoeste), mas com alta freqüência de zir
cão e presença de rutilo na Rodovia Ribeirão Preto - Cajuru (parte nordes
te), sendo porém baixa a freqüência de turmalina.

Os minerais meta-estáveis não opacos, como granada, estauroli
ta, muscovita, cianita, epidoto e biotita, são angulares a bem arredon
ados.

dados, concentrados na parte sudoeste. Sillimanita, instável e angular é também presente na parte sudoeste.

Os minerais opacos, como magnetita e ilmenita, leucoxênio, hematita e limonita são angulares a bem arredondados. O conteúdo de magnetita e ilmenita aumenta de sudoeste para nordeste e de leucoxênio diminuiu. A quantidade relativa de hematita decresce da parte central para ambos os lados, enquanto a de limonita se concentra na parte nordeste.

4.3. Formação Botucatu

4.3.1. Descrição dos minerais pesados

Os minerais pesados encontrados na Formação Botucatu são os mesmos da Formação Pirambóia. A tabela VI apresenta o conteúdo percentual em minerais pesados nos arenitos, o arredondamento e hábito cristalino e o peso desses minerais em arenitos. As características mineralógicas foram descritas nas formações Itararé e Aquidauana (p.15) e Pirambóia (p.23). As frequências e feições morfoscópicas dos minerais pesados são as seguintes:

- Zircão - Constituinte traço a frequente; os grãos são bem arredondados a arredondados e predominantemente anédricos.
- Turmalina - Constituinte escasso a muito abundante, variando de 2 a 28%; os grãos são bem arredondados e arredondados, equidimensionais ou ovalados e raramente prismáticos.
- Rutilo - Constituinte traço, aparecendo somente na amostra 27; os grãos são angulosos, prismáticos, com ou sem estriações oblíquas.
- Granada - Componente traço a escasso; os grãos são quase incolores, angulares a subangulares e anédricos a subédricos.
- Estauroлита - Constituinte traço a muito abundante; sua quantidade atinge 27% e sua frequência é bastante variável de uma amostra para outra; os grãos são angulares a arredondados, anédricos e

Composição percentual, arredondamento e hábito cristalino dos minerais pesados da Formação Botucatu

Localização		Rod.Castelo Branco		Rod.Mal.Rondon		Serra de São Pedro		Analândia-Brotas		Rod.Rib.Preto-Cajuru		Serra de Franca	
Amostras		22		24		26		27		28		30	
Minerais pesados		%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito		Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito
Zircão		1	b.ar-ar ah	t	ar sh			2	ar-b.ar ah	4	ar-b.ar(s.ar) ah (sh)	2	ar-b.ar ah (sh)
	cast.amarelado-cast. escuro	2	b.ar (ar) ah (sh)	10	b.ar-ar (s.a) ah (sh)	5	ar-b.ar ah-sh	24	ar-b.ar ah-sh	2	b.ar-ar ah (sh)	16	b.ar-ar ah-sh(eh)
	rosa acastanhado			1				1				1	
	azul acastanhado-verde acastanhado			3						2		6	
	azul pálido-azul					1		3		1			
Nã opacos	Rutilo							t	a eh				
	Granada			2	a-s.a ah			3	a-s.a ah-sh			t	ar ah
	Estauroлита	2	a-(sar) ah (sh)	23	a (ar-s.ar) ah	3	ar-s.a ah	27	ar-s.a ah-sh	t	a ah	5	a-s.a ah (sh)
	Muscovita			2	ar-sar ah							t	ar-b.ar ah
	Cianita	t	a-s.a ah	t	a ah							t	s.a sh-ah
	Epidoto			t	s.a-s.ar ah								
	Biotita			2	ar-s.a ah								
Opacos	Sillimanita			t	a ah							t	s.a sh
	Magnetita e Ilmenita	87	s.a-s.ar e ar-b.ar eh-sh e ah	44	ar-b.ar (a-s.a) ah-eh	56	a-ar eh-ah	25*	ar-b.ar ah (eh)	84	s.a-s.ar(b.ar) sh-eh (ah)	63	ar-b.ar(s.a) ah(sh)
	Leucoxênio	2	ar ah	5	ar ah	4	ar ah	15	ar-b.ar ah	3	ar-s.a ah	2	ar ah
	Hematita	6	ar ah	3	a ah	5	a ah					1	a ah
	Limonita			5	a-s.a ah	26	a-s.a ah			3	s.a ah	3	ar-b.ar ah
Pesados em arenitos (%)		0,57		0,45		0,12		0,06		0,01		0,1	

Notas: t = traço; * ilmenita dominante; a = angular; s.a = subangular; s.ar = subarredondado; ar = arredondado; b.ar = bem arredondado; ah = anédrico; sh = subédrico; eh = euédrico; (....) = pouco.

raramente subêdricos.

- Muscovita - Mineral traço a muito escasso; seus grãos são arredondados a subarredondados.
- Cianita - Mineral traço; seus grãos são alongados, angulares a subangulares e anêdricos a subêdricos.
- Epidoto - Mineral somente encontrado na amostra 24; os grãos são subangulares a subarredondados.
- Biotita - Mineral muito escasso, apenas aparecendo na amostra 24; os grãos são arredondados a subangulares.
- Sillimanita - Mineral traço e somente aparece na amostra 24; seus grãos são alongados e angulares.
- Magnetita e Ilmenita - Minerais opacos muito abundantes a predominantes, variando de 25 a 87%; os grãos são subangulares a subarredondados e euêdricos a subêdricos nas amostras 22, 26 e 28, e arredondados a bem arredondados, anêdricos, nas outras amostras.
- Leucoxênio - Mineral escasso a abundante entre os opacos, variando entre 2 - 15%; os grãos são arredondados a bem arredondados e anêdricos.
- Hematita - Mineral traço a muito freqüente; os grãos são angulares e arredondados e anêdricos.
- Limonita - Mineral traço a freqüente, sendo abundante na amostra 26; apresenta grãos arredondados a bem arredondados na amostra 30 e angulares a subangulares nas outras.

Devido à similaridade entre os arenitos da Formação Botucatu e Formação Pirambóia, torna-se difícil distinguir um do outro pelas características litológicas observadas no campo. De acordo com exame microscópico, as características dos arenitos da Formação Botucatu estão resumidas na tabela VII:

1. As características dos grãos minerais de quartzo, feldspato e fragmentos da rocha são iguais às dos arenitos da Formação Pirambóia.
2. A distribuição granulométrica dos arenitos, em geral, é bimodal nas frações de areia média a grosseira e muito fina a fina.
3. Os grãos são predominantemente arredondados a bem arredondados na fração grosseira, e subangulares a arredondados na fração fina.
4. O feldspato é um componente traço a muito freqüente, ocorrendo em menor quantidade que nos arenitos da Formação Pirambóia.
5. O cimento consiste de limonita e/ou hematita nas superfícies dos grãos e não é encontrada matriz.

Segundo a classificação de Folk (1968), os arenitos de Formação Botucatu são classificados principalmente como quartzo-arenito e subordinadamente como subarcócio.

4.3.3. Variações mineralógicas

A suite dos minerais pesados da Formação Botucatu mostrou variações na distribuição horizontal na faixa de afloramento (tabela VI).

Os minerais ultra-estáveis, como zircão e turmalina, são bem arredondados a arredondados. As turmalinas apresentam altas frequências nas amostras coletadas nas Rodovias Marechal Rondon e Analândia - Brotas e na Serra de Franca, e baixas frequências nas Rodovias Castelo Branco e Ribeirão Preto - Cajuru e na Serra de São Pedro; o zircão é raro a freqüente, distribuído na maioria das localidades de coleta.

Os minerais meta-estáveis não opacos como granada, estaurolita, muscovita, cianita, epidoto, biotita e sillimanita são angulares a

Tabela VII

Composição mineralógica e características texturais dos arenitos da Formação Botucatu

Localização	Amostras	Tamanhos dos grãos	Seleção	Arredondamento	Maturidade textural	Composições mineralógicas							MAT. MIN. %	Nome das rochas
						Quartzo	Feldspato	FR S O		Mica	Matriz	Cimento		
Rod. Marechal Rondon	24	m.f.-med.	b	ar-bar	mat-spm	96	4	tr.	-	tr.	-	fe.	96	Quartzarenito
Serra de São Pedro	26	med.-g. m.f.-f.	r	ar-bar sa-ar	sm-mat	93	7	tr.	-	tr.	-	fe.	93	Subarcósio
Analândia Itirapina Brotas	27	med.-g. m.f.-f.	r	ar-bar sar-ar	sm-mat	97	3	tr.	-	-	-	fe.	97	Quartzarenito
Rod. Ribeirão Petro-Cajuru	28	f.-mf. med.-g.	r-b	ar-bar	mat-spm	99	tr.	tr.	-	tr.	-	fe.	99	Quartzarenito
Serra de Franca	30	m.f.-g.	r	sar-ar	sm	94	5	tr.	-	l	tr.	si.	94	Subarcósio

Notas: m.f. = muito fino; f. = fino; med. = médio; g. = grosseiro; b = boa; r = regular; sa = subangular; sar = subarredondado; ar = arredondado; bar = bem arredondado; sm = submaturo; mat = maturo; spm = supermaturo; FR = fragmentos de rochas; S = sílex; O = outros; tr. = traço; - = não encontrado; fe = limonita e/ou hematita; si = sílica; MAT. MIN. = maturidade mineralógica.

arredondados. A estaurolita se concentra nas áreas das Rodovias Marechal Rondon e Analândia - Brotas amostradas. Outros minerais são acidentais.

Os minerais opacos como magnetita e ilmenita, leucoxênio, hematita e limonita são angulares a bem arredondados. As frequências de magnetita e ilmenita são bem elevadas na maioria das localidades exceto nas Rodovias Marechal Rondon e Analândia - Brotas. A quantidade de leucoxênio é escassa a muito freqüente na maioria das regiões, mas abundante na Rodovia Analândia - Brotas. A hematita e a limonita são acidentais.

4.4. Formação Bauru

4.4.1. Descrição dos minerais pesados

Os minerais pesados da Formação Bauru são zircão, turmalina, rutilo, granada, apatita, estaurolita, monazita, muscovita, cianita, epidoto, biotita, titanita, perowskita, anfibólito, piroxênio, sillimanita, magnetita e ilmenita, leucoxênio, hematita e limonita. A tabela VIII mostra a composição percentual dos minerais pesados nos arenitos da Formação Bauru, o arredondamento e hábito cristalino dos minerais e o peso dos mesmos em arenitos. As frequências e feições morfoscópicas dos minerais pesados e suas características mineralógicas que não foram descritas nas outras formações, são as seguintes:

- Zircão** - Mineral raro a muito freqüente na Formação Bauru, variando de 0,7 a 7,0%; ocorre em todas as amostras desta Formação; apresenta-se incolor e mais raramente amarelo-claro, púrpura e rosa; seus grãos são bem arredondados, com formas globulares, elípticas e alongadas, com ou sem zonação; os grãos possuindo hábitos prismáticos simples alongados, terminados ou não em pirâmides, são raros.
- Turmalina** - Constituinte freqüente a abundante nesta Formação, variando de 2 a 20%; seus grãos podem ser divididos em quatro variedades; turmalinas castanho-amareladas e castanho-escura são escassas a abundantes em quase todas as amostras na Formação Bauru; as azul-verde acastanhadas são traço a muito escasso; as turmalinas rosa-acastanhadas, geralmente traço em quase toda

Tabela VIII

Composição percentual, arredondamento e hábito cristalino dos minerais pesados da Formação Bauru

FORMAÇÃO BAURU		PACOTE SUPERIOR				BASE DO PACOTE SUPERIOR				TOPO DO PACOTE INFERIOR				PACOTE INFERIOR			
Localização		Olimpia		Taquaritinga		Olimpia		Taquaritinga		Taquaritinga		Olimpia		Taquaritinga			
Amostras		2b, 2c, 3, 4		12g, 9, 13, 14b, 14a, 15, 16, 12e, 12f		1, 5, 6		7, 8b, 12d, 10, 17		8a, 12a, 12b, 12c		2a		11			
Minerais pesados		%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito	%	Arred. e hábito		
Zircão		4,3	ar-b.ar (s.ar) ah-eh	5,1	b.ar-ar ah-eh	0,7	b.ar-s.a (a) ah	7,0	b.ar-ar (s.ar-sa) ah-eh	7,0	b.ar-ar (s.ar) ah-eh	1	ar ah-sh	6	ar-s.ar sh-eh		
Turmalina	Cast. amarelado-Cast. escuro	4,0		4,7		1,3		5,2		3,8		2		12			
	Rosa acastanhado	t	s.ar-ar (s.a)	0,2	ar-s.ar	t	s.a-ar ah-sh	0,2	ar-s.a ah		s.a-ar ah-eh	2	s.ar-ar ah-sh	5	ar-s.ar sh-eh		
	Azul acastanhado-Verde acastanhado	t	ah-eh	1,2	ah-eh	1,0		1,0						3			
	Azul pálido-Azul	0,5		0,1				0,2		0,7							
Rutilo		0,3	s.ar-b.ar ah	t	s.ar-b.ar ah	t	ar ah	0,2	ar-b.ar ah	t	ar-b.ar ah-sh	1	ar ah-sh	t	s.ar sh		
Granada		9,5	a-s.ar (ar-b.ar) ah	4,5	s.ar-a (ar-b.ar) ah	7,3	s.a-ar ah	10,0	s.ar-a ah	4,8	a-ar ah	3	ar ah	21	ar-s.a ah		
Apatita		1,2	ar-b.ar ah	0,2	b.ar-ar ah	t	s.a-b.ar ah-sh	0,6	ar-b.ar ah-sh	0,5	ar-b.ar ah						
Estauroлита		0,7	a-ar ah	1,2	s.a-ar ah	t	a-s.a ah	0,4	s.a-ar (b.ar) ah	0,5	a-ar ah	1	ar-a ah	t	s.a-s.ar ah		
Não opacos	Monazita	t	ar-b.ar ah					t	ar-b.ar ah	t	ar-b.ar ah						
	Muscovita	t	ar ah	t	ar-s.ar ah	0,3	a-s.a ah			t	s.a-s.ar ah			t	ar ah		
	Cianita	1,0	s.a-s.ar sh-eh	0,3	s.a-ar ah-sh	0,3	a-s.ar sh	0,2	s.a-s.ar ah	0,5	s.a-s.ar ah-sh	t	s.a sh	t	s.a-s.ar ah		
	Epidoto	0,8	ar-b.ar ah	0,1	b.ar-ar ah	t	ar-b.ar ah	1,0	s.ar-b.ar ah	1,8	ar-b.ar ah(s.ar)	2	ar-b.ar ah	5	ar-b.ar ah		
	Biotita			t	ar-s.ar ah			t	ar ah	t	ar ah						
	Titanita	0,2	ar-s.ar ah-sh					t	ar ah-sh	t	s.ar ah-sh	t	ar ah	t	s.ar ah		
	Perovskita	t	s.ar-s.a ah-sh			t	ar ah	t	s.ar ah-sh	t	s.ar-b.ar ah-sh	t	ar ah				
	Anfibólio	6,5	a-s.ar (ar) ah	0,7	a-s.ar ah	2,6	a-s.ar ah	2,0	a-s.a ah	2,3	a-s.a ah	3	a-s.a ah				
	Piroxênio	9,8	a-ar ah	0,8	ar-s.ar ah-sh	70,7	a-ar ah	4,0	a-ar ah	5,0	a ah	1	ar ah	t	ar ah		
	Sillimanita					t	a ah										
Opacos	Magnetita e Ilmenita	47,0	ar-s.a ah-eh	62,8	ar-s.a ah-eh	9,7	s.a-s.ar (ar) ah-sh	54,0	s.a-ar ah-sh	62,2	ar-s.a ah-sh	69	ar-b.ar (s.ar) ah-sh	35	ar-s.ar ah-sh		
	Leucóxênio	13,7	ar-s.ar ah	12,2	s.ar-ar (s.a) ah	3,7	ar-a ah	12,2	s.a-ar ah	6,5	s.a-ar ah	15	ar-s.a ah	13	ar-s.a ah		
	Hematita			0,2	ar-s.a ah			1,0	a-s.a ah	0,3	a-s.ar ah						
	Limonita	0,2	s.a-s.ar ah	5,6	s.a-s.ar ah	1,7	a ah	0,2	a ah	3,2	s.a-s.ar ah						
Pesados em arenitos (%)		2,2		1,6		15,8		1,67		1,52		4,35		0,68			

Notas: t = traço; a = angular; s.a = subangular; s.ar = subarredondado; ar = arredondado; b.ar = bem arredondado; ah = anédrico; sh = subédrico; eh = euédrico; (...) pouco.

a Formação Bauru ocorre em quantidade apreciável em seu pacote inferior; os grãos são subangulares a arredondados, equidimensionais ou ovalados, sendo a forma prismática subordinada; alguns cristais mostram recrescimento secundário.

- Rutilo** - Constituinte traço, aparecendo na maioria das amostras; os grãos são arredondados, ovalados e alongados ou prismáticos, com ou sem estriações oblíquas.
- Granada** - Componente freqüente a muito abundante em todos os pacotes da Formação Bauru; sua presença varia de 3 a 21%, apresentando-se em geral sem forma cristalina, fraturada, corroída e arredondada; os grãos incolores são dominantes e as cores rosa, marrom-amarelada e marrom-rosada são raras.
- Apatita** - Mineral traço a muito escasso; os grãos são arredondados a bem arredondados, sem forma cristalina.
- Estauroлита** - Componente traço a muito escasso; ocorre em maior quantidade, no pacote superior da Formação Bauru; os grãos são geralmente angulares a subangulares com fratura subconchoideal e os subarredondados e arredondados são raros.
- Monazita** - Mineral traço; os grãos apresentam-se bem arredondados até esféricos.
- Muscovita** - Mineral traço; seus grãos são tabulares, angulares a arredondados e anédricos.
- Cianita** - Constituinte traço a raro; os grãos são subangulares a arredondados e anédricos a subédricos.
- Epidoto** - Sua quantidade, variando de traço a 5%, decresce do pacote inferior da Formação Bauru para o pacote superior; os grãos são subarredondados a bem arredondados e anédricos.
- Biotita** - Mineral traço, encontrando-se alguns poucos cristais nas amostras

tras estudadas; os grãos são arredondados a subarredondados.

- Titanita** - Mineral traço; seus grãos são incolores ou de coloração amarelo-clara, subarredondados a arredondados, equidimensionais ou ovalados; apresenta-se comumente em inclusões.
- Perowskita** - Mineral traço; sua cor é vermelho-amarelada a vermelho-amarronzada; são características as formas cúbicas, subangulares e arredondadas; normalmente tem comportamento anisótropo e geminção polissintética.
- Piroxênio** - Componente raro a predominante; sua presença é muito variável assumindo valores desde 0,8 a 70,7%; suas cores são principalmente pálido-esverdeada ou amarelada, marrom-amarelada, marrom-escura e incolor; os grãos são principalmente angulares a subangulares e raramente arredondados, marcado por fratura subconchoidal; alguns grãos mostram fraturamento serrilhado e marcas de corrosão; a variedade dominante de piroxênio é a augita.
- Anfibólio** - Componente traço a muito freqüente; sua presença é bastante variável, desde 0 a 6,5%; os grãos são alongados, fibrosos e serrilhados; suas tonalidades são verde-pálida a verde-amarelada e verde-castanha a castanho-esverdeada; a variedade dominante é hornblenda.
- Sillimanita** - Constituinte traço; ocorrendo somente na base do pacote superior da unidade; os grãos são alongados e angulares.
- Magnetita e ilmenita** - Minerais opacos abundantes a predominantes na Formação Bauru; apresentam grãos subangulares a arredondados e subordinadamente bem arredondados e angulares e hábitos cristalinos subédricos, anédricos e euédricos, respectivamente, a quantidade de magnetita de um modo geral é maior que a de ilmenita.
- Leucoxênio** - Mineral freqüente a abundante entre os opacos; os grãos são subangulares a arredondados e anédricos.

Hematita - Mineral traço a raro, encontrando-se poucos grãos no pacote superior e topo do pacote inferior da Formação Bauru na região de Taquaritinga; os grãos são angulares a subarredondados, parcialmente alterados a limonita.

Limonita - Mineral traço a muito freqüente no pacote superior e topo do pacote inferior da Formação Bauru; apresenta grãos angulares a subarredondados, marrom e vermelho-amarronzados em luz refletida.

4.4.2. Variações mineralógicas

As suites de minerais pesados nas áreas de Olímpia e Taquaritinga mostram variações importantes, tanto vertical como lateralmente. Como mostrado na tabela VIII, suas características são as seguintes:

1. No pacote superior da Formação Bauru:

Os minerais ultra-estáveis como zircão, turmalina e rutilo são subarredondados a bem arredondados e suas variações em área não são notáveis. Granada, apatita, epidoto, titanita e perowskita tem maior freqüência na região de Olímpia em relação a Taquaritinga e seus valores de arredondamento são baixos a altos. Piroxênio e anfibólio, instáveis, angulosos a arredondados, são muito freqüentes na região de Olímpia e raros na região de Taquaritinga. Em geral, seus valores de arredondamento são mais altos na região de Taquaritinga. Os opacos como magnetita e ilmenita e limonita são assinalados com maior freqüência na região de Taquaritinga.

2. Na parte basal do pacote superior da Formação Bauru:

Os minerais ultra-estáveis e meta-estáveis como zircão, turmalina, rutilo, granada, apatita, estauroлита, titanita e epidoto são mais abundantes na região de Taquaritinga que Olímpia, normalmente seus valores de arredondamento sendo mais altos na região de Taquaritinga. Os

grãos de piroxênio, angulosos a arredondados, instáveis, são significativamente abundantes chegando a 70,7% na região de Olímpia. Por causa da maior frequência de piroxênio, a quantidade relativa dos opacos naquela região é menor.

3. No topo do pacote inferior da Formação Bauru:

As amostras foram coletadas somente na região de Taquaritinga. Os arredondamentos e quantidades dos minerais pesados são similares aos da parte basal do pacote superior. Os minerais como turmalina, rutilo, granada, apatita, anfibólio, leucoxênio e hematita são menores e os outros minerais são maiores ou iguais em quantidade comparados com aqueles da parte basal do pacote superior.

4. No pacote inferior da Formação Bauru:

Somente duas amostras foram coletadas e estudadas, de forma que seus resultados não são suficientes para fins estatísticos. Todavia, ocorre uma diferença notável entre estas duas amostras. Os minerais ultra-estáveis e meta-estáveis, arredondados, como zircão, turmalina, granada e epidoto, possuem maior frequência na região de Taquaritinga, e os minerais meta-estáveis arredondados e instáveis angulares, como magnetita e ilmenita, piroxênio e anfibólio, são menos frequentes.

5. PROVÍNCIAS MINERALÓGICAS

Província mineralógica ou petrológica sedimentar é definida como um grupo de sedimentos que constitui uma unidade natural em termos de idade, origem e distribuição (*Baturin, 1931 e Edelman, 1933*). Este grupo de sedimentos é um corpo tridimensional, caracterizado normalmente por asociação mineralógica distintiva. É sob essa definição que neste trabalho o termo "província mineralógica" será empregado.

Os resultados obtidos foram colocados em um diagrama ternário, em cujas vértices estão representados os minerais pesados: a) ultra-estáveis, b) opacos e c) meta-estáveis e instáveis. Estes três grupos minerais foram escolhidos por possuírem as maiores frequências e representarem proveniências adequadamente.

Os minerais opacos são geralmente considerados um incômodo pelos petrólogos sedimentares, sendo quase sempre rejeitados na análise mineralógica, apesar de constituírem comumente a grande maioria dos pesados nas rochas sedimentares e serem úteis para as determinações de sua proveniência. Neste trabalho, os minerais opacos foram estudados e divididos em quatro categorias: magnetita e ilmenita, leucoxênio, hematita e limonita.

Os minerais ultra-estáveis são zircão, turmalina e rutilo; o terceiro vértice é ocupado por outros minerais incluindo minerais meta-estáveis e instáveis como as espécies mostradas na seção 6.1.

Baseado nos dados da tabela IX foram montadas as figuras 2, 4 e 6, onde cada ponto representa uma amostra definida pelas três variáveis consideradas, ou seja, pesados ultra-estáveis, opacos e outros pesados definindo, desse modo, pela posição no diagrama, as várias províncias mineralógicas das formações estudadas.

Escolhidas como "datums" três superfícies bem características, ou seja, o contato dos sedimentos com rochas cristalinas, o topo da Formação Botucatu e a base da Formação Bauru e as espessuras desses pacotes em diferentes localidades (*Andrade e Soares, 1971, Soares e Landim, 1973 e 1975 e Landim, informação verbal*), foi possível constatar as relações entre as diversas províncias mineralógicas presentes (figuras 3, 5 e 7).

5.1. Formações Itararé e Aquidauana

Como mostrado nas figuras 2 e 3 podem ser definidas três províncias mineralógicas (A, B e C) para as formações Itararê e Aquidauana. Devido à interdigitação de litofácies destas duas formações, as províncias mineralógicas são também interdigitadas.

5.1.1. Província A

A Província A apresenta uma assembléia composta de minerais meta-estáveis, ultra-estáveis e opacos. Caracteriza-se pela alta frequência de minerais meta-estáveis como granada, apatita e estauroлита encontrados no topo do pacote superior da Formação Itararê em regiões como Piracicaba e Fazenda Pitanga e em seu pacote inferior em regiões como Porto Feliz e Sumaré. Os grãos de apatita são arredondados a bem arredondados, os de granada, subangulares a subarredondados, e os de estauroлита, angulares a subangulares (tabela II). Esta província apresenta grande número de espécies, em torno de 10 a 13.

5.1.2. Província B

A Província B contém principalmente minerais ultra-estáveis e opacos. Caracteriza-se pela alta frequência de minerais ultra-estáveis como zircão, turmalina e rutilo, situados no pacote superior da Formação Itararê nas proximidades de Tietê, Piracicaba, Fazenda Pitanga, Limeira e Americana e na Formação Aquidauana, na região de Mococa. Os grãos de zircão são predominantemente arredondados a bem arredondados, os de turmalina e rutilo, subangulares a arredondados. Esta província apresenta um número variável de espécies, ou seja 8 a 12.

5.1.3. Província C

A Província C contém principalmente minerais opacos e ultra-estáveis. Caracteriza-se pela alta frequência de minerais opacos como magnetita e ilmenita, leucoxênio e limonita encontrados na Formação Aquidauana.

Figura 2- Diagrama triangular delimitando a distribuição das províncias mineralógicas das formações Itararé e Aquidauana em função da percentagem de minerais pesados ultraestáveis, opacos e outros.

Figura 3 - Diagrama mostrando as relações entre as províncias mineralógicas A, B e C nas formações Itararé e Aquidauana.

dauana, predominantemente na região nordeste da borda da bacia. A quantidade de magnetita e ilmenita é maior que a de leucoxênio e a limonita é rara. Os grãos são principalmente subangulares a subarredondados e subordina^d nadamente arredondados. Seus hábitos cristalinos são anédricos a euédricos para magnetita e anédricos para leucoxênio e limonita. Esta província apresenta número de espécies variáveis também, de 7 a 12.

5.2. Formações Pirambóia e Botucatu

Como mostrado nas figuras 4 e 5, as províncias mineralógicas das formações Pirambóia e Botucatu podem dividir-se em províncias A e B. As duas províncias são interdigitadas.

5.2.1. Província A

A Província A apresenta uma assembléia composta de minerais meta-estáveis, opacos e ultra-estáveis. Caracteriza-se pela alta percentagem de minerais meta-estáveis, como estaurolita, granada, epidoto e mica. A estaurolita, subangular a arredondada, em porcentagem variando entre 18 e 34%, distribui-se nas áreas amostradas nas Rodovias Castelo Branco e Washington Luiz. Os grãos de granada, epidoto e mica, subangulares a bem arredondados, são concentrados nas áreas das Rodovias Castelo Branco e Marechal Rondon. Esta província apresenta grande número de espécies, em torno de 9 a 15.

5.2.2. Província B

A Província B contém predominantemente minerais opacos e secundariamente minerais ultra-estáveis e meta-estáveis. Caracteriza-se pela alta porcentagem de minerais opacos como magnetita e ilmenita, leucoxênio, hematita e limonita encontrados nas áreas compreendida pelas Rodovias Castelo Branco e Marechal Rondon e concentrados nas regiões de Cajuru e Serra de Franca. Dentre os opacos, magnetita e ilmenita predominam, sen

Figura 4 — Diagrama triangular delimitando a distribuição das províncias mineralógicas das formações Piramboia e Botucatu em função da percentagem de minerais pesados ultraestáveis, opacos e outros.

Figura 5 — Diagrama mostrando as relações entre as províncias mineralógicas A e B nas formações Pirambóia e Botucatu.

do os demais subordinados. Apresentam grãos bem arredondados a arredondados, subangulares e angulares e hábito cristalino anédrico, subédrico e euédrico, respectivamente. Esta província apresenta número de espécies menor que na Província A, ou seja, em torno de 7 a 13.

5.3. Formação Bauru

Como mostrado nas figuras 6 e 7, as províncias mineralógicas da Formação Bauru são divididas em províncias A e B.

5.3.1. Província A

A Província A contém predominantemente minerais instáveis e meta-estáveis, e secundariamente minerais opacos e ultra-estáveis. Caracteriza-se pelas altas porcentagens de minerais instáveis e meta - estáveis como piroxênio, granada, anfibólio e cianita situada predominantemente na base do pacote superior da Formação Bauru na região de Olímpia a Santa Adélia. Os grãos são angulares a arredondados e hábitos cristalinos anédricos a subédricos. Esta província apresenta grande número de espécies, em torno de 11 a 15.

5.3.2. Província B

A Província B apresenta uma assembléia composta e variável, mostrando predominância de minerais opacos e secundariamente minerais meta-estáveis e ultra-estáveis, ocorrendo nos pacotes superior e inferior da Formação Bauru. Os minerais ultra-estáveis como turmalina, zircão e rutilo são predominantemente arredondados; os minerais meta-estáveis como apatita, muscovita, monazita e epidoto são arredondados, e granada, estauroлита, cianita, magnetita e ilmenita são principalmente subangulares a arredondados; e os minerais instáveis como piroxênio, anfibólio e sillimanita são predominantemente angulares a subangulares, com poucos grãos arredondados. Esta província apresenta número de espécies variáveis, em torno de 7 a 15.

Figura 6 — Diagrama triangular delimitando a distribuição das províncias mineralógicas da Formação Bauru em função da percentagem de minerais pesados ultraestáveis, opacos e outros.

Figura 7 — Diagrama mostrando as relações entre as províncias mineralógicas A e B na Formação Bauru

6. PROVENIÊNCIA

O termo proveniência se refere à rocha-mãe da qual qualquer associação de sedimentos é derivada. O problema da proveniência em sedimentos envolve o conhecimento das composições litológicas da rocha fonte e de modo idêntico o da natureza do clima e relevo da área fonte por meio do estudo da maturidade do sedimento. Assim sendo, neste tipo de análise torna-se necessário determinar a estabilidade relativa dos vários minerais formadores de rochas.

6.1. Estabilidade mineral

A estabilidade do mineral refere-se a sua resistência à alteração química. Muitos autores estudaram a estabilidade química ou resistência dos minerais à decomposição em perfis de solo e/ou em sedimentos recentes e antigos. *Goldich* (1938), como um resultado de estudos quantitativos de alguns perfis de solo, organizou uma série de estabilidade de minerais formadores de rochas, como a seguinte:

Olivina	Plagioclásio-cálcico
Augita	Plagioclásio cálcico-alcálico
Hornblenda	Plagioclásio alcalino-cálcico
Biotita	Plagioclásio alcalino
	Feldspato potássico
	muscovita
	quartzo

É importante salientar que este arranjo não pode ser interpretado como uma série de reação. Assim a olivina não pode alterar-se a piroxênio e este, por sua vez, pode alterar-se a hornblenda, e esta a biotita. Por outro lado, nas rochas ígneas normais a velocidade de decompo

sição da olivina excede a do piroxênio, que por seu turno excede a da hornblenda e assim por diante.

A estabilidade de minerais pesados foi estudada por muitos autores, e os mais importantes como *Sindowski* (1949), *Pettijohn* (1957), *Milner* (1962) e *Hubert* (1971) são de opinião que o zircão, turmalina e rutilo são ultra-estáveis e a olivina, piroxênio e anfibólio são instáveis. Outros minerais mais comuns encontrados neste trabalho como granada, apatita, estauroлита, monazita, muscovita, cianita, epidoto, biotita, titanita, perowskita, magnetita e ilmenita, leucoxênio, hematita e limonita são classificados como minerais estáveis e/ou meta-estáveis, dependendo do autor. Apatita, por exemplo, aparentemente é instável no solo, mas é estável em sedimentos antigos; igualmente os feldspatos alcalinos decompõem-se facilmente no solo, mas podem ser submetidos a crescimento diagnético nas rochas sedimentares (*Pettijohn*, 1957).

Baseado nas frequências dos minerais pesados que ocorrem nas formações estudadas e modificações nas ordens da escala de persistência ou estabilidade mineralógica proposta por vários autores, é sugerida neste trabalho a seguinte classificação:

Ultra-estáveis	{	Zircão	
		Turmalina	
		Rutilo	
Meta-estáveis	{	Granada	
		Apatita	
		Estauroлита	
		Monazita	
		Muscovita	
		Cianita	
		Magnetita	
		Ilmenita	
		Leucoxênio	
		Hematita	} produto secundário
		Limonita	
		Epidoto	
		Biotita	
		Titanita	
Perowskita			

Instáveis {
 Hornblenda
 Piroxênio
 Sillimanita

6.2. Maturidade dos arenitos

Maturidade de sedimentos clásticos é a medida de sua aproximação com um tipo final estável, sendo ocasionada por processos de formação atuantes sobre os sedimentos. Maturidade é, portanto, um registro combinado do tempo através do qual os processos genéticos foram efetivos e da intensidade de ação desses processos. A maturidade pode ser expressa tanto em termos mineralógicos como em termos texturais.

6.2.1. Maturidade mineralógica

O extremo estável em areias seria aquele sedimento constituído somente por quartzo. Este mineral é o mineral química e fisicamente mais estável entre os contribuintes principais das rochas plutônicas, de modo que pode ser acumulado em grandes volumes. A medida da maturidade mineralógica de areias e arenitos pode ser dada, portanto, em termos de seu conteúdo em quartzo (*Pettijohn*, 1957). Por outro lado, como muitos arenitos tem áreas fontes complexas, o índice de maturidade mineralógica poderia ser representado pela proporção combinada de quartzo, sílex e metaquartzito (*Hubert*, 1962). Tal índice de maturidade mineralógica de arenitos é, inclusive, o mais adequado para este trabalho. Os quatro estágios de maturidade mineralógica, propostos aqui, são os seguintes: 1. imaturo (índices < 75%); 2. submaturo (índices entre 75 e 85%); 3. maturo (índices entre 85 e 95%) e 4. supermaturo (índices > 95%).

Os índices de maturidade mineralógica nos arenitos das formações Itararé e Aquidauana são menores que 71% em arcósio, entre 76% e 94% em subarcósio e maior que 96% em quartzo-arenito (tabela III).

Estes valores, nos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, estão entre 85% e 94% em subarcósio e maior que 96% em quartzo-arenito (tabelas V e VII).

6.2.2. Maturidade textural

Baseado no conteúdo de argila, seleção e arredondamento dos arenitos, a maturidade textural é representada por quatro estágios: imaturo, submaturo, maturo e supermaturo (Folk, 1968).

Os arenitos das formações Itararé e Aquidauana são, em geral, argilosos e ferruginosos, com granulação mais grosseira na Formação Itararé do que na Formação Aquidauana. A seleção é má nos arenitos mais grosseiros e regular a boa nos arenitos mais finos. Os grãos são predominantemente subangulares a subarredondados e os angulares e arredondados são raros. Dessa forma, a maturidade textural dos arenitos das formações Itararé e Aquidauana é fortemente controlada pela distribuição granulométrica dos arenitos. Em geral, os arenitos grosseiros, incluindo tanto quartzo-arenitos como arcósios ou subarcósios, são texturalmente imaturos e os arenitos finos, incluindo quartzo-arenitos e subarcósios, são texturalmente submaturos a maturos (tabela III).

Os arenitos pertencentes à Formação Pirambóia, classificados como subarcósios, são principalmente de granulometria muito fina a média, subangulares a arredondados, contendo pouca argila, ferruginosos, com grau de seleção predominantemente regular e texturalmente submaturos a maturos (tabela V).

Os arenitos pertencentes à Formação Botucatu, classificados como quartzo-arenito e subarcósio, são predominantemente finos a médios, sem argila, ferruginosos, arredondados a bem arredondados, com grau de seleção bom a muito bom e maturidade textural variando de maturo a supermaturo (tabela VII).

6.2.3. Maturidade nos vários arenitos e respectivos controles geológicos

Os arcósios e subarcósios da Formação Itararé, situados no sudoeste da área estudada, são cinza a cinza-claros e cinza-acastanhados, textural e mineralogicamente imaturos a submaturos. Os subarcósios da Formação Aquidauana, localizados no nordeste da área estudada, são caracterizados pela cor vermelha, com quantidade subordinada de feldspato, texturalmente submaturos a imaturos e mineralogicamente submaturos com granulação mais fina que os subarcósios da Formação Itararé. Baseado nestas diferen

gas, pode-se concluir que os arcósios e subarcósios da Formação Itararé de vem ter sido derivados predominantemente do Embasamento Cristalino, em área de relevo acentuado a moderado, e transportados por meio de alta energia como o gelo, correntes de turbidez e águas fluviais, e depositados moderada a rapidamente em bacia de subsidência rápida. Os subarcósios da Formação Aquidauana devem ter sido derivados também principalmente do Embasamento Cristalino, em área de relevo moderado e sob ação de intemperismo mais intenso, tendo sido transportado por meios de energia relativamente mais baixa que os sedimentos da Formação Itararé.

Os quartzo-arenitos mais grosseiros da Formação Aquidauana encontrados em Campinas, Rodovia Araras-Mogi-Mirim, Casa Branca e Rodovia Cajuru-Mococa são vermelhos, mal selecionados, texturalmente imaturos e mineralógicamente maduros. Isto significa que os materiais destes quartzo-arenitos foram derivados dos quartzitos e rochas graníticas bem intemperizados existentes no Embasamento, transportados por águas correntes e rapidamente depositados na borda da mesma bacia.

Os quartzo-arenitos e subarcósios das formações Aquidauana e Itararé nas regiões entre Americana, Tatu e Araras, onde estas formações apresentam-se interdigitadas, de granulação fina, bem a regularmente selecionados e texturalmente submaturos a maduros, com baixa quantidade de -feldspatos, sugerem que os materiais destes arenitos foram derivados dos sedimentos Itararé e Aquidauana já depositados e de rochas do Embasamento Cristalino, transportados por meio de energia ainda mais baixa. Além disso, estes materiais sofreram ação seletiva mais intensa e processo de retrabalhamento.

Finalmente, as características de maturidade mineralógica e textural dos subarcósios da Formação Pirambóia e as dos quartzo-arenitos e subarcósios da Formação Botucatu indicam que os materiais destes arenitos são os produtos de áreas de relevo pouco acentuado, aqueles em clima semiárido e estes em clima árido. Nestas condições, os materiais dos subarcósios da Formação Pirambóia sofreram abrasão eólica apreciável na estação de estiagem, tendo sido transportados por água corrente na estação chuvosa e depositados em canais fluviais de bacia estável.

Os materiais dos quartzo-arenitos e subarcósios da Formação Botucatu foram carregados inicialmente por correntes fluviais para as partes marginais ou mais interior da bacia, dependendo da intensidade de chuvas. Posteriormente, tais materiais foram fortemente retrabalhados pelo vento e depositados na mesma bacia, em ambiente desértico.

6.3. Maturidade dos minerais pesados transparentes não micáceos

As assembléias dos minerais pesados de arenitos são, em grande parte, função das proporções dos vários minerais pesados erodidos da área fonte e da intensidade de modificação dos detritos por abrasão seletiva e seleção hidráulica durante transporte e deposição. Uma vez que a assembléia dos minerais pesados transparentes não micáceos dos quartzo-arenitos é composta predominantemente por zircão, turmalina e rutilo, os grãos concentrados em arenitos pela abrasão prolongada e seleção hidráulica são quartzo (incluindo silex e metaquartzito), zircão, turmalina e rutilo. Além disso, as composições mineralógicas e texturais de arenitos são interdependentes (Krynine, 1948) e teoricamente a composição de minerais pesados transparentes não micáceos dos arenitos relativamente quartzosos está correlacionada com a composição de minerais leves e a textura dos arenitos. Portanto, o índice zircão-turmalina-rutilo, referente a porcentagem combinada de zircão, turmalina e rutilo entre os minerais pesados transparentes, excluindo micas e minerais autígenos, foi proposto como índice (Índice ZTR) do grau de modificação de toda a assembléia dos minerais pesados de arenitos (Hubert, 1962).

O grau de modificação dos minerais pesados transparentes não micáceos dos arenitos nestas formações estudadas nem sempre se correlacionam com o de minerais leves e com as texturas dos arenitos, cujos valores são controlados pelas rochas fontes, relevo, clima e meio de transporte. As variações de índice ZTR encontradas entre os arenitos e os possíveis controles geológicos são os seguintes:

- 1) Nos arcôsis e alguns subarcôsis do topo do pacote superior e do pacote inferior da Formação Itararé, predominantemente imaturos textural e mineralogicamente, os índices ZTR são menores do que 66,9% (tabelas III e IX) e significativamente correlacionáveis às composições dos minerais leves e texturas dos arenitos. Isto significa que estes materiais foram predominantemente derivados de rochas graníticas em área de relevo acentuado sob clima frio, pouco intemperizados e transportados pelo gelo ou água de degelo ou correntes de turbidez, e não sofreram ação seletiva e alteração química apreciáveis.
- 2) Nos quartzo-arenitos mais grosseiros da Formação Aquidauana, imaturos texturalmente, os índices ZTR, variando de 74,1% a 99% (tabelas III e

IX), são sempre correlacionados com as composições de minerais leves e não correlacionados com as texturas dos arenitos. Este resultado pode ser explicado da seguinte forma: os minerais instáveis e a maioria dos minerais meta-estáveis de rochas cristalinas na área fonte já teriam sofrido intenso intemperismo em clima quente e úmido, tendo sido transformados em minerais argilosos e ferruginosos. Estes materiais remanescentes, incluindo os minerais ultra-estáveis e poucos minerais meta-estáveis, foram rapidamente transportados pela água corrente, em meio de baixa seleção, e depositados na borda da bacia.

- 3) Nos subarcôsis do pacote superior da Formação Itararé e maioria dos subarcôsis da Formação Aquidauana com granulação e maturidade variáveis, os Índices ZTR são muito altos, maior que 84,4% (tabelas III e IX), e não são significativamente correlacionados com as composições de minerais leves e texturas dos arenitos. Esta anormalidade indica que os materiais destes subarcôsis foram fornecidos principalmente por rochas graníticas e metamórficas, quartzitos, e parcialmente por sedimentos do próprio Itararé e Aquidauana, donde foram herdados e/ou retrabalhados os minerais pesados pré-existentes.
- 4) Nos quartzo-arenitos finos e subarcôsis com baixa quantidade de feldspatos, das formações Itararé e Aquidauana, nas regiões de Americana e Araçatuba, os Índices ZTR são altos, maior do que 86,3% (tabelas III e IX), exibindo boa correlação entre as maturidades textural e mineralógica. Sugerem que os materiais destes arenitos foram predominantemente fornecidos pelos próprios sedimentos das formações Itararé e Aquidauana e parcialmente derivados de rochas cristalinas, mas transportados por longa distância em meio de baixa energia.
- 5) Nos subarcôsis e quartzo-arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, os Índices ZTR são muito baixos, com valores menores do que 66,6% na maioria das regiões e com valores maiores que 83,3% na parte nordeste da bacia (tabelas V, VII e IX). Aqueles valores baixos não são correlacionados com as composições de minerais leves e texturas dos arenitos e, por outro lado, os valores altos mostram boa correlação. Isto sugere que os materiais destes arenitos no centro da bacia foram predominantemente derivados das rochas cristalinas, enquanto os materiais na borda de bacia, predominantemente derivados de rochas sedimentares

pré-existent. Todos os materiais destes arenitos foram fortemente trabalhados por abrasão seletiva em clima semiárido e árido de ambientes fluvial e desértico, assunto este que será discutido pormenorizadamente no capítulo 7.

- 6) Nos arenitos de Formação Bauru, os Índices ZTR são geralmente muito baixos, sendo que apenas quatro amostras possuem valores maiores que 81,9% (tabela IX). Sugerem que os materiais destes arenitos foram derivados das rochas ricas em minerais instáveis e meta-estáveis e não sofreram ações abrasiva e seletiva prolongadas.

6.4. Minerais e Rochas Fontes

Os minerais leves, incluindo fragmentos de rochas, e minerais pesados têm sido usados como guias para estudo de proveniência, embora se deposite maior confiança nestes últimos.

6.4.1. Assembléias de minerais e suas rochas fontes

Em benefício da interpretação da litologia da rocha fonte, os minerais leves e minerais pesados são usualmente agrupados em assembléias genéticas como as sedimentares retrabalhadas, metamórficas de baixo e alto grau, ígneas siálicas e máficas, pegmatíticas, vulcânicas e autigênicas (tabelas X e XI).

6.4.2. Minerais ultra-estáveis arredondados mascarando suas rochas fontes

O zircão, em para-xistos e para-gnaisses, tende a ser arredondado, retendo o arredondamento do zircão da rocha sedimentar original retrabalhada, até o grau mais alto de metamorfismo pois, aparentemente, o zircão é extremamente resistente a recristalização (Blatt, 1972). A maioria dos zircões em quartzitos e gnaisses na região de Itapira e São João

Tabela X

Assembléias de minerais leves (incluindo fragmentos de rochas) e suas rochas fontes *

Sedimentos retrabalhados	Glauconita, quartzo arredondado (recrescimento com abrasão), fragmentos de rochas sedimentares.
Metamórfica de baixo grau	Quartzo (tamanho de silte e areia fina), Feldspatos geralmente ausente, fragmentos de ardósios, filitos e metaquartzitos.
Metamórfica de alto grau	Quartzo (variedade metamórfica), feldspato (plagioclásio alcalino), fragmentos de xistos.
Ígnea siálica	Quartzo (variedade ígnea), microclínio, ortoclásio, fragmentos de rochas siálicas.
Ígnea máfica	Plagioclásio (intermediário a cálcico), fragmentos de rochas ígneas máficas.
Pegmatitos	Quartzo de veio, albita, microclínio.
Vulcânica	Quartzo euédrico (variedade vulcânica), plagioclásio, sanidina, fragmentos de rochas vulcânicas, vidro vulcânico.
Autigênico	Quartzo, feldspato.

* Modificado de Pettijohn, 1957, Folk, 1968 e Blatt et alli, 1972.

Tabela XI

Assembléias de minerais pesados e suas rochas fontes *

Sedimentos retrabalhados	Barita, leucoxênio, rutilo (arredondado), turmalina (arredondado), zircão (arredondado)
Metamórfica de baixo grau	Biotita, muscovita, clorita (se clástico), turmalina (pequeno, marrom, euédrico), leucoxênio.
Metamórfica de alto grau	Actinolita, andalusita, apatita, granada, biotita, diopsídio, epidoto, hornblenda, ilmenita, cianita, magnetita, sillimanita, titanita, estauroлита, zircão.
Ignea siáfica	Apatita, biotita, hornblenda, ilmenita, monazita, muscovita, rutilo, titanita, zircão (euédrico), magnetita, turmalina (pequeno, rosa).
Ignea máfica	Anatásio, augita, brookita, hiperstênio, hornblenda, ilmenita, magnetita, cromita, leucoxênio, olivina, rutilo, serpentina.
Pegmatitos	Apatita, biotita, cassiterita, granada, fluorita, monazita, muscovita, topázio, rutilo, turmalina (azul, indicolita).
Vulcânica	Os cristais euédricos de apatita, augita, biotita, hornblenda e zircão.
Autigênico	Hematita, leucoxênio, limonita, turmalina, zircão, anatásio, brookita, pirita, rutilo, titanita.

* Modificado de Pettijohn, 1957, Hubert, 1971 e Blatt et alli, 1972.

da Boa Vista são arredondados a bem arredondados (tabela XII). Isto indica que os minerais ultra-estáveis como zircão, às vezes turmalina e rutilo arredondados destas formações, poderiam ser predominantemente derivavados de para-gnaisses, para-xistos, filitos e rochas metassedimentares e parcialmente derivados das rochas sedimentares pré-existentes.

6.4.3. Rochas fontes

Considerando as assembléias de minerais pesados e leves (figuras 2, 4 e 6) e as feições morfoscópicas dos minerais (tabelas II a VIII), as rochas fontes dos arenitos estudados poderiam ser as seguintes:

6.4.3.1. Arcósios e subarcósios no topo do pacote superior e no pacote inferior da Formação Itararé

Os minerais leves destes arenitos são caracterizados pela alta porcentagem de feldspatos incluindo fragmentos de granito e/ou gnaisse, fragmentos de rochas metamórficas, grandes fragmentos de micas e poucos fragmentos de rochas sedimentares. Os grãos são subangulares a subarredondados. Os minerais pesados destes arenitos são caracterizados pela alta porcentagem de minerais meta-estáveis como granada, apatita e estaurolita. Os grãos são predominantemente subangulares a subarredondados (Província A). Os minerais ultra-estáveis como zircão, turmalina e rutilo são predominantemente subangulares a arredondados, sendo que os arredondamentos do zircão são maiores que os de turmalina e rutilo. Os minerais opacos como magnetita e ilmenita e leucoxênio são subangulares a subarredondados. A quantidade de leucoxênio é sempre maior que a de magnetita e ilmenita. Esses materiais devem ter sido derivados predominantemente de granitos, gnaisses e migmatitos e, em pequena escala, de xistos, filitos, metassedimentos e rochas sedimentares pré-existentes.

6.4.3.2. Quartzo-arenitos da Formação Aquidauana

Os minerais leves destes arenitos são caracterizados pela

Tabela XII

Composição percentual, arredondamento e hábito cristalino nos
minerais pesados das rochas cristalinas do Pre-Є Indiviso

Formação		Pre-Є Indiviso			
Localização		Itapira		São João da Boa Vista	
Amostras		72		73	
Minerais pesados		%	Arred. e hābito	%	Arred. e hābito
Nāo opacos	Zircāo	4,4	ar-b.ar (a-s.a) ah-eh	16,0	s.ar-ar (s.a, b.ar) ah-eh
	Rutilo	t	a-s.a ah		
	Muscovita	23,4	a-s.a ah-sh	1,2	s.a ah
	Titanita			5,8	a-s.a (s.ar) ah-sh
Opacos	Magnetita e Ilmenita	69,0	a-s.a ah-eh	75,0	a-s.a (s.ar) eh-sh
	Leucoxênio	3,1	s.ar-ar ah	1,9	s.a ah
Pesados em arenitos (%)		0,03		0,02	

Notas: t = traço; a = angular; s.a = subangular; s.ar = subarredondado;
ar = arredondado; b.ar = bem arredondado; ah = anédrico; sh =
subédrico; eh = euédrico; (...) = Pouco.

alta porcentagem de quartzo e poucos feldspatos, grandes micas e fragmentos de rochas sedimentares. Os grãos são subangulares a subarredondados. Os minerais pesados destes arenitos são caracterizados pela alta porcentagem de minerais opacos como magnetita e ilmenita, leucoxênio e limonita. Os grãos são principalmente subangulares a subarredondados e subordinadamente arredondados (Província C). Os minerais ultra-estáveis como zircão, turmalina e rutilo são subangulares a bem arredondados. O arredondamento destes minerais é maior na região de Mogi-Mirim que nas regiões de Campinas, Casa Branca e Mococa. Os minerais meta-estáveis como estauroлита e monazita são raros. Esses materiais devem ter sido derivados predominantemente de quartzitos, gnaisses, migmatitos e granitos, e poucas rochas sedimentares pré-existentes.

6.4.3.3. Subarcósios do pacote superior da Formação Itararé e maioria dos subarcósios da Formação Aquidauana.

Os minerais leves destes arenitos são caracterizados pela moderada porcentagem de feldspatos e poucas grandes micas, fragmentos de rochas metamórficas e sedimentares pré-existentes. Os grãos são subangulares a subarredondados. Os minerais pesados destes arenitos são caracterizados pela alta porcentagem de minerais ultra-estáveis e/ou pelo alto valor de ZTR (províncias B e C). Os minerais ultra-estáveis como zircão, turmalina e rutilo são subangulares a bem arredondados. Os arredondamentos destes minerais são maiores na Formação Itararé que na Formação Aquidauana, e os de zircão são mais altos que os outros dois. Os minerais opacos como magnetita e ilmenita e leucoxênio são subangulares a subarredondados. A quantidade de leucoxênio na Formação Itararé é sempre maior que a de magnetita e ilmenita. Os minerais meta-estáveis como granada, estauroлита, monazita, cianita e epidoto são raros. Isto indica que os materiais do pacote superior da Formação Itararé devem ter sido derivados predominantemente de granitos, gnaisses, migmatitos, filitos e metassedimentos e os da Formação Aquidauana, derivados de granitos, gnaisses e migmatitos, ambos os materiais com contribuição de poucos sedimentos pré-existentes de Itararé e Aquidauana.

6.4.3.4. Quartzo-arenitos e subarcósios das formações Ita rarê e Aquidauana nas regiões de Americana e Ara ras.

Os minerais leves destes arenitos são caracterizados pelas altas porcentagens de quartzo, baixa porcentagem de feldspatos, grandes fragmentos de micas e fragmentos de rochas sedimentares. Os grãos são subangulares a subarredondados. As assembléias de minerais pesados são semelhantes as de subarcósios do pacote superior da Formação Itararê e da Formação Aquidauana. Seus arredondamentos, porém, são mais altos. Esses materiais devem ter sido derivados predominantemente de sedimentos mais antigos das formações Itararê e Aquidauana e parcialmente derivados das mesmas rochas cristalinas acima mencionadas.

6.4.3.5. Subarcósios e quartzo-arenitos das formações Pi rambôia e Botucatu.

Os minerais leves destes arenitos são caracterizados por moderada a baixa porcentagem de feldspatos, raros fragmentos de sílex e micas. Os grãos são predominantemente subangulares a arredondados na Formação Pirambôia e arredondados a bem arredondados na Formação Botucatu. As assembléias de minerais pesados são divididas em duas províncias, as quais são interdigitadas entre as duas formações. A Província A é caracterizada pela alta porcentagem de minerais meta-estáveis como estauroilita, granada, epidoto e mica, ocorrendo predominantemente na Formação Pirambôia. Seus grãos são angulares a arredondados. Os minerais opacos e ultra-estáveis da Província A são predominantemente arredondados a bem arredondados. A Província B é caracterizada pela alta porcentagem de minerais opacos como magnetita e ilmanita, leucoxênio, hematita e limonita, ocorrendo principalmente na Formação Botucatu. Os minerais ultra-estáveis da Província B são predominantemente arredondados a bem arredondados e os opacos são subangulares a subarredondados. Os índices de ZTR são baixos na parte central da bacia e altos na parte nordeste da borda da bacia. Baseado nessas características, os materiais dos arenitos de formação Pirambôia e Botucatu da parte central da bacia devem ter sido derivados predominantemente de rochas cristalinas e parcialmente de rochas sedimentares pré-existentes e os da parte nordeste da bacia, predominantemente de rochas sedimentares

pré-existente e parcialmente de rochas cristalinas. Durante a deposição dos arenitos da Formação Botucatu, teve lugar o vulcanismo na área fonte o que forneceu magnetita e ilmenita angulares e euédricas.

6.4.3.6. Arenitos da Formação Bauru

As assembléias de minerais pesados são divididos em províncias A e B. A Província A apresenta altas porcentagens de minerais instáveis e meta-estáveis como piroxênio, granada, anfibólio e cianita, cujas características e distribuições foram descritas na seção 4.4. Os minerais ultra-estáveis da Província A como zircão, turmalina e rutilo são predominantemente subangulares a bem arredondados. Os minerais opacos como magnetita e ilmenita e leucoxênio são predominantemente subangulares a arredondados. A Província B apresenta uma assembléia composta e variável, distribuída no pacote superior e inferior da Formação Bauru. Os minerais opacos como magnetita e ilmenita e limonita são subangulares a arredondados. Os minerais ultra-estáveis como zircão, turmalina e rutilo são subarredondados a bem arredondados. Granada, apatita, estauroлита, cianita, epidoto, titanita e perowskita, meta-estáveis, são angulares a bem arredondados. Piroxênio e anfibólio, instáveis, são angulares a arredondados. Os materiais destes arenitos na Província A foram fornecidos predominantemente por rochas vulcânicas alcalinas, ultra-básicas e basalto e, parcialmente, por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares pré-existentes. Os materiais destes arenitos na Província B foram fornecidos predominantemente por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares pré-existentes e parcialmente por rochas vulcânicas alcalinas, ultra-básicas e basalto.

7. FATORES GOVERNANDO A OCORRÊNCIA DE MINERAIS

A composição de arenitos é largamente dependente das rochas fontes, sendo modificadas pelas abrasão seletiva, seleção hidráulica, in temperismo e dissolução intra-estratal. Assim para determinar a proveniência de arenitos, as modificações introduzidas por cada um desses processos tem que ser consideradas conjuntamente.

7.1. Abrasão seletiva

A abrasão seletiva poderia resultar em eliminação progressiva e sistemática dos minerais de baixa dureza e enriquecimento complementar dos componentes mais duros. Segundo os trabalhos experimentais sobre resistência abrasiva dos minerais (*Friese*, 1931, *Cozzens*, 1931, *Thiel*, 1945 e *Nemec et alli* 1978), os mais resistentes à abrasão, em ordem de crescente, são: quartzo, turmalina, microclínio, estauroлита, magnetita e ilmenita, granada, epidoto e zircão.

A intensidade de abrasão seletiva é largamente dependente dos meios de transporte e tamanho dos grãos. Os grãos maiores como seixos e areias grosseiras, transportados por quaisquer meios de transporte, mostram mudanças composicionais. As areias transportadas prolongadamente por águas correntes mostram nenhuma ou poucas mudanças mineralógicas (*Russel*, 1937, 1939 e *Landim et alli* 1977) e as transportadas pelo vento mostram grandes mudanças (*Pettijohn*, 1957 e *Folk*, 1968).

Durante o transporte e deposição das formações Pirambóia e Botucatu, as partículas destes arenitos sofreram fortemente a ação abrasiva eólica, os minerais de baixa dureza foram eliminados, permanecendo somente os minerais mais duras como quartzo, microclínio, turmalina, estauroлита, magnetita e ilmenita, granada, epidoto e zircão.

7.2. Seleção hidráulica

A seleção de minerais pesados tem sido um problema em estudos de proveniência. Frações de diferentes granulometrias, amostradas num mesmo sedimento, possuem assembléias de minerais pesados diferentes ,

uma vez que são depositadas junto a minerais leves de tamanho hidráulico equivalente. *Rittenhouse* (1943) propõe o conceito de tamanho hidráulico equivalente dos pesados para resolver o problema de seleção hidráulica. Ele mostrou vários fatos em uma mesma amostra: (1) as distribuições granulométricas dos minerais pesados formam uma curva acumulativa lisa como a dos minerais leves; (2) todos os minerais pesados são mais finos granulometricamente em relação aos minerais leves; (3) em geral, aumentando o peso específico ocorre uma diminuição no tamanho dos minerais pesados; (4) o zircão ($d = 4,6$) é menor que a magnetita ($d = 5,2$) e (5) a diferença na inclinação das curvas acumulativas de percentual granulométrico indica que os minerais pesados, na mesma amostra, tem seleções diferentes.

Os minerais pesados transparentes não micáceos compõem uma suite hidráulica regularmente homogênea na fração de areia muito fina, reduzindo o problema relativo à seleção hidráulica (*Hubert*, 1971). Fatores poucos conhecidos afetam a ocorrência dos minerais pesados de densidade alta como zircão, magnetita e ilmenita, que se concentram na fração de areias finas (*Rittenhouse*, 1943). Esta é a razão pela qual, como constatado em todos os arenitos estudados, os minerais pesados zircão e especialmente magnetita e ilmenita, são sempre mais abundantes que outros minerais pesados na fração de areia muito fina.

7.3. Intemperismo

O intemperismo pode modificar consideravelmente a composição mineralógica de um sedimento. Sua influência vai depender das condições climáticas da área fonte e sítio deposicional.

Os sedimentos da Formação Aquidauana foram derivados das rochas cristalinas intemperizadas e sedimentos do próprio Aquidauana e rochas sedimentares pré-existentes, sendo depositados em ambientes oxidantes, parcialmente expostos à superfície, sofrendo mais a influência do intemperismo químico. Este fato está relacionado com discordâncias existentes nesta unidade estratigráfica e no contato com formações superpostas. Portanto, os minerais máficos da Formação Aquidauana foram fortemente alterados para óxido-hidróxidos de ferro que, disseminados, cimentaram os grãos mais grosseiros e emprestaram a cor vermelho-tijolo a estes sedimentos, os quais ocorrem nas partes mais marginais da bacia e partes basais da Formação Itararé em São Paulo e Paraná (*Tommasi*, 1973, *Soares e Landim*, 1973). Estes depósitos representam em média 1/3 de seção de Formação Itararé na

faixa de afloramentos do flanco leste da bacia (*Soares et alli*, 1974).

Anteriormente à deposição dos sedimentos da Formação Aquidauana, as rochas do Embasamento, situadas a nordeste e leste da bacia, teriam sido expostas à superfície terrestre por longo período geológico, sofrendo forte atuação intempérica. Nestas condições, as rochas da área fonte devem ter sido intemperizadas até algumas centenas de metros de profundidade. Os minerais instáveis e meta-estáveis destas rochas foram transformados total ou parcialmente em minerais de argilas e/ou óxido-hidróxidos de ferro e alumínio, dependendo das profundidades de intemperismo.

Os sedimentos da Formação Itararé foram derivados de rochas frescas ou rochas pouco intemperizadas, remanescentes. Dessa forma, não houve tempo para atuação intempérica e formação de grandes discordâncias, tendo sido os sedimentos depositados rapidamente.

Os sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu foram derivados predominantemente de rochas do Embasamento Cristalino e rochas sedimentares pré-existentes e depositados em bacia estável, em clima semi-árido a árido. Nestas condições, os materiais destes sedimentos não sofreram grande atuação de intemperismo químico. Os grãos dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu são comumente envolvidos por uma fina película de óxido-hidróxidos de ferro, precipitados de águas capilares, que dão a estes arenitos a coloração marrom-avermelhada.

7.4. Dissolução intra-estratal

Alguns grãos de minerais leves como quartzo, feldspato e sílex apresentam-se com início de corrosão e superfícies côncavas ou serrilhadas, às vezes substituído por sericita e/ou calcita. Os minerais pesados instáveis e meta-estáveis como piroxênio, anfibólio, estauroлита e granada sempre mostram forma serrilhada e marcas de corrosão; alguns grãos de piroxênio são substituídos por calcita. Estas evidências indicam que a ação de soluções intra-estratais ocorreu nas formações estudadas.

A maioria dos minerais meta-estáveis e instáveis nessas formações como estauroлита, granada, apatita, piroxênio e anfibólio mostra que a dissolução intra-estratal não foi um importante processo geológico. Se este processo fosse efetivo, as quantidades de minerais meta-estáveis e instáveis deveria aumentar da Formação Itararé para Formação Bauru.

8. CONCLUSÕES

8.1. Tipos de rochas

Os arenitos das formações estudadas são classificados como arcósios, subarcósios e quartzo-arenitos com maior quantidade presente em feldspatos do que em fragmentos de rochas.

8.2. Províncias mineralógicas

As províncias mineralógicas das formações Itararé e Aquidaua são divididas em três: províncias A, B e C. A Província A ocorre dominantemente no pacote inferior da Formação Itararé, a Província B no pacote superior da Formação Itararé e a Província C na Formação Aquidauana. Estas três províncias são interdigitadas.

As províncias mineralógicas das formações Pirambôia e Botucatu são divididas em duas: províncias A e B. A Província A ocorre dominantemente na Formação Pirambôia e a Província B na Formação Botucatu. Estas duas províncias são interdigitadas também.

As províncias mineralógicas da Formação Bauru são divididas em duas: províncias A e B. A Província A ocorre dominantemente na base do pacote superior da Formação Bauru na região de Olímpia a Santa Adélia e a Província B nos pacotes superior e inferior da Formação Bauru.

As províncias dos minerais pesados nos arenitos destas formações foram dominantemente controladas pela intensidade de tectonismo, mudança progressiva e clima na área fonte.

8.3. Maturidade em arenitos

As maturidades textural e mineralógica, referentes aos minerais leves dos arenitos, são representadas por quatro estágios: imaturo, submaturo, maturo e supermaturo. A maturidade mineralógica referente aos minerais pesados transparentes não micáceos é quantitativamente definido

pelo índice zircão - turmalina - rutilo (ZTR).

As maturidades textural e mineralógica para os minerais leves e pesados nesses arenitos nem sempre se correlacionam, indicando que são controladas por fatores diferentes. A maturidade textural desses arenitos é predominantemente controlada pelo tipo e intensidade de energia dos meios de transporte; a maturidade mineralógica relativa aos minerais leves é controlada pelas rochas e intemperismo na área fonte; e a maturidade mineralógica referente aos minerais pesados é controlada também pelas rochas e intemperismo na área fonte. Estes pesados são modificados por abrasão seletiva mas no caso dos minerais ultra-estáveis eles podem manter seu arredondamento original de rochas metamórficas.

8.4. Fatores governando a ocorrência de minerais

A ocorrência de minerais foi modificada por quatro fatores: abrasão seletiva, seleção hidráulica, intemperismo e dissolução intra-estratal.

Antes e/ou durante a deposição da Formação Aquidauana, as rochas na área fonte foram fortemente intemperizadas, transformando totalmente os minerais instáveis e parcialmente os minerais meta-estáveis a minerais de argila e óxido-hidróxidos de ferro.

Durante o transporte e deposição das formações Pirambóia e Botucatu, os grãos destes arenitos sofreram fortemente a ação abrasiva eólica e os minerais de baixa dureza foram eliminados, permanecendo somente os minerais mais duros.

Os minerais pesados de densidade alta como zircão, magnetita, ilmenita e leucoxênio são sempre mais abundantes que outros na fração de areia muito fina, graças a ação da seleção hidráulica.

A ação de soluções intra-estratais ocorreu nestas formações, porém não de modo importante.

8.5. Rochas fontes dos arenitos e sua condições deposicionais

Baseado nas características dos minerais pesados e leves e nas variações de províncias dos minerais pesados nestas formações, e considerando-se as maturidades em arenitos e os fatores governando a ocor

rência de minerais, as rochas fontes destes arenitos e suas condições de posicionais são as seguintes, as quais estão também de acordo com observações geológicas de autores anteriores:

8.5.1. Formações Itararé e Aquidauana

Antes da deposição dos sedimentos da Formação Aquidauana, o Embasamento Cristalino, constituído por rochas graníticas Brasilianas, situadas ao nordeste da bacia, e por metassedimentos de Grupo São Roque e as rochas graníticas Brasilianas, situadas a leste, já estavam expostas à superfície por longo período geológico, tendo sofrido forte atuação intemperica. Estas rochas devem ter sido intemperizadas até algumas centenas de metros de profundidade. Os minerais instáveis e meta-estáveis destas rochas foram transformados total ou parcialmente em minerais de argila e/ou óxido-hidróxidos de ferro e alumínio, dependendo da profundidade de intemperismo.

No início da deposição da Formação Aquidauana, os materiais foram derivados predominantemente das rochas cristalinas intemperizadas e parcialmente de rochas sedimentares pré-existentes, tendo sido depositados em ambiente fluvial com influência glacial.

Depois, as rochas cristalinas situadas ao sudeste da bacia sofreram violenta deformação vertical e grandes falhamentos, acompanhada de grande subsidência na região do médio Rio Tietê e decrescendo para o nordeste da bacia. Ocorreu conseqüentemente, uma grande ingressão marinha. Dessa forma, os sedimentos do pacote inferior da Formação Itararé foram derivados predominantemente das rochas situadas a sudeste da bacia, constituídas por rochas cristalinas frescas, poucas rochas metassedimentares e rochas sedimentares pré-existentes, sendo depositadas em ambiente marinho de águas relativamente profundas a rasas, com forte influência glacial. Os sedimentos da Formação Aquidauana, correspondentes àqueles do pacote inferior da Formação Itararé, foram derivados predominantemente das rochas situadas a nordeste da bacia, constituídas por rochas cristalinas intemperizadas, poucos sedimentos pré-existentes e sedimentos da própria Formação Aquidauana, sendo depositados em ambientes de planície de maré a marinho raso e fluvial, com influência glacial.

O desenvolvimento do arqueamento de Ponta Grossa e a re-estruturação da bacia ocasionaram a regressão marinha na bacia e progradação da sedimentação continental (Soares et alii 1974). Sob tais condições, os sedimentos do pacote superior da Formação Itararé foram derivados predominantemente das rochas situadas a sudeste da bacia, constituída por rochas

metassedimentares do Grupo São Roque, rochas graníticas Brasilianas, sedimentos pré-existents e da própria Formação Itararê, sendo depositados em ambiente marinho raso, deltáico e fluvial, com influência glacial. Os sedimentos da Formação Aquidauana, correspondentes ao pacote superior da Formação Itararê, foram derivados predominantemente das rochas situadas a nordeste da bacia, constituídas por sedimentos da própria Formação Aquidauana, poucas rochas cristalinas e rochas sedimentares pré-existents, sendo depositados em ambientes flúvio-glacial e de lago glacial.

8.5.2. Formações Pirambôia e Botucatu

Durante a deposição das formações Pirambôia e Botucatu, as áreas fontes foram os escudos estáveis de rochas cristalinas situadas a leste e sudeste da bacia e sedimentos pré-existents e rochas cristalinas situadas a nordeste. Os sedimentos das formações Pirambôia e Botucatu da parte central da bacia devem ter sido derivados predominantemente das rochas cristalinas e parcialmente das rochas sedimentares pré-existents e os da parte nordeste da bacia, predominantemente derivados das rochas sedimentares pré-existents e parcialmente das rochas cristalinas. Ao tempo da deposição da Formação Botucatu, teve lugar um vulcanismo básico na área fonte, o que propiciou o fornecimento de magnetita e ilmenita angulares e euédricas.

Os arenitos da Formação Pirambôia foram depositados em ambiente fluvial com forte influência eólica e os da Formação Botucatu depositados em ambiente eólico com forte influência fluvial.

8.5.3. Formação Bauru

No início da deposição do pacote inferior da Formação Bauru no nordeste do Estado de São Paulo, os escudos estáveis de rochas cristalinas situadas ao norte, e as rochas sedimentares pré-existents mais as rochas cristalinas situadas a leste da bacia Bauru compunham a principal fonte dos materiais dos arenitos que foram depositados em ambiente fluvial. Até a deposição da base do pacote superior da Formação Bauru, a área fonte localizada ao norte da bacia foi ativa e elevada pelo soerguimento do Arco da Canastra, associada a uma intensa atividade vulcânica alcalina e ultrabásica e também, às lavas basálticas da Formação Serra Ge

ral que, a esse tempo, foram expostas acima do nível erosivo na margem norte da bacia. Consequentemente, o intemperismo, erosão e deposição, realizados em ambiente fluvial, formaram os arenitos tufáceos da Formação Bauru que contêm muitos minerais pesados instáveis e meta-estáveis. Enquanto a maioria das rochas vulcânicas básica, alcalina e ultrabásica deram origem aos sedimentos da base do pacote superior da Formação Bauru, os sedimentos restantes desse pacote superior tiveram proveniência similar a do pacote inferior da Formação, com pouca contribuição vulcânica básica, alcalina e ultrabásica.

9. AGRADECIMENTOS

Quero deixar registrado os meus sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Paulo Milton Barbosa Landim, pela orientação e estímulo que dedicou a esta pesquisa, bem como a revisão do texto em português.

À Professora Maria Rita Caetano Chang, um agradecimento especial, pela leitura crítica do manuscrito, valiosas discussões e revisão minuciosa do texto em português.

Ao Professor Doutor Paulo Cesar Soares, pelas valiosas discussões e contribuição nos trabalhos de campo, o meu muito obrigado.

À Professora Neide M.N. Gonçalves pela preparação das amostras da Formação Bauru e ao Geólogo Augusto E. Meyer Jr. pela cooperação nos trabalhos de campo, o meu muito obrigado.

Aos Professores Armando Márcio Coimbra, Jairo Roberto Jimenez Rueda, Dr. José Moacyr Vianna Coutinho, Dr. Eberhard Wernick, Dr. Asit Choudhuri e Dr. Heinz Ebert, agradeço pelas determinações e/ou confirmações de minerais que se mostraram difíceis de identificação.

Ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, em especial ao Departamento de Geologia Geral e Aplicada, por ter proporcionado as condições de trabalho que propiciaram a realização deste trabalho.

À Sra. Maria Célia Zadra Schmidt pela preparação de algumas amostras e ao Sr. Antonio Carlos Bueno de Moraes, pela preparação das lâminas, o meu muito obrigado.

Às Srtas. Margarida de Paula Caraça e Doraci Dionizio, e ao Sr. Antonio Cezário Porta Júnior agradeço, respectivamente, pela datilografia e desenhos realizados.

10. BIBLIOGRAFIA

- Amaral, S.E. - 1961 - Silicificação intersticial de arenitos de Sergipe (Série Barreiras) e de Varnhagen, SP (Série Itararé)-Bol.Soc.Bras.Geol., 10(1): 79-99.
- Amaral, G., Cordani, U.G., Kawashita, K. e Reynolds, J.H. - 1966 - Potassium Argon ages of basaltic rocks from Southern Brazil-Geoch.Cosmoch. Acta, 30(2): 159-189.
- Andrade, S.M. e Soares, P.C. - 1971 - Geologia de semi-detálhe do Centro-Leste de São Paulo - Petrobrás-Desul, Rel. 407, 52p.
- Artur, A.C., Wernick, E. e Kawashita, K. - 1979 - Dobramentos superimpostos na região de Itapira (SP): Caracterização e cronologia - 29 Simpósio Reg. Geol., 1: 59-69.
- Baturin, V.P. - 1931 - Petrography of the sands and sandstones of the productive series - Bull. Trans. Azerbaidjan Petrol. Inst., 1:1-95.
- Blatt, H., Middleton, G. and Murray, R. - 1972 - Origin of sedimentary rocks - Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, 634 p.
- Boswell, P.G.H. - 1923 - The petrography of the Cretaceous and Tertiary outliers of the west of England - Quart. Jour.Geol.Soc., 79: 226.
- Carvalho, A.M.V. - 1954 - Contribuição ao estudo petrográfico do arenito Botucatu no Estado de São Paulo - Bol. Soc.Bras.Geol., 3(1) 51-72.
- Coimbra, A.M. - 1976 - Arenitos da Formação Bauru: Estudo de áreas-fonte - Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo.
- Cozzens, S.B. - 1931 - Rates of wear of common minerals - Wash.Univ. Studies, Sci. and Technol., (5, new series): 71-80.
- Edelman, C.H. - 1933 - Petrologische provinces in het Nederlandse Kwartair -

Center Publishing Co., 104 p.

- Evans, P., Hayman, R.J. and Majeed, M.A. - 1933 - The graphical representation of heavy mineral analyses - World Petrol Congr. Proc., 1:251-256.
- Fiori, A.P. - 1977 - Estratigrafia do Grupo Tubarão (Formação Aquidauana) na região sudoeste do Estado de Minas Gerais - Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo.
- Folk, R.L. - 1968 - Petrology of sedimentary rocks - Hemphill's, 170 p.
- Friese, F.W. - 1931 - Investigation of the wearability of minerals during transportation in water - Mineralog. Petrog. Mitt., 41: 1-7.
- Goldish, S.S. - 1938 - A study in rock weathering - Jour.Geol., 46:17-58.
- Hubert, J.F. - 1962 - A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones - Jour.Sed.Petrol., 32(3): 440-450.
- Hubert, J.F. - 1971 - Analysis of heavy-mineral assemblages (in Carver, R.E. - Procedures in sedimentary petrology) - Wiley interscience, 453-476.
- Krynine, P.D. - 1948 - The megascopic study and field classification of sedimentary rocks - Jour. Geol., 56: 130-165.
- Landim, P.M.B., Wu, F.T. e Meyer Jr. A.E. - 1977 - Contribuição ao estudo dos minerais pesados do leito do Rio Amazonas - Cienc.Cult., resumos, 29 (Supl. 7): 514.
- Leinz, V. - 1949 - Contribuição à geologia dos derrames basálticos no Sul do Brasil - Bol.Fac.Ciênc.Let.,USP, 103(Geol. 5): 1-61.
- Milner, H.B. - 1962 - Sedimentary Petrography - Allen and Unwin Ltda.,715p.

- Nemec, H., Nemec, W., e Porebski, S.J. - 1978 - Weissliegende sandstones: A transition from fluvial-aeolian to shallow-marine sedimentation (Permian of the Fore - Sudetic Monocline) - Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Annales de La Societ Geologique de Pologne, XLVIII (1): 73-97.
- Paraguassu, A.B. - 1968 - Contribuio ao estudo da Formao Botucatu: Sedimentitos aquosos estruturas sedimentares e silicificao - Tese de Doutorado, Esc.Eng.So Carlos, USP.
- Penalva, F. e Wernick, E. - 1973 - Compartimentao tectnica em parte do Pr-Cambriano paulista - XXVII Congr.Bras.Geol. Resumo das comunicaes, (1): 128-129.
- Pettijohn, F.J. - 1957 - Sedimentary rocks - Harper & Brother, 2 ed., 718 p.
- Rittenhouse, G. - 1943 - The transportation and deposition of heavy minerals - Bull.Geol.Soc.Am., 54: 1725 - 1780.
- Russel, R.D. - 1937 - Mineral composition of Mississippi River sands - Bull. Geol.Soc.Am., 48: 1307-1348.
- Russel, R.D. - 1939 - Effects of transportation on sedimentary particles, in recent marine sediments, Tulsa - Amer.Assoc.Petroleum Geologists. 32-47.
- Sindowski, F.K.H. - 1949 - Results and problems of heavy mineral analysis in Germany: a review of sedimentary-petrological papers, Jour.Sed. Petrol., 19: 3-25.
- Soares, P.C. - 1973 - O Mesozico Gondwnico no Estado de So Paulo - Tese de Doutorado, Departamento de Geologia e Mineralogia, F.F.C.L. Rio Claro.
- Soares, P.C. e Landim, P.M.B. - 1973 - Aspectos regionais da estratigra

fia da Bacia do Paraná no seu flanco Nordeste - An. XXVII Congr.Bras. Geol. 1: 243-256.

Soares, P.C. e Landim, P.M.B. - 1976 - Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil - International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type. An. Acad. Bras. Ciên. 48 (supl.): 313-324.

Soares, P.C., Sinelli, O., Penalva, F., Wernick, E., Souza, A. e Castro, P.R.M. - 1973 - Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo - An. XXVII - Congr.Bras.Geol., 1: 209-228.

Soares, P.C., Landim, P.M.B. e Fúlfar, V.J. - 1974 - Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. An. XXVIII Congr.Bras.Geol., 4: 61-83.

Soares, P.C., Landim, P.M.B., Sinelli, O., Wernick, E., Wu, F.T. e Fiori, A.P. - 1977 - Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental - Rev. Bras. Geol., 7: 131-149.

Thiel, G.A. - 1945 - Mechanical effects of stream transportation on mineral grains of sand size (abstract) - Bull.Geol.Soc.Amerc., 56: 1207.

Tommasi, E. - 1973 - Geologia do flanco sudeste da Bacia do Paraná (RS, SC e PR) - XXVII Congr.Bras.Geol., Resumo das Comunicações (2): 147-148.

Wu, F.T. e Soares, P.C. - 1974 - Minerais pesados nas formações Pirambôia e Botucatu - An. XXVIII Gongr.Bras.Geol. 119-127.

Figura 1 — Mapa Geológico Simplificado de Centro-Leste do Estado de São Paulo, mostrando a localização das Amostras

Trópico de Capricórnio