

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROGRAFIA E PROVENIÊNCIA DOS SEIXOS DE
GRANITO-GNAISSES DO METACONGLOMERADO
DO MORRO DOCE (GRUPO SÃO ROQUE),
SÃO PAULO - SP**

Renato Henrique Pinto

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF - 2004/25)

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016373

**Petrografia e Proveniência dos Seixos de Granitos-
Gnaisses do Metaconglomerado do Grupo São
Roque – Morro Doce -SP**

Renato Henrique Pinto

Monografia de Trabalho de Formatura



Banca Examinadora

Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi _____

Prof. Dr. Antônio Luiz Teixeira _____

Prof. Dr. Paulo César Boggiani _____

São Paulo

2004

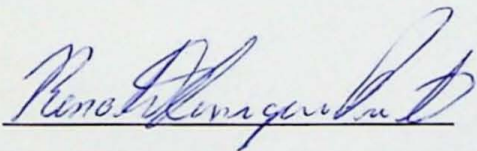
TF
H519
R.p



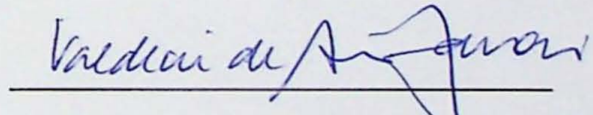
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Petrografia e Proveniência dos Seixos de Granito-Gnaisses do
Metaconglomerado do Morro Doce (Grupo São Roque),
São Paulo-SP**

**Monografia de Trabalho de Formatura
Departamento de Mineralogia e Geotectônica
TF - 2004/25**



Renato Henrique Pinto



Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

São Paulo

2004

Resumo

O presente estudo compara as variedades de seixos graníticos do metaconglomerado do Grupo São Roque (SP) com potenciais áreas fontes, utilizando como ferramentas principais a petrografia e a geoquímica.

Os seixos graníticos estudados foram coletados à partir do levantamento de um perfil de detalhe em uma exposição de rocha fresca contínua por ~200 m no Rodoanel Viário Metropolitano de São Paulo. Estes apresentam em média 10-20 cm, têm formas arredondadas e mostram alongamento em parte provocado por deformação. Predominam amplamente biotita monzogranitos equigranulares e inequigranulares, de granulação média a grossa e índice de cor (IC) ~3-5; embora muito restritas, foram também encontradas variedades porfiríticas com $IC > 7$. Todas as variedades de granitos apresentam leve foliação, baixos valores de susceptibilidade magnética, e características fracamente peraluminosas (biotita como único mineral máfico importante; muscovita em algumas amostras). Os granitos predominantes são ricos em SiO_2 (70-77%), tem $\#mg = 25-35$ e em geral apresentam $A/CNK < 1$, devido a introdução de calcita secundária.

Comparados aos granitos neoproterozóicos petrograficamente semelhantes presentes no Domínio São Roque e ao sul da falha de Taxaquara, os seixos predominantes só mostram semelhanças mais evidentes com os granitos do tipo Caucaia, dos quais se distinguem no entanto por apresentarem baixos teores de Rb. Deste modo, podemos concluir que a fonte dos seixos seriam granitos mais antigos (para os quais ainda não existem dados geoquímicos) ou que, se a fonte é o granito do tipo Caucaia ou Itapevi félsico, teria havido perda de Rb durante o processo hidrotermal.

DOAÇÃO
IGC-USP
Data: 22/06/05

Abstract

The present study compares the varieties of granitic pebbles of the Grupo São Roque (SP) metaconglomerate with potential sources, using as main tools petrography and rock geochemistry.

The studied granitic pebbles were collected in detailed study of a ~200 m continuous exposure of fresh rocks in the "Rodoanel Viário Metropolitano de São Paulo". The pebbles are elongated (major axis averaging 10-20 cm), in part as a result of post-sedimentary deformation, and originally rounded. The predominant rock types are medium to coarse-grained equigranular to inequigranular biotite monzogranites with low color index (CI) ~3-5; although very restricted, porphyritic varieties with $CI > 7$ were also found. All granite varieties present a slight foliation, low values of magnetic susceptibility, and moderately peraluminous chemistry (biotite as the only important mafic mineral; muscovite in some samples). The predominant granites are rich in SiO_2 (70-77%), have $\#mg = 25-35$ and in general present $A/CNK < 1$, due to the introduction of secondary calcite.

Compared to petrographically similar neoproterozoic granites present in the São Roque Domain and to the south of the Taxaquara fault, the predominant pebbles only show more evident similarities with the Caucaia-type granites, from which they are however distinguished by low Rb contents. Therefore, we can conclude that the source of the pebbles would be older granites (for which geochemical data are still rare) or that, if the source is the Caucaia-type granite, it has lost Rb during the hydrothermal process.

"Dedico este trabalho ao grande mestre José Moacir Viana Coutinho, por toda sua obra e por ter eternizado a unidade metaconglomerática do Grupo São Roque, que segundo ele trata-se de um dos primeiros metaconglomerados descritos entre as rochas pré-devonianas brasileiras. Sua obra motivadora sem duvidas, foi à camada guia deste trabalho de formatura, e com certeza servirá de incentivo para inúmeras gerações de geólogos que virão".

Agradecimentos

Agradeço ao meu professor e amigo Valdecir de Assis Janasi, por sua dedicação ao longo destes anos, e sua capacidade de orientar com muita paciência e seriedade, traçando as linhas do meu conhecimento, mas nunca escrevendo a história por mim.

Agradeço a toda minha turma, pela marcante história de samba (GEOSAMBA), principalmente aos “sócios fundadores” da nova geração, dos quais tenho orgulho de fazer parte, e que transformaram o cotidiano da geologia e trouxeram para as nossas viagens de campo momentos inesquecíveis.

Agradeço aos meus pais, irmãos e familiares, que apesar de nunca entenderem ao certo o “espírito” geológico, sempre me incentivaram a “mergulhar nesta viagem maravilhosa”.

Agradeço aos companheiros de lar (“Ilha Quadrada”), Chuck, Mamute, Condorito, Bostão e de “bônus” meu grande amigo Baseado, que apesar da sujeira acumulada ao longo destes anos, fizeram parte de minha vida e ainda me agüentaram por muitos anos.

Agradeço aos vizinhos (“Pá-na-pia”), principalmente Jonas e Cofrinho, a minha dupla de mapeamento Samar, por ter mapeado a “fantástica” área II e pelo suporte técnico, a todos os professores em especial ao meu amigo Prof. Renato (ninguém), ao grande “Vasco” que lidera como ninguém o laboratório de separação mineral, ao Zé Paulo, ao “maestro” e amigo Zé Carlos e a todos os funcionários que me ajudaram.

Agradeço a minhas amigas Lú e Bisteca e a todos os pós-graduandos que me ajudaram neste trabalho.

Por fim, agradeço a Bruna, a pessoa mais “doce” que alegra meus dias e esteve ao meu lado durante todo o trabalho!

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO, METODOLOGIA E LOCALIZAÇÃO..... 1

I.1. Introdução.....1

I.2. Objetivos e Metodologia.....2

I.3. Localização e Acessos.....3

CAPÍTULO II - GEOLOGIA REGIONAL..... 5

II. 1. Introdução.....5

II. 1.2. Contexto Geotectônico5

II. 1.3. Geomorfologia.....9

II. 1.4. Estratigrafia.....10

II. 1.4.1. Grupo Serra do Itaberaba10

II. 1.4.2. Grupo São Roque11

II. 1.5. Paleoambientes de Sedimentação12

II. 1.6. Geologia Estrutural.....13

II. 1.6.1. Tectônica Dúctil13

II. 1.6.2. Tectônica Rúptil15

II. 1.7. Metamorfismo.....16

II.1.8. Magmatismo granítico18

II. 1.8.1. O Estudo do Zircão na Caracterização de Rochas Graníticas23

CAPÍTULO III – GEOLOGIA E PETROGRAFIA 25

III. 1. Geologia Local25

III. 2. Petrografia.....26

III. 2.1. Seixos de Granito-Gnaisses26

Granito Equigranular Médio a Fino26

Granito Inequigranular Médio a Grosso.....26

Leucogranito Inequigranular Grosso.....27

Biotita Granito Porfírico.....27

III. 2.2. Seixos de Xistos28

III. 2.3. Seixos de Quartzito.....28

III. 2.4. Metarcóseo29

III. 3. Susceptibilidade Magnética29

III. 4. Tipologia do Zircão32

III. 4.1. Zircões do seixo de granito equigranular.....32

III. 4.2. Zircões extraídos da matriz.....33

CAPÍTULO IV – GEOQUÍMICA 34

IV. 1. Fontes de dados geoquímicos34

IV. 2. Geoquímica dos Seixos35

IV. 2.1. Afinidades Geoquímicas.....35

IV. 2.2. Elementos Maiores e Traços.....37

IV. 3. Geoquímica Comparativa.....37

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	42
V.1. Características petrográficas e geoquímicas dos seixos graníticos.....	42
V.2. Comparação com potenciais áreas fontes.....	42
Referências Bibliográficas	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa do Anel Rodoviário, a NW da região metropolitana de São Paulo	3
Figura 2	Mapa tectônico do sudeste brasileiro	6
Figura 3	Terreno Apiaí-Guaxupé e Unidades Tectônicas Adjacentes	8
Figura 4	Principais macroestruturas	14
Figura 5	Principais falhamentos transcorrentes do Estado de São Paulo	15
Figura 6	Paragêneses metamórficas e retrometamórficas dos metapelitos	17
Figura 7	Principais ocorrências de granitóides do Estado de São Paulo	19
Figura 8	Imagem de variedades tipológicas de zircões	23
Figura 9	Simbologia usada para seixos graníticos e potenciais granitos fontes	34
Figura 10	Indicadores de afinidades geoquímicas	35
Figura 11	Diagramas de Variação (<i>elementos maiores vs. SiO₂</i>)	37-38
Figura 12	Diagramas de Variação (<i>elementos traços vs. SiO₂</i>)	39-40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Síntese petrográfica e isotópica dos principais corpos graníticos da região	21
Tabela 2	Quadro comparativo de feições cristalográficas de zircões	22
Tabela 3	Dados de susceptibilidade magnética de granitos e seixos	29
Tabela 4	Porcentagem modal estimada visualmente das seções delgadas analisadas	30

Capítulo I – Introdução, Metodologia e Localização

I.1. Introdução

A idade de deposição das seqüências supracrustais que compõem as Faixas Dobradas do Sudeste do Brasil é ainda bastante controversa, em especial pelas dificuldades de datação absoluta. Trabalhos recentes têm permitido distinguir, dentro da chamada Faixa Ribeira, tanto seqüências meta-vulcanossedimentares de idade Mesoproterozóica (ex., Grupo Serra do Itaberaba, Juliani & Hackspacher, 2000; Grupo Perau, Grupo Água Clara, Basei et al., 2003) como seqüências significativamente mais jovens, depositadas ao final do Neoproterozóico (Grupo São Roque, Subgrupo Lajeado; Hackspacher *et al.*, 2000).

As determinações de idade feitas até o momento nessas seqüências baseiam-se normalmente na datação de rochas interpretadas como vulcânicas, e não está isenta de ambigüidades. Assim, por exemplo, a idade da ordem de 1,7 Ga sugerida por Tassinari et al. para o Grupo São Roque foi questionada com base em trabalhos de petrografia nos quais supostos “riolitos” datados foram reinterpretados como meta-arcóseos (Juliani *et al.*, 1997). Por outro lado, a obtenção de idade de ~620 Ma para riolitos previamente tidos como parte da seqüência vulcânica do Grupo Serra do Itaberaba levou os autores a reinterpretá-los como corpos intrusivos (Juliani & Hackspacher, 2000).

A idade admitida por Hackspacher *et al.* (2000) para a deposição do Grupo São Roque (~630 Ma) baseia-se na datação U-Pb de monazita de uma rocha metavulcânica básica da região de Pirapora do Bom Jesus. Essa idade é contemporânea à do magmatismo granítico cálcio-alcálico intrusivo no próprio Domínio São Roque e em terrenos adjacentes, o que levou os autores a admitirem a formação do Grupo São Roque em uma bacia de retro-arco continental com a formação de um oceano raso restrito, com vulcanismo máfico submarino.

Os metaconglomerados do Grupo São Roque têm atraído a atenção dos geólogos desde os trabalhos pioneiros de Coutinho (1955), em vista de sua expressão significativa, e do grande volume de seixos de granitos gnáissicos presentes. Tassinari *et al.* (1985) e Tassinari (1988) obtiveram isócronas Rb-Sr para os seixos graníticos (1200 ± 75 Ma) e para a matriz arcoseana (800 ± 30 Ma) desse metaconglomerado, que foram interpretadas como a idade da fonte e do último evento metamórfico que atuou sobre essas rochas, respectivamente. Claramente, a idade obtida para a matriz é incompatível com a idade de sedimentação admitida por Hackspacher et al. (2000).

Uma nova exposição de metaconglomerados, que afloram frescos por cerca de 200 metros, surgiu recentemente com a construção do Rodoanel Viário Metropolitano da cidade de São Paulo, próximo ao túnel do Morro Doce, na mesma região em que ocorre o afloramento estudado por Coutinho e Tassinari. Visitas de campo revelaram que ali existe uma significativa variedade de rochas graníticas. Como contribuição para o problema da estratigrafia do Grupo São Roque, foram obtidos dados petrográficos de toda a variedade de seixos (especialmente os graníticos) presentes, comparando-a com as descrições de Coutinho (1955 e 1968), e dados geoquímicos (elementos maiores e traços) de amostras representativas. O acervo de dados da literatura ora existente para as potenciais áreas-fonte (em especial granitos intrusivos e ortognaisses do embasamento) foram também utilizados para comparação, com o objetivo de identificar a proveniência dos seixos e estabelecer idades mínimas de sedimentação, já que segundo Martin (2000), a unidade estudada posiciona-se estratigraficamente na base do Grupo São Roque.

1.2. Objetivos e Metodologia

Objetivou-se nesta pesquisa contribuir para um melhor entendimento da estratigrafia do Grupo São Roque, usando análises petrográficas e químicas de sua unidade metaconglomerática, como um importante elo de ligação na busca de suas potências áreas fontes. A primeira atividade desenvolvida no trabalho foi o resgate da história de estudos das rochas metassedimentares presentes à NW da região metropolitana de São Paulo, contexto no qual se encaixa o Grupo São Roque e sua unidade metaconglomerática. Durante as campanhas de campo foi realizado um perfil detalhado no afloramento (pista sul do Rodoanel), com uma sistemática coleta de amostras ao longo de seu percurso, procurando resgatar algum registro reliquiar, porém a deformação que o afeta, praticamente apaga feições de sua gênese sedimentar.

Foram analisadas seções delgadas para as diferentes tipologias encontradas, previamente separadas no campo, podendo assim propor uma primeira classificação que se baseia nas feições texturais e na porcentagem mineralógica modal aproximada. Após este processo de seleção, as amostras foram britadas em mandíbulas de aço, homogeneizadas em quarteador do tipo *Jones*, moídas em moinho de ágata e pulverizadas. Estas alíquotas foram submetidas a um processo de pastilhamento e parte do material pulverizado foi pesado juntamente com fundentes, e ambos submetidos à fusão e posterior vitrificação, procedimento necessário para a realização das análises químicas.

Dados geoquímicos de granitos pertencentes ao Domínio São Roque e ao Complexo Embu, foram usados como comparação, com os dados químicos dos seixos graníticos obtidos através do método de fluorescência de raios-X, realizado no laboratório de química do Instituto de Geociências. Estes foram tratados em diagramas binários, usando elementos maiores e traços e suas correlações com os valores de sílica, na busca de semelhanças entre os potências granitos fontes e seus seixos.

Uma amostra da variedade de seixo granítico mais representativo (equigranular), juntamente com uma da matriz, foram depois de britadas e quarteadas, moídas em moinho de disco e delas separadas frações inferiores à 150mm. Esta fração foi submetida a processos de separação mineral por diferença de densidade, através do uso de mesa vibratória e líquidos densos (bromofórmio e iodeto de metileno) respectivamente, e processo de separação usando propriedades magnéticas em *separador Frantz*. Com o objetivo de selecionar minerais passíveis de futuras análises isotópicas (zircão e monazita), já que não foi possível realizá-las no presente trabalho.

As frações não magnéticas a 1,0 A, onde ficam retidos os cristais de zircão, foram mantidas em ácido nítrico 50% de um dia para o outro, com o objetivo de eliminar o excesso de sulfetos presente. Uma nova triagem no *separador Frantz* foi realizada, mantendo uma amperagem constante de 1,5 A, e alternado apenas o ângulo de queda dos cristais em relação às canaletas de coleta, objetivando a seleção dos melhores zircões (brilho vítreo, faces bem formadas, etc.).

O enriquecimento do trabalho com dados disponíveis na literatura, mais as análises químicas de outros corpos graníticos adjacentes ao Grupo São Roque, as caracterizações tipológicas dos zircões, somados a valores de susceptibilidade magnética e a obtenção de razões isotópicas, são metas passíveis de serem atingidas e podem também serem usadas como base de comparação em trabalhos futuros.

1.3. Localização e Acessos

A rocha de estudo localiza-se a NW da região metropolitana de São Paulo, a construção do novo “anel rodoviário” (Rodoanel Km 9,5), permitiu uma maior visualização da unidade estudada. As exposições encontram-se nas duas pistas do Rodoanel, e o trabalho detalhou-se na pista sul. Suas coordenadas geográficas são: (316059 E – 7403271 N, altitude aproximada 865m), este permite acesso pelas rodovias Regis Bittencuort (BR-116), Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280), Anhanguera (SP-330) e Bandeirantes (SP-348) (ver **figura 1**).

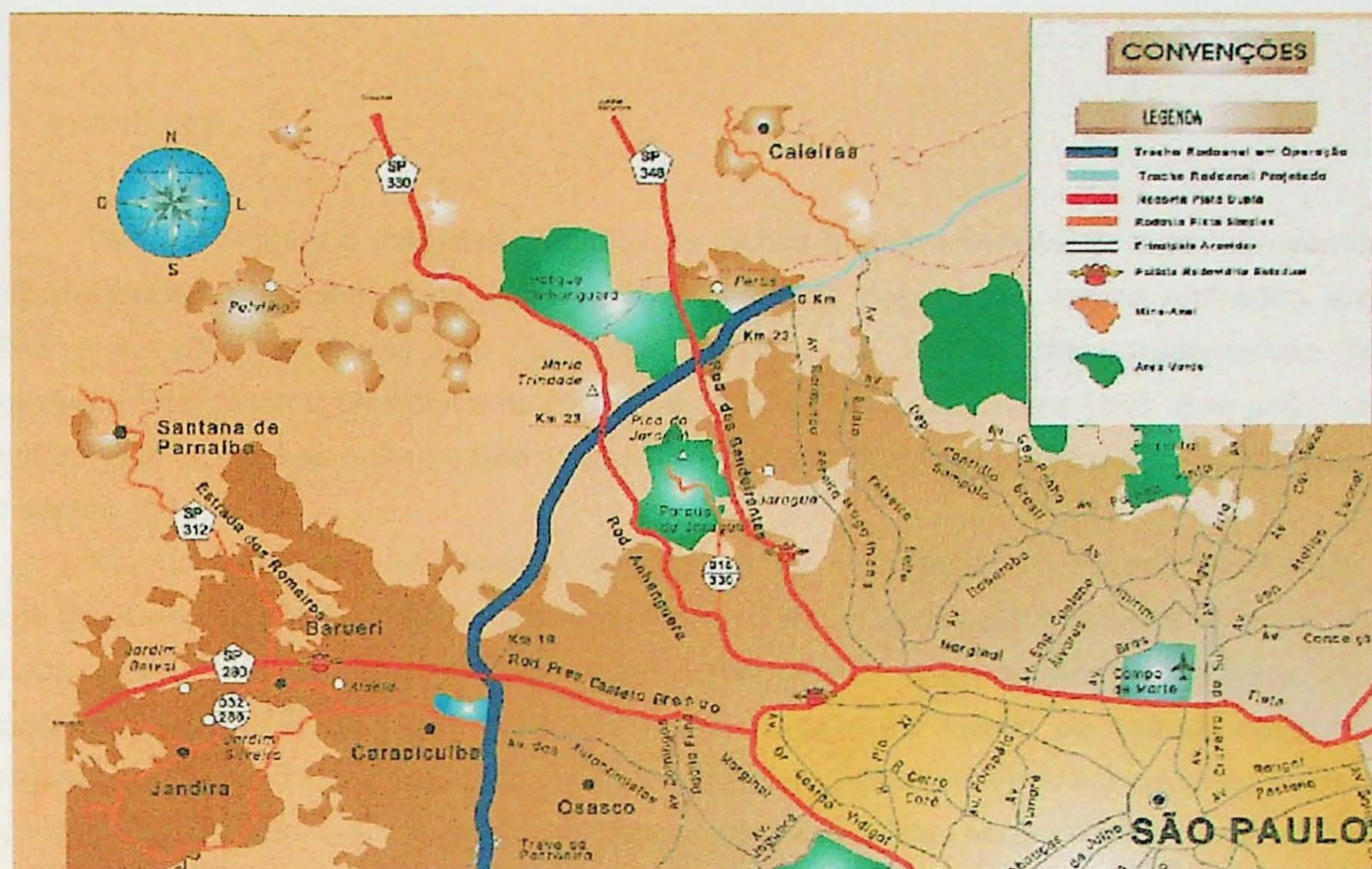


Figura 1: Mapa do Anel Rodoviário (Rodoanel), a NW da região metropolitana de São Paulo, figura extraída do Departamento de Estradas e Rodagem (DER-SP, 2002)



Foto1: Localização do afloramento, próximo ao túnel do Rodoanel (Km 9,5), as análises de detalhe foram efetivadas no corte da pista sul.

Capítulo II - *Geologia Regional*

II. 1. Introdução

Tem despertado o interesse científico as rochas metassedimentares e os numerosos corpos ígneos e metabásicos do oeste paulista, desde as viagens dos irmãos Andradas, em 1805 e em 1820, do Barão Von Eschwege, por volta de 1830 e dos levantamentos da Comissão Geográfica e Geológica da Província de São Paulo, criada em 1886. Boa parte da área em que localiza-se o Grupo São Roque, foi sítio de produção aurífera a partir do 1º terço do século XVI.

Historicamente o Grupo Açungui começou a ser reconhecido no Paraná e estendido para nordeste, enquanto metassedimentos similares foram distinguidos a oeste e norte da cidade de São Paulo e prolongados para sul. Estes últimos foram enfeixados na Série São Roque por Moraes Rego (1933). Posteriormente, no primeiro estudo de análise estrutural realizado na região (Hasui, 1973), concluiu por diferentes histórias deformacionais nos grupos Açungui e São Roque, o que indicaria serem unidades sincrônicas, porém distintas, apesar das semelhanças litológicas, metamórficas, magmáticas e radiométricas.

A tentativa de caracterizar seqüências estratigráficas em rochas Pré-Cambrianas, torna-se complicada devido aos intensos e diferentes processos de deformação nos quais estas rochas foram submetidas ao longo de sua história geológica.

Para Coutinho (1955), a unidade representada por metaconglomerados do Grupo São Roque, trata-se de um dos primeiros conglomerados polimíticos metamorfizados, encontrados entre as rochas pré-devonianas brasileiras, e por sua própria natureza, é uma das rochas que melhor se prestam ao estudo das causas, processos e maneiras de deformação tectônica.

II. 1.2. Contexto Geotectônico

Alguns conceitos e a abordagem geotectônica utilizada foram extraídos de Heibron *et. al.* (2004), considerando este, um trabalho integrador de dados recentes de mapeamento e evolução crustal.

Orógeno, no sentido geotectônico, é um produto da interação convergente de placas litosféricas. Este produto pode se materializar como arco de ilhas (arco magmático intraoceânico do tipo Japão e Indonésia), ou como arco magmático de margem continental

ativa (do tipo Andino), ou ainda como uma cadeia de montanhas intracontinental (a exemplo dos Alpes e Himalaias). Os orógenos acrescionários se formam, essencialmente, pela adição de magmas e sedimentos a uma margem de placa, como hoje é o caso dos arcos-de-ilhas do Oceano Pacífico e dos Andes Centrais. Os orógenos colisionais resultam da interação convergente (a colisão) de continente com continente, ou de arco-de-ilhas com continente, ou ainda entre arcos-de-ilhas. Esta interação promove encurtamento crustal, acompanhado de deformação compressiva, espessamento crustal, metamorfismo e fusão parcial.

O Sistema Orogênico Mantiqueira se estende do sul da Bahia ao Uruguai, totalizando uma área de cerca de 700.000 km². Este sistema é constituído pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel, e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira. Desta zona de interferência para sul, até a borda norte do maciço cratônico de Luis Alves, estende-se um conjunto de unidades cujas relações geotectônicas com o Orógeno Ribeira são ainda dúbias e que, em parte, poderiam pertencer à extremidade sul do Orógeno Brasília. Em função disto, estas unidades estão agrupadas nos terrenos Apiaí-Guaxupé e Embu.

Nas grandes regiões, como é o caso da Província Mantiqueira, o processo orogenético é essencialmente diacrônico. Isto significa, por exemplo, que enquanto ocorre colisão de um arco-de ilhas com uma margem continental num ramo do sistema orogênico, em outro setor deste sistema pode acabar de ter acontecido uma colisão continente-continente. Resulta disto que períodos de tempo similares podem marcar estágios diferentes de evolução, em segmentos diversos de um mesmo sistema orogênico. Este diacronismo se demonstra, pelas diferenças de idade entre fases sincolisionais. Por exemplo, esta fase na extremidade sul do Orógeno Brasília ocorreu em torno de 630 Ma, cerca de 50 milhões de anos antes do estágio sincolisional (ca. 580 Ma) dos orógenos Araçuaí e Ribeira. O Orógeno Araçuaí é aquele limitado pelos crátons do São Francisco e Congo e o Orógeno Ribeira relaciona-se com estes crátons, mas também com um cráton encoberto pelas seqüências deposicionais Fanerozóicas da Bacia do Paraná. A parte continental desta paleoplaca encoberta é evidenciada por dados gravimétricos e foi denominada de Cráton do Paraná ou Paranapanema. (ver *figura 2*)

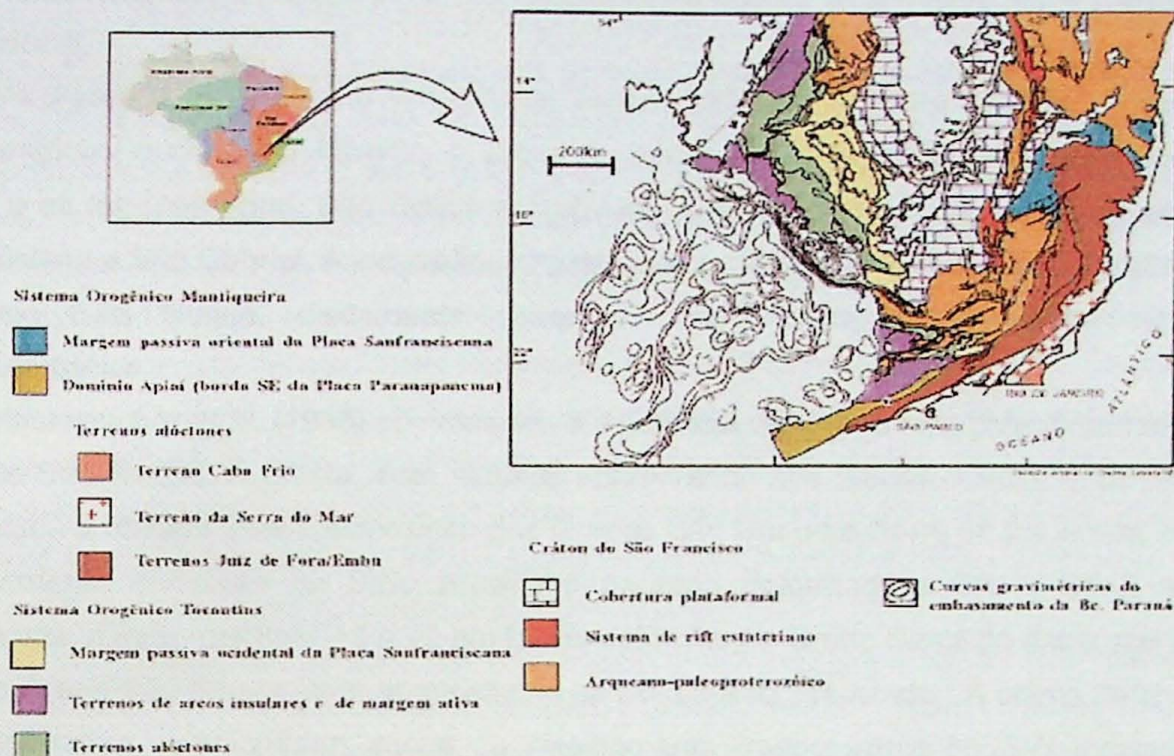


Figura 2: Mapa tectônico do sudeste brasileiro. Simplificado de Campos Neto (2000) *apud* Santos 2004.

Apesar da diversidade existente entre as muitas propostas de nomenclatura estratigráfica disponível na literatura corrente, a seguinte subdivisão simplificada aplica-se à Província Mantiqueira como um todo:

- Embasamento arqueano e/ou paleoproterozóico mais velho que 1,7 Ga ;
- Sequências metassedimentares depositadas em bacias intracontinentais paleoproterozóicas a mesoproterozóicas;
- Sequências metassedimentares e metavulcano-sedimentares neoproterozóicas que incluem sequências de margem passiva (abertura oceânica), sequências relacionadas ao fechamento de oceanos (bacias de ante-arco e retro-arco), e ao estágio da colisão continental (bacias molássicas e de antepaís);
- Granitóides neoproterozóicos pré-colisionais, gerados em arco magmático intra-oceânico ou de margem continental ativa e, portanto contemporâneos a processos de subducção;

e) Granitóides neoproterozóicos sincolisionais;

f) Coberturas neoproterozóicocambrianas associadas a bacias tardiorogênicas e magmatismo pós-colisional.

Na **figura 3**, o segmento setentrional corresponde ao Orógeno Araçuaí, o segmento central engloba o Orógeno Ribeira, a Zona de Interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira, e os terrenos Apiaí, São Roque e Embu e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. A extensão nordeste destas faixas neoproterozóicas corresponde ao Grupo São Roque, discordante sobre o Grupo Serra do Itaberaba de idade mesoproterozóica.

Hackspacher *et al.* (1998) constataram a existência de uma crosta paleoproterozóica na região de São Roque. A crosta, com núcleos preservados nos blocos Jundiá e Embu, seria fragmentada e rifteada para a disposição dos Grupos São Roque e Serra do Itaberaba, seguida de fechamento e colisão no Ciclo Brasileiro gerando deformações Dn+1, Dn+2 e Dn+3 progressivas, e metamorfismo +1 e +2 em fácies anfibolito no Grupo Serra do Itaberaba e xisto-verde no Grupo São Roque, com magmatismo cálcio-alcálico associado. À última deformação, mais penetrativa, relacionaram zonas de cisalhamento transcorrente NE/SW indicadas em regime transtrativo, com ascensão de magmas provocando formação de auréolas metamórfica e tectônica nas rochas metassedimentares dos grupos. O amainamento e evolução para transpressivo, à instalação de tectônica de blocos com deslocamentos verticais máximos, em que os blocos Jundiá e Embu estruturaram-se como altos e o São Roque como baixo estrutural.

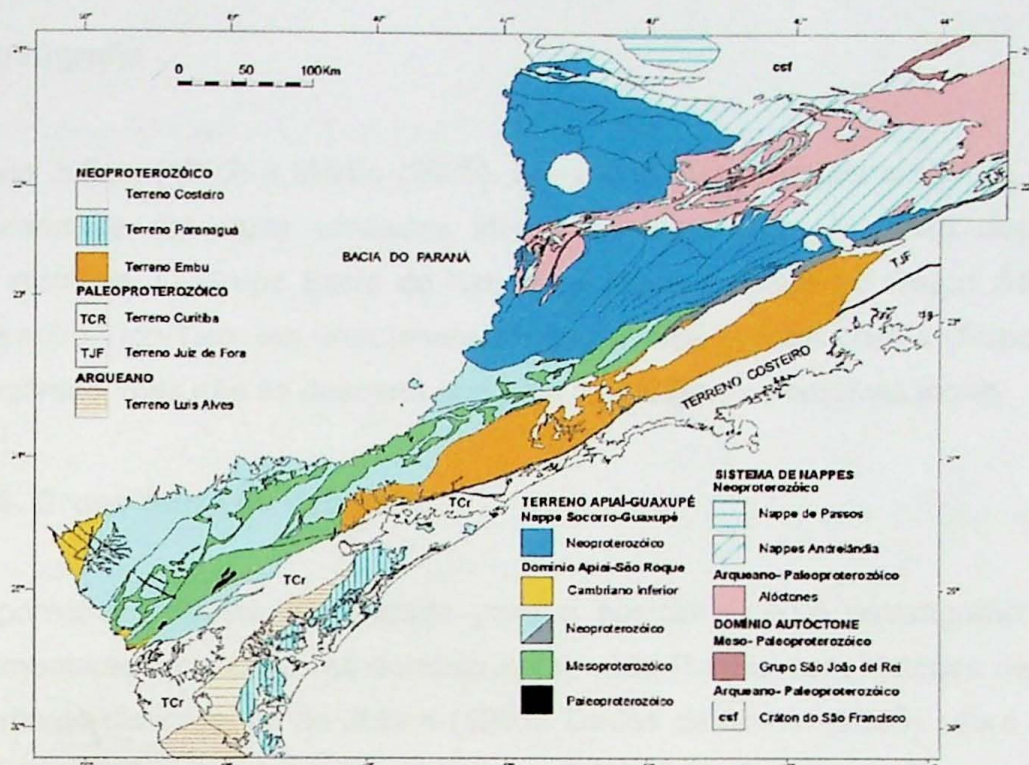


Figura 1: TERRENO APIAÍ-GUAXUPÉ E UNIDADES TECTÔNICAS ADJACENTES

Figura 3: Terreno Apiaí-Guaxupé e Unidades Tectônicas Adjacentes-extraída de Heibron *et. al.* – 2004

II. 1.3. Geomorfologia

A Serrania de São Roque é um planalto cristalino montanhoso maturamente dissecado. Suas maiores elevações alcançam cerca de 1250 m de altitude, enquanto que os assoalhos de seus vales se acham geralmente entre 600 e 750 m. O relevo é rodeado de vales amplos e baixos, traçados na região xistosa atravessadas pelos rios Tietê, Jundiuvira, Guapeva e Jundiaí. A faixa xistosa do interior e norte da serrania mostra relevo heterogêneo, muito recortado, em que se destacam corpos graníticos, como os morros do Juqueri e Tico-Tico, e quartzíticos. Estes alcançam altitudes de 1200 a 1250 m. (Almeida, 1974)

II. 1.4. Estratigrafia

Segundo Juliani (1993) e Martin (2000), as rochas supracrustais a NW da cidade de São Paulo, dividem-se em duas unidades litoestratigráficas com histórias deposicionais e evolutivas distintas. O Grupo Serra do Itaberaba aflora na base do Grupo São Roque e ao redor do granito Tico-Tico, em uma janela estrutural. Seu contato com o Grupo São Roque é sempre tectônico, mas não se descarta que haja discordâncias erosivas locais.

II. 1.4.1. Grupo Serra do Itaberaba

A primeira proposta formalizada para o posicionamento estratigráfico de unidades metassedimentares localizadas no domínio Apiaí - São Roque, com histórias de sedimentação e metamorfismo distintos, foi de Juliani (1993). Dados de Martin (2000) sobre o Grupo Serra do Itaberaba estão brevemente descritos abaixo de forma similar ao empilhamento estratigráfico proposto (unidades mais jovens da base para o topo):

- Formação Morro da Pedra Preta, caracterizada com basal e vulcano-sedimentar foi subdividida em:
 - *unidade metabásica*
 - *unidade metavulcanoclástica*
 - *unidade calciossilicática*
 - *unidade dos xistos pelíticos*
 - *unidade de formação ferrífera*
 - *unidade metapelítica grafitosa*
- Formação Nhanguçu, manganésífera e carbonática, depositada em bacia de retro-arco foi subdividida em:
 - *unidade dos metassedimentos manganésíferos*
 - *unidade das rochas carbonáticas*
- Formação Pirucaia, constituída por sedimentos litorâneos de base de talude continental e é composta pela
 - *unidade dos xistos quartzosos*

II. 1.4.2. Grupo São Roque

De idade neoproterozóica Juliani *et al.* (2000), predominantemente constituído por seqüências metassedimentares com contribuições vulcânicas, posiciona-se de forma discordante, através de zonas de cavalgamento, sobre o Grupo Serra do Itaberaba.

As primeiras subdivisões formais propostas para o Grupo São Roque, foram de Hasui (1973) e Bergmann (1988), e são elas as seguintes:

Uma unidade basal metavulcano-sedimentar com lentes de mármore e metadolomitos estromatolíticos (Formação Pirapora do Bom Jesus), seguida por espesso pacote metapsamítico (Formação Pirajibu), metarritmitos e filitos (Formação Estrada dos Romeiros) e metarenitos arcoseanos no topo (Formação Boturuna).

Algumas modificações no empilhamento estratigráfico de Bergmann, foram propostas por Martin (2000), e estão brevemente descritas abaixo (formações mais antigas do topo para a base):

- Formação Pirajibu, ocupa o topo do Grupo São Roque, esta pode ser considerada uma variação dos depósitos de base de talude, estando representada por sedimentos finos distais. É constituída pelas unidades:
 - *unidade metapelítica*
 - *unidade metarrítmica*
- Formação Estrada dos Romeiros, faz contato gradacional com a Formação Boturuna, de litotipos rítmicos depositados em base de talude, possivelmente como turbiditos proximais grossos. É constituída pelas unidades:
 - *unidade metarrítmica*
 - *unidade metarenítica feldspática*
- Formação Boturuna, ocupa posição litoestratigráfica intermediária no Grupo São Roque, composta por metarenitos feldspáticos em contato transicional com os metarcóseos da Formação Morro Doce, representa possivelmente, retrabalhamento em ambiente litorâneo, talvez com dunas associadas e subdivide-se em:
 - *unidade metarenítica feldspática*
 - *unidade quartzítica*

- Formação Pirapora do Bom Jesus, ocupa uma posição basal, sendo cronocorrelatada à Formação Morro Doce e foi subdividida em:
 - *unidade metabásica*
 - *unidade metacálcio- pelítica*
 - *unidade metacarbonática*
 - *unidade metavulcanoclástica*
- Formação Morro Doce

- *unidade metarcoseana*, é constituída por metarcóseos com clastos de K-feldspato, plagioclásio, quartzo, quartzito, e raros de granitóides. Gradam para subarcóseos e estão intercalados com lentes subordinadas de metaconglomerados, quartzitos e metarenitos feldspáticos, metarenitos finos, metagrauvacas e filitos.

- *unidade metaconglomerática*, é constituída por metaconglomerados com seixos e calhaus de granitóides, dentre outros, e clastos de feldspato potássico e de plagioclásio às vezes euédricos. Seixos mais raros de xistos, de rochas metabásicas e de rochas de tendência andesítica parecem indicar contribuição proveniente do Grupo Serra do Itaberaba para a bacia São Roque. Metarcóseos, metarenitos feldspáticos e filitos estão subordinados.

II. 1.5. Paleoambientes de Sedimentação

Segundo Bergmann (1988) a bacia São Roque apresentava um ambiente marinho de águas rasas, associada a calhas rasas do tipo "rift" intracontinental, com atividade vulcânica proeminente nos primeiros estágios de sua evolução. A ocorrência de centros eruptivos do tipo vulcão é sugerida pela disposição de recifes carbonáticos, alguns com estromatolitos, circundando corpos metabásicos estratificados de geometria oval.

Figueiredo *et al.* (1982), descrevem estruturas do tipo *pillow lava* em metabasitos, bem como a de estruturas estromatolíticas nos metacalcários e metadolomitos relacionados e a ocorrência de talco-xistos associada aos depósitos de ferro, antigamente explorados. Estas foram observadas em dois corpos de metabasito alterado, um deles na cidade de Pirapora do Bom Jesus e o outro a meio caminho entre essa cidade e Santana do Parnaíba, no Km 46 da estrada velha de Itu. Estas estruturas foram descritas também por Martin (2000),

posicionando-as na Formação Pirapora do Bom Jesus, sugerindo feições indicativas de efusões em águas relativamente rasas.

A análise petrográfica de Martin (2000), revelou porfiroclastos de plagioclásio e de feldspato potássico na matriz arcoseana dos metaconglomerados, muitas vezes com suas faces preservadas, o que indicaria proximidade da área fonte.

Suguio (1998) define arcóseo como rocha sedimentar detrítica arenosa formada por mais de 25% de feldspatos derivados de rochas graníticas. Sendo típica em ambiente continental de relevo acentuado representando, em geral, a última fase deposicional (pós-orogênica) de um ciclo geossinclinal (molassa).

Associações litológicas do tipo "flysch", vulcânicas bimodais, quartzitos, arcóseos, arenitos feldspáticos, folhelhos, conglomerados polimíticos e carbonatos (presentes no Grupo São Roque) são comuns em bacias de retroarco e em ambientes continentais com depósitos formados em bacia "pull-apart" e assemelhadas ao longo de zonas transcorrentes e transformantes (porções transtracionais, com afinamento crustal e estiramento). (Brito Neves, 1995)

Segundo Hackspacher *et al.* (2000), a reconstrução paleogeográfica de parte do Cinturão Ribeira, sugere que o Grupo São Roque, representa seqüências extensionais com características de Bacia de Retro-Arco, as quais evoluíram durante a fase sin-colisional da Orogênese Brasileira. Os dados geocronológicos obtidos para rochas metavulcânicas pertencentes à porção basal foram de 628 Ma. (sugerindo idade mais recente para o início da sedimentação do Grupo São Roque) e para rochas intrusivas riolíticas foram de 605 Ma. Tal fato suporta a hipótese de que houve uma rápida evolução (10 a 20 milhões de anos) entre a tectônica extensional e compressional durante a história geológica do retro-arco São Roque.

II. 1.6. Geologia Estrutural

II. 1.6.1. Tectônica Ductil

Segundo a nota explicativa do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Almeida *et al.* (1981), constatou no Grupo São Roque uma fase de dobramentos holomórficos generalizada na unidade, com planos axiais no geral subverticais e eixos de baixa inclinação (vergência indefinida), contemporâneas ao metamorfismo regional (desenvolvimento da xistosidade e clivagem de fratura plano-axial) e ao alongamento de granitóides sintectônicos; essa fase foi

seguida de crenulações e dobramentos locais, ligados a intrusões e falhamentos transcorrentes. Dessa evolução estrutural resultou que a xistosidade, o acamamento reliquiar, a foliação dos granitóides e os eixos maiores dessas intrusivas orientam-se segundo ENE, com desvios locais para NW (a sudeste de Itu) ou NNE (a norte de São Paulo) impostos normalmente pelas falhas transcorrentes. (ver *figura 4*)

Hasui & Sadowski (1976), descrevem que para Grupo São Roque, as dobras visíveis em afloramentos e amostras são similares, cerradas (eventualmente fechadas e isoclinais), com planos axiais subverticais. A xistosidade é plano-axial, mostrando que o metamorfismo regional se deu contemporaneamente ao dobramento. Os eixos dessas dobras são sub-horizontais e dirigidos em geral segundo N60E. Desvios de orientação existem, como na região de Araçariguama e Jaraguá, explicáveis por acomodação aos contornos dos corpos granitóides sintectônicos.

Bergmann (1988), identificou na região do Sinclínório de Pirapora cinco fases de dobramentos superimpostas, três delas sin a tardi-metamórficas, e duas pós-metamórficas. A primeira fase é identificada pela ocorrência de clivagem ardósiana paralela ao acamamento dos metapelitos, e por arcos poligonais em anfibólitos nas rochas metabásicas. A segunda fase consiste em uma articulação de dobras anticlinais recumbentes, com vergência NW. O posicionamento dos estratos em flanco normal, charneira ou flanco inverso destas estruturas modifica a qualidade da foliação S2 e sua relação com o acamamento e com a foliação S1, bem como determina a preservação das estruturas sedimentares. A terceira fase de dobramentos é tardia ao metamorfismo, e apresenta eixos mergulhando para NE e para W, desenvolvendo clivagem plano-axial espaçada. Duas fases pós-metamórficas, a fase do Sinclínório de Pirapora, com eixo mergulhante a N60-70E, e outra fase tardia, em torno de NS-NNW, não são hierarquizadas.

Silva (1997 e 1998), diz que o Grupo São Roque é afetado por três fases de deformação associadas ao metamorfismo regional da fácies xisto-verde. A primeira fase, de baixo ângulo, com feições indicativas de cavalgamento NNW/SSE, seria responsável por inversões estratigráficas, expondo rochas metassedimentares de porções crustais mais profundas, como metapsamitos e metapelitos do Grupo Serra do Itaberaba e xistos e gnaisses anfibolíticos do Grupo Açungui. Após a primeira fase desenvolveu-se uma cinemática de alto ângulo, que evoluiu de dobras e planos axiais em regime dúctil para zonas de cisalhamento lateral como foliação milonítica e lineação de estiramento mineral características de um regime dúctil-rúptil, favorecendo a colocação do Maciço Granítico São Francisco e produzindo rochas

hornféisicas por metamorfismo de contato em rochas inseridas na associação de litofácies clasto-química transicional.

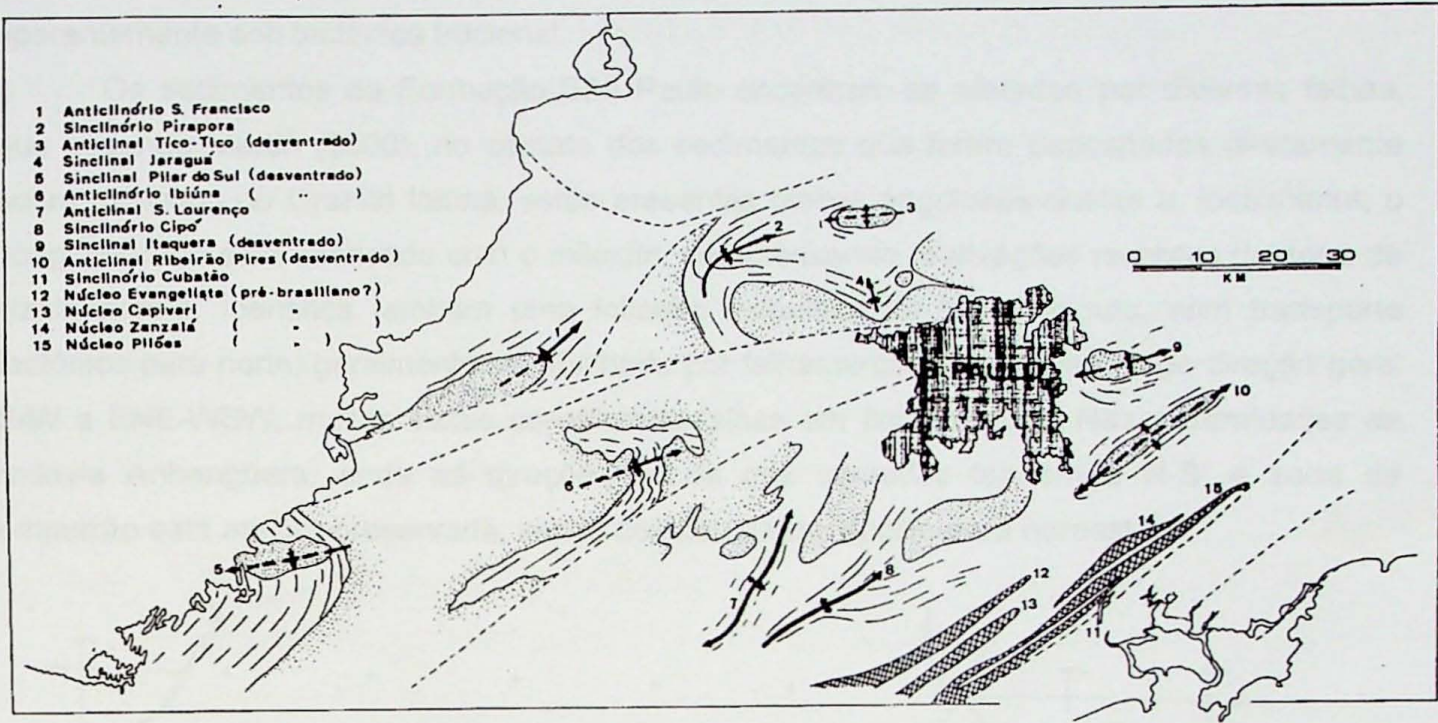


Figura 4: Principais macroestruturas (figura extraída de Hasui & Sadowski - 1976)

II. 1.6.2. Tectônica Ruptil

Para Hasui & Sadowski (1976), há evidências que o sistema de falhamentos do Estado de São Paulo (**ver figura 5**), tenham começado a se desenvolver durante metamorfismo regional e se manifestado até após o magmatismo pós-tectônico, ou seja, até a estabilização da plataforma. Esta se deu antes do Siluriano, pois o advento das condições de ortoplateforma são traduzidas pela deposição da primeira unidade estratigráfica na Bacia do Paraná.

A configuração atual dos blocos não se deve só aos movimentos durante o Ciclo Brasileiro. Num exame dos sedimentos do Grupo Tubarão, (Hasui, 1973) mostrou que eles estão fraturados mais densamente ali onde recobrem o Falhamento de Taxaquara. Ademais, as fraturas formam sistemas que coincidem com as do embasamento, o que foi interpretado como indício de reativação das discontinuidades do pré-cambriano.

As zonas de cisalhamento foram consideradas como sendo estruturas que compreendem um grande número de falhas concentradas em feixes, produzindo milonitização e cataclase em uma faixa relativamente larga. (Martin, 2000)

Algumas falhas parecem ter relação com zonas de deslocamentos mais antigas. O embutimento dos Grupos São Roque e Açungui não se deve apenas ao jogo transcorrente, mais há indícios de deslocamentos contemporâneos à sedimentação (Wernick *et al.*, 1978), aparentemente sob tectônica tracional.

Os sedimentos da Formação São Paulo encontram-se afetados por diversas falhas, que segundo Martin (2000), no contato dos sedimentos que foram depositados diretamente sobre milonitos do Granito Ibiúna, estão presentes blocos angulosos destes e, localmente, o conglomerado está imbricado com o milonito, caracterizando reativações recentes da zona de cisalhamento. Identifica também uma foliação milonítica de baixo ângulo, com transporte tectônico para norte, geralmente retrabalhada por falhamentos transcorrentes de direção geral E-W a ENE-WSW, muitas vezes constituindo falhas em flor positivas. Nas proximidades da rodovia Anhangüera, onde as direções gerais das camadas tendem a N-S, e zona de empurrão está melhor preservada, sendo constatado transporte para noroeste.

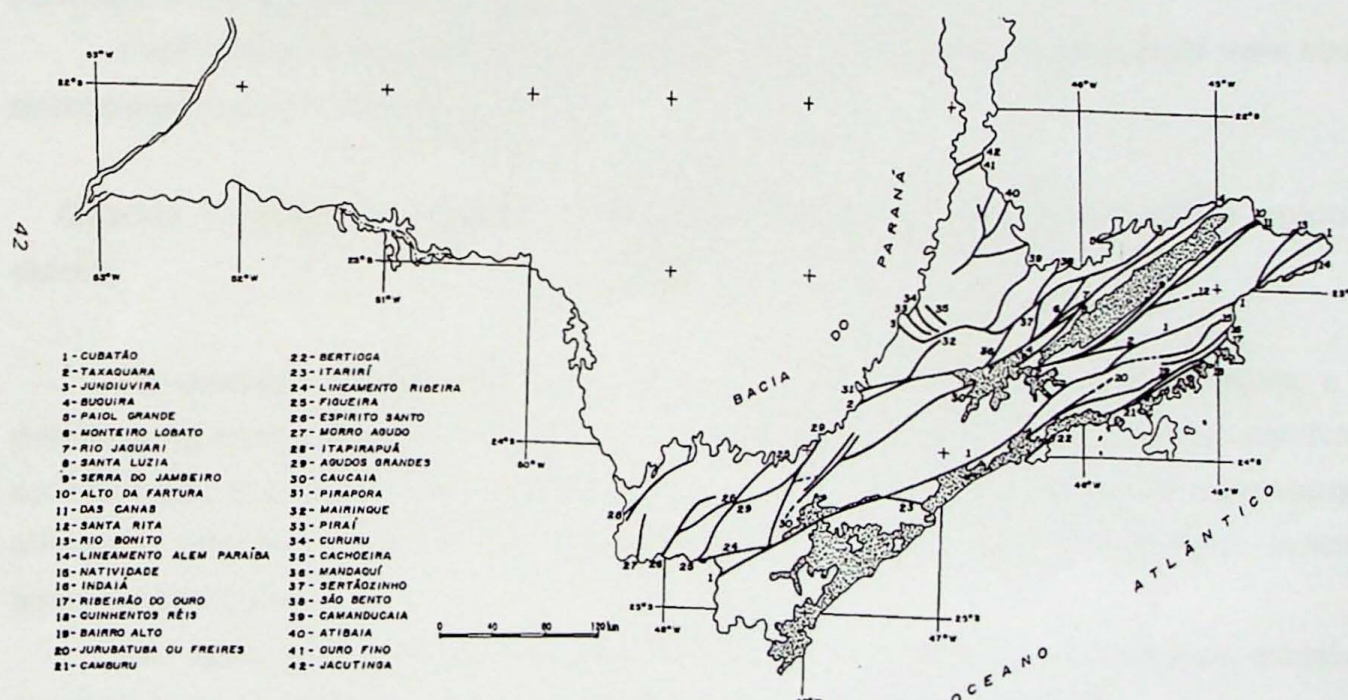


Figura 5: Principais falhamentos transcorrentes do Estado de São Paulo - figura extraída de Almeida (1981).

II. 1.7. Metamorfismo

Os dados de metamorfismo foram extraídos de Martin (2000), e estão brevemente descritos abaixo:

O Grupo São Roque apresenta nas rochas metabásicas, paragêneses típicas de fácies xisto-verde na foliação S_1 , tanto na Formação Pirapora do Bom Jesus, como nas formações Estrada dos Romeiros e Piragibu, onde é comum ocorrer clinopiroxênio ígneo preservado. Na foliação S_2 houve poucas variações das condições físicas, mas a cristalização mais forte de epidoto e clorita define o retrometamorfismo.

Durante o desenvolvimento da foliação S_1 nos metapsamitos das formações Morro Doce e Boturuna e nos metapelitos e metarritmitos das formações Estrada dos Romeiros e Piragibu o grau metamórfico atingiu apenas a zona da clorita. A biotita somente está presente em metarcóseos ou em rochas ricas em feldspato potássico enquanto que nas intercalações de metapelitos há apenas clorita, indicando que a zona da biotita não foi alcançada nos litotipos do Grupo São Roque. Nas foliações S_2 e S_3 não foram constatadas mudanças significativas das condições físicas, sendo definido o retrometamorfismo com base na cristalização menos abundante da biotita na S_2 na Formação Morro Doce e de sericita nas Formações Estrada dos Romeiros e Piragibu.

Para metapsamitos das formações Morro Doce e Buturuna, a associação mais comum encontrada nessas rochas é:

Quartzo + biotita + muscovita + feldspato potássico + albita \pm magnetita \pm epidoto \pm clorita

As camadas de filito intercaladas possuem apenas muscovita/sericita e clorita, o que posiciona na *zona da clorita*. A calcita está presente nestes litotipos, e é comum a ocorrência de epidoto na S_1 , o protólito para estas rochas deveria ser rico em carbonato mais magnesiano. O feldspato potássico detrítico foi recristalizado nas bordas para microclínio, indicando temperaturas baixas.

Em anfibolitos próximos do *Stock* Granítico do Tico-Tico, observam-se cristais de hornblenda e de hornblenda-actinolita associados a foliação S_3 , que podem sugerir condições um pouco mais drásticas para o evento retrometamórfico. Nos anfibolitos, em geral, nota-se o predomínio de actinolita (tremolita), albita, quartzo, epidoto, clinozoizita, clorita e calcita, além da titanita mais comum que mineral opaco, indicando condições de pressão e temperatura de grau fraco.

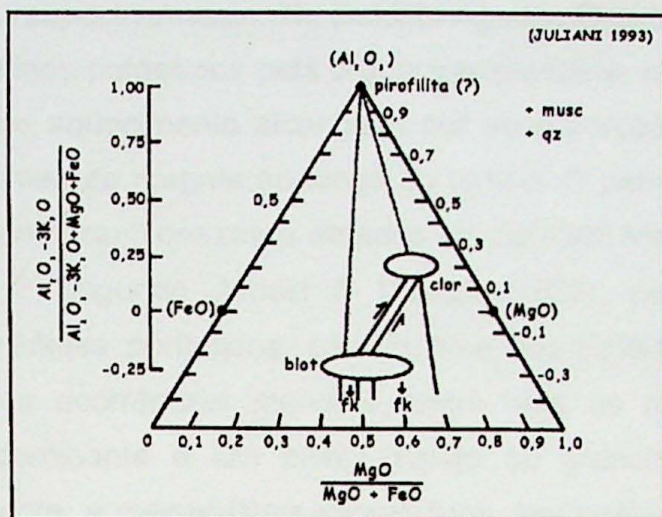


Figura 6: Paragêneses metamórficas e retrometamórficas dos metapelitos, metarritimitos e rochas com K-feldspato detrítico (matarcóseos, metarenitos feldspáticos, matriz dos metaconglomerados) do Grupo São Roque. (figura extraída de Juliani 1993)

II.1.8. Magmatismo granítico

Para Heilbron *et. al.* (2004), o magmatismo granítico mostra alguma semelhança, em termos de tipologia, idades e evolução geológica, com aquele registrado na *Nappe* Socorro-Guaxupé, o que sugere uma evolução comum para os dois domínios marginais à Placa do Paranapanema. Predominam largamente os granitos cálcio-alcálicos potássicos, que constituem a massa principal de três extensos batólitos alongados na direção NE-SW (Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes). Inúmeros plútons isolados, incluindo aqueles que constituem as principais intrusões no Terreno São Roque, devem constituir satélites dessas grandes massas graníticas, tendo em vista as semelhanças composicionais e de idade. A menor diversidade do magmatismo granítico, se comparada à *Nappe* Socorro-Guaxupé, pode refletir o nível crustal mais raso e homogêneo de exposição, onde estariam ausentes os granitos paraautoctones e chamockitos. As idades U-Pb indicam que os batólitos Três Córregos e Agudos Grandes encontram-se entre 615 e 605 Ma (hornblenda-biotita granitos de alto índice de cor) e 600 Ma (intrusões isoladas tardias). As intrusões tardias correspondem a termos fortemente contaminados e diferenciados da mesma associação. Os granitos cálcio-alcálicos potássicos são interpretados como de origem híbrida, incluindo um componente básico derivado do manto e contribuições variadas, mas sempre importantes, da crosta continental pré-existente. Os dados geoquímicos, isotópicos e geocronológicos disponíveis indicam que diferentes níveis da crosta continental foram envolvidos na geração desses magmas. Leucogranitos peraluminosos de origem puramente crustal são raros e

formam pequenas intrusões isoladas (granitos Turvo e Tico-Tico, datados em ca. 610 e 620 Ma, respectivamente. No Batólito Agudos Grandes, a maior contaminação dos magmas cálcio-alcalinos potássicos pela crosta intermediária, observada nos plútons tardios de 600 Ma, deve-se ao aquecimento alcançado por essa porção da crosta, após a passagem de expressivos volumes de magma ao longo do tempo. O período pós-orogênico é marcado pela intrusão de plútons graníticos rasos datados em 590-580 Ma.

Segundo Janasi & Ulbrich (1985), para o domínio São Roque, destacam-se os granitóides porfiríticos, constituintes dos batólitos de São Roque, Itaqui e Cantareira, e de varias ocorrências menores, entre elas os maciços de Igaratá e Morro Claro. O facies predominante é um biotita-granito ou granodiorito porfirítico, com hornblenda escassa a ausente, e megacristais idiomórficos, centimétricos ("olhos de sapo") de microclínio branco ou rosado, em matriz cinza em geral foliada. Granitóides aflorantes no extremo oeste do domínio (Sorocaba, São Francisco) são róseo-acinzentados, com poucos máficos, e sem hornblenda. A "suíte Anhanguera" reúne esparsas ocorrências de leucogranitos a duas micas. A maior, "stock" do Tico-Tico, é inequegranular com alguma granada. As rochas da "suíte Morro do Pão", aflorante no extremo leste do domínio, compreendem termos cinzas, tonalíticos a graníticos, e gnaissificados; biotita predomina sobre a hornblenda. São intrusivos em gnaisses do embasamento do Grupo São Roque. Na região de Perus, ocorrem pequenos corpos de turmalinas-granitoides leucocráticos, equigranulares, com feições de bandamento e dobramento por fluxo, e associados a pegmatitos. Os corpos são alongados segundo a estrutura regional, e as rochas exibem normalmente uma leve orientação. (ver *figura 7*)

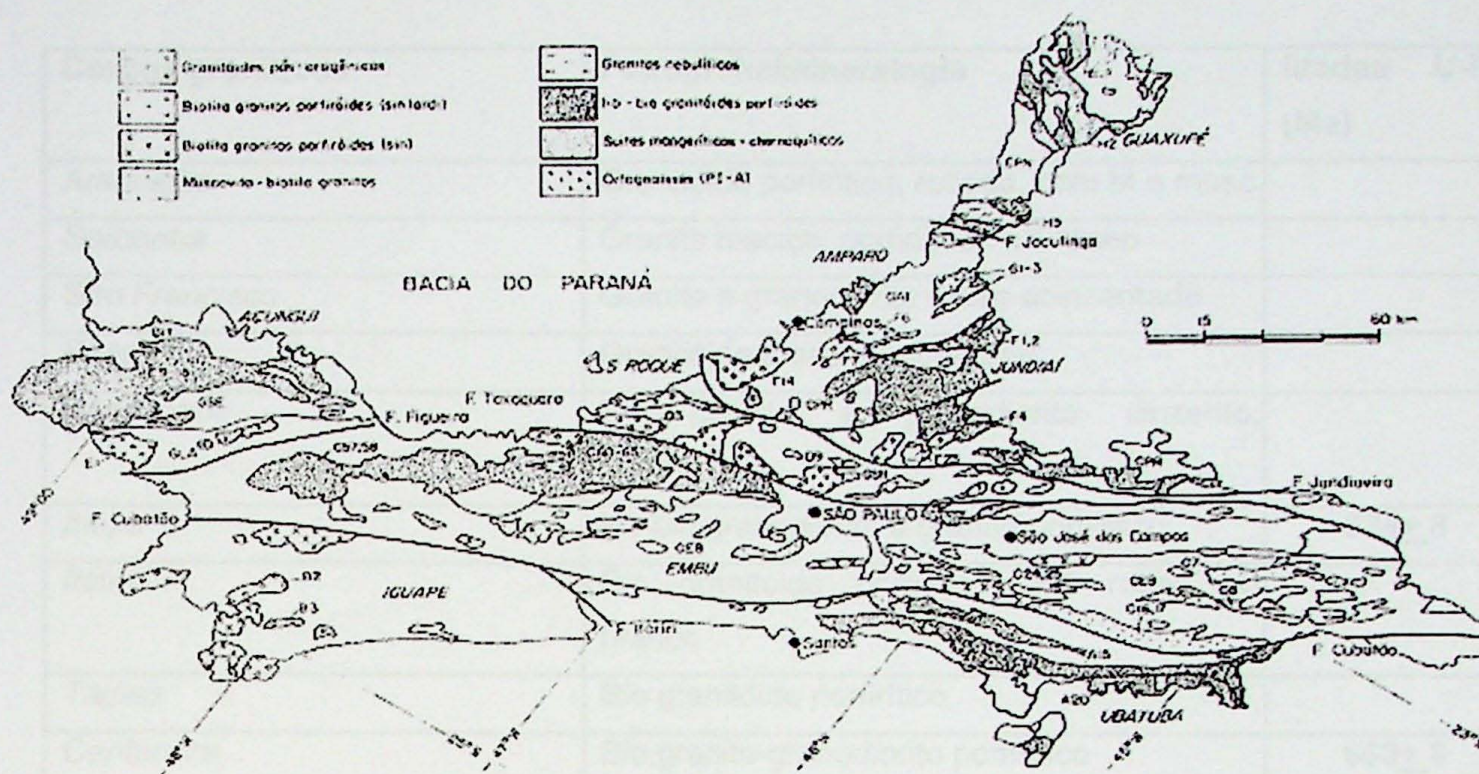


Figura 7: Principais ocorrências de granitóides do Estado de São Paulo (figura extraída de Janasi & Ulbrich -1992).

A tabela que segue, mostra dados dos principais granitos da região, de colocações tectônica e idades distintas, incluindo granitos do Complexo Embu, que segundo Hackspacher *et al.* (1998), poderia estar servindo como alto estrutural para a Bacia São Roque

Corpos graníticos	Petrografia/mineralogia	Idades U-Pb (Ma)
<i>Araçoiaba</i>	Granitóide porfirítico, rosado, com bt e musc	
<i>Sorocaba</i>	Granito maciço, porfirítico; FK róseo	
<i>São Francisco</i>	Granito e granodiorito roseo acinzentado	
<i>Pirapora</i>	Granitóide róseo equigranular	
<i>São Roque</i>	Bio granito a granodiorito cinzento, porfirítico	
<i>Itaqui*</i>	Hb-bio granodiorito a granito porfirítico	624\pm 8
<i>Itaim</i>	Bio granitóide porfirítico, FK roseo ou branco	
<i>Taipas</i>	Bio granitóide porfirítico	
<i>Cantareira</i>	Bio granito-granodiorito porfirítico	669\pm 8 630\pm 8 572\pm 9
<i>Mairiporã</i>	Bio granito-granodiorito porfirítico	
<i>Ponunduva</i>	Granitóide inequigranular a porfiróide	
<i>Tico-tico (Anhanguera)</i>	Musc-bio granito cinza-claro a rosado	620 \pm 10
<i>Francisco Morato</i>	Musc-bio granito cinza-claro a rosado	
<i>Tanque Grande</i>	Bio granitóide cinza-claro, gnáissico	
<i>Pedra Branca (Itaberaba)</i>	Bio granito a granodiorítico porfirítico	
<i>Igaratá</i>	Bio granito a granodiorítico porfirítico	
<i>Morro Claro</i>	Bio granodiorito a granito porfirítico	
<i>Serra da Laje</i>	Bio granito a granodiorito inequigranular	
<i>Machado</i>	Granitóide cinza-rosado/diorito equigranular maciço	
<i>Terra Boa</i>	(musc)- bio granito a granodiorito	
<i>Fazenda Venâncio</i>	Granito equigranular cinzento	
<i>Morro do Pão/ Ribeirão das Cobras</i>	Bio granito a tonalito cinzento	
<i>Serra dos Índios</i>	Bio granito a granodiorito gnáissico	
<i>Moinho</i>	Bio granodiorito a granito cinzento	620 \pm 11
<i>Serra do Barro Branco</i>	Bio granito cinza, porfirítico, gnáissico	
<i>Vila dos Remédios</i>	Gnaisse quartzo sienítico	

<i>Perus</i>	Tur granitóide heterogêneo, pegm associados	566 ± 6
<i>Roncador</i>	Granitóide de cor clara	
<i>Trabiju</i>	Granito equigranular cinzento	
<i>Mendanha</i>	Bio granito porfirítico	
<i>Ibiúna*</i> (ver anexo IV)	Hb–Bio granito (até granodiorito e Qtz monzonito)	
<i>Agudos Grandes</i>	Granodiorito porfirítico, localmente equigranular médio a fino	605
<i>Caucaia*</i>	Bio-granito cinza claro, equigranular fino-médio	
<i>Piedade</i>	Bio granitóide inequigranular, localmente euigranular médio	
<i>Itapevi*</i> (ver anexo IV)	Bio granito cinza, equigranular médio a grosso	
<i>Embu-Guaçu</i>	Bio granito cinza, médio a fino, equigranular, em geral foliado	
<i>Itaquera</i>	Bio-musc-granito, equigranular com texturas xenomórficas	
<i>Mauá</i>	Bio (musc) granito cinza, porfirítico, tende a equigranular nas bordas	
<i>Guacuri</i>	Musc-bio—granito cinza claro, inequigranular	
<i>Taxaquara</i>	Bio-granito cinza a cinza-rosado	
<i>Turvo*</i>	Musc-bio granito róseo, equigranular médio	

Tabela 1: Síntese petrográfica e isotópica dos principais corpos graníticos da região (*) -granitos com dados geoquímicos usados de comparação.

II. 1.8.1. O Estudo do Zircão na Caracterização de Rochas Graníticas

Através da tipologia do zircão Pupin (1980), subdividiu rochas em 10 séries incluindo 3 séries de granitos crustais, 3 séries de granitos calcio-alcalinos de baixa, média e alta temperatura, uma série subalcalina, uma série alcalina, uma série toleítica, ao lado das rochas charnockíticas.

Segundo Wernick (1984), as diferentes séries de granitóides discriminados pelo método tipológico do zircão, são caracterizados por membros primitivos gerados a crescentes temperaturas (e pressões). A sequenciação destas séries em termos da crescente temperatura genética é a mesma observada ao longo de zonas de subducção e quimicamente são caracterizados por crescentes teores médios de K_2O .

A **tabela 2 e figura 8** mostram quadros das variedades cristalográficas, que ocupam respectivos campos indicadores de temperatura.

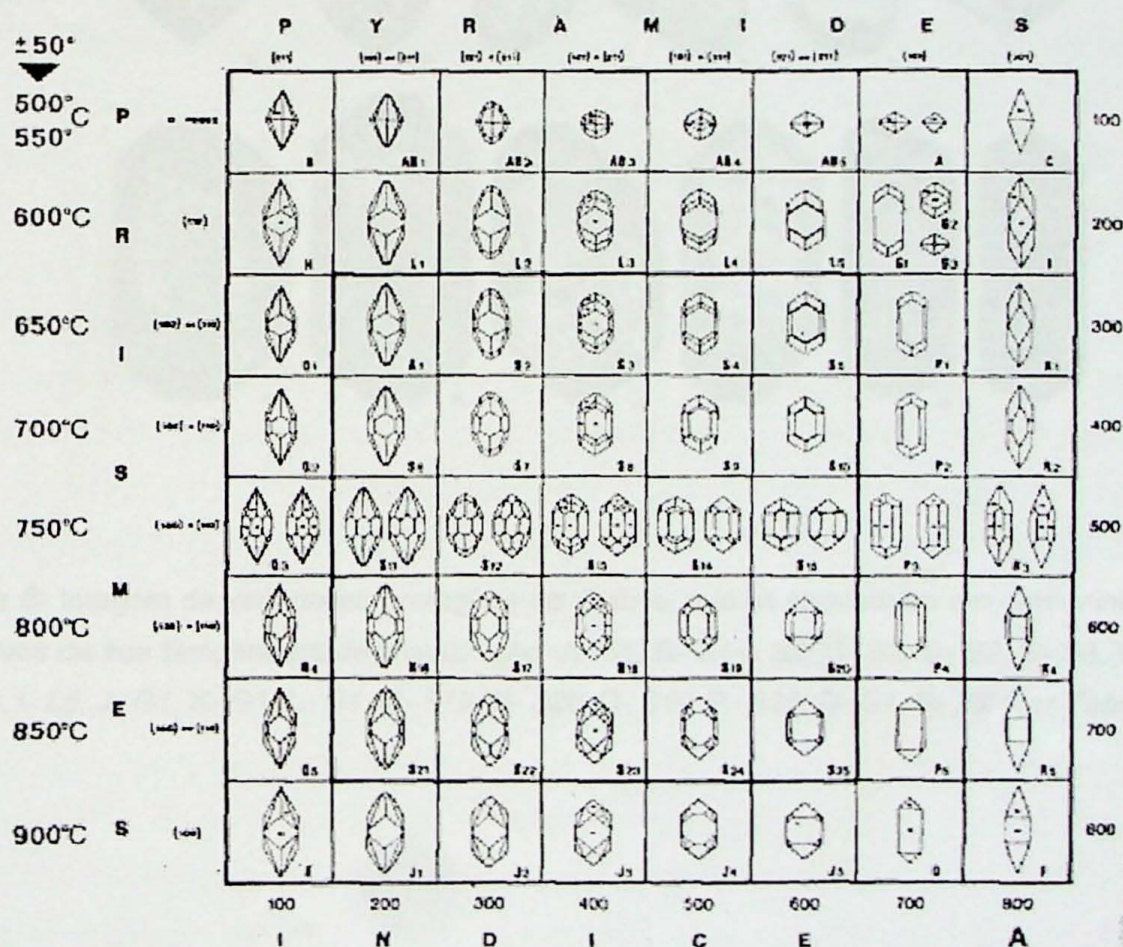


Tabela-2: Quadro comparativo de feições cristalográficas de zircões e suas temperaturas de cristalização.

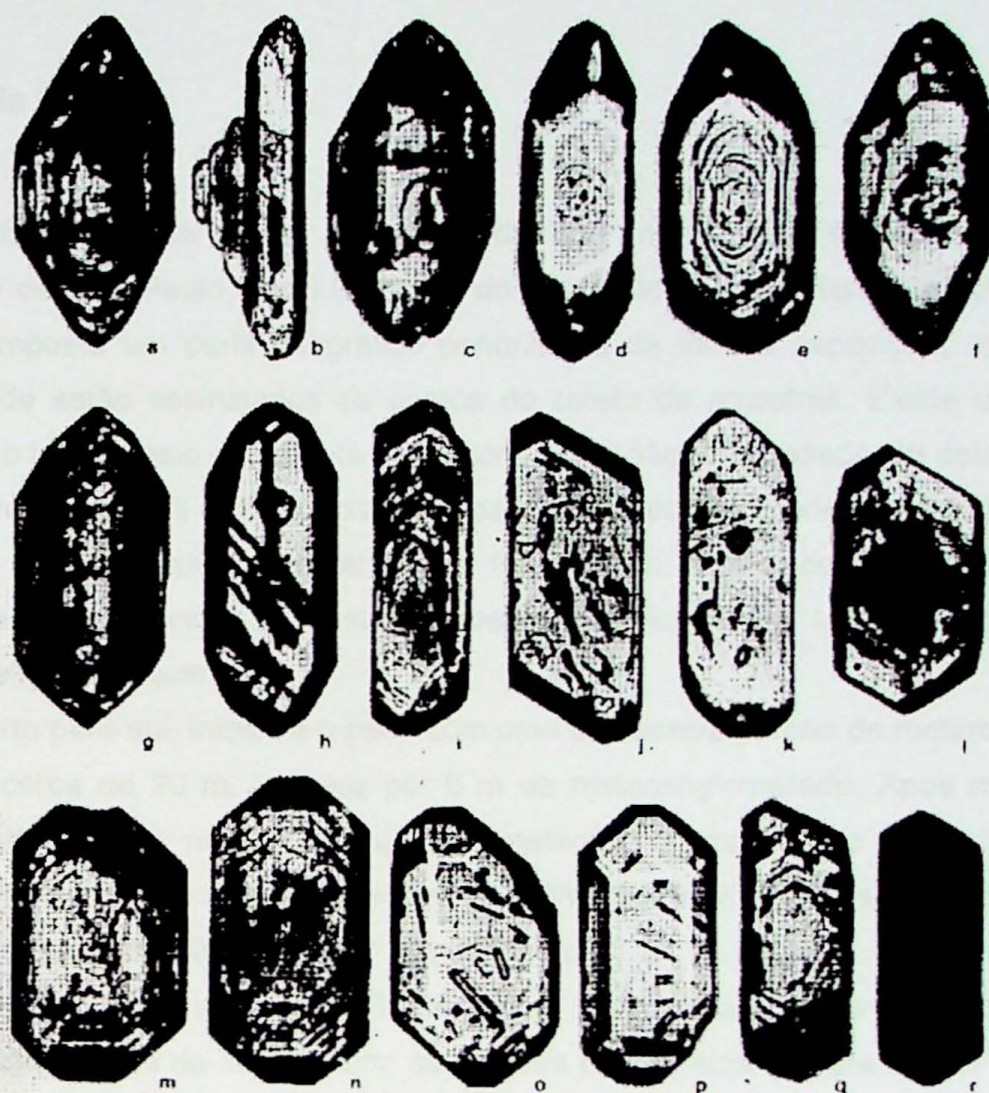


Figura 8- Imagem de variedades tipológicas de zircões, que se enquadram em determinados campos indicativos de sua temperatura de cristalização. A- S1, B- S1 e S2, C- S2, D- S2, E- S3, F- S6, G- S4, H- S13, I- L5, J- G1, K- G1, L- G1, M- S19, N- S20, O- S19, P- S20, Q- G1, R- P2 (ver Tabela 2)

Capítulo III – Geologia e Petrografia

III. 1. Geologia Local

A rocha estudada aflora por cerca de 200 m na pista sul do Rodoanel Viário Metropolitano de São Paulo, km 9,5, região do Morro Doce, imediatamente após a saída do túnel. Foi composto um perfil fotográfico panorâmico de toda a exposição, apresentado no **anexo V**, onde estão assinalados os pontos de coleta de amostras. Existe uma exposição semelhante no lado oposto da rodovia (pista norte), que não foi estudada em detalhe.

Ao longo do perfil N-S, é possível observar zonas metaconglomeráticas intercaladas com porções metarcoseanas e metareníticas feldspáticas. O metaconglomerado mostra uma variedade de seixos, onde se destacam os graníticos, porém também estão presentes variedades de xistos e quartzitos.

De norte para sul, inicia-se o perfil com uma expressiva porção de metarcóseo, que se estende por cerca de 20 m, seguida por 6 m de metaconglomerado. Após mais ~10 m de metarcóseo, inicia-se a porção principal de metaconglomerado, que ocupa o restante da exposição. A foliação principal tem direção N24-48W, com mergulhos para SW que passam de baixos a moderados (20-40°) para ~60° em direção sul.

Os metaconglomerados são polimíticos com calhaus e seixos de dimensões variadas, a maioria com dimensões de 10 a 20 cm; os maiores podem alcançar até 50 cm para o eixo de alongação maior. Muitos dos seixos se tocam, porém entre eles sempre aparecem vestígios de matriz. (ver **foto 02 e 03**). Os seixos apresentam-se estirados na foliação principal da rocha; esta deformação amolda-os proporcionando contatos sinuosos entre os diversos litotipos encontrados. As características estruturais observadas assemelham-se às descritas por Coutinho (1955,1968) em outras porções desta unidade, onde a deformação não apaga por completo o acentuado arredondamento original dos seixos graníticos. Muitos desses seixos, entretanto, também exibem forte deformação, manifestada por feições como: tangenciamento, interpenetração, superfícies côncavas, alongamento assimétrico e mesmo fragmentação e diluição de material dentro da matriz. Os efeitos hidrotermais são visíveis na escala de afloramento, e registram um processo de carbonatização e sulfetação, os veios de quartzo são expressivos e aparecem posicionados ortogonalmente a foliação principal.

III. 2. Petrografia

III. 2.1. Seixos de Granito-Gnaisses

Os seixos graníticos estão presentes em maior proporção na rocha (80-90%). Por apresentarem maior resistência à deformação, ainda preservam estruturas reliquias, principalmente quando são analisados os seixos de maior dimensão (acima de 20cm). Predominam amplamente biotita monzogranitos equigranulares e inequigranulares, de granulação média a grossa e índice de cor (IC) ~3-5; embora muito restritas, foram também encontradas variedades porfíricas com IC>7. Todas as variedades de granitos apresentam leve foliação, baixos valores de susceptibilidade magnética, e características fracamente peraluminosas (biotita como único mineral máfico importante; muscovita em algumas amostras).

Granito Equigranular Médio a Fino

São os de maior representatividade na rocha, (70% entre os seixos graníticos), e encontram-se dispersos por todo o afloramento. Suas dimensões são variadas, podendo alguns calhaus atingir até 50 cm (ver **foto 04**). Trata-se de um granito leucocrático ($5 < M' > 7$) levemente foliado, com textura equigranular, de granulação variando de média a fina.

A microscopia revelou para este litotipo, uma textura hipidiomórfica, equigranular média (3-4 mm), de índice de cor ($M' > 5$), plagioclásio (An_{27-30}) com processo de sericitização intenso (ver **fotomicrografia 03**), porém de geminações ainda visíveis. O quartzo encontra-se xenomórfico de contatos interlobados a serrilhados (ver **fotomicrografia 04**), é comum a associação opaco-biotita com bordas substituídas por clorita. Entre os acessórios mais comuns, aparecem opacos euédricos (ver **microfotografia 02**), titanitas e carbonatos de faces bem formadas que ocupam veios tardios.

Granito Inequigranular Médio a Grosso

Esta variedade encontra-se dispersa pelo afloramento, os seixos são pequenos de bordas arredondadas, suas dimensões não ultrapassam 30cm (ver **foto 05**). Trata-se de um granito leucocrático ($3 < M' > 5$) levemente foliado, com textura inequigranular, de granulação variando de média a grossa.

A microscopia revelou para este litotipo uma textura hipidiomórfica, inequigranular media a grossa (4-6mm), com índice de cor variando entre ($3 < M' > 4$). O plagioclásio (An_{30}) encontra-se em intenso processo de sericitização com hábito parcialmente preservado e geminações deformadas (ver *fotomicrografia 05*). Entre os acessórios mais comuns aparecem: titanitas, alanitas euédricas (ver *fotomicrografia 06*), apatitas, zircões definindo expressivos halos pleocróicos (ver *fotomicrografia 07*), entre os opacos presentes esta a pirita e os veios de carbonato preenchem fraturas tardias.

COUTINHO (1955 e 1968), descreve plagioclásios com geminações vagas e sinuosas, e feldspato potássico intimamente intercrescidos, sugerindo recristalização incipiente no substrato milonítico.

Leucogranito Inequigranular Grosso

Este litotipo apresenta-se disperso no afloramento, com intensa deformação na maioria dos seixos analisados, suas dimensões não ultrapassam 30cm (ver *foto 06*). A rocha é um leucogranito ($M' < 3$), heterogêneo com textura inequigranular de porções quartzo feldspáticas de granulação grossa ($> 5mm$) e bandas de biotita esparsas.

Análise microscópica mostra uma textura hipidiomórfica, fenerítica grossa, cujo índice de cor não ultrapassa 3%, apesar da intensa deformação, pouco da textura ígnea original ainda pode ser observada. O plagioclásio (An_{25-30}), apresenta geminação sinuosa e muitas vezes está incluso em feldspato alcalino pertítico (ver *fotomicrografia 08 e 09*), é comum a associação opaco-biotita-clorita-titanita (ver *fotomicrografia 10*), epidoto e carbonato são euédricos e sugerem um crescimento tardio.

Biotita Granito Porfíritico

Esta variedade encontra-se altamente deformada, poucos seixos desta variedade estão presentes na rocha. Trata-se de um granito porfiroclástico leucocrático, com índice de cor ($M' > 7$), que registra um intenso processo de deformação, aonde este parece amoldar-se a litotipos mais resistentes (ver *foto 07*).

A microscopia revelou para esta variedade uma textura porfiroclástica, onde os megacristais de microclínio encontram-se rotacionados com inclusões de plagioclásio (ver *fotomicrografia 11*) e são bordejados por uma matriz fina composta essencialmente de biotita associada a clorita nas bordas, o quartzo apresenta-se bem recristalizado de contatos

serrilhados. Entre os acessórios mais comuns temos: zircão (ver *fotomicrografia 12 e 13*), apatita, monazita, allanita, epidoto, titanita, opaco e carbonato.

III. 2.2. Seixos de Xistos

Os seixos de xistos encontram-se em proporção reduzida no afloramento, porém a deformação tectônica, muitas vezes provoca mistura de suas extremidades com a matriz. Este processo pode confundi-los com porções de matriz fina e escura, é comum nestas variedades a presença de pequenas “ripas” de carbonato. (ver *foto 08*).

A petrografia microscópica revelou, uma textura lepidoblástica fina (0,1 a 2mm), com porfiroblastos de titanita rotacionados e manteados por epidoto em proporção modal expressiva (ver *fotomicrografia 17*), a biotita aparece muitas vezes com inúmeros halos pleocróicos em virtude de inclusões de monazitas (ver *fotomicrografia 16*), em paragênese com a clorita de birrefringência arroxeadada, muscovita e opacos (ver *fotomicrografia 15*) É comum a presença de porções carbonáticas na forma de “boudins” alogados na foliação principal (ver *fotomicrografia 14*).

III. 2.3. Seixos de Quartzito

Os seixos quartzíticos são de aspecto “sacaroidal” e aparecem dispersos no afloramento, registram uma intensa deformação, que provoca estiramento e dissolução parcial na matriz. (ver *foto 09*)

COUTINHO (1955 e 1968), descreve para os seixos quartzíticos presentes em outra porção desta unidade metaconglomerática, um aspecto fusiforme com um dos eixos de alongamento muito maior que os outros dois, feições que são características também para a rocha estudada.

As análises microscópicas revelaram, predominância de quartzo recristalizado de contatos interlobados a serrilhados, estão presentes pouca muscovita, titanita e opacos. Novamente carbonatos preenchem fraturas tardias. (ver *fotomicrografias 18 e 19*)

III. 2.4. Metarcóseo

A matriz apresenta-se maciça com brilho “sedoso” (ver **foto 10**), e intercala bandas escuras (de granulação reduzida), com bandas claras de granulação mais grossa.

A petrologia microscópica revelou para a matriz uma textura blastopsefítica, destacando feldspatos detríticos rotacionados. Esta aparece ora como metarcóseo (ver **fotomicrografia 22**), ora como metarenito feldspático (ver **fotomicrografia 20**), dependendo da proporção de porfiroblastos feldspáticos dispersos em uma matriz fina constituída essencialmente por muscovita, biotita, clorita e pequenas acumulações de quartzo. Entre os acessórios mais comuns temos: titanita, zircão, opacos e carbonatos.

COUTINHO (1968), descreve biotita pardo-verde, sericita ferrífera, cristais idiomórficos de magnetita e “gotículas” de epidoto ferrífero que salpicam na rocha. Feições também características da rocha estudada.

III. 3. Susceptibilidade Magnética

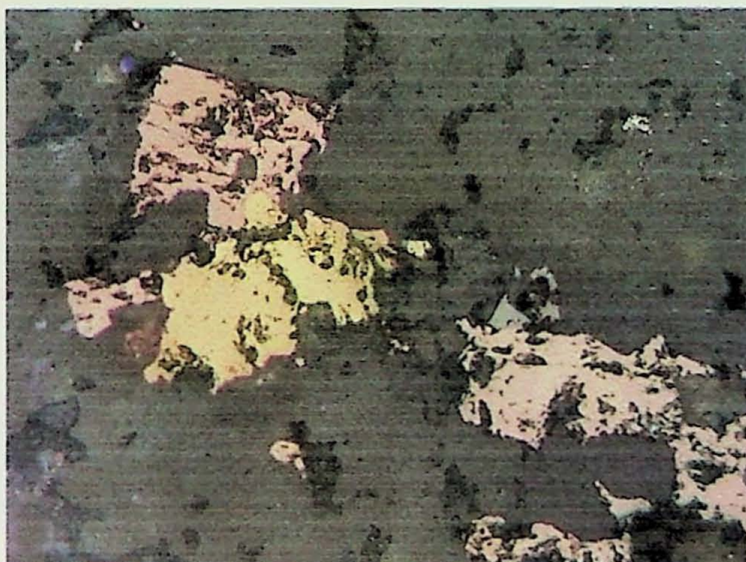
A susceptibilidade magnética K mede a razão entre J , o momento magnético dipolar por volume unitário, e H ; a intensidade do campo magnético aplicado, tal que $K = J/H$. As medidas de K foram obtidas em um medidor portátil que fornece leituras em unidades $\text{Si} \times 10^{-3}$ (Sistema Internacional).

Como destacado anteriormente, tanto os seixos como a matriz do afloramento estudado apresentam baixos valores de susceptibilidade magnética. O exame de uma seção polida do seixo de granito equigranular através de luz refletida confirmou a ausência de magnetita na rocha; os minerais opacos observados são ilmenita e pirita (ver **fotomicrografia 01**). Embora a pirita seja em boa parte secundária, produzida por processos hidrotermais, estas feições sugerem que as fontes dos seixos graníticos apresentem valores de susceptibilidade magnética originalmente baixos.

Point	n°	MS1
Itapevi félsico	PD2345	0,25
Ibiúna	PD2346	15,80
Cotia	PD2347	20,50
Cotia	PD2348	7,72
Ibiúna	PD2350	18,40
Itapevi máfico	PD2351	11,70
Ibiúna	PD2353	17,60
Caucaia	PD2354	0,10
Caucaia	PD2356	0,16
Ibiúna	PD2357	5,35
Cotia	PD2358	7,51
Cotia	PD2359	11,20
Cotia	PD2360	15,50
Itapevi máfico	PD2366	14,90
Itapevi máfico	PD2367	5,69
Itapevi máfico	PD2368	17,50
Ibiúna	USP	16,10

Point	N°	MS1
Seixo de leucogranito	MD-01L	0,07
Seixo de granito equi.	MD-01C	0,13
Seixo de granito inequi.	MD-01E	0,12
Seixo de granito porf.	MD-01N	0,47
Seixo de xisto	MD-01P	0,90

Tabela 3: Dados de susceptibilidade magnética ($\times 10^{-3}$ SI) de granitos (n° - ver *anexo II*) e seixos.



Fotomicrografia 01 (lado menor da foto 9,1 mm): Destaque para opacos, pirita (amarelo) e ilmenita (cinza).

Prancha 01



Foto 03 – Aspecto Geral do Afloramento

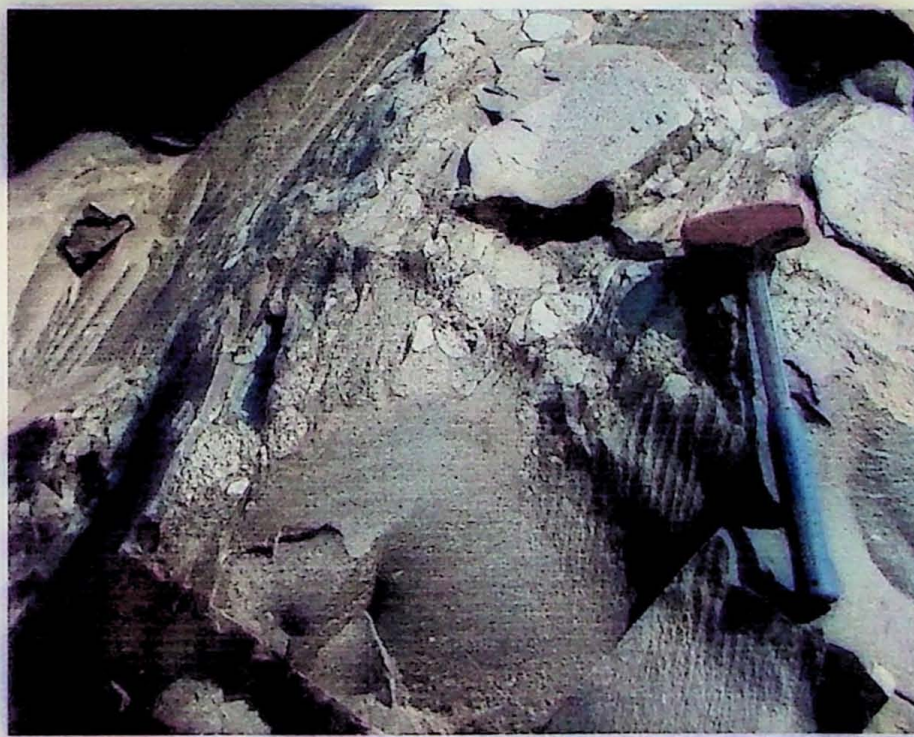


Foto 04 – Intercalações Metaconglomeráticas com Porções de Metarenito Feldspático e Metarcóseos.

Prancha 02

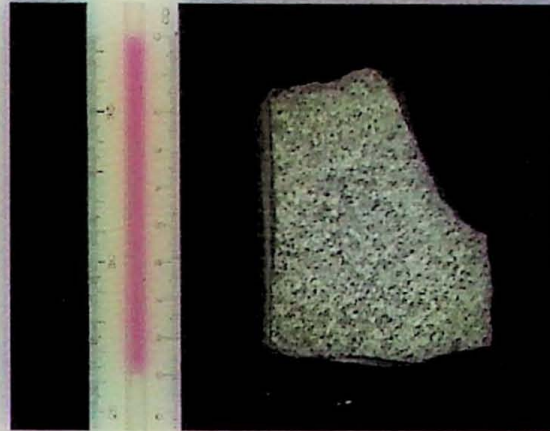
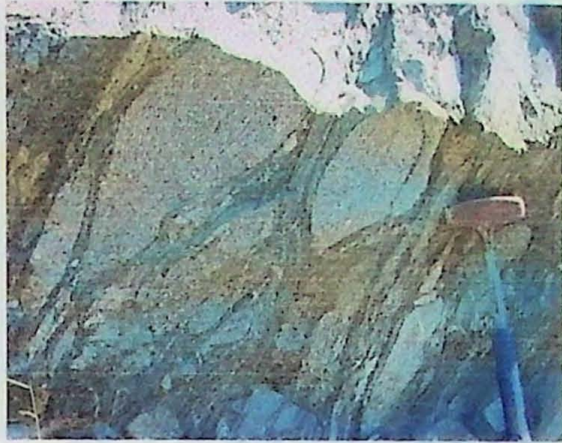


Foto 5: Seixo de granito equigranular médio a fino

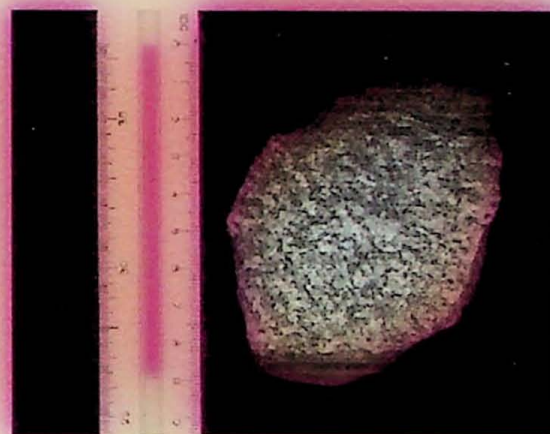
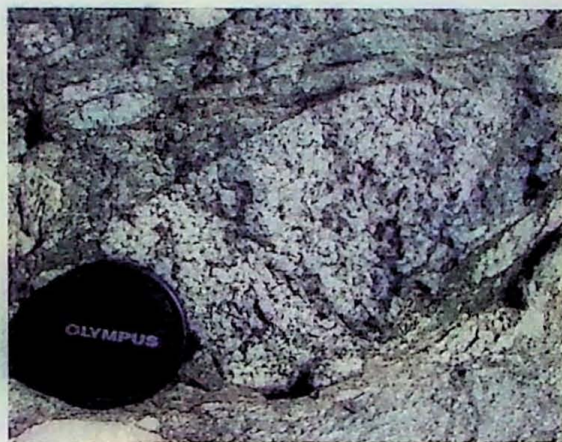


Foto 6: Seixo de granito inequigranular médio a grosso

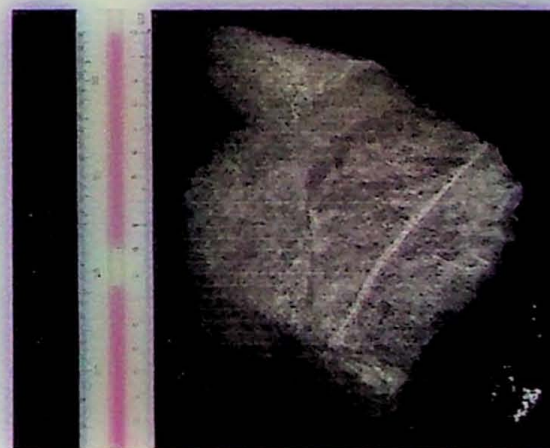


Foto 7: Seixo de leucogranito inequigranular grosso

Prancha 03

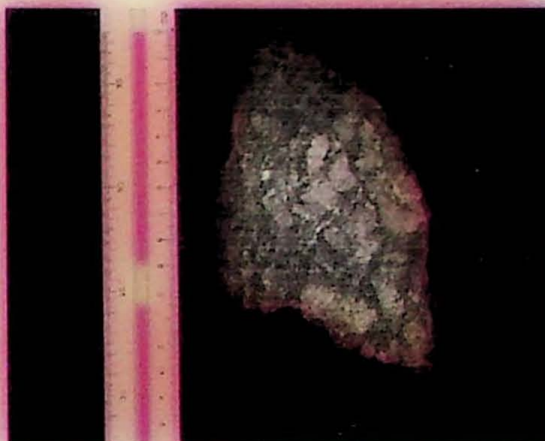


Foto 8: Seixo de biotita granito porfíritico

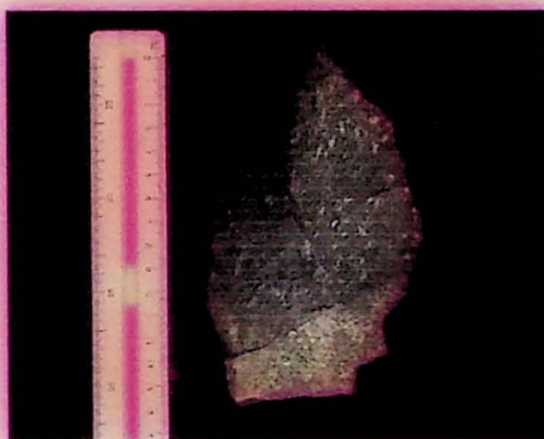


Foto 9: Seixo de xisto

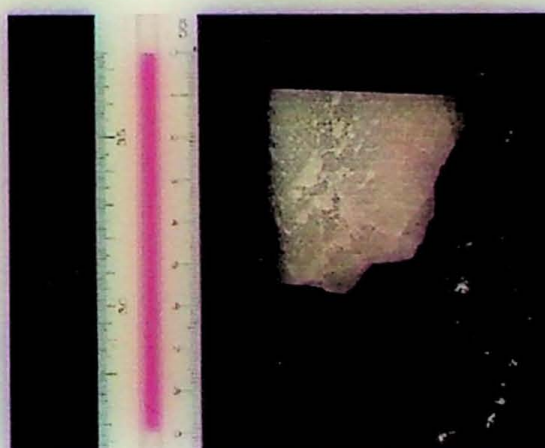


Foto 10: Seixo de quartzito

Prancha 04

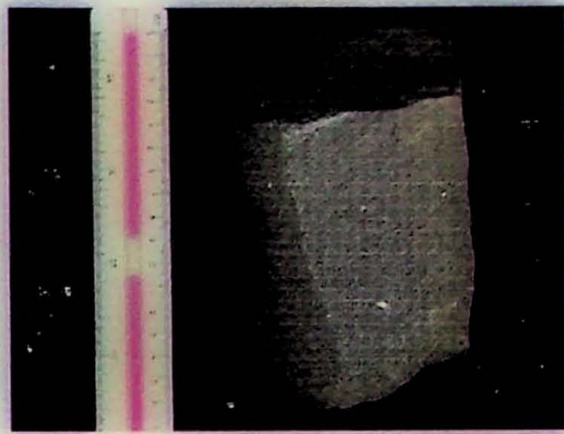
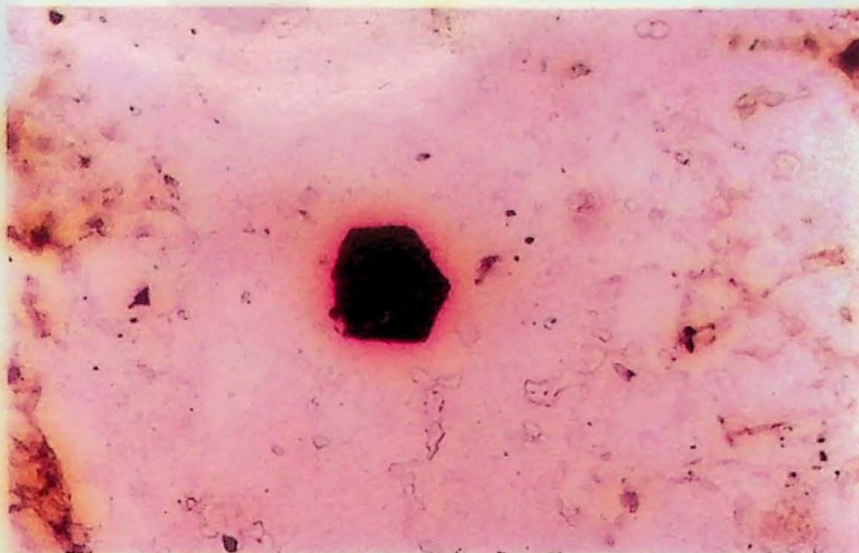
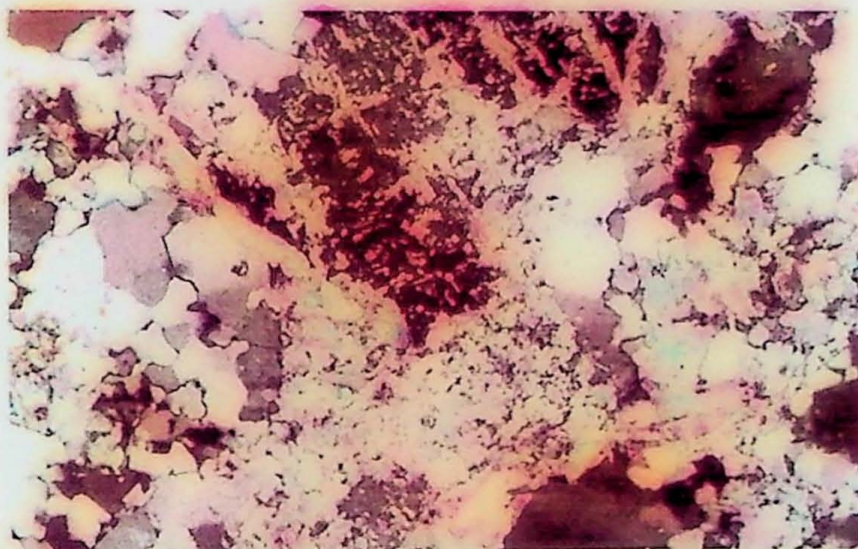


Foto 11: Matriz metarcoseana

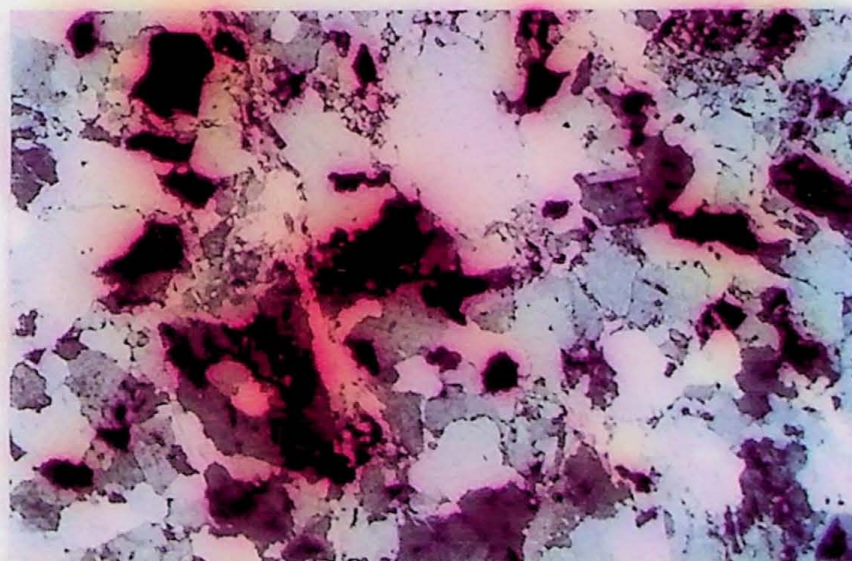
Prancha 5 - Granito equigranular



Fotomicrografia 02 - Cristal euédrico de mineral opaco, provavelmente não se trata de magnetita a julgar pelo baixo valor SM do ponto MD-01C (Lado menor da foto 9,1 mm).

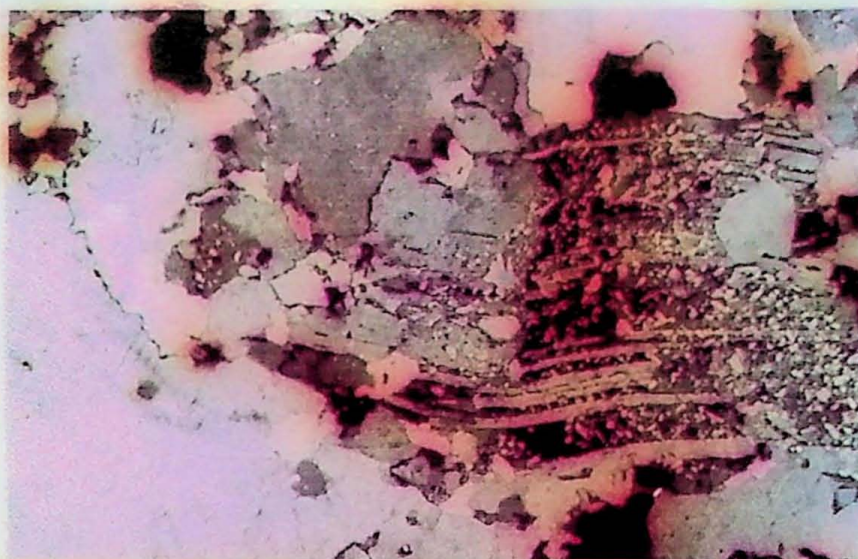


Fotomicrografia 03 - Cristal de plagioclásio exibindo intenso processo de sericitização (Lado menor da foto 9,1 mm).

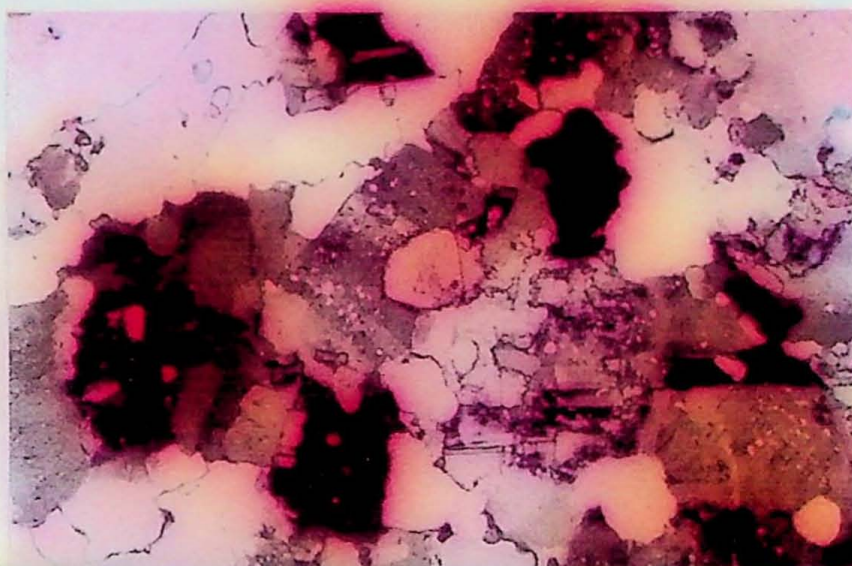


Fotomicrografia 04 - Aspecto geral de mostrando textura alotriomórfica de seixo granítico coletado no ponto MD-01H (Lado menor da foto 18,2 mm).

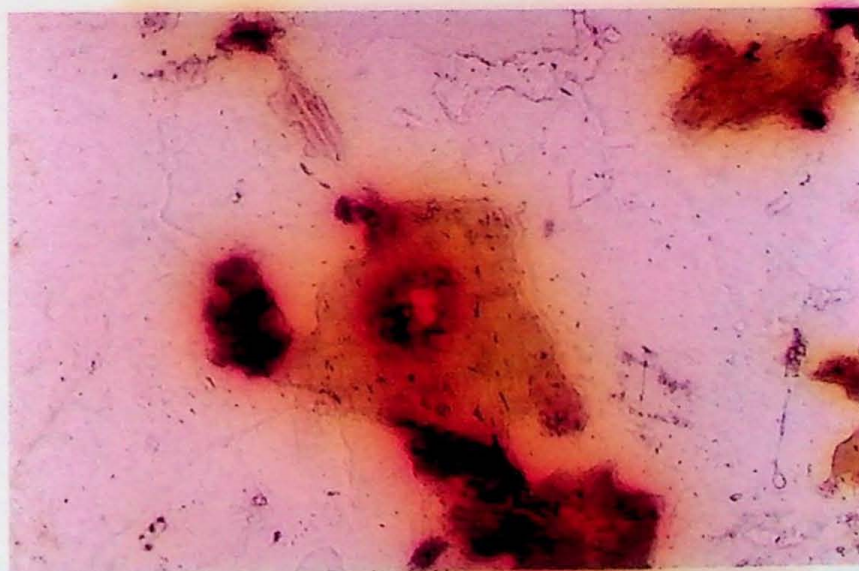
Prancha 06 - Granito inequigranular



Fotomicrografia 05 - Textura predominantemente alotriomórfica grossa em seixo de granito. Notar presença de cristal de plagioclásio com hábito parcialmente preservado e geminação deformada (Lado menor da foto 9,1 mm).

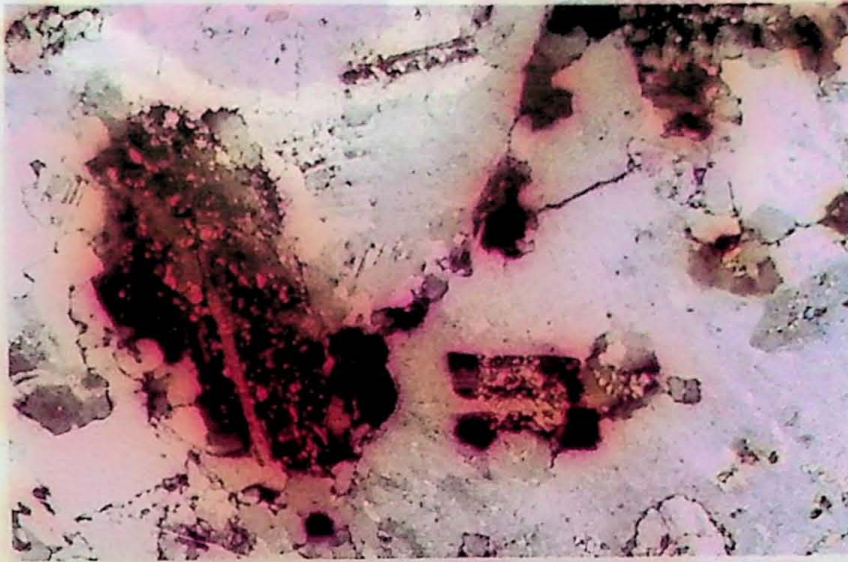


Fotomicrografia 06 - Em destaque no centro da foto cristal euédrico de allanita MD-01E (Lado menor da foto 9,1 mm) .

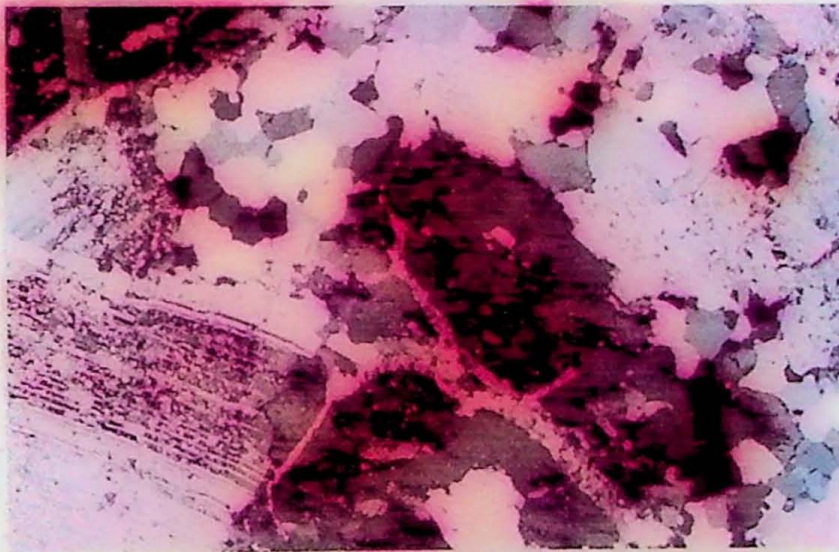


Fotomicrografia 07 - Cristal de zircão incluído em biotita definindo expressivo halo pleocróico em seu entorno (Lado menor da foto 4,55mm).

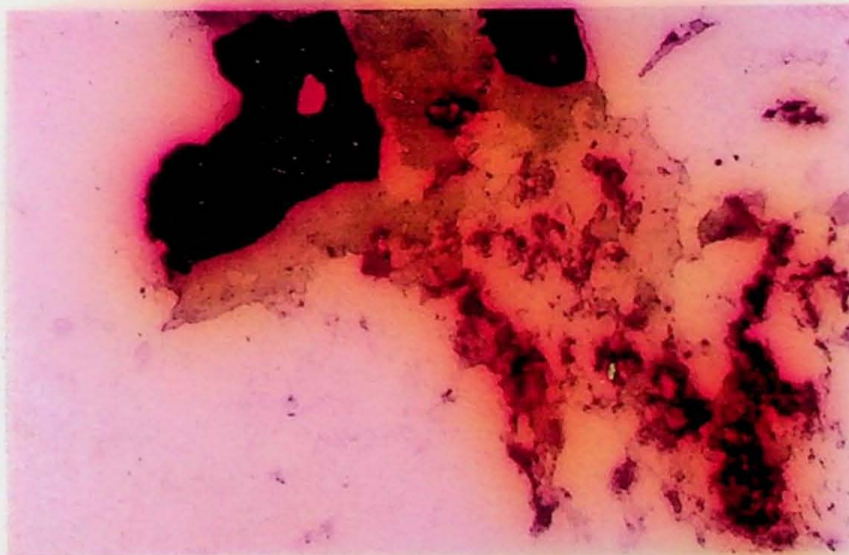
Prancha 7 - Leugranito médio a grosso



Fotomicrografia 08 -Cristal subédrico de plagioclásio incluído em feldspato alcalino perítico (Lado menor da foto 9,1 mm).

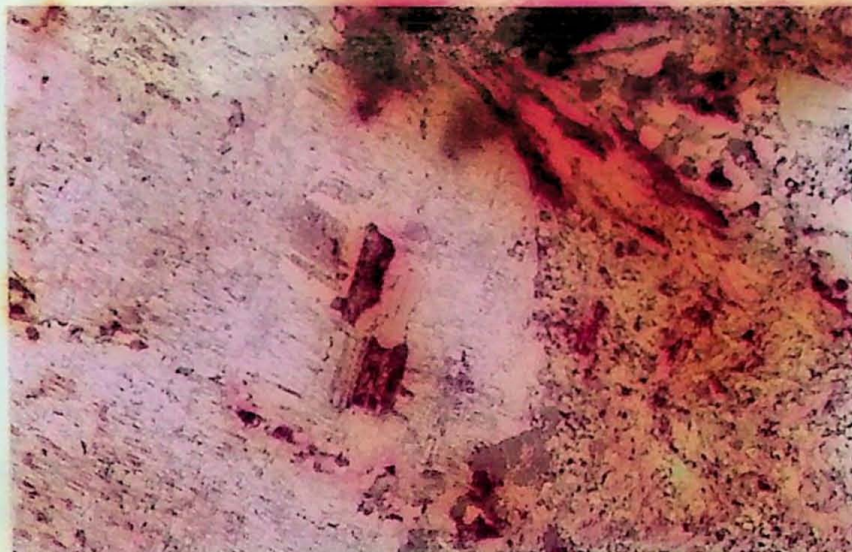


Fotomicrografia 09-Destaque para megacristal euédrico de plagioclásio e F.K., com quartzo recristalizado nas bordas e ocupando veios tardios (Lado menor da foto 9,1 mm).

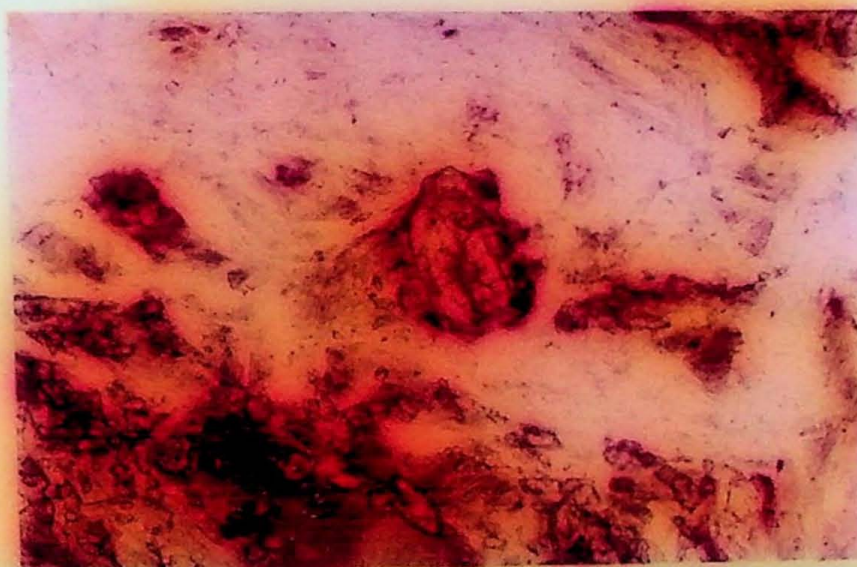


Fotomicrografia 10 -Paragênese biotita-titanita-opacos, feição observada em praticamente todas as amostras analisadas dessa variedade (Lado menor da foto 9,1 mm).

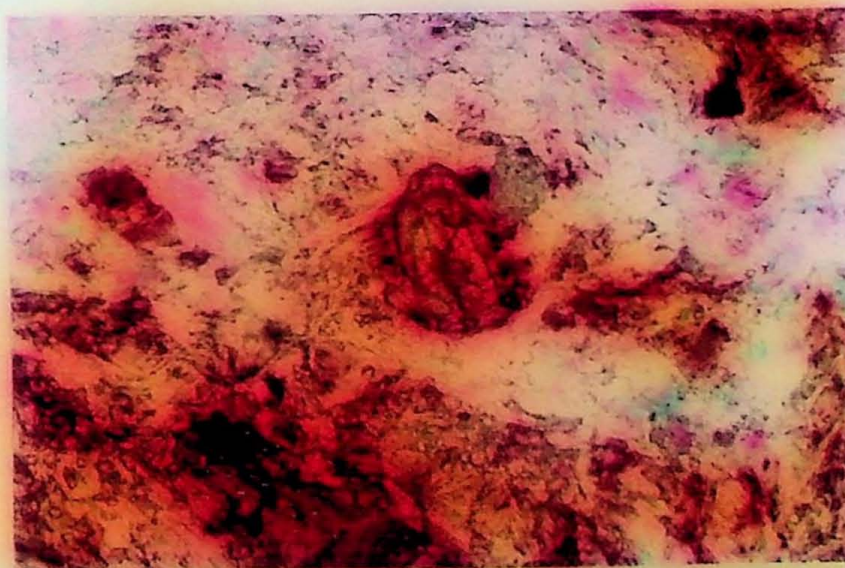
Prancha 8 - Biotita granito porfirítico



Fotomicrografia 11 - Inclusões de plagioclásio em fenocristal de feldspato alcalino porfiroclástico em matriz fina (Lado menor da foto 36,4 mm).

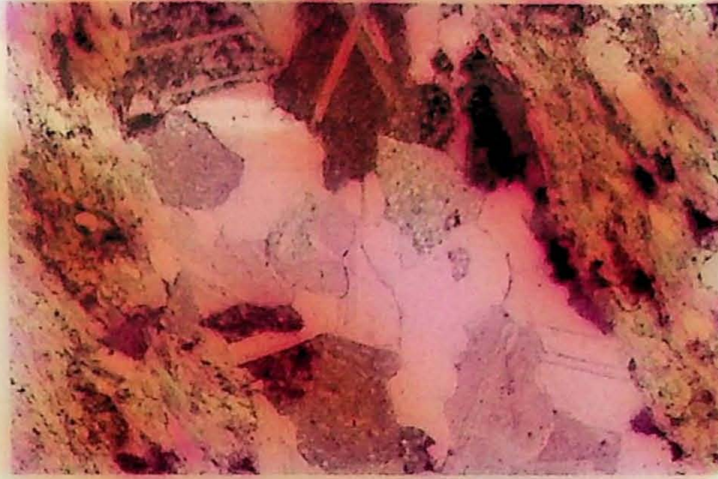


Fotomicrografia 12 - Destaque para cristal euédrico de zircão aparentemente rotacionado (Lado menor da foto 4,55 mm, polarizadores descruzados).

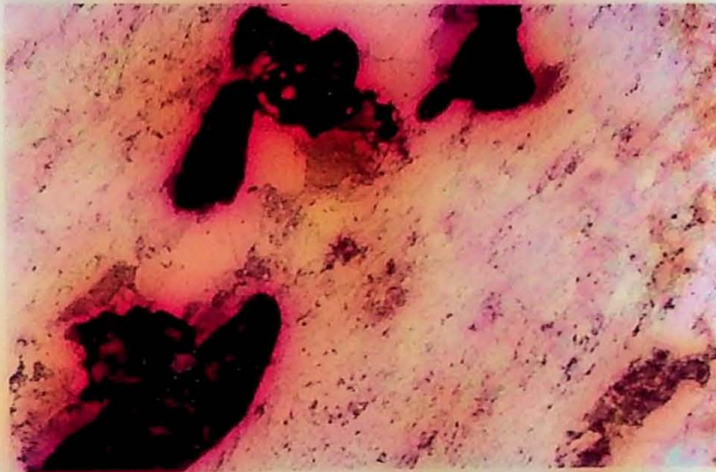


Fotomicrografia 13 - Destaque para cristal euédrico de zircão aparentemente rotacionado (Lado menor da foto 4,55 mm, polarizadores cruzados).

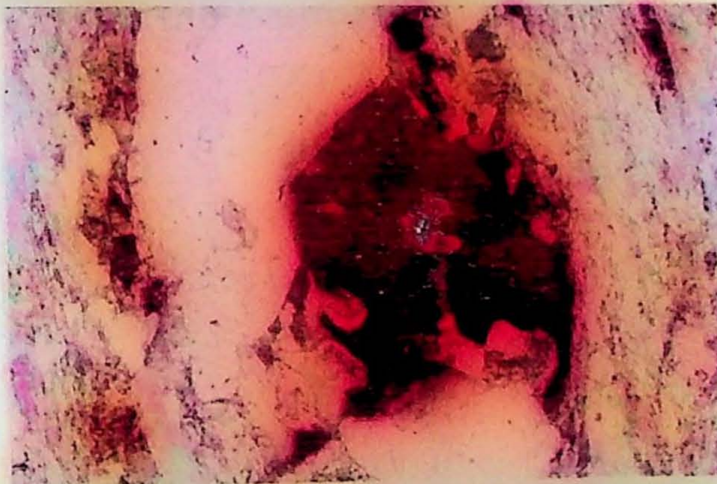
Prancha 09 - Xisto



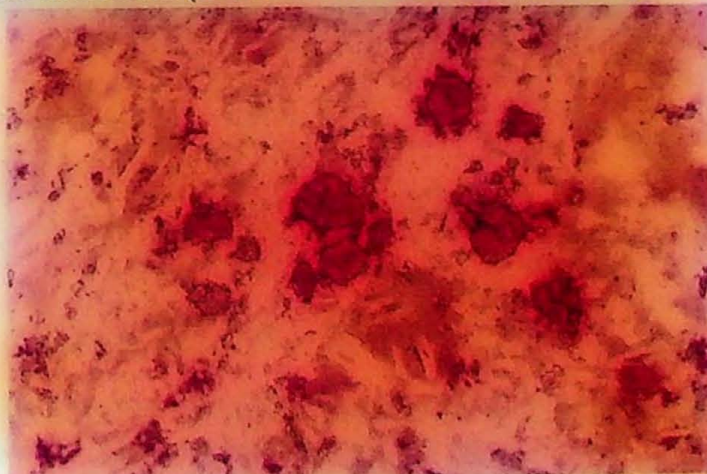
Fotomicrografia 14 - Veio preenchido por cristais idiomórficos de carbonato (Lado menor da foto 9,1 mm).



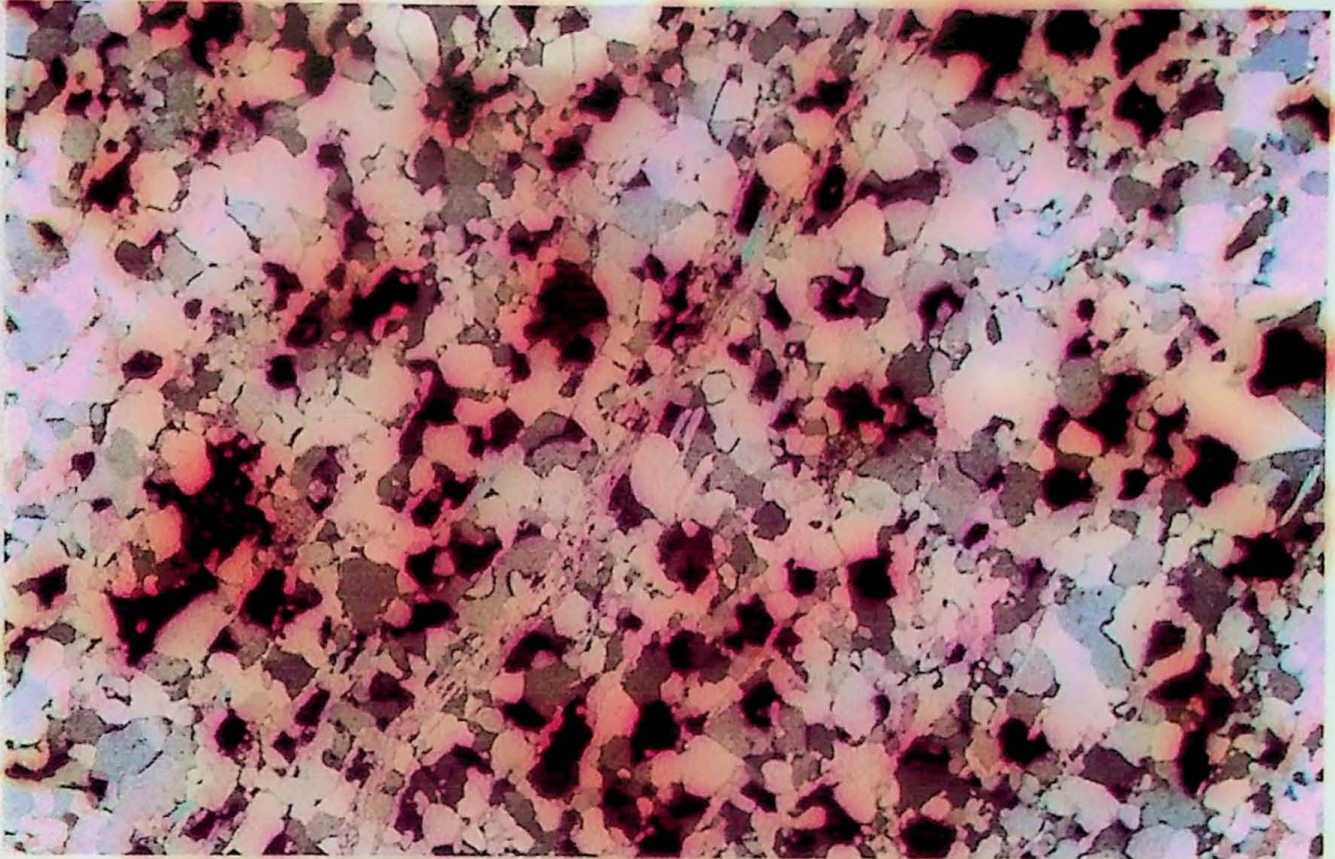
Fotomicrografia 15 - Paragênese típica opacos-biotita-muscovita. Cristal de birrefringência arroxeada corresponde a clorita (Lado menor da foto 9,1 mm).



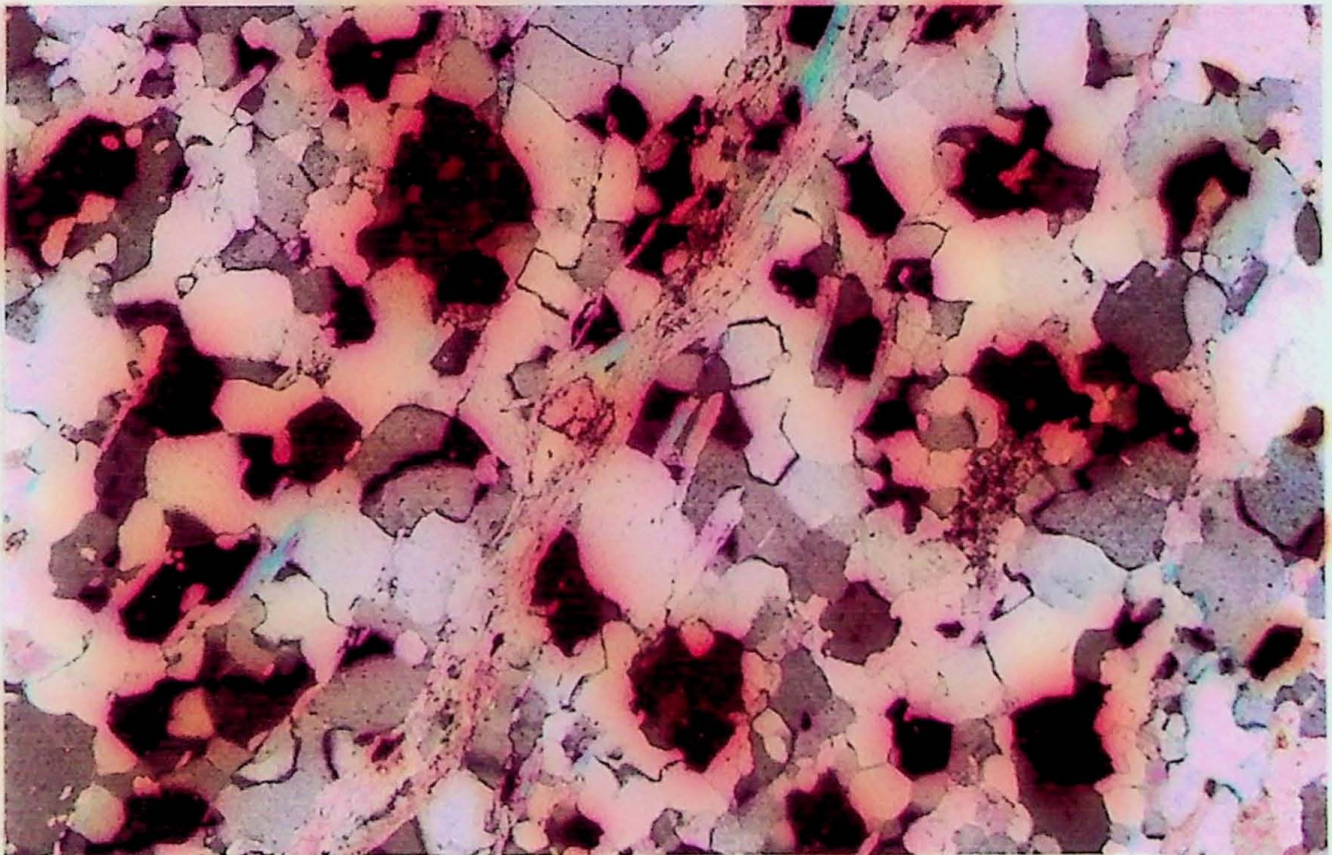
Fotomicrografia 16 - Cristal de biotita com inúmeros halos pleocrômicos em virtude da presença de inclusões de monazita (Lado menor da foto 4,55 mm).



Fotomicrografia 17 - Porfiroblastos de titanita manteados por epídoto em matriz de titanita-muscovita-biotita xisto (Lado menor da foto 9,1 mm).

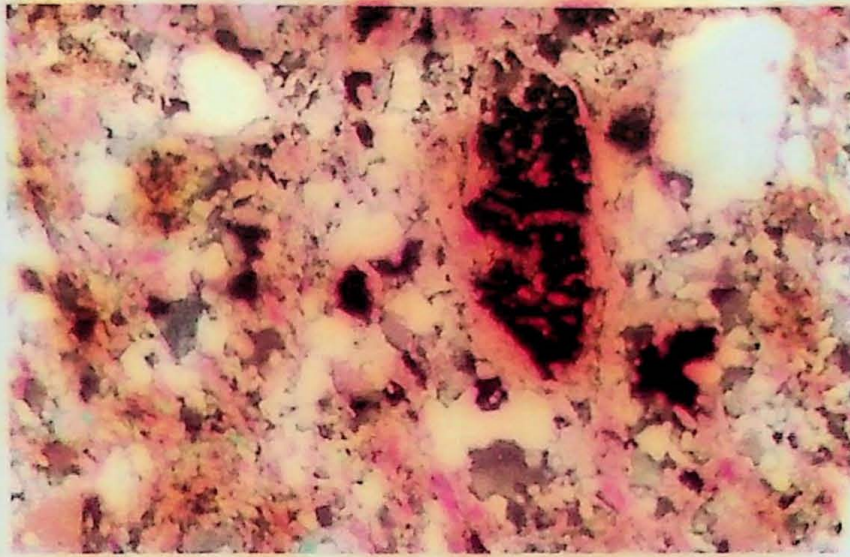


Fotomicrografia 18 - Mucovita quartzito com carbonato secundário. Poligonização e extinção ondulante evidenciando deformação significativa (Lado menor da foto 18,2 mm).

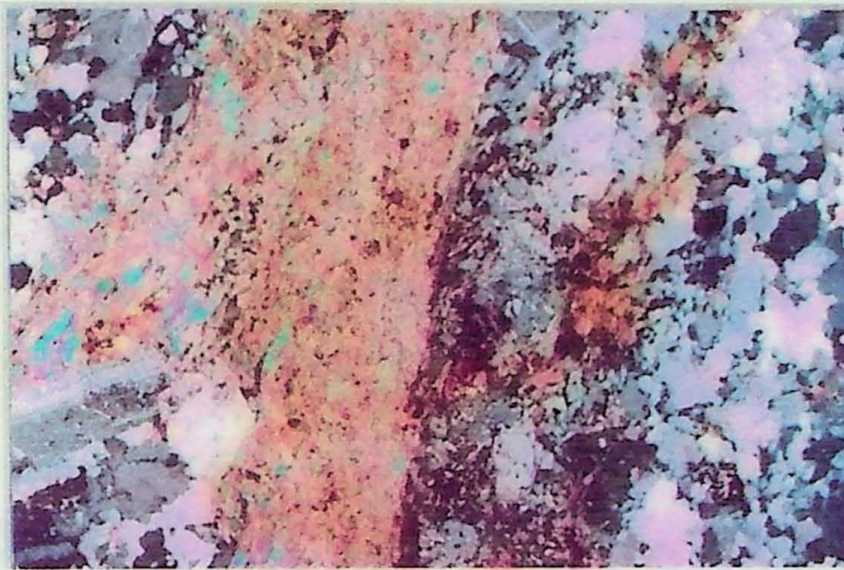


Fotomicrografia 19 - Mesma amostra com destaque para a ocorrência de provável mineral denso (Lado menor da foto 9,1 mm).

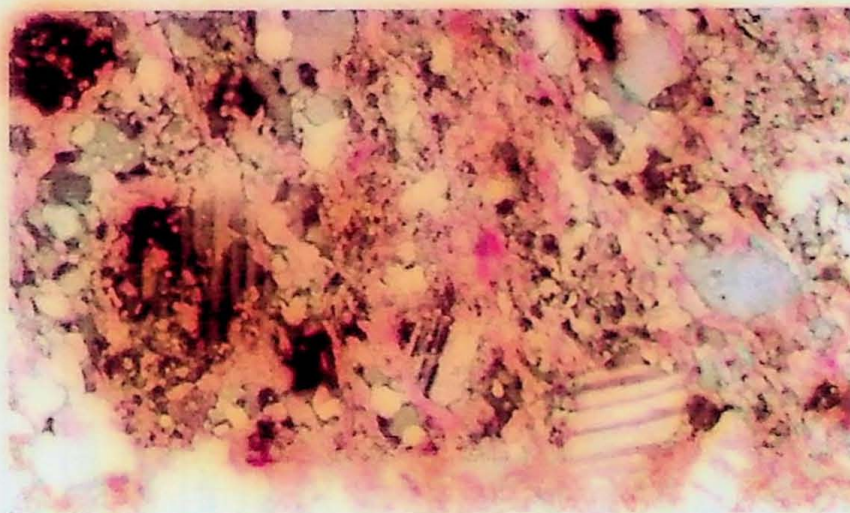
Prancha 11 - Matriz



Fotomicrografia 20 - Destaque para feldspato detrítico em metarenito feldspático (Lado menor da foto 9,1 mm).



Fotomicrografia 21 - Contato entre seixo de granito inequigranular e matriz filítica (Lado menor da foto 18,2 mm).



Fotomicrografia 22 - Destaque para a grande quantidade de cristais de feldspato, implicando na classificação da rocha como metarcósio (Lado menor da foto 9,1 mm).

Minerais	Granito Equigranular		Granito		Leucogranito		Biotita Granito	Quartzito	Xisto	Matriz
	MD-01 C	MD-01 H	MD-01 E	MD-01 F	MD-01 D	MD-01 L	MD-01 N	MD-01 K	MD-01 P	MD-01 B
Biotita	3%	3%	2%	4%	5%	2%	7%		27%	2%
Plagioclásio	20%	20%	28%	28%	20%	30%	27%			(< 4%)
Microclíneo	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%			
Quartzo	45%	45%	40%	38%	44%	38%	30%	85%	10%	48%
Muscovita	10%	10%	7%	10%	10%	10%	5%		30%	44%
Clorita	4%	3%	1%	2%	2%	3%	7%		15%	2%
Titanita	(<1%)	(<1%)	1%		1%	1%	3%	(<1%)	10%	(< 1%)
Apatita			3%				(<1%)			
Monazita							(<1%)			
Alanita			1%				(<1%)			
Zircão				1%						(< 1%)
Epidoto						(<1%)	3%		5%	
Opacos	3%	4%	1%	1%	1%	1%	(<1%)	1%		(< 1%)
Carbonato	(< 1%)	(<1%)	1%	2%	1%	(<1%)	3%	10%	3%	(< 1%)

Tabela 4: Porcentagem modal estimada visualmente das seções delgadas analisadas

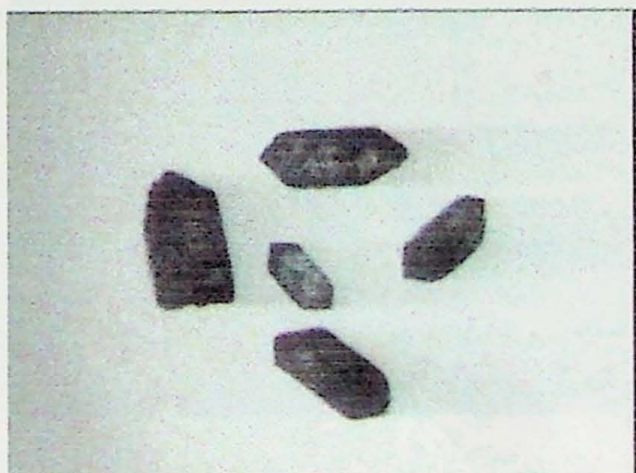
III. 4. Tipologia do Zircão

Foram obtidos concentrados de zircões extraídos da variedade de seixo de granito equigranular, e da matriz metarcoseana. As tipologias presentes no seixo foram agrupadas em quatro “famílias” a partir de feições como: forma, transparência, cor e características internas. Os zircões separados são em geral escuros, foscos, com inclusões e de faces prismáticas bem definidas.

III. 4.1. Zircões do seixo de granito equigranular

. Os zircões da **fotomicrografia 21** são translúcidos, e apresentam cor escura, brilho fosco e muitas inclusões. Já os cristais da **fotomicrografia 22** são de cor clara, brilho intenso, transparentes, com poucas inclusões. O cristal presente na **fotomicrografia 23** é translúcido, apresenta zoneamento e eixo C bem desenvolvido. Os zircões da **fotomicrografia 24** são de cor escura, opacos e arredondados.

Quando comparados aos cristais da **figura 8 - capítulo II** assemelham-se com os correspondentes às letras **g**, **k** e **l** o que indicaria segundo Pupin (1980) que o granito fonte para esta tipologia de seixos, foi gerado a partir de magmas de baixa temperatura (entre 600°C e 650°C), porém é necessária uma investigação a partir de uma estatística mais detalhada.



Fotomicrografia 21 (aumento 165X)
Cristal do centro assemelha-se ao (G-S4)



Fotomicrografia 22 (aumento 220X)
Cristal do centro assemelha-se ao (L-G1)



Fotomicrografia 23 (aumento 220X)
O cristal assemelha-se ao (K-G1)



Fotomicrografia 24 (aumento 220X)

III. 4.2. Zircões extraídos da matriz

Os zircões extraídos da matriz (ver **fotomicrografia 25 e 26**) se assemelham aos encontrados no seixo de granito equigranular. Suas faces são arredondadas e o brilho é fosco, devido ao transporte sofrido durante a sedimentação.



Fotomicrografia 25 (aumento 165X)



Fotomicrografia 26 (aumento 135X)

Capítulo IV – Geoquímica

IV. 1. Fontes de dados geoquímicos

As análises geoquímicas de amostras de seixos graníticos, seixos metamórficos e matriz metarcoseana do afloramento estudado foram obtidas por Fluorescência de Raios X no laboratório de química do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, conforme os procedimentos descritos no **Capítulo I -item 1.2**. Os resultados são apresentados na tabela (**anexo I**) e em diagramas geoquímicos nas **Figuras 11 e 12**.

Para comparação com potenciais áreas-fonte, foram compiladas análises químicas previamente disponíveis. Para os granitos neoproterozóicos predominantes no Domínio São Roque, foram selecionadas unidades graníticas petrograficamente similares às presentes nos seixos: dados geoquímicos de Ferreira (1996), relativos à fácies Mutinga do Granito Itaqui (Domínio São Roque); para o Granito Tico-Tico só foram utilizados os dados de Rb e Sr, extraídos de Tassinari (1988), uma vez que não existem análises geoquímicas completas. Para o Batólito Agudos Grandes, considerado por Hackspacher *et al.* (2000) contemporâneo à suposta bacia de “back-arc” que seria representada pelo Grupo São Roque, foram utilizados dados geoquímicos inéditos de granitos neoproterozóicos fornecidos pelo orientador desta Monografia, Prof. Valdecir de Assis Janasi (comunicação escrita). Praticamente não existem dados geoquímicos de granitos mais antigos, o que impossibilitou para este trabalho a comparação; apenas os dados de Rb e Sr obtidos de Cordani *et. al.* (2002) para ortognaisses de ~820 Ma puderam ser utilizados. Os dados analisados são baseados em médias, o que reduz o efeito de dispersão, com a finalidade de agrupar o maior número de informação, quando lançadas em diagramas de variação de elementos vs. SiO₂. Cada variedade é representada por um ponto e as simbologias usadas para os variados tipos de seixos e potenciais granitos fontes, seguem na **figura 09**:
















Seixos de Granito-Gnaisses	Granitos Porfíricos
 Seixo Porfírico	 Tipo Itaqui
 Seixo Inequigranular	 Tico-Tico
 Seixo Equigranular	 Tipo Cotia
 Seixo Leucogranítico	 Tipo Ibiúna
Granitos Equi a Inequigranular	Ortognaisses
 Tipo Itapevi máfico	 Ortognaisse máfico
 Tipo Itapevi félsico	 Ortognaisse felsico
 Tipo Caucaia	
 Tipo Turvo	
 Tipo Embu	

Figura 09 – Simbologia usada para seixos graníticos e potenciais granitos fontes.

IV. 2. Geoquímica dos Seixos

IV. 2.1. Afinidades Geoquímicas

Os indicadores de afinidades utilizados foram: %SiO₂, o número de magnésio ($mg\# = Mg/(Mg+Fe \text{ total, proporção catiônica})$) e o índice de saturação em alumínio ($A/CNK = Al/(Ca+Na+K, \text{ proporção catiônica})$)

De características metaluminosas a fracamente peraluminosas, os seixos graníticos predominantes são ricos em SiO₂ (65-77%), tem $mg\# = 25-35$. Os valores de $A/CNK < 1$ são devidos à introdução de calcita secundária. Existe uma correlação negativa entre $mg\#$ e SiO₂, de forma que quanto mais félsico é o seixo, menor é o número de magnésio. (ver **figura 10**)

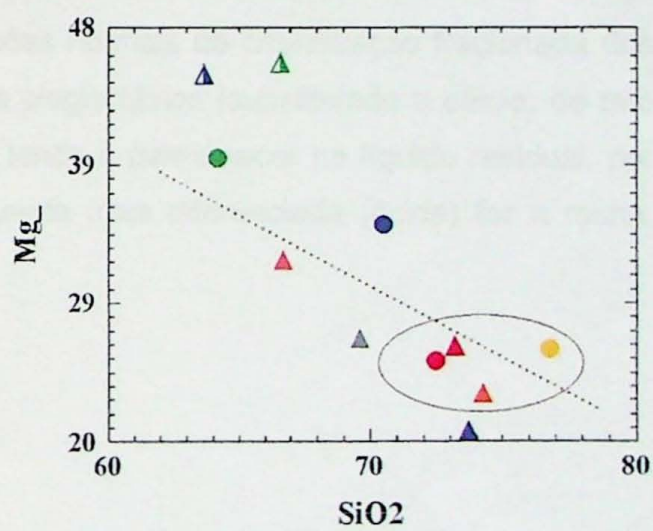
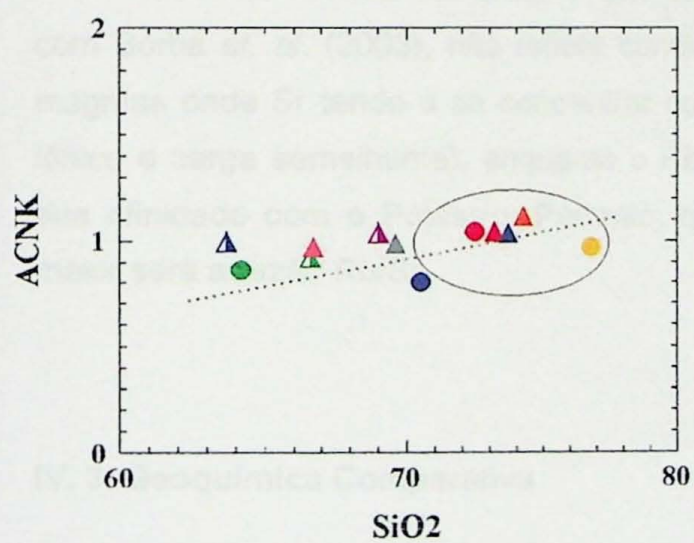
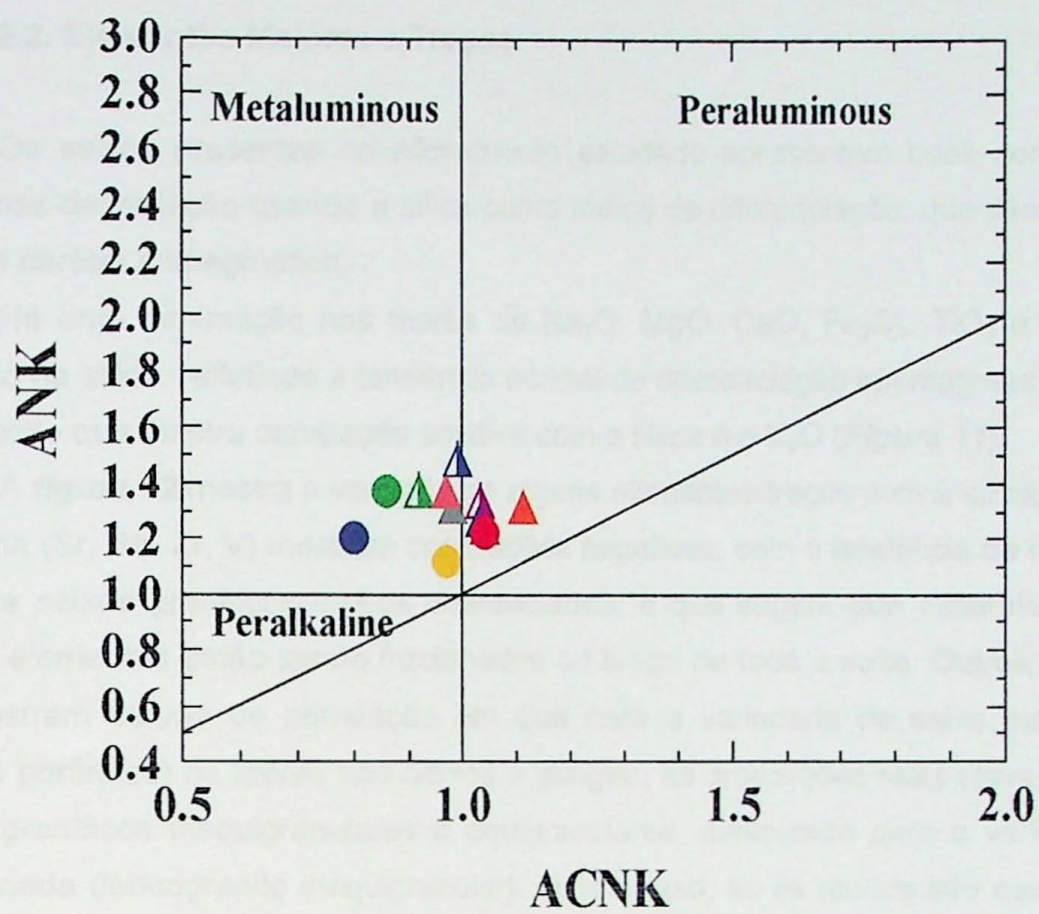


Figura 10 - Indicadores de afinidades geoquímicas

IV. 2.2. Elementos Maiores e Traços

Os seixos presentes no afloramento estudado apresentam boas correlações em diagramas de variação usando a sílica como índice de diferenciação, que são compatíveis com um caráter comagmático.

Há uma diminuição nos teores de Na_2O , MgO , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 com o aumento da sílica, refletindo a tendência normal de diferenciação em magmas graníticos; o único óxido que mostra correlação positiva com a sílica é o K_2O (**Figura 11**).

A **figura 12** mostra a variação de alguns elementos traços com a sílica. Entre eles, a maioria (Sr, Rb, Zr, V) mostram correlações negativas, com a tendência de diminuição a partir de seixos graníticos menos diferenciados, o que sugere que minerais portadores desses elementos estão sendo fracionados ao longo de toda a suite. Outros, como Ce e Th, mostram curvas de correlação em que para a variedade de seixo mais primitivo (granito porfíritico) os teores são baixos e atingem as proporções mais elevadas para os seixos graníticos inequigranulares e equigranulares, diminuindo para a variedade mais diferenciada (leucogranito inequigranular). Nesse caso, se as rochas são comagmáticas, teria havido mudança de caráter incompatível para compatível ao longo da diferenciação.

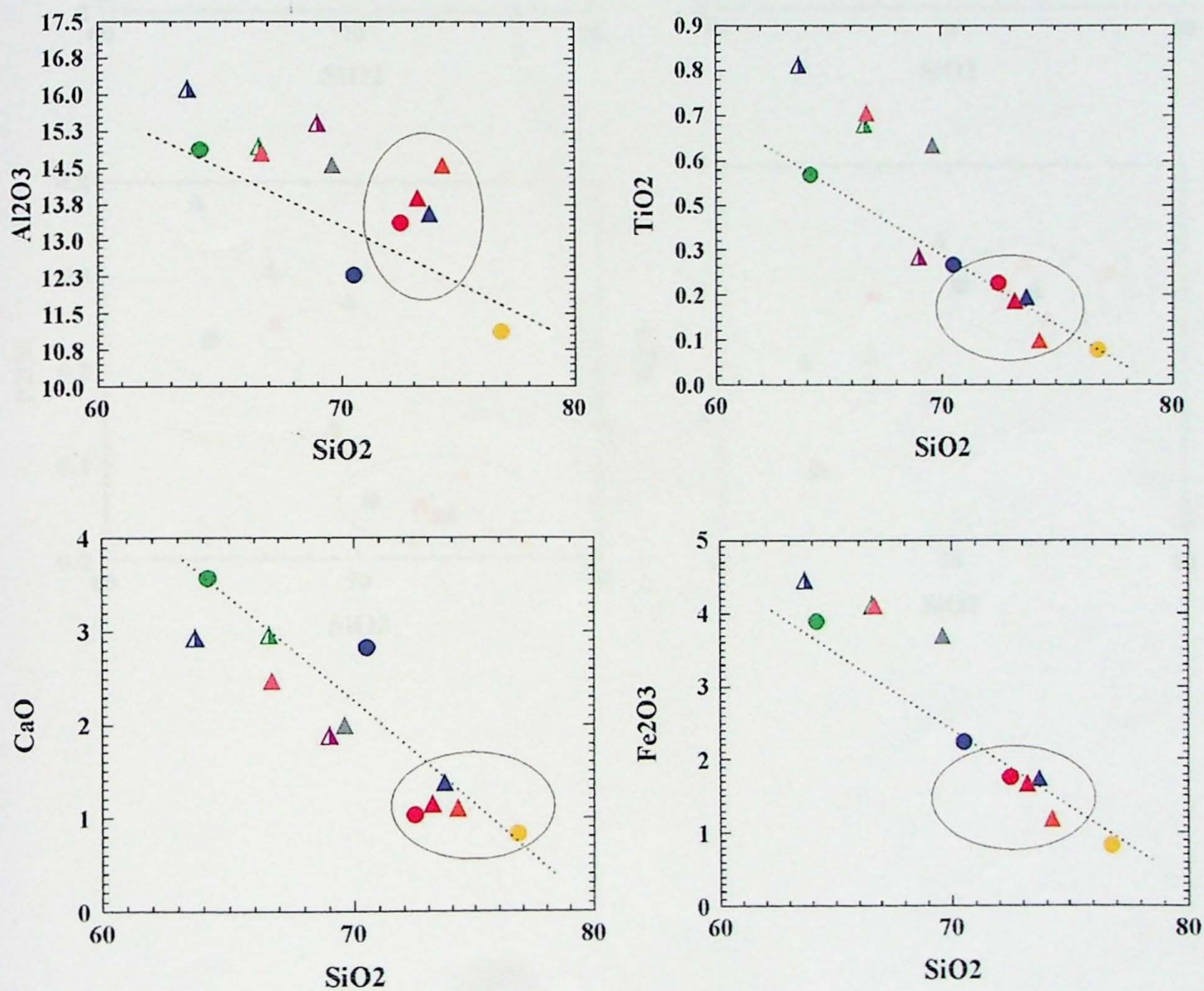
Deve-se lembrar no entanto que os baixos teores de Rb nos seixos, de acordo com Borba *et. al.* (2003), não reflete condições normais de cristalização fracionada dos magmas onde Sr tende a se concentrar nos plagioclásios (substituindo o cálcio, de raio iônico e carga semelhante), enquanto o Rb tende a permanecer no líquido residual, por sua afinidade com o Potássio. Portanto, quanto mais diferenciada (ácida) for a rocha, maior será a razão Rb/Sr.

IV. 3. Geoquímica Comparativa

Comparados aos granitos neoproterozóicos, existem semelhanças mais evidentes entre os seixos de granitos gnáissicos equigranulares e inequigranulares e os potenciais granitos fontes do tipo Caucaia e Itapevi félsico, cujo os campos de proximidade estão esquematicamente delimitados nos diagramas de variação vs. SiO_2 , dos quais se distinguem, no entanto por apresentarem baixos teores de Rb.

Com relação aos seixos de granitos porfíricos, não foram identificados, entre os granitos texturalmente semelhantes de idade neoproterozóica nenhum que tenha características geoquímicas semelhantes. O mesmo acontece em relação aos ortognaisses e o leucogranito Tico-Tico, no entanto os dados geoquímicos neste caso estão restritos aos elementos Rb e Sr.

Figura 11 - Diagramas de Variação (elementos maiores vs. SiO_2)



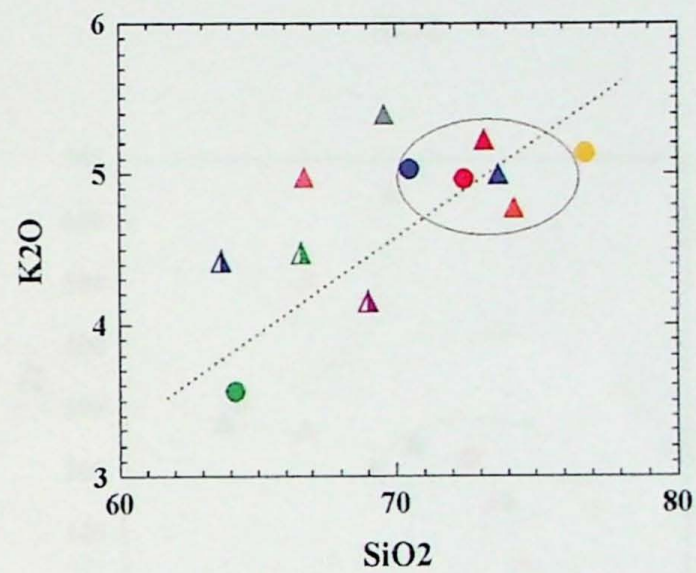
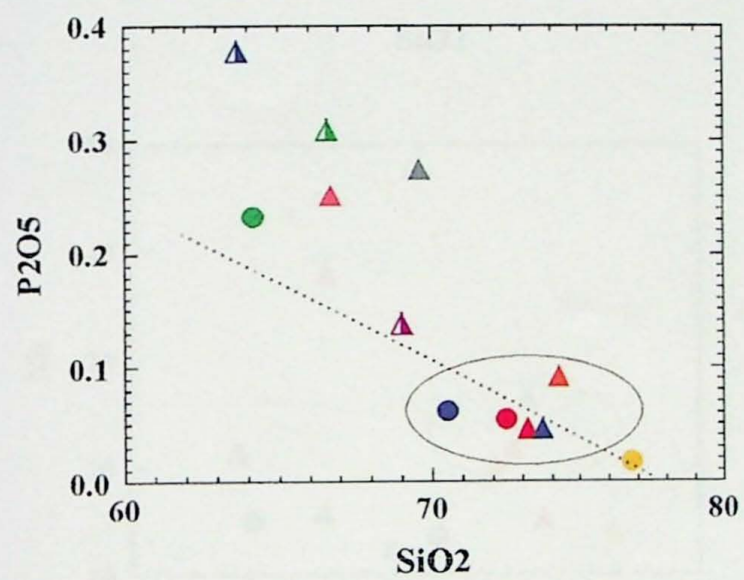
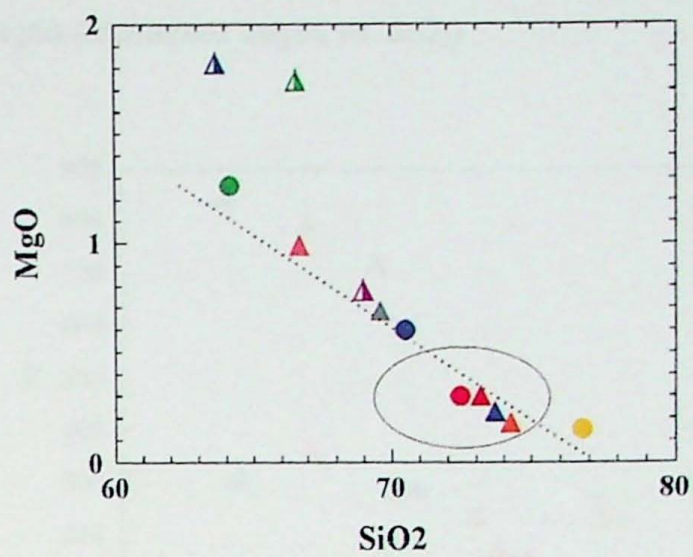
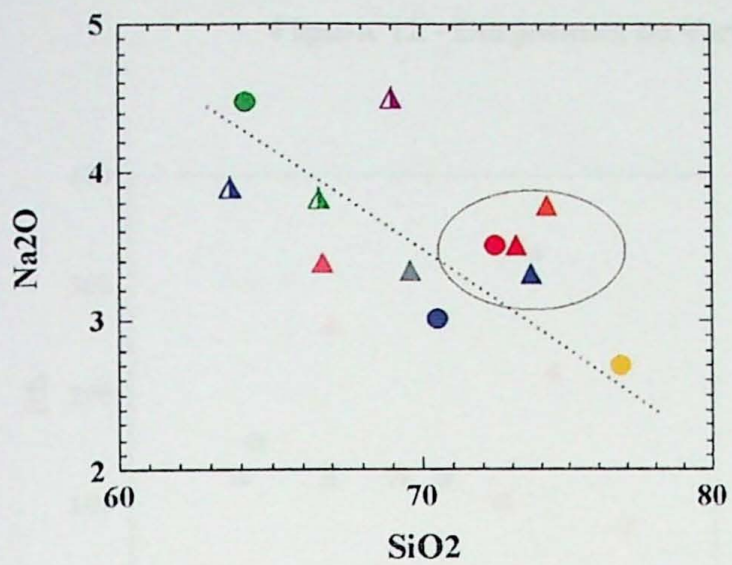
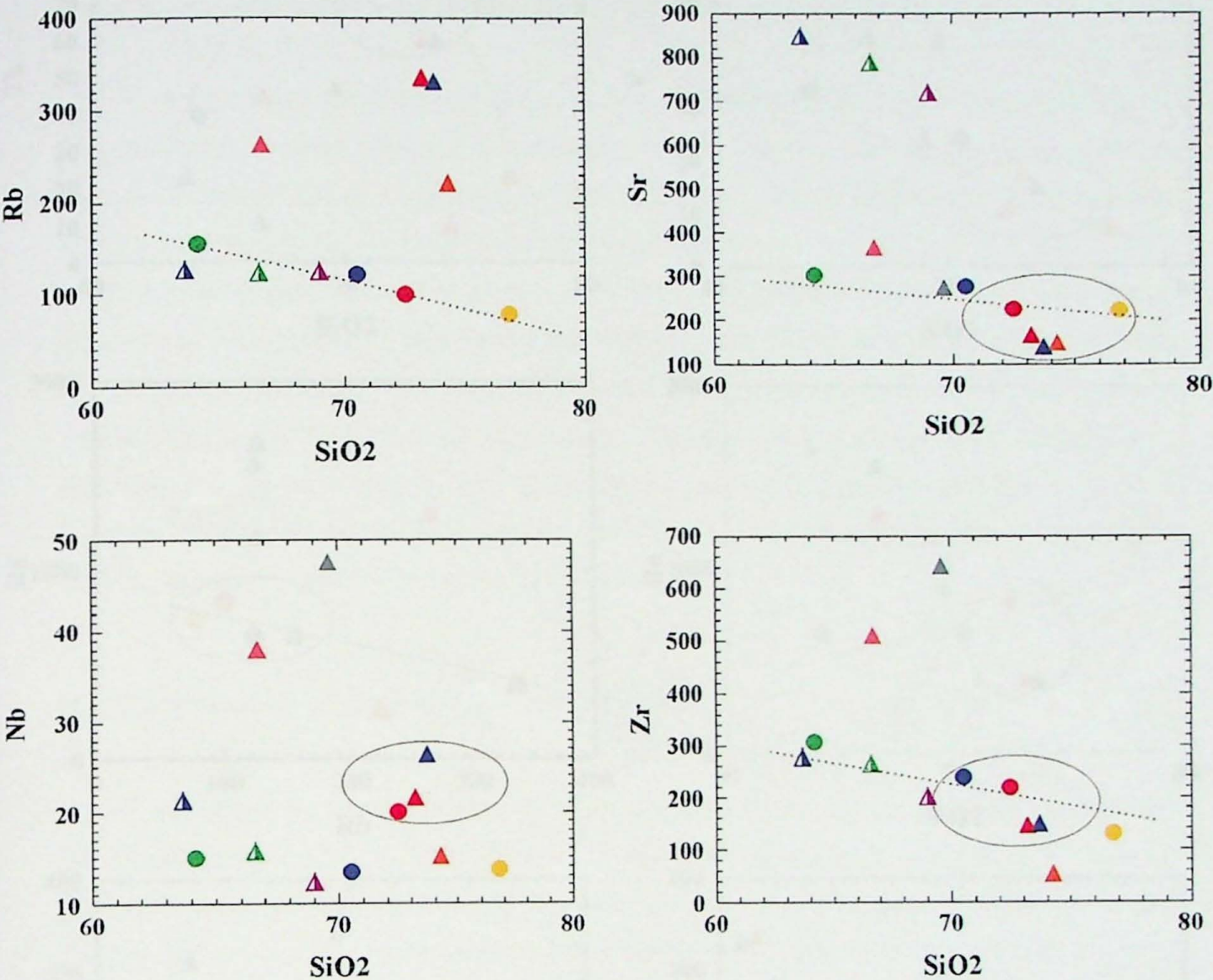
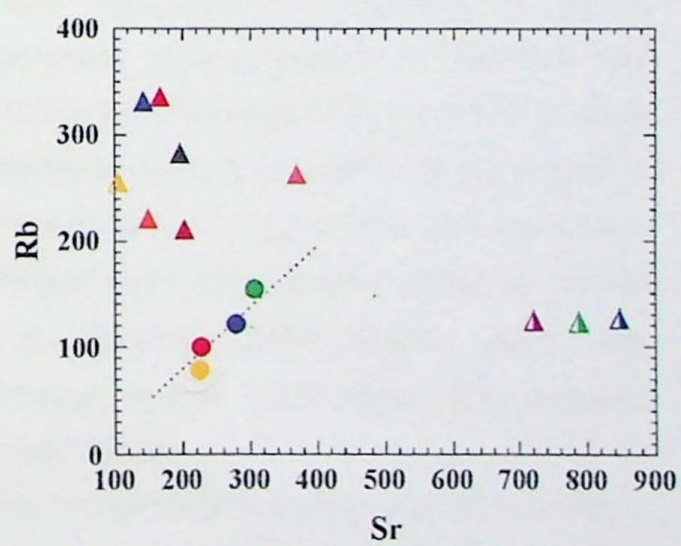
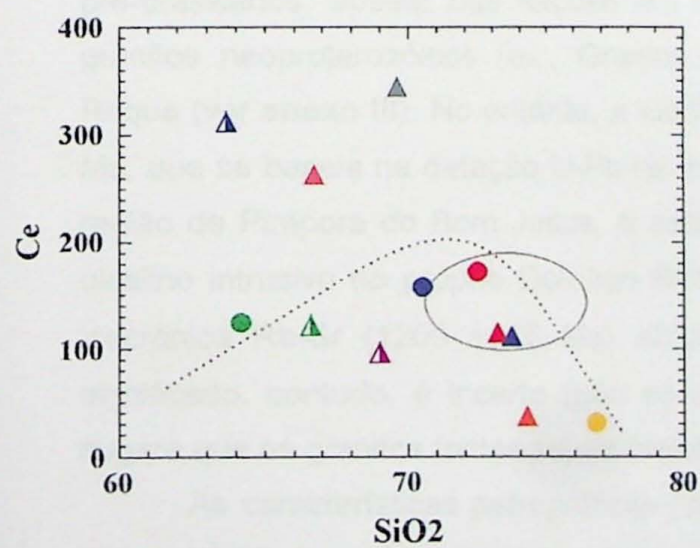
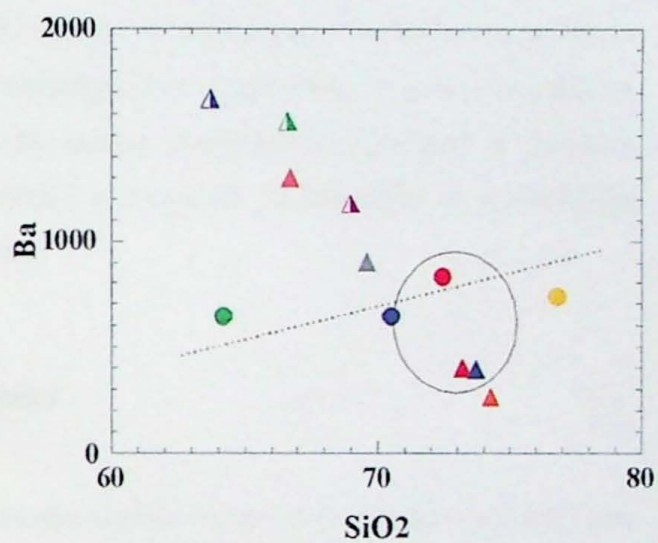
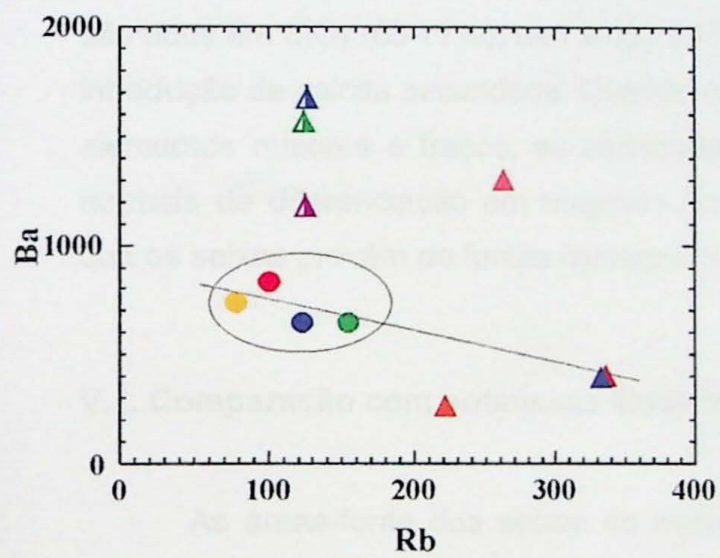
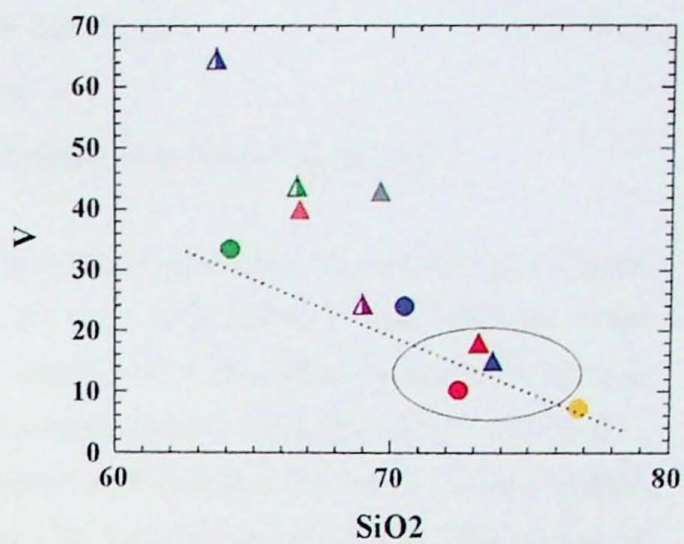
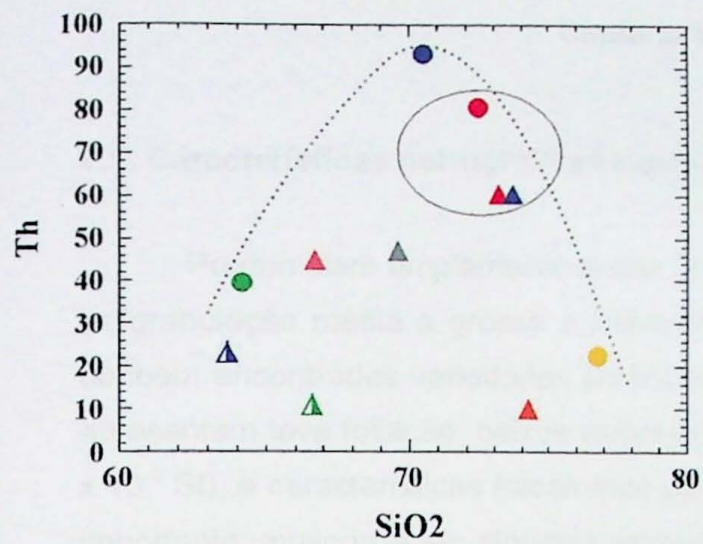


Figura 12 - Diagramas de Variação (elementos traços vs. SiO_2)





Capítulo V – Conclusões

V.1. Características petrográficas e geoquímicas dos seixos graníticos

Predominam amplamente biotita monzogranitos equigranulares e inequigranulares, de granulação média a grossa e índice de cor (IC) ~3-5; embora muito restritas, foram também encontradas variedades porfíricas com IC>7. Todas as variedades de granitos apresentam leve foliação, baixos valores de susceptibilidade magnética (SM – 0,07 a 0,47 x 10⁻³ SI), e características fracamente peraluminosas (biotita como único mineral máfico importante; muscovita em algumas amostras). Os granitos predominantes entre os seixos são ricos em SiO₂ (65-77%), tem #mg= 25-35 e em geral apresentam A/CNK <1, devido à introdução de calcita secundária. Quando comparados em diagramas de variação para os elementos maiores e traços, as variedades de seixos identificadas refletem tendências normais de diferenciação em magmas graníticos e mostram correlações indicativas de que os seixos provêm de fontes comagmáticas.

V.2. Comparação com potenciais áreas fontes

As áreas-fonte dos seixos do metaconglomerado foram procuradas em granitos pré-brasileiros, apesar das feições em mapas regionais serem sugestivas de que os granitos neoproterozóicos (ex., Granito Cantareira) sejam intrusivos no Domínio São Roque (ver **anexo III**). No entanto, a idade obtida por Hackspacher *et al.* (2000) de ~630 Ma, que se baseia na datação U-Pb de monazita de uma rocha metavulcânica básica da região de Pirapora do Bom Jesus, é contemporânea à do magmatismo granítico cálcio-alcalino intrusivo no próprio Domínio São Roque e em terrenos adjacentes. Já a idade isocrônica Rb-Sr (1200 ± 75 Ma) obtida por Tassinari (1988) para os seixos, cujo significado, contudo, é incerto (não se conhecem rochas dessa idade regionalmente), sugere que os granitos fontes sejam mesoproterozóicos.

As características petrográficas (biotita monzogranitos equigranulares) e a SM (< 0,5 x 10⁻³ SI) dos seixos graníticos limitam bastante as potenciais áreas-fonte. Os granitos dominantes no neoproterozóico (ex: batólitos Cantareira, Itaqui, Agudos Grandes) apresentam geralmente como facies predominante biotita-granitos ou granodioritos porfíricos, com hornblenda escassa a ausente, e megacristais idiomórficos, centimétricos

A comparação geoquímica com os granitos neoproterozóicos petrograficamente semelhantes presentes no Domínio São Roque e ao sul da falha de Taxaquara (batólito Agudos Grandes), e os seixos predominantes só mostram semelhanças mais evidentes com os granitos do tipo Caucaia e Itapevi félsico, dos quais se distinguem, no entanto por apresentarem baixos teores de Rb. Deste modo, podemos concluir que a fonte dos seixos seriam granitos mais antigos (para os quais ainda não existem dados geoquímicos) ou que, se a fonte é o granito do tipo Caucaia ou Itapevi félsico, teria havido perda de Rb durante o processo hidrotermal.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M. de, 1964. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, Bol. n. 14, pp. 165-274.
- ALMEIDA, F.F.M. de.; HASUI, Y; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S. de, BISTRICHI, C.A. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Nota Explicativa*. São Paulo, IPT, v.1 (Escala 1 : 500.000).
- BASEI, M.A.S., SIGA JR., O., KAULFUSS, G.A., CORDEIRO, H., NUTMAN, A., SATO, K., CURY, L.F., PRAZERES FILHO, H.J., PASSARELLI, C.R., HARARA, O.M., REIS NETO, J.M., WEBER, W., 2003. Geochronology and isotope geochemistry of Votuverava and Perau Mesoproterozoic basins, southern Ribeira Belt, Brazil. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, Brazil. Short Papers, p. 501-504.
- BERGMANN, M., 1988. Caracterização Estratigráfica e Estrutural da Seqüência Vulcano-Sedimentar do Grupo São Roque na Região de Pirapora do Bom Jesus - Estado de São Paulo, DISSERTAÇÃO DE MESTRADO – IGc- USP.
- BORBA, A.W., MIZUSAKI, A.M.P, SILVA, D.R.A., KAWASHITA, K., 2003. Razões Isotópicas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ como Traçadores de Proveniência de Rochas Sedimentares Siliciclásticas: Exemplos no Grupo Camacua (Paleozóico Inferior, RS, Brasil) – Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil – 30(2), p.41.
- BRITO NEVES, B.B., 1995. Crátons e Faixas Móveis – Boletim IGc – USP, *Série Didática*, nº 7, p. 95 – 103.
- CORDANI, U. G., COUTINHO, J. M. V., NUTMAN, A. P. Geochronological Constraints on the Evolution of the Embu Complex, São Paulo, Brazil – *Journal of South American Earth Sciences*. 14, p. 903-910, 2002.

- COUTINHO J.M.V. 1968. Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e Arredores. (Tese – professor catedrático) – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.
- COUTINHO, J.M.V. 1955. Metaconglomerado e rochas associadas no Município de São Paulo. Boletim Fac. Fil. C. Let. USP186, Mineralogia 13, 5-55.
- FERREIRA, C. J. Geoquímica e Análise de Deformação do Complexo Itaqui, SP: Evolução de Granitos Cálcio-Alcalinos Poli-Intrusivos, UNESP, Rio Claro, (Tese de Doutorado), 1996.
- FIGUEIREDO, M.C.H; BERGMANN, M.; PENALVA, F.; TASSINARI, C.C.G. 1982. Ocorrência de *pillow-lavas* no Grupo São Roque, Estado de São Paulo. *Revista Ciências da Terra*, (2): 6-8.
- HACKSPACHER, P.C; GODOY, A.M; OLIVEIRA, M.A..F. 1993a. Evolução crustal do Bloco São Roque, na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **23**(3): 260-264.
- HACKSPACHER, P.C.; GODOY, A.M; OLIVEIRA, M. A.. F. de; KRUHL, J. 1998. Evolução geológica precambriana do sudeste do estado de São Paulo, região de São Roque. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1998. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, p. 26.
- HACKSPACHER, P.C.; DANTAS, E.L.; SPOLADORE, A.; FETTER, A.H.; OLIVEIRA, M.A.F. 2000. Evidence for Neoproterozoic back-arc basin development in the Central Ribeira Belt, southeastern Brazil: new geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui Groups. *Revista Brasileira de Geociências* 30: 110-114.
- HASUI, Y. 1973 – *Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul*. São Paulo, (Tese Livre-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do Precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 6(3): 182-200.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J. & JANASI, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Organizadores): *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca Prod. Culturais, 647 p.
- JANASI, V.A. e ULBRICH, H.H.G.J. 1992. *Boletim IGc-USP*, Publicação Especial, nº 11, Abril 1992.
- JULIANI, C. 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba a São Roque na região das serras do Itaberaba e Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP*. São Paulo, (Tese – Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- JULIANI C., MARTIN M.A.B., CLARIMUNDO S. de J. 1997. Os metarcoseos do Morro do Polvilho: implicações para geocronologia e para evolução crustal dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69: 441.
- JULIANI, C; MARTIN, M.^aB.; CLARIMUNDO, S.de J.; McREATH, I.; PERTERSEN Jr., K.J. 1999. Geologia dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque entre o Pico do Jaraguá e Araçarigüama, São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, Águas de São Pedro. *Boletim de Resumos*. SBG/NSP-NRJ/ES, p. 26.
- JULIANI, C.; HACKSPAKER, P.; DANTAS, E.L.; FETTER, A.H. 2000. The Mesoproterozoic volcano-sedimentary Serra do Itaberaba Group of the central Ribeira Belt, São Paulo, Brazil: implications for the age of the overlying São Roque Group. *Revista Brasileira de Geociências* 30, 82-86.

- MARTIN, M. A. B, 2000. *Geologia e Petrografia e Metamorfismo dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque a Noroeste da Cidade de São Paulo (SP)*, DISSERTAÇÃO DE MESTRADO – IGc-USP.
- MORAES REGO, L.F. de – 1933 – Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo. São Paulo. *Boletim do Instituto Astronômico e Geographico*.
- PUPIN, J. P. Zircon and Granite Petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73: 207-220, 1980.
- SILVA, P.C.F da. 1997. *Ambientes de sedimentação e tectônica do Grupo São Roque na região de Pilar do Sul e Votorantim, SP*. São Paulo, (Dissertação – Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SILVA, P.C.F da. 1998. Tectônica rúptil da região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP. *Revista Brasileira de Geociências*
- SUGUIO, K. - 1998 - Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins. p. 50
- TASSINARI, C.C.G. *et al.* 1985. Estudo Geocronológico nos Metaconglomerados do Grupo São Roque, Estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de Geologia, 5º, São Paulo, 1985. Boletim de Resumos, SBG, p. 04.
- TASSINARI, C.C.G. 1988. As Idades das Rochas e dos Eventos Metamórficos da Porção Sudeste do Estado de São Paulo e sua Evolução Crustal. *Tese de Doutorado* – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - p. 139.
- WERNICK, E., 1984. Caracterização Genética de Alguns Granitóides Brasileiros do Estado de São Paulo e Minas Gerais e Implicações Geotectônicas Preliminares, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, p. 2902-2915.
- WERNICK, E; HASUI, Y; NEVES, B.B.B. – 1978 – As regiões de dobramentos sudeste e nordeste. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, 1978. *Anais...* Recife, SBG. v.6, p.2493-2507.

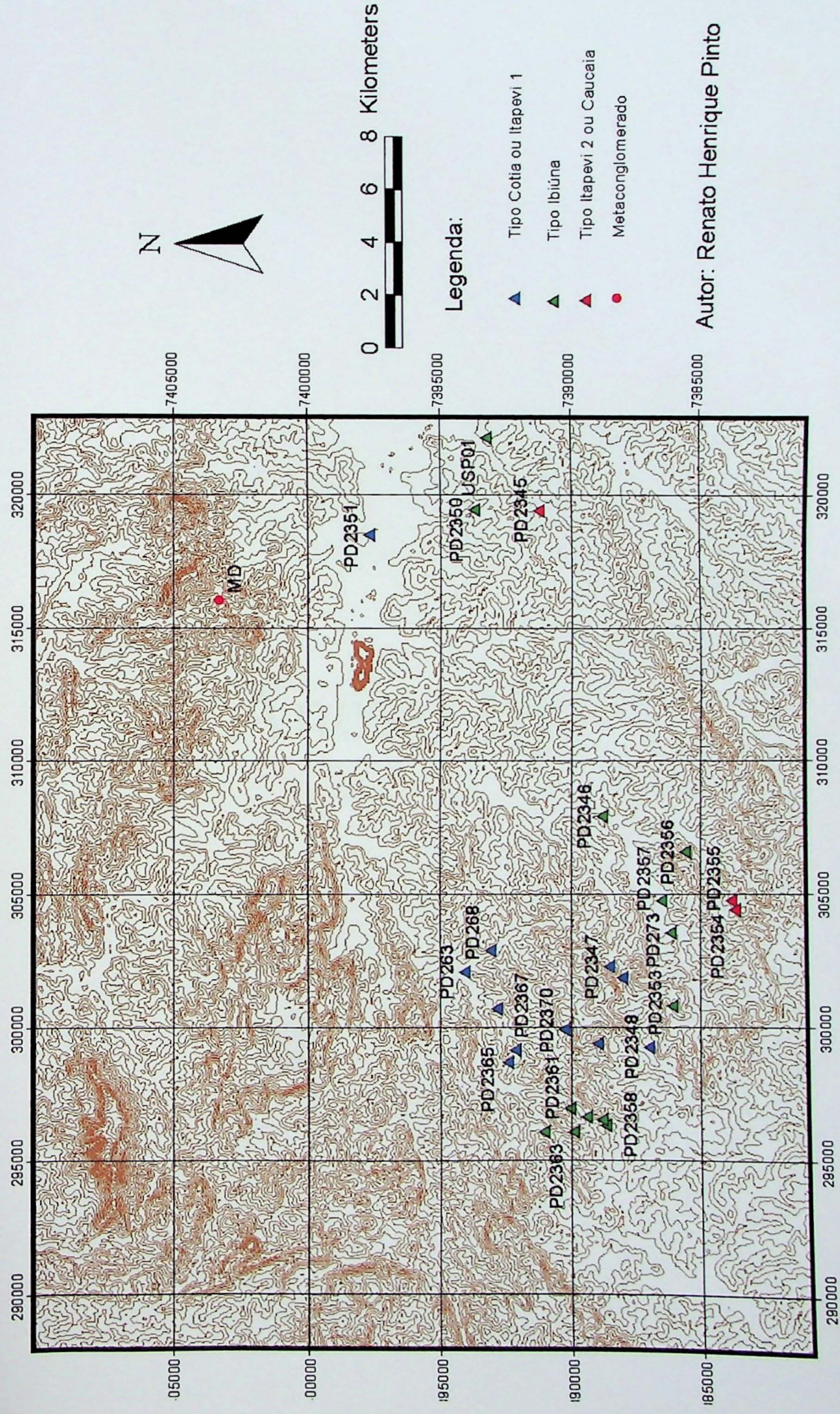
Anexo I

	MD 01 N	MD 01 I	MD 01 E	MD 01 F	MD 01 C
	G porf	G inequi	G inequi	G inequi	G equi
SiO2	64.40	70.49	72.87	74.64	72.45
TiO2	0.525	0.299	0.185	0.138	0.256
Al2O3	14.95	12.28	11.50	11.70	13.36
Fe2O3	3.95	2.24	1.42	1.57	1.75
MnO	0.067	0.048	0.044	0.034	0.025
MgO	1.28	0.60	0.29	0.30	0.30
CaO	3.58	2.83	2.77	1.72	1.03
Na2O	4.25	2.93	3.64	4.12	3.38
K2O	3.57	5.03	4.27	3.35	4.97
P2O5	0.204	0.054	0.034	0.027	0.048
Loi	3.35	2.66	2.38	1.69	1.27
Total	100.13	99.46	99.40	99.29	98.84
Ba	647	645	539	419	833
Ce	123	157	118	59	172
Cl	107	< 39	103	< 39	47
Co	8	4	3	2	2
Cr	83	16	51	35	17
Cu	29	20	41	33	45
F	703	408	< 355	< 355	< 355
Ga	18	14	13	17	19
La	69	87	74	37	102
Nb	16	14	15	13	20
Nd	48	34	43	< 23	63
Ni	26	9	5	4	< 3
Pb	31	21	40	14	26
Rb	156	123	73	76	101
S	< 150	< 150	254	< 150	880
Sc	11	5	< 4	4	< 4
Sr	305	277	328	337	227
Th	41	93	62	32	81
U	8	9	7	6	9
V	39	24	9	9	10
Y	28	29	23	20	18
Zn	62	50	22	18	19
Zr	307	239	170	126	218

	MD 01 H	MD 01 D	MD 01 B	MD 01 K	MD 01 M	MD 01 O
	G equi	G leuco	matriz	quartzito	xisto	xisto
SiO2	72.60	76.76	70.85	84.15	41.00	45.89
TiO2	0.207	0.087	0.403	0.048	0.679	2.187
Al2O3	12.73	11.13	13.31	0.55	17.11	11.67
Fe2O3	1.62	0.83	3.66	0.32	11.67	15.96
MnO	0.028	0.024	0.039	0.062	0.203	0.182
MgO	0.33	0.15	1.70	0.12	3.86	4.50
CaO	1.12	0.84	1.16	6.66	8.53	6.53
Na2O	3.02	2.64	1.07	0.05	2.27	< 0.02
K2O	5.52	5.14	4.85	0.27	6.31	6.38
P2O5	0.041	0.015	0.152	0.025	0.156	0.513
Loi	1.55	1.06	2.36	7.28	8.02	5.15
Total	98.77	98.68	99.55	99.54	99.81	98.96
Ba	711	738	1088	76	1015	474
Ce	144	32	87	30	< 12	50
Cl	148	< 39	< 39	< 39	< 39	< 39
Co	< 2	< 2	11	< 2	49	45
Cr	23	24	82	11	494	63
Cu	38	44	2	4	114	167
F	< 355	< 355	1243	< 355	1718	1220
Ga	17	13	17	3	24	19
La	81	18	53	12	16	34
Nb	19	14	12	4	4	7
Nd	41	25	37	< 23	< 23	39
Ni	3	4	16	< 3	155	65
Pb	20	24	< 4	7	15	6
Rb	113	79	172	11	372	417
S	847	< 150	< 150	< 150	1012	768
Sc	< 4	< 4	6	< 4	23	38
Sr	271	224	68	205	195	318
Th	72	23	13	< 2	9	15
U	8	7	9	5	15	15
V	8	7	47	4	101	399
Y	27	14	24	5	14	51
Zn	17	7	70	6	185	161
Zr	198	131	242	63	101	173

Anexo II

Anexo II - Mapa de Pontos

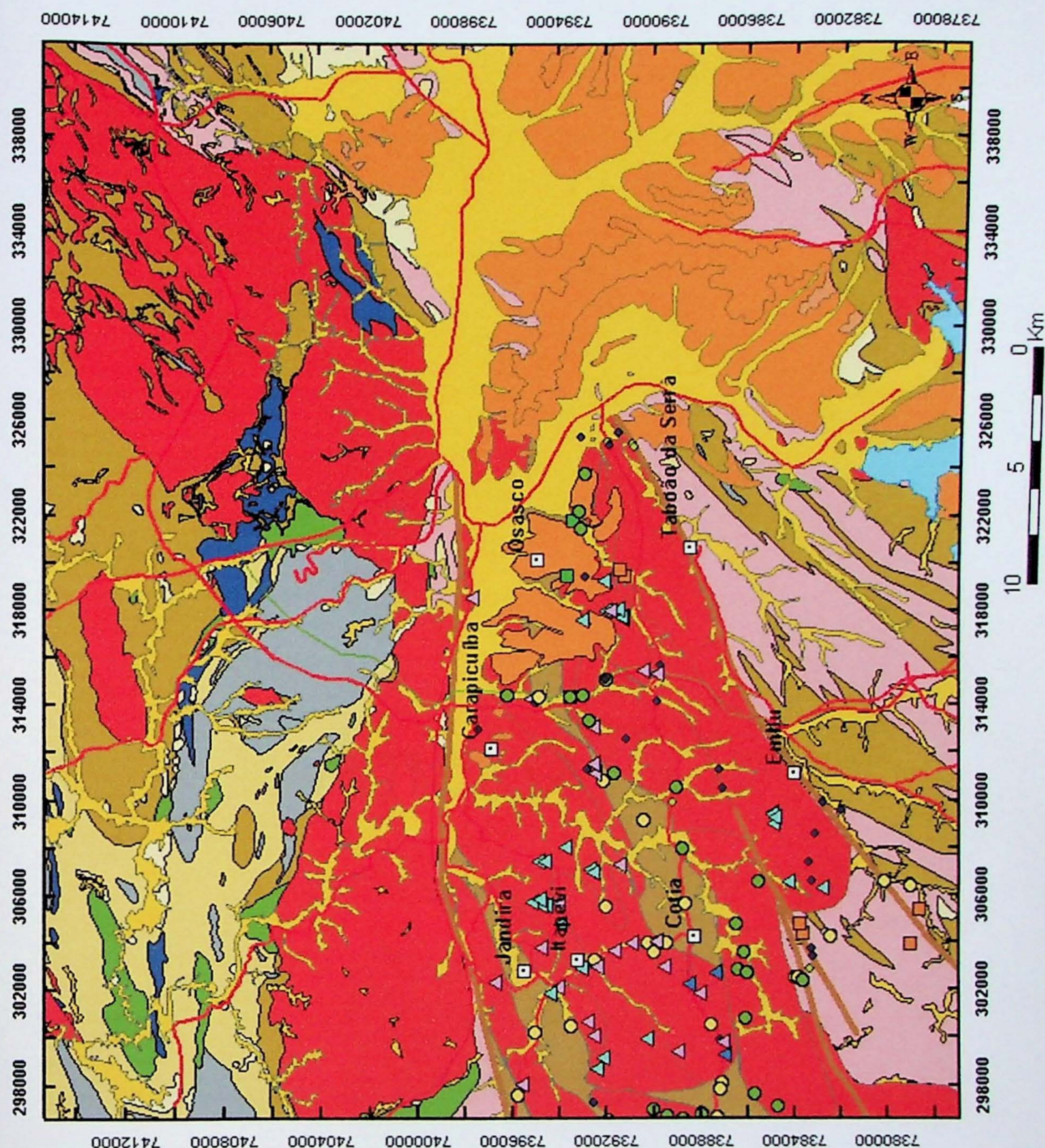


Autor: Renato Henrique Pinto

Anexo III

LEGENDA

- cidades
- rd 10/VA
- Falhas
- ♦ outros
- unidade**
- ◆ milonito
- ▲ bt granito inequigranular (Caucaia)
- ▲ bt granito equigranular (Itapevi)
- ▲ bt granito porfítico (Cotia)
- hbl-bt granito megaporfítico (Ibiúna)
- ms-bt augen gnaiss
- hbl-bt gnaiss migmatítico
- Complexo Pilar do Sul
- rodoanel
- Quaternário - depósitos sedimentares
- Bacia de São Paulo - Fm S Paulo
- Bacia de São Paulo - Fm Resende
- Bacia de São Paulo - Fm Resende
- granitos neoproterozóicos
- metapsamitos e metaglomerados
- filitos rítmicos
- rochas metacarbonáticas
- anfibolitos
- ortognaisses
- Grupo S. Itaberaba
- rochas gnáissicas
- represas



Anexo IV

Anexo IV – Granitos do Tipo Ibiúna e Itapevi félsico



Foto 11 – Granito Tipo Ibiúna



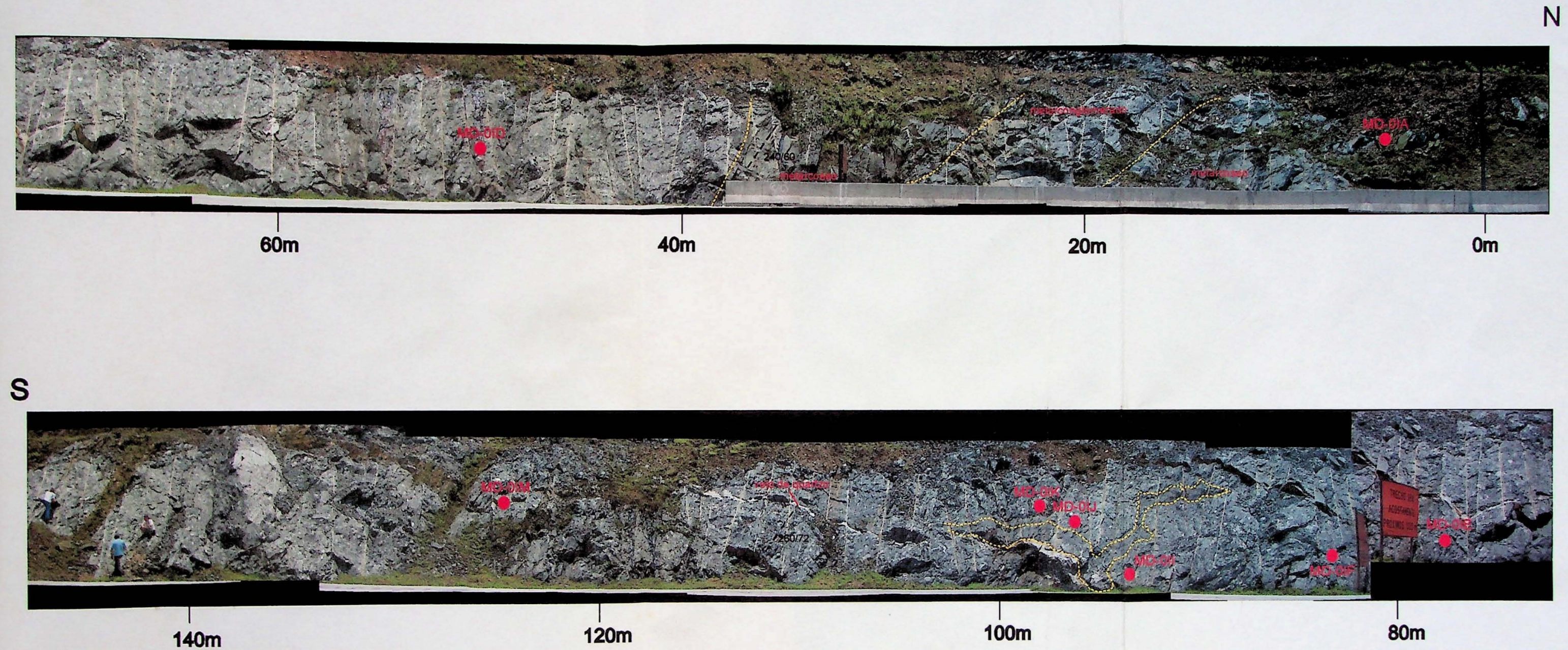
Foto 12 – Granito Tipo Itapevi félsico




Foto 13 – Granito Tipo Itapevi félsico

Anexo V

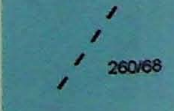
Anexo V - Perfil N-S - Rodoanel km 9,5



Legenda:



Contorno aproximado do nível de metarcóseo



Foliação

