

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE MICROESTRUTURAS
MAGMÁTICAS E IMPLICAÇÕES PARA A EVOLUÇÃO DO
PLÚTON PIRACAIA (SP)**

Fernanda de Carvalho Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

Monografia de Trabalho de Formatura
(TF-09/12)

TF
O48
FC.p

SÃO PAULO
2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

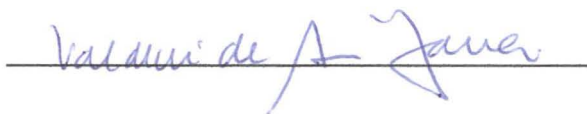


PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE MICROESTRUTURAS
MAGMÁTICAS E IMPLICAÇÕES PARA A EVOLUÇÃO DO
PLÚTON PIRACAIA (SP)

Monografia de Trabalho de Formatura
TF-09/12



Fernanda de Carvalho Oliveira



Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

DEDALUS - Acervo - IGC



30900026897

SÃO PAULO
2009

“Clavo mi remo en el agua
Llevo tu remo en el mío
Creo que he visto una luz al otro lado del río”
Jorge Drexler

à Ana Carolina Leonardo de Freitas (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido possível nem concluído sem a participação de três pessoas imprescindíveis: meus pais, Fernando e Isabel, e o meu orientador, Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi. Aos meus pais agradeço por terem sempre reforçado a importância de ingressar em uma universidade pública, por estarem sempre presentes ao longo destes anos de graduação, desde comprando livros, fornecendo simples caronas até a USP, como também reforçando a idéia de que este bacharelado contempla uma profissão cientificamente bem embasada. Ao Valdecir, agradeço pela sua bonomia, pela sua educação, pela sua gentileza com o outro, pela sua paciência em esclarecer as dúvidas mais triviais que tive, por me ajudar a resolver os entraves que foram aparecendo, pelas sucessivas correções desta monografia e pelas horas de muita discussão em sua sala sobre Piracaia.

Também agradeço imensamente ao Leonardo Pressi, que sempre mostrou-se muito solícito desde os primeiros contatos que tivemos e nos acompanhou nas visitas ao campo, contribuiu com várias sugestões para esta monografia, por ter sempre se mostrado presente nas discussões e observações sobre as vênulas.

Agradeço aos funcionários dos laboratórios do IGc que contribuíram com este projeto: Angélica, Paulinho, Zé Paulo e, especialmente, ao Samuel por ter cortado as minhas amostras quando a serra do LTA estava quebrada. Seria covardia se não me lembrasse de colocar nestas linhas as funcionárias da biblioteca: Brenda, Érica e Sandra, por sempre me deixarem dar uma olhada no Guia da Folha, o melhor guia da cidade.

Aos amáveis e queridíssimos AMIGOS de turma: Renata, Sara e Pesca. À Renata por ter “corações fora do peito” e pela companhia nos campos, à Sara por sempre me ajudar a estudar para as provas, pela sua honestidade e paciência e ao Pesca por ser uma das pessoas mais democráticas e mente aberta desta turma.

Passando agora aos agradecimentos afetivos: à Paula, que tanto tardou a chegar, devo-lhe a certeza de que farei uma segunda faculdade.

À Carol, que pintou no céu Beatles a granel, devo a minha paixão cada vez crescente pelo cinema e pela fotografia, devo o meu sentimento de torpor pelas terças-feiras, a minha alegria quando ando pela Rua Augusta, o requebrado do sujeito soteropolitano e a certeza de que realidade é aquilo que insiste.

À cidade de São Paulo agradeço por que quanto mais viajo, mais paulistana me sinto.

ÍNDICE

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	2
3.2. O PLÚTON MONZODIORÍTICO PIRACAIA.....	4
4. MATERIAIS E MÉTODOS	7
4.1. ATIVIDADES DE CAMPO.....	7
4.2. ANÁLISE POR MICROSCOPIA PETROGRÁFICA	7
4.3. ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	7
5. ESTRUTURAS DAS VENULAÇÕES SIENÍTICAS.....	8
5.1. ASPECTOS GERAIS DA ROCHA MONZODIORÍTICA	8
5.2. VENULAÇÕES SIENÍTICAS EM ESCALA DE AFLORAMENTO	10
5.3. HETEROGENEIDADES DAS VENULAÇÕES SIENÍTICAS EM ESCALA DE DETALHE.....	11
5.4. CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE HORNBLENDA	14
5.5. CONTATO DO MONZODIORITO COM AS VENULAÇÕES SIENÍTICAS	15
6. PETROGRAFIA MICROSCÓPICA	16
6.1. MONZODIORITO FINO	16
6.1.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS	17
6.2. MONZODIORITO MÉDIO.....	17
6.2.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS	18
6.3. VENULAÇÃO MONZONÍTICA	19
6.3.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MONZODIORITO FINO E MONZONITO.....	20
6.3.2. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS DO MONZONITO	20
6.4. VENULAÇÃO SIENÍTICA.....	21
6.4.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MONZODIORITO FINO E SIENITO.....	22
6.4.2. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS	22
6.4.2.1. BIOTITA.....	22
6.4.2.2. HORNBLENDA.....	23
6.4.2.3. MINERAIS FÉLSICOS	24
6.4.2.4. OUTROS MINERAIS MÁFICOS.....	24
6.5. CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE HORNBLENDA	25
6.5.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS	25
6.5.1.1. BIOTITA.....	25
6.5.1.2. HORNBLENDA.....	26
6.5.1.3. MINERAIS FÉLSICOS	26
6.5.1.4. OUTROS MINERAIS MÁFICOS.....	27
7. GEOQUÍMICA DE ROCHAS.....	34
7.1. CONSIDERAÇÕES DOS DADOS DE QUÍMICA DE ROCHAS.....	35
7.1.1. TENDÊNCIAS GERAIS DO PLÚTON PIRACAIA.....	35
7.1.2. VARIAÇÃO GEOQUÍMICA NA PEDREIRA DE PIRACAIA	35
7.1.2.1. ELEMENTOS MAIORES E MENORES.....	35
7.1.2.2. ELEMENTOS TRAÇOS.....	36
8. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS	39
8.1. ATIVIDADES DE CAMPO	39
8.2. PETROGRAFIA MICROSCÓPICA E GEOQUÍMICA	40
9. CONCLUSÃO	42
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXO (TABELA DE DADOS DE QUÍMICA DE ROCHA)	

RESUMO

O Plúton Piracaia (577 Ma) é uma intrusão pós-orogênica subalcalina do tipo A inserida na Província Granítica Itu, dominada por rochas máficas e intermediárias (monzodioritos a monzonitos). Rochas félsicas (sienitos, quartzo sienitos e quartzo monzonitos) apresentam-se como pequenos corpos mapeáveis que ocorrem na borda plúton e como venulações nas rochas monzodioríticas. O presente estudo investigou a origem das venulações félsicas associadas a “pillows” monzodioríticas na Pedreira de Piracaia.

O estudo de detalhe das estruturas e texturas no campo mostrou que elas são similares às encontradas em situações de coexistência de magmas. Elas mostram normalmente zonalidade, com rocha sienítica mais félsica e grossa de composição sienítica no topo, e bases monzoníticas nas quais podem ocorrer fragmentos desagregados das “pillows”. Concentrações muito ricas em hornblenda ocorrem associadas às bordas das venulações, em especial à interface entre as porções sieníticas e o monzodiorito. A micropetrografia permitiu caracterizar as feições de incorporação de monzodiorito finos à vênulas, bem como a presença de expressivos volumes de minerais acessórios como titanita e apatita associados às concentrações de hornblenda e às porções monzoníticas das vênulas.

A química de rochas demonstra que as vênulas estudadas são composicionalmente diferentes das rochas de composição equivalente no plúton, com destaque para os altos teores de Ba, Sr e K_2O exibidos pelas porções sieníticas e para os altos teores de CaO , P_2O_5 , Ce, Nb, Y e Zr das porções monzoníticas. As concentrações de hornblenda apresentam composições equivalentes às de cumulos deste mineral, acompanhadas de enriquecimentos em elementos maiores e traço presentes na apatita (P), titanita (Ti, Nb), zircão (Zr) e allanita (Ce), consistente com a petrografia.

Os dados obtidos neste trabalho indicam que este processo de coexistência e mistura de magmas, e não de segregação de líquidos residuais, explicam a origem e diversidade das venulações félsicas encontradas na Pedreira de Piracaia.

ABSTRACT

The Piracaia Pluton is a post-orogenic occurrence related to the Itu Granitic Province, SE Brazil (~590-580 Ma). It is dominated by mafic to intermediate rocks (monzodiorite to monzonite) that occur in its central portion; felsic rocks (syenite, quartz syenite and quartz monzonite) appear as small bodies at the borders of the pluton and also as veins, which are present in most outcrops of monzodiorite.

The origin of felsic veins which are often interspersed between monzodiorite pillows was investigated in the Piracaia Quarry, with the aim of testing the hypothesis that they were formed through segregation of interstitial liquid from a parent monzodiorite melt. A detailed study of outcrop-scale structures was followed by laboratory studies of microscope petrography and whole-rock geochemistry (major and trace elements).

The field structures and textures do not appear to be consistent with the segregation hypothesis, and many of them can be compared to those found in situations of magma mingling. The veins show a zoning normally expressed as more felsic and coarser-grained syenitic upper portions and monzonitic lower portions which may have disrupted fragments derived from the pillows. Hornblende-rich concentrations may be associated with the interfaces of the veins, especially at the syenite-monzodiorite contact. Microscopic petrography helped characterize the features associated with the incorporation of fine-grained monzodiorite to the veins, and also showed that some accessory minerals as titanite and apatite are abundant in both the hornblende concentrations and in the monzonitic portions of the veins.

Whole-rock chemistry showed that the veins are different from modally equivalent rocks from the pluton, especially due to the high Ba, Sr and K₂O contents of the syenitic portions and the high CaO, P₂O₅, Ce, Nb, Y and Zr contents shown by the monzonitic portions. The hornblende concentrations show compositions equivalent to cumulates of this mineral, accompanied by enrichment of major and trace elements present in accessories such as apatite (P), titanite (Ti, Nb), zircon (Zr) and allanite (Ce), in agreement with the petrographic evidence.

The results obtained in this work indicate that magma mingling and mixing, and not segregation of residual liquids, is the best explanation for the origin and diversity of the felsic veins found in the Piracaia Quarry.

1. INTRODUÇÃO

O Plúton Monzodiorítico Piracaia (Janasi, 1986; Janasi & Ulbrich, 1987) é uma ocorrência importante no magmatismo granítico neoproterozóico do sudeste brasileiro devido ao fato de apresentar significativa variação composicional – compreende desde gabro até quartzo sienito ($\text{SiO}_2 = 45\%$ a 70% ; Salmoni & Janasi, 2008) –, assinatura enriquecida em elementos incompatíveis, além da presença de estruturas e texturas complexas, por vezes contrastantes, que permitem identificar processos de separação cristal-líquido e de interação de magmas em câmaras magmáticas.

Trabalhos anteriores do orientador deste trabalho e equipe (Janasi, 1986; Janasi & Ulbrich, 1987; Salmoni & Janasi, 2008) sugeriram que a extração da fração líquida residual durante a evolução magmática deve ter sido um fator importante na evolução do plúton. O estudo de estruturas relacionadas a este processo é de interesse para a compreensão de processos de evolução magmática em geral, uma vez que existem importantes limitações para o assentamento de cristais por gravidade, especialmente em magmas intermediários a ácidos (ex., (Eichelberger et al., 2006)).

Contrariamente às interpretações inicialmente propostas para a evolução do plúton (Janasi & Ulbrich, 1987), que admitiam que a evolução a partir de um magma parental monzodiorítico poderia explicar toda a variação observada, Janasi et al. (2007) e Salmoni & Janasi (2008) concluíram, com base em evidências geoquímicas, que as rochas félsicas do plúton não devem estar relacionadas à diferenciação magmática a partir de magmas equivalentes aos monzodioritos predominantes.

Nesse contexto, propõe-se o estudo de detalhe das venulações sieníticas associadas a concentrações máficas em meio aos monzodioritos na Pedreira de Piracaia. Destaca-se a importância de averiguar se o mecanismo físico responsável por estas estruturas seria a diferenciação magmática, por extração de líquidos residuais a partir de *mushes* cristalinos (cf. (Bowen, 1919), (Philpotts et al., 1996) e (Bachmann & Bergantz, 2004)) ou a coexistência e mistura de magmas de origem distintas.

2. OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi estudar as porções monzoníticas e sieníticas das venulações situadas na Pedreira de Piracaia, no tocante à sua distribuição e estruturação em escala de afloramento, bem como a identificação de microestruturas e texturas em petrografia microscópica.

O principal propósito foi averiguar se estas estruturas venuladas estão vinculadas a processos de diferenciação magmática ou de coexistência e mistura de magmas. Para

amostras inéditas coletadas para este projeto, que foram comparadas com os dados geoquímicos do acervo do orientador, anteriormente complementados com o Trabalho de Formatura de Bruno Salmoni que objetivou estudar as rochas félsicas do plúton.

A geoquímica abordou as duas variações venulares (classificadas composicionalmente como monzonito e sienito), os litotipos predominantes (monzodiorito fino e monzodiorito médio) e concentrações distintas de cristais de hornblenda, dando ênfase às amostras de sienito.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Sistema Orogênico Tocantins, situado na borda sul do Cráton do São Francisco e caracterizado por uma pilha de *nappes*, desenvolveu-se a partir da colisão neoproterozóica entre as Placas Sanfranciscana (margem passiva) e Panamericana (margem ativa), a qual acarretou na formação do domínio tectônico da *Nappe* Socorro-Guaxupé (NSG), representada por crosta continental profunda oriunda da raiz de arco magmático, segundo Campos Neto et al. (2007).

A NSG é uma espessa lasca (ca. 15 km) neoproterozóica, organizada em uma pilha alóctone de três distintas unidades: a Unidade Granulítica Basal, a Unidade Diatexitica Intermediária e a Unidade Migmatítica Superior (Campos Neto & Caby, 2000; Campos Neto et al., 2004). A NSG divide-se em dois domínios: Domínio Guaxupé (porção setentrional) e Domínio Socorro (porção meridional), conforme mencionado por Janasi (1999).

A unidade basal consiste de Grt-Bt-Opx granulito-gnaisses bandados, enderbíticos a charnoenderbíticos, com intercalações de gnaisses gabronoríticos considerados como intrusões sin-metamórficas (Campos Neto & Caby, 2000; Campos Neto et al., 2004). Ortognaisses migmatíticos ocorrem no topo da unidade granulítica.

A unidade intermediária é formada por gnaisses graníticos anatéticos (Campos Neto & Caby, 2000) e migmatitos estromáticos concentrados próximo da Unidade Superior (Campos Neto et al., 2004). A unidade superior é composta predominantemente por seqüências metassedimentares migmatizadas nas quais o grau de anatexia decresce em direção ao sudeste (Campos Neto & Caby, 2000).

Rochas intrusivas plutônicas (Campos Neto & Caby, 2000; Campos Neto et al., 2004) ocorrem em toda a NSG. Corpos de charnockito ocorrem em níveis mais profundos e são oriundos da fusão de granulitos. Rochas graníticas da série cálcio-alcálica datadas em 630-620 Ma formam batólitos localizados em níveis superiores da NSG e são dominados por monzogranitos e quartzo monzonitos porfíricos; subordinadamente, ocorrem sienogranitos monzodioritos, tonalitos e granodioritos.

monzogranitos e quartzo monzonitos porfiríticos; subordinadamente, ocorrem sienogranitos monzodioritos, tonalitos e granodioritos.

No extremo meridional do Domínio Socorro, especificamente na região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista, as rochas metamórficas são inseridas no Complexo Metamórfico de Piracaia (CMP) e intrudidas por inúmeros corpos graníticos sin-orogênicos de afinidade cálcio-alcálica potássica (Janasi. 1999; Janasi et al., 2005; Figura 1).

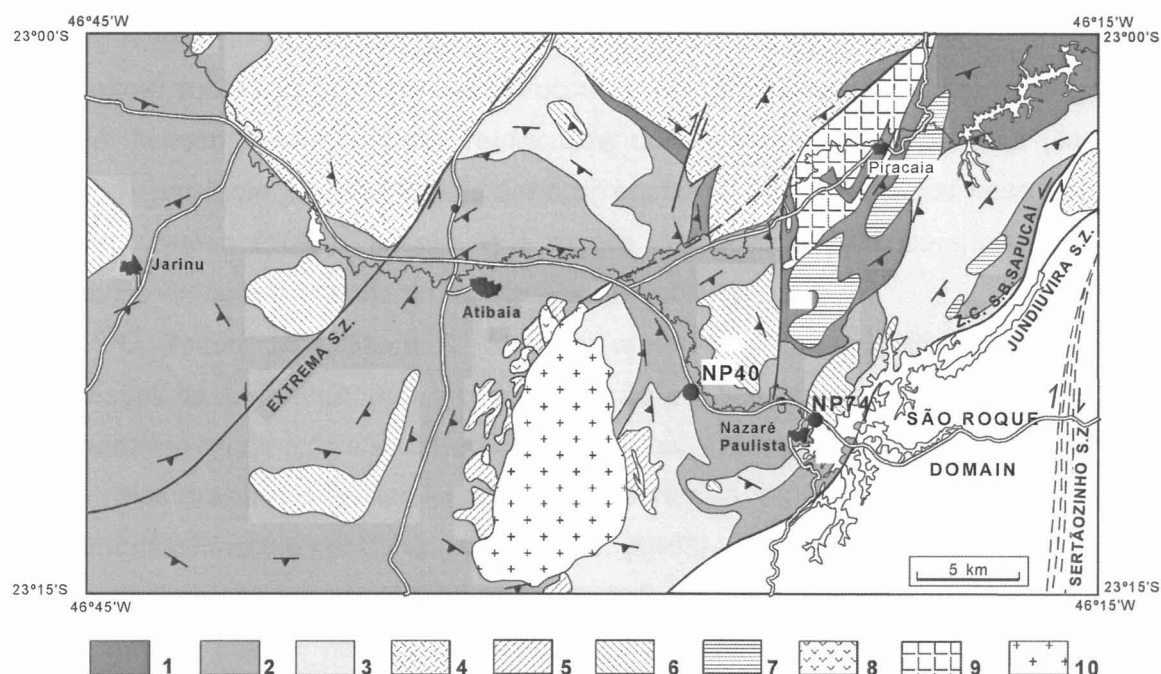


Figura 1: Mapa geológico esquemático da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista. Compilado por Janasi et al. (2005) a partir dos mapas de Campos Neto et al. (1983), Oliveira et al. (1985), Janasi (1986) e Melhem (1995). 1, 2, 3 = Complexo Metamórfico Piracaia (1 = Bt gnaiss; 2 = Grt-Bt gnaiss; 3 = (Sil)-Grt-Bt-xisto); 4 = granito cálcio-alcálico potássico; 5 = Ms-Bt leucogranito; 6 = Grt-Bt granito Nazaré Paulista; 7 = Bt granito Quatro Cantos; 8 = Tonalito-granodiorito porfirítico; 9 = Monzodiorito Piracaia; 10 = Granito Atibaia.

O empilhamento litoestratigráfico do CMP define-se por: (a) unidade basal de biotita gnaiss migmatizado de composição tonalítica a granítica; (b) unidade intermediária de granada-biotita gnaiss fortemente migmatizado; (c) sillimanita-granada-biotita xisto, tendo como rochas subordinadas quartzo xisto e quartzito (Campos Neto et al., 1983; Janasi et al., 2005; Martins et al., 2008).

Relacionados à migmatização que afeta o CMP ocorrem granitos anatéticos distribuídos em uma profusão de corpos de dimensões variáveis que são mapeáveis em escala de detalhe, entre os quais os mais importantes são os granada-biotita granitos tipo Nazaré Paulista, os muscovita-biotita leucogranitos brancos e os biotita granitos tipo Quatro Cantos (Oliveira et al., 1985; Janasi, 1999).

As intrusões graníticas tardi orogênicas nesta região estão relacionadas à Província Granítica Itu (Wernick et al., 1997; Janasi et al., 2009); na região estudada, correspondem

ao Sienogranito Atibaia e ao Plúton Monzodiorítico Piracaia (Janasi, 1999). O primeiro apresenta como litotipo predominante biotita sienogranitos de afinidade geoquímica com granitos do tipo A, enquanto o Plúton Piracaia (datado em ~577 Ma; Janasi, 1999) apresenta ampla variação composicional, conforme será descrito a seguir.

3.2. O PLÚTON MONZODIORÍTICO PIRACAIA

O Plúton Piracaia insere-se na Província Granítica Itu, dominada por granitos pós-orogênicos subalcalinos do tipo A que ocorrem em uma faixa de 350 km ao longo da borda sul do Terreno Apiaí-Guaxupé, relacionada com a Placa Paranapanema (Janasi et al., 2009). A província apresenta também ocorrências de rochas básicas ricas em elementos litófilos, como o Plúton Piracaia, que sugere derivação a partir de magmas gerados no manto litosférico enriquecido em processos de subducção prévia.

O Plúton Monzodiorítico Piracaia apresenta forma ligeiramente elipsoidal, de dimensões da ordem de 14,5 km de extensão e 3,5 km de largura máxima e com maior alongamento na direção aproximada N30E (Janasi, 1986; Janasi & Ulbrich, 1987).

Nos trabalhos iniciais onde foi descrito, o plúton foi inserido no Complexo Metamórfico Piracaia por Campos Neto et al. (1983), que o consideraram como formado por rochas intermediárias até ácidas com a presença de corpos migmatizados e foliados associados a corpos não migmatizados. Campos Neto & Artur (1983) apresentaram os resultados de mapeamento de maior detalhe do plúton, discriminando sete associações, as quais sofreram deformações dúcteis acompanhadas de dois eventos geradores de migmatitos: uma fase pré-Brasiliana – cuja foliação de transposição é definida pela orientação planar dos máficos e estiramento paralelo de feldspatos – e outra fase Brasiliana, representada por pequenas falhas direcionais oblíquas.

Janasi & Ulbrich (1987) reconheceram a presença de 30 fácies petrográficas, as quais foram posteriormente agrupadas em seis associações de fácies mapeáveis na escala 1:25.000, possibilitando a confecção do mapa geológico do Plúton Piracaia.

A Figura 2 é o mapa geológico simplificado do plúton compilado por Salmoni (2007) em sua Monografia de Trabalho de Formatura. Existe uma grande variedade litológica, incluindo desde rochas máficas e intermediárias predominantes (dioritos, quartzo dioritos, monzodioritos, quartzo monzodioritos, monzonitos) até rochas félsicas como quartzo monzonitos, álcali-sienitos, quartzo álcali-feldspato sienitos e álcali-feldspato granitos (Janasi & Ulbrich, 1987). De um modo geral, as rochas básicas a intermediárias (monzodioríticas e monzoníticas) encontram-se na porção central do plúton e os termos mais félsicos localizam-se em porções periféricas. Segundo Janasi & Ulbrich (1987) a colocação das principais fácies indica uma seqüência temporal geral de rochas mais básicas

para rochas mais ácidas, sequência esta acompanhada por decrescentes razões $Mg/(Mg+Fe)$ nos cristais de biotita e de piroxênio.

Os contatos com as rochas encaixantes migmatíticas são geralmente intrusivos, mas localmente são controlados por falhas transcorrentes.

O modelo apresentado por Janasi (1986) e Janasi & Ulbrich (1987) para a evolução do plúton entre composições monzodioríticas a sieníticas propõe a cristalização fracionada a partir de um magma parental monzodiorítico, envolvendo a extração de minerais precoces, como augita, biotita e plagioclásio. As estruturas de venulação de monzodioritos por rochas félsicas sieníticas foram interpretadas como segregação, associadas a processos de extração de líquidos residuais a partir dos monzodioritos.

Artur et al. (1994) classificaram o plúton como alcalino potássico (shoshonítico), segundo dados químicos; ou como de alto potássio/subalcalino potássico, conforme demonstra a tipologia de zircão.

Wernick & Menezes (2001) complementaram o estudo da evolução magmática do plúton com o auxílio de expressiva quantidade de dados geoquímicos, os quais apontaram que o Plúton Monzodiorítico Piracaia contém os produtos de magmas progressivamente fracionados com cumulos enriquecidos em plagioclásio e mistura de ambos. Os autores também ressaltam que o Plúton Pedra Branca também é derivado de manto enriquecido em potássio, o que indica a presença de manto litosférico subcontinental enriquecido no final do Ciclo Brasileiro (peridotito ou mica piroxenito).

Uma reavaliação da evolução do Plúton Piracaia foi apresentada por Janasi et al. (2007) e Salmoni & Janasi (2008), que admitem que a origem das principais ocorrências de rochas félsicas do plúton não está relacionada aos processos de *filter-pressing*. Assim, parte dos corpos de sienitos e quartzo sienitos, com forte afinidade com granitos do tipo A, deveriam ter origem atribuída a fontes distintas das que formaram os monzodioritos; além disto, foram identificados processos importantes de hibridismo que parecem responder pela geração de rochas de composição intermediária como monzonitos e quartzo monzonitos.

Por outro lado, esses autores admitiram que a segregação cristal-líquido por *filter-pressing* seria a responsável pela formação das vênulas sieníticas a quartzo sieníticas, pois este modelo era consistente com o fato das venulações apresentarem-se descontínuas, volumetricamente pequenas e circundarem a rocha monzodiorítica, deixando-a com a estrutura de "pillows". Além do mais, o contexto tectônico dá suporte a esta hipótese, pois a atuação de zonas de cisalhamento sin-magmáticas facilitaria a extração de líquidos a partir de *mushes* em cristalização.

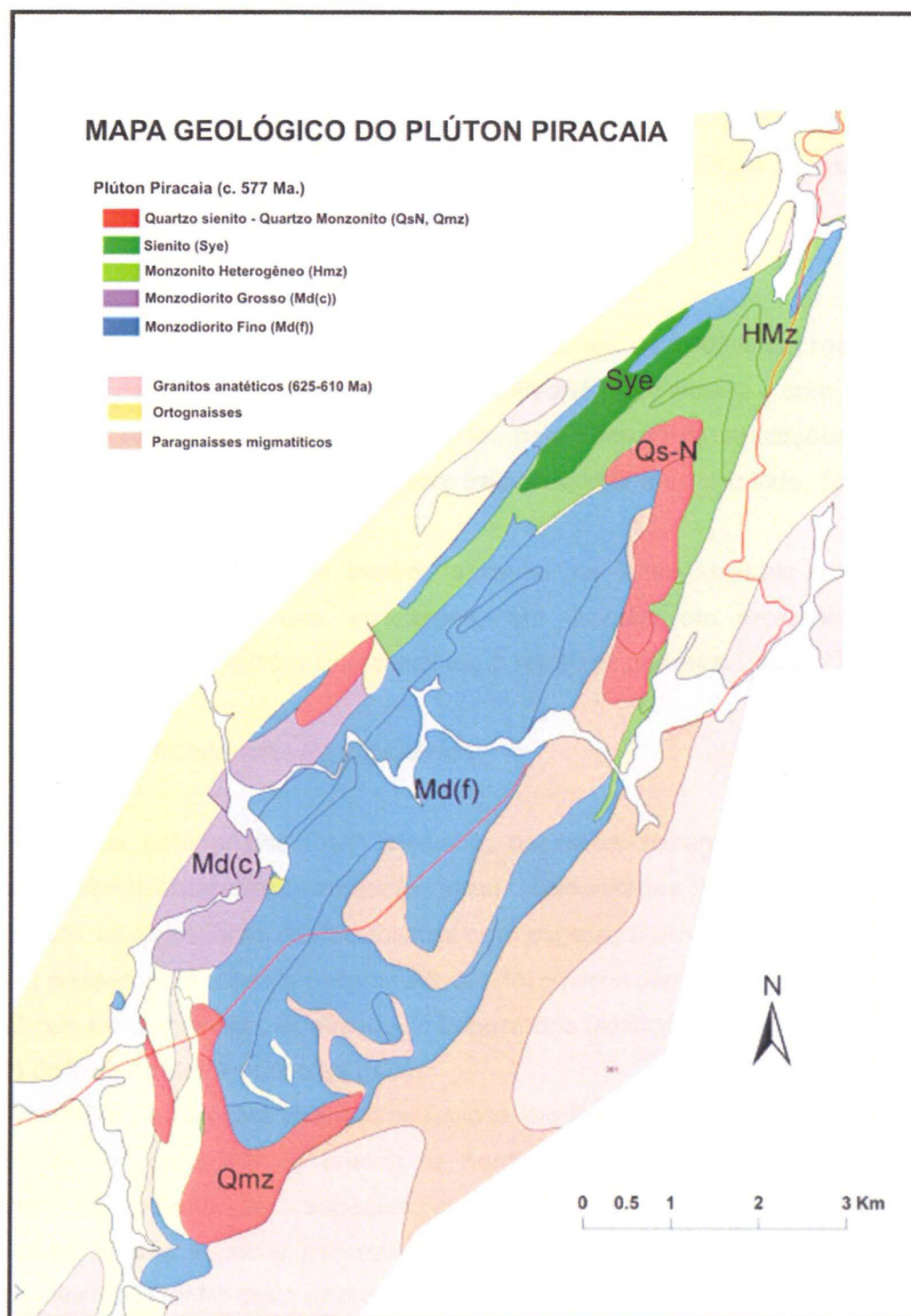


Figura 2: Mapa geológico simplificado do Plúton Piracaia, compilado por Salmoni (2007), a partir do mapa de detalhe de Janasi (1986).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto contou com três metodologias para a sua realização: atividades de campo, análise por microscopia petrográfica e análise por fluorescência de raios-X.

4.1. ATIVIDADES DE CAMPO

Nos dias 02 de maio de 2009 e 09 de junho do ano de 2009 foram realizadas visitas para a área de estudo – a qual concentra-se na Pedreira de Piracaia – com o propósito de efetuar a coleta e a documentação de amostras, pois o acervo de venulações sieníticas era insuficiente para os objetivos ao quais este trabalho destina-se. Ao todo, foram coletadas quinze amostras.

A visita para a localidade também permitiu que fosse ampliada a documentação fotográfica dos litotipos e das venulações, em especial em excelentes exposições encontradas em blocos métricos que compõem o rejeito da pedreira.

4.2. ANÁLISE POR MICROSCOPIA PETROGRÁFICA

Para que esta análise fosse efetuada, necessitou-se enviar as amostras para a laminação, sendo que treze amostras foram selecionadas totalizando vinte lâminas petrográficas, as quais foram confeccionadas com espessura de 40 μm e sem a lamínula.

O equipamento utilizado para os estudos foi o microscópio da marca Olympus do tipo BXP-50 com luz transmitida, localizado no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (LDMP) do Instituto de Geociências (IGc).

A análise petrográfica abordou os litotipos monzodioríticos existentes na Pedreira de Piracaia, as concentrações de cristais de hornblenda e as venulações monzoníticas e sieníticas, no tocante aos aspectos microestruturais e texturais encontrados, ao reconhecimento das espécies minerais existentes e às relações de cristalização relativa entre os minerais. Dentro desta abordagem enfatizou-se principalmente as venulações e sua relação de contato com o monzodiorito fino.

As fotomicrografias foram obtidas no Laboratório de Óptica no mesmo microscópio Olympus BXP-50 e no microscópio Zeiss Axioplan, ambos acoplados com a mesma câmera digital Olympus C5050.

4.3. ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

Para análise de elementos maiores e menores, foram selecionadas sete das amostras coletadas para este projeto, sendo que a quantidade de análises aumentou para

dez, em virtude de haver variação composicional em algumas amostras de monzodiorito fino para sienito, passando por monzonito.

As amostras foram tratadas em dois laboratórios diferentes: Laboratório de Tratamento de Amostras e Laboratório de Química.

No Laboratório de Tratamento de Amostras as mesmas foram inicialmente prensadas em prensa hidráulica de aço para obter fragmentos, que foram depois quarteados, e uma fração de cerca de 50 g a 100 g foi então moída em moinho de anéis de ágata do tipo planetário.

Dando continuidade a metodologia laboratorial, passou-se para a obtenção de pastilhas prensadas, utilizadas na análise de elementos traço por Fluorescência de Raios-X, a qual necessita que haja a diminuição ainda maior da granulação do pó, através do processo de micronização. Neste, houve a seleção de 7 g a 7,5 g de pó, o qual foi solubilizado em álcool e levado para o micronizador. Em seguida, a solução foi colocada na estufa por dois dias.

No Laboratório de Química objetivou-se a obtenção de pastilhas fundidas, utilizadas na análise de óxidos de elementos maiores e menores por Fluorescência de Raios-X. Selecionou-se exatamente 1,000 g de amostra e 9,000 g de tetraborato de lítio – correspondente ao fundente –, os quais foram misturados em estado sólido conjuntamente com cristais milimétricos de nitrato de amônia. Logo depois, houve o aquecimento da mistura à 1000 °C, seguida por sua solidificação.

O equipamento utilizado para a análise dos óxidos de elementos maiores, menores e traços foi o Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X da marca Philips, modelo PW-2400 com tubo de rotio.

5. ESTRUTURAS DAS VENULAÇÕES SIENÍTICAS

5.1. ASPECTOS GERAIS DA ROCHA MONZODIORÍTICA

Na pedreira de Piracaia é explorada uma rocha com índice de cor equivalente a 30 (mesocrática), de estrutura maciça, equigranular fina, composta por anfibólio (hornblenda) (15%), biotita (15%), feldspato alcalino (5%), plagioclásio (60%), quartzo (1 a 3%) e, subordinadamente, epidoto e titanita. A classificação da rocha é monzodiorito (Figura 3a e Figura 3b).

O litotipo predominante corresponde ao monzodiorito fino (sigla Md(f) no mapa geológico compilado por Salmoni (2007)), o qual apresenta-se constantemente venulado por uma rocha mais clara de composição sienítica a quartzo sienítica. Localmente, ocorre um segundo tipo de monzodiorito de estrutura maciça, textura bastante heterogênea,

equigranular médio, com pequenos bolsões ricos em sienitos e ocasionais cristais maiores de anfibólio (hornblenda) (Figura 3d).

No monzodiorito fino observam-se algumas estruturas, tais como: leve bandamento marcado por diferença de granulação (Figura 3a) e a presença de duas ou mais porções monzodioríticas, cujo contato é evidenciado por faixa centimétrica de granulação fina e coloração cinza escura, o que sugere pulsos magmáticos distintos (Figura 3b). Localmente, ocorrem “pillows” de monzodiorito dispersos em meio a monzonito, dos quais separam-se por uma faixa centimétrica de sienito (Figura 3c).

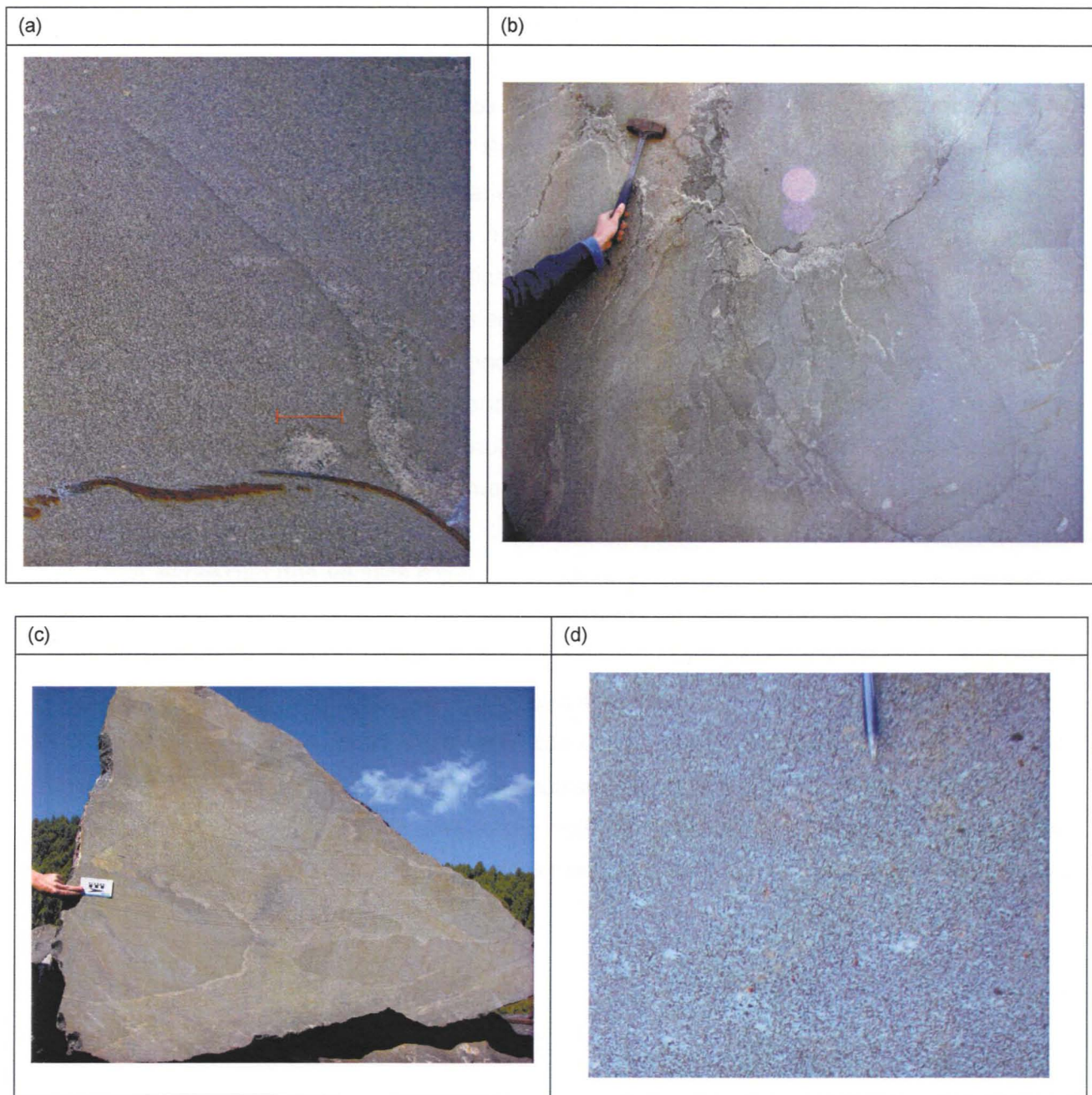


Figura 3: (a) monzodiorito fino bandado ressaltando contato subarredondado entre duas porções distintas do mesmo, evidenciado pela borda centimétrica cinza escura e de granulação mais fina. Verifica-se também a presença de venulação sienítica, cuja borda é compartilhada com o contato, além de ocorrer uma segunda

vênula no interior de uma dessas porções monzodioríticas. Escala: comprimento do traço é 6 cm; (b) porções distintas de monzodiorito fino conjuntamente com vênulas de sienito em baixa proporção, sendo que algumas das quais circundam parcialmente as mesmas; (c) "pillows" elipsoidais de monzodiorito fino, dispersos em monzonito, o qual apresenta proporção relativa maior do que as "pillows". As "pillows" são circundadas por faixa centimétrica de sienito; (d) monzodiorito médio no qual destacam-se bolsões de sienito, assim como fenocristais de anfibólio centimétricos.

5.2. VENULAÇÕES SIENÍTICAS EM ESCALA DE AFLORAMENTO

As vênulas sieníticas caracterizam-se em termos de proporção volumétrica em relação à rocha encaixante, geometria e espessura.

A proporção volumétrica relativa das venulações em comparação com a rocha monzodiorítica é normalmente baixa nos afloramentos analisados e descritos, concentrando-se ao redor de 3% (Figuras 4a e 4b). Subordinadamente, em alguns locais, as venulações apresentam-se em porcentagens relativas mais altas e mais variáveis (10% a 30%) e, nesses casos, tendem a ser mais máficas e exibir composição modal monzonítica preponderando sobre a variação sienítica (Figura 4c).

A geometria das venulações sieníticas corresponde a feições de formato irregular, sinuoso – embora freqüentemente tendem a distribuir-se na direção subhorizontal – que circundam o monzodiorito fino, fornecendo a este a estrutura de "pillow" com formato elíptico (Figuras 4a e 4b). Por vezes, as vênulas exibem reentrâncias invadindo o monzodiorito, resultando em geometrias como o formato de taça com a presença de projeções no término desta estrutura (Figura 4a).

A espessura das vênulas é geralmente centimétrica, entretanto, nos casos em que a variação monzonítica ocorre conjuntamente com as concentrações sieníticas, estas apresentam-se mais espessas do que o habitual. Nesses casos, a espessura de vênulas compostas por monzonito é decimétrica (Figura 4c).

Freqüentemente ocorre a concentração de cristais de anfibólio próximos ao contato inferior e, mais comumente, superior da venulação com a rocha encaixante, local onde a borda da vênula aproxima-se de uma feição retilínea. Tal concentração evidencia-se por ser uma faixa centimétrica (Figura 4a) ou por ser simplesmente agrupamento difuso de cristais (Figura 3b).

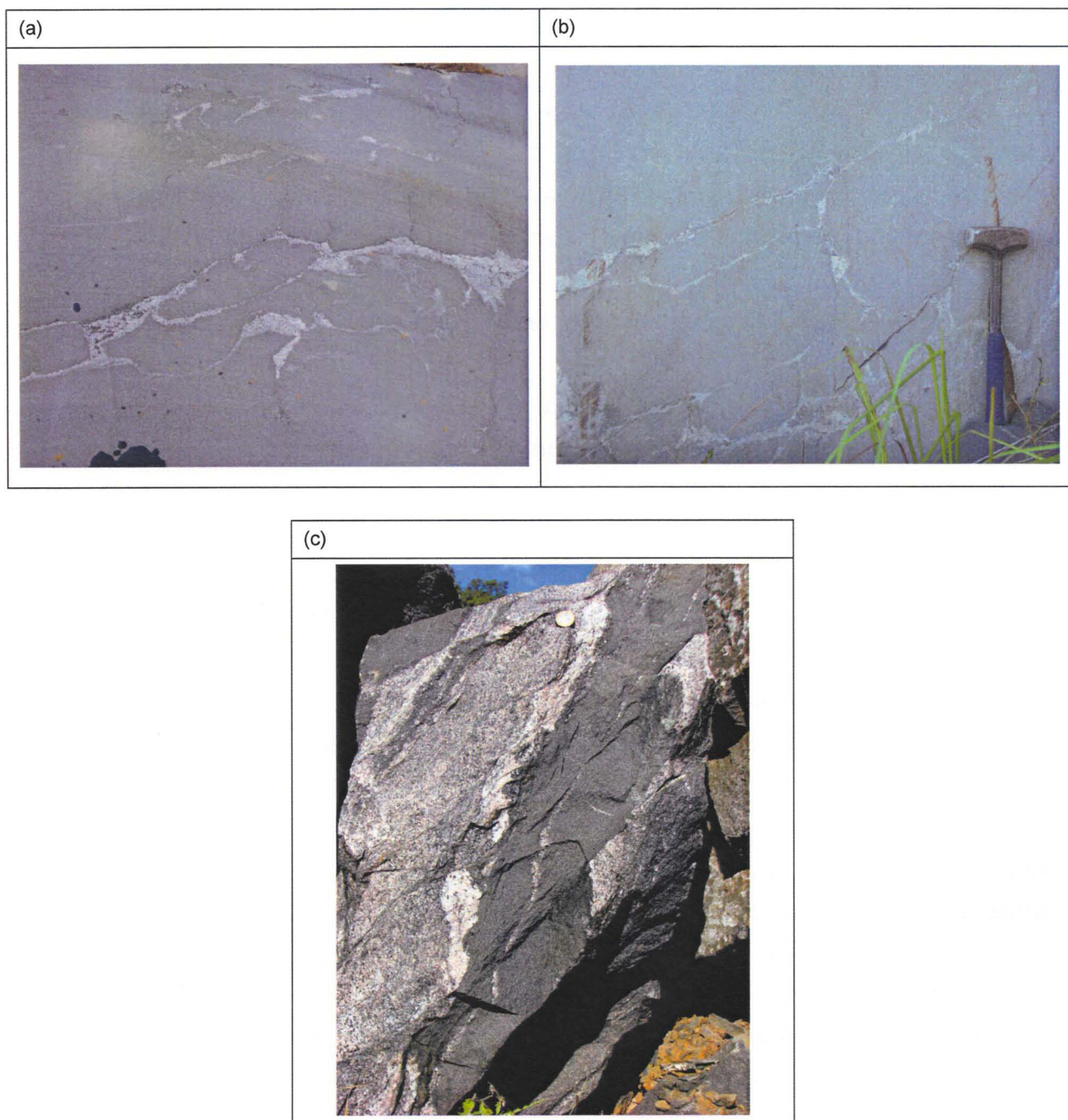


Figura 4: (a) “pillows” de monzodiorito circundadas por sienito e interligadas entre si. Nota-se a presença de concentrações de sienito na extrema esquerda com faixa centimétrica de cristais de hornblenda (formato retilíneo) e na extrema direita (formato de taça), além de projeções sieníticas para o interior da “pillow”; (b) “pillows” de monzodiorito sobrepostas circundadas por sienito, com contato aproximadamente horizontalizado. Nota-se a presença de faixa milimétrica de cristais de anfibólio no contato superior da vênula; (c) “pillow” monzonítica de com espessura decimétrica.

5.3. HETEROGENEIDADES DAS VENULAÇÕES SIENÍTICAS EM ESCALA DE DETALHE

As vênulas freqüentemente exibem variação composicional importante, em especial na proporção relativa dos cristais de feldspato – resultando em composições no campo dos sienitos e monzonitos – e no índice de cor, variando entre 4 a 20.

Porções mais félsicas das vênulas correspondem a um sienito inequigranular médio a grosso de coloração rosada, com índice de cor em torno de 4, estrutura maciça, no qual os cristais de minerais máficos distribuem-se de modo homogêneo.

A outra variação composicional será designada simplificada por monzonito equigranular médio, o qual possui coloração variando do cinza claro para o escuro, índice de cor na faixa de 10 a 20 e estrutura heterogênea. O sienito e o monzonito são apresentados na Figura 5a.

A passagem entre as duas variedades ocorre de modo abrupto (Figura 5a) ou gradativo (Figura 5b).

Em casos nos quais determinou-se o topo e a base do afloramento e as duas variações estavam presentes na vênula, o monzonito médio encontra-se abaixo do sienito rosado médio a grosso (Figura 5a).

Dentro da mesma vênula verifica-se constantemente a passagem do monzonito médio para o sienito rosado, sendo que para este conjunto de variação distinguem-se três tipos de contato em relação ao monzodiorito fino:

- a) basal transicional, no qual o monzonito exibe aumento da granulação em direção ao topo na passagem do monzodiorito para o sienito (Figura 7c). O sienito rosado exibe contato abrupto com o monzodiorito fino;
- b) basal difuso ou gradual, com evidência de desintegração de porções centimétricas monzodioríticas que parecem ser assimiladas pelo monzonito (Figura 7d), portanto indicativas da captação de fragmentos monzodioríticos da porção superior de uma “pillow” (Figura 7e). O sienito rosado apresenta contato bem definido com a rocha encaixante;
- c) os contatos do sienito e do monzonito apresentam-se abruptos com o monzodiorito, seja circundando as “pillows” desta composição (Figura 3c), seja estando apenas em contato retilíneo com esta rocha (Figuras 4c e 7f).

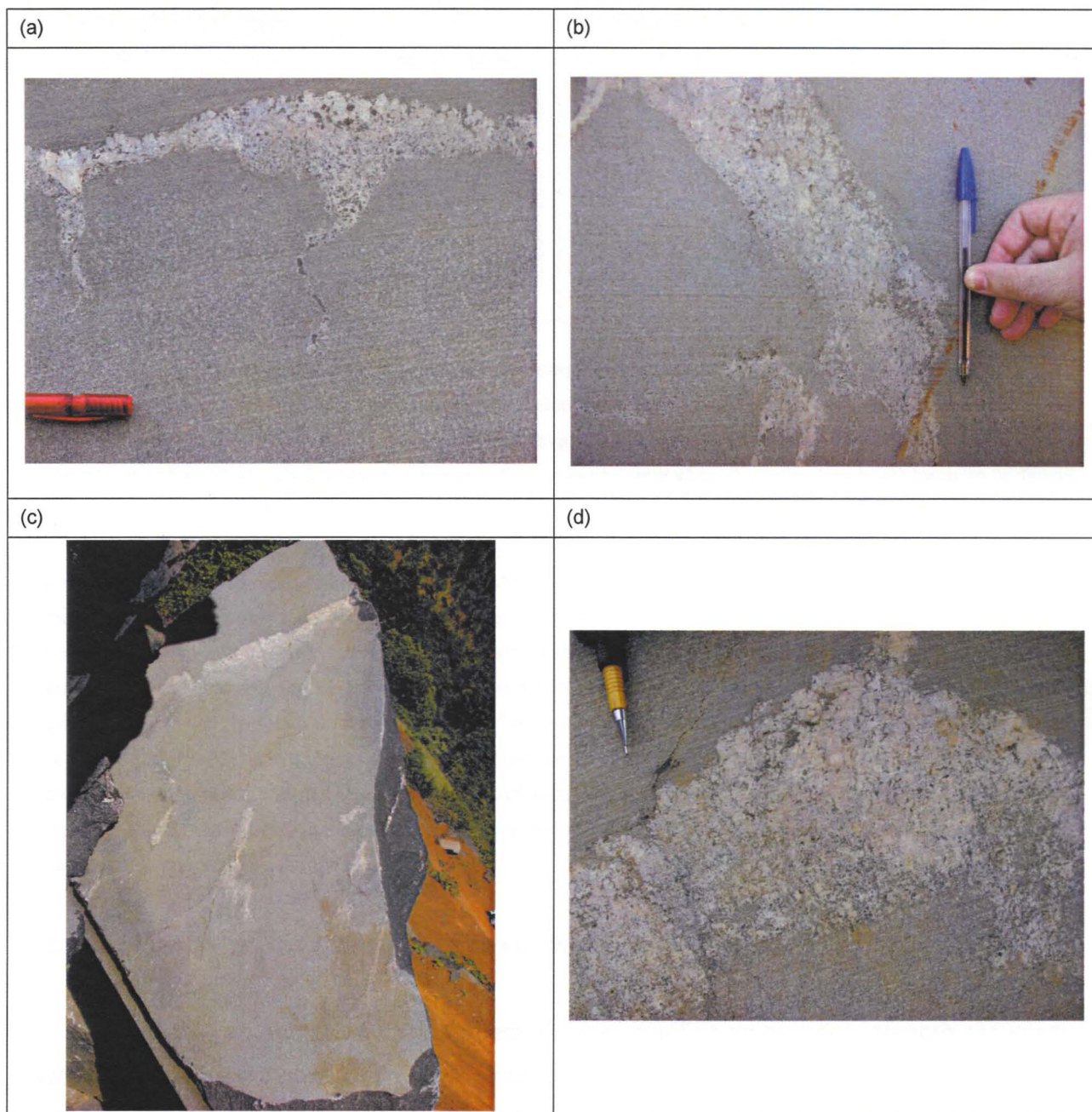
Salienta-se que a desagregação de porções do monzodiorito que são incorporadas pelo monzonito, em contato com o sienito, está diretamente vinculada à formação do mesmo e à heterogeneidade composicional das vênulas. A composição monzonítica é paulatinamente obtida através da passagem composicional entre o monzodiorito e o sienito.

Os tipos de contato supracitados podem estar espacialmente próximos uns dos outros (Figura 5b).

Já as estruturas que foram observadas nas venulações são principalmente projeções de sienito para o interior da “pillow” com presença constante de cristais de hornblenda agrupando-se próximo ao término da projeção (Figura 5a). Nota-se que algumas destas projeções interligam-se a outras (Figura 4a).

Observa-se que algumas projeções sieníticas que dirigem-se para o topo do afloramento freqüentemente apresentam cristais de hornblenda em seu interior (Figura 4a).

Uma observação petrográfica em escala de maior detalhe foi o reconhecimento de cristais de biotita com a morfologia alongada (encontrado no monzonito heterogêneo).



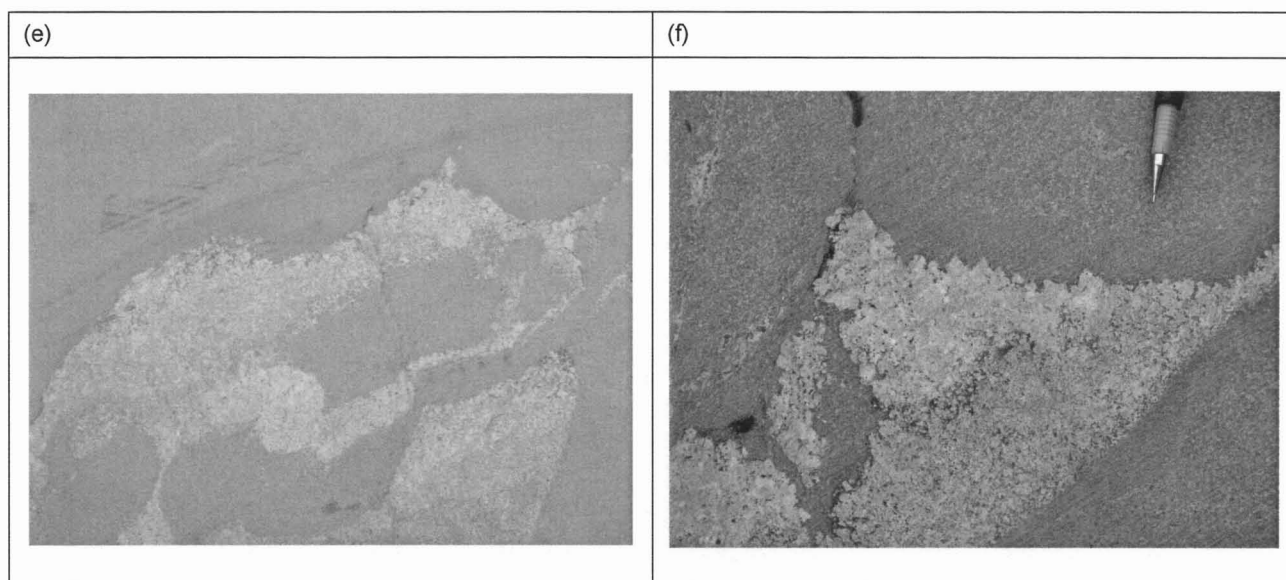


Figura 5: (a) venulação exibindo sienito médio, cujo contato inferior da vênula é difuso, e sienito rosado, situado no topo da mesma e com borda abrupta e interdigitada em relação a rocha encaixante, classificada como monzodiorito fino; (b) variação composicional gradativa. Nota-se que sienito exibe simultaneamente contato abrupto (porção superior da fotografia) e contato difuso (na pequena vênula), sendo que nesta também há faixas milimétricas e centimétricas do monzonito intermediário; (c) contato transicional entre o monzodiorito fino e o monzonito médio, destacando o contato abrupto para o sienito com a rocha encaixante. Destaca-se a presença de vênulas sieníticas com movimentação ascendente junto com a textura de desintegração basal para o monzonito; (d) particularidade do contato entre as variações composicionais sieníticas e monzoníticas, no qual ocorre o contato inferior bastante difuso englobando pequenas porções centimétricas da rocha monzodiorítica, enquanto o contato superior é bem definido; (e) inúmeras “pillows” monzodioríticas. Detalhe do contato da “pillow” central com o sienito e monzonito. “Pillow” monzodiorítica exibindo porção inferior circundada por sienito com contato abrupto, enquanto na parte superior tem-se a presença de monzonito em contato irregular no qual pequenos fragmentos do monzodiorito são dispersos no monzonito, sugerindo assimilação de porções monzodioríticas da porção superior da “pillow”; (f) presença de sienito e monzonito, ambos exibindo contato abrupto em relação a rocha monzodiorítica.

5.4. CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE HORNBLENDA

Uma feição peculiar encontrada em diversas porções da pedreira, sempre associada ao contato entre o monzodiorito e as venulações sieníticas, é a presença de concentrações de cristais de hornblenda. Os cristais de hornblenda distribuem-se segundo diferentes padrões: (a) no término de projeções de vênulas sieníticas (Figura 5a) ou aglomerando-se em estrangulamentos dessas venulações; (b) localizando-se preferencialmente junto à borda das vênulas no contato com o monzodiorito (Figuras 3b, 4a e 6a); (c) distribuindo-se como os cristais predominantes da venulação (Figura 6b); e (d) concentrações isoladas decimétricas homogêneas e maciças de hornblenda.

Para o segundo padrão supracitado (item b) foram descritas duas séries de associações de hornblenda nas bordas – variando somente na espessura –, tais como:

auréola máfica de espessura centimétrica circundando completamente a(s) borda(s) da vênula(s) (Figura 6a) e agrupamento com espessura milimétrica de cristais de hornblenda acompanhando parcialmente ou totalmente a borda da venulação, sendo que poderiam concentrar-se no topo, na base ou na lateral desta.

Uma feição observada em escala de maior detalhe é a presença de cristais de hornblenda perpendiculares à borda da venulação (Figura 6b).

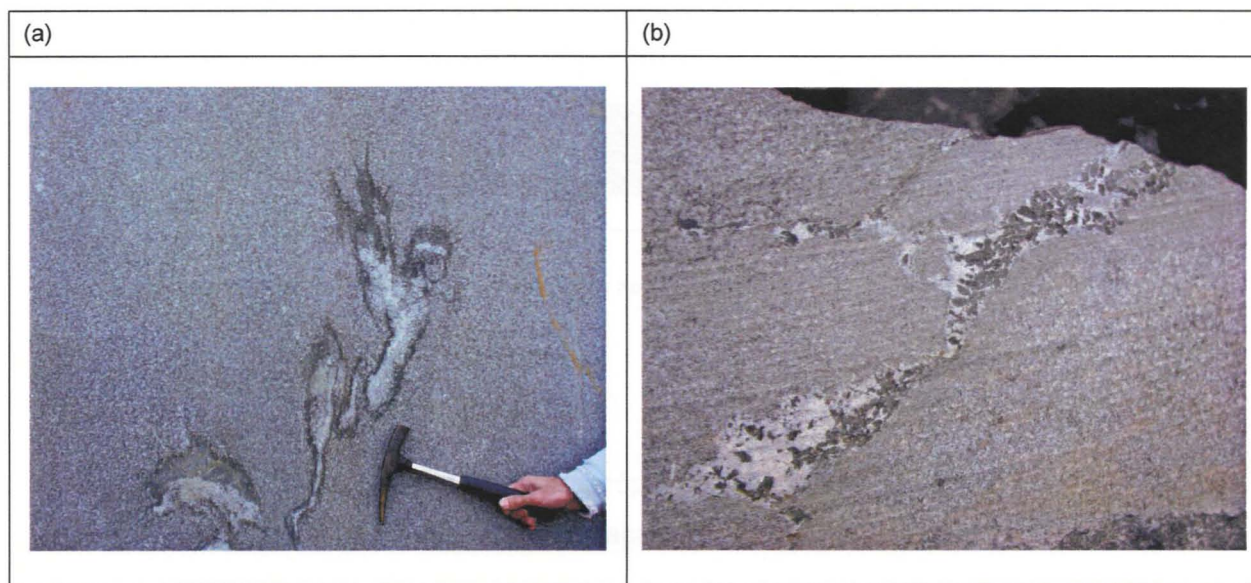


Figura 6: (a) auréola máfica centimétrica – possivelmente de cristais de anfibólio – circundando completamente as vênulas sieníticas; (b) cristais de anfibólio (hornblenda) abrangendo a maior parte da venulação e situados nas porções de estrangulamento venular. Destaca-se a particularidade de que tais cristais estão perpendiculares à borda da venulação.

5.5. CONTATO DO MONZODIORITO COM AS VENULAÇÕES SIENÍTICAS

Na interface com as vênulas sieníticas, o monzodiorito frequentemente mostra coloração mais escura e estrutura orientada em uma faixa centimétrica a subcentimétrica, caracterizada por acúmulo de cristais de minerais máficos; em alguns casos, observa-se que esta feição circunda a(s) borda(s) da(s) venulação(ões), tanto no topo como na base, como exposto na Figura 7a.

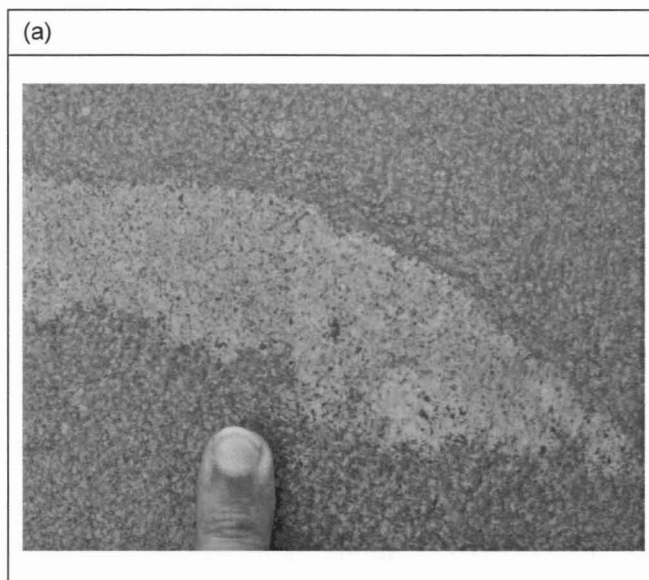


Figura 7: (a) monzodiorito orientado na borda superior abrupta da vênula sienítica.

6. PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

Os estudos petrográficos em microscópio de luz transmitida foram realizados: (a) nas rochas predominantes na Pedreira de Piracaia, correspondentes ao monzodiorito fino e monzodiorito médio; (b) nas venulações sieníticas e monzoníticas, presentes na mesma pedreira, com ênfase nas suas variações composicionais e na passagem entre elas; e (c) nas concentrações pronunciáveis de cristais de hornblenda.

6.1. MONZODIORITO FINO

Esta é a rocha que corresponde ao litotipo predominante na pedreira (Fotomicrografia 01 e 02).

Apresenta-se como equigranular fina, sem a presença de foliação na rocha e textura bastante deformada, deixando todos os cristais, com exceção da biotita, fraturados.

Os minerais principais, conjuntamente com as suas proporções modais obtidas através de estimativas visuais, são: feldspato alcalino (10%), plagioclásio (60%), biotita (25%), hornblenda (3%). Os minerais acessórios são apatita, epidoto e titanita, totalizando 2% na rocha.

O teor de anortita do plagioclásio não pôde ser determinado, mas Janasi (1986) aponta que há zoneamento onde os núcleos variam de 40 a 55 e as bordas estão entre 28 a 31.

Próximo do contato com a concentração de hornblenda ou da vênula com porção sienito, há localmente textura com maior taxa de deformação, fazendo com que cristais

pequenos de biotita aglomerem-se em maior proporção do que normalmente há na rocha ou gerando textura milonítica (Fotomicrografia 03).

6.1.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS

Os principais minerais presentes na rocha são os cristais de biotita e plagioclásio, sendo assim as texturas mais representativas são dadas pela associação entre eles.

Tal associação representada pelos cristais de biotita constituídos como: (a) cristais alongados com bordas retilíneas, às vezes tendendo a formar microestruturas poligonizadas que acompanham o contato com cristais maiores de plagioclásio; (b) cristais subidiomórficos com dimensões de 1 mm e contatos subarredondados no plagioclásio; (c) cristais xenomórficos de 0,25 mm com todos os contatos irregulares independentemente do mineral ao lado e ocorre em aglomerações com mais cristais desse tipo ou manteendo cristais de plagioclásio; (d) palhetas de 0,1 mm que são oriundas da biotita alongada; e (e) também ocorre com sucessivas reentrâncias no plagioclásio, crescendo descontinuamente nele.

O plagioclásio alcança 1 mm, exibe contatos retilíneos com outros cristais félsicos, extinção ondulante, formato subidiomórfico, sem a geminação da lei da albita.

A hornblenda possui 1 mm e sempre está xenomórfica com cristais de biotita também xenomórficos manteendo-a ou exibindo contatos abruptos em seu interior (Fotomicrografia 04).

A apatita é acicular e inclusa em cristais de plagioclásio e biotita, com destaque para o seu hábito granular quando próxima do contato com a concentração de hornblenda. A titanita apresenta-se fraturada, com a geração de cristais menores.

6.2. MONZODIORITO MÉDIO

A rocha é inequigranular de granulação fina a média.

O aspecto textural geral da rocha monzodiorítica (Fotomicrografia 05 e 06) é predominante deformado, com porfiroclastos de feldspato alcalino e plagioclásio e, em menor frequência, cristais de hornblenda. A foliação define-se essencialmente por cristais de biotita xenomórfica, com dimensões entre 1,5 mm e 2 mm, à qual associam-se cristais de hornblenda e titanita, esta subidiomórfica, cuja forma está mais bem definida do que registra-se geralmente na biotita e granulação igual a 2,5 mm.

Localmente, as faixas de foliação definidas pela biotita distribuem-se de modo heterogêneo, com variações no espaçamento.

6.2.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS

Apesar dos minerais félsicos serem aqueles mais abundantes na rocha, as texturas dos mesmos não configuram-se como das mais principais.

A estimativas visuais de proporção modal para o monzodiorito médio indicam índice de cor em torno de 25% a 30%. Entre os minerais félsicos, plagioclásio apresenta 55%, feldspato alcalino perfaz 15% e quartzo é inferior a 2%. O restante distribui-se nos minerais máficos e acessórios, com 15% a 20% para a biotita, 10% para a hornblenda e a titanita alcança 1,5% entre os acessórios.

O epidoto é um importante mineral acessório da rocha, associando-se a biotita, hornblenda e titanita.

As texturas mais características encontradas nos cristais de plagioclásio são: contatos parcialmente retilíneos ou subarredondados, fraturamento muito bem desenvolvido nos porfiroclastos, deixando-os com cristais internos menores (Fotomicrografia 07 e 08), assim como grande quantidade de inclusões aciculares de apatita.

Os cristais de feldspato alcalino exibem pertitas, extinções ondulantes, são circundados pela biotita e possuem contatos interdigitados com a mesma. O feldspato alcalino está mais deformado que o plagioclásio, entretanto ambos sofreram recristalização. O quartzo também apresenta-se com extinção ondulante e com contatos mais bem definidos que os cristais de feldspatos.

As relações texturais entre os minerais máficos são mais variadas do que aquelas observadas para os félsicos, com destaque para a associação de cristais de biotita, hornblenda e titanita (Fotomicrografia 09).

A biotita é sempre o cristal com maior proporção modal na associação supracitada, podendo distribuir-se segundo diversas formas: (a) como cristais subidiomórficos de 1,5 mm a 2 mm com uma ou mais bordas retilíneas – independentemente do cristal adjacente – e a(s) outra(s) com contato amebóide ou interdigitado no cristal de feldspato alcalino ou plagioclásio ou com contato um pouco mais regular no caso de cristais de hornblenda e titanita; (b) como cristais xenomórficos de 0,3 mm que localizam-se preferencialmente no fraturamento interno da hornblenda ou circundando parcialmente a borda da mesma; (c) como palhetas alongadas interconectando diferentes agrupamentos máficos; (d) como cristais de contornos bem definidos no interior da hornblenda (Fotomicrografia 10); e (e) como cristais apresentando discreta sombra de pressão.

Nesta textura a hornblenda sempre encontra-se com bordas mais retilíneas quando cristalizada adjacientemente ao cristal de plagioclásio, ao passo que quando há presença de outros minerais máficos sua borda torna-se bastante descontínua; apresenta formatos cristalinos mais regulares em comparação com os demais minerais; fraturamento interno bem desenvolvido (Fotomicrografia 09); maior granulação (2,2 mm) tanto em relação à

biotita como à titanita. Entretanto, alguns cristais apresentam inclusões de apatita acicular e plagioclásio (Fotomicrografia 10), além de possuírem crescimento descontínuo em cristais de biotita.

A titanita apresenta-se freqüentemente com geminação polissintética e muito fraturada, de modo mais intenso que a hornblenda, gerando aglomerados de cristais menores. Cristais pequenos de biotita distribuem-se entre esses cristais menores. Pode ocorrer incluída em alguns cristais de biotita; alguns desses cristais exibem núcleo de minerais opacos.

Especificamente sobre a relação textural que há entre cristais de biotita e concentrações locais de apatita, nota-se que há muitas inclusões desta em cristais pequenos de biotita ou então as mesmas são circundadas por eles (Fotomicrografia 11).

As relações texturais entre a associação de minerais máficos e os cristais de feldspato alcalino e plagioclásio são representadas por: (a) manteamento parcial ou total dos porfiroclastos pela biotita; e (b) finas projeções de cristais de biotita localizadas entre as fraturas de alguns dos cristais de feldspato recristalizados internamente nos porfiroclastos; e (c) sigmóides de biotita próximos aos porfiroclastos.

6.3. VENULAÇÃO MONZONÍTICA

As porções de composição monzonítica das vênulas situam-se comumente entre as porções sieníticas de topo, com a qual muitas vezes tem contato abrupto, e a rocha monzodiorítica.

A micropetrografia corrobora as observações macroscópicas, pois constata-se que há, por vezes, uma superfície que separa as porções sienítica e monzonítica das vênulas e é definida por minerais máficos estirados do monzonito em contato com bordas retilíneas de cristais félsicos do sienito.

No contato com o monzodiorito fino destaca-se principalmente que não há textura de injeção da rocha na vênula, sendo que esta textura foi encontrada algumas vezes para vênulas que eram exclusivamente sieníticas. Também ressalta-se que no contato com a rocha há um cristal de epidoto com 6,25 mm, sigmoidal e sem fraturas.

A vênula é inequigranular e a granulação varia de fina a grossa, sendo que a maioria dos cristais vão de 1 a 2 mm.

O aspecto textural geral da venulação monzonítica é notoriamente diferente daquele observado na vênula sienítica, com destaque para: (a) heterogeneidades texturais que correspondem ao monzodiorito fino e ao monzonito propriamente dito (Fotomicrografia 12 e 13); e (b) o monzonito está mais deformado e os cristais de minerais félsicos e máficos estão ambos deformados, comportamento que não constata-se no sienito.

6.3.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MONZODIORITO FINO E MONZONITO

Encontra-se no interior da venulação monzonítica porções com texturas correspondentes ao monzodiorito fino. Com um grau de detalhamento maior, percebe-se que essas porções apresentam-se como agrupamentos de minerais máficos sob a forma de concentrações de biotita, principalmente, e hornblenda que circundam cristais de plagioclásio (Fotomicrografia 14 e 15). Essa estrutura assemelha-se com aquilo que foi observado na rocha monzodiorítica média.

Destaca-se que a distribuição dos cristais de biotita ocorre de várias formas: (a) cristais xenomórficos com dimensões de 0,5 mm com freqüentes contatos interdigitados no plagioclásio; (b) cristais xenomórficos de 0,5 mm com crescimento acentuadamente descontínuo tanto na hornblenda como no plagioclásio, evidenciado por reentrâncias e bordas interdigitadas. A este conjunto associam-se também cristais xenomórficos de titanita inclusos principalmente na biotita; (c) palhetas de biotita com acentuado crescimento descontínuo e presença de cristais aciculares de apatita; e (d) cristais subidiomórficos de 1,5 mm de biotita associados a hornblenda, a qual exhibe contatos amebóides com o plagioclásio, formato xenomórfico, inclusões de cristais de apatita, biotita e minerais opacos. Algumas vezes, ocorrem cristais de biotita no interior da hornblenda, ambos com tamanhos semelhantes, configurando uma textura pseudomórfica ao conjunto (Fotomicrografia 16).

6.3.2. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS DO MONZONITO

Os minerais félsicos não exibem aspectos texturais marcantes, entretanto algumas considerações generalizadas podem ser feitas, tais como: há evidências deformacionais, com a presença de extinção ondulante e fraturas nos cristais, sem a diminuição da granulação dos cristais; o feldspato alcalino apresenta granulação menor que o plagioclásio; o quartzo constitui-se microestrutura localmente granoblástica.

A proporção mineralógica relativa para os cristais félsicos dá-se de 10% a 30% para o feldspato alcalino, de 30% a 62% para o plagioclásio e de 3% a 5% para o quartzo. As porcentagens restantes distribuem-se segundo os minerais máficos e acessórios, sendo que a biotita perfaz de 6% a 13%, a hornblenda compreende proporções na faixa de 5% a 10%. Os minerais acessórios são allanita, apatita, epidoto, minerais opacos, titanita e zircão e todos estão aproximadamente na mesma proporção de 0,5%.

O teor de anortita determinado foi de 12,5, indicando que o plagioclásio é o oligoclásio.

A textura do monzonito (Fotomicrografia 17 e 18) é caracterizada por apresentar como principal mineral máfico a hornblenda em freqüente associação com a biotita, que encontra-se com texturas menos variadas do que no monzodiorito. Entretanto, também

constata-se a presença de variações texturais no monzonito (Fotomicrografia 19 e 20), sendo que estas caracterizam-se por deixarem parcialmente registradas a textura do monzodiorito, onde os agrupamentos máficos são expressos por proporções relativas de hornblenda maiores, a qual está bem mais fraturada, e cristais de biotita subidiomórficos.

Basicamente há dois tipos de biotita no monzonito: uma xenomórfica com 1,5 mm encontrada exclusivamente ao lado da hornblenda, que apresenta contatos interdigitados ou reentrantes (Fotomicrografia 21) e outra na forma de finas palhetas que distribuem-se entre os cristais de feldspato alcalino e plagioclásio e interligam diferentes cristais de hornblenda. Especificamente quando o monzonito encontra-se próximo do sienito, observa-se que os cristais de biotita assumem o formato alongado e granulação menor.

Os cristais de hornblenda do monzonito apresentam contatos predominantemente retilíneos, com exceção daquele com a biotita, dimensões de 1,3 mm, formatos subidiomórficos equidimensionais e exibem fraturamento incipiente. Por vezes, a hornblenda apresenta cristais de titanita crescendo a partir da sua borda em direção ao seu interior sugerindo uma textura pseudomórfica de consumo (Fotomicrografia 22).

Dentre os minerais acessórios, destaca-se a allanita exibindo cristais idiomórficos, com contatos retilíneos na biotita e na hornblenda (Fotomicrografia 23) e, eventualmente com contatos amebóides no plagioclásio. O epidoto também destaca-se ocorrendo ao lado da biotita e hornblenda e em seu interior (Fotomicrografia 24).

6.4. VENULAÇÃO SIENÍTICA

O sienito das vênulas é inequigranular e a granulação varia de fina a grossa, entretanto a classificação granulométrica mais freqüente para tais venulações é a média. Em casos raros nota-se fenocristais de feldspato alcalino de 6,2 mm que perfazem cerca de 3% da vênula.

O aspecto textural geral da vênula sienítica é caracterizado por apresentar forte deformação tanto no interior da mesma – exibindo fraturamento e recristalização de seus cristais – como próximo ao contato com o monzodiorito fino, originando, localmente, textura protomilonítica incipiente (Fotomicrografia 25 e 26).

Outra textura marcante são alguns cristais de minerais máficos, principalmente hornblenda, que em conjunto tendem a formar bolsões que isolam os cristais de minerais félsicos.

Os minerais máficos principais que apresentam-se nestas venulações são: biotita e hornblenda, com apatita, epidoto, minerais opacos e titanita como minerais acessórios. Frequentemente ocorre associação entre cristais de biotita, hornblenda e titanita.

6.4.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MONZODIORITO FINO E SIENITO

A principal relação textural impressa pelo monzodiorito na venulação sienítica dá-se através de finas lamelas de injeção que são oriundas do material monzodiorítico, as quais podem ou não penetrar ao longo de toda a espessura da venulação, sendo que quando não a atravessa integralmente injeta-se em cerca de 1 mm da mesma. Tais injeções correspondem essencialmente a cristais de biotita com diversas morfologias, que compreendem desde palhetas a cristais xenomórficos alongados (Fotomicrografia 27).

Os cristais de hornblenda distribuem-se próximos às injeções, mas raramente nota-se associação direta entre eles.

No contato com o monzodiorito fino duas texturas são realçadas: a quantidade expressiva de cristais de hornblenda com dimensões de cerca de 3,7 mm e bem formados; e a biotita definindo a foliação localmente protomilonítica da rocha monzodiorítica fina, com cristais xenomórficos.

6.4.2. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS

Assim como nos litotipos previamente descritos e nas venulações monzoníticas, as principais texturas registradas dão-se entre os minerais máficos, com suas relações de consumo, contato e cristalização relativa. Em vista deste fato, as microestruturas e texturas serão descritas individualmente para alguns dos minerais máficos.

6.4.2.1. BIOTITA

Apresenta o maior número de feições microestruturais e texturais registradas.

Geralmente possui coloração marrom avermelhada, assim como todas encontradas nos litotipos e no monzonito. Encontra-se em menor proporção no sienito do que no monzonito.

A associação com o feldspato alcalino e plagioclásio dá-se através de: (a) crescimento descontínuo de cristais de biotita sobre os minerais félsicos; (b) cristais que circundam parcialmente os cristais feldspáticos; e (c) contatos interdigitados entre os minerais; e (d) inclusões ou projeções da biotita nos cristais de feldspato.

Associa-se freqüentemente com cristais de hornblenda – sendo que raramente a granulação desta é inferior à da biotita –, assim como com cristais de minerais opacos e titanita. Quando encontra-se com estes minerais apresenta morfologias variadas, como: (a) cristais com formato alongado que distribuem-se de modo isolado entre aglomerações máficas; (b) cristais subidiomórficos de 1,5 mm com um ou mais contatos retilíneos e o(s) outro(s) com reentrâncias no cristal ao lado; (c) cristais xenomórficos de 0,1 mm que

circundam parcialmente cristais subidiomórficos com 1,2 mm de hornblenda (Fotomicrografia 28) ou estão ao lado de cristais deformados de titanita; (d) cristais com contatos interdigitados no feldspato alcalino conjuntamente com palhetas que situam-se lateralmente a eles; e (e) palhetas que encontram-se tanto próximas a cristais de biotita dos mais variados formatos, como também em meio a cristais de feldspato alcalino.

Diferentemente do que ocorre no monzodiorito médio ou no monzonito, a associação de biotita, hornblenda e titanita muitas vezes é incompleta, faltando um destes minerais. Especialmente no caso de uma lâmina, PPI-TFXII-5A (Fotomicrografia 29 e 30), registrou-se ampla quantidade de cristais de biotita alongada concomitantemente com a ausência de texturas micropertíticas e mirmequíticas e a baixa concentração de cristais de feldspato com geminação em grade, hornblenda e titanita.

Em termos de relações microestruturais seus cristais são eventualmente sigmóides ou falhados.

A análise micropetrográfica permitiu diferenciar duas fases de cristalização da biotita, sendo que a primeira corresponde à reação de consumo da hornblenda, representada por cristais subidiomórficos com contatos abruptos internos a hornblenda, e a segunda corresponde a recristalização a partir da reação de coexistência de magma com o monzodiorito fino, na qual resulta em cristais com morfologia alongada.

6.4.2.2. HORNBLENDA

É a única espécie de anfibólio existente nas venulações sieníticas. Seu formato é subidiomórfico, com cristais aproximadamente equidimensionais e suas dimensões variam de 1,2 mm a 2 mm. Os cristais dificilmente apresentam-se fraturados (Fotomicrografia 28) e não houve o registro de cristais cominuídos, como ocorre com frequência nos cristais de minerais félsicos. Esporadicamente, os cristais tornam-se menores e sem forma definida.

Associa-se com cristais de biotita e titanita na forma de aglomerações com estes cristais xenomórficos. Seu contato com os demais minerais é bem definido e, especialmente em cristais de biotita, possui uma ampla variação de texturas, como crescimento de biotita manteando parcialmente a borda da hornblenda, cristalização entre as bordas dos cristais de biotita, contatos interdigitados, gerando crescimento descontínuo de cristais de biotita no interior dos de hornblenda.

No contato com o monzodiorito fino nota-se que os cristais de hornblenda distribuem-se preferencialmente no contato (Fotomicrografia 31) e, em casos raros, ocorrem cristais aproximadamente prismáticos com todas as bordas notoriamente retilíneas, se comparada com os outros cristais (Fotomicrografia 32).

Exibe inclusões de cristais apatita, biotita, feldspato alcalino, titanita – a qual está com hábito idiomórfico marcante. Em outros casos a hornblenda circunda a titanita parcial ou totalmente.

Assim como a biotita, também apresenta menor proporção modal no sienito em relação ao monzonito. A hornblenda do sienito apresenta contatos mais bem definidos e granulação menor do que a do monzonito.

6.4.2.3. MINERAIS FÉLSICOS

A principal textura que registra-se nestes minerais é a deformacional (Fotomicrografia 33 e 34), sendo que ela afeta os cristais individualmente, de modo a recrystalizá-los, sendo que estes passam a exibir uma profusão de contatos amebóides, extinções ondulantes e fraturas, não chegando a diminuir a sua granulação. Subordinadamente, destaca-se que ocorre cominuição de cristais de feldspato alcalino que distribuem-se preferencialmente entre as bordas de cristais feldspáticos maiores (Fotomicrografia 35 e 36).

O principal mineral félsico é o feldspato alcalino que apresenta micropertitas (Fotomicrografia 37), em parte com morfologia vermiforme e geminação carlsbad e em grade. Sua granulação é maior que a do plagioclásio e exibe inclusões em cristais de titanita.

Os cristais de plagioclásio apresentam contatos mais regulares do que no monzonito e, geralmente, estão menos deformados. Não exibem a geminação característica da lei da albita, entretanto dados da literatura (Salmoni, 2007) indicam que o plagioclásio é oligoclásio.

6.4.2.4. OUTROS MINERAIS MÁFICOS

A apatita apresenta morfologia acicular, com inclusões freqüentes no feldspato alcalino e na hornblenda e não há orientação preferencial em tais inclusões. Distribui-se em maior quantidade próximo ao contato com o monzodiorito fino (Fotomicrografia 38).

Os minerais opacos associam-se com cristais de biotita, hornblenda e titanita e distribuem-se tanto no interior da vênula como próximo ao contato com o monzodiorito fino, sendo que neste último caso a granulação dos cristais diminui, e o seu formato torna-se menos irregular.

A titanita chega a perfazer 1,6% da vênula e apresenta cristais xenomórficos e idiomórficos, assim como também exibe muitas granulações, que variam de 0,1 mm a 2 mm. Exibe feições deformacionais, como geminações polissintéticas.

6.5. CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE HORNBLENDA

As concentrações de cristais de hornblenda ocorrem esporadicamente e distribuem-se predominantemente entre as venulações sieníticas e a rocha monzodiorítica.

A concentração é inequigralar e a granulação compreende cristais finos a grossos.

Localmente, a textura geral do agrupamento pode ser milonítica com porfiroclastos de hornblenda e titanita (Fotomicrografia 39), sendo que os cristais de biotita são aqueles que definem a foliação deixando impressa a textura localmente lepidoblástica.

Por vezes, ocorrem texturas mais heterogêneas, na qual registra-se variações em sua estrutura deformacional. Em zonas de maior deformação, a foliação é definida por biotita e hornblenda, ao passo que em porções menos deformadas a foliação torna-se mais difusa e a biotita é o mineral máfico exclusivo que a define através das mesmas ou circundando os cristais feldspáticos que tornam-se presentes na concentração de hornblenda.

6.5.1. RELAÇÕES TEXTURAIS ENTRE MINERAIS

Assim como nos litotipos e nas estruturas venuladas descritos previamente, as relações de cristalização e os aspectos texturais mais importantes são evidenciados pelos cristais de biotita e hornblenda, que serão descritos individualmente a seguir.

Uma das características mais marcantes da textura geral do conjunto máfico deve-se ao fato de haver uma profusão de pequenos cristais equidimensionais de 0,05 mm a 0,1 mm de apatita em contato entre si, distribuídos entre cristais maiores de hornblenda (Fotomicrografia 40).

Em uma amostra referente à Monografia de Trabalho de Formatura de Bruno Salmoni (2007) registra-se na interface do litotipo monzodiorítico com a concentração de hornblenda várias bandas paralelas ao contato constituídas exclusivamente por um único mineral que superpõem-se. Os minerais que participam desta microestrutura são apatita, augita (na forma de cristais equidimensionais subarredondados), hornblenda (eventualmente com allanita) e titanita. A augita pode ser encontrada inclusa em cristais de hornblenda (Fotomicrografia 41 e 42).

6.5.1.1. BIOTITA

Quando as concentrações de cristais de hornblenda estão associadas à venulação sienítica, os cristais de biotita distribuem-se tanto na vênula quanto no agrupamento máfico, entretanto aos cristais apresentam-se mais idiomórficos na concentração máfica.

Já quando o agrupamento exibe variação deformacional, os cristais são maiores e subidiomórficos e distribuem-se intersticialmente aos cristais de hornblenda na porção menos deformada e, eventualmente, a biotita é a única a definir a foliação. A textura milonítica exibe cristais xenomórficos que chegam a constituírem-se como matriz, além da presença de mica *fish*.

As microestruturas mais notáveis encontradas nos cristais são sigmóides.

Assim como nas estruturas venuladas, por vezes os cristais de biotita são formados a partir do consumo de hornblenda.

6.5.1.2. HORNBLENDA

Distribui-se como agrupamento pronunciável de cristais entre as venulações e a rocha monzodiorítica fina.

Observa-se variação na taxa de deformação, sendo que registra-se textura mais ou menos deformadas, onde: (a) os cristais apresentam-se cominuídos conjuntamente com a biotita e também encontram-se como porfiroclastos (Fotomicrografia 43); (b) ocorre como uma profusão de cristais com contatos subarredondados, altamente fraturados, com inúmeras inclusões de apatita (Fotomicrografia 44); e (c) no milonito nota-se que alguns porfiroclastos estão rotacionados ou são circundados parcialmente pela biotita que imprime a foliação. Essa estrutura fica mais apreciável próximo do contato com o monzodiorito fino.

Foram encontrados cristais de formato subidiomórfico com contatos bem definidos e cristais extensamente fraturados, sendo que a proporção relativa de minerais que exibem tais morfologias não é constante.

Associam-se à hornblenda cristais de titanita que distribuem-se preferencialmente entre seus porfiroclastos.

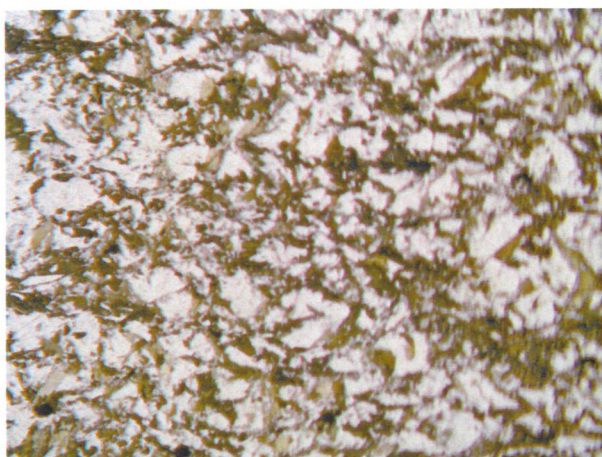
6.5.1.3. MINERAIS FÉLSICOS

Os raros cristais de feldspato alcalino que encontram-se nas concentrações de hornblenda são de pequenas dimensões, e se distribuem nos interstícios dos porfiroclastos de hornblenda e cristais menores de biotita. O plagioclásio exibe estruturas distintas, sendo que ocorre como cristais isolados ou apresenta-se equigranular e de modo intersticial à hornblenda. Ocasionalmente o quartzo estrutura-se como ribbons entre os cristais de hornblenda.

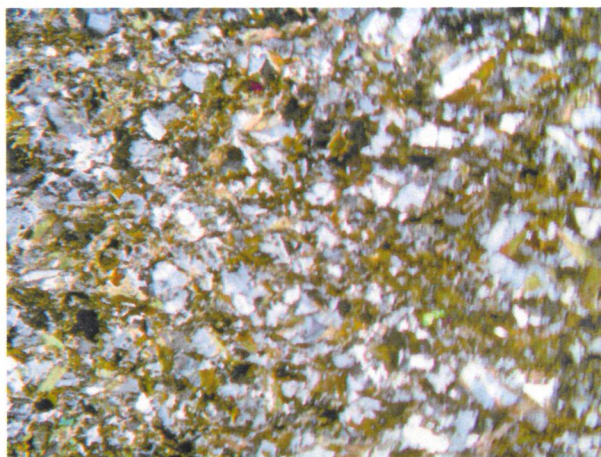
6.5.1.4. OUTROS MINERAIS MÁFICOS

A allanita concentra-se em maior proporção modal em uma na amostra PPI-TFXII-10 e associa-se a cristais de hornblenda que estão mais bem formadas do que aqueles encontrados na amostra PPI-TFXII-13C₁. A apatita concentra-se abundantemente em todas as lâminas analisadas com muita hornblenda. Já a calcita concentra-se intersticialmente aos cristais de titanita presentes nas concentrações de hornblenda.

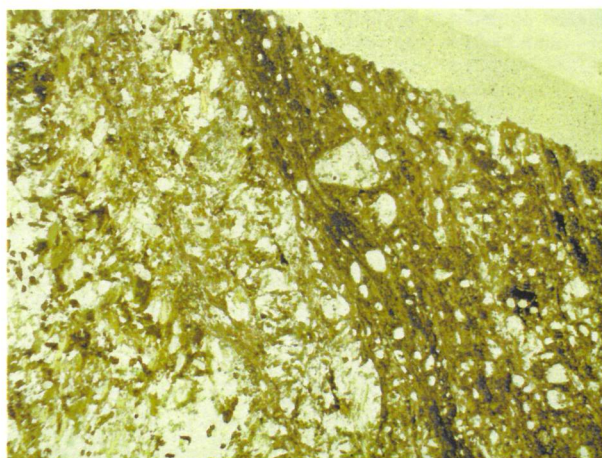
A titanita está ora idiomórfica ora bem fraturada, com geminação polissintética. O zircão também foi verificado, porém em quantidades modais pequenas se comparadas com o monzonito.



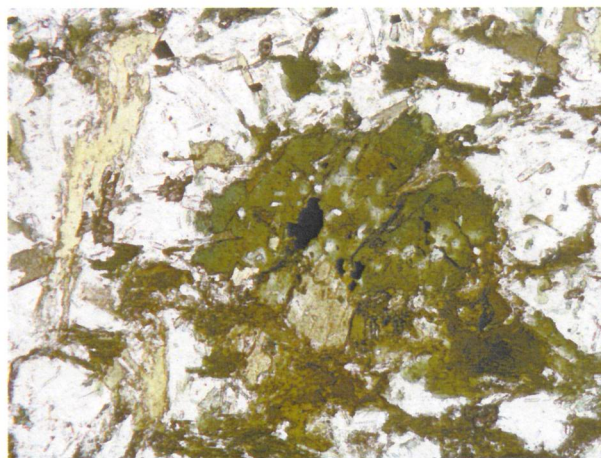
(01) Amostra 10: Aspecto textural geral do monzodiorito fino, onde nota-se a ausência de foliação, cristais xenomórficos de biotita circundando o plagioclásio. Polarizador descruzado. Lado maior = 5,20 mm.



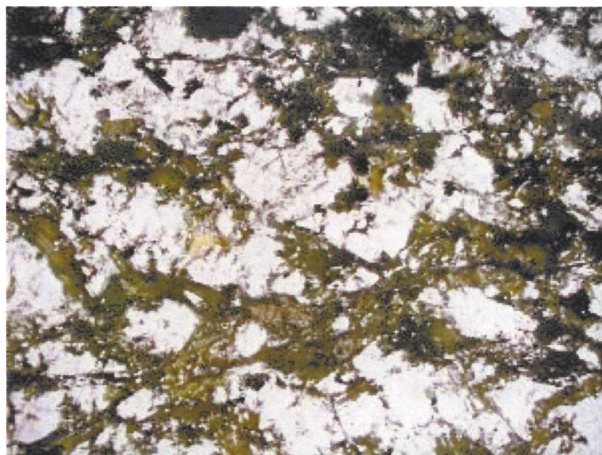
(02) Amostra 10: Aspecto textural geral do monzodiorito fino, onde nota-se a ausência de foliação, cristais xenomórficos de biotita circundando o plagioclásio. Polarizador cruzado. Lado maior = 5,20 mm.



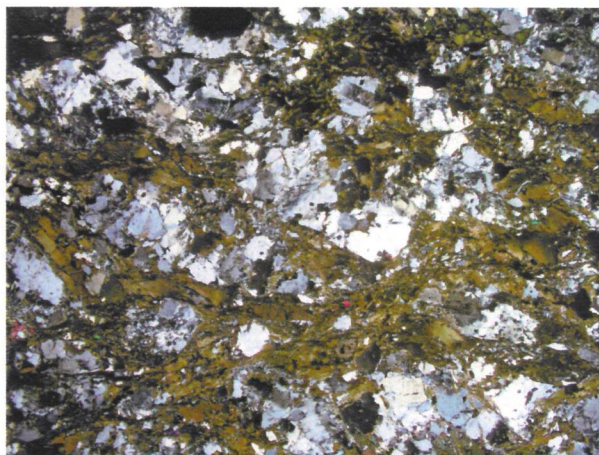
(03) Amostra 14B: Contato entre monzodiorito fino e porção sienítica da vênula onde nota-se a faixa centimétrica milonítica presente no litotipo. Polarizador descruzado. Lado maior = 5,00 mm.



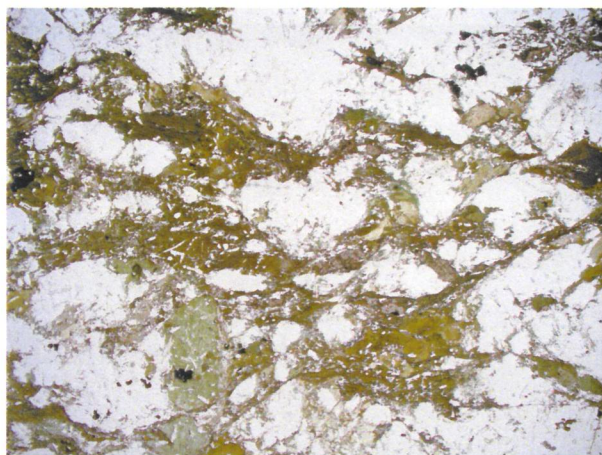
(04) Amostra 10: Cristal xenomórfico fraturado de hornblenda com biotita exibindo contato abrupto no interior do mesmo. Destaca-se a presença de cristal com biotita alongada exibindo contatos retilíneos e palhetas em sua borda. Polarizador descruzado. Lado maior = 1,63 mm.



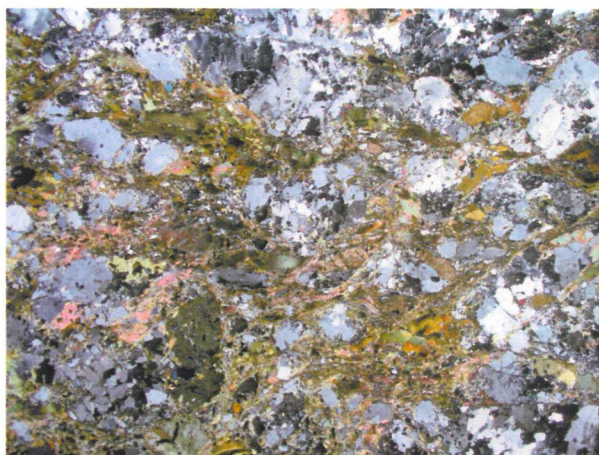
(05) Amostra 11: Aspecto textural geral do monzodiorito médio com destaque para os porfiroclastos de plagioclásio que estão manteados pela associação de biotita, hornblenda e, subordinadamente, titanita. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(06) Amostra 11: Aspecto textural geral do monzodiorito médio com destaque para os porfiroclastos de plagioclásio que estão manteados pela associação de biotita, hornblenda e, subordinadamente, titanita. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(07) Amostra 11: Porfiroclasto de plagioclásio fraturado gerando o aparecimento de cristais internos menores onde há invasão de pequenos cristais de biotita e hornblenda nessas fraturas. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



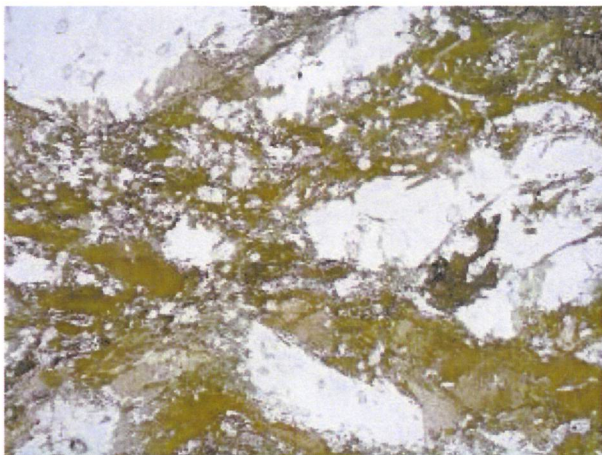
(08) Amostra 11: Porfiroclasto de plagioclásio fraturado gerando o aparecimento de cristais internos menores onde há invasão de pequenos cristais de biotita e hornblenda nessas fraturas. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(09) Amostra 11: Associação de biotita, hornblenda e titanita, onde a biotita encontra-se subidiomórfica e a titanita está mais fraturada que a hornblenda. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



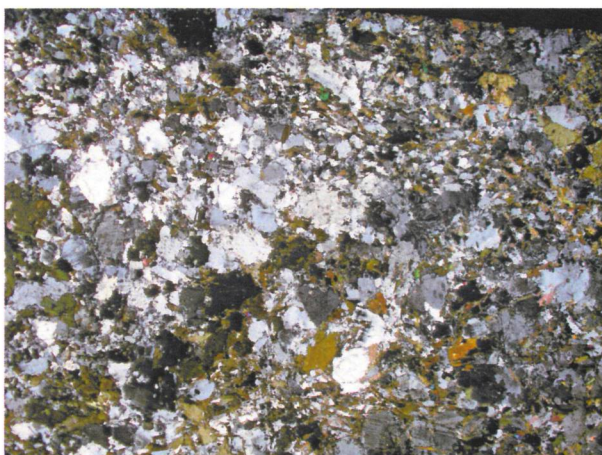
(10) Amostra 11: Porfiroclastos de hornblenda e plagioclásio circundados por biotita com formas e tamanhos variados. Atentar para o porfiroclasto de hornblenda onde há biotita idiomórfica com contato abrupto retilíneo e inclusões de apatita. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



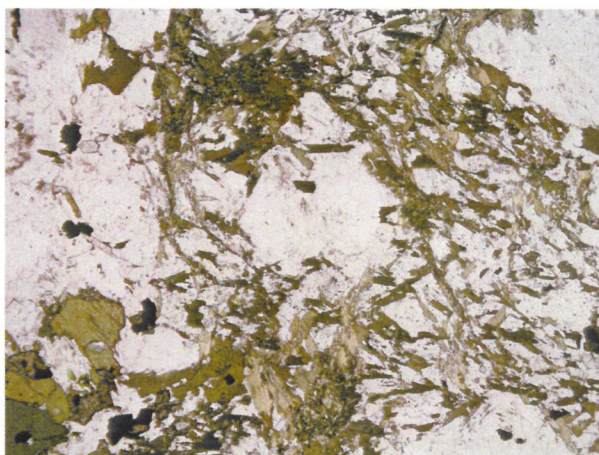
(11) Amostra 11: Profusão de cristais de apatita equidimensionais em meio a biotita, sendo que o conjunto localiza-se entre porfiroclastos félsicos, invadindo as suas bordas. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



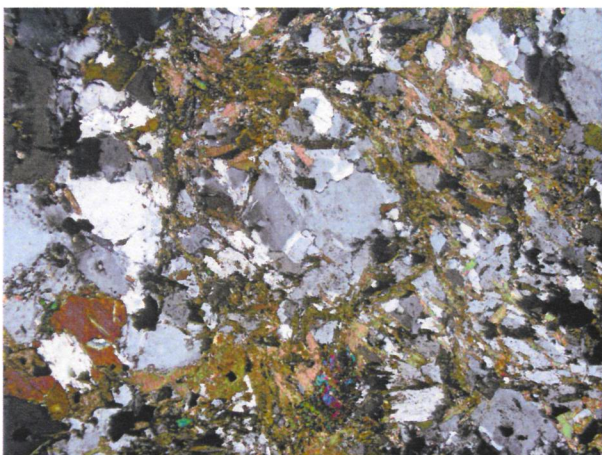
(12) Amostra 7B: Aspecto textural geral da vênula monzonítica, com destaque para texturas distintas de monzodiorito (superior) finamente foliado por biotita e monzonito (porção esquerda da fotografia) com hornblenda em maior proporção que a biotita. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



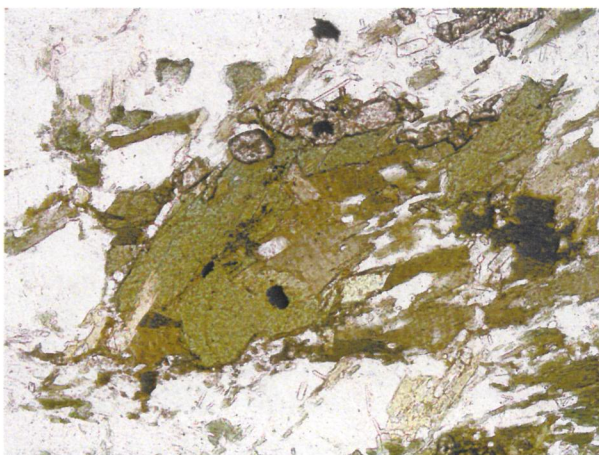
(13) Amostra 7B: Aspecto textural geral da vênula monzonítica, com destaque para texturas distintas de monzodiorito (superior) finamente foliado por biotita e monzonito (porção esquerda da fotografia) com hornblenda em maior proporção que a biotita. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



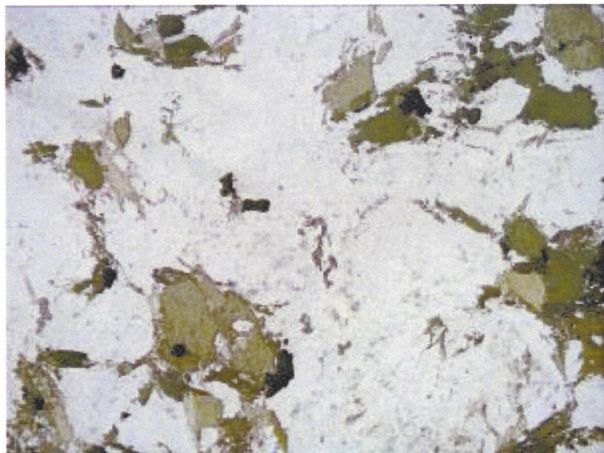
(14) Amostra 7B: Detalhe do monzodiorito fino destacando biotita alongada xenomórfica circundando porfiroclasto de plagioclásio de modo aproximadamente paralelo à sua borda. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



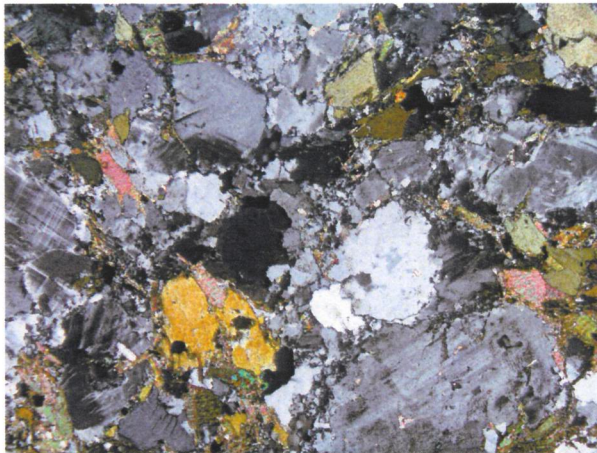
(15) Amostra 7B: Detalhe do monzodiorito fino destacando biotita alongada xenomórfica circundando porfiroclasto de plagioclásio de modo aproximadamente paralelo à sua borda. Polarizador cruzado. Lado maior = 3,25 mm.



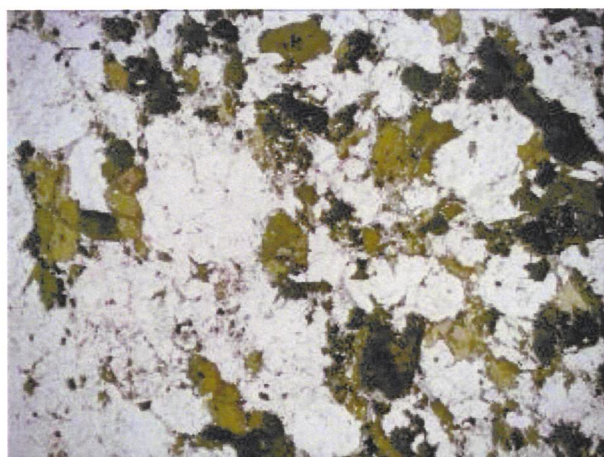
(16) Amostra 7B: Cristais de biotita com borda retilínea no interior da hornblenda, ambos com tamanhos semelhantes, configurando textura pseudomórfica. Polarizador descruzado. Lado maior = 1,30 mm.



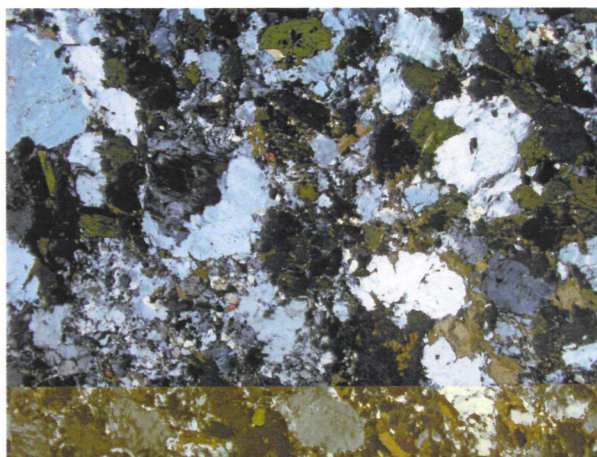
(17) Amostra 7B: Textura do monzonito com predomínio de hornblenda sobre os outros máficos. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



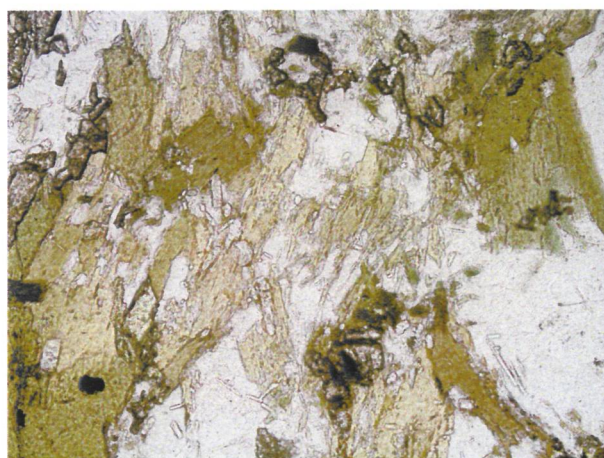
(18) Amostra 7B: Textura do monzonito com predomínio de hornblenda sobre os outros máficos. Polarizador cruzado. Lado maior = 3,25 mm.



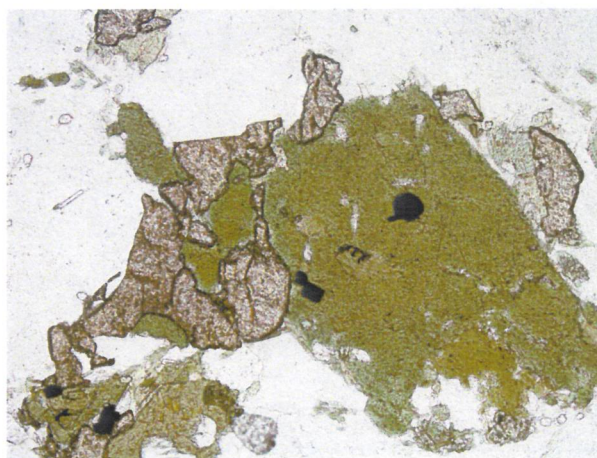
(19) Amostra 14A: Variação na textura do monzonito, com destaque para a proporção modal maior de cristais de hornblenda, allanita que encontra-se com dimensões semelhantes a esta. Nesta amostra, a geminação da lei da albita é verificada e o teor de anortita é 12,5. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



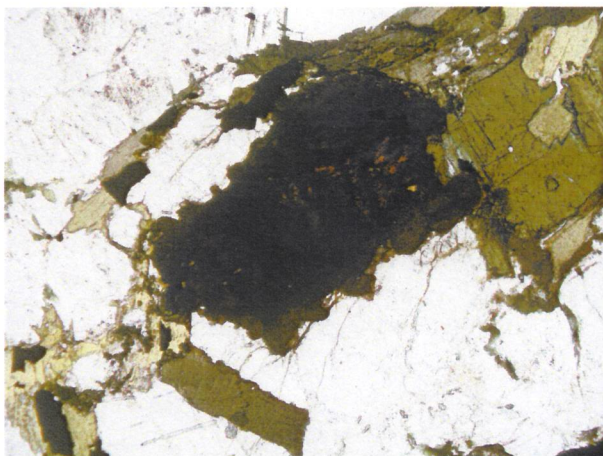
(20) Amostra 14A: Variação na textura do monzonito, com destaque para a proporção modal maior de cristais de hornblenda, allanita que encontra-se com dimensões semelhantes a esta. Nesta amostra, a geminação da lei da albita é verificada e o teor de anortita é 12,5. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



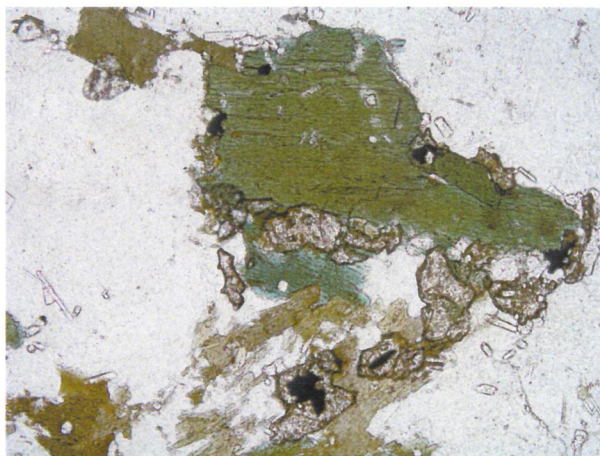
(21) Amostra 7B: Cristais de biotita com contatos interdigitados ou reentrantes exibindo crescimento descontínuo. Atentar para o pseudomorfo formado por hornblenda e biotita na esquerda. Polarizador descruzado. Lado maior = 1,30 mm.



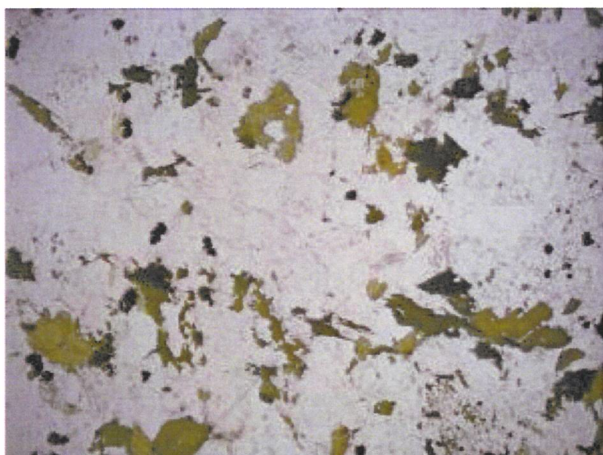
(22) Amostra 7B: Cristal de titanita associado ao de hornblenda em textura pseudomórfica, onde a titanita cresce a partir da borda da hornblenda. Polarizador descruzado. Lado maior = 1,30 mm.



(23) Amostra 14A: Cristal de allanita subidiomórfico com bordas amebóides com plagioclásio e associado a biotita e hornblenda. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



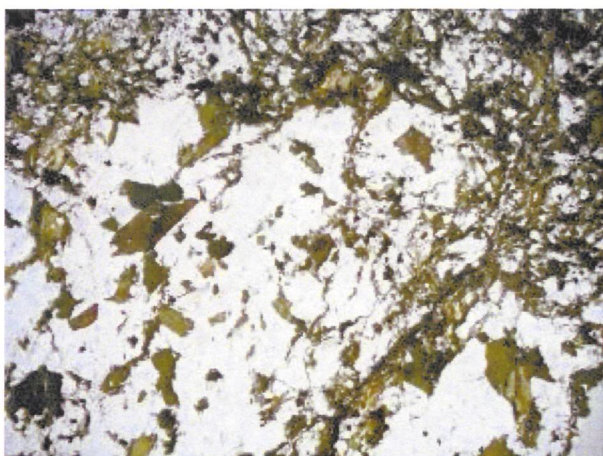
(24) Amostra 7B: Epidoto concentrando-se na associação de biotita e hornblenda, estando também incluído nela. Polarizador descruzado. Lado maior = 1,30 mm.



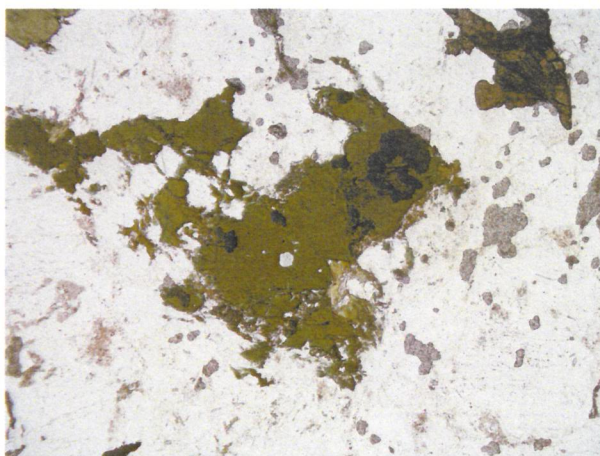
(25) Amostra 9B: Aspecto textural geral da porção sienítica da vênula, com destaque para os minerais félsicos deformados, entretanto preserva-se o formato geral do cristal com a ocorrência local de desgaste da borda do cristal. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(26) Amostra 9B: Aspecto textural geral da porção sienítica da vênula, com destaque para os minerais félsicos deformados, entretanto preserva-se o formato geral do cristal com a ocorrência local de desgaste da borda do cristal. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



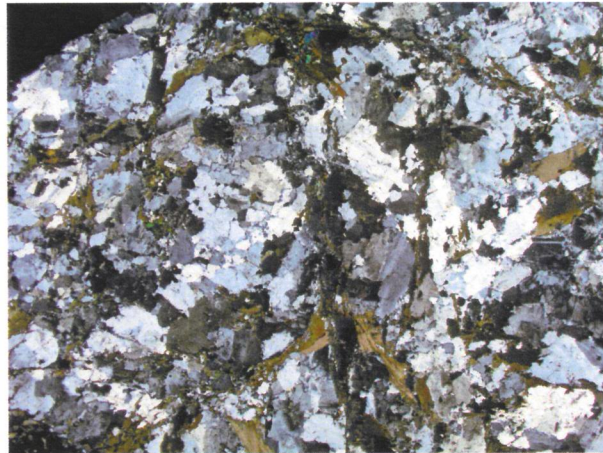
(27) Amostra 9A₂: Interface do litotipo monzodiorítico com a porção sienítica onde há injeções de biotita daquele material neste com a presença de cristais idiomórficos de hornblenda correlacionada com a microestrutura. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



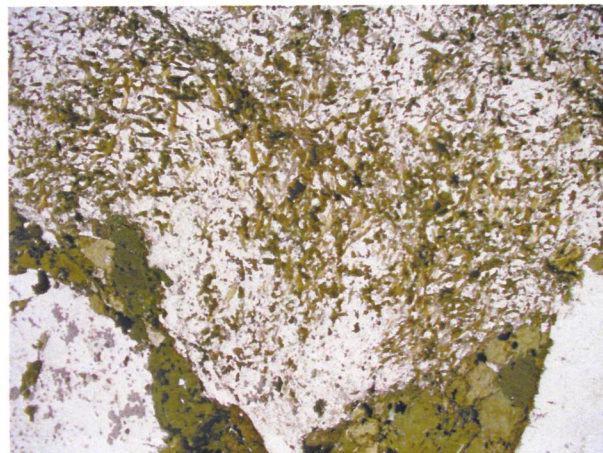
(28) Amostra 2: Cristal de hornblenda com contato subarredondado com feldspato alcalino e presença de biotita xenomórfica em suas bordas. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



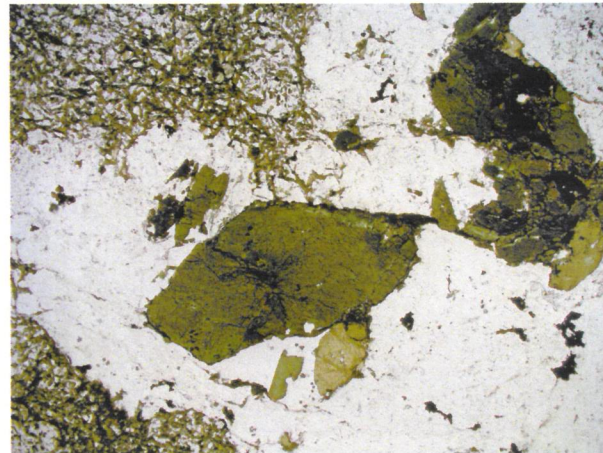
(29) Amostra 5A: Sienito com presença muitos cristais de biotita alongada e ausência de cristais de hornblenda. Nota-se que a textura também é deformada sem afetar a estrutura original da vênula. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



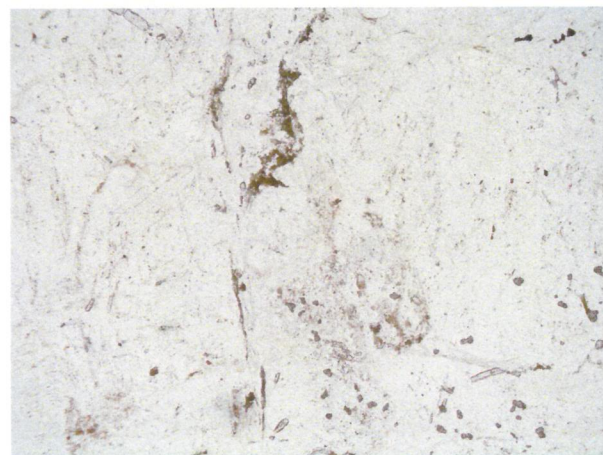
(30) Amostra 5A: Sienito com presença muitos cristais de biotita alongada e ausência de cristais de hornblenda. Nota-se que a textura também é deformada sem afetar a estrutura original da vênula. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



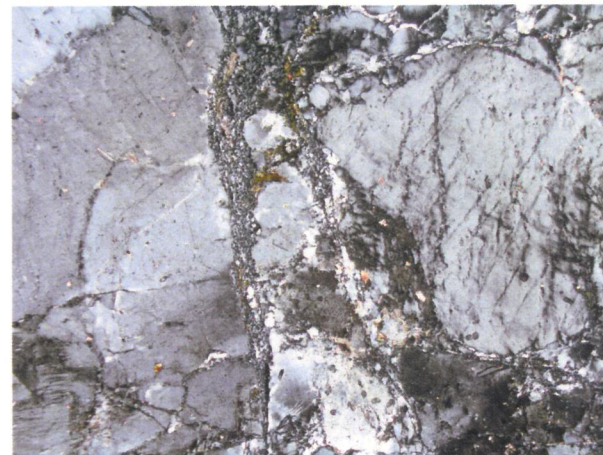
(31) Amostra 2: Hornblenda localizada entre monzodiorito fino e vênula sienítica, onde há concentração maior de biotita na foliação próxima do contato. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(32) Amostra 8B: Hornblenda idiomórfica situada no contato com monzodiorito fino e próxima da injeção do litotipo na venulação. Polarizador descruzado. Lado maior = 1,30 mm.



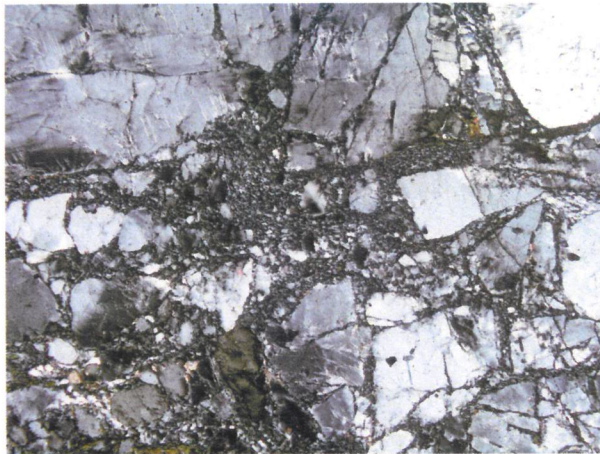
(33) Amostra 3: Recristalização de feldspato alcalino com evento local de cominuição entre as suas bordas. Nota-se que a dimensão do cristal não foi alterada. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



(34) Amostra 3: Recristalização de feldspato alcalino com evento local de cominuição entre as suas bordas. Nota-se que a dimensão do cristal não foi alterada. Polarizador cruzado. Lado maior = 3,25 mm.



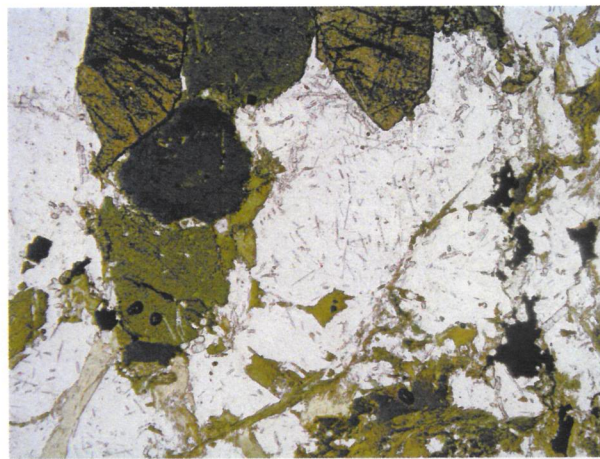
(35) Amostra 3: Destaque para profusão de fraturas no feldspato alcalino com a cominuição de suas bordas mais marcante que o par anterior. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



(36) Amostra 3: Destaque para profusão de fraturas no feldspato alcalino com a cominuição de suas bordas mais marcante que o par anterior. Polarizador cruzado. Lado maior = 3,25 mm.



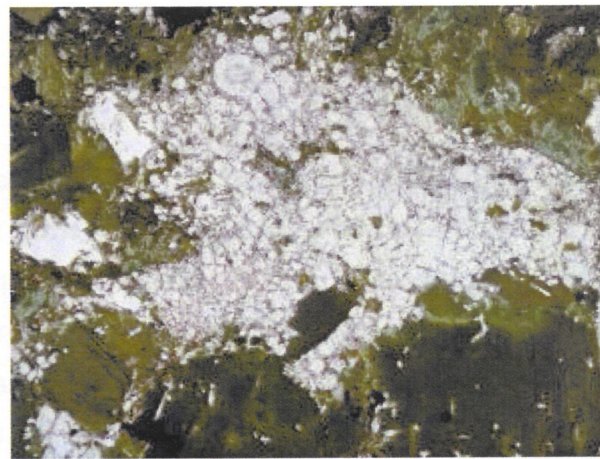
(37) Amostra 3: Exsoluções peritíticas. Polarizador cruzado. Lado maior = 1,30 mm.



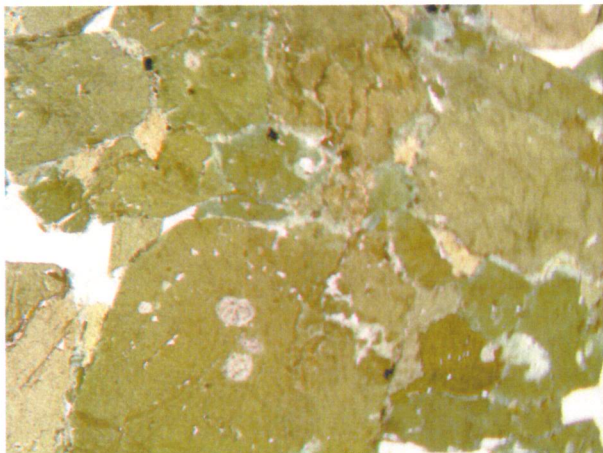
(38) Amostra 5B: Concentração abundante de apatita incluída no feldspato alcalino quando próximo a vênula está próxima do contato com o monzodiorito. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



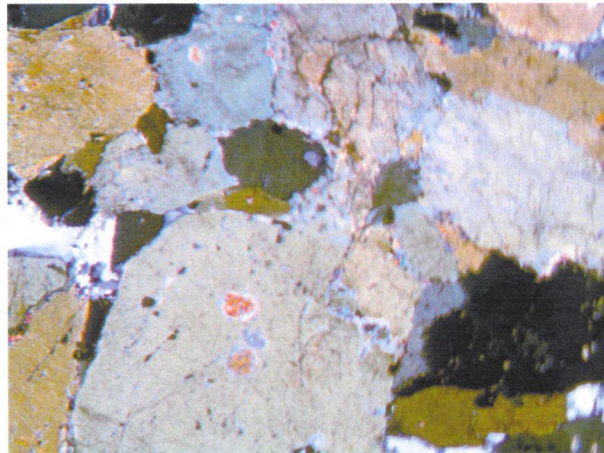
(39) Amostra 13C₁: Textura localmente milonítica com porfiroclastos de hornblenda e titanita. Destaca-se a abundância de cristais de apatita incluídos nos porfiroclastos e na biotita presente na foliação, assim como cristais granulares entre cristais subidiomórficos de hornblenda (porção inferior da fotografia). Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



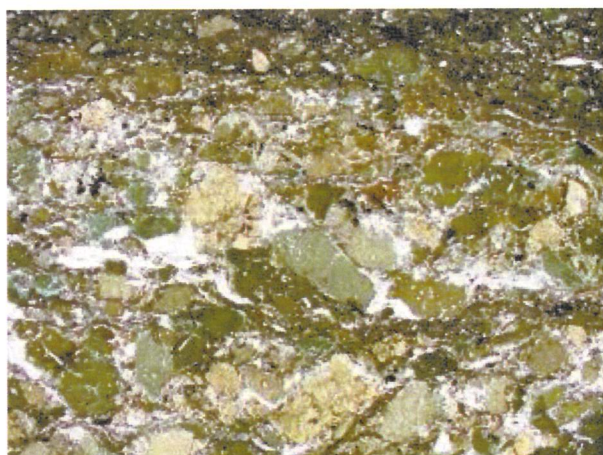
(40) Amostra 13C₁: Profusão de apatita granular equidimensional entre cristais de hornblenda. Polarizador descruzado. Lado maior = 3,25 mm.



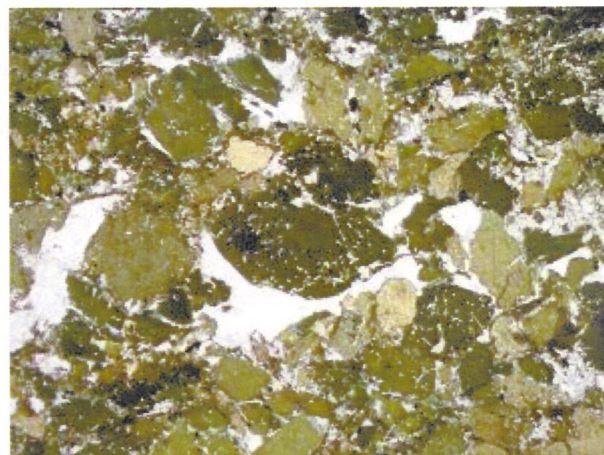
(41) Amostra 10: Inclusões de augita na hornblenda com destaque para posições distintas de extinção. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(42) Amostra 10: Inclusões de augita na hornblenda com destaque para posições distintas de extinção. Polarizador cruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(43) Amostra 13C₁: Variação na textural deformacional da hornblenda, com ela apresentando-se como porfiroclasto ou cominuída junto com a biotita. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.



(44) Amostra 13C₁: Outra textura deformacional onde os não nota-se biotita pequena e xenomórfica e cristais estão mais regulares, entretanto a quantidade de apatita é abundante. Polarizador descruzado. Lado maior = 10,40 mm.

7. GEOQUÍMICA DE ROCHAS

Para auxiliar no entendimento dos processos atuantes na geração das segregações sieníticas da Pedreira de Piracaia, as análises químicas das diferentes rochas ali presentes foram comparadas com as tendências geoquímicas gerais do plúton. Para isto, foram utilizadas análises do acervo de dados do orientador, em parte apresentadas no Trabalho de Formatura de Bruno Salmoni (2007), além de amostras inéditas coletadas para este projeto.

Os resultados analíticos para as rochas da Pedreira de Piracaia são apresentados na Tabela (em anexo) e na Figura 8. Os diagramas de variação química foram confeccionados com base em elementos maiores, menores e traços, tendo como índice de diferenciação SiO_2 , e suas porcentagens em peso foram recalculadas para 100% em base anidra.

7.1. CONSIDERAÇÕES DOS DADOS DE QUÍMICA DE ROCHAS

7.1.1. TENDÊNCIAS GERAIS DO PLÚTON PIRACAIA

As variações geoquímicas observadas no Plúton Piracaia são muito amplas, como indicado pela variação modal entre rochas básicas (dioritos e monzodioritos) e ácidas (quartzo sienitos), e são expressas na variação contínua nos teores de SiO_2 , desde 45% até 72%. Os óxidos constituintes de minerais máficos e da apatita (TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO e P_2O_5) exibem correlações negativas com SiO_2 . Linhas de tendência positivas são observadas para K_2O e, de modo menos acentuado, Na_2O ; enquanto isto, Al_2O_3 , mantém-se relativamente constante, com leve diminuição nos termos mais diferenciados (Figura 8).

Para os elementos traços, observa-se correlação claramente negativa (comportamento compatível) para Ba e Sr. Outros elementos importantes (por exemplo, Nb, Y e Zr) mostram um comportamento incompatível, com algum enriquecimento até composições monzoníticas, mas alguma dispersão ou mesmo diminuição dos teores nas rochas mais diferenciadas (Figura 8).

7.1.2. VARIAÇÃO GEOQUÍMICA NA PEDREIRA DE PIRACAIA

7.1.2.1. ELEMENTOS MAIORES E MENORES

Em muitos diagramas de variação de óxidos dos elementos maiores e menores, o comportamento dos litotipos predominantes na pedreira e das venulações monzoníticas e sieníticas assemelha-se com as tendências gerais observadas no plúton.

As composições do monzodiorito fino e do monzodiorito médio sobrepõem-se às dos monzodioritos do Plúton, mostrando que são rochas equivalentes aos tipos predominantes em Piracaia. Em todos os diagramas de variação nota-se que o monzodiorito médio é mais primitivo que o monzodiorito fino, como indicado pelos menores teores de sílica e maiores de Fe, Mg e Ca. Esta amostra de monzodiorito médio, embora sobreposta à tendência geral, mostra pequenos deslocamentos desta, principalmente para TiO_2 , Al_2O_3 e P_2O_5 .

As duas amostras de vênula monzonítica tendem a apresentar-se entre os monzodioritos e os monzonitos do plúton, concentrando-se em 53% a 55% de SiO_2 . Em alguns diagramas de variação, elas fogem à tendência geral, destacando-se os teores mais altos de CaO, MnO e P_2O_5 e mais baixos de Al_2O_3 . No diagrama de variação referente ao MnO mostra que as venulações monzoníticas distribuem-se mais próximas do campo da profusão de rochas monzodioríticas do plúton, cuja distribuição embarca desde rochas do centro do corpo até rochas da porção Norte e Oeste.

As composições das vênulas sieníticas superpõem-se com os campos dos monzonitos e quartzo monzonitos do plúton, principalmente este, concentrando-se em 56% a 65% de SiO_2 . As distribuições mais anômalas encontram-se nos diagramas de MnO , Na_2O e K_2O . Para MnO observa-se que as venulações situam-se ligeiramente abaixo da tendência geral de Piracaia, deixando a nuvem de pontos mais próxima dos monzonitos. Já os dois últimos óxidos apresentam o comportamento de situarem-se parcial ou totalmente fora da tendência de Piracaia, sendo que os dados de teores de Na_2O tendem a ser um pouco mais baixos, com destaque para uma amostra cujo valor é bem inferior ao do conjunto, e os de K_2O são notoriamente maiores para as vênulas de sienito.

Todas as composições das duas amostras de concentrações de hornblenda situam-se nos extremos das linhas de tendência dos comportamentos compatíveis e incompatíveis com destaque para os elevados teores de TiO_2 , CaO , MnO e P_2O_5 .

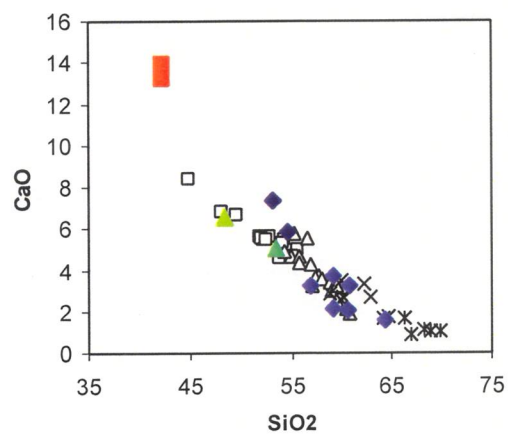
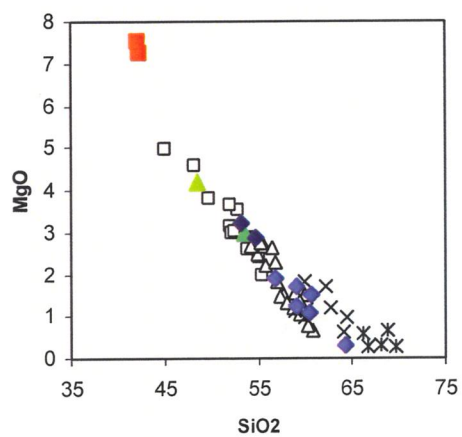
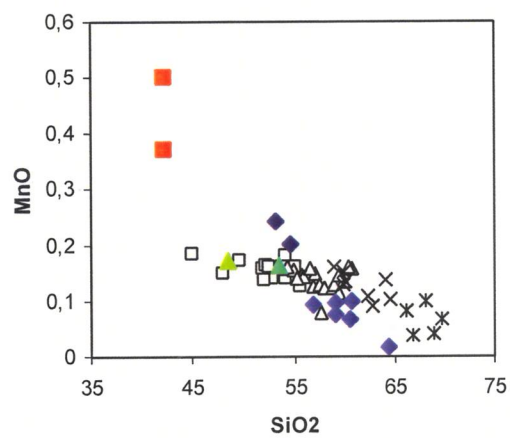
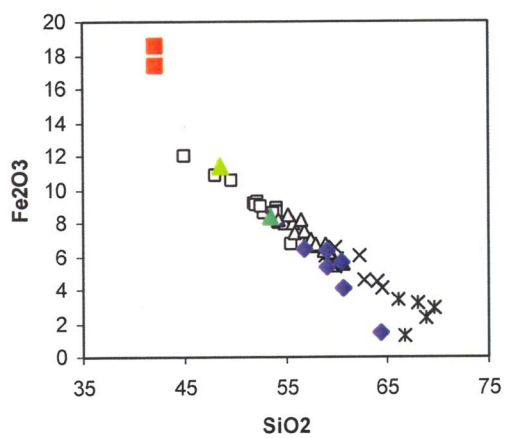
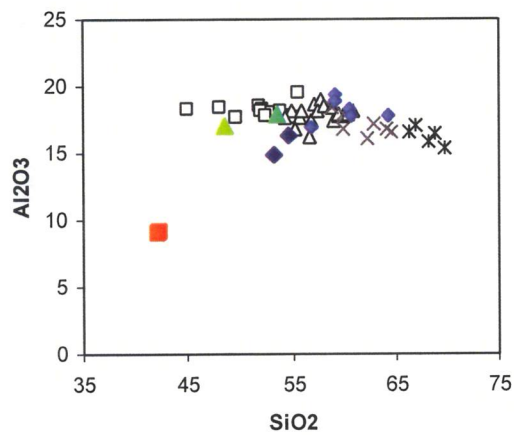
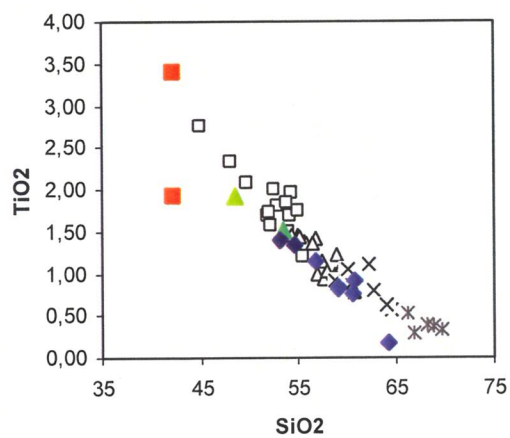
7.1.2.2. ELEMENTOS TRAÇOS

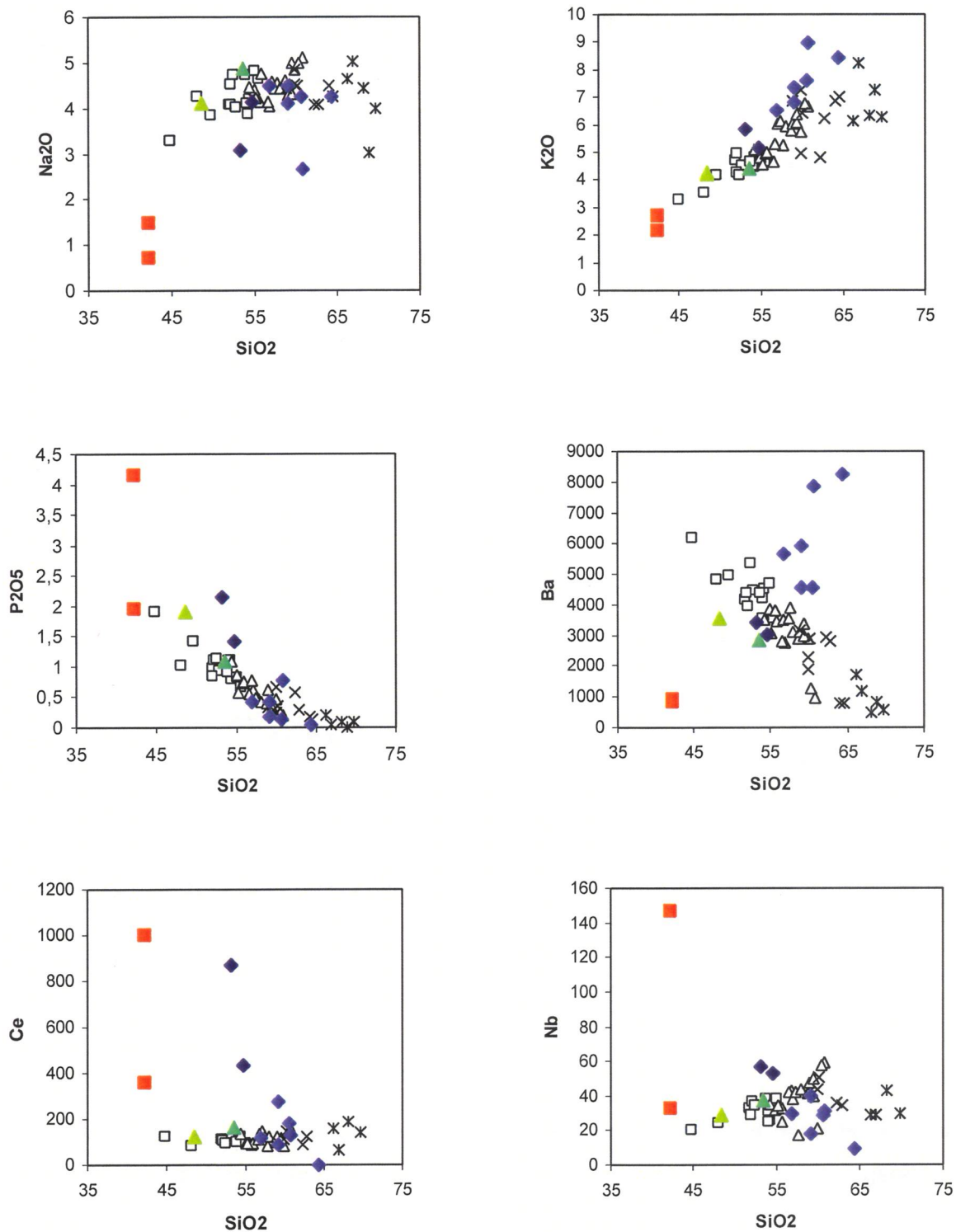
Os teores de elementos traços nas amostras de monzodiorito são também similares aos dos monzodioritos do restante do plúton, mostrando uma vez mais que estas amostras são representativas do litotipo predominante no Plúton Piracaia. Por outro lado, o comportamento dos elementos traços nas vênulas e concentrações de hornblenda é muito contrastante em relação àquele verificado para a tendência geral do plúton para quase todos os elementos traço.

Os padrões distintos mais notórios são os de Ba e Sr, nos quais as linhas de tendência observadas nas amostras da Pedreira são opostas àquelas observadas para o plúton. A correlação positiva observada nas amostras da pedreira está relacionada ao aumento dos teores desse elemento nas vênulas sieníticas, e é paralela ao aumento de K_2O (Figura 8). Também ocorre um pequeno campo no qual há sobreposição de monzodioritos e monzonitos do plúton com monzonitos da pedreira.

Outros elementos traços que também exibem padrões de distribuição anômalos são Ce, Nb, Y e Zr, onde não ficam bem definidas as correlações opostas ao plúton, mas nota-se os valores notoriamente altos para as porções monzoníticas das vênulas (por exemplo, até 110 ppm de Y; 2500 ppm de Zr). Ainda para estes elementos, o intervalo de valores das vênulas sieníticas em relação aos quartzo sienitos do plúton são semelhantes, mas estes tem valores um pouco maiores que as estruturas venuladas. Assim sendo, observa-se uma correlação negativa entre vênulas monzoníticas e sieníticas (Figura 8).

As duas amostras de concentrações de hornblenda, embora distintas, mostram uma tendência de seguir o comportamento dos monzonitos, sendo mais ricas em Ce, Nb, Y e Zr e mais pobres em Ba e Sr que a tendência geral.





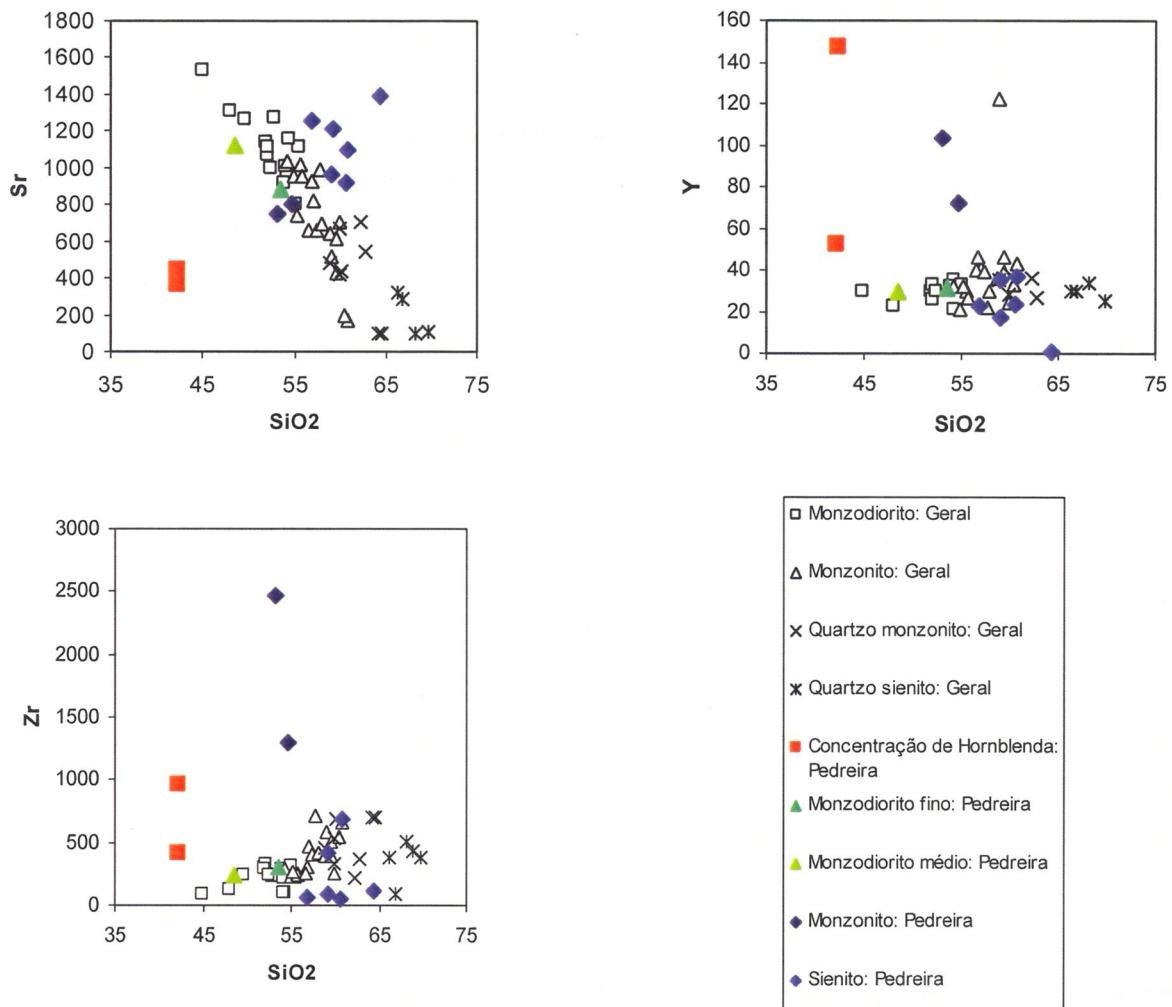


Figura 8: Diagramas de variação química para elementos maiores, menores e traço.

8. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS

8.1. ATIVIDADES DE CAMPO

As observações de campo realizadas na pedreira de Piracaia demonstram que há uma série de estruturas indicativas do mecanismo físico atuante no processo gerador das venulações, como: (a) a desintegração de porções centimétricas monzodioríticas conjuntamente com a assimilação destas pelo monzonito, o qual estaria englobando estes pedaços a partir do topo da “pillow” básica, como ilustrado na Figura 5e; (b) as concentrações de cristais de hornblenda, especialmente aquelas que estão no topo das vênulas sieníticas, cujo contato com a rocha encaixante é abrupto; e (c) as bordas mais escuras de dimensão centimétrica distribuídas simetricamente nas porções inferior e superior das “pillows”.

A interpretação admitida para o mecanismo físico responsável pelo aparecimento das desintegrações supracitadas é semelhante à descrita por Wiebe (1988), onde ocorre a injeção de magma básico em uma câmara magmática granítica parcialmente cristalizada. Nela as “pillows” básicas colapsam por gravidade em direção à base da câmara, resultando na erosão contínua da porção inferior da “pillow”. Em contrapartida, o contato superior da “pillow” mantém-se em contato com uma faixa de magma granítico que provavelmente encontra-se superaquecido. Quando a “pillow” assenta-se na base da câmara, a qual encontra-se muito mais fria, a borda inferior da mesma torna-se achatada. Entretanto, a borda superior foi esticada e fraturada, trazendo magma básico mais quente provindo do interior da “pillow” para a faixa granítica superaquecida sobrejacente. O desenvolvimento deste processo formaria uma interface de mistura entre o magma granítico e o básico.

As concentrações de cristais de hornblenda devem-se a ascensão de voláteis que migram ao longo da venulação e que, ao encontrarem-se na interface com a “pillow” monzodiorítica, acabam reagindo com o magma desta composição e cristalizando hornblenda.

Para as bordas das “pillows” monzodioríticas admite-se uma série de interpretações: (a) a diferença de viscosidade entre os líquidos monzodiorítico e sienítico resulta em fluxo diferencial, registrado em feições de cisalhamento como bordas foliadas com granulação menor e índice de cor maior do que a rocha monzodiorítica predominante na pedreira; (b) processos de difusão de elementos químicos entre os magmas monzodiorítico e sienítico, de modo que houvesse a passagem de elementos de um magma para o outro; (c) borda de resfriamento do monzodiorito, o que parece menos provável em função do pequeno volume de vênulas.

8.2. PETROGRAFIA MICROSCÓPICA E GEOQUÍMICA

As microestruturas e texturas das vênulas monzoníticas e sieníticas foram os aspectos petrográficos que contribuíram para fazer inferências sobre a efetividade dos processos de coexistência de magmas.

As texturas que corroboram com esse processo são: (a) finas injeções da rocha monzodiorítica nas venulações sieníticas, concomitantemente com a presença de cristais euédricos de hornblenda próximos do contato; (b) presença de monzodiorito fino em maior ou menor proporção no interior da venulação monzonítica; e (c) aspecto textural geral do monzodiorito médio, onde tem-se a presença de texturas de mistura de magmas em estágio mais avançado do que aquele observado nos monzonitos.

Uma microestrutura que aponta para outro mecanismo físico distinto daquele verificado na formação das variedades das estruturas venuladas representa-se alternância de bandas formadas exclusivamente por cristais de apatita, augita, hornblenda e titanita,

internamente às concentrações de hornblenda e paralelas ao contato com o monzodiorito fino.

Corroborando com a constatação textural, há ocorrências com concentrações modais anômalas de minerais acessórios tais como allanita, apatita, epidoto, titanita e zircão, em amostras do monzonito e nas concentrações de hornblenda.

Os dados geoquímicos para as composições do monzonito apresentam teores altos dos óxidos de CaO e P_2O_5 e dos elementos traços de Ce, Nb, Y e Zr, que pode ser correlacionado com essas concentrações. Assim sendo, a química de rochas corrobora com as evidências micropetrográficas.

A interpretação para este fato deve considerar os aspectos de campo, a petrografia microscópica e a química de rochas. Assume-se como hipótese explicativa que os cristais de hornblenda e de minerais acessórios tenham originando-se na interface entre a "pillow" monzodiorítica e as venulações, assentando por gravidade em direção ao interior das porções e monzoníticas.

Este processo é consistente com a constatação de campo onde a concentração de hornblenda situa-se na interface entre a porção sienítica da vênula e a "pillow" monzodiorítica, com a micropetrografia onde encontrou-se bandas constituídas unicamente por apatita, augita ou hornblenda alternadas entre si e com a química de rochas, pois a concentração de hornblenda e o monzonito encontram-se enriquecidos para os elementos CaO, P_2O_5 , Ce, Nb, Y e Zr.

A elevada proporção modal de feldspato alcalino nas porções sieníticas das vênulas é bem marcante e responde pelos teores anômalos de Ba, Sr e K_2O em relação à linha de tendência do plúton.

Este enriquecimento em Ba e Sr torna a hipótese de que as vênulas sieníticas e monzoníticas resultem de segregação cristal-líquido de difícil sustentação, pois para que a mesma seja verossímil é necessário que os teores de Ba e, especialmente, Sr fossem baixos em líquidos residuais gerados nas frações mais diferenciadas do magma básico, após fracionamento de feldspatos. Além do mais, um magma mais primitivo a partir do qual obtém-se a extração de líquidos residuais necessita que os produtos da sua diferenciação estejam saturados nos mesmos elementos maiores, menores e traços, e formem uma linha de tendência geoquímica onde todos os pontos representativos dos episódios da diferenciação estejam correlacionados entre si.

Os dados geoquímicos, conjuntamente com a petrografia microscópica, fornecem subsídio que aponta para dois processos magmáticos sucessivos. O primeiro corresponde à coexistência de magmas, sugerido pelas feições estruturais equivalentes às descritas por Wiebe (1988), que explicaria a estruturação em escala de afloramento e corroborado pelo comportamento compatível dos teores de Ba e Sr. Um segundo mecanismo precisaria explicar o comportamento anômalo de elementos químicos residentes nos cristais de

hornblenda e acessórios. Uma possibilidade indicada pela petrografia seria erosão de bandas enriquecidas nesses minerais que se formaram na interface das “pillows” com as vênulas, que poderiam ser concentradas na base monzonítica das vênulas, por gravidade.

9. CONCLUSÃO

A interpretação inicialmente admitida para o mecanismo físico responsável pelo aparecimento das venulações sieníticas era *filter-pressing*, no qual a extração de líquidos residuais a partir dos monzodioritos originava o magma félsico. A hipótese preferida para o surgimento dos cristais maiores de hornblenda associados às interfaces das vênulas seria a formação de cumulos (Salmoni, 2007),

Entretanto, as observações de detalhe das estruturas em escala de afloramento, bem como o estudo de feições semelhantes na literatura, a análise petrográfica e os dados de química de rochas sugerem como hipótese mais plausível que as estruturas venuladas sejam produtos de coexistência magmática, associada a mistura parcial, cujo principal produto deste processo seria o monzonito heterogêneo.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artur, A.C.; Wernick, E.; Souza, S.C.A.; Diefenbach, K.W. 1994. Tipologia de zircão e quimismo do Complexo monzonítico-monzodiorítico Piracaia, SP. *Geociências (UNESP)*, **13(1)**: 167-173.
- Campos Neto, M.C. & Artur, A.C. 1983. A suíte quartzo monzonítica a diorítica de Piracaia (SP). In: Simpósio Regional de Geologia, 4, São Paulo, SP, Sociedade Brasileira de Geologia. *Atas*: 47 a 60.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R. 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics* **19(4)**: 669-687.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Artur, A.C.; Silva, M.E.; Machado, R.; Dias Neto, C.M.; Fragozo Cesar, A.R. 1983. Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. In: *1a Jornada sobre a Carta Geológica do Estado de São Paulo em 1:50.000*. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, SP, PRÓ-MINÉRIO. IPT: 55-79.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Vlach, S.R.F.; Caby, R.; Szabó, G.A.J.; Vasconcelos, P. 2004. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE, Brasil. *Geologia USP: Série Científica*. **4(1)**: 13-40. Disponível em <<http://geologiausp.igc.usp.br/geologiausp/sc1/art.php?artigo=628>>. Acessado em 11 de março de 2009.

- Campos Neto, M.C.; Janasi, V.A.; Basei, M.A.S.; Siga Jr., O. 2007. Sistema de *nappes* Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Rev. Bras. Geoc.*, **37(4)**: 47-60. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/view/12209/8496>>. Acessado em 11 de março de 2009.
- Janasi, V.A. 1986. Geologia e petrologia do maciço monzodiorítico-monzonítico de Piracaia, São Paulo. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. p: 281.
- Janasi, V.A. 1999. Petrogênese de granitos crustais na Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. p: 304.
- Janasi, V.A. & Ulbrich, H.H.G.J. 1987. Petrogenesis of the monzonitic-monzodioritic Piracaia massif, State of São Paulo, southern Brazil: field and petrographic aspects. *Rev. Bras. Geoc.*, **17(4)**: 524-534.
- Janasi, V.A.; Martins, L.; Vlach, S.R.F. 2005. Detailed field work in two outcrops of the Nazaré Paulista anatectic granite, SE Brazil. *Rev. Bras. Geociênc.*, **35(1)**: 99-110. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/view/8640/5998>>. Acessado em 13 de março de 2009.
- Janasi, V.A.; Salmoni, B.; Ulbrich, H.H.G.J. 2007. The role of enriched mantle in the petrogenesis of the post-orogenic Itu Granitic Province, SE Brazil: petrology of the Piracaia Monzodiorite. In: 2007 GSA Denver Annual Meeting, vol. Geological Society of America, Denver, USA, pp CD-ROM.
- Janasi, V.A.; Vlach, S.R.F.; Campos Neto, M.C.; Ulbrich, H.H.G.J. 2009. Associated A-type subalkaline and high-K calc-alkaline granites in the Itu Granite Province, southeastern Brazil: petrological and tectonic significance. *Canadian Mineralogist*, (accepted).
- Martins, L.; Vlach, S.R.F.; Janasi, V.A. 2008. Reaction microtextures of monazite: Correlation between chemical and age domains in the Nazaré Paulista migmatite, SE Brazil. *Chemical Geology*, (in press).
- Oliveira, M.A.F.; Morales, N.; Fúlfaro, V.J.; Campos, E.C. 1985. Projeto Atibaia. Geologia da Quadrícula Atibaia 1:50.000. Relatório Final, vol. 1. DRM-UNESP/PRÓ MINÉRIO. p: 117.
- Salmoni, B. 2007. Evolução Magmática do Plúton Monzonítico-Monzodiorítico de Piracaia (SP). Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. p: 56.
- Salmoni, B. & Janasi, V.A. 2008. Origens das rochas félsicas do Plúton Piracaia, SP: cristalização fracionada, fontes múltiplas e mistura de magmas. In: Congresso

Brasileiro de Geologia, Curitiba, 44, Curitiba, PR, Sociedade Brasileira de Geologia. *Anais* 1: 881.

Wernick, E.; Galembeck, T.M.B.; Godoy, A.M.; Hormann, P.K. 1997. Geochemical variability of the Rapakivi Itu Province, State of São Paulo, SE Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 69: 395-413.

Wernick, E. & Menezes, A.C. 2001. The Late Precambrian K-alkaline magmatism in the Ribeira Fold Belt: a case study of the Piracaia Pluton, State of São Paulo, SE Brazil, and its potential mineralization (Cu, Zn, Gd). *Journal of Asian Earth Sciences*, 19: 347-373.

Wiebe, R.A. 1988. Structural and Magmatic Evolution of a Magma Chamber: The Newark Island Layered Intrusion, Nain, Labrador. *Journal of Petrology* 29(2): 383-411.

ANEXO (TABELA DE DADOS DE QUÍMICA DE ROCHA)

	PPI-TFXII-5 (dup 1)	PPI-TFXII-5 (dup 2)	PPI-TFXII-7A	PPI-TFXII-7B	PPI-TFXII-9B	PPI-TFXII-10	PPI-TFXII-11 (dup 1)	PPI-TFXII-11 (dup 2)	PPI-TFXII-13C	PPI-TFXII-14A	PPI-TFXII-14B	PPI-TFXII-14C	PI-112AA	PI-112AB
SiO ₂	55,78	56,02	58,13	53,44	58,15	41,49	47,34	47,02	40,96	52,33	51,87	59,52	62,50	58,97
TiO ₂	1,120	1,110	0,828	1,317	0,796	3,342	1,869	1,886	1,864	1,486	1,360	0,744	0,166	0,893
Al ₂ O ₃	18,54	18,65	18,00	16,02	17,54	8,98	16,64	16,54	8,78	17,58	14,51	17,53	18,78	16,45
Fe ₂ O ₃	6,30	6,32	6,21	7,75	5,25	18,17	11,13	11,13	16,87	8,24	8,49	5,57	1,46	3,99
MnO	0,091	0,091	0,074	0,198	0,096	0,492	0,169	0,170	0,360	0,160	0,238	0,067	0,016	0,097
MgO	1,86	1,86	1,22	2,81	1,70	7,14	4,11	4,08	7,30	2,92	3,16	1,08	0,3	1,47
CaO	3,18	3,18	2,11	5,74	3,69	13,01	6,40	6,37	13,52	4,92	7,15	2,00	1,55	3,18
Na ₂ O	4,42	4,45	4,43	4,04	4,04	1,44	4,00	3,98	0,70	4,78	2,99	4,17	4,14	2,59
K ₂ O	6,41	6,41	7,25	5,05	6,69	2,11	4,14	4,12	2,61	4,33	5,70	7,46	8,19	8,71
P ₂ O ₅	0,417	0,411	0,165	1,379	0,420	1,920	1,861	1,846	4,016	1,052	2,108	0,127	0,053	0,757
BaO	0,63	0,63	0,51	0,34	0,66	----	0,40	0,40	0,10	0,32	0,38	0,51	----	----
Ce ₂ O ₃	----	----	----	----	----	0,12	----	----	----	----	----	----	----	----
SrO	0,15	0,15	0,11	0,10	0,14	----	0,13	0,13	----	0,10	----	0,11	----	----
ZrO ₂	----	----	----	0,18	----	----	----	----	----	----	0,33	----	----	----
PF	0,66	0,84	0,34	0,80	0,42	1,22	1,15	1,26	1,69	0,75	0,82	0,46	0,48	0,62
Total	99,56	100,12	99,38	99,15	99,60	99,43	99,34	98,93	98,77	98,97	99,11	99,35	97,64	97,73
Ba	5643	5607	4587	3027	5926	827	3553	3562	912	2840	3414	4565	8247	7847
Ce	116	86	275	437	90	1001	121	137	358	164	871	184	<35	128
Co	10	11	<6	12	6	16	22	26	33	12	14	<6	----	8
Cr	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<13	----	
Cu	<5	<5	<5	<5	5	2	12	13	13	7	<5	<5	----	
Ga	16	16	19	17	15	20	17	16	16	19	16	16	13	13
La	40	65	134	227	56	512	71	65	172	65	450	84	<28	104
Nb	30	28	18	53	40	147	29	28	32	38	57	29	<9	31

Nd	46	36	45	103	53	251	77	75	116	65	201	48	<14	56
Ni	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	----	----
Pb	21	20	26	21	26	31	17	19	20	16	25	25	22	24
Rb	101	101	101	94	79	45	94	95	75	128	89	117	99	119
Sc	<14	<14	<14	20	<14	58	16	15	44	15	25	<14	----	----
Sr	1257	1266	964	806	1208	367	1123	1121	443	886	747	921	1387	1094
Th	8	9	20	31	9	65	10	12	23	9	62	14	<7	22
U	3	<3	4	6	4	21	<3	<3	12	<3	12	5	11	11
V	36	52	43	62	64	152	140	136	264	86	50	41	9	47
Y	23	22	18	73	36	147	30	29	53	31	104	24	1	37
Zn	60	60	48	85	45	175	100	101	146	92	94	48	21	45
Zr	70	69	94	1296	415	971	240	240	421	308	2462	53	113	692

DOAÇÃO

IGC-USA

Data: 05/02/10