

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DIQUES DE LAMPRÓFIRO ALCALINO DA REGIÃO DO ARCO DE PONTA
GROSSA: CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA

Saulo Gobbo Menezes

Orientador: Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzone

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2013/44)

SÃO PAULO

2013

TF
M543
SG.d

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DIQUES DE LAMPRÓFIRO ALCALINO DA REGIÃO DO ARCO DE
PONTA GROSSA: CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E
GEOQUÍMICA

Saulo Gobbo Menezes
Saulo Gobbo Menezes



Rogério Guitarrari Azzone

Orientador: Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzone

DEDALUS - Acervo - IGC



30900031901

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2013/44)

SÃO PAULO

2013

1. O Grande Ditador

É uma história de espionagem de um homem que é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

Apresenta-se a Caza por uma série de circunstâncias, para finalmente dar origem a uma nova vida, dando-lhe a vida que ele precisa.

Aqui surge o homem forte, o homem que é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

Aqui surge o homem forte, o homem que é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

Uma apresentação especial para os membros do clube. Caza é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

Aqui surge o homem forte, o homem que é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

Aqui surge o homem forte, o homem que é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

Aqui surge o homem forte, o homem que é o primeiro de um novo tipo de homem que aparece no mundo. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência. Ele é um homem que não se deixa enganar por nada, nem mesmo por sua própria inteligência.

"Nossos conhecimentos fizeram-nos céticos; nossa inteligência, emperdenidos e cruéis. Pensamos em demasia e sentimos bem pouco. Mais do que máquinas,

precisamos de humanidade. Mais do que inteligência, precisamos de afeição e doçura.

Sem essas virtudes a vida será de violência e tudo será perdido."

O Grande Ditador, Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

É difícil escrever os agradecimentos de um trabalho que é o resultado de um processo que começou antes dos estudos para passar no vestibular. Portanto, seja qual for a pessoa que passou por esta caminhada comigo, considere-se parte desta trajetória e deixo aqui meu muito obrigado!

Agradeço primeiramente a Deus por esta etapa concluída, pois independente das minhas posições de hoje, nunca me faltou fé quando foi preciso.

Agradeço a minha família; a meu pai e a minha mãe por toda preocupação e carinho de sempre, e aos meus irmãos Talita, Cristine e Leandro por todo apoio e amizade nas horas mais difíceis, amo vocês. Também deixo um muito obrigado especial para a Bazinha que além de namorada, é minha melhor amiga e companheira!

Ao meu orientador, Prof. Rogério Guitarrari Azzone por todo apoio, paciência, amizade e discussões nestes anos e que ajudaram a nortear este trabalho.

Um agradecimento especial para os ex-moradores do cafofo: Cérebro e Cabeça e para esta casa – verdadeiro coração de mãe – República Astenosfera e meus irmãos adotivos: Dyspaxo, Mussum, Nekão, Águia, Traveca, Bebê, Mormaço, Cabrita e Manja, ex-moradores: Boi, Lester, Rejeito (Bixa Cabeluda) e torresmo, e aos agregados: Pubiano, Chassi, Porpeta, Gargalo, Lara, Buçanha, Dois, Kiko, Cabelinho, Sabugo, Bruna, Intubadah, Xupança e Xana, por todas as festas e companheirismo ao longo destes anos.

Ao Clube de Regatas Santandréia, vulgo “Laranja Mecânica”, e aos companheiros de time, responsáveis por tantas vitórias na areia.

As Repúblicas Cativeiro e Panapia, por todas as festas e amizades feitas durante a graduação.

Aos amigos Du, Oreia, Rafael, Rodney e família, Neguinho, Léo, Doug e Leandrinho, pelos anos de amizade e bons tempos.

Por fim, agradeço a todos os funcionários da limpeza, segurança, biblioteca, gráfica, laboratórios e motoristas do IGc - USP, sem ajuda de vocês a geologia do país pararia!

RESUMO

Este trabalho busca a caracterização petrográfica e geoquímica de diques de lamprófito alcalino relacionados aos eventos magmáticos de idade Meso-Cenozóica no sudeste da plataforma brasileira, ocorrendo intrusivos nas suítes intrusivas alcalinas de Jacupiranga e Juquiá, e no granito Rio Guaraú da suíte intrusiva Graciosa. Os diques possuem zonamento bem marcado, espessuras que variam de 20 cm a 1,0 m e direção NW-SE.

Foram estudadas as diferenças texturais, microestruturais, mineralógicas e geoquímicas presentes entre as diferentes zonas dos diques, a partir das técnicas de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, espectrometria por fluorescência de raios x (FRX) e espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

Os diques de Guaraú e Juquiá são classificados como basanitos monchiquíticos e, geoquimicamente, como basanitos. Já os diques de Jacupiranga são classificados como campto-monchiquito e, geoquimicamente, como tefritos.

Megacristais de clinopiroxênio e olivina são frequentes em todas as ocorrências estudadas. Microtexturas de disequilíbrio nos megacristais de clinopiroxênio e olivina impossibilitam a classificação destes como fenocristais. De outra forma, podem se tratar de xenocristais ou ainda antecristais oriundos de estágios precoces de evolução do líquido inicial mantélico e carregados pelo magma mais fracionado. A existência de aglomerados de megacristais podem representar autólitos, mostrando um possível vínculo destes magmas com algum estágio de câmara magmática anterior e mais profundo à colocação destes diques. Os megacristais influenciam as composições de rocha total, especialmente para o aumento de MgO, Co, Ni e Cr.

Os líquidos calculados, descontando-se a influência destes megacristais são de composição tefrítica para todas as ocorrências. Estes líquidos calculados também sugerem que as diferenças entre centro e borda do dique de Guaraú seriam apenas relacionadas à carga de megacristais, sendo formados por um mesmo pulso magmático. As diferenças geoquímicas entre centro e borda dos diques de Jacupiranga não podem ser explicadas da mesma forma, sendo interpretadas como associadas a mais de um pulso magmático.

Pela modelagem de cristalização fracionada por meio do algoritmo MELTS, os diques de basanito podem evoluir para a composição de tefrito. Porém, o dique de basanito de Guaraú não é associado a um mesmo líquido inicial de Jacupiranga e Juquiá, sendo mais insaturado em SiO_2 e proveniente de fonte mantélica com mais clinopiroxênio. Já o dique de Juquiá apresenta um líquido e fonte mantélicas próximas composicionalmente às do dique de Jacupiranga.

ABSTRACT

This study aims to characterize the petrographic and geochemical features of alkaline lamprophyre dykes related to Meso-Cenozoic magmatic events in the southeastern part of the Brazilian Platform. The selected occurrences are intruded into the alkaline intrusive suites of Jacupiranga and Juquiá, and into the Rio Guaraú granite (Graciosa intrusive suite). The dykes are NW-SE oriented, have well-marked zoned structures and thickness ranging from 20 cm to 1.0 m.

The textural, microstructural, mineralogical and geochemical differences of different dykes and their internal zones were studied using optical microscopy, scanning electron microscopy, X-ray fluorescence spectrometry and mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS).

The Guaraú and Juquiá dykes are petrographically classified as basanite monchiquites. Geochemically, they are basanites. The Jacupiranga dykes are petrographically classified as campto-monchiquites and, geochemically, as tephrites.

Clinopyroxene and olivine megacrysts are typical in all studied occurrences. The chemical disequilibrium microtextures presented in clinopyroxene and olivine megacrysts do not allow their classification as phenocrysts. Possibly, they could be xenocrysts or antecrysts derived from early evolution stages of initial liquids that were transported by a more fractionated magma. The existence of clusters of megacrysts might represent autoliths. The megacryst clusters indicate a possible link of these magmas with some previous and deeper magmatic chamber stage of crystallization. The presence of megacrysts influences the whole-rock geochemical compositions, especially with an increase of MgO, Co, Ni and Cr contents.

A calculated liquid without the interference of megacrysts indicate a tephrite composition for all occurrences. The calculated liquids also indicate that geochemical differences of center and rims of Guaraú dyke are related only to the concentration of megacrysts. The calculated liquids from Jacupiranga dikes could not be explained by the same way, and the geochemical differences between core and rims are interpreted due to more than one magmatic pulse.

Trends of magmatic evolution were developed using MELTS algorithm. Equilibrium crystallization models indicate that the studied basanites can evolve to tephrite compositions. However, the Guaraú basanite dyke is not associated with the same initial liquid composition and evolutive trend of Jacupiranga and Juquiá dykes. The Guaraú dyke is more SiO₂-unsaturated and is linked with a mantle source with more modal clinopyroxene. The Juquiá dyke presents a liquid and mantle source compositionally close to the Jacupiranga dyke.

ÍNDICE

Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas	vi
I - INTRODUÇÃO	1
II - OBJETIVOS	2
III - MATERIAIS E MÉTODOS	3
III.1 Trabalho de Campo	3
III.2 Microscopia Ótica	3
III.3 Análise geoquímica.....	5
III.3.1 Preparação das amostras	5
III.3.2 Análise de elementos maiores e traços (FRX).....	5
III.3.3 Análise de elementos traços (ICP-MS)	5
III.3.4 Tratamento dos dados geoquímicos	6
III.3.5 Análises de perda ao fogo.....	6
III.4 Microscopia eletrônica de varredura – MEV	7
IV – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
IV.1 - Geologia regional	7
IV.2 - Contexto magmático local	9
IV.2.1 - Trabalhos prévios	9
IV.2.2 - Geologia local	9
V - RESULTADOS.....	12
V.1 - Petrografia e análise modal.....	12
V.1.1 - Lamprófiros do Granito Rio Guaraú.....	12
V.1.2 - Lamprófiros da Suíte Intrusiva Jacupiranga	19
V.1.3 - Lamprófiros da Suíte Intrusiva Juquiá	25
V.1.4 - Sumário petrográfico	28
V.2 - Geoquímica	29
V.2.1 - Classificação química	29

V.2.2 - Mineralogia normativa	30
V.2.3 - Diagramas bivariantes mg# vs elementos maiores, menores e traços	31
V.2.4 – Diagramas multi - elementos e terras raras	36
VI - DISCUSSÃO FINAL	38
VI.1 - Classificação petrográfica vs. geoquímica	38
VI.2 - Origem dos megacristais	39
VI.3 – Influência dos megacristais na composição geoquímica	41
VI.3.1 – Variações entre centro e borda dos diques	41
VI.3.2 – Cálculo do líquido	41
VI.4 – Cristalização fracionada	44
VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
VIII - REFERÊNCIAS	51
ANEXO I TABELAS DE DADOS GEOQUÍMICOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Contexto tectônico do magmatismo alcalino Mesozóico do Arco de Ponta Grossa (modificado de Almeida, 1986). O enxame de diques e os principais complexos alcalinos são assim indicados: 1) e 2) diques inferidos por trabalhos de campo e sensoriamento remoto, respectivamente; 3) complexos alcalinos: BIT – Barra do Itapirapuã, BN – Banhadão, BT – Barra do Teixeira, CN – Cananéia, IP – Ipanema, IT – Itapirapuã, JC – Jacupiranga, JQ – Juquiá, MP – Mato Preto, PAR – Pariquera-Açu, TU – Tunas; I – Embasamento Cristalino; II – Bacia do Paraná; III – Derrames Basálticos. <i>Inset</i> apresenta as principais feições estruturais do sul do Brasil. B) Mapa de localização da área de estudo (detalhe de A) com as principais estruturas da região e os respectivos pontos amostrados de ocorrência de lamprófiros, no interior das Suítes Intrusivas alcalina-carbonatítica de Juquiá e Jacupiranga e do Maciço Guaraú. Mapas retirados de Ruberti <i>et al.</i> (2005)	8
Figura 2. Mapa geológico da Suíte Intrusiva Juquiá (Beccaluva <i>et al.</i> , 1992, modificado de Born, 1971).....	10
Figura 3. Mapa geológico da Suíte Intrusiva Jacupiranga (Germann <i>et al.</i> , 1987, modificado de Melcher, 1966).....	11
Figura 4. Mapa geológico da Suíte Intrusiva Graciosa, Granito Rio Guaraú. Retirado de Faleiros e Pavan (2013).	12
Figura 5. Afloramento do dique 1 em pedra desativada no Maciço Guaraú. O croqui mostra a localização das amostras coletadas.....	15
Figura 6. Croqui esquemático com a localização das amostras coletadas no dique 2 em pedra	15
Figura 7. Aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Granito Rio Guaraú. A- Contato do dique com a rocha encaixante com pseudomorfo de olivina serpentizado e textura fluidal próximo ao contato. Amostra APG-500G D2. B- Ocelo com forma amebóide composto por carbonato. Amostra APG-500I D2 C- Microfenocrystal de biotita zonada e clinopiroxênio da matriz. Amostra APG-500J D2. D- Matriz composta por clinopiroxênio, biotita, titanita. Amostra APG-500J D2. E- Megacrystal de olivina corroído em desequilíbrio com o sistema. Amostra APG-500J D2. F- Variação granulométrica com feições associadas a alteração hidrotermal. Amostra APG-500I D2, Bi: Biotita, Cpx: Clinopiroxênio; E: Rocha encaixante; Ol: Olivina; Ca: Carbonato, Ti: Titanita, Ur: Uralita, Spt: Serpentina.....	17
Figura 8. Imagens de elétrons retroespalhados destacando os aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Granito Rio Guaraú. A – Microcristal de olivina zonada próximo ao contato com a encaixante. B – Megacristais de clinopiroxênio zonados e em alguns casos corroídos próximo a rocha encaixante. C – Aglomerado de megacristais de clinopiroxênio. D – Megacrystal de clinopiroxênio zonado distante do contato com encaixante e em matriz mais grossa. E – Composição da matriz da rocha em amostra da borda do dique, porém distante da encaixante. F – Ocelo zonado composto por dolomita nas regiões externas e calcita no centro, há também magnetita na borda. Cpx: Clinopiroxênio; Ol: Olivina; Ca: Carbonato, Do: Dolomita; CrE: Cromo-espinélio; Mgt: Magnetita; Ab: Albita; Anf: Anfibólio.....	18

- Figura 9. Afloramento *in situ* do dique 1, na região sul da Suíte Intrusiva Jacupiranga com respectivo croqui com a localização das amostras.19
- Figura 10. Afloramento *in situ* do dique 2, na região sul da Suíte Intrusiva Jacupiranga com respectivo croqui com a localização das amostras.20
- Figura 11. Aspectos microscópicos mineralógicos e texturais dos diques de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa - Suíte Intrusiva Jacupiranga. A- Fenocristal de clinopiroxênio zonado em dois setores em matriz composta por feldspato e mesóstase. Amostra APG-501G D2. B- Fenocristal de clinopiroxênio zonado na borda do dique e em contato com a encaixante. Amostra APG-501E D1. C- Textura glomeroporfírica com predomínio de fenocristais de clinopiroxênio. Amostra APG-501G D2. D- Xenólito da encaixante próximo ao contato composto por feldspato alcalino, biotita, piroxênio e titanita. Amostra APG-501K D3. E- Contato da borda do dique de lamprófiro com a encaixante evidenciando a feição de corrosão da encaixante com pseudomorfo de olivina serpentinizado e textura esferulítica de clinopiroxênio. Amostra APG-501K D3. F- Megacristal de olivina parcialmente alterado com substituição por biotita e serpentina. Amostra APG-501J D2, Cpx: Clinopiroxênio; E: Rocha encaixante; Ol: Olivina; Bt: Biotita;23
- Figura 12. Imagens de elétrons retroespalhados destacando os aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Suíte Intrusiva Jacupiranga. A – Megacristal de clinopiroxênio zonado em amostra da borda. B – Aglomerado de megacristais de clinopiroxênio próximo a rocha encaixante. C – Megacristal de clinopiroxênio zonado no contato com a rocha encaixante, com reequilíbrio químico próximo à fratura do megacristal. D – Cristal de clinopiroxênio da matriz com forte zonamento e núcleo com forma irregular. E – ocelo com forma amebóide composto por albita, feldspato potássico e magnetita. F – Ocelo com forma globular composto por albita, feldspato potássico e magnetita. . Cpx: Clinopiroxênio; Mgt: Magnetita; Ab: Albita; FK – Feldspato Potássico; Bt: Biotita.24
- Figura 13. Aspectos microscópicos mineralógicos e texturais dos diques de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa. A- Megacristal de olivina e microfenocristais de olivina e clinopiroxênio, destacando a textura predominante panidiomórfica. Amostra APG- 11. B- Megacristal zonado de clinopiroxênio zonado. Amostra APG- 11. C- Textura glomeroporfírica com predomínio de megacristais de olivina. Amostra APG- 11. D- Ocelo como forma circular, composto por analcima, carbonato e biotita. Amostra APG- 11. Ol: Olivina, Cpx: Clinopiroxênio, An: Analcima, Ca: Carbonato, Bi: Biotita e Spt: Serpentina.26
- Figura 14. Imagens de elétrons retroespalhados destacando os aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Suíte Intrusiva Juquiá A - Detalhe das inclusões e matriz de megacristal de clinopiroxênio. B - Megacristal de clinopiroxênio zonado. C - Megacristal de clinopiroxênio zonado com reequilíbrio químico no núcleo do megacristal. D - Aglomerado de megacristais clinopiroxênio e olivina arredondado. E - Aglomerado de megacristais de clinopiroxênio em contato paralelo. F - Detalhe da matriz e borda de olivina manteeda por biotita. Legenda: Ol: Olivina, Cpx: Clinopiroxênio, An: Analcima, FK: Feldspato Potássico, Bt: Biotita, Mgt: Titano - Magnetita e CrE: Cromo - Epinélio.27
- Figura 15. Diagrama TAS de classificação para rochas vulcânicas. Os dados apresentados na região cinza são de trabalhos compilados da província Serra do Mar (Azzone, 2008, Gibson *et al.* 1999, Lima, 2001, Thompson *et al.* 1998, Alves, 1996, Bellieni *et al.* 1990 e

Garda, 1995), enquanto os dados em (x) são diques correlatos do plug Erongo na Namíbia (Trumbull <i>et al.</i> 2003).	29
Figura 16. Diagrama De La Roche R1 – R2 de classificação para rochas vulcânicas. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15. Os dados apresentados na região cinza são de trabalhos compilados da província Serra do Mar (Azzone, 2008, Gibson <i>et al.</i> 1999, Lima, 2001, Thompson <i>et al.</i> 1998, Alves, 1996, Bellieni <i>et al.</i> 1990 e Garda, 1995), enquanto os dados em (x) são diques correlatos do plug Erongo na Namíbia (Trumbull <i>et al.</i> 2003).	30
Figura 17. Diagramas bivariantes de elementos maiores vs. mg#. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.....	32
Figura 18. Diagramas bivariantes para elementos traços vs. mg#. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.....	34
Figura 19. Diagramas multi-elementos normalizados para manto primitivo de Sun & McDonough (1989).....	37
Figura 20. Diagramas terras - raras normalizados para o condrito C1 de Boynton (1984). Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15, sendo A – Guaraú, B – Guaraú, Jacupiranga e Juquiá, C – Guaraú e Juquiá, e D - Jacupiranga.	38
Figura 21. Diagramas de classificação geoquímica TAS (A e B) e R1-R2 (C e D), com os dados de líquidos calculados e de rocha total. Símbolos das figuras B e D iguais aos da legenda da Figuras 15.....	43
Figura 22. Diagramas de classificação TAS e R1 – R2 com as trajetórias de evolução magmática modelada pelo MELTS. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.....	47
Figura 23. Diagramas bivariantes para Al ₂ O ₃ e CaO vs. MgO de rocha total e líquidos calculados com as trajetórias de evolução modeladas pelo MELTS. Símbolos iguais aos das legendas das Figuras 15 e 21.	49
Figura 24. Diagrama de CaO/Al ₂ O ₃ vs. SiO ₂ , mostrando diferenças no líquido inicial e na fonte mantélica dos diques. A) Dados de geoquímica de rocha-total. B) Líquidos calculados descontando-se a proporção de megacristais. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Correlação entre os tipos de lamprófiros e o ambiente tectônico de formação. Retirado de Rock (1987).	2
Tabela 2. Amostras utilizadas para análises macroscópica, microscópica e modal com as respectivas localidades, tipo de ocorrência e número das amostras.	4
Tabela 3. Resultados das análises por LECO em amostras com baixa perda ao fogo.	6
Tabela 4. Análise modal dos diques de Guaraú, Jacupiranga e Juquiá. Abreviações: Me.: Megacristais, Mt.: Matriz e Tot.: Total.	22
Tabela 5. Sumário destacando as principais diferenças texturais e minerais dos diques de lamprófiro amostrados.	28
Tabela 6. Sumário destacando as principais diferenças mineralógicas e modais entre a borda e o centro de cada dique de lamprófiro por localidade. Legenda: Ol.: Olivina, Cpx.: Clinopiroxênio, Bt.: Biotita, Pl.: Plagioclásio, Vid.: Vidro ou Mesóstase, Op.: Opacos, Kae.: Kaersutita e T.: Total modal tirado das tabelas 3, 4 e 5 que serviu como base para o cálculo em cada caso.	28
Tabela 7. Classificação e nomenclatura de lamprófiros baseado na composição mineralógica, retirado de Le Maitre (2002).	39
Tabela 8. Temperaturas de saturação em piroxênio entre centro e borda dos diques das três regiões.	44
Tabela 9. Dados do modelo de fracionamento em equilíbrio. Amostra de borda do dique 2 de Jacupiranga modelado a uma pressão de 1 Kbar, fugacidade de oxigênio = QFM. Dados de fases minerais em % peso. Ol: Olivina, Sp: Espinélio, Cpx: Clinopiroxênio, Ap: Apatita, FK: Feldspato potássico, Lc: Leucita e Bt: Biotita.	45
Tabela 10. Dados do modelo de fracionamento em equilíbrio. Amostra do centro do dique 1 de Jacupiranga modelado a uma pressão de 1 Kbar, fugacidade de oxigênio = QFM. Dados de fases minerais em % peso. Ol: Olivina, Sp: Espinélio, Cpx: Clinopiroxênio, Ap: Apatita, FK: Feldspato potássico e Bt: Biotita.	46
Tabela 11. Dados do modelo de fracionamento em equilíbrio. Amostra da borda do dique de Guaraú, modelado a uma pressão de 1 Kbar, fugacidade de oxigênio = QFM. Dados de fases minerais em % peso. Ol: Olivina, Sp: Espinélio, Cpx: Clinopiroxênio, Ap: Apatita, FK: Feldspato.	46
Tabela 12. Dados geoquímicos (óxidos, % em peso; traços, em ppm) dos diques de lamprófiro do Arco de Ponta Grossa.	I
Tabela 13. Mineralogia normativa dos diques de lamprófiro do Arco de Ponta Grossa.	IV
Tabela 14. Dados de líquidos calculados e suas respectivas mineralogias normativas.	VI

I - INTRODUÇÃO

Lamprófiros constituem um grupo diversificado de rochas que quimicamente não podem ser facilmente separados das outras rochas ígneas normais. Segundo Le Maitre (2002), estes tem sido distinguidos pelas seguintes características: (1) normalmente ocorrem como diques e apresentam variedades texturais pouco comuns às rochas ígneas plutônicas e vulcânicas mais usuais; (2) são porfíricas, mesocráticas a melanocráticas ($M' = 35-90$), raramente ultramáficas ($M' > 90$); (3) feldspatos e/ou feldspatóides, quando presentes, são restritos à matriz; (4) usualmente contém biotita e/ou anfibólio e algumas vezes piroxênio como minerais essenciais; (5) alterações hidrotermais de olivina, piroxênio, biotita, e plagioclásio (quando presente) são comuns; (6) calcita, zeólitas e outros minerais hidrotermais podem aparecer como fases primárias; (7) tendem a apresentar relativamente altas concentrações de K_2O e/ou Na_2O , H_2O , CO_2 , S, P_2O_5 , e Ba.

O modo de ocorrência geralmente se dá em diques, sills, stocks e em margem de grandes intrusões; a associação com brechas também é comum. Tais diques são muitas vezes caracterizados por apresentar zonalidade interna, indicando diferenciação por fluxo magmático ou múltiplas intrusões. No centro dos diques há elevada concentração de fenocristais e matriz muito fina, contendo principalmente feldspatos, feldspatóides e vidro ou mesóstase, configurando a típica textura porfírica destas rochas. Apresentam também, estruturas globulares identificadas como ocelos, formados em muitos casos por carbonatos e zeólitas. Nas laterais dos diques há bordas de resfriamento que possuem granulação muito fina a afanítica, produzida pelo congelamento do magma em contato com a rocha encaixante.

Segundo Rock (1987), a mineralogia dos lamprófiros é caracterizada por anfibólio, biotita e flogopita e também por minerais ricos em F, Cl, SO_3 , CO_2 e H_2O como haletos, carbonatos, sulfatos e zeólitas. Minerais com alto teor de Al, Ti, Fe^{3+} e Ba em feldspatos alcalinos, anfibólios, flogopitas e clinopiroxênios são característicos. Fenocristais de minerais máficos (olivina, clinopiroxênio, anfibólio), composição geoquímica global com altas concentrações de álcalis e elementos incompatíveis também são diagnósticos destes tipos.

Há, segundo Rock (1987), três famílias de lamprófiros classificados a partir de critérios mineralógicos e geoquímicos da rocha, sendo: cálcio-alcalinos, alcalinos e ultramáficos.

Tectonicamente, os lamprófiros são associados principalmente a eventos distensivos intraplaca (tabela 1), como processos de rifteamento, ocorrendo associados a falhas, embora também ocorram em ilhas oceânicas e periferias de faixas orogênicas.

Tabela 1. Correlação entre os tipos de lamprófiros e o ambiente tectônico de formação. Retirado de Rock (1987).

Ambientes Tectônicos	Lamprófiros Calcio-Alcalinos	Lamprófiros Alcalinos	Lamprófiros Ultramáficos	Lamproitos
<i>Ilhas Oceânicas</i>	-	X	X	-
<i>Arcos de Ilha</i>	X	X	X	?
<i>Falhas Transcorrentes</i>	-	-	-	-
<i>Faixas Orogênicas</i>	X	-	-	-
<i>Crátons Continentais</i>	-	-	?	?
<i>Zonas de Rifteamento</i>	X	X	X	X

O Arco de Ponta Grossa, situado no sudeste do Brasil foi alvo de intenso magmatismo alcalino e alcalino-carbonatítico durante o Cretáceo (Gomes et al. 2011), gerando as principais ocorrências alcalinas da região: Jacupiranga, Juquiá e Pariquera-Açu. Associado a este magmatismo alcalino encontram-se os diques de lamprófiro, que foram estudados neste trabalho e que ocorrem entre as cidades de Juquiá e Jacupiranga.

O presente trabalho caracteriza estas ocorrências de lamprófiros, que contam ainda com poucos estudos de detalhe, investigando as variações entre centro e borda dos diques e a origem dos megacristais, tão importantes para a definição e classificação dos lamprófiros, contribuindo para o avanço no conhecimento destas rochas alcalinas da região.

II - OBJETIVOS

O presente trabalho teve como foco estudar os diques de lamprófiros da região entre as cidades de Juquiá-SP e Jacupiranga-SP (Figura 1), situados no contexto magmático da região do Arco de Ponta Grossa (Gomes & Comin-Chiaramonti 2005) por meio do estudo petrográfico e geoquímico de detalhe. São ressaltadas as principais zonalidades encontradas nestes corpos, com o intuito de compreender aspectos de suas evoluções magmáticas, como variações modais, a origem de seus megacristais e fracionamento mineral.

Diferenças texturais, microestruturais, mineralógicas e geoquímicas presentes entre as diferentes zonas foram avaliadas a partir das técnicas de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura, espectrometria por fluorescência de raios x (FRX) e espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

III - MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas em atividades de campo por volta de cinquenta amostras. Destas foram encaminhadas para laminação quarenta, sendo analisadas em estudo petrográfico vinte e duas amostras, como mostra a tabela 2, enquanto as outras lâminas foram utilizadas a fim de caracterizar apenas possíveis variações texturais e mineralógicas. Foram analisadas amostras representativas da borda e centro para cada um dos cinco diques amostrados.

Para as análises de microscopia eletrônica de varredura - MEV foram escolhidas seis lâminas representativas (Tabela 2), que possuem feições de interesse para o estudo.

Para geoquímica, foram preparadas dezenove amostras, sendo dezessete de lamprófiros e duas das encaixantes. As amostras de lamprófiro são representativas de borda e centro para cada um dos cinco diques estudados.

III.1 Trabalho de Campo

Para a realização da atividade de campo, foram utilizados mapas topográficos 1:50.000 de Jacupiranga (SG-22-X-B-VI-2) e Guaraú (SG-22-X-B-VI-4), e o mapa geológico da folha de Juquiá (SG-23-V-A-I-4), bem como artigos com localizações aproximadas dos diques em mapas geológicos, a fim de auxiliar no planejamento e execução da atividade de campo.

A amostragem foi realizada conforme indicado por Potts (1986) com o tamanho das amostras de no mínimo 10x o maior megacristal da rocha, significativa para a preparação de análises geoquímicas. Também foi realizada a catalogação com a localização exata das amostras nos diques por meio de croquis, distinguindo as amostras centro e borda, como mostra a Tabela 2.

III.2 Microscopia Ótica

O estudo de seções delgadas ao microscópio petrográfico de luz transmitida, foi realizado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, no Laboratório de Microscopia Ótica. O equipamento utilizado nas análises petrográficas foi um microscópio da marca Olympus, modelo BX40, com campo visual entre 4,4 e 0,44 mm e aumento máximo de até 400x.

Também foram efetuadas fotomicrografias, a fim de ilustrar e representar as principais variações mineralógicas, texturais e microestruturais com microscópio BX-50 da Olympus, com objetivas de 1,25X, 4X, 10X e 40X.

Para quantificar as variações modais entre os litotipos estudados, foram escolhidas sete amostras dentre as dezesseis que compreendem o projeto, sendo uma amostra da

borda e uma do centro de um mesmo dique para cada local de ocorrência. As análises foram feitas com o objetivo de quantificar as variações mineralógicas e texturais, seguindo-se a sistemática proposta por Chayes (1956).

Tabela 2. Amostras utilizadas para análises macroscópica, microscópica e modal com as respectivas localidades, tipo de ocorrência e número das amostras.

Localidade	Tipo de Ocorrência		Amostra	Petrografia	MEV	Geoquímica
Guaraú	Afloramento in situ	Dique 1	Centro	APG-500 C	X	
			Borda	APG-500 A	X	X
		Dique 2	Centro	APG-500 F	X	X
			Borda + Encaixante	APG-500 C	X	X
			Borda	APG-500 B	X	X
			Centro	APG-500 J	X	X
			Borda + Encaixante	APG-500 G	X	X
Jacupiranga	Afloramento in situ	Dique 1	Centro	APG-501 D	X	X
			Borda	APG-501 C	X	X
			Borda + Encaixante	APG-501 E	X	X
			Encaixante	APG-501 F	X	X
		Dique 2	Centro	APG-501 G	X	X
			Centro	APG-501 H	X	X
			Borda	APG-501 I	X	X
			Borda	APG-501 J	X	X
			Borda + Encaixante	APG-501 K	X	X
			Encaixante	APG-501 KE	X	X
Juquiá	Blocos	3 Pontos de amostragem	Centro?	APG-10A	X	X
				APG-10B1	X	X
				APG-10B2	X	X
				APG-11	X	X
				APG-12	X	X

A análise levou em consideração os principais minerais constituintes dos lamprófiros, sendo estes olivina, piroxênio, plagioclásio, anfibólio, biotita e opacos, incluindo também vidro e/ou mesóstase.

A análise modal foi feita a partir da contagem sistemática de cristais, por meio de perfis longitudinais nas lâminas, procurando cobrir toda a amostra com passo entre pontos de 0,3 mm e espaçamento entre os perfis de 0,3 mm, procurando atingir 1000 pontos contados por amostra. Esse número, segundo Chayes (1956), é representativo para quantificar rochas vulcânicas.

Foram feitos em média 22 perfis em cada lâmina, com a finalidade de se obter 1000 pontos amostrados, estando indicados nas tabelas quantos pontos foram analisados em cada lâmina.

“Outros” na Tabela 4 representam predominantemente a assembleia hidrotermal das rochas (carbonato, titanita e uralita), minerais que constituem os ocelos, (e.g. carbonatos, analcima, sulfetos) e acessórios (e.g. apatita).

Duas populações principais de cristais foram separadas nestas análises: megacristais e matriz. Os megacristais representam apenas os cristais com tamanho macroscopicamente anormal em relação aos demais (10x o tamanho da matriz). Na coluna matriz, constam minerais que ocorrem na matriz da rocha, bem como microfenocristais menores que 10x o tamanho da matriz.

III.3 Análise geoquímica

III.3.1 Preparação das amostras

Foram preparadas dezenove amostras seguindo as recomendações do Laboratório de Tratamento de Amostras do GMG, passando pelos processos de britagem (APG- 501F D1) e as demais amostras por prensa, seguido por quarteamento por quarteador e moagem (<200 mesh) em moinho de ágata evitando a contaminação de elementos traços, de interesse neste estudo.

III.3.2 Análise de elementos maiores e traços (FRX)

As análises de rocha total por fluorescência de raios X foram obtidas no Laboratório de Fluorescência de raios X – FRX do Geoanalítica – USP com equipamento automático Philips, modelo PW2400.

Para as análises de elementos maiores, foram feitas pastilhas fundidas a partir do material moído obtido durante a preparação das amostras e misturado com fundente composto por metaborato e tetraborato de lítio, sendo fundidos em cadinhos de platina.

Para obtenção de elementos-traço e ETR (Elementos Terras-Raras) leves, o material moído passou pela micronização de aproximadamente 3g do material moído, seguido por secagem em estufa com álcool. Adicionou-se posteriormente à secagem, 0,6g de parafina, sendo homogeneizada com a amostra e, em seguida, levado à prensa para confecção da pastilha prensada. Maiores detalhes sobre preparação encontram-se em Mori *et al.* (1999).

III.3.3 Análise de elementos traços (ICP-MS)

Análises por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) para química de rocha total de traços. Foi realizada no Laboratório de Química e ICP do IGc – USP, equipado com o instrumental ELAN 6100 DRC da Perkin Elmer. Foi separada uma alíquota de 100 mg de cada amostra para o ataque ácido em forno de microondas.

III.3.4 Tratamento dos dados geoquímicos

Os dados geoquímicos encontram-se na Tabela 12 onde há os resultados para elementos maiores, menores (% em peso) e traços (ppm). O tratamento dos dados geoquímicos foi realizado com auxílio do *software* Excel 2011 e os diagramas de classificação a partir do *software* GCDkit 3.00. Os dados de mineralogia normativa foram obtidos a partir de planilha Excel específica segundo as recomendações da IUGS (Le Maitre, 2002) e estão apresentados na Tabela 13. A partição entre Fe^{2+} e Fe^{3+} para este cálculo foi feita com base na fórmula de Le Maitre (1976).

III.3.5 Análises de perda ao fogo

As análises de perda ao fogo (P.F.) foram obtidas no Laboratório de Química e ICP do Geoanalítica – USP, equipado com balança de precisão 0,0001g, mufla e estufa. As amostras foram colocadas em estufa, sendo retirada a água não estrutural, seguido pela pesagem inicial e colocadas em mufla para aquecimento por 20 min a 1000°C para remoção de H_2O e voláteis estruturais. Por fim, as amostras foram novamente pesadas, sendo obtida a perda ao fogo pela diferença de massa inicial e final.

Possíveis erros decorrentes do procedimento dependem da precisão da balança utilizada, sua correta manipulação, e da premissa de que todas as fases voláteis tenham sido liberadas sob as condições de temperatura impostas.

Porém, algumas amostras apresentaram resultados de P.F. baixos (Tabela 12). Magmas lamprofíricos são característicos por apresentarem altos teores de voláteis e, por isso, esperavam-se altos valores de P.F. Visando o entendimento da razão destes valores baixos, foram feitas análises por Difração de raios X no material residual da perda ao fogo das amostras com menor fechamento de P.F. As análises por Difração de raios X não apresentaram bons resultados, não identificando possíveis fases com voláteis não liberados, sendo descartadas.

Para melhor precisar a quantidade de voláteis das amostras, duas amostras representativas da baixa P.F. foram selecionadas para análise por LECO no Laboratório de Química e ICP do Geoanalítica – USP. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das análises por LECO em amostras com baixa perda ao fogo.

Amostra	%C (Total)	%H (Total)	%H ₂ O (Total)	%S (Total)
APG-501GD2	0,075 ± 0,004	0,134 ± 0,021	1,20 ± 0,19	0,379 ± 0,050
APG-501KD2	0,032 ± 0,005	0,096 ± 0,018	0,858 ± 0,16	0,162 ± 0,015

A Tabela 3 mostra altas concentrações de H_2O e S no material analisado. Pelo processo de perda ao fogo, por algum motivo ainda desconhecido, estes elementos estão precipitando no material residual, influenciando a ocorrência de baixos valores de P.F. Desta

forma, para as demais análises com baixos conteúdos de P.F., há grande possibilidade de os valores estarem subestimados.

III.4 Microscopia eletrônica de varredura – MEV

As imagens de elétrons retroespalhados foram obtidas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências – USP, a partir do equipamento LEO 4401 e um espectrômetro de energia dispersiva de raios X Oxford para obtenção de análises semi-quantitativas. As condições durante a operação do MEV foram: tensão de aceleração de 20 kV com uma corrente de 6 - 8 nA.

IV – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

IV.1 - Geologia regional

A ativação tectono-magmática Mesozóica da Plataforma Sul-Americana (Almeida, 1983, 1986) provocou intenso vulcanismo em toda esta, gerando diversos tipos de magmatismo.

Na porção sudeste da Plataforma Sul-Americana ocorreram extensos vulcanismos basálticos de composição toleítica, preenchendo a Bacia do Paraná (Marques & Ernesto, 2004). Concentrados nas bordas destas bacias ocorrem enxames de diques de diabásio. Ainda nestas margens de bacias estão distribuídas as suítes intrusivas alcalinas, desenvolvida principalmente por reativações de falhas, arqueamento e flexuras (Figura 1).

Sabe-se que há uma grande quantidade de ocorrências alcalinas na porção meridional da Plataforma Sul-Americana, sendo ao menos cem ocorrências. Destacam-se por sua área, dentre estas ocorrências, os maciços Poços de Caldas (800 km²), Itatiaia (330 km²) e Passa Quatro (165 km²), todos de composição predominantemente nefelina sienítica (Alves *et al.*, 1992). Além dos maciços extensos citados, há numerosas intrusões de diques alcalinos.

Neste contexto, encontra-se a região do Arco de Ponta Grossa. Segundo Coutinho (2008), este Arco corresponde a uma junção tríplice, sendo o braço N-S (braço sul, na costa do Paraná-Santa Catarina) e o Arco de Ponta Grossa (NW-SE) (Figura 1), compostos principalmente por diques de diabásio, enquanto o braço NE-SW (braço norte na costa de São Paulo-Paraná) possui predominantemente diques de lamprófito alcalino.

O soerguimento do Arco de Ponta Grossa foi resultado do intenso vulcanismo basáltico da Formação Serra Geral, estando relacionado a um regime de esforços distensivos (Riccomini, 1995a, b) que originou falhas normais e rifteamento. Segundo Coutinho (2008), as principais intrusões alcalinas da região estão também associadas a estas zonas de rifte. Devido a este regime de esforços, segundo Almeida (1983), foram gerados quatro lineamentos principais com direção N40-60W: Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonso e Rio Piqueri (Figura 1).

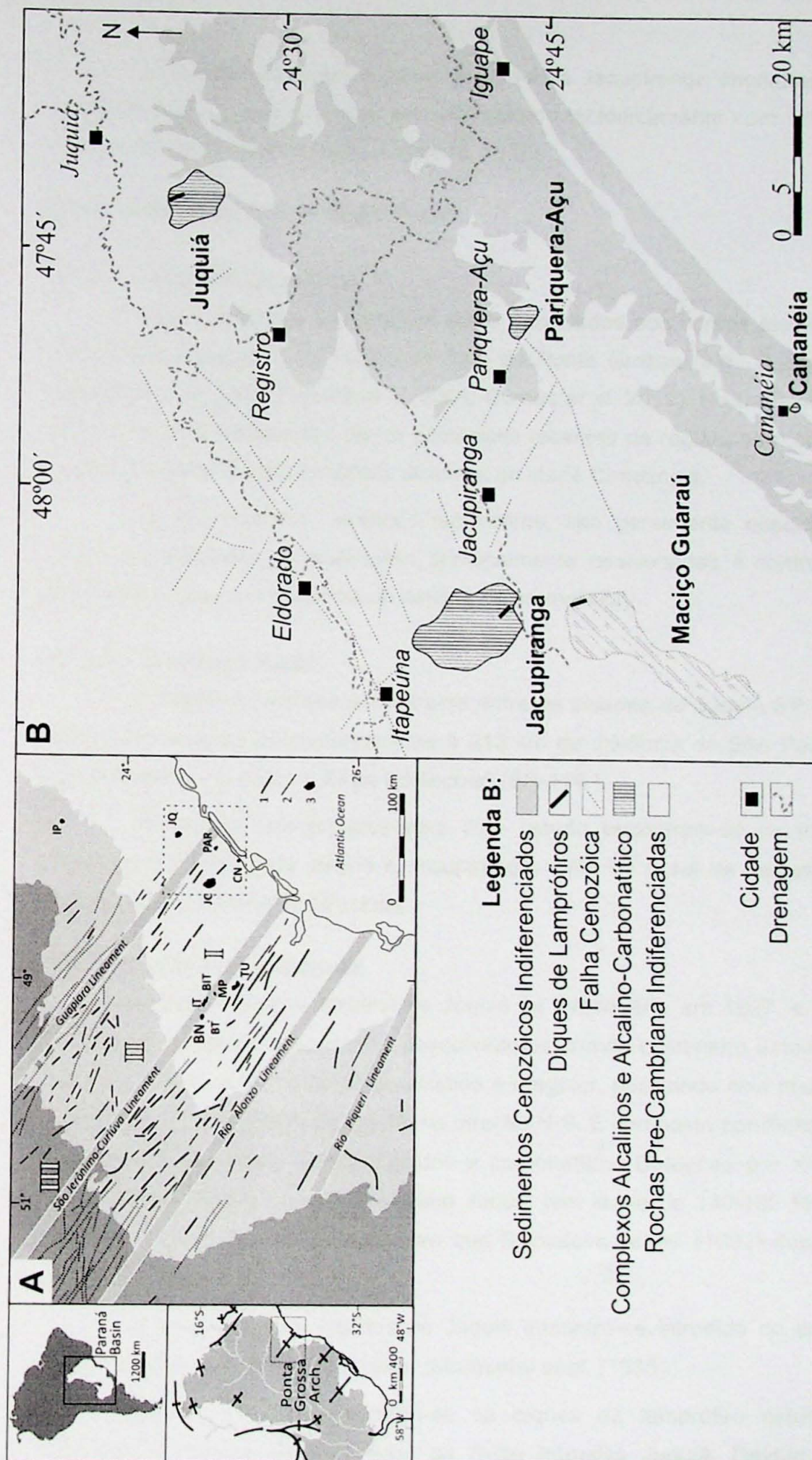


Figura 1. A) Contexto tectônico do magmatismo alcalino Mesozóico do Arco de Ponta Grossa (modificado de Almeida, 1986). O enxame de diques e os principais complexos alcalinos são assim indicados: 1) e 2) diques inferidos por trabalhos de campo e sensoriamento remoto, respectivamente; 3) complexos alcalinos: BIT – Barra do Itapirapuã, BN – Banhado, BT – Barra do Teixeira, CN – Cananéia, IP – Ipanema, IT – Itapirapuã, JC – Jacupiranga, JC – Juquía, MP – Mato Preto, PAR – Pariqueira-Açu, TU – Tunas; I – Embasamento Cristalino; II – Bacia do Paraná; III – Derrames Basálticos. *Inset* apresenta as principais feições estruturais do sul do Brasil. B) Mapa de localização da área de estudo (detalhe de A) com as principais estruturas da região e os respectivos pontos amostrados de ocorrência de lamprófiros, no interior das Suites Intrusivas alcalina-carbonatítica de Juquía e Jacupiranga e do Maciço Guaraú. Mapas retirados de Ruberti *et al.* (2005).

As suítes intrusivas alcalinas de Juquiá e Jacupiranga encontram-se ao longo do lineamento de Guapiara, o qual está relacionado tectonicamente com o limite nordeste do Arco de Ponta Grossa (Ferreira & Algarte, 1979).

IV.2 - Contexto magmático local

IV.2.1 - Trabalhos prévios

Vários trabalhos petrológicos estão associados aos corpos alcalinos plutônicos de idade Meso-Cenozóica da região do Arco de Ponta Grossa (e.g., Beccaluva *et al.* 1992; Morbidelli *et al.* 2000; Ruberti *et al.* 2005; Gomes *et al.* 2011). No trabalho de Gomes *et al.* (2011), há uma síntese dos dados geológicos recentes da região, bem como novos dados, com maior detalhe para as rochas alcalinas de idade Cenozóica.

Diques alcalinos, incluindo lamprófiro, são geralmente descritos nessa região, sendo apresentadas considerações principalmente relacionadas a controles geoquímicos, sem tanta ênfase em trabalhos de detalhe de petrografia.

IV.2.2 - Geologia local

A região amostrada encontra-se entre as cidades de Juquiá-SP e Jacupiranga-SP (Figura 1), estando aproximadamente a 215 km de distância de São Paulo-SP e podendo ser acessada pela rodovia Régis Bittencourt (BR-116).

Os diques selecionados para este estudo encontram-se no interior das Suítes alcalina-carbonatítica de Juquiá e Jacupiranga, além de a sul de Jacupiranga, no Maciço Guaraú da Suíte intrusiva Graciosa.

IV.2.2.1 - Suíte Intrusiva Juquiá

A Suíte Intrusiva Alcalina de Juquiá foi descoberta em 1927, e desde então vem despertando a atenção de muitos pesquisadores, sendo o primeiro estudo de detalhe feito por Born (1971). A forma do corpo alcalino é irregular, possuindo eixo maior com 6,0 km na direção E-W e eixo menor de 5,5 km na direção N-S. É composto por rochas alcalinas como: piroxenitos, peridotitos, sienitos, ijolitos e carbonatitos. Datações por K-Ar (Gomes *et al.* 1990) indicam que o complexo alcalino Juquiá tem idade de 130-135 Ma. Neste contexto encontram-se os diques de lamprófiro que Beccaluva *et al.* (1992) descrevem na região como basanitos.

A Suíte Intrusiva Alcalina de Juquiá encontra-se intrudida no embasamento Pre-Cambriana do Arco de Ponta Grossa (Morgental *et al.* (1975).

Neste contexto, encontram-se os diques de lamprófiro estudados, ocorrendo intrusivos no olivina clinopiroxenito da Suíte Intrusiva Juquiá. Devido ao alto grau de

alteração, não foi possível encontrar diques “*in situ*”, apenas blocos; porém, Beccaluva *et al.* (1992) descrevem na região diques de basanitos, fonotefritos e fonolitos sem qualquer orientação predominante e com espessuras de 1-2 metros, tratando-se provavelmente dos mesmos diques amostrados (Figura 1).

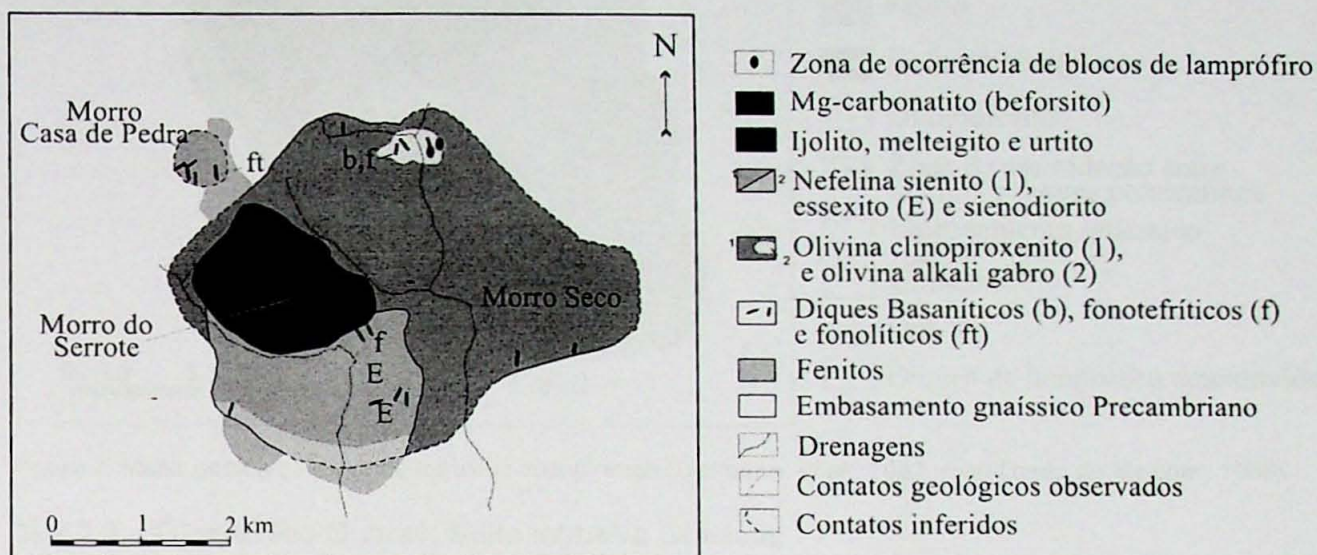


Figura 1. Mapa geológico da Suíte Intrusiva Juquiá (Beccaluva *et al.*, 1992, modificado de Born, 1971).

IV.2.2.2 - Suíte Intrusiva Jacupiranga

A Suíte Intrusiva Jacupiranga foi primeiramente visitada por Bauer (1877 *apud* Morgental *et al.* 1975), mas o principal estudo realizado no maciço foi feito por Melcher (1954 e 1965).

A suíte intrusiva Jacupiranga ocorre cerca de 10 km a oeste da cidade de Jacupiranga, São Paulo. Segundo Morgental *et al.* (1975), possui uma área aflorante de 65 km² e forma semelhante a um elipsoide alongado, com eixo maior na direção N25°W.

Segundo Faleiros & Pander (2013) a Suíte Intrusiva Jacupiranga ocorre intrudida em rochas Neoproterozóicas da unidade de micaxistos da Formação Turvo-Cajati e em um biotita granito porfíritico da Suíte Intrusiva Itapeúna. É composto por clinopiroxenitos ou jacupiranguitos, dunitos (predominantes) associados a carbonatitos, rochas alcalinas insaturadas (ijolitos e melteigitos), gabros, sienitos e rochas subvulcânicas alcalinas como lamprófiros, fonolitos, essexitos e teralitos, além de fenitos tardios. Datações por K/Ar (Amaral *et al.* 1978), indicam que esta suíte possui idade de 131 Ma.

Neste contexto encontram-se os diques de lamprófiro estudados, que ocorrem “*in situ*” e intrusivos em sienitos com espessuras de 20-60 cm, com forte zoneamento entre a borda e o centro e direção NW (Figura 2).

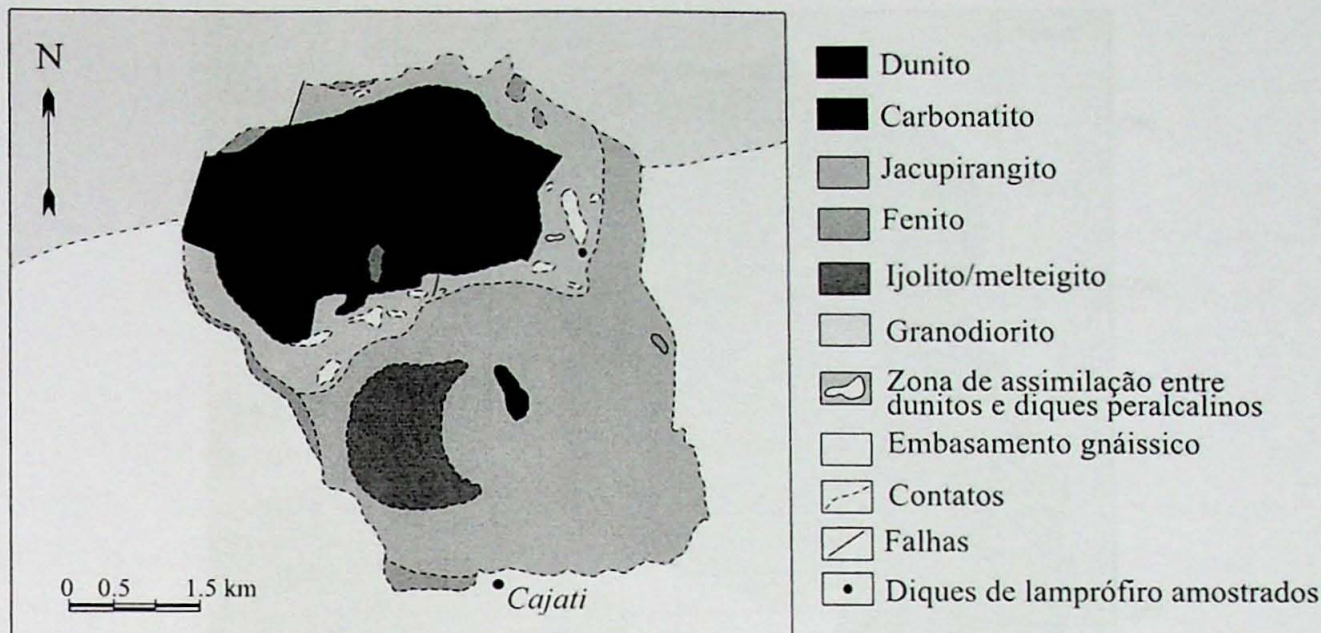


Figura 2. Mapa geológico da Suíte Intrusiva Jacupiranga (Germann *et al.*, 1987, modificado de Melcher, 1966).

IV.2.2.3 – Granito Rio Guaraú, Suíte Intrusiva Graciosa

O Granito Rio Guaraú, pertencente à Suíte Intrusiva Graciosa, possui uma área de 100 km² e forma alongada, com eixo maior na direção N37E (Figura 3) (Faleiros e Pavan, 2013). Possui contato intrusivo, principalmente com gnaisses Paleoproterozóicos do Complexo Atuba. É dividido entre a unidade Desemborque situada na porção NE do maciço e classificado por Pedroso-Garcia (2011) como sienogranitos, e a unidade Azeite, situada nas porções E e S do maciço (Oliveira *et al.* 1987), composta por biotita álcali granito róseo (Vasconcelos *et al.* 1999). A Suíte Intrusiva Graciosa é datada por U/Pb em 580 ± 20 Ma (Kaul, 1997).

Diques mesozóicos intrudem o maciço, incluindo diques de diabásio e diques de lamprófiro. Este segundo tipo é o principal alvo do estudo deste trabalho, com direção N-NW, apresentando forte zonamento entre a borda e o centro, com forma irregular e espessura variável de 20 cm até 1,2m (Figuras 5 e 6).

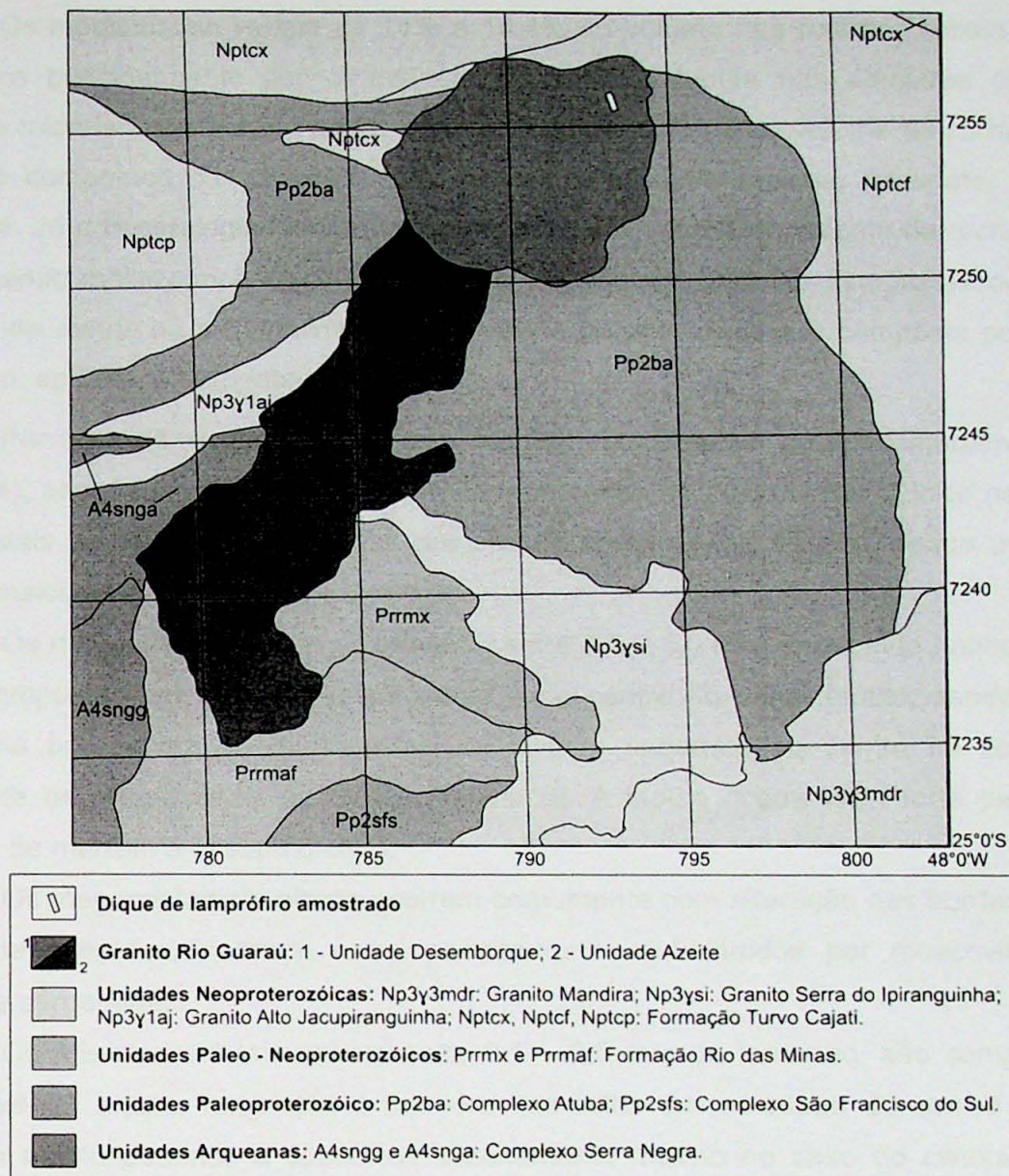


Figura 3. Mapa geológico da Suíte Intrusiva Graciosa, Granito Rio Guaraú. Retirado de Faleiros e Pavan (2013).

V - RESULTADOS

V.1 - Petrografia e análise modal

V.1.1 - Lamprófiro no Granito Rio Guaraú

V.1.1.1 - Basalto

Ocorrendo em dique (Figura 5) “*in situ*”, apresenta cor preta a marrom escuro, sem zonamento entre centro e borda e com 20 cm de espessura. A textura presente em todas as amostras é inequigranular, seriada e intersertal, devido à presença de vidro ou mesostase nos interstícios dos cristais de plagioclásio da matriz. Há aglomerados de megacristais de clinopiroxênio em algumas porções da rocha.

Os megacristais variam de 14% a 14,4% do volume nas rochas (Tabela 4) e são compostos principalmente por olivina, clinopiroxênio e biotita nas amostras de centro, enquanto microfenocristais e a matriz variam de 85,6% a 86% do volume da rocha (Tabela 4) e são compostos por clinopiroxênio, biotita, mesóstase, opacos, feldspato, apatita e kaersutita. Já a mineralogia hidrotermal varia entre 0,6 – 2,4% do volume da rocha (Tabela 4), possuindo maior concentração nas bordas dos diques, ocorrem sempre associada aos minerais da matriz ou a megacristais de olivina e clinopiroxênio e é composta por biotita, carbonato, epídoto, e serpentina.

Por ser uma rocha com granulometria fina, índice de cor de aproximadamente 60% (Tabela 4), sem feldspatóide e quartzo e com presença de plagioclásio cálcico na matriz e megacristais de olivina, tal basalto é classificado como olivina basalto, sendo um tipo de rocha transicional entre alcalina e toleítica.

Os megacristais variam de tamanho entre 0,5 – 1,0 mm, possuindo hábito euédrico e são compostos por olivina, clinopiroxênio e no centro do dique biotita, sendo que nas bordas há predomínio de megacristais de olivina, enquanto no centro há contribuição importante de megacristais de biotita (Tabela 6). A biotita ocorre com forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro.

Os megacristais de olivina ocorrem comumente com alteração nas bordas. Quando totalmente alterados, ocorrem como pseudomorfos substituídos por muscovita, biotita, epídoto e serpentina.

Os microfenocristais variam entre 0,1 – 0,5 mm de tamanho, são compostos por clinopiroxênio, biotita, magnetita e também kaersutita em amostras de centro do dique, possuem hábito euédrico a subédrico e zonamento interno no caso do clinopiroxênio. A biotita possui forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro, assim como os cristais de kaersutita.

A matriz possui tamanho menor que 0,1 mm e é composta por clinopiroxênio, biotita, magnetita, plagioclásio e vidro. O hábito é subédrico a anédrico, ocorrendo alguns cristais de clinopiroxênio e biotita com hábito euédrico. Os cristais de clinopiroxênio da matriz podem ocorrer com ou sem zonamento interno.

O plagioclásio, possui hábito ripiforme e tamanho de 10 – 100 μm é o principal constituinte da mesóstase na análise modal, sendo facilmente reconhecido por imagem de retroespalhados.

Microestruturas globulares ocorrem com tamanho de 0,5 mm. Podem apresentar zonamento ou não. Quando zonado é composto por plagioclásio e dolomita na borda e calcita no centro, ocorrendo minerais da matriz mantendo estas microestruturas. Quando uniforme, é composto por plagioclásio e magnetita. Em ambos os casos há deformação da textura local da matriz, ocorrendo minerais da matriz ao redor destas microestruturas.

V.1.1.2 - Lamprófiro

Ocorrendo em afloramento "*in situ*" (Figura 6), apresenta cor cinza a preta com estrutura maciça e por vezes algumas estruturas globulares preenchidas por carbonato.

A textura presente em todas as amostras é panidiomórfica e intersertal, devido à presença de vidro ou mesóstase nos interstícios. No contato com a encaixante, apresenta textura fluidal (Figura 6A), marcada pela orientação de megacristais de olivina, clinopiroxênios zonados.

Os megacristais variam de 3,7% a 25,8% do volume nas rochas (Tabela 4) e são compostos principalmente por olivina, clinopiroxênio e biotita nas amostras de centro, enquanto microfenocristais e a matriz variam de 74,2% a 96,3% do volume da rocha (Tabela 4) e são compostos por clinopiroxênio, biotita, mesóstase, opacos, feldspato, apatita e kaersutita. Já a mineralogia hidrotermal varia entre 7,0 – 8,2% do volume da rocha (Tabela 4), com maior concentração nas bordas dos diques, e ocorrem sempre associadas aos minerais da matriz ou a megacristais de olivina e clinopiroxênio, e é composta por carbonato, uralita, epídoto, titanita e serpentina.

Segundo a classificação da IUGS (Le Maitre 2002), estes diques de lamprófiros são classificados como monchiquitos devido principalmente à presença de vidro ou mesóstase intersticial. Ainda, segundo a classificação de lamprófiros alcalinos de Rock (1987), podem ser classificados também como basanitos monchiquíticos devido à maior ocorrência de vidro em relação ao plagioclásio e à menor ocorrência de minerais hidratados.

Os megacristais variam de tamanho entre 0,5 – 2,2 mm, possuindo hábito euédrico e são compostos por olivina, clinopiroxênio e no centro do dique biotita, sendo que nas bordas há predomínio de megacristais de olivina, enquanto no centro há contribuição importante de megacristais de biotita (Tabela 6). Zonamentos internos são comuns em clinopiroxênio e biotita, podendo também ocorrer em alguns casos na olivina (Figura 7A). Inclusões de opacos (Cr, Fe, Ti) ocorrem no clinopiroxênio e na olivina. Há cristais de clinopiroxênio com feições de núcleo corroído. A biotita ocorre com forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro.

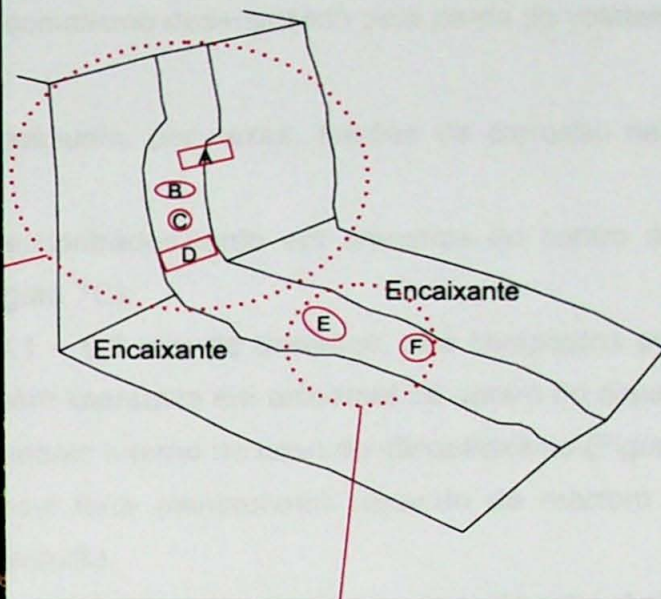


Figura 5. Afloramento do dique 1 em pedra desativada no Maciço Guaraú. O croqui mostra a localização das amostras coletadas.

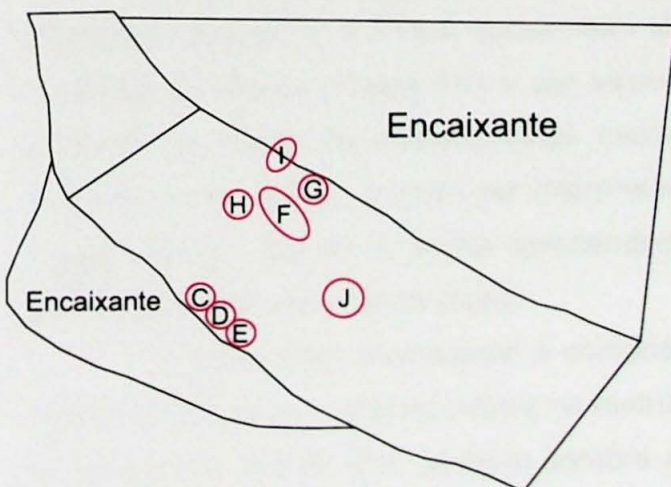


Figura 6. Croqui esquemático com a localização das amostras coletadas no dique 2 em pedra desativada no Maciço Guaraú.

Os megacristais de olivina ocorrem comumente alterados (Figura 6A) ou corroídos (Figura 6E). Quando alterados, ocorrem como pseudomorfos substituídos por carbonato, muscovita, biotita, epidoto e serpentina. Segundo Orejana *et al.* (2008), este processo de alteração da olivina é causado por autometassomatismo desenvolvido pela perda de voláteis do magma.

Os megacristais de clinopiroxênio possuem, por vezes, feições de corrosão nas bordas (Figura 7B).

Aglomerados de megacristais são encontrados tanto em amostras do centro do dique, como de contato com a encaixante (Figura 7C).

Os microfenocristais variam entre 0,1 – 0,5 mm de tamanho, são compostos por clinopiroxênio, biotita, titanomagnetita e também kaersutita em amostras de centro do dique, possuem hábito euédrico a subédrico e zonamento interno no caso do clinopiroxênio (Figura 7B) e da biotita (Figura 6C). A biotita possui forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro, assim como os cristais de kaersutita.

A matriz possui tamanho menor que 0,1 mm e é composta por clinopiroxênio, biotita, titanomagnetita, apatita, feldspato potássico, plagioclásio, analcima e vidro. O hábito é subédrico a anédrico, ocorrendo alguns cristais de clinopiroxênio, apatita e biotita com hábito euédrico. Os cristais de clinopiroxênio da matriz podem ocorrer com ou sem zonamento interno.

Os feldspatos são plagioclásio, quando este apresenta geminação lei da albita, ou feldspato alcalino, possuindo hábito ripiforme e tamanho de 10 – 100 μm . A analcima ocorre nos interstícios da matriz geralmente associada a cristais de feldspato potássico e com tamanho menor que 100 μm . Possivelmente sua formação está associada a processos hidrotermais no vidro (Figura 7E).

Microestruturas globulares (Figura 6B) ocorrem com forma ameboide a globular e tamanho em geral de 0,5 mm, apresentam um zonamento composto por dolomita na borda e calcita no centro (Figura 7F) e por vezes alteram a textura local da rocha, ocorrendo minerais da matriz mantendo estas microestruturas. Estas microestruturas globulares, segundo Foley (1984), podem ser interpretadas como proveniente de uma segregação de magma tardio, devido à forma arredondada a sinuosa, zonamento composicional e à alteração da textura local da rocha.

A assembleia hidrotermal é composta por epidoto, serpentina, muscovita, titanita, uralita e carbonato. A titanita ocorre na matriz (Figura 6D) com hábito euédrico, assim como os cristais de uralita, que ocorrem sempre associados à alteração de clinopiroxênio. Esta assembleia indica que a zona de alteração hidrotermal é a propilitica, sendo que no caso da substituição dos megacristais de olivina, trata-se de uma alteração pervasiva seletiva, enquanto que a ocorrência de veios de epidoto representa um processo de alteração fissural e provavelmente tardio.

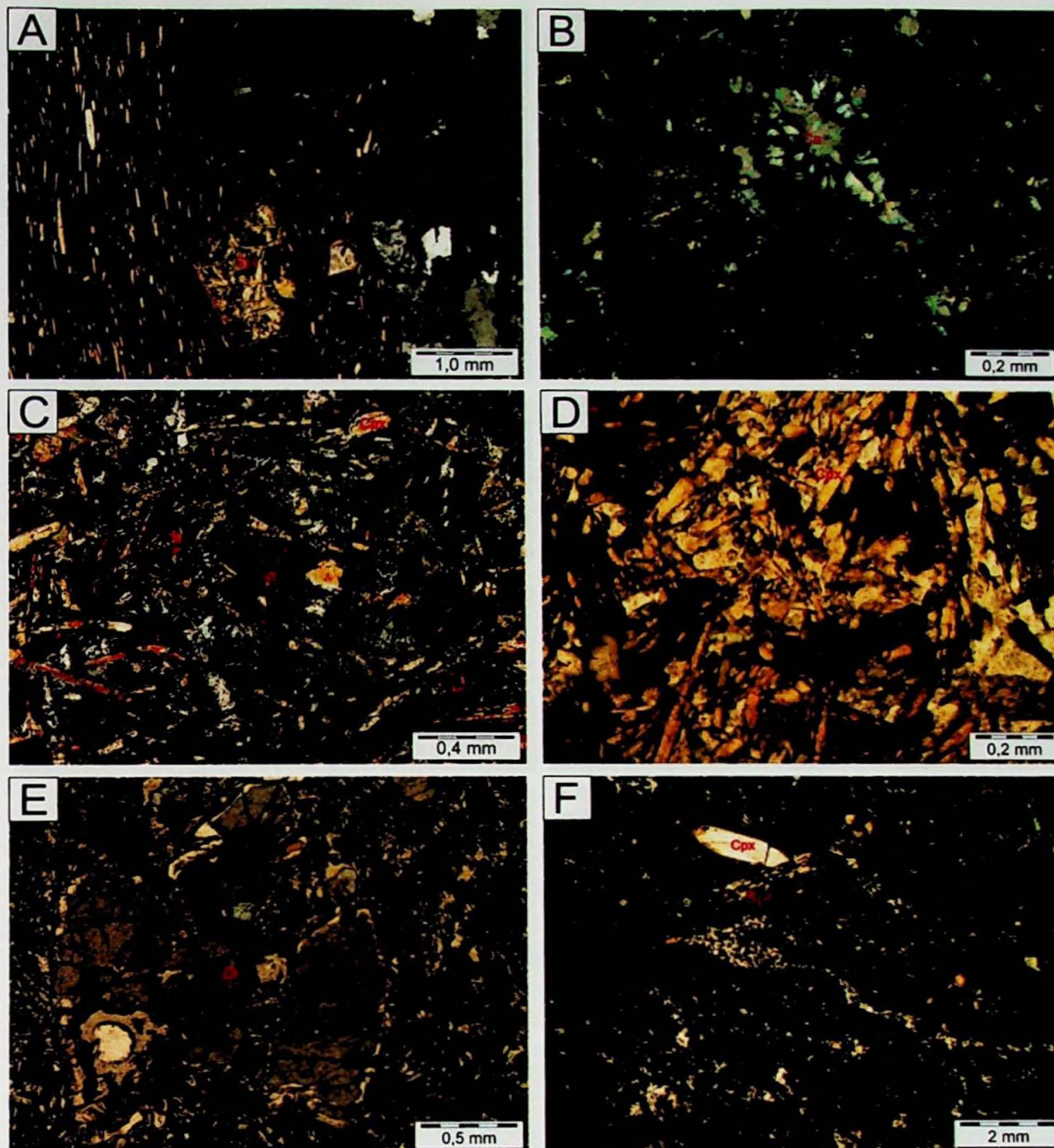


Figura 6. Aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Granito Rio Guaraú. A- Contato do dique com a rocha encaixante com pseudomorfo de olivina serpentizada e textura fluidal próximo ao contato. Amostra APG-500G D2. B- Ocelo com forma amebóide composto por carbonato. Amostra APG-500I D2. C- Microfenocristal de biotita zonada e clinopiroxênio da matriz. Amostra APG-500J D2. D- Matriz composta por clinopiroxênio, biotita, titanita. Amostra APG-500J D2. E- Megacristal de olivina corroído em disequilíbrio com o sistema. Amostra APG-500J D2. F- Variação granulométrica com feições associadas a alteração hidrotermal. Amostra APG-500I D2, Bi: Biotita, Cpx: Clinopiroxênio; E: Rocha encaixante; Ol: Olivina; Ca: Carbonato, Ti: Titanita, Ur: Uralita, Spt: Serpentina.

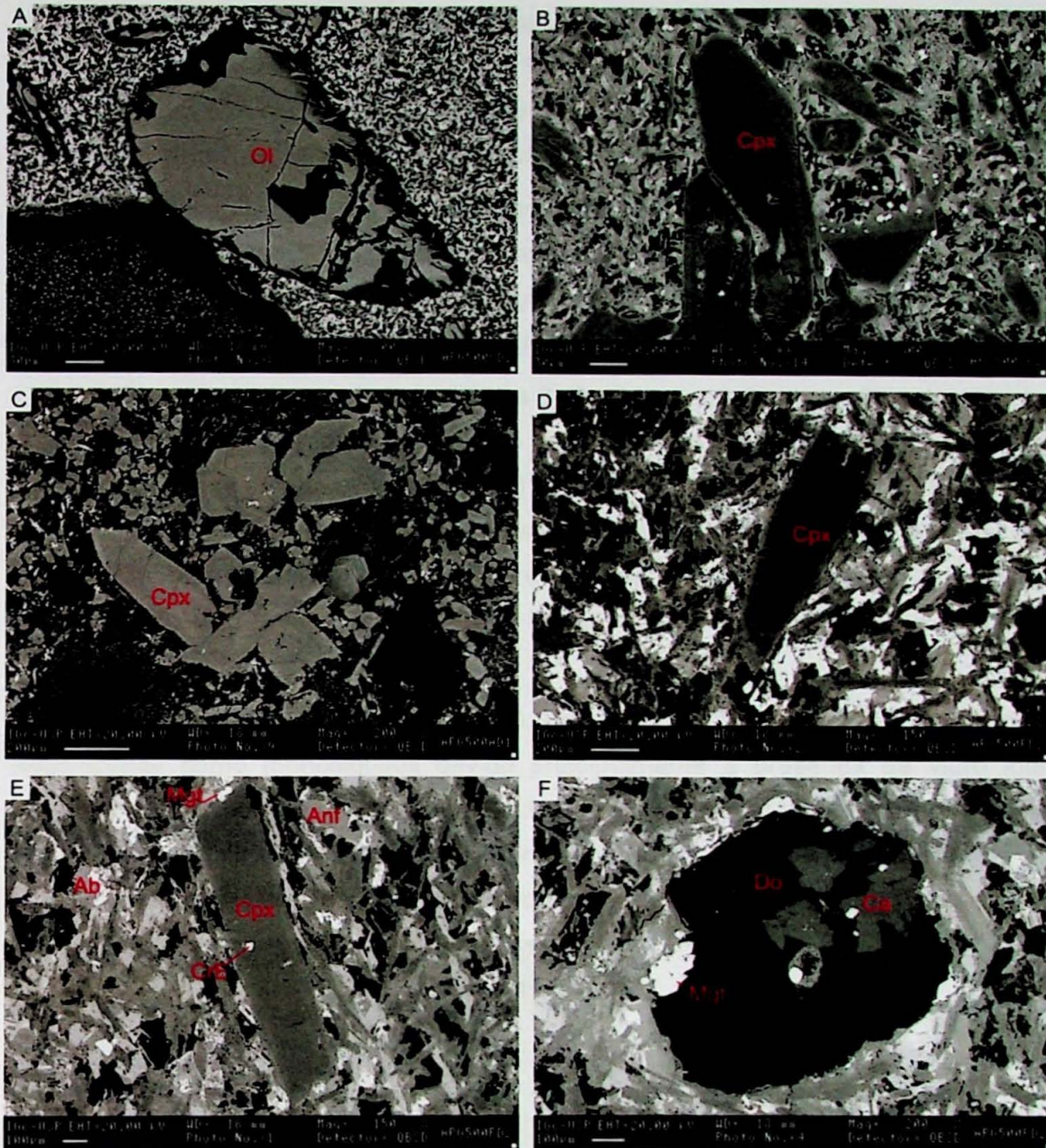


Figura 7. Imagens de elétrons retroespalhados destacando os aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Granito Rio Guaraú. A – Microcristal de olivina zonada próximo ao contato com a encaixante. B – Megacristais de clinopiroxênio zonados e em alguns casos corroídos próximo a rocha encaixante. C – Aglomerado de megacristais de clinopiroxênio. D – Megacristal de clinopiroxênio zonado distante do contato com encaixante e em matriz mais grossa. E – Composição da matriz da rocha em amostra da borda do dique, porém distante da encaixante. F – Ocelo zonado composto por dolomita nas regiões externas e calcita no centro, há também magnetita na borda. Cpx: Clinopiroxênio; Ol: Olivina; Ca: Carbonato, Do: Dolomita; CrE: Cromo-espinélio; Mgt: Magnetita; Ab: Albita; Anf: Anfibólio.

V.1.2 - Lamprófiros da Suíte Intrusiva Jacupiranga

Ocorrendo em dois afloramentos "*in situ*", os diques de lamprófiro de Jacupiranga possuem forte zonamento entre o núcleo e a borda (Figuras 8 e 9), estrutura maciça e algumas microestruturas globulares preenchidas por carbonato.

As texturas presente são a panidiomórfica, fluidal no contato com a encaixante (Figura 10B), marcada pela orientação de megacristais de clinopiroxênio, olivina, xenocristais e xenólitos da encaixante (Figura 10D), e a intersertal, marcada pela presença de vidro ou mesóstase nos interstícios da matriz.

Os megacristais variam de 4,2% a 6,4% do volume da rocha (Tabela 4), compostos principalmente por olivina, clinopiroxênio e, por vezes, biotita no centro do dique. Os microfenocristais e a matriz variam de 93,6% a 95,8% do volume da rocha (Tabela 4), sendo composta por clinopiroxênio, biotita, kaersutita, mesóstase, opacos, feldspato e apatita. A mineralogia hidrotermal aumenta em direção das bordas do dique e é composta por carbonato, epídoto e serpentina, estando estes associados à megacristais de olivina ou a matriz da rocha.

Segundo a classificação da IUGS (Le Maitre 2002), estes diques de lamprófiro são classificados como monchiquitos devido principalmente à presença de vidro intersticial. Segundo a classificação proposta por Rock (1987) para lamprófiros alcalinos, estas rochas podem ser classificadas como campto-monchiquitos, devido à ocorrência de minerais hidratados como biotita e a maior quantidade de vidro em relação ao plagioclásio.

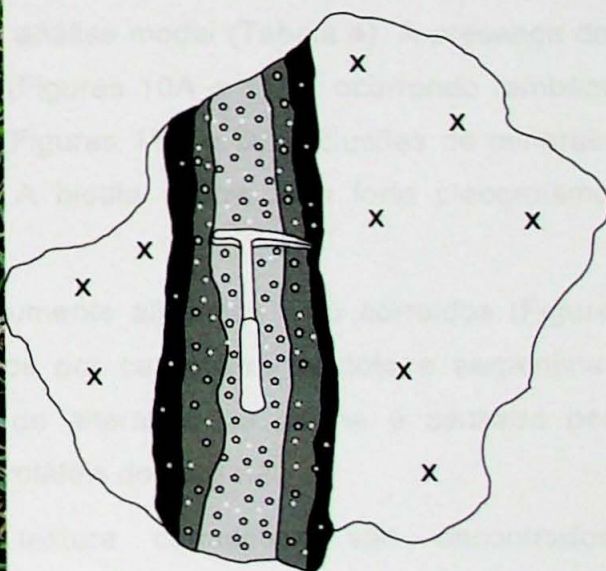


Figura 8. Afloramento *in situ* do dique 1, na região sul da Suíte Intrusiva Jacupiranga com respectivo croqui com a localização das amostras.

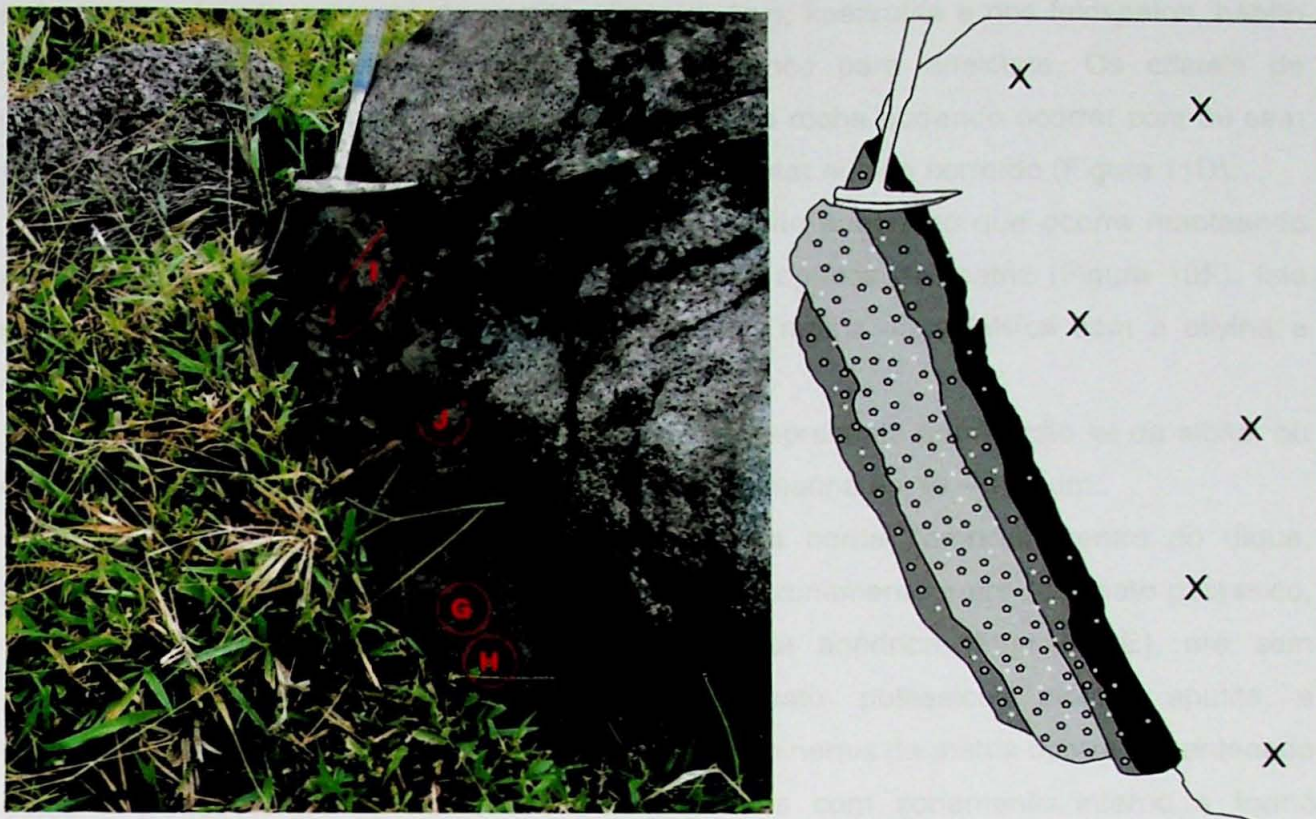


Figura 9. Afloramento *in situ* do dique 2, na região sul da Suíte Intrusiva Jacupiranga com respectivo croqui com a localização das amostras.

Os megacristais variam entre 0,5 – 2,5 mm de tamanho, possuem hábito euédrico e são compostos por olivina, clinopiroxênio e, no centro do dique biotita, apesar de não aparecer na análise modal (Tabela 4), sendo que nas bordas do dique há predomínio de megacristais de clinopiroxênio em relação à olivina, enquanto que no centro do dique os megacristais tem uma significativa contribuição na análise modal (Tabela 4). A presença de estruturas zonadas é comum em clinopiroxênios (Figuras 10A e 11A), ocorrendo também feições de reequilíbrio químico em alguns casos (Figuras 11C e D). Inclusões de minerais opacos ocorrem no clinopiroxênio e na olivina. A biotita ocorre com forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro.

Os megacristais de olivina ocorrem comumente alterados e/ou corroídos (Figura 10F), por vezes sendo pseudomorfos substituídos por carbonato, epidoto e serpentina. Segundo Orejana *et al.* (2008), este processo de alteração da olivina é causado por autometassomatismo desenvolvido pela perda de voláteis do magma.

Aglomerados de megacristais com textura cumulática são encontrados principalmente em amostras do centro do dique (Figura 10C).

Os microfenocristais variam entre 0,1 – 0,5 mm de tamanho, são compostos por clinopiroxênio, biotita, titanomagnetita, possuem hábito euédrico a subédrico e zonamento interno no caso do clinopiroxênio (Figura 10A). A biotita possui forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro, assim como os cristais de kaersutita.

Os minerais da matriz ocorrem com até 0,1 mm de tamanho, apresentam hábito

euédrico a subédrico no caso da apatita, clinopiroxênio, kaersutita e dos feldspatos, hábito granular a intersticial para titanomagnetita e anédrico para analcima. Os cristais de clinopiroxênio tem importante contribuição na matriz da rocha podendo ocorrer com ou sem zonamento interno e, em alguns casos, podem apresentar núcleo corroído (Figura 11D).

Há uma geração de biotita marrom com hábito subédrico que ocorre mantendo pseudomorfos de megacristais de olivina e minerais opacos da matriz (Figura 10F). Isto ocorre provavelmente como resultado da reação da matriz mais félsica com a olivina e minerais opacos.

Os feldspatos são plagioclásio, quando este apresenta geminação lei da albita, ou feldspato alcalino, possuindo hábito ripiforme e com tamanho de 10 – 100 μm .

Microestruturas globulares ocorrem tanto na borda como no centro do dique, possuem forma ameboide à globular, e ora possuem zonamento entre feldspato potássico, albita e carbonato, podendo ocorrer titanomagnetita anédrica (Figura 11E), ora sem zonamento composto apenas por albita, feldspato potássico, biotita, apatita e titanomagnetita (Figura 11F). Em ambos os casos os minerais da matriz ocorrem mantendo estas microestruturas. As microestruturas globulares com zonamento interno e forma globular a ameboide, segundo Foley (1984), podem ser interpretadas como proveniente de uma segregação de magma tardio.

A assembleia hidrotermal é composta por epídoto, serpentina e carbonato. Tal assembleia corresponde à zona de alteração hidrotermal propilítica, sendo que no caso da substituição dos megacristais de olivina, trata-se de uma alteração pervasiva seletiva.

Tabela 4. Análise modal dos diques de Guaraú, Jacupiranga e Juquiá. Abreviações: Me.: Megacristais, Mt.: Matriz e Tot.: Total.

Amostra	APG-500A D1 - Total de pontos: 1045			APG-500C D1 - Total de pontos: 1051			APG-500I D2 - Total de pontos: 1045			APG-500J D2 - Total de pontos: 1026			APG-501C D1 - Total de pontos: 914			APG-501D D1 - Total de pontos: 987			APG-11 - Total de pontos: 1050		
Localidade	Guaraú			Guaraú			Guaraú			Guaraú			Jacupiranga			Jacupiranga			Juquiá		
Posição	Borda			Centro			Borda			Centro			Borda			Centro			Centro		
Classificação	Olivina Basalto			Olivina Basalto			Basalto monchiquítico			Basalto monchiquítico			Basalto monchiquítico			Campito monchiquito			Basalto monchiquítico		
Minerais	Me.	Mt.	Tot.	Me.	Mt.	Tot.	Me.	Mt.	Tot.	Me.	Mt.	Tot.	Me.	Mt.	Tot.	Me.	Mt.	Tot.	Me.	Mt.	Tot.
Olivina	13,1	0,0	13,1	8,9	0,0	8,9	0,0	*	0,0	10,8	*	10,8	0,2	0,0	0,2	2,2	0,0	2,2	15,2	0,0	15,2
Piroxênio	1,2	34,7	36,0	0,7	27,9	28,5	3,5	32,3	35,9	5,0	36,5	41,5	3,9	25,9	29,9	4,2	31,8	36,0	20,1	11,7	31,8
Feldspato	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	3,8	0,0	5,3	5,3	0,0	5,8	5,8
Anfibólio	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	0,6	0,6	0,8	3,8	4,6	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vidro/Mesosstase	*	44,0	44,0	*	34,3	34,3	*	36,0	36,0	*	10,9	10,9	*	26,8	26,8	*	18,5	18,5	*	20,6	20,6
Biotita	*	0,7	0,7	4,4	11,6	16,0	0,2	14,9	15,1	9,2	10,1	19,3	*	30,3	30,3	*	32,6	32,6	0,0	15,0	15,0
Opacos	*	2,3	2,3	*	10,1	10,1	*	5,5	5,5	*	4,7	4,7	*	8,8	8,8	*	5,4	5,4	*	10,8	10,8
Outros	*	2,4	2,4	*	0,6	0,6	*	7,0	7,0	*	8,2	8,2	*	0,0	0,0	*	0,0	0,0	*	0,9	0,9
Total	14,4	85,6	100,0	14,0	86,0	100,0	3,7	96,3	100,0	25,8	74,2	100,0	4,2	95,8	100,0	6,4	93,6	100,0	35,3	64,7	100,0

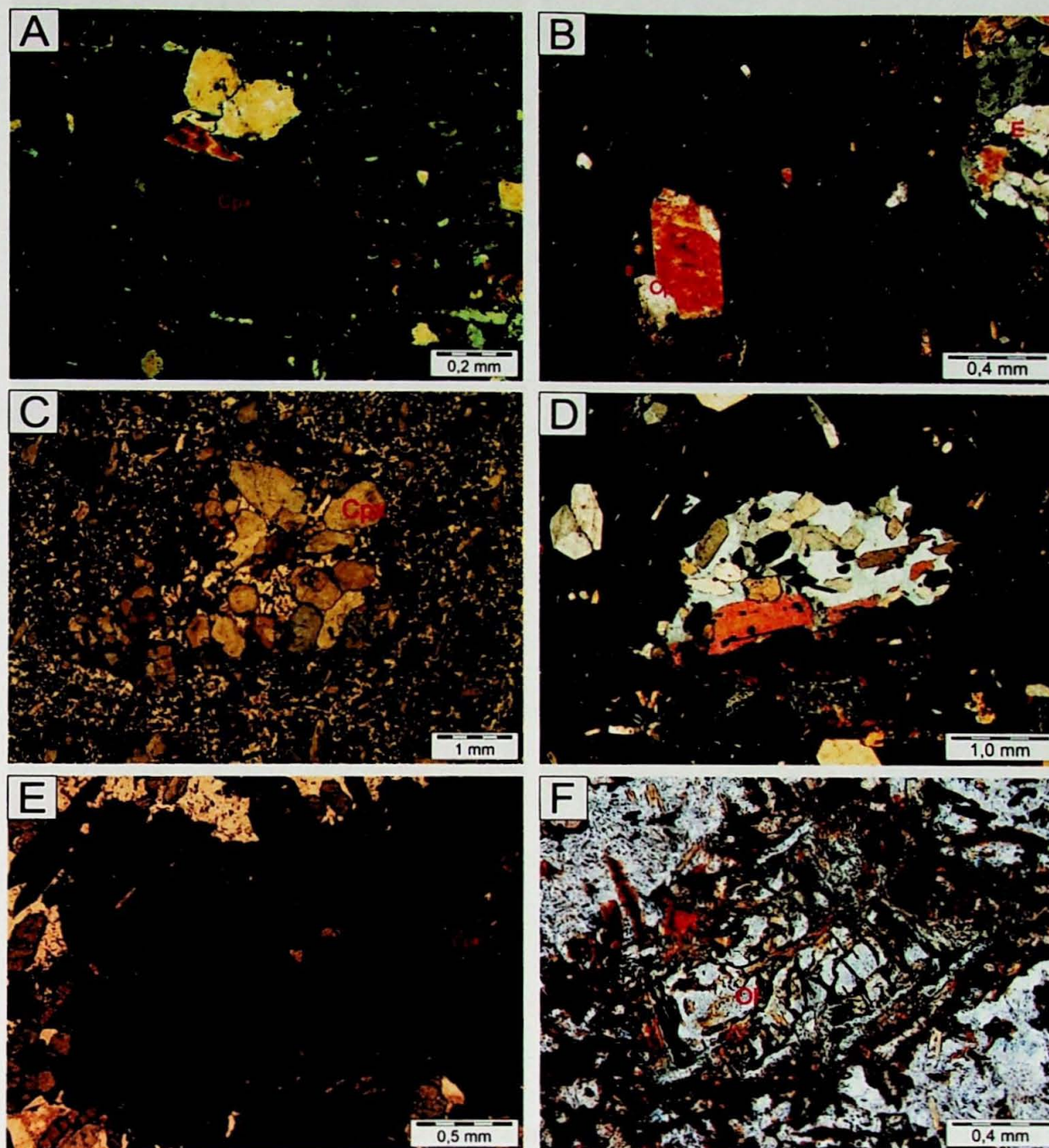


Figura 10. Aspectos microscópicos mineralógicos e texturais dos diques de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa - Suite Intrusiva Jacupiranga. A- Fenocristal de clinopiroxênio zonado em dois setores em matriz composta por feldspato e mesóstase. Amostra APG-501G D2. B- Fenocristal de clinopiroxênio zonado na borda do dique e em contato com a encaixante. Amostra APG-501E D1. C- Textura glomeroporfírica com predomínio de fenocristais de clinopiroxênio. Amostra APG-501G D2. D- Xenólito da encaixante próximo ao contato composto por feldspato alcalino, biotita, piroxênio e titanita. Amostra APG-501K D3. E- Contato da borda do dique de lamprófiro com a encaixante evidenciando a feição de corrosão da encaixante com pseudomorfo de olivina serpentinizado e textura esferulítica de clinopiroxênio. Amostra APG-501K D3. F- Megacristal de olivina parcialmente alterado com substituição por biotita e serpentina. Amostra APG-501J D2, Cpx: Clinopiroxênio; E: Rocha encaixante; Ol: Olivina; Bt: Biotita;

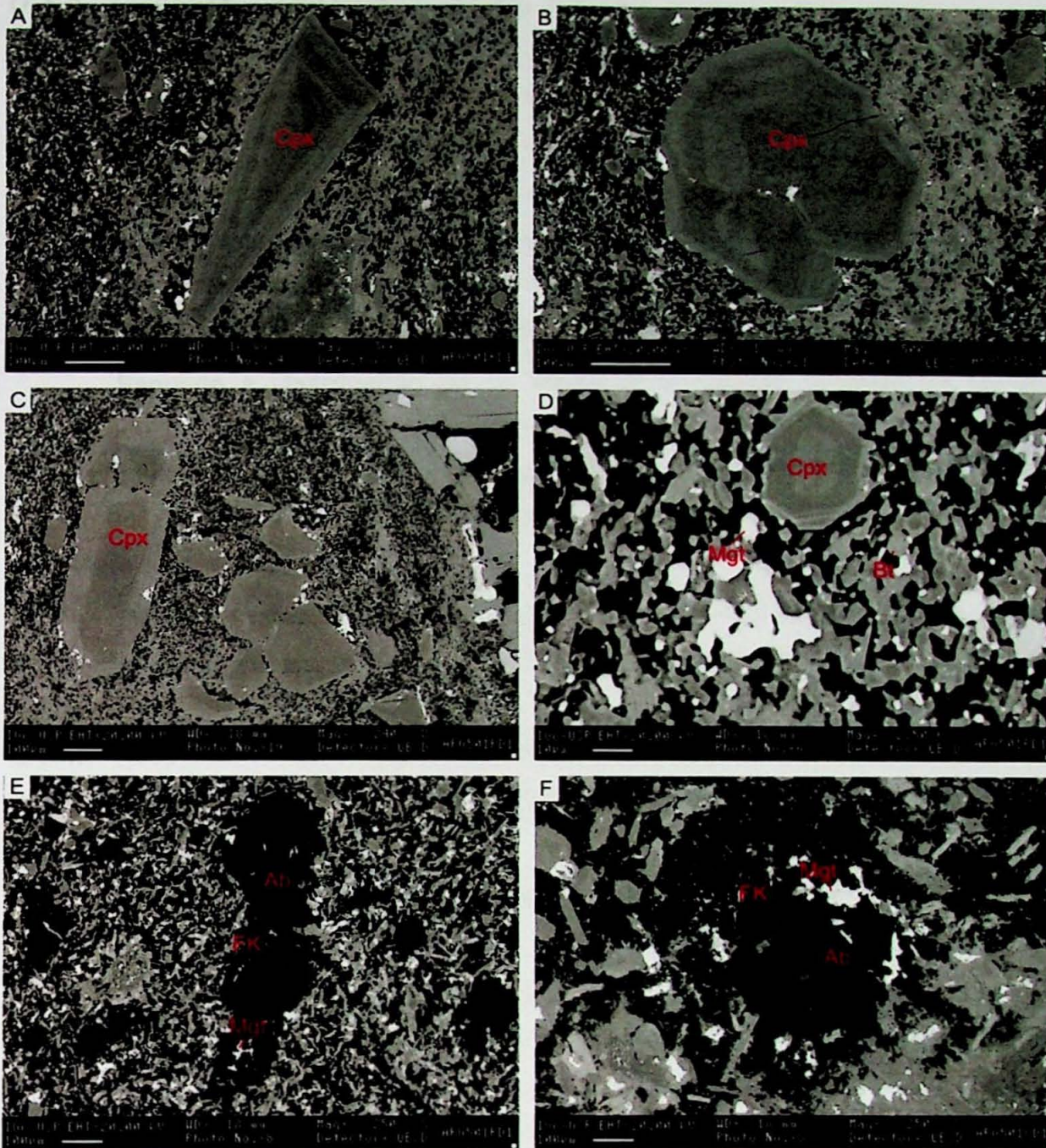


Figura 11. Imagens de elétrons retroespalhados destacando os aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Suíte Intrusiva Jacupiranga. A – Megacristal de clinopiroxênio zonado em amostra da borda. B – Aglomerado de megacristais de clinopiroxênio próximo a rocha encaixante. C – Megacristal de clinopiroxênio zonado no contato com a rocha encaixante, com reequilíbrio químico próximo à fratura do megacristal. D – Cristal de clinopiroxênio da matriz com forte zonamento e núcleo com forma irregular. E – ocelo com forma amebóide composto por albita, feldspato potássico e magnetita. F – Ocelo com forma globular composto por albita, feldspato potássico e magnetita. . Cpx: Clinopiroxênio; Mgt: Magnetita; Ab: Albita; FK – Feldspato Potássico; Bt: Biotita.

V.1.3 - Lamprófiros da Suíte Intrusiva Juquiá

Aflorando apenas em blocos de chão de estrada, os diques da Suíte Intrusiva Juquiá foram amostrados sem o critério dos diques das outras regiões. Apresentam cor cinza a preta e textura inequigranular, com megacristais de piroxênio de até 7 mm.

A textura predominante em todas as amostras é panidiomórfica (Figura 12A), com megacristais correspondendo a 35,3% da rocha (Tabela 4) e compostos por clinopiroxênio e olivina. Os microfenocristais e a matriz correspondem a 64,7% da rocha e são compostos por clinopiroxênio, biotita, plagioclásio, feldspato potássico, albita, minerais opacos e apatita.

Segundo a classificação de Le Maitre *et al.* (2002), o dique de lamprófiro é classificado como monchiquito devido principalmente à presença de analcima intersticial como produto da devitrificação. Ainda, segundo a classificação de lamprófiros alcalinos de Rock (1987), pode ser classificado como basanita monchiquítico devido à menor ocorrência de minerais hidratados.

Os megacristais ocorrem com tamanho entre 0,5 – 6,5 mm para olivina (Figura 12A) e 0,5 – 7,0 mm para o clinopiroxênio (Figura 12B), e predomínio de megacristais de clinopiroxênio em relação aos de olivina. Ambos apresentam hábito euédrico, inclusão de cromo - espinélio (Figura 13A) e zonamento interno, sendo muito forte no caso do clinopiroxênio (Figura 13B) que apresentam também em alguns casos, núcleo corroído (Figura 13C).

Aglomerados de olivina e clinopiroxênio zonado, com forma arredondada são encontrados frequentemente (Figura 13D).

Os microfenocristais ocorrem com tamanho de 0,1 – 0,5 mm de tamanho, são compostos por olivina, clinopiroxênio, biotita e alguns cristais de titano - magnetita, possuem hábito euédrico e, no caso do clinopiroxênio, há um forte zonamento, podendo também ocorrer núcleo corroído. Nos microfenocristais de olivina e clinopiroxênio ocorrem inclusões de cromo – espinélio. Biotita possui forte pleocroísmo variando de marrom a castanho claro, podendo chegar até 0,25 mm de tamanho (Figura 12D).

A matriz possui tamanho de até 0,1 mm e é composta por clinopiroxênio, biotita, feldspato potássico, albita, plagioclásio, titanomagnetita e apatita. O hábito é predominantemente euédrico a subédrico, enquanto titanomagnetita e biotita possuem por vezes hábito anédrico. Frequentemente, a biotita com hábito anédrico ocorre mantendo megacristais de olivina e microfenocristais e cristais da matriz de titanomagnetita (Figura 13F).

Os cristais de feldspato potássico e albita da matriz ocorrem com hábito ripiforme e tamanho de 20 – 100 μm (Figura 13F). Já os cristais de plagioclásio, quando ocorrem,

apresentam geminação segundo lei da albita, estando sempre restritos à matriz das rochas analisadas e possuindo hábito ripiforme.

Microestruturas globulares, quando presentes, são compostas por carbonato, analcima e biotita (Figura 12D), possuem forma circular a ameboide, zonamento interno e frequentemente alteram a textura local da rocha, ficando os cristais da matriz manteando estas microestruturas.

Estas microestruturas globulares, segundo Foley (1984), podem ser interpretadas como provenientes de uma segregação de magma tardio, devido à forma arredondada a sinuosa, zonamento composicional e à alteração local da textura da rocha.

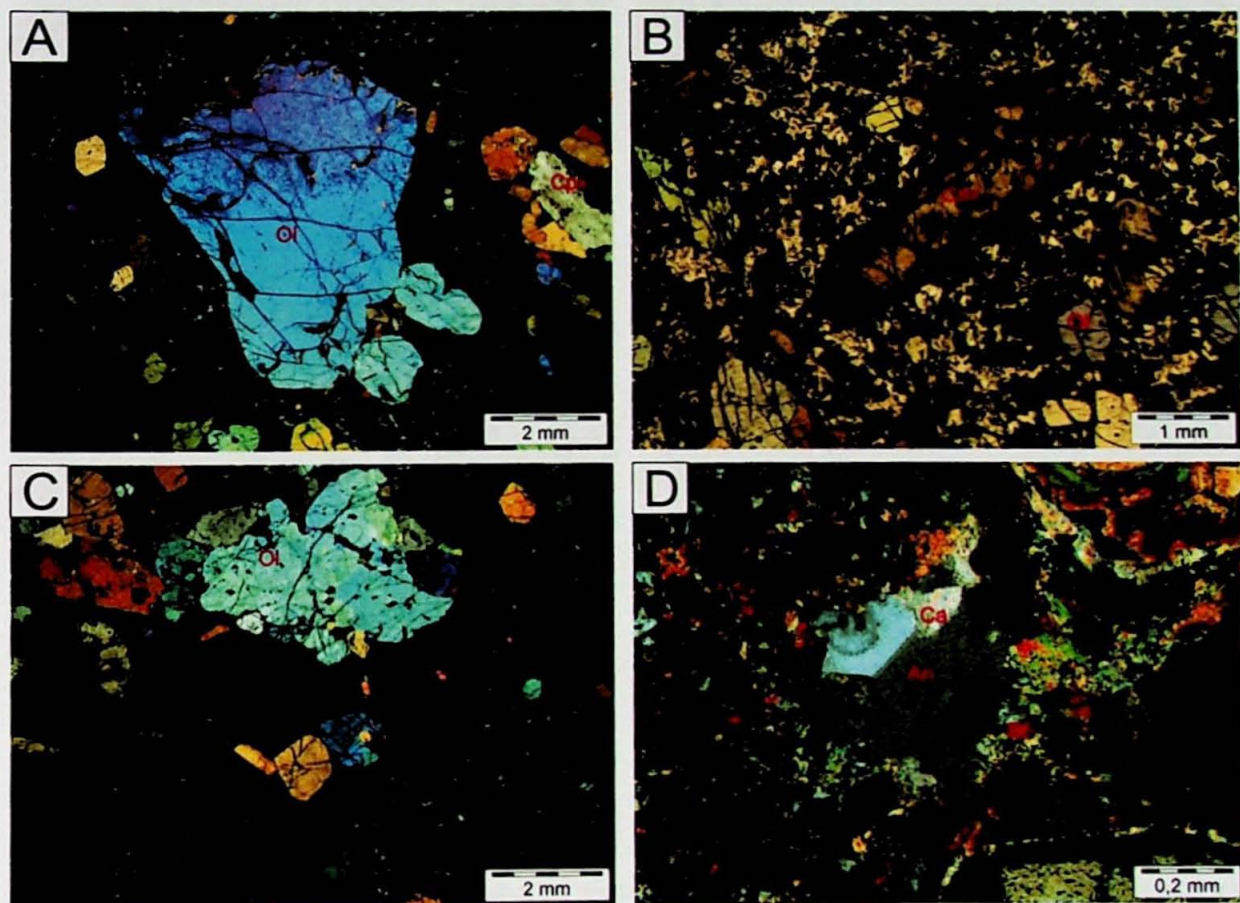


Figura 12. Aspectos microscópicos mineralógicos e texturais dos diques de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa. A- Megacristal de olivina e microfenocristais de olivina e clinopiroxênio, destacando a textura predominante panidiomórfica. Amostra APG- 11. B- Megacristal zonado de clinopiroxênio zonado. Amostra APG- 11. C- Textura glomeroporfirítica com predomínio de megacristais de olivina. Amostra APG- 11. D- Ocelo como forma circular, composto por analcima, carbonato e biotita. Amostra APG- 11. Ol: Olivina, Cpx: Clinopiroxênio, An: Analcima, Ca: Carbonato, Bi: Biotita e Spt: Serpentina.

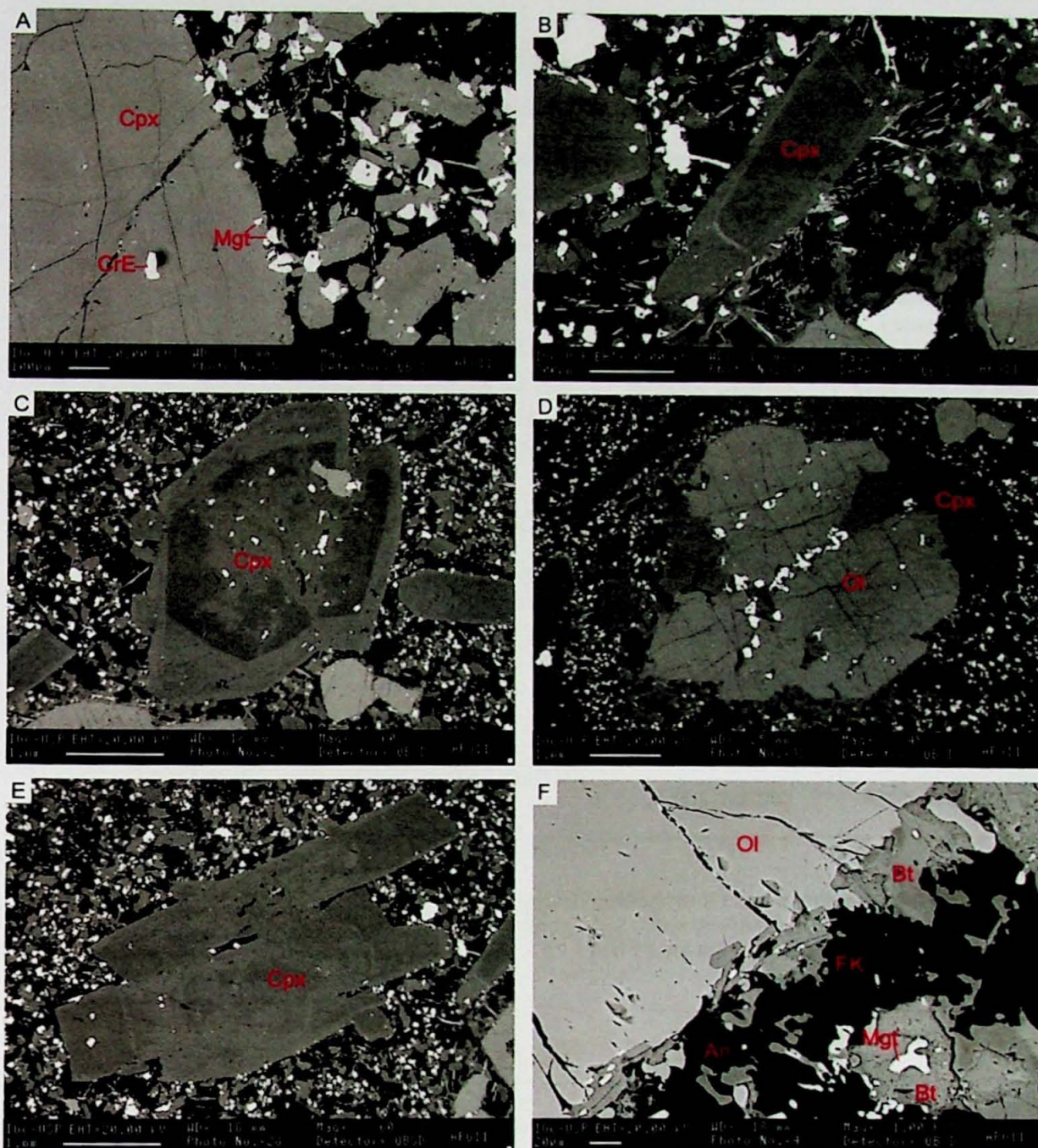


Figura 13. Imagens de elétrons retroespalhados destacando os aspectos microscópicos mineralógicos e texturais do dique de lamprófiros do Arco de Ponta Grossa – Suite Intrusiva Juquiá. A - Detalhe das inclusões e matriz de megacristal de clinopiroxênio. B - Megacristal de clinopiroxênio zonado. C - Megacristal de clinopiroxênio zonado com reequilíbrio químico no núcleo do megacristal. D - Aglomerado de megacristais clinopiroxênio e olivina arredondado. E - Aglomerado de megacristais de clinopiroxênio em contato paralelo. F - Detalhe da matriz e borda de olivina manteada por biotita. Legenda: Ol: Olivina, Cpx: Clinopiroxênio, An: Analcima, FK: Feldspato Potássico, Bt: Biotita, Mgt: Titano - Magnetita e CrE: Cromo - Epinélio.

V.1.4 - Sumário petrográfico

Nas tabelas 5 e 6 são apresentadas as informações petrográficas principais dos litotipos estudados, resumindo as principais variações encontradas.

Tabela 5. Sumário destacando as principais diferenças texturais e minerais dos diques de lamprófito amostrados.

	Maciço Guaraú	Jacupiranga	Juquiá
<i>Textura</i>	Porfírica, seriada, fluidal e intersertal	Porfírica, seriada, fluidal e intersertal	Porfírica, seriada, e intersertal
<i>Mineralogia Principal</i>	Olivina, clinopiroxênio, biotita, kaersutita, plagioclásio e opacos	Olivina, clinopiroxênio, biotita, kaersutita, plagioclásio e opacos	Olivina, clinopiroxênio, biotita, plagioclásio e opacos
<i>Minerais Acessórios</i>	Apatita e carbonato	Apatita e carbonato	Apatita e carbonato
<i>Assembly Hidrotermal</i>	Analcima, titanita, uralita, epidoto e serpentina	Analcima, biotita, epidoto e serpentina	Analcima e biotita
<i>Classificação (Le Maitre, 2002)</i>	Monchiquito	Monchiquito	Monchiquito
<i>Classificação (Rock, 1987)</i>	Basanito Monchiquítico	Campto-Monchiquito	Basanito Monchiquítico

Tabela 6. Sumário destacando as principais diferenças mineralógicas e modais entre a borda e o centro de cada dique de lamprófito por localidade. Legenda: Ol.: Olivina, Cpx.: Clinopiroxênio, Bt.: Biotita, Pl.: Plagioclásio, Vid.: Vidro ou Mesóstase, Op.: Opacos, Kae.: Kaersutita e T.: Total modal tirado das tabelas 3, 4 e 5 que serviu como base para o cálculo em cada caso.

	Guaraú		Jacupiranga		Juquiá
	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro
<i>Megacristais (% modal)</i>	Cpx.:94,9 Bt.: 5,1 T.:3,7	Ol.:41,8 Cpx.:19,4 Bt.:35,8 Anf.: 3,0 T.: 25,8	Ol.: 4,9 Cpx.: 95,1 T.: 4,2	Ol.: 34,4 Cpx.: 65,6 T.: 6,4	Ol.: 43,1 Cpx.: 56,9 T.: 35,3
<i>Matriz/ Microfenocristais (% modal)</i>	Cpx.:33,6 Kae.:0,6 Vid.: 36,0 Bt.: 14,9 Op.: 5,5 Out.: 7,0 T.: 96,3	Cpx.: 49,2 Kae.: 5,2 Vid.: 14,7 Bt.: 13,6 Op.: 6,4 Out.: 11,0 T.: 74,2	Cpx.: 26,9 Pl.: 3,9 Kae.: 0,2 Vid.: 27,8 Bt.: 32,0 Op.: 9,1 T.: 95,8	Cpx.: 34,0 Pl.: 5,7 Vid.: 19,8 Bt.: 34,8 Op.: 5,8 T.: 93,6	Cpx.: 18,1 Pl.: 9,0 Vid.: 31,8 Bt.: 23,1 Op.: 17,0 T.: 64,7
<i>Microestrutura globular</i>	Carbonato	-	Analcima e epidoto	Carbonato, analcima e biotita	Carbonato, analcima e biotita

V.2 - Geoquímica

Os dados obtidos para as 19 amostras analisadas para elementos maiores, menores e traços são apresentados na Tabela 12.

V.2.1 - Classificação química

A classificação química dos diques de lamprófiro das regiões de Juquiá, Jacupiranga e Guaraú foi realizada utilizando os diagramas TAS (Le Maitre, 2002) e R1-R2 (De La Roche *et al.* 1980) apresentados nas figuras 14 e 15.

No diagrama TAS os diques variam de basanita a tefrito, é nítida a separação entre os diques de Jacupiranga e dos diques de Juquiá e Guaraú, sendo que os de Jacupiranga apresentam composição química básica, enquanto os de Juquiá e Guaraú possuem composição ultrabásica. O dique 1 de Guaraú possui composição subalcalina, sendo classificado como basalto.

Já no diagrama R1-R2 (Figura 15), é nítida a separação entre basanita e tefrito, sendo os diques de Juquiá e Guaraú classificados como basanita, enquanto que os diques de Jacupiranga são classificados como tefrito. Neste diagrama, o dique 1 de Guaraú também é classificado como basalto.

Os dois diagramas indicam variação muito tênue entre centro e borda dos diques de Jacupiranga e Guaraú.

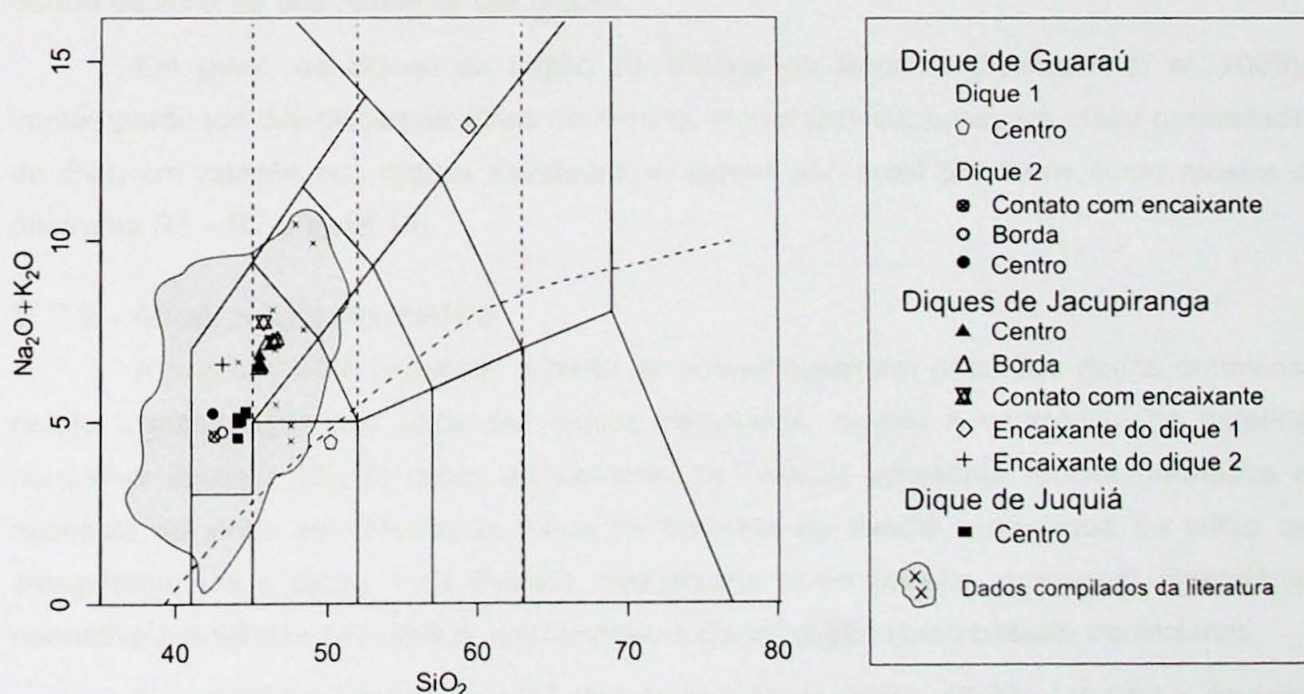


Figura 14. Diagrama TAS de classificação para rochas vulcânicas. Os dados apresentados na região cinza são de trabalhos compilados da província Serra do Mar (Azzone, 2008, Gibson *et al.* 1999, Lima, 2001, Thompson *et al.* 1998, Alves, 1996, Bellieni *et al.* 1990 e Garda, 1995), enquanto os dados em (x) são diques correlatos do plug Erongo na Namíbia (Trumbull *et al.* 2003).

Os diques de tefrito de Jacupiranga apresentam, em geral, teores de olivina normativa < 10%, variando entre 7,22 – 9,70%, altos teores de diopsídio (28,25 – 31,42%) e ortoclásio (18,81 – 20,66%), seguindo toda mineralogia normativa um padrão contínuo em ambos os diques (Tabela 13).

O dique de basalto apresenta altos teores de anortita (16,27%), albita (24,01%) e diopsídio (21,04), característico destes tipos de rochas, e teores menores de hiperstênio (11,05%), ortoclásio (10,51%), olivina (6,99%), magnetita (4,68%), ilmenita (4,47%) e apatita (1,02%) (Tabela 13).

Segundo Rock (1987), lamprófiros classificados como monchiquitos podem apresentar leucita normativa, o que pode indicar uma gradação para foiditos e/ou lamprófiros ultramáficos.

V.2.3 - Diagramas bivariantes mg# vs elementos maiores, menores e traços

Foi escolhido o índice mg# por apresentar um bom espalhamento dos dados e para identificar as relações entre elementos compatíveis e incompatíveis com fases cristalinas.

Entre os diques de basanito, o mg# é maior em Juquiá (67,77 – 70,69%) do que em Guaraú (52,45 – 64,11%). Entre os dois diques de tefrito de Jacupiranga essa variação é mais tênue, sendo 55,58 – 57,28% no dique 1 e 57,10 – 58,98% no dique 2. Já o dique de basalto apresenta mg# de 67,23% (Tabela 12).

Com o auxílio dos diagramas bivariantes (Figura 16), é possível constatar que:

- (1) Os diques de tefrito de Jacupiranga não apresentam correlação direta com os diques de basanitos, sendo em geral rochas mais evoluídas, possuindo baixos teores de MgO e altos teores de K₂O e Na₂O;
- (2) Apesar de os diques de basanito de Juquiá e Guaraú apresentarem teores semelhantes de K₂O e Na₂O, o dique de Juquiá possui teores de MgO, Al₂O₃ e SiO₂ mais altos, enquanto o dique de basanito de Guaraú apresenta teores mais altos de FeOt, P₂O₅, CaO e TiO₂, mostrando um caráter mais primitivo do magma que gerou o basanito de Juquiá em relação ao basanito de Guaraú;
- (3) A relação entre centro e borda do dique de tefrito é muito tênue, ocorrendo teores maiores de MgO no centro do dique, enquanto o contato com a encaixante possui altos teores de Al₂O₃, Na₂O e K₂O;
- (4) A relação entre centro e borda do dique de Guaraú é mais evidente, sendo o centro mais rico em MgO e em elementos compatíveis, enquanto as bordas do dique são mais evoluída.

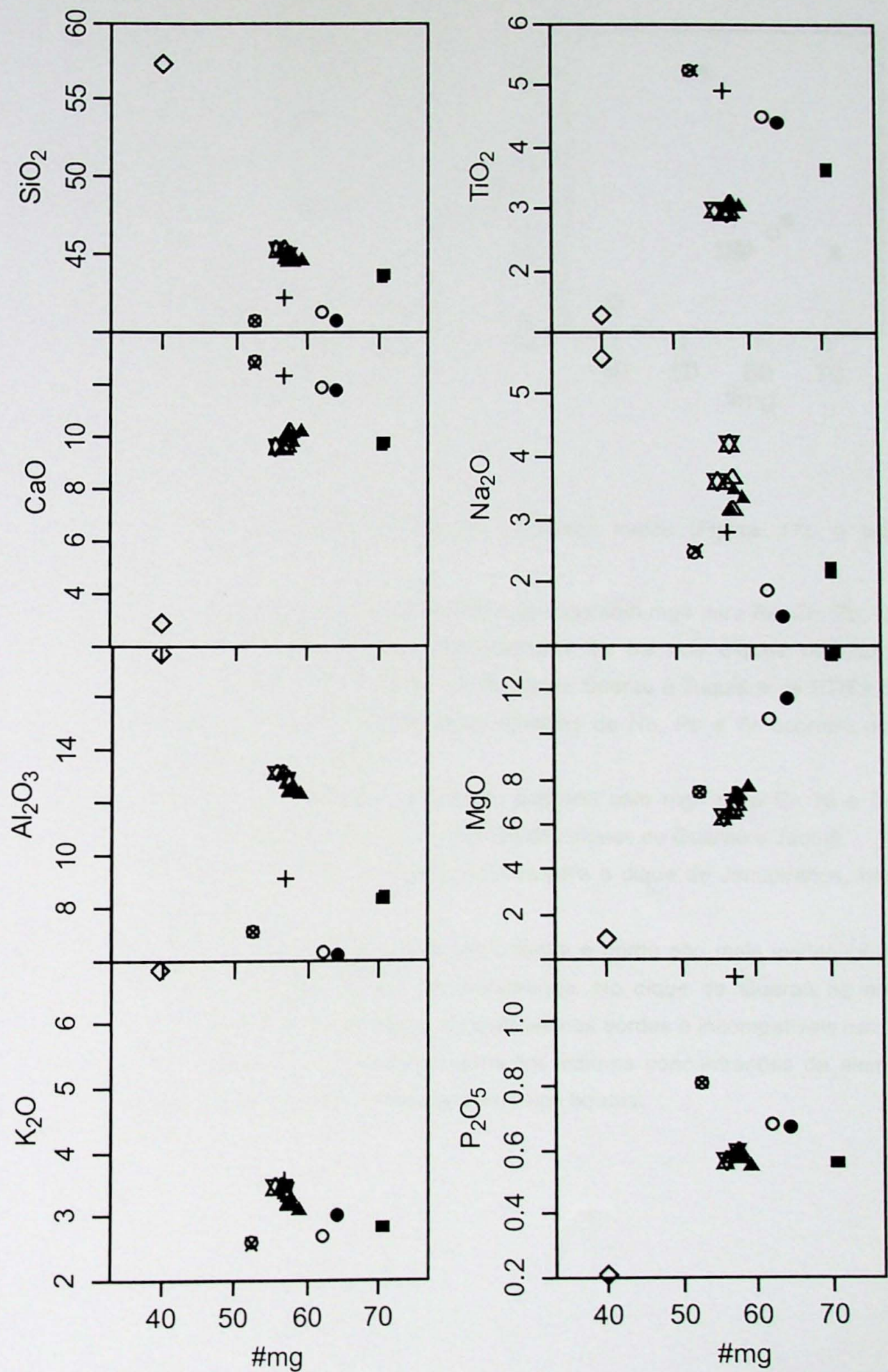


Figura 16. Diagramas bivariantes de elementos maiores vs. mg#. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.

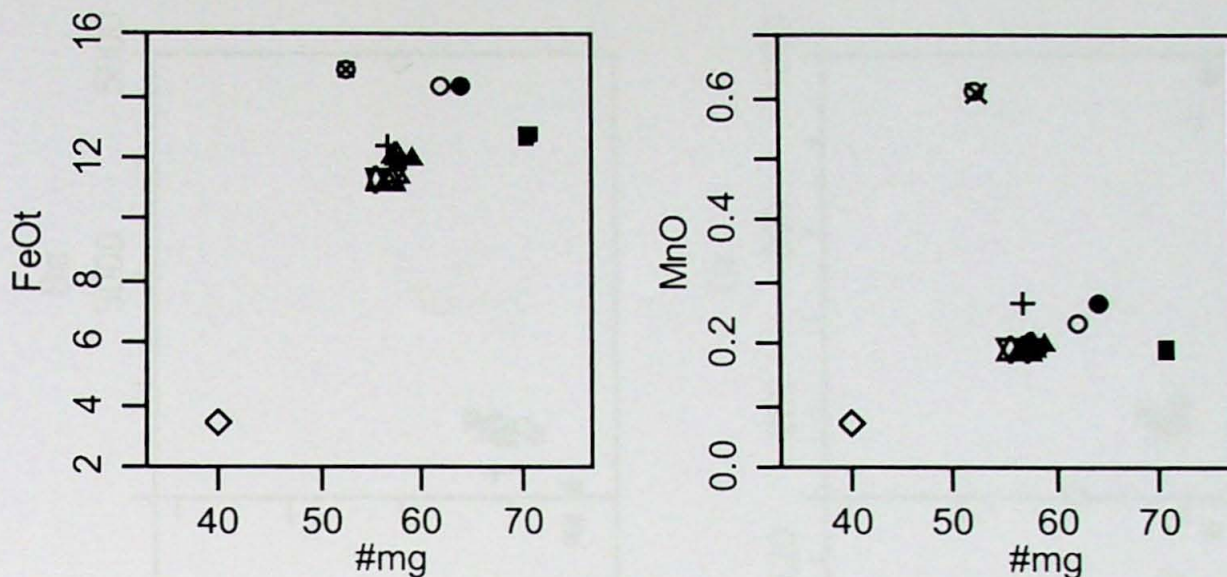


Figura 16. Continuação.

Para os diagramas bivariantes de elementos traços (Figura 17), é possível constatar que:

- (1) Os diques apresentam correlações negativas com mg# para Ba, Zn, Pb, Nb, Zr, Sr e ETR's. Há maiores concentrações de Ba nos diques de Guaraú e Jacupiranga, de Zr e Zn para os diques de Guaraú e Juquiá e de ETR's para o dique de Guaraú. Concentrações similares de Nb, Pb e Sr ocorrem para os diques das três regiões.
- (2) Os diques apresentam correlações positivas com mg# para Cr, Ni e Co. Há maiores concentrações de Cr, Ni e Co nos diques de Guaraú e Juquiá.
- (3) Já para Sc e V, há correlação positiva para o dique de Jacupiranga, negativa para Guaraú;
- (4) As diferenças composicionais entre centro e borda são mais evidentes para o dique de Guaraú do que de Jacupiranga. No dique de Guaraú há maiores concentrações de elementos compatíveis nas bordas e incompatíveis no centro. Já os diques de Jacupiranga possuem maiores concentrações de elementos compatíveis no centro e incompatíveis nas bordas.

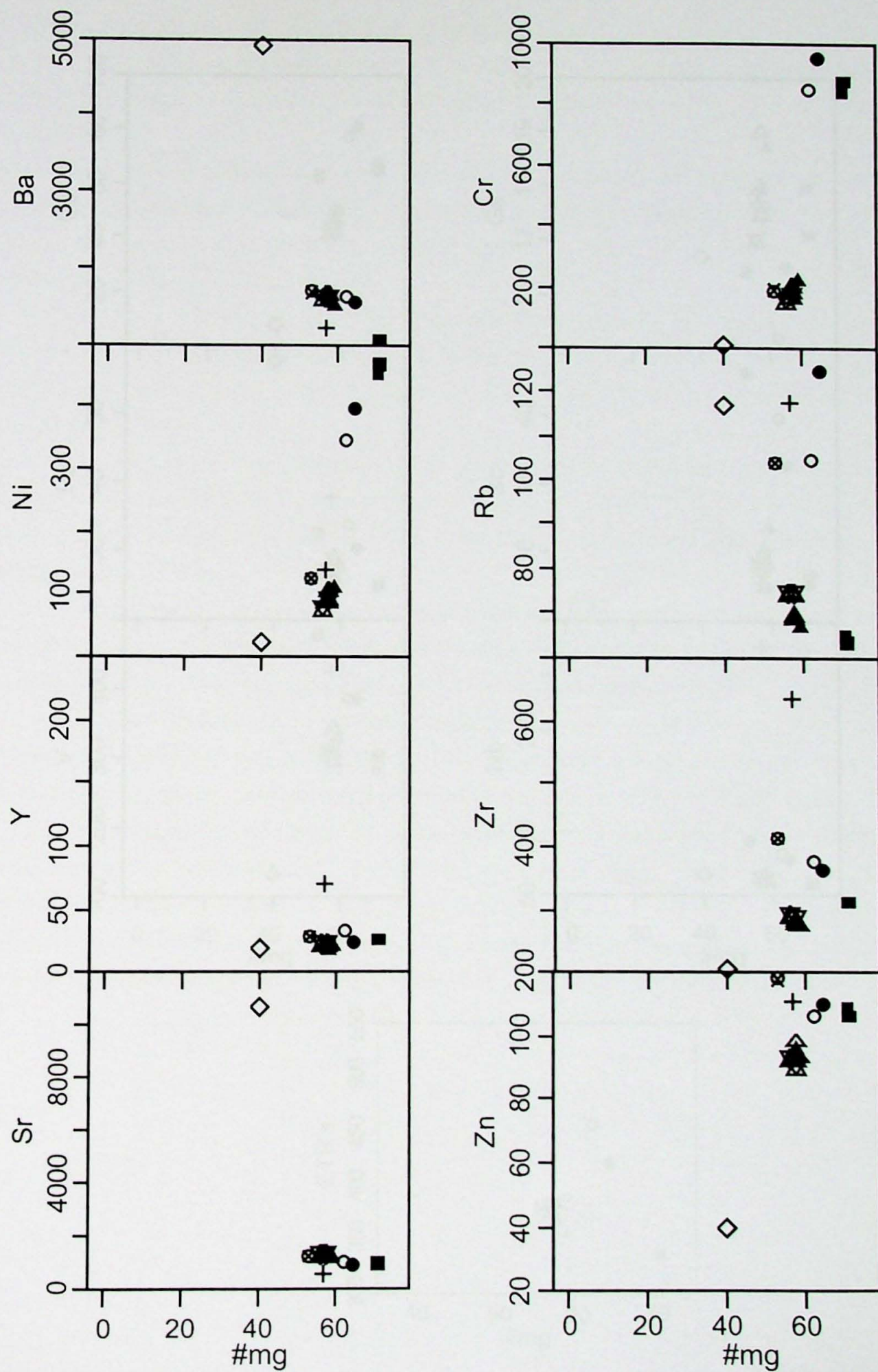


Figura 17. Diagramas bivariantes para elementos traços vs. mg#. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.

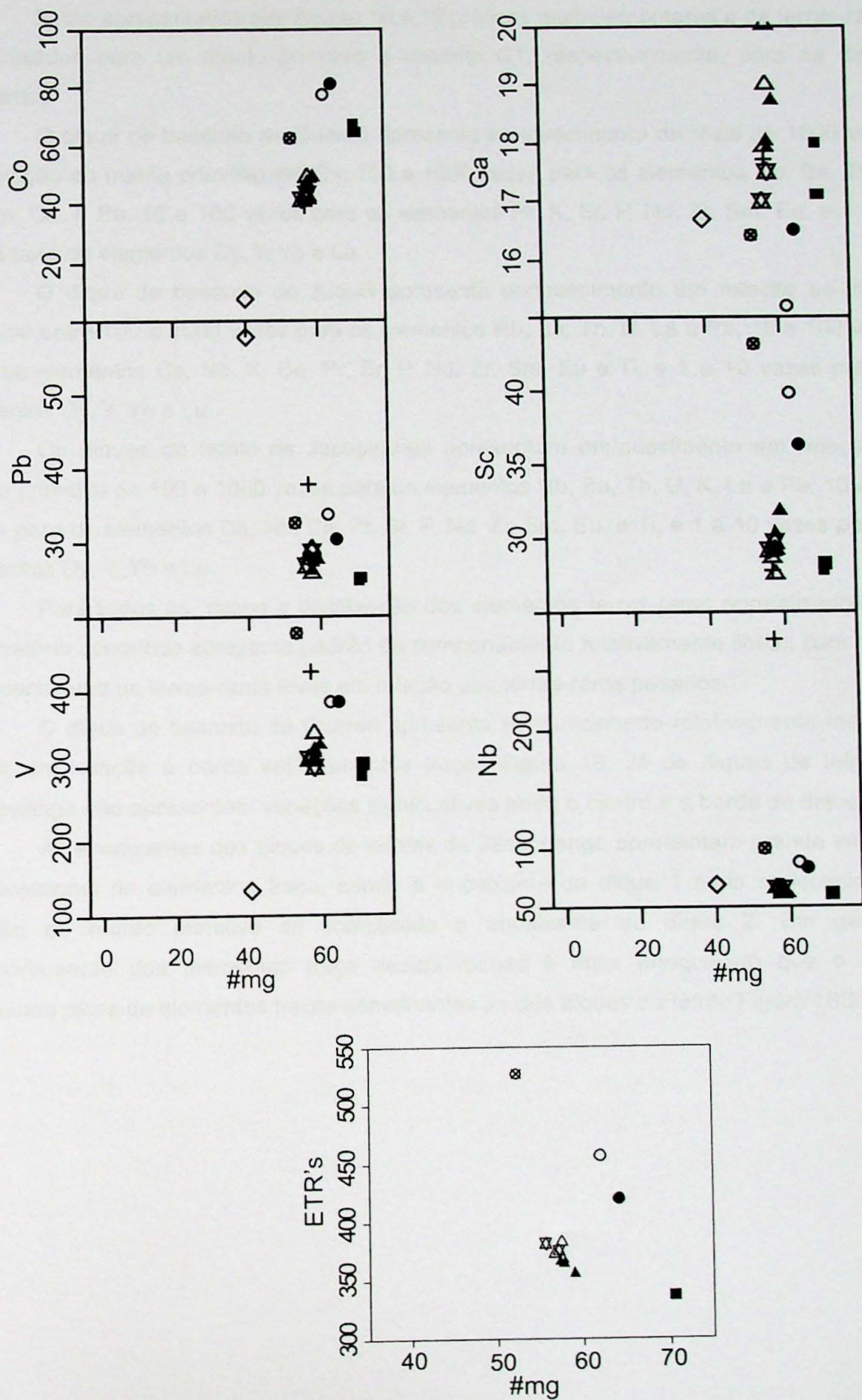


Figura 17. Continuação.

V.2.4 – Diagramas multi - elementos e terras raras

Estão apresentados nas figuras 18 e 19 gráficos multielementares e de terras-raras, normalizados para um manto primitivo e condrito C1, respectivamente, para os diques estudados.

O dique de basanita de Guaraú apresenta enriquecimento de mais de 1000 vezes em relação ao manto primitivo em Cs, 100 a 1000 vezes para os elementos Rb, Ba, Th, U, Nb, La, Ce, e Pb, 10 a 100 vezes para os elementos Pr, K, Sr, P, Nd, Zr, Sm, Eu, e 1 a 10 vezes para os elementos Dy, Y, Yb e Lu.

O dique de basanita de Juquiá apresenta enriquecimento em relação ao manto primitivo entre 100 e 1000 vezes para os elementos Rb, Ba, Th, U, La e Pb, 10 e 100 vezes para os elementos Cs, Nb, K, Ce, Pr, Sr, P, Nd, Zr, Sm, Eu e Ti, e 1 a 10 vezes para os elementos Dy, Y, Yb e Lu.

Os diques de tefrito de Jacupiranga apresentam enriquecimento em relação ao manto primitivo de 100 a 1000 vezes para os elementos Rb, Ba, Th, U, K, La e Pb, 10 a 100 vezes para os elementos Cs, Nb, Ce, Pr, Sr, P, Nd, Zr, Sm, Eu, e Ti, e 1 a 10 vezes para os elementos Dy, Y, Yb e Lu.

Para todos os, casos a distribuição dos elementos terras-raras normalizados pelo reservatório condritico apresenta padrão de comportamento relativamente linear, com amplo enriquecimento de terras-raras leves em relação aos terras-raras pesados.

O dique de basanita de Guaraú apresenta enriquecimento relativamente maior no centro em relação à borda em elementos traços Figura 18. Já os diques de tefrito de Jacupiranga não apresentam variações significativas entre o centro e a borda do dique.

As encaixantes dos diques de tefritos de Jacupiranga apresentam grande variação composicional de elementos traço, sendo a encaixante do dique 1 mais enriquecida em relação ao manto primitivo se comparado a encaixante do dique 2. Em geral, o comportamento dos elementos traço destas rochas é mais enriquecido que o dique, possuindo picos de elementos traços semelhantes ao dos diques de tefrito Figura 18C.

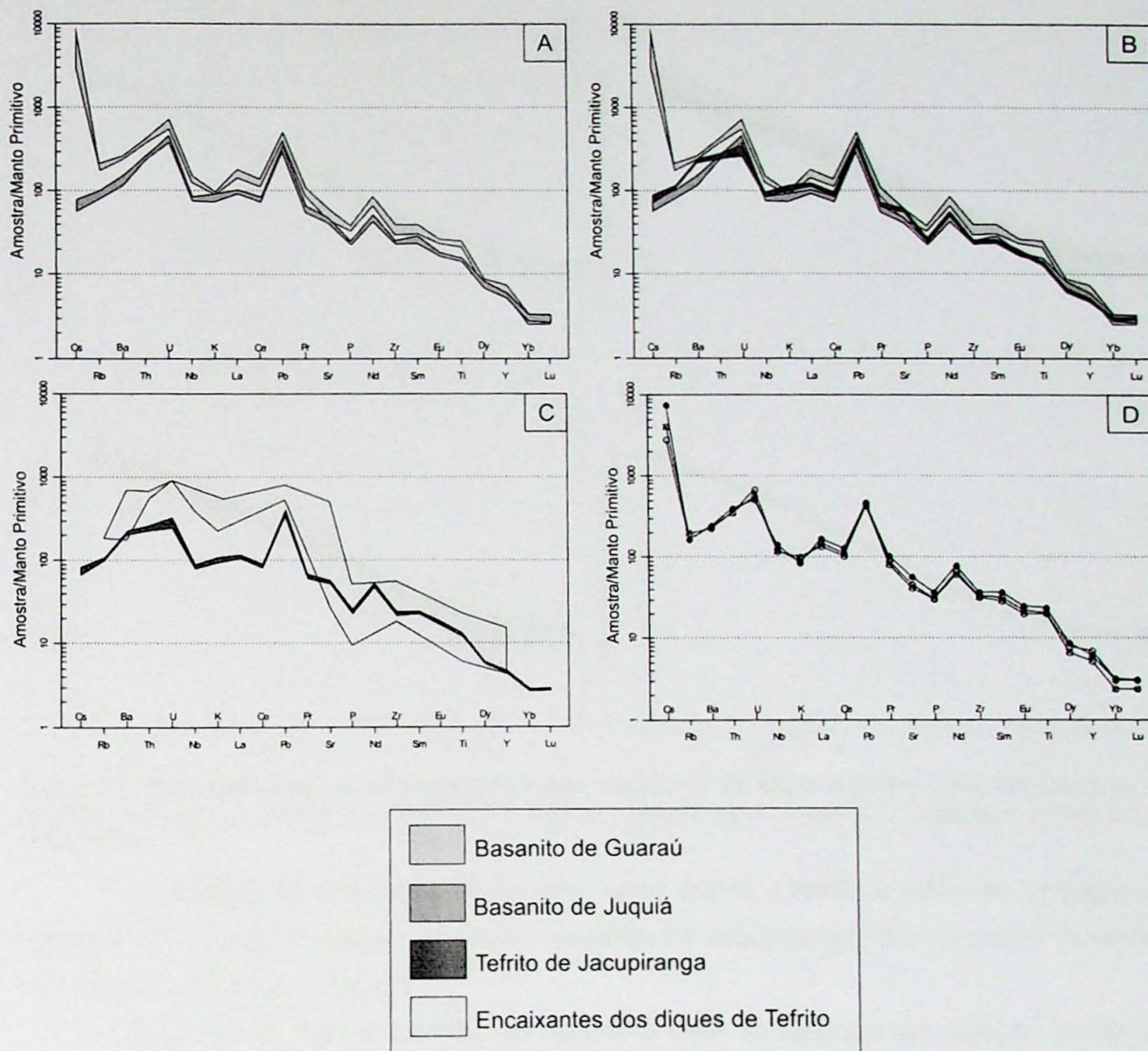


Figura 18. Diagramas multi-elementos normalizados para manto primitivo de Sun & McDonough (1989).

Para os elementos terras raras (Figura 19), os diques de basanito de Guaraú e Juquiá possuem enriquecimento maior que 100, vezes em relação ao condrito C1, para os elementos La, Ce, Pr e Nd, de 10 a 100 vezes para os elementos Sm, Eu, Gd, Tb, Gy, Ho e Er, e de 1 a 10 vezes para os elementos Tm, Yb e Lu (Figura 19A e C).

Os diques de tefrito de Jacupiranga apresentam enriquecimento, em relação ao reservatório condritico C1, de 100 a 1000 vezes nos elementos La, Ce, Pr e Nd, de 10 a 100 vezes nos elementos Sm, Eu, Gd, Tb, Gy, Ho, e 1 a 10 vezes para os elementos Er, Tm, Yb e Lu (Figura 19D).

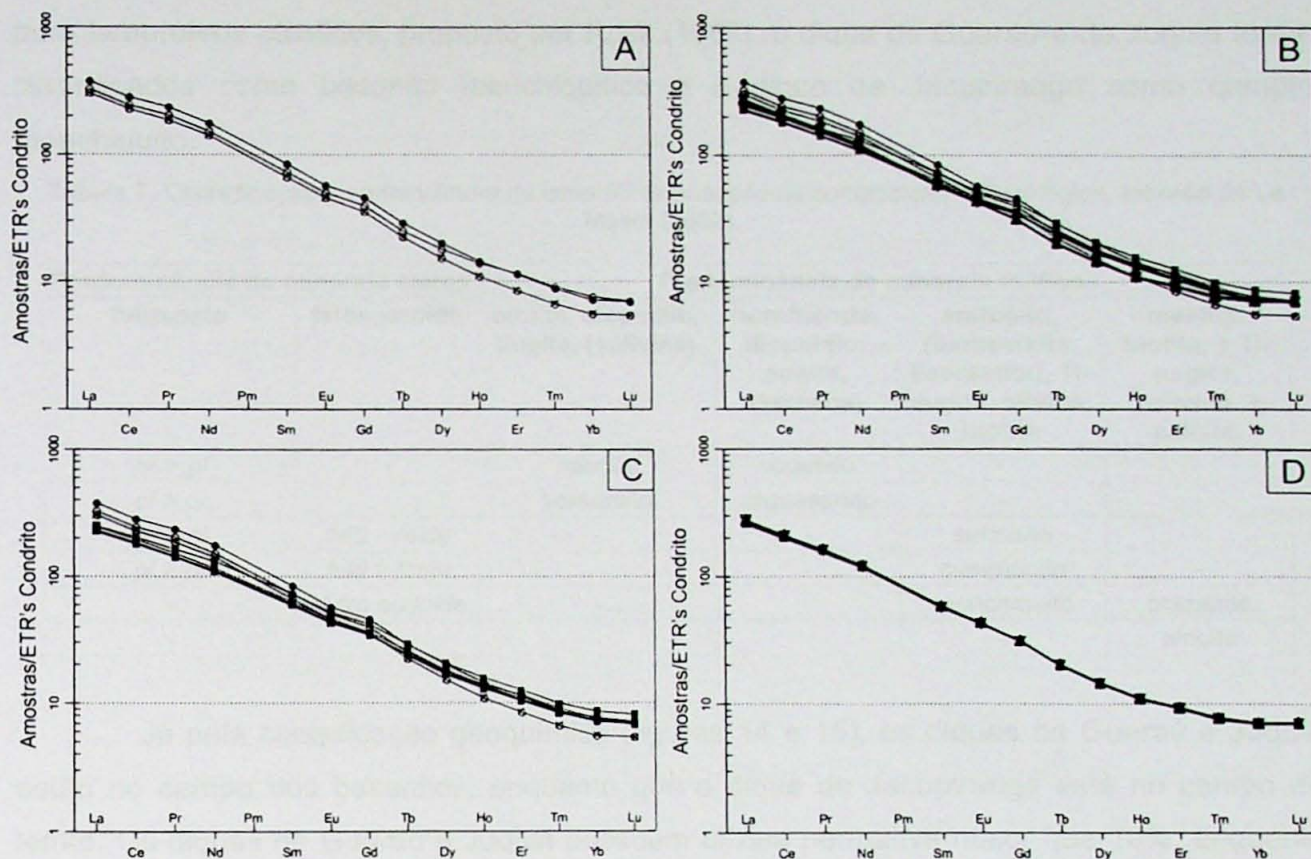


Figura 19. Diagramas terras - raras normalizados pelo condrito C1 de Boynton (1984). Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15, sendo A – Guaraú, B – Guaraú, Jacupiranga e Juquiá, C – Guaraú e Juquiá, e D - Jacupiranga.

A variação de elementos terras raras entre centro e borda é evidente no dique de basanita de Guaraú, enquanto os diques de tefrito de Jacupiranga não possuem variações significativas na Figura 19A e D.

Pela Figura 19B, o basanita de Guaraú é mais enriquecido em relação ao manto primitivo, enquanto o basanita de Juquiá e o tefrito de Jacupiranga possuem concentrações de elementos terras raras semelhantes. Há para uma amostra de Juquiá maior enriquecimento nos elementos Ho, Er, Tm, Yb e Lu em relação ao basanita de Guaraú.

VI - DISCUSSÃO FINAL

VI.1 - Classificação petrográfica vs. geoquímica

A classificação de lamprófiros, tanto por Le Maitre (2002) quanto por Rock (1987), é uma classificação estritamente petrográfica desde que sejam aceitas as condições de possuir textura inequigranular (porfirítica?), ser mesocráticas a melanocráticas ($M' = 35-90$), mas raramente ultramáficas ($M' > 90$), possuir feldspatos e/ou feldspatóides restritos à matriz e megacristais exclusivamente máficos, sendo por definição, rochas de difícil separação geoquímica das outras rochas ígneas.

Posto isto, segundo a classificação de Le Maitre (2002), os diques de lamprófiro estudados, foram classificados como monchiquitos (Tabela 7), enquanto pela classificação

para lamprófiros alcalinos, proposto por Rock (1987), o dique de Guaraú e de Juquiá foram classificados como basanita monchiquítico e o dique de Jacupiranga como campto monchiquito.

Tabela 7. Classificação e nomenclatura de lamprófiros baseado na composição mineralógica, retirado de Le Maitre (2002).

Predominância de minerais claros		Predominância de minerais máficos			
feldspato	feldspatoide	biotita, diopsídio, augita, (+olivina)	hornblenda, diopsídio, augita, (+olivina)	anfibólio, (barkevikita, kaersutita), Ti-augita, olivina, biotita	melilita, biotita, $\pm$ Ti-augita, $\pm$ olivina, $\pm$ calcita.
<i>or > pl</i>	-	minette	vogesito	-	-
<i>pl > or</i>	-	kersantito	espessartito	-	-
<i>or > pl</i>	<i>feld > foide</i>	-	-	sannaito	-
<i>pl > or</i>	<i>feld > foide</i>	-	-	camptonito	-
-	<i>Vidro ou foide</i>	-	-	monchiquito	polzenito
-	-	-	-	-	alnoito

Já pela classificação geoquímica (figuras 14 e 15), os diques de Guaraú e Juquiá estão no campo dos basanitos, enquanto que o dique de Jacupiranga está no campo do tefrito. Os diques de Guaraú e Juquiá possuem olivina normativa maior que 10%, enquanto que os diques de Jacupiranga possuem olivina normativa menor que 10% (Tabela 13), o que confirma a classificação dos diagramas, já que para a rocha ser classificada como tefrito, deve possuir olivina normativa menor de 10%.

Esta classificação leva em consideração apenas parâmetros geoquímicos, sendo tanto os basanitos como os tefritos, lamprófiros alcalinos que possuem graus de enriquecimento em elementos incompatíveis diferentes.

Esta constatação pode ser tirada também pela classificação petrográfica de Rock (1987) que leva em consideração a quantidade de minerais hidratados na rocha. Para o caso dos diques estudados, o basanita monchiquítico, correspondente petrográfico do basanita, enquanto que o campto monchiquito, correspondente petrográfico do tefrito.

VI.2 - Origem dos megacristais

Os megacristais em rochas lamprofíricas são importantes para classificação, sendo constituídos exclusivamente de minerais máficos. Devido à alta concentração modal, podendo chegar a 35% do volume da rocha (Tabela 4) e variação da concentração entre centro e borda destes megacristais, podem influenciar significativamente a composição geoquímica da rocha.

Nas rochas estudadas, os megacristais ocorrem tanto no centro como na borda dos diques, possuindo no dique de Guaraú variação modal mais expressiva que o dique de Jacupiranga.

Dentre as características dos megacristais dos diques estudados em ambas as

ocorrências, podem-se citar:

- (1) Ocorrência de megacristal de clinopiroxênio zonado e olivina no contato com a rocha encaixante (Figuras 6A, 7A, 10B e 11C);
- (2) Ocorrência de xenólitos e xenocristais da encaixante (Figura 10E) junto aos megacristais em textura fluidal (Figura 6A), sugerindo que a colocação destes magmas se deu com fluxo relativamente rápido;
- (3) Cristais de olivina corroídos nas bordas e/ou instáveis com a matriz (Figuras 6E, 10F e 13F);
- (4) Cristais de clinopiroxênio com feições que sugerem um reequilíbrio químico com a matriz da rocha (Figuras 7B, 11C e 13C), que é afetado tanto pelo centro como na borda do cristal;
- (5) Inclusão de cromo-espinélio no centro dos megacristais de clinopiroxênio e titanomagnetita nas bordas (Figuras 7E e 13A), mostrando diferença quanto a cristalização dos megacristais;

Estas características ocorrem para as três regiões estudadas. É descartada a classificação destes megacristais como fenocristais, visto que, estão instáveis com a matriz da rocha. Para o dique de Juquiá, que intrude o olivina clinopiroxenito da suíte intrusiva alcalina de Juquiá (Figura 1), os megacristais podem ser classificados como xenocristais da suíte (cristais da encaixante carregados de níveis mais profundos da suíte), ou como antecristais, ou seja, minerais que não se cristalizaram no magma que agora estão hospedados, mas que guardam vinculação genética com o mesmo sistema magmático (Charlvier 2005 e 2007, Davidson *et al.* 2007, Ubide *et al.* 2010 e Larrea *et al.* 2010)

Para os diques de Guaraú e Jacupiranga, os megacristais também podem ser classificados tanto como xenocristais ou antecristais herdados pelo magma. O dique de Jacupiranga está associado à suíte intrusiva alcalina de Jacupiranga, que pode ter influência de um olivina piroxenito em níveis mais profundos, semelhante ao dique de Juquiá. Já o dique de Guaraú intrude a suíte intrusiva Graciosa, porém está relacionado ao mesmo evento magmático mesozoico, podendo ter as mesmas relações que o dique de Juquiá.

A ocorrência de aglomerados de megacristais de clinopiroxênio e olivina (Figuras 7C, 10C e 12C) nos diques das três regiões, pode representar xenólitos ou autólitos mostrando uma provável relação direta dos diques de lamprófiros com estágios de câmara magmática mais profundos.

Portanto, fica a dúvida em relação à classificação entre xenocristais ou antecristais para os megacristais dos diques de lamprófiro estudados. Porém é conhecida sua relação com o magmatismo alcalino mesozoico, estando provavelmente associados a rochas plutônicas alcalinas, e sua origem exótica em relação ao magma lamprofírico influenciando na composição geoquímica da rocha.

VI.3 – Influência dos megacristais na composição geoquímica

VI.3.1 – Variações entre centro e borda dos diques

As variações geoquímicas evidenciadas pelos diagramas geoquímicos apresentados entre centro e borda, presentes no dique de basanita de Guaraú e, em menor grau, no dique de tefrito de Jacupiranga, provavelmente, tem relação direta com a quantidade de megacristais no centro e na borda dos diques. Isto fica mais evidente quando comparadas as análises modais do centro e borda de ambos os diques, sendo a variação do dique de Guaraú (3,7 – 25,8%) mais expressiva que o dique de Jacupiranga (4,2 – 6,4%) (Tabela 4).

Esta variação modal e geoquímica mostra que há influência dos megacristais na composição do magma. Quando comparado ao dique de olivina basalto que não apresenta zonalidade e variação na quantidade de megacristais entre o centro e a borda do dique, fica clara a complexidade da dinâmica magmática no contexto de um dique de lamprófiro.

VI.3.2 – Cálculo do líquido

Sabendo que os megacristais de clinopiroxênio e olivina ocorrem instáveis quimicamente com a matriz da rocha e sabendo que há influência destes megacristais na composição da rocha, levantou-se a questão sobre quanto os megacristais influenciam na composição geoquímica da rocha. Com isso, foi calculada a composição geoquímica do líquido das rochas estudadas, subtraindo a concentração modal de megacristais de clinopiroxênio e olivina das amostras da borda e do centro dos diques, do restante da rocha.

O cálculo foi realizado pela aplicação da fórmula (Ubide *et al.* 2012):

$$C_{RT}^i = C_{Mt}^i (1 - \sum v) + \sum (C_{Mg}^i + v)$$

onde, C_{RT}^i , C_{Mt}^i e C_{Mg}^i são as concentrações do elemento i na rocha total, na matriz e nos megacristais, respectivamente, e v é o volume modal dos megacristais de clinopiroxênio e olivina. Também foi considerado um pequeno volume estimado de minerais opacos que ocorrem inclusos em olivina e clinopiroxênio.

Desta forma, a fórmula aplicada para os diques das três regiões estudadas é:

$$C_{Mt}^i = \frac{C_{RT}^i - C_{Cpx}^i \times v_{Cpx} - C_{Ol}^i \times v_{Ol} - C_{Op}^i \times v_{Op}}{(1 - v_{Cpx} - v_{Ol} - v_{Op})}$$

Por conta de dificuldades laboratoriais para aquisição de dados de química mineral das rochas estudadas. Foram utilizados neste trabalho os dados de química mineral compilados de Beccaluva *et al.* (1992), sendo utilizadas análises do centro de megacristais de olivina, clinopiroxênio, e titano-magnetita do dique de basanita de Juquiá. Estes dados foram utilizados para os cálculos das três regiões, a fim de comparar os resultados destes líquidos qualitativamente.

Estão apresentados nas Figura 20 e Tabela 14 os resultados dos cálculos, sendo estes os dados da composição dos líquidos. É possível notar que há um pequeno deslocamento dos diques de Jacupiranga e Guaraú. Já o dique de Juquiá foi o que mais se deslocou, devido à alta concentração de megacristais de olivina de clinopiroxênio, e por possuir matriz com altas concentrações de Na_2O e K_2O .

Comparando os líquidos calculados é possível notar dois grupos distintos entre centros e bordas para o dique de Jacupiranga, enquanto que o dique de Guaraú possui uma sobreposição entre centro e borda na Figura 20A e um grande deslocamento da borda na Figura 20C.

No caso de Jacupiranga, provavelmente ocorreram dois pulsos magmáticos, pois a variação modal dos megacristais entre centro e borda é pequena Tabela 4, inviabilizando deslocamentos expressivos. Além disso, desde as relações de campo até as geoquímicas, há uma clara distinção entre centro e borda pela Figura 20A e C.

Já no caso de Guaraú, a sobreposição entre centro e borda indica que provavelmente ocorreu apenas um pulso magmático.

Os líquidos calculados são mais evoluídos quando comparados à composição de rocha total. Os líquidos têm composição tefrítica, com o líquido do dique de Guaraú mais primitivo e o de Juquiá mais evoluído. Os megacristais carregados pelo líquido tefrítico influenciam para tornar os diques mais primitivos nas análises de rocha total, enriquecendo as composições globais em MgO , Co , Ni e Cr .

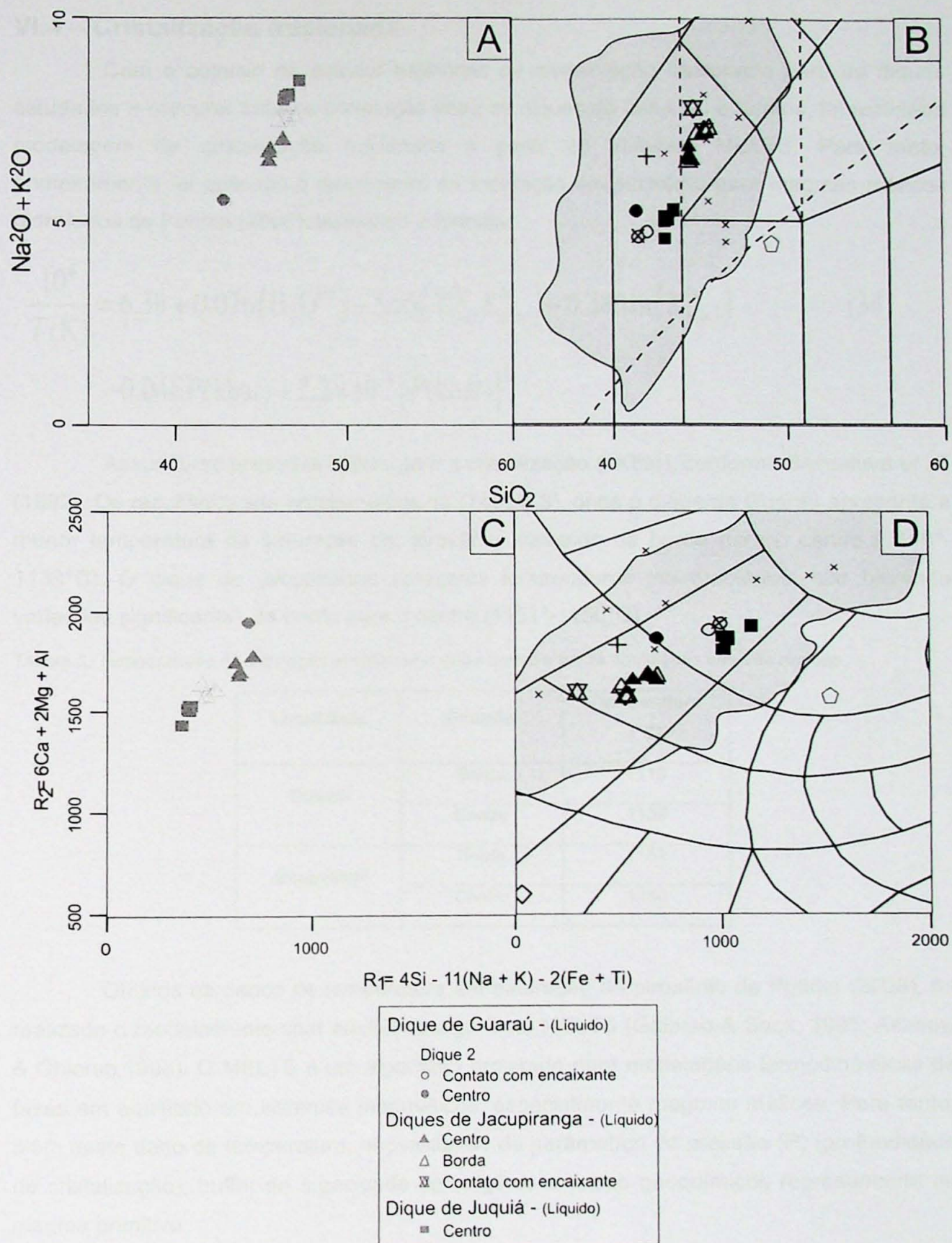


Figura 20. Diagramas de classificação geoquímica TAS (A e B) e R1-R2 (C e D), com os dados de líquidos calculados e de rocha total. Símbolos das figuras B e D iguais aos da legenda da Figura 15.

VI.4 – Cristalização fracionada

Com o objetivo de estudar trajetórias de cristalização fracionada para os diques estudados e procurar saber a correlação entre os diques de basanita e tefritos, foi realizada modelagem de cristalização fracionada a partir do software MELTS. Para tanto, primeiramente foi aplicado o termômetro de saturação em piroxênio para magmas máficos hidratados de Putirka (2008), aplicando a fórmula:

$$\frac{10^4}{T(K)} = 6.39 + 0.076(H_2O^{liq}) - 5.55(X_{CaO}^{liq} X_{SiO_2}^{liq}) - 0.386 \ln(X_{MgO}^{liq}) - 0.046P(\text{kbar}) + 2.2 \times 10^{-4} [P(\text{kbar})]^2 \quad (34)$$

Assumiu-se pressões baixas para a cristalização (1Kbar), conforme Beccaluva *et al.* (1992). Os resultados são apresentados na (Tabela 8), onde o dique de Guaraú apresenta a menor temperatura de saturação em piroxênio, variando da borda para o centro (1110°-1139°C). O dique de Jacupiranga apresenta temperaturas intermediárias, não havendo variações significantes da borda para o centro (1151°-1150°C).

Tabela 8. Temperaturas de saturação em piroxênio entre centro e borda dos diques das três regiões.

Localidade	Posição	Temperatura (°C)
Guaraú	Borda	1110
	Centro	1139
Jacupiranga	Borda	1151
	Centro	1150

Obtidos os dados de temperatura em saturação de piroxênio de Putirka (2008), foi realizado o modelamento com auxílio do algoritmo MELTS (Ghiorso & Sack, 1995; Asimow & Ghiorso, 1998). O MELTS é um algoritmo projetado para modelagens termodinâmicas de fases em equilíbrio em sistemas magmáticos, especialmente magmas máficos. Para tanto, além deste dado de temperatura, necessita-se de parâmetros de pressão (P) (profundidade de cristalização), buffer de fugacidade de oxigênio e dados geoquímicos representante de magma primitivo.

Os parâmetros que melhor se adequam às rochas estudadas são: pressão de 1 Kbar, devido a colocação rasa das suítes intrusivas alcalinas, $fO_2 = \text{QFM}$. As amostras escolhidas para modelagem correspondem a bordas dos diques de Guaraú e Jacupiranga por apresentarem menor carga de megacristais. Uma amostra do centro de Jacupiranga também foi escolhida a fim de estudar trajetórias de cristalização fracionada diferentes entre centro e borda.

Pelos dados do modelo de fracionamento em condições de equilíbrio apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11, as temperaturas de ocorrência dos primeiros cristais de clinopiroxênio são correspondentes às temperaturas de saturação em piroxênio de Putirka (2008) (Tabela 8). Isto aumenta a confiabilidade dos modelos gerados pelo MELTS para as rochas estudadas.

Tabela 9. Dados do modelo de fracionamento em equilíbrio. Amostra de borda do dique 2 de Jacupiranga modelado a uma pressão de 1 Kbar, fugacidade de oxigênio = QFM. Dados de fases minerais em % peso. Ol: Olivina, Sp: Espinélio, Cpx: Clinopiroxênio, Ap: Apatita, FK: Feldspato potássico, Lc: Leucita e Bt: Biotita.

T °C	Fração Líquido %	Minerais							Composição do Líquido		
		Ol	Sp	Cpx	Ap	FK	Lc	Bt	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
1190	99,23	0,77							6,74	10,08	13,18
1170	97,62	2,33	0,06						6,17	10,24	13,39
1150	96,01	3,82	0,17						5,63	10,4	13,6
1140	91,8	4,2	0,44	3,57					5,18	9,98	13,99
1130	84,55	4,3	1,66	9,54					4,55	9,23	14,66
1110	71,04	3,94	5,4	19,76					3,38	7,75	16,16
1090	64,13	3,78	7,19	25,1					2,68	6,74	17,08
1070	59,83	3,77	8,15	28,49					2,2	5,97	17,69
1050	56,8	3,85	8,7	30,89					1,84	5,36	18,12
1030	54,35	4,03	9,01	32,73	0,14				1,56	4,72	18,48
1010	52,37	4,27	9,17	34,16	0,3				1,33	4,14	18,76
990	50,09	4,68	9,22	35,01	0,43	0,85			1,14	3,66	18,84
970	45,12	5,27	9,37	34,88	0,59	4,32	0,72		0,98	3,26	18,55
950	37,74	5,77	9,31	35,64	0,79	11,06			0,89	2,96	18,46
930	30,93	6,14	9,26	36,24	0,96	16,79			0,82	2,71	18,22
910	22,56	4,09	9,96	36,22	1,11	23,28		3,13	0,74	2,45	17,18
890	16,47	1,95	10,52	36,13	1,21	27,61		6,51	0,63	2,24	15,8
870	13,2	1,14	10,56	36,24	1,26	29,83		8,18	0,52	2,09	14,71
850	11,06	0,81	10,42	36,45	1,29	31,19		9,2	0,43	1,98	13,76

Tabela 10. Dados do modelo de fracionamento em equilíbrio. Amostra do centro do dique 1 de Jacupiranga modelado a uma pressão de 1 Kbar, fugacidade de oxigênio = QFM. Dados de fases minerais em % peso. Ol: Olivina, Sp: Espinélio, Cpx: Clinopiroxênio, Ap: Apatita, FK: Feldspato potássico e Bt: Biotita.

T °C	Fração Líquido %	Minerais						Composição do Líquido		
		Ol	Sp	Cpx	Ap	FK	Bt	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
1185	98,88	1,13						6,89	10,41	12,9
1165	97,19	2,73	0,08					6,32	10,58	13,12
1145	95,49	4,28	0,24					5,77	10,75	13,34
1135	90,69	4,63	0,65	4,05				5,29	10,3	13,78
1125	82,55	4,64	2,33	10,55				4,61	9,53	14,54
1105	69,04	4,23	6,13	20,77				3,44	8,08	16,1
1085	62,16	4,04	7,88	26,13				2,74	7,05	17,05
1065	57,87	4,01	8,8	29,56				2,26	6,27	17,68
1045	54,85	4,08	9,33	32				1,9	5,63	18,12
1025	52,4	4,24	9,63	33,87	0,13			1,61	4,98	18,5
1005	50,44	4,48	9,77	35,32	0,28			1,37	4,39	18,79
985	48,84	4,85	9,7	36,5	0,39			1,18	3,88	18,95
965	45,53	5,44	9,76	36,52	0,5	2,54		1,01	3,47	18,77
945	40,01	5,99	9,76	36,71	0,65	7,17		0,9	3,17	18,57
925	32,55	6,46	9,65	37,27	0,82	13,55		0,84	2,98	18,32
905	20,56	2,18	11,08	36,58	1,04	22,73	6,19	0,74	2,85	16,52
895	17,56	1,38	11,25	36,49	1,08	24,99	7,62	0,68	2,82	15,82

Tabela 11. Dados do modelo de fracionamento em equilíbrio. Amostra da borda do dique de Guaraú, modelado a uma pressão de 1 Kbar, fugacidade de oxigênio = QFM. Dados de fases minerais em % peso. Ol: Olivina, Sp: Espinélio, Cpx: Clinopiroxênio, Ap: Apatita, FK: Feldspato.

T °C	Fração Líquido %	Minerais					Composição do Líquido			
		Sp	Ol	Cpx	Ap	Bt	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1147	99,31	0,72					7,57	13,2	7,3	42,05
1127	97,34	1,96	0,75				7,23	13,46	7,41	42,59
1107	72,37	9,98		17,85			5,26	12,31	8,94	45,36
1087	58,28	13,67		28,32			3,67	11,04	10,26	47,61
1067	51,46	15,04		33,79			2,79	10	11,03	48,93
1047	47,23	15,7		37,38			2,22	9,11	11,55	49,84
1027	44,15	16,06		40	0,1		1,82	8,23	11,95	50,66
1007	41,73	16,29		42,02	0,28		1,52	7,36	12,29	51,44
987	39,87	16,42		43,62	0,41		1,29	6,61	12,55	52,07
967	38,38	16,51		44,93	0,5		1,11	5,96	12,74	52,59
947	37,06	16,49		46,03	0,57	0,17	0,96	5,43	12,84	53,07
927	35,22	15,94		46,89	0,67	1,6	0,76	5,05	12,5	53,9
907	33,59	15,37		47,68	0,75	2,92	0,61	4,73	12,05	54,74
887	32,15	14,82		48,4	0,81	4,14	0,48	4,47	11,53	55,55
867	30,86	14,28		49,08	0,85	5,25	0,39	4,24	11,02	56,29
847	26,93	13,85		49,85	0,9	6,01	0,33	4,28	9,88	56,08
837	24,65	13,7		50,25	0,91	6,24	0,31	4,37	9,15	55,63
827	22,75	13,56		50,63	0,91	6,42	0,29	4,47	8,45	55,11

No líquido calculado pelo MELTS com composição mais próxima da borda do dique de Jacupiranga (Tabela 9) a primeira fase mineral a cristalizar é a olivina, seguida pelo espinélio, chegando a cristalizar até 3,9% antes de começar a cristalizar o clinopiroxênio, em

1140°C, cristalizando até 43% do líquido em 1050°C. Em seguida começam a cristalizar apatita e posteriormente, feldspato potássico. A leucita ocorre em 970°C; porém, com o resfriamento, a mesma é consumida pelo magma. A biotita surge em 910°C com 3,13%, até 850°C quando a modelagem termina com 11,06% de líquido restante.

A partir destes modelamentos nota-se que o líquido de composição geoquímica semelhante à borda do dique de tefrito de Jacupiranga segue a trajetória de evolução até rochas bem mais evoluídas como fonolito. Já pela Figura 22A, a trajetória do líquido evolui diminuindo a quantidade de MgO e, subordinadamente de Al₂O₃ e CaO, até a ocorrência de uma inflexão (Figura 22A e C), referente ao início da cristalização de clinopiroxênio, passando pela composição do líquido de Juquiá e evoluindo até composições semelhantes a da encaixante (Figura 22B).

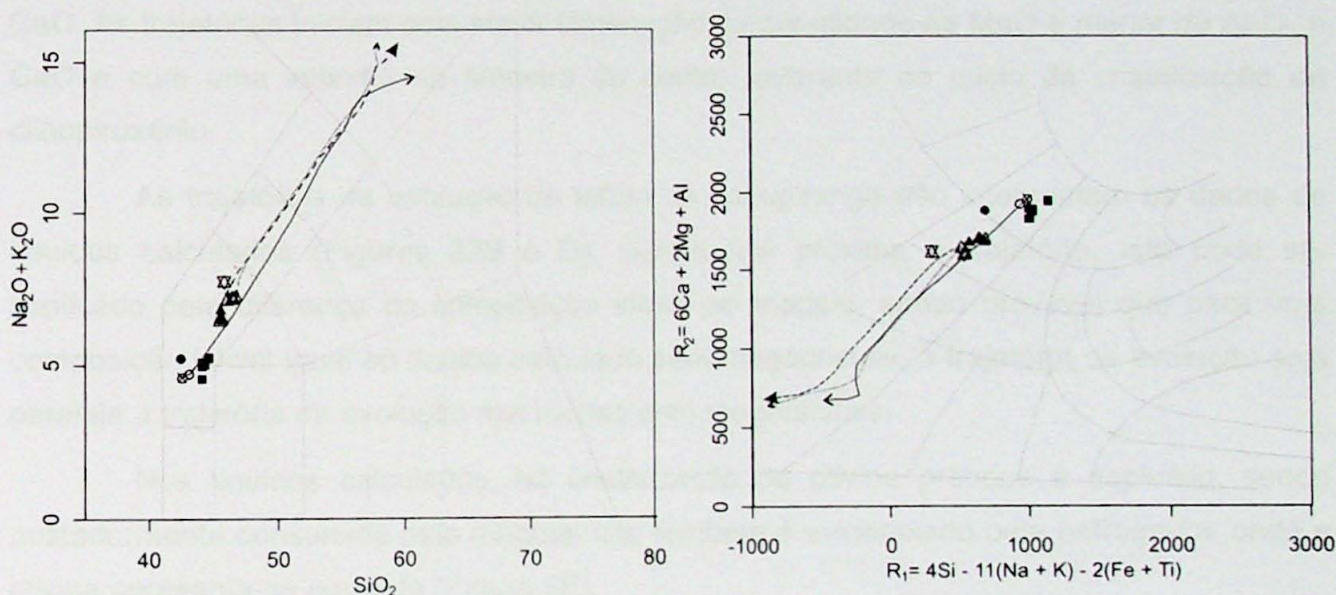


Figura 21. Diagramas de classificação TAS e R1 – R2 com as trajetórias de evolução magmática modelada pelo MELTS. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.

O líquido calculado pelo MELTS com composição mais próxima do centro do dique de tefrito de Jacupiranga (Tabela 10) tem início à cristalização de olivina por volta de 1185°C, ocorrendo junto com espinélio a partir de 1165°C. O clinopiroxênio começa a cristalizar pouco acima de 1135°C. Em 1025°C e já com ~56% de cristais no magma, começa a cristalização de apatita, seguida pelo feldspato potássico em 965°C e biotita em 905°C. O modelo segue a cristalização até 895°C com 17,56% de fração do líquido restante.

O líquido calculado de composição próxima à análise do centro do dique de tefrito de Jacupiranga possui trajetória de evolução paralela a da borda, podendo também chegar a composições de fonolito. Pela Figura 22 apresenta trajetórias de evolução semelhantes à da borda, com maior diminuição da quantidade de MgO e menor de Al₂O₃ e CaO no início da trajetória de evolução. Há também uma inflexão na trajetória, referente ao início da cristalização de clinopiroxênio e continuando pode evoluir para composições de fonolito.

O líquido de composição basanítica modelado para Guaraú (Tabela 11) tem início à cristalização em 1147°C, com espinélio. A olivina começa a cristalização em 1127°C, sendo consumida pelo magma posteriormente. O clinopiroxênio inicia a cristalização por volta de 1107°C, muito próximo à temperatura de saturação calculada (Tabela 8). Em 1027°C e com 55,85% de cristais no magma, há cristalização de apatita, seguido pela biotita em 947°C. O modelo segue a cristalização até 827°C, com 22,75% de fração do líquido.

Pela Figura 21 a borda do dique de basanito de Guaraú, possui uma trajetória de evolução que passa próximo a composição dos tefritos de Jacupiranga, e no caso do diagrama R1 – R2 há sobreposição da trajetória de evolução, podendo em ambos os diagramas chegar a composições de fonolito.

Pela Figura 22 a borda do dique de basanito de Guaraú possui trajetória de evolução diferente do centro e borda de Jacupiranga, sendo mais empobrecido em Al_2O_3 e CaO . As trajetórias iniciam com maior diminuição da quantidade de MgO e menor de Al_2O_3 e CaO e com uma inflexão na amostra do centro, referente ao início da cristalização de clinopiroxênio.

As trajetórias de evolução do tefrito de Jacupiranga não interceptam os dados de líquidos calculados (Figuras 22B e D), porém fica próxima à trajetória. Isto pode ser explicado pela diferença da composição inicial no modelo, sendo provável que para uma composição inicial igual ao líquido calculado sem megacristais, a trajetória de evolução seja paralela à trajetória de evolução das rochas com megacristais.

Nos líquidos calculados, há cristalização de olivina precoce e espinélio, sendo posteriormente consumida pelo magma. Isto também é evidenciado pela petrografia, onde a olivina apresenta-se corroída (Figura 6E).

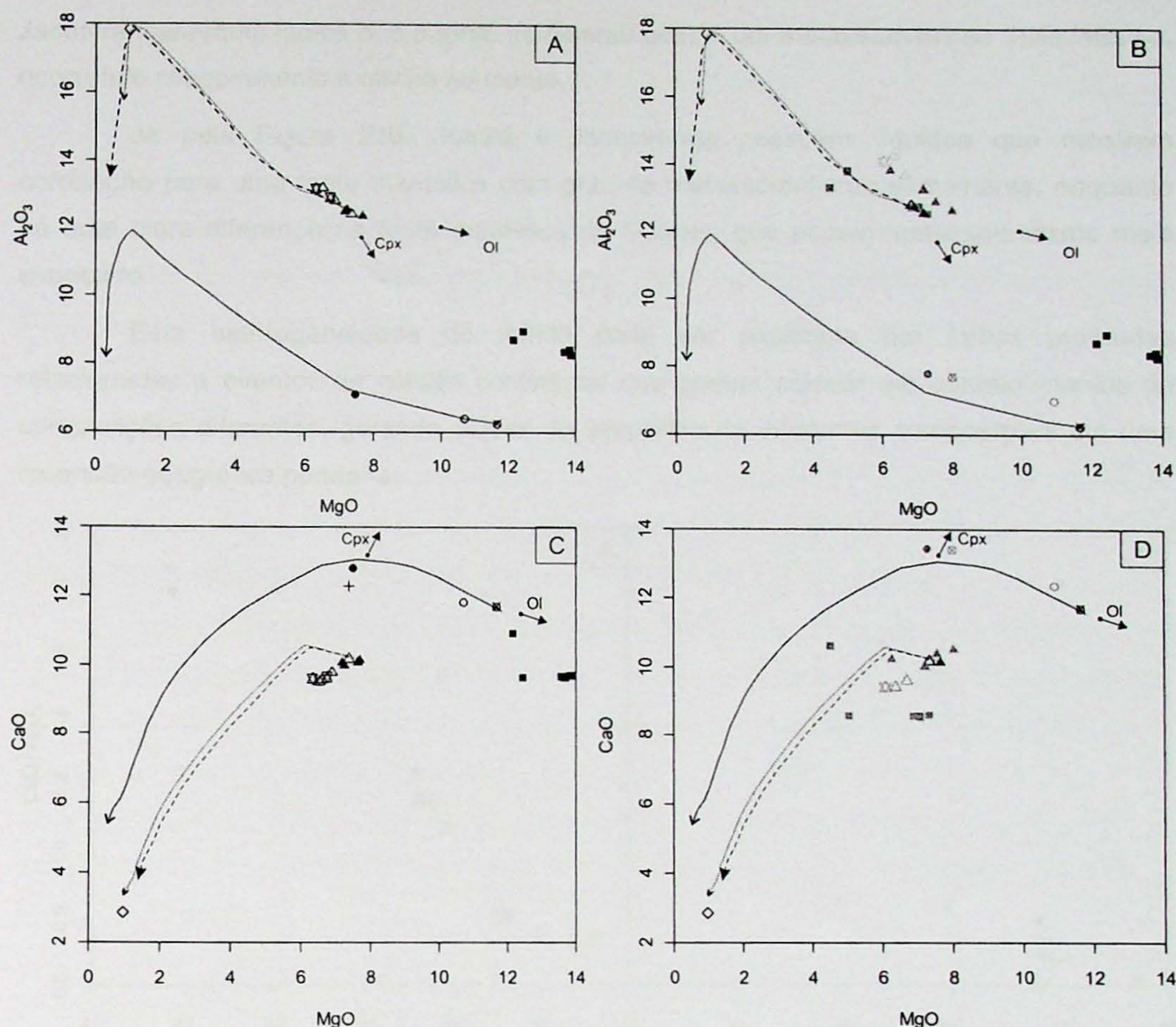


Figura 22. Diagramas bivariantes para Al_2O_3 e CaO vs. MgO de rocha total e líquidos calculados com as trajetórias de evolução modeladas pelo MELTS. Símbolos iguais aos das legendas das Figuras 15 e 21.

Pela Figura 21 o dique de basanita de Guaraú pode evoluir para composições químicas de tefrito, porém a ocorrência de duas trajetórias de evolução diferentes entre o dique de Guaraú e o dique de Jacupiranga (Figura 22) bem como a falta de correlação entre alguns elementos (Figura 16), provavelmente estão associadas a heterogeneidades do manto litosférico. A Figura 23A mostra que o dique de Guaraú apresenta razão de $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ próximo a 2, enquanto Juquiá e Jacupiranga apresentam valores próximos a 1, mostrando composições mantélicas próximas.

Segundo Gibson *et al.* (1999), valores de razão $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ indicam a ocorrência de clinopiroxênio e olivina na fonte, associados a reação de um fluido dolomítico com ortopiroxênio no manto, sendo um indicador de metassomatismo na fonte.

Pelas Figura 23A e B, quanto maior a razão $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ menor a quantidade de SiO_2 , isso mostra que quanto maior o metassomatismo da fonte gerando clinopiroxênio e olivina, menor a quantidade de SiO_2 na fonte. A diferença entre Guaraú e

Jacupiranga/Juquiá indica que a fonte de Guaraú possui um metassomatismo mais intenso, ocorrendo clinopiroxênio e olivina no manto.

Já pela Figura 23B, Juquiá e Jacupiranga possuem líquidos que mostram correlação para uma fonte mantélica com grau de metassomatismo semelhante, enquanto há uma clara diferença na fonte mantélica de Guaraú, que possui metassomatismo mais avançado.

Esta heterogeneidade do manto pode ser explicada por falhas profundas relacionadas a eventos de colisão continental que podem colocar em contato mantos de composições diferentes, gerando diques de lamprófirio de diferentes composições em uma extensão geográfica pequena.

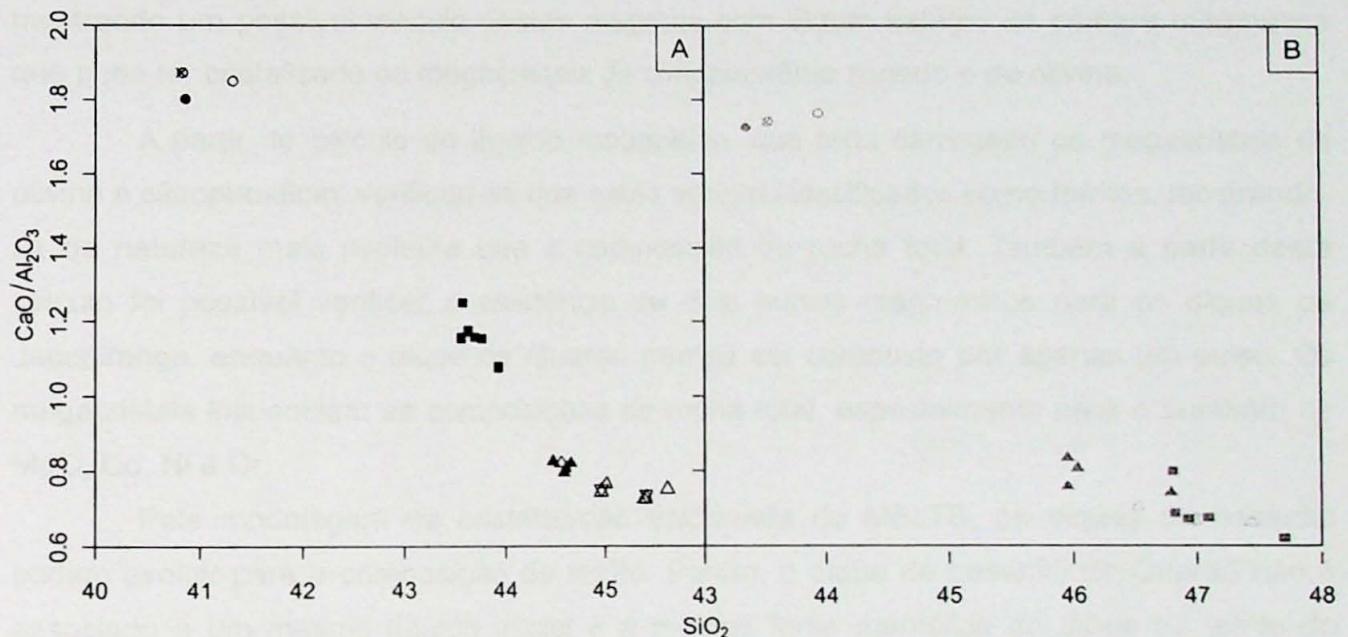


Figura 23. Diagrama de $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ vs. SiO_2 , mostrando diferenças no líquido inicial e na fonte mantélica dos diques. A) Dados de geoquímica de rocha-total. B) Líquidos calculados descontando-se a proporção de megacristais. Símbolos iguais ao da legenda da Figura 15.

VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O evento de reativação tectono-magmática no mesozóico gerou o soerguimento do Arco de Ponta Grossa como resultado do intenso vulcanismo basáltico da Formação Serra Geral. Neste contexto encontram-se as rochas alcalinas da região do qual os diques de lamprófiro estudados também fazem parte.

Todos os diques estudados são classificados como monchiquitos pela presença de vidro ou mesóstase intersticial. Os diques de Guaraú e Juquiá são classificados por Rock (1987) como basanito monchiquítico e geoquimicamente como basanitos. Já os diques de Jacupiranga são classificados como campto monchiquito e geoquimicamente como tefrito, sendo litotipos mais evoluídos que os diques de Guaraú e Juquiá.

A classificação geoquímica dos diques analisados ocorre dentro da zona de ocorrência dos diques de regiões adjacentes (Figuras 14 e 15).

A ocorrência de reequilíbrios químicos em megacristais de clinopiroxênio ou mesmo a instabilidade química que ocorre em megacristais de olivina, também sugerida pela modelagem pelo MELTS, impossibilita de classificá-los como fenocristais. Estes podem ser antecristais oriundos de fases precoces herdadas pelo magma fracionado, ou ainda xenocristais de alguma fase de câmara magmática alcalina relacionada ao evento magmático mesozoico, visto que estes diques ocorrem comumente associados a suítes intrusivas alcalinas da região.

A existência de aglomerados de megacristais podem representar autólitos, mostrando um possível vínculo destes magmas com algum estágio de câmara magmática que pode ter cristalizado os megacristais de clinopiroxênio zonado e de olivina.

A partir do cálculo do líquido magmático, que teria carregado os megacristais de olivina e clinopiroxênio, verificou-se que estes seriam classificados como tefritos, mostrando-se de natureza mais evoluída que a composição de rocha total. Também a partir deste cálculo foi possível verificar a existência de dois pulsos magmáticos para os diques de Jacupiranga, enquanto o dique de Guaraú parece ser composto por apenas um pulso. Os megacristais influenciam as composições de rocha total, especialmente para o aumento de MgO, Co, Ni e Cr.

Pela modelagem de cristalização fracionada do MELTS, os diques de basanita podem evoluir para a composição de tefrito. Porém, o dique de basanita de Guaraú não é associado a um mesmo líquido inicial e à mesma fonte mantélica do dique de tefrito de Jacupiranga; já o dique de Juquiá apresenta um líquido e uma fonte mantélica próximas composicionalmente do dique de Jacupiranga. O dique de Guaraú representa um líquido mais insaturado em sílica que Juquiá e Jacupiranga e deve ser proveniente de fonte mantélica com mais clinopiroxênio.

VIII - REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, **3**:139-158.
- Almeida F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(4):325-349.
- Alves, F.R., 1996. Contribuição ao Conhecimento Geológico e Petrológico das Rochas Alcalinas da Ilha dos Búzios, SP. Tese de Doutorado, IGc-USP, p. 274.

- Alves, F.R., Ruberti, E. & Vlach, S.R.F., 1992. Magmatismo meso-cenozóico da região da Serra da Mantiqueira, SP/MG. *Bol. IG-USP, publicação especial*, **12**:7-9.
- Amaral G., 1978. Potassium-argon age studies on the Jacupiranga alkaline district, State of São Paulo, Brazil. *Proc. 1st Int. Symp. on Carbonatites, Pocos de Caldas, Brazil*, 297-301.
- Asimow P.D. Ghiorso M.S. 1998. Algorithmic Modifications Extending MELTS to Calculate Subsolidus Phase Relations. *American Mineralogist* **83**:1127-1131.
- Azzone R.G. 2008. Petrogênese do maciço máfico-ultramáfico Ponte Nova (SP-MG). Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 394.
- Beccaluva L., Barbieri M., Born H., Brotzu P., Coltorti M., Conte A., Garbarino C., Gomes C.B., Macciotta G., Morbidelli L., Ruberti E., Siena F., Traversa G. 1992. Fractional Crystallization and Liquid Immiscibility processes in the Alkaline-Carbonatite Complex of Juquia (Sao Paulo, Brazil). *Journal of Petrology*, **33**(6):1371-1404.
- Bellieni, G., Montes Lauar, C. R., De Min, A., Piccirillo, E. M., Cavazzini, G., Melfi, A. J. & Pacca, I. G., 1990. Early and late cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE - Brazil): Geochemistry and petrology. *Geochim. Brasil.*, **4** (1): 59-83.
- Born H. 1971. O Complexo alcalino de Juquiá. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 77.
- Boynton W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P (ed) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp 63–114.
- Charlier B.L.A., Bachmann O., Davidson J.P., Dungan M.A., Morgan D.J. 2007. The upper crustal evolution of a large silicic magma body: evidence from crystalscale Rb-Sr isotopic heterogeneities in the Fish Canyon magmatic system, Colorado. *Journal of Petrology* **48**(10): 1875–1894.
- Charlier B.L.A., Wilson C.J.N., Lowenstern J.B., Blake S., Van Calsteren P.W., Davidson J.P. 2005. Magma generation at a large, hyperactive silicic volcano (Taupo, New Zealand) revealed by U–Th and U–Pb systematics in zircons. *Journal of Petrology* **46** (1): 3–32.
- Chayes, F., 1956. Petrographic modal analysis. John Wiley e Sons. New York.
- Coutinho J.M.V 2008. Dyke Swarms of the Paraná Triple Junction, Southern Brazil. *Geol. USP Sér. Cient.*, **8**(2):29-52.

- Davidson J.P., Morgan D.J., Charlier B.L.A., Harlou R., Hora J.M. 2007. Microsampling and isotopic analysis of igneous rocks: implications for the study of magmatic systems. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **35**: 273–311.
- De La Roche H., Leterrier, J., Grandclaude, P., & Marchal, M, 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, **29**:183-210.
- Faleiros F.M., Pavan, M. 2013. Geologia e Recursos Minerais da Folha Eldorado Paulista - SG-22-X-B-XI, estado de São Paulo, Escala: 1:100.000. São Paulo – CPRM.
- Ferreira F.J.F. & Algarte J.P. 1979. O comportamento aeromagnetométrico - cintilométrico das principais rochas alcalinas dos estados de São Paulo e Paraná. In: Simp. Reg. Geol. Rio Claro, SBG. **2**:195-208.
- Foley A.F. 1984. Liquid immiscibility and melt segregation in alkaline lamprophyres from Labrador. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, p. 127-137.
- Garda, G. M. 1995. Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Germann A., Marker, A., Friedrich, G. 1987. The alkaline complexo of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. Petrology and genetic consideration. *Zbl. Geol. Paleont. Teil I*, **7/8**:807-818.
- Ghiorso M.S., Sack R.O. 1995. Chemical Mass Transfer in Magmatic Processes. IV. A Revised and Internally Consistent Thermodynamic Model for the Interpolation and Extrapolation of Liquid-Solid Equilibria in Magmatic Systems at Elevated Temperatures and Pressures. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **119**:197-212.
- Gibson S.A., Thompson R.N., Leonardos O.H., Dickin A.P., Mitchell J.G., 1999. The limited extent of plumelitosphere interactions during continental flood-basalt genesis: geochemical evidence from Cretaceous magmatism in southern Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **137**:147-169.
- Gomes C.B., Comin-Chiaramonti P. 2005. An introduction to the alkaline and alkaline-carbonatitic magmatism in and around the Paraná-Basin. In: Comin-Chiaramonti P., Gomes C.B. (eds.) *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, p. 21-30.
- Gomes C.B., Ruberti E., Morbidelli L. 1990. Carbonatite complexes from Brazil: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, **3**:51-63.

- Gomes C.B., Rubertil E., Comin-Chiaramonti P., Azzone, R. G. 2011. Alkaline magmatism in the Ponta Grossa Arch, SE Brazil: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, **32**:152-168.
- Kaul P.F.T. 1997. O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos. São Paulo, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 293.
- Larrea P., França Z., Lago M., Widom E., Galé C., Ubide T. 2012. Magmatic processes and the role of antecrysts in the genesis of Corvo Island (Azores Archipelago, Portugal). *Journal of Petrology*, Dezembro. p.1-25.
- Le Maitre R.W. (Ed.) 2002. Igneous rocks. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, p. 236.
- Le Maitre R.W. 1976. Some problems of the projection of chemical data into mineralogical classifications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **56**: 181-189.
- Lima, G. A., 2001. Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP. Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 170p.
- Marques L.S. & Ernesto M. 2004. O Magmatismo Toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto, Bartorelli, Carneiro & Brito-Neves (Eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. p. 245-263.
- Melcher G.C. 1954. Nota sobre o Distrito Alcalino de Jacupiranga, São Paulo. Rio de Janeiro, DNPM (Notas preliminares e estudo. Divisão de Geologia e Mineralogia, 84).
- Melcher G.C. 1965. O Carbonatito de Jacupiranga. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*. **282**:5-73. (Série Geologia, 21).
- Morbidelli L., Gomes C.B., Brotzu, P., Dacquarella S., Garbarino C., Ruberti E., Traversa G. 2000. The Paríquera-Açu K-alkaline complex and southern Brazil lithospheric mantle source characteristics. *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**:129-150.
- Morgental A., Batolla, JR. F., Garrido, G. P., Pessato, I. P. e Drumond, J. B. V. 1975. Projeto Sudelpa: Relatório final. São Paulo: CPRM, v.1.
- Mori P.E. Reeves S. Correia C.T. Haukka M. 1999. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**(3): 441-446.

- Oliveira M.C.B.; Rodrigues, E.P.; Coutinho, J.M.V.; Martins, F.A.G.; Figueiredo, M.C.H.; Zapparoli, L.H. 1987. Petrologia de parte do maciço granítico Guaraú-SP. *In* I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1. Curitiba. SBG. Atas, 2:571-594.
- Orejana D., Villaseca C., Bilstrom K., Paterson B.A. 2008. Petrogenesis of Permian alkaline lamprophyres and diabases from the Spanish Central System and their geodynamic context within western Europe. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **156**:1477-500.
- Pedroso-Garcia R. 2011. Magmatismo granítico e alteração hidrotermal: exemplo do Pluton Desembarque, Maciço Guaraú (SP), Província Graciosa. Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 4.
- Potts P. J. 1987. *A handbook of Silicate Rock Analysis*. Blackie Academic & Professional, 622p.
- Putirka K.D. 2008. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, **69**: 61-120.
- Riccomini C. 1995a. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. Tese de Livre-Docência. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, p. 100.
- Riccomini C. 1995b. Padrão de fraturamentos do Maciço Alcalino de Cananéia, Estado de São Paulo: relações com a tectônica mesozóico-cenozóica do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**:79-84.
- Riccomini C., Velázquez V.F., Gomes C.B. 2005. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in the central-southeastern Brazilian Platform. In: Comin-Chiaramonti P., Gomes C.B. (Eds.), Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform. Edusp/Fapesp, São Paulo, p. 31 e 55.
- Rock N.M.S. 1987. The nature and origin of lamprophyres: an overview. *Geological Society Special Publication*, **30**:191-226.
- Ruberti E., Gomes C.B., Comin-Chiaramonti P. 2005. The alkaline magmatism from the Ponta Grossa Arch. In: Comin-Chiaramonti P., Gomes C.B. (eds.) Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform. Edusp/Fapesp, São Paulo, p. 473-522.
- Sun S.S. & McDonough W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS A.D., NORRY, M. (eds.). Magmatism in ocean basins. *Geological Society of London Special Publication* **42**: 313-345.

- Trumbull R.B., Buhn B., Romer R.L., Volker F. 2003. The Petrology of Basanite-Tephrite Intrusions in the Erongo Complex and Implications for a Plume Origin of Cretaceous Alkaline Complexes in Namibia. *Journal of Petrology*, **44**(1): 93-111.
- Ubide T., Arranz E., Lago M., Galé C., Larrea P. 2012. The influence of crystal settling on the compositional zoning of a thin lamprophyre sill: A multi-method approach. *Lithos*. 132-133: 37-49.
- Vasconcelos C.S., Dehler N.M., Yamato L.A., Lopes Jr.I, Obata O.R., Sintoni A. 1999. Projeto Jacupiranga-Rio Guaraú. São Paulo, Convênio Secretaria de Estado de Energia/CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

ANEXO I

TABELAS DE DADOS

GEOQUÍMICOS

ANEXO I

TABELAS DE DADOS

GEOQUÍMICOS

Tabela 12. Dados geoquímicos (óxidos, % em peso; traços, em ppm) dos diques de lamprófito do Arco de Ponta Grossa.

Amostra Posição Class. Geol.	Guaraú		Guaraú		Jacupiranga		
	Dique 1		Dique 2		Dique 1		
	APG 500 A_D1	APG 500 J	APG 500 B	APG 500 G	APG 501 D	APG 501 C	APG 501 E
	Borda Basalto	Centro Basanito	Borda Basanito	Bor./encaix. Basanito	Centro Tefrito	Borda Tefrito	Bor./encaix. Tefrito
SiO ₂	47,84	40,82	41,31	40,86	44,61	45,39	45,41
TiO ₂	2,22	4,38	4,51	5,23	3,05	2,91	2,97
Al ₂ O ₃	11,86	6,25	6,4	7,11	12,49	13,18	13,16
Fe ₂ O ₃	10,86	15,92	16,02	16,51	13,26	12,44	12,58
MnO	0,14	0,27	0,23	0,61	0,2	0,19	0,19
MgO	8,88	11,65	10,67	7,45	7,15	6,5	6,3
CaO	8,64	11,71	11,85	12,83	10,08	9,52	9,61
Na ₂ O	2,68	1,43	1,88	2,49	3,15	3,58	3,6
K ₂ O	1,68	3,01	2,67	2,57	3,19	3,45	3,46
P ₂ O ₅	0,42	0,67	0,68	0,81	0,58	0,57	0,57
LOI	4,07	2,42	2,32	2,7	0,7	0,78	0,8
Total	99,56	98,8	98,84	99,39	98,74	98,99	99,08
#mg*	67,2	64,1	62,0	52,5	57,3	56,6	55,6
Cs	3,86	32,0	22,2	59,8	0,65	0,59	0,63
Rb ^a	33	125	104	104	70	75	75
Ba ^a	641	1565	1643	1700	1577	1660	1638
Sr ^a	719	891	982	1206	1234	1303	1290
Pb	5,62	10,6	11,8	10,1	9,59	10,0	10,1
Th	3,60	10,7	11,7	12,6	7,82	8,36	8,61
U	1,20	2,99	4,40	2,62	1,61	1,75	1,77
Zr ^a	178	361	377	414	275	285	290
Hf	4,59	8,55	9,23	10,28	6,74	6,83	6,89
Y ^a	61	24	32	28	22	21	23
Nb ^a	30	84	88	100	62	66	67
Nb	34,0	81,2	92,2	105	61,9	68,9	66,2
Ta	1,67	4,35	4,73	5,47	3,39	3,80	3,71
Sc ^b	22	36	40	43	29	29	29
Cr ^b	636	946	846	192	195	167	160
Ni ^b	268	397	345	125	98	86	77
Co ^b	53	81	77	63	47	42	41
V ^b	226	386	384	479	320	310	309
Ga ^b	18	17	15	16	18	18	17
Zn ^b	106	110	107	118	96	93	93
Cu ^b	78	177	179	205	102	86	87
La	39	94	102	117	82	85	87
Ce	81	184	198	230	160	165	169
Pr	10,1	22,6	24,7	28,5	19,3	19,6	19,9
Nd	41,0	83,9	91,1	105,9	71,3	71,3	72,7
Sm	8,8	13,0	14,2	16,4	11,3	11,2	11,3
Eu	2,27	3,38	3,71	4,21	3,13	3,07	3,18
Gd	8,96	9,2	10,2	11,92	8,26	7,94	8,13
Tb	1,51	1,06	1,19	1,38	0,96	0,93	0,97
Dy	8,62	4,96	5,81	6,48	4,69	4,61	4,72
Ho	1,92	0,79	1,0	1,05	0,79	0,78	0,8
Er	4,99	1,8	2,43	2,37	1,95	1,92	1,97
Tm	0,63	0,22	0,29	0,29	0,25	0,25	0,25
Yb	3,17	1,17	1,58	1,51	1,44	1,49	1,5
Lu	0,45	0,18	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23
Cl ^b	< 50	< 50	< 50	< 50	539	585	611
F ^b	1352	1737	1674	2184	< 500	1949	1637
S ^b	1385	1043	1385	< 550	2276	2174	2113

* - mg# = MgO/(MgO+FeO_i) molar^a - Elementos determinados tanto por FRX quanto por ICP-MS, porém, devido aos menores limites de detecção e erros analíticos foram escolhidas as análises por FRX.^b - Elementos analisados apenas por FRX

Demais elementos traços analisados por ICP-MS

Nb e Ta, em itálico: Elementos determinados por ICP-MS, por rotina específica do laboratório

Tabela 12. Continuação

Amostra Posição Class. Geol.	Jacupiranga				Jacupiranga		Juquiá			
	Dique 2				Dique 3		Blocos			
	APG 501 G Centro Tefrito	APG 501 H Centro Tefrito	APG 501 J Borda Tefrito	APG 501 I Bor./encaix. Tefrito	APG 501 K Borda Tefrito	APG 10A Centro? Basanito	APG 10B1 Centro? Basanito	APG 10B2 Centro? Basanito	APG 11 Centro? Basanito	APG 12 Centro? Basanito
SiO ₂	44,59	44,66	44,56	45,01	44,96	43,69	43,56	43,63	43,57	43,93
TiO ₂	3,04	3,03	3,1	2,97	2,95	3,65	3,64	3,64	3,82	3,75
Al ₂ O ₃	12,55	12,36	12,41	12,79	12,9	8,36	8,36	8,27	8,72	8,96
Fe ₂ O ₃	13,17	13,29	13,46	12,69	12,61	14,15	14,13	14,25	14,26	13,83
MnO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
MgO	7,22	7,68	7,34	6,87	6,72	13,55	13,67	13,84	12,15	12,44
CaO	9,99	10,14	10,18	9,79	9,65	9,69	9,67	9,72	10,92	9,66
Na ₂ O	3,48	3,33	3,14	3,67	4,21	2,15	2,14	2,14	2,02	2,13
K ₂ O	3,19	3,1	3,16	3,31	3,4	2,83	2,83	2,8	2,49	3,05
P ₂ O ₅	0,57	0,55	0,57	0,6	0,59	0,56	0,56	0,57	0,8	0,59
LOI	1,97	0,76	0,73	0,84	0,35	< 0,01	0,14	0,1	0	0,22
Total	100,53	99,61	99,34	99,29	99,01	98,95	99,03	99,28	99,08	98,75
#mg*	57,7	59,0	57,6	57,5	57,1	70,7	70,5	70,6	67,8	69,0
Cs	0,55	0,57	0,71	0,56	0,55	0,58	0,59	0,57	0,49	0,69
Rb ^a	69	67	69	69	74	63	65	64	56	71
Ba ^a	1565	1531	1604	1658	1615	1063	1085	1055	897	1170
Sr ^a	1207	1172	1239	1276	1286	965	998	979	1207	1111
Pb	9,61	9,16	9,59	11,3	10,0	7,72	7,51	6,96	6,20	7,91
Th	7,84	7,70	7,76	8,20	8,23	8,54	8,41	8,14	7,23	9,04
U	1,62	1,60	1,59	1,68	1,71	1,84	1,82	1,76	1,95	1,94
Zr ^a	273	271	276	278	284	314	313	308	339	334
Hf	6,75	6,65	6,71	6,69	6,75	7,71	7,67	7,42	7,87	8
Y ^a	22	21	22	22	22	27	26	26	31	28
Nb ^a	62	60	61	63	65	61	62	60	60	66
Nb	67,4	61,1	65,3	65,9	68,5	65,0	63,7	65,6	62,9	68,8
Ta	3,78	3,42	3,61	3,84	3,88	3,74	3,73	4,53	4,74	4,04
Sc ^b	30	32	29	28	30	28,5	27,7	30	28,4	26,8
Cr ^b	190	222	201	186	176	880	842	842	741	783
Ni ^b	96	110	103	90	88	468	456	466	381	404
Co ^b	46	49	49	42	43	66	67	65	59	60
V ^b	315	326	343	304	298	306	284	305	302	287
Ga ^b	18	19	20	19	18	19	18	18	17	19
Zn ^b	95	93	98	92	90	106	109	108	112	109
Cu ^b	98	101	107	99	91	153	114	98	106	99
La	81	79	81	86	84	72	71	70	77	76
Ce	161	158	164	171	168	149	147	144	166	157
Pr	19,1	18,6	19,2	20,0	19,5	17,5	17,4	17,0	20,1	18,4
Nd	70,8	69,1	70,8	73,6	71,3	66,4	65,8	64,5	77,9	69,6
Sm	11,2	11,0	11,3	11,5	11,1	11,8	11,7	11,4	14,1	12,2
Eu	3,13	3,06	3,14	3,22	3,12	3,24	3,21	3,12	3,83	3,38
Gd	7,97	7,93	8,1	8,1	8,05	9,12	8,83	8,82	10,87	9,33
Tb	0,95	0,93	0,96	0,97	0,95	1,16	1,15	1,13	1,38	1,23
Dy	4,63	4,57	4,7	4,73	4,61	5,65	5,53	5,44	6,6	5,84
Ho	0,79	0,77	0,8	0,8	0,78	0,96	0,95	0,93	1,14	0,99
Er	1,92	1,92	1,96	1,99	1,93	2,24	2,24	2,18	2,65	2,31
Tm	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,27	0,27	0,27	0,32	0,28
Yb	1,46	1,44	1,45	1,49	1,46	1,54	1,56	1,51	1,83	1,63
Lu	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,27	0,23
Cl ^b	588	518	627	355	620	185	135	122	152	161
F ^b	1935	2020	1885	1753	1727	1109	1280	1149	1252	1178
S ^b	3020	2562	2442	3542	2451	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550

* - mg# = MgO/(MgO+FeO) molar

^a - Elementos determinados tanto por FRX quanto por ICP-MS, porém, devido aos menores limites de detecção e erros analíticos foram escolhidas as análises por FRX.^b - Elementos analisados apenas por FRX

Demais elementos traços analisados por ICP-MS

Nb e Ta, em itálico: Elementos determinados por ICP-MS, por rotina específica do laboratório

Tabela 12. Continuação

Amostra Posição Class. Geoq.	Encaixantes						
	Jacupiranga		Guaraú		Juquíá		
	APG 501 F_D1	APG 501 KD3_E	Compilado de Pedroso Garcia (2012)		Compilado de Beccaluva et al. (1992)		
	Encaixante	Encaixante	GUA-01B	GUA-01C	S2	S8	S9
	Sienito	Sienito	bt granito	bt granito	Ol. Clinopx.	Ol. Clinopx.	Ol. Clinopx.
SiO ₂	57,27	42,3	77,39	76,83	38,75	42	40,45
TiO ₂	1,3	4,91	0,052	0,048	1,8	3,06	3,64
Al ₂ O ₃	17,93	9,17	12,23	12,17	2,38	4,17	5,52
Fe ₂ O ₃	3,8	13,78	0,016	0,018	17,55	15,39	17,00
MnO	0,07	0,27	< 0.01	< 0.01	0,25	0,21	0,22
MgO	0,95	7,35	0,41	0,45	31,96	20,15	18,73
CaO	2,84	12,29	4,04	4,11	5,42	13,59	13,42
Na ₂ O	5,56	2,79	4,54	4,48	0,39	0,60	0,77
K ₂ O	6,87	3,58	0,004	0,003	0,50	0,16	0,12
P ₂ O ₅	0,21	1,14	0	0	0,17	0,25	0,13
LOI	0,66	0,86	0,54	0,54	2,20	1,63	1,17
Total	97,66	99,31	99,952	99,589	101,37	101,21	101,17
#mg*	39,9	56,8					
Cs	1,46	2,24					
Rb ^a	117	118	415,5	390,8	18	10	9
Ba ^a	4897	1247,1	< 37	< 37	276	133	202
Sr ^a	10674	567	< 2	< 2	206	407	613
Pb	24,6	14,7	19,8	19,9			
Th	15,8	35,7	22,5	24			
U	2,98	5,08	3,8	3,4			
Zr ^a	206	635	140	153,6	70	95	117
Hf	4,91	14,2					
Y ^a	20	69	107,3	130,2	7	18	16
Nb ^a	69	276			10	12	10
Nb	80,4	297	62	67,6			
Ta	4,47	21,9					
Sc ^b	< 14	28	< 14	< 14			
Cr ^b	13	172	< 13	< 13	2660	1880	1600
Ni ^b	23	136	< 5	< 5	1570	718	633
Co ^b	8	39	< 6	< 6			
V ^b	132	426	< 9	13	177	331	330
Ga ^b	17	18	27,2	26,9			
Zn ^b	39	111	25,6	23,9			
Cu ^b	11	133	< 5	< 5			
La	99,0	403	< 28	< 28	14,6	12,2	15
Ce	201	754	< 35	< 35	37,4	47,1	48
Pr	19,4	71,6					
Nd	64,7	239	< 14	< 14	17,5	30,2	
Sm	8,94	33,3			3,88	7,5	
Eu	2,87	8,36			1,08	2,12	
Gd	6,27	23,4					
Tb	0,73	2,70					
Dy	3,81	13,9			1,6	4,47	
Ho	0,63	2,25					
Er	1,55	5,52			0,69	1,83	
Tm	0,20	0,73					
Yb	1,18	4,18			0,45	1,09	
Lu	0,16	0,60			0,09	0,16	
Cl ^b	850	1284	3451,6	3399,6			
F ^b	539	2975	< 50	< 50			
S ^b	597	4404	< 550	< 550			

* - mg# = MgO/(MgO+FeO_i) molar

* - Elementos determinados tanto por FRX quanto por ICP-MS, porém, devido aos menores limites de detecção e erros analíticos foram escolhidas as análises por FRX.

b - Elementos analisados apenas por FRX

Demais elementos traços analisados por ICP-MS

Nb e Ta, em itálico: Elementos determinados por ICP-MS, por rotina específica do laboratório

Tabela 13. Mineralogia normativa dos diques de lamprófito do Arco de Ponta Grossa.

Localidade	Guaraú	Guaraú	Guaraú	Guaraú	Jacupiranga
Amostra	APG 500 AD1	APG 500 BD2	APG 500 GD2	APG 500 JD2	APG 501 CD1
Posição	Borda	Borda	Bor./encaix.	Centro	Borda
Geoquímica	Basalto	Basanita	Basanita	Basanita	Tefrito
<i>Ortoclásio(Or)</i>	10,51	14,77	13,62	9,21	21,05
<i>Albita(Ab)</i>	24,01	0,00	0,00	0,00	7,96
<i>Anortita(An)</i>	16,27	1,20	0,66	1,84	10,02
<i>Nefelina(Ne)</i>	0,00	9,07	11,99	6,91	12,63
<i>Diopsídio(Di)</i>	21,04	45,00	49,17	43,97	28,25
<i>Hiperstênio(Hy)</i>	11,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Olivina(Ol)</i>	6,99	11,73	4,06	14,17	7,90
<i>Magnetita(Mt)</i>	4,68	6,20	6,35	6,11	5,14
<i>Ilmenita(Il)</i>	4,47	9,01	10,43	8,77	5,72
<i>Apatita(Ap)</i>	1,02	1,66	1,97	1,63	1,37
<i>Leucita(Lc)</i>	0,00	1,44	1,83	7,48	0,00
<i>Wollastonita(Wo)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuação da Tabela 13.

Localidade	Jacupiranga	Jacupiranga	Jacupiranga	Jacupiranga	Jacupiranga
Amostra	APG 501 DD1	APG 501 ED1	APG 501 FD1	APG 501 GD2	APG 501 HD2
Posição	Centro	Bor./encaix.	Encaixante	Centro	Centro
Geoquímica	Tefrito	Tefrito		Tefrito	Tefrito
<i>Ortoclásio(Or)</i>	19,48	21,09	42,05	19,43	18,81
<i>Albita(Ab)</i>	6,69	7,83	33,33	5,72	5,68
<i>Anortita(An)</i>	10,87	9,83	3,81	9,48	9,88
<i>Nefelina(Ne)</i>	11,30	12,78	8,34	13,34	12,60
<i>Diopsídio(Di)</i>	29,83	28,79	7,39	30,51	30,77
<i>Hiperstênio(Hy)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Olivina(Ol)</i>	9,12	7,35	0,00	8,89	9,70
<i>Magnetita(Mt)</i>	5,39	5,20	1,93	5,35	5,38
<i>Ilmenita(Il)</i>	5,98	5,82	2,56	5,96	5,91
<i>Apatita(Ap)</i>	1,40	1,35	0,50	1,37	1,31
<i>Leucita(Lc)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Wollastonita(Wo)</i>	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00

Tabela 13. Continuação.

Localidade	Jacupiranga	Jacupiranga	Jacupiranga	Jacupiranga	Juquiá
Amostra	APG 501 ID2	APG 501 JD2	APG 501 KD3	APG 501 KD3E	APG 10A
Posição	Bor./encaix.	Borda	Borda	Encaixante	Centro?
Geoquímica	Tefrito	Tefrito	Tefrito		Basanito
<i>Ortoclásio(Or)</i>	20,17	19,23	20,66	15,92	17,02
<i>Albita(Ab)</i>	6,57	6,06	4,66	0,00	3,11
<i>Anortita(An)</i>	8,92	10,74	6,44	1,99	4,60
<i>Nefelina(Ne)</i>	13,79	11,53	17,32	13,24	8,81
<i>Diopsídio(Di)</i>	30,05	30,27	31,42	42,90	32,56
<i>Hiperstênio(Hy)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Olivina(Ol)</i>	8,10	9,35	7,22	3,50	20,14
<i>Magnetita(Mt)</i>	5,21	5,45	5,18	5,41	5,54
<i>Ilmenita(Il)</i>	5,81	6,05	5,75	9,66	6,98
<i>Apatita(Ap)</i>	1,42	1,36	1,40	2,74	1,31
<i>Leucita(Lc)</i>	0,00	0,00	0,00	4,70	0,00
<i>Wollastonita(Wo)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 13. Continuação.

Localidade	Juquiá	Juquiá	Juquiá	Juquiá
Amostra	APG 10B1	APG 10B2	APG 11	APG 12
Posição	Centro?	Centro?	Centro?	Centro?
Geoquímica	Basanito	Basanito	Basanito	Basanito
<i>Ortoclásio(Or)</i>	17,12	16,88	15,03	18,48
<i>Albita(Ab)</i>	3,54	3,50	5,62	4,82
<i>Anortita(An)</i>	4,96	4,79	7,53	6,03
<i>Nefelina(Ne)</i>	8,12	8,12	6,42	7,40
<i>Diopsídio(Di)</i>	32,22	32,42	33,94	31,24
<i>Hiperstênio(Hy)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Olivina(Ol)</i>	20,15	20,39	16,66	17,90
<i>Magnetita(Mt)</i>	5,53	5,57	5,55	5,47
<i>Ilmenita(Il)</i>	7,08	7,06	7,40	7,31
<i>Apatita(Ap)</i>	1,33	1,34	1,90	1,41
<i>Leucita(Lc)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Wollastonita(Wo)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 14. Dados de líquidos calculados e suas respectivas mineralogias normativas.

Amostra Posição Class. Geoq.	Juquiá Blocos				
	APG 10A Centro?	APG 10B1 Centro?	APG 10B2 Centro?	APG 11 Centro?	APG 12 Centro?
	Basanito	Basanito	Basanito	Basanito	Basanito
SiO ₂	47,09	46,93	46,82	46,80	47,70
TiO ₂	4,48	4,47	4,45	4,76	4,67
Al ₂ O ₃	12,73	12,75	12,54	13,31	13,80
FeO _t	10,97	10,95	11,08	11,11	10,53
MnO	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
MgO	6,87	7,08	7,33	4,52	5,03
CaO	8,58	8,55	8,60	10,62	8,56
Na ₂ O	3,45	3,44	3,42	3,22	3,43
K ₂ O	4,75	4,75	4,68	4,17	5,14
P ₂ O ₅	0,94	0,94	0,95	1,34	0,99
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
#mg*	58,72	59,47	60,01	47,91	52,12
Norma					
<i>Ortoclásio(Or)</i>	28,06	28,09	27,66	24,64	30,38
<i>Albita(Ab)</i>	8,17	7,54	7,46	10,93	9,61
<i>Anortita(An)</i>	5,24	5,32	5,03	9,53	7,08
<i>Nefelina(Ne)</i>	11,38	11,67	11,64	8,86	10,52
<i>Diopsídio(Di)</i>	24,88	24,71	25,04	27,68	23,12
<i>Olivina(Ol)</i>	6,92	7,36	7,83	1,54	3,60
<i>Magnetita(Mt)</i>	5,05	5,03	5,08	5,06	4,90
<i>Ilmenita(Il)</i>	8,51	8,49	8,45	9,03	8,87
<i>Apatita(Ap)</i>	2,18	2,18	2,21	3,11	2,30
<i>Leucita (Lc)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 14. Continuação.

Amostra Posição Class. Geoq.	Guaraú Dique 2			Jacupiranga Dique 1	
	APG 500 J	APG 500 B	APG 500 G	APG 501 D	APG 501 C
	Centro	Borda	Bor./encaix.	Centro	Borda
	Basanito	Basanito	Basanito	Tefrito	Tefrito
SiO ₂	43,5	43,9	43,3	46,79	47,44
TiO ₂	5,4	4,8	5,6	3,12	2,90
Al ₂ O ₃	7,7	7,0	7,8	13,82	14,25
FeOt	15,2	14,9	15,4	11,83	11,14
MnO	0,3	0,2	0,7	0,20	0,19
MgO	8,0	10,9	7,3	6,27	6,37
CaO	13,4	12,4	13,5	10,23	9,42
Na ₂ O	1,8	2,1	2,8	3,51	3,90
K ₂ O	3,8	3,0	2,9	3,58	3,77
P ₂ O ₅	0,9	0,8	0,9	0,65	0,62
Total	100,0	100,0	100,0	100,00	100,00
#mg*	55,4	62,6	52,5	57,34	57,28
Norma					
<i>Ortoclásio(Or)</i>	11,38	17,02	15,77	20,45	22,03
<i>Albita(Ab)</i>	0,00	0,00	0,00	7,67	8,20
<i>Anortita(An)</i>	1,72	0,91	0,35	11,07	10,28
<i>Nefelina(Ne)</i>	8,19	9,47	12,54	11,41	13,29
<i>Diopsídio(Di)</i>	47,88	44,06	48,43	27,61	29,52
<i>Olivina(Ol)</i>	3,85	11,55	3,51	8,57	8,52
<i>Magnetita(Mt)</i>	6,49	6,38	6,55	5,38	5,38
<i>Ilmenita(Il)</i>	10,24	8,97	10,46	6,06	4,56
<i>Apatita(Ap)</i>	1,97	1,75	2,08	1,46	1,43
<i>Leucita (Lc)</i>	0,00	0,37	0,80	0,00	0,00

Tabela 14. Continuação.

Jacupiranga					
Amostra Posição Class. Geoq.	Dique 1	Dique 2			
	APG 501 E	APG 501 G	APG 501 H	APG 501 J	APG 501 I
	Bor./encaix.	Centro	Centro	Borda	Bor./encaix.
	Tefrito	Tefrito	Tefrito	Tefrito	Tefrito
SiO ₂	46,97	46,04	45,96	45,96	46,52
TiO ₂	3,10	3,16	3,13	3,23	3,10
Al ₂ O ₃	14,09	12,89	12,64	13,26	13,69
FeOt	11,87	12,32	12,38	12,70	11,98
MnO	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21
MgO	6,10	7,56	8,04	7,21	6,71
CaO	9,42	10,39	10,52	10,02	9,61
Na ₂ O	3,88	3,59	3,40	3,37	3,95
K ₂ O	3,75	3,27	3,16	3,42	3,58
P ₂ O ₅	0,62	0,59	0,56	0,62	0,65
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
#mg*	55,40	57,86	59,23	57,37	57,17
Norma					
<i>Ortoclásio(Or)</i>	21,24	19,39	18,78	19,29	20,31
<i>Albita(Ab)</i>	7,94	5,72	5,70	6,13	6,68
<i>Anortita(An)</i>	9,83	9,48	9,92	10,84	8,91
<i>Nefelina(Ne)</i>	12,88	13,35	12,58	11,48	13,87
<i>Diopsídio(Di)</i>	28,98	30,68	30,95	30,37	30,09
<i>Olivina(Ol)</i>	7,29	8,79	9,71	9,36	8,03
<i>Magnetita(Mt)</i>	5,43	5,52	5,53	5,69	5,44
<i>Ilmenita(Il)</i>	5,77	6,03	5,94	6,09	5,83
<i>Apatita(Ap)</i>	1,37	1,36	1,31	1,37	1,44
<i>Leucita (Lc)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

DOAÇÃO
<i>TGC-USP</i>
Data: <i>09/04/14</i>

