

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INIS-BR--3736

**PROVÍNCIA ALCALINA ALTO PARAGUAI:
CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS,
GEOQUÍMICAS E GEOCRONOLÓGICAS**

Victor Velázquez Fernandez

Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

30 - 44

SÃO PAULO
1996

ÍNDICE GERAL

	Pág.
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
AGRADECIMENTOS.....	xv
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2- METODOLOGIA.....	4
2.1. Trabalhos de campo	4
2.2. Petrografia microscópica	6
2.3. Análise geoquímica	6
2.4. Análises radiométricas.....	6
2.4.1. Análises Potássio-Argônio	7
2.4.2. Análises Rubídio-Estrôncio.....	7
CAPÍTULO 3- MAGMATISMO ALCALINO NO PARAGUAI E REGIÃO SUDOESTE DO BRASIL.....	9
3.1. Generalidades.....	9
3.2. Evolução do conceito de província alcalina.....	10
3.2.1. Província Alto Paraguai	11
3.2.2. Província Rio Apa.....	15
3.2.3. Província Amambay	16
3.2.4. Província Assunção.....	18
3.2.5. Província Central	20
3.2.6. Província Misiones.....	22

CAPÍTULO 4- PROVÍNCIA ALTO PARAGUAI	24
4.1. Contexto geológico	24
4.2. Magmatismo alcalino.....	26
4.2.1. Características petrográficas	31
4.2.2. Características geoquímicas	50
CAPÍTULO 5- GEOCROLOGIA.....	66
5.1. Compilação e revisão das idades.....	66
5.2. Idades K/Ar	66
5.3. Idades Ar/Ar	68
5.4. Idades Rb/Sr	71
CAPÍTULO 6- CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	76
6.1. Aspectos petrográficos.....	76
6.2. Aspectos geoquímicos.....	78
6.3. Aspectos geocronológicos.....	79
CAPÍTULO 7- IMPLICAÇÕES PETROGENÉTICAS.....	83
7.1. Evidências geológicas e petrográficas	83
7.2. Evidências geoquímicas e isotópicas.....	84
7.3. Evolução dos quartzo e nefelina sienitos no sistema Ne-Q-Ks.....	86
CAPÍTULO 8- CONCLUSÕES.....	89
CAPÍTULO 9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

LEGENDAS DAS FIGURAS

	Pág.
Figura 1- Mapa de localização da área investigada.....	2
Figura 2- Distribuição geográfica das províncias alcalinas do Paraguai. 1- Pré-Cambriano Inferior, Complexo Rio Apa; 2- Pré-Cambriano Superior, Suíte Intrusiva Alumiador; 3- Sedimentos Cambrianos, Grupo Itapucumi; 4- Sedimentos Silurianos, Grupo Caacupé; 5- Sedimentos Carboníferos, Grupo Cerro Corá; 6- Sedimentos Triássicos, Formação Missiones; 7- Magmatismo toleítico Juro-Cretáceo, Formação Alto Paraná; 8- Sedimentos Terciários, Formação Patiño; 9- Sedimentos Quaternários; 10- Ocorrências alcalinas.....	14
Figura 3- Mapa geológico da área investigada (compilado de Hutchison, 1979 e Projeto RadamBrasil, 1982). 1- Pré-Cambriano Inferior, Complexo Rio Apa; 2- Pré-Cambriano Médio, Grupo Amoguija; 3- Pré-Cambriano Superior, Suíte Intrusiva Alumiador; 4- Sedimentos Cambrianos, Grupo Corumbá; 5- Magmatismo alcalino Permo-Triássico; 6- Magmatismo alcalino Juro-Cretáceo; 7- Sedimentos Quaternários.....	25
Figura 4- Mapa de localização das amostras da Província Alto Paraguai.....	27
Figura 5- Diagrama de classificação R1-R2 para as rochas alcalinas da Província Alto Paraguai.....	55
Figura 6- Representação da composição normativa no sistema petrogenético residual para algumas rochas da Província Alto Paraguai. Os pontos m_1 , m_2 e m_3 representam, respectivamente, os planos graníticos, sieníticos e fonolíticos (Bowen, 1937). Símbolos como na Figura 5.....	57
Figura 7- Diagrama AFM para as rochas da Província Alto Paraguai, incluindo a curva de separação das séries toleítica e alcalina (cf. Macdonald & Katsura, 1964). Símbolos como na Figura 5.....	57
Figura 8- Diagramas de variação SiO_2 vs. elementos maiores para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.	58
Figura 9- Diagramas de variação Th vs. elementos hidromagmatófilos para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.....	60

Figura 10- Diagramas de variação Th vs. elementos hidromagmáticos para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.....	61
Figura 11- "Spidergrams" dos elementos hidromagmáticos para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.	63
Figura 12- Padrões de Terras Raras para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.....	64
Figura 13- Idade platô Ar/Ar em biotita de traquifonolito da localidade de Pão de Açúcar.....	70
Figura 14- Idade platô Ar/Ar em anfibólio de nefelina sienito da localidade de Cerro Siete Cabezas.....	70
Figura 15- Isócrona de referência para a ocorrência de Cerro Boggiani. 1, 2 e 4, nefelina sienito (RT); 3 e 5, fonolito peralcalino (RT).....	72
Figura 16- Isócrona de referência para a ocorrência de Cerro Boggiani.	73
Figura 17- Isócrona interna para o corpo intrusivo da Ilha Fecho dos Morros. 1 e 2, nefelina sienito (RT); 3, nefelina sienito (biotita); 4, nefelina sienito (feldspato potássico).....	73
Figura 18- Isócrona interna para o corpo intrusivo de Cerrito. 1, nefelina sienito (concentrado félsico); 2, nefelina sienito (biotita); 3 e 4, nefelina sienito (RT).	73
Figura 19- Isócrona de referência para o corpo intrusivo principal do Cerro Siete Cabezas. 1, 2 e 3, sienito alcalino (RT); 4, sienito alcalino (feldspato potássico).	74
Figura 20- Isócrona de referência para os corpos satélites I e II. 1, quartzo sienito (RT); 2, sienogranito (RT) 3, sienito alcalino (RT).....	75
Figura 21- Histograma de idades K/Ar para as rochas da Província Alto Paraguai.	80
Figura 22- Isócrona de referência reunindo os principais corpos da Província Alto Paraguai (dados constantes da Tabela 6).	81
Figura 23- Histograma da razão inicial dos isótopos de Sr para algumas amostras da Província Alto Paraguai.	82
Figura 24- Diagramas de variação reunindo isótopos de Sr vs. La/Ce e SiO ₂ para algumas amostras da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.....	85

Figura 25- Linhas evolutivas das rochas alcalinas da Província Alto Paraguai no sistema petrogenético residual.....	88
---	----

LEGENDAS DAS TABELAS

	Pág.
Tabela 1- Características gerais e localização dos corpos alcalinos do Paraguai.	12
Tabela 2- Análises de elementos maiores, traços e Terras Raras, normas CIPW, valores de índice albitico R1-R2 (cf. De La Roche, 1986) para os principais tipos litológicos da Província Alto Paraguai.	52
Tabela 3- Idades K/Ar para as principais ocorrências da Província Alto Paraguai.	67
Tabela 4- Resultados das medições de argônio radiogênico em biotita de traquifonolito da localidade de Pão de Açúcar (PA-100 biotita, $J = 2,537E-3$, $P = 11,16$ mg).	69
Tabela 5- Resultados das medições de argônio radiogênico em anfibólio de nefelina sienito da localidade de Cerro Siete Cabezas (CSC-61 hornblenda, $J = 2,546E-3$, $P = 57,67$ Mg).	69
Tabela 6- Resultados das medições de Rb e Sr radiogênico para algumas amostras selecionadas da Província Alto Paraguai.	72
Tabela 7- Dados isotópicos para algumas amostras selecionadas da Província Alto Paraguai.	75

LEGENDAS DAS FOTOS

	Pág.
Foto 1- Ausência de estradas, principal dificuldade encontrada durante o desenvolvimento do trabalho.....	5
Foto 2- O guia, na proa da embarcação, procurando passagem entre as palmeiras. Momento em que nos dirigíamos para amostrar o Cerro Boggiani.....	5
Foto 3- Vista geral do Pão de Açúcar, intrusão maior, e dos corpos associados.....	28
Foto 4- Intrusão principal do complexo do Pão de Açúcar, coberta por densa vegetação.....	28
Foto 5- Vista panorâmica tomada do setor S da intrusão principal do Pão de Açúcar. Observa-se geomorfologia de planície típica de inundação, onde se ressaltam os corpos alcalinos e o rio Paraguai.....	29
Foto 6- Vista frontal das ocorrências de Cerrito (esquerda), Ilha Fecho dos Morros (centro) e Morro São Pedro.....	29
Foto 7- Ao fundo, o corpo de Cerro Boggiani. Nota-se a grande extensão do leito do rio Paraguai, elevado de cerca de 9 m acima do nível normal.....	30
Foto 8- Corpo satélite da intrusão de Cerro Boggiani, com destaque para a ocorrência de "boulders" de material sienítico.....	30
Foto 9- Afloramento em forma de blocos na margem esquerda do rio, poucos quilômetros a N de Porto Murtinho (Cerro Pedreira).....	32
Foto 10- Vista frontal do corpo Tres Marias, na localidade de Forte Olimpo.....	32
Foto 11- Nefelina-sodalita sienito. Observa-se o domínio de minerais félsicos, feldspato potássico idiomórfico e geminado, nefelina parcialmente retangular (vértice inferior direito) e sodalita xenomórfica (vértice superior esquerdo). Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.....	35
Foto 12- Nefelina-sodalita sienito. Com maior conteúdo de minerais máficos (piroxênios) e de sodalita (material xenomórfico cinza escuro). Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.....	35
Foto 13- Fonolito. Textura porfiro-traquítica, com maior domínio de nefelina como fenocristal (cinza escuro) e matriz de feldspato potássico e piroxênio. Nicóis parcialmente descruzados. filtros azul e cinza. 50X.....	36

- Foto 14- Fonolito. Textura porfirítica com fenocristais de feldspato potássico e nefelina; o primeiro de hábito tabular alongado, e o segundo mais retangular. A matriz leucocrática é fortemente orientada. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 50X. 36
- Foto 15- Nefelina sienito. Textura alotriomórfica, onde se distinguem cristais intersticiais de nefelina (cinza claro), feldspato potássico de hábito tabular alongado (posição de extinção), além de piroxênio e biotita (no centro). Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X. 38
- Foto 16- Traquifonolito. Textura porfirítica, onde o fenocristal de feldspato potássico apresenta reabsorção parcial e zoneamento em "patch". A matriz holocristalina contém feldspato potássico e piroxênio. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 50X..... 38
- Foto 17- Traquifonolito. Textura ignimbrítica. No centro, fenocristal de feldspato potássico envolvido por camadas alternadas de materiais félsicos (parte clara) e máficos (parte escura). Nicóis descruzados, filtros azul e cinza, 50X. 40
- Foto 18- Traquifonolito. Textura porfirítica com fenocristal de feldspato potássico evidenciando crescimento em "syneusis" e complexo zoneamento. Na parte superior, observa-se cristal idiomórfico de nefelina. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 50X..... 40
- Foto 19- Nefelina sienito. Textura pegmatítica com enormes cristais de feldspato potássico exibindo zoneamento múltiplo (direita) e nefelina idiomórfica com base pseudo-hexagonal (esquerda). Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X. 41
- Foto 20- Fonolito. Textura glomeroporfirítica, reunindo feldspato potássico e nefelina (parte superior). A matriz é formada de feldspato potássico e grãos aciculares de piroxênio. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 50X..... 41
- Foto 21- Nefelina sienito. Textura alotriomórfica, onde os cristais de feldspato potássico (cinza claro) e nefelina (cinza escuro) são totalmente xenomórficos. Reconhecem-se, ainda, lamelas de biotita, piroxênio e opacos. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X. 43

- Foto 22- Fonolito. Textura porfirítica reunindo fenocristais de feldspato potássico pertítico. Matriz holocristalina de feldspato potássico ripiforme e grãos xenomórficos de piroxênio. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 50X..... 43
- Foto 23- Fonolito. Textura porfirítica reunindo fenocristais de piroxênio com marcado zoneamento do tipo oscilatório. Na matriz, observam-se cristais alongados de feldspato potássico e grãos xenomórficos de piroxênio. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X. 45
- Foto 24- Observação microscópica do contato entre a rocha sienítica (direita) e dique fonolítico (esquerda), mostrando nítido equilíbrio entre os materiais. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X..... 45
- Foto 25- Sienito alcalino. Textura alotriomórfica e mineralogia constituída basicamente por cristais de feldspato potássico pertítico e grãos xenomórficos de anfibólio e opacos. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X..... 46
- Foto 26- Quartzo sienito. Textura alotriomórfica. Observam-se grãos xenomórficos de quartzo (cinza claro) próximos aos cristais de anfibólio esverdeado, que, por sua vez, acham-se envolvidos por feldspato potássico. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X..... 46
- Foto 27- Sienito alcalino. Textura alotriomórfica porfiroidal mostrando enorme cristal de feldspato potássico (centro) e grãos xenomórficos de anfibólio esverdeado e opacos. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X. 48
- Foto 28- Sienito alcalino. Textura alotriomórfica e biotita como representante máfico mais comum. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X. 48
- Foto 29- Fonolito. Textura porfiro-traquítica, com fenocristais de anfibólio poiquilítico imersos numa matriz de feldspato potássico fortemente orientada. Nicóis parcialmente descruzado, filtros azul e cinza, 50X..... 49
- Foto 30- Sienito alcalino. Textura alotriomórfica e mineralogia constituída por grãos xenomórficos de feldspato potássico, anfibólio esverdeado e lamelas de biotita. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X..... 49

- Foto 31- Quartzo sienito. Textura alotriomórfica. Notam-se grãos de quartzo intersticial (cinza claro) e cristais de feldspato potássico mirmequítico de hábito tabular, além de alguns grãos de piroxênio. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 51
- Foto 32- Sienogranito. Textura alotriomórfica e mineralogia reunindo maior conteúdo de feldspato potássico mirmequítico e quartzo intersticial (parte clara), além de minerais máficos. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 51

RESUMO

A Província Alto Paraguai localiza-se na divisa do Estado do Mato Grosso do Sul com o Paraguai, entre as coordenadas 21°10' a 23°25' de latitude Sul e 57°10' a 58°00' de longitude Oeste, e tem como principal ponto de referência a cidade de Porto Murtinho.

O domínio geotectônico da área é governado pelas unidades pré-cambrianas da extremidade sul do Cráton Amazônico, que desenvolveu prolongada e acentuada atividade, gerando dobramentos e importantes falhas que, em muitos casos, parecem ter exercido um efetivo controle nas manifestações magmáticas.

Levantamentos geológicos realizados permitem reconhecer numerosas intrusões na forma de diques, "plugs", domos, "stocks" e complexos anelares, ocupando sempre a parte mais elevada da região. Petrograficamente, esses corpos congregam duas associações sieníticas distintas, insaturada e saturada em sílica, caracterizando, assim, litologias diversas que gradam desde nefelina sienitos, nefelina-sodalita sienitos, sienitos alcalinos a quartzo sienitos, com alguns extremos chegando até sienogranitos.

As análises de elementos maiores quando colocados no diagrama AFM mostram alta concentração no vértice Na+K, indicando clara afinidade alcalina, como já sugerido pela paragênese mineralógica (nefelina, feldspato potássico, além de piroxênio e anfibólio sódico como fases máficas importantes). Por outro lado, a modelagem dos elementos hidromagmatófilos permite distinguir duas tendências principais ligadas a diferentes mecanismos de evolução: sienitos alcalinos passando para quartzo sienitos e sienogranitos, e nefelina sienitos evoluindo para nefelina-sodalita sienitos.

Os dados radiométricos disponíveis indicam que a época de colocação dos corpos sieníticos se deu no período Permo-Triássico, com maior incidência no intervalo 260-240 Ma, caracterizando, assim, importante etapa de afinidade magmática alcalina, que se acredita única no gênero junto à Bacia do Paraná, uma vez que as demais conhecidas (Províncias Central, Amambay e Rio Apa, Paraguai; Província Velasco, Bolívia) apresentam idade bem inferior, entre 140-120 Ma.

As rochas sieníticas da Província Alto Paraguai mostram ampla variação da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, cobrindo intervalo de 0,703361 a 0,707734. Notadamente, os nefelina sienitos, exceção feita às rochas do Cerro Boggiani (0,703837-0,767734), apresentam valores mais baixos, 0,703361-0,703672. Já os sienitos alcalinos exibem variação entre 0,703510-0,703872, enquanto

que os quartzos sieníticos e sienogranitos possuem valores mais elevados, respectivamente, 0,704562 e 0,707076.

As evidências de campo, juntamente com os dados petrográficos, geoquímicos e isotópicos (Sr), sugerem que as rochas sieníticas derivaram de um líquido parental mantélico único, por processos de cristalização fracionada e assimilação, por ocasião da colocação do magma na crosta.

ABSTRACT

10
 [The Alto Paraguay Province is located at the border of the State of Mato Grosso do Sul and Paraguay, between the coordinates 21°10' to 23°25' of southern latitude and 57°10' to 58°00' western longitude, having the city of Porto Murtinho as the main reference point.

The geotectonic domain of the area is governed by the precambrian units of the southern extreme of the Amazonian Craton which developed a long and accentuated activity, giving rise to folds and important faults, that in several cases seem to have exerted an effective control on the magmatic manifestations.]

Field data allow to recognize several intrusions in the form of dykes, plugs, stocks and annular complexes, always corresponding to the higher topographic points of the region. Petrographically, these bodies conglomerate two distinct syenitic associations, unsaturated and saturated in silica, and include diverse lithologies grading from nepheline syenites, nepheline-sodalite syenites, alkaline syenites to quartz syenites, in addition to some extreme members as syenogranites.

Plots of major elements in the ternary diagram (AFM) show high concentration of analyses in the vertex Na+K, which suggests a clear alkaline affinity, as also indicated by mineralogical paragenesis (nepheline, potassium feldspar, and pyroxene/amphibole sodic as important mafic phases). On the other hand, by modelling the hydromagmatophile elements two main trends, related to different evolution mechanisms, can be distinguished: alkaline syenites, grading to quartz syenites and syenogranites, and nepheline syenites evolving to nepheline-sodalite syenites.

20
 [Radiometric data indicate that the emplacement of the syenitic bodies took place in the Permo-Triassic period, with a major incidence in the interval 260-240 Ma, representing thus, an important phase of alkaline magmatic affinity associated to the Paraná Basin, which is believed to be unique, since the other known areas (Central, Amambay and Rio Apa Provinces, Paraguay; Velasco Province, Bolivia) are considerably younger (140-120 Ma).

Syenitic rocks from the Alto Paraguay Province show wide variation in the ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.703361-0.707734). Excluding the Cerro Boggiani rocks (0.703837-0.707734), values for the nepheline syenites (0.703361-0.703672) are generally lower than those of other syenite types. Alkaline syenites cover the interval 0.703510-0.703872, while quartz syenites and syenogranites are 0.704562 and 0.707076, respectively.

Geologic evidence, in addition to petrographic, geochemical and isotopic (Sr) data, suggest that the syenitic rocks have been derived from an unique mantelic parental liquid, by fractional cristallization and assimilation processes, which are assumed to bee occurred during the emplacement of the magma in the crust. 7

AGRADECIMENTOS

Diversas pessoas e instituições prestaram a sua inestimável colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho. A todas elas, o autor estende o seus sinceros agradecimentos.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, o Diretor, o Corpo Docente e Técnico do Laboratório, pela carinhosa hospitalidade.

Ao Centro de Pesquisas Geocronológicas, em especial, aos Profs. Wilson Teixeira e Colombo Tassinari, pela criteriosa orientação na parte interpretativa dos dados radiométricos, assim como ao Corpo Técnico pela atenção e auxílio dispensados.

Durante os vários anos de preparação desta tese, tive a sorte de contar com a ajuda financeira do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), para a realização do Programa de Pós-Graduação junto ao Instituto de Geociências. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio à execução dos trabalhos de campo no Paraguai.

Desejo mencionar e agradecer ao Prof. Piero Comin-Chiaramonti pela cessão de dados analíticos inéditos.

Alguns professores tiveram a bondade de tecer comentários críticos a um ou mais dos rascunhos, ajudando-me a aprontar o manuscrito. Eu devo muito a eles: Lucio Morbidelli, Leone Melluso, José Vicente Valarelli, Francisco R. Alves e Excelso Ruberti.

Durante a digitação e montagem dos gráficos, apareceram diversos problemas. Tive a felicidade de contar com o apoio e gentileza de muitas pessoas. Agradeço a Caetano Juliani, Helen Sonoki, João Batista de Souza e Enzo Morra.

À minha companheira de todos os momentos, Rosemary Fontes, pelo espírito compreensivo e incansável colaboração, principalmente na fase de digitação e correção da tese.

Aos colegas e amigos do Curso de Pós-Graduação, os únicos responsáveis pelos bons momentos compartilhados, que me trazem inúmeras lembranças boas. Quero agradecer a Angela Beatriz Menezes, Jorge Trujillo, Lucy Sant'Anna, Dionísio de Azevedo e Gilson Guimarães.

Aos secretários do Departamento de Mineralogia e Petrologia, Marta da Silva e Tadeu Caggiani, pela inestimável ajuda e espírito de cooperação.

Como ocorreu com a minha Dissertação de Mestrado, tive a felicidade de contar com o total apoio do Prof. Celso de Barros Gomes, orientador deste trabalho. Para ele, os meus sinceros reconhecimentos de estima e profundo agradecimento pelo incentivo que me ajudou a

lidar com muitos problemas de exposição, e também pelo cuidado e percepção extraordinária dos pontos onde eu deixava a desejar, na preparação e revisão final do texto.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O fenômeno da ativação tectono-magmática alcalina da Plataforma Sul-Americana teve início a partir do final do Permiano, para atingir o máximo de intensidade no Jurássico e Cretáceo (Almeida, 1986). Seus efeitos manifestaram-se nas bordas da Bacia do Paraná, particularmente na sua parte oriental, em território brasileiro ou mesmo uruguaio. Por outro lado, muito pouco ainda se sabe a respeito das manifestações relacionadas à margem ocidental, com as escassas informações disponíveis apontando para a existência de numerosas ocorrências no Paraguai, Brasil e Bolívia.

No tocante às ocorrências paraguaias, Livieres & Quade (1987), valendo-se de evidências notadamente estruturais, propuseram o seu agrupamento em três grandes províncias: Alto Paraguai, Amambay e Central.

Com base em informações bibliográficas, trabalhos de campo, estudos petrográficos, dados geoquímicos e geocronológicos, pretende-se investigar os diversos corpos alcalinos pertencentes à primeira província que, entre outros aspectos, desperta enorme interesse face ao fato de reunir rochas formadas em épocas geológicas bem mais antigas.

Essas ocorrências localizam-se na divisa do Estado do Mato Grosso do Sul com o Paraguai, e estão concentradas principalmente ao longo do rio Paraguai, entre as coordenadas geográficas 21°00' a 23°35' de latitude Sul e 57°10' a 58°00' de longitude Oeste. O principal acesso à área se dá, via fluvial, a partir da cidade de Porto Murtinho (Fig. 1).

As primeiras citações na literatura sobre as alcalinas da Província Alto Paraguai são devidas a Evans (1894) e Derby (1896), ambos oferecendo uma breve descrição sobre a petrografia das amostras coletadas na localidade de Pão de Açúcar. Ainda que posteriormente tenham sido feitas referências sobre essas rochas (Moraes, 1958; Guimarães, 1958), as informações fornecidas são preliminares e trazem apenas dados relativos à distribuição geográfica e algumas características petrográficas dos maciços de Fecho dos Morros e Pão de Açúcar. Não obstante, as informações mais relevantes sobre esses corpos podem ser encontradas no Projeto Bodoquena (1979) e no Projeto Radambrasil (1982). Contudo, o conhecimento geral dessas ocorrências ainda é limitado e, em alguns casos, até precário, o que levou a se considerar como indispensável a realização de trabalhos mais detalhados na região tendo por finalidade uma melhor caracterização do magmatismo alcalino associado à Província do Paraguai. Adicionalmente,

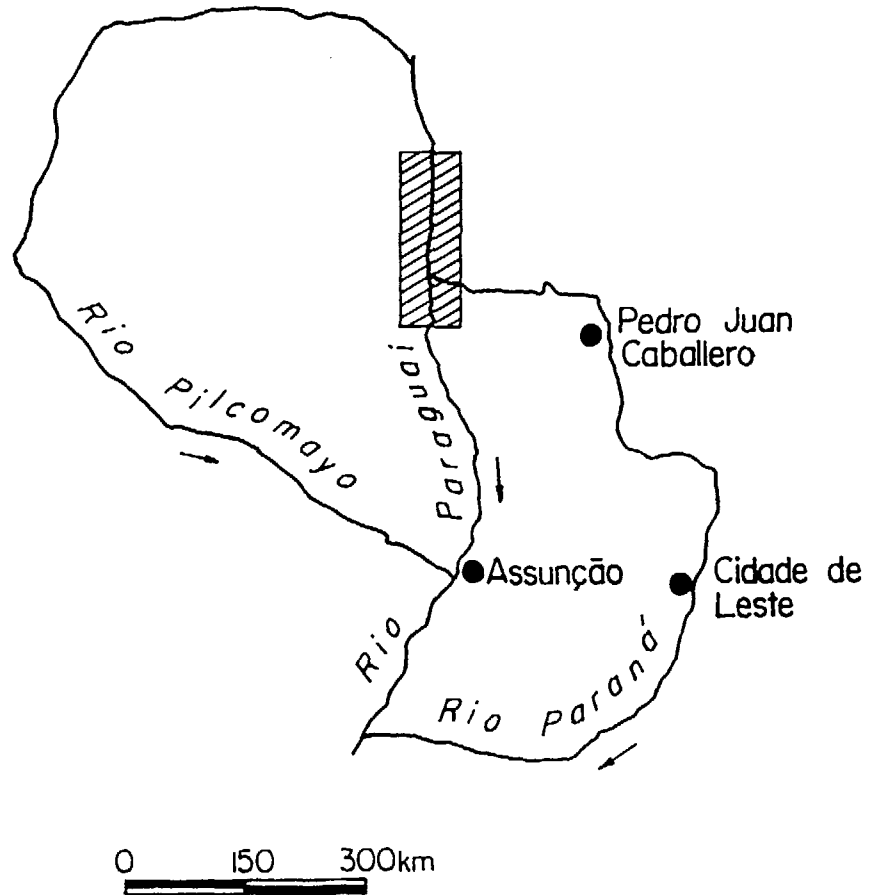
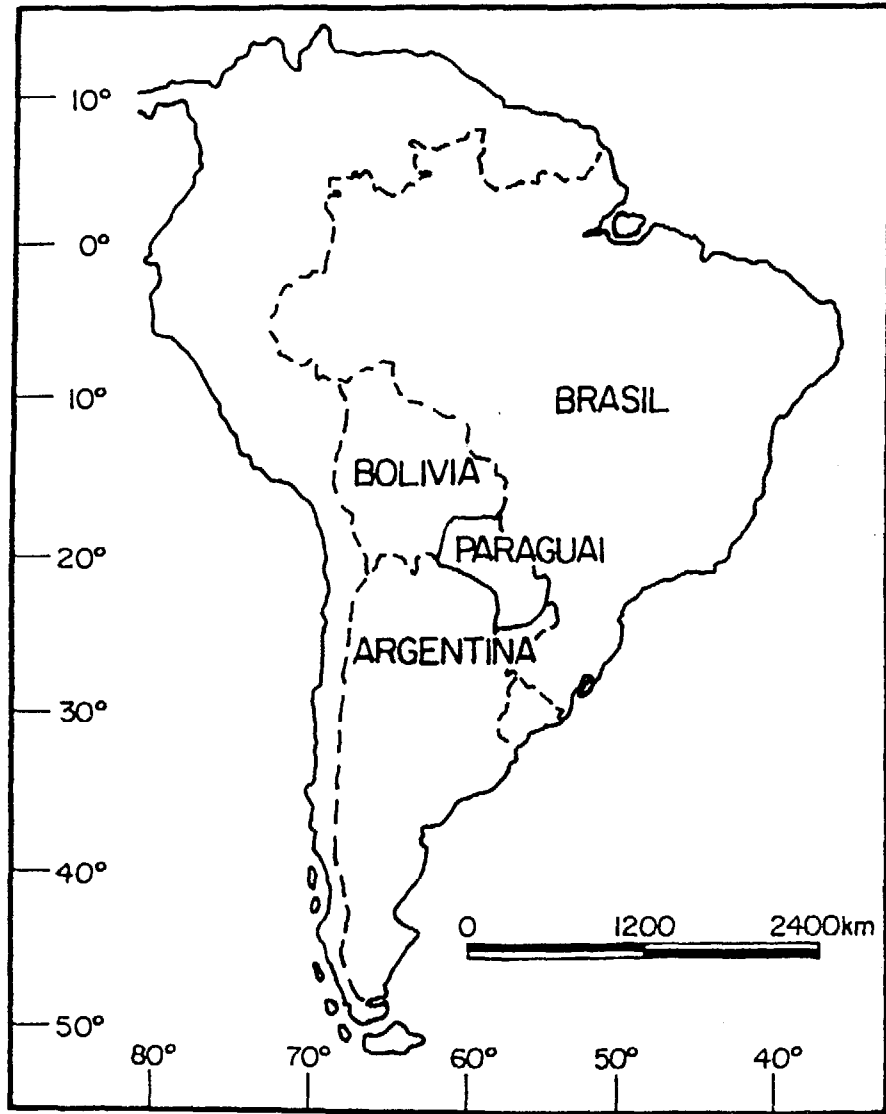


Figura 1- Mapa de localização da área investigada.

cogita-se dar continuidade às pesquisas que vêm sendo executadas com vistas a aumentar o conhecimento desse magmatismo, dentro do programa de cooperação internacional entre o Instituto de Geociências, o Instituto de Mineralogia e Petrografia da Universidade de Trieste, Itália, e o Departamento de Geologia da Universidade Nacional de Assunção, Paraguai.

O programa de trabalho envolveu levantamento de campo complementar, além do desenvolvimento de intensas atividades laboratoriais voltadas para a caracterização petrográfica, geoquímica e geocronológica, esta enfatizando sobretudo a obtenção de novos dados radiométricos por diversas metodologias, de forma a ter-se visão mais completa sobre a evolução cronológica desse magmatismo. É importante salientar que, durante o transcurso da pesquisa, procurou-se sempre não perder de vista a idéia de correlação dessa atividade magmática com a congênere brasileira, que atinge mais intensamente o flanco oriental da Bacia do Paraná.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

O início efetivo da pesquisa foi acompanhado por exame minucioso da literatura sobre o domínio geológico da região. Posteriormente, deu-se ênfase às informações que versam sobre as alcalinas em geral, incluindo-se aí as ocorrências brasileiras, as de alguns outros países e, muito particularmente, as relacionadas com a Província Alto Paraguai, ainda contando com poucos trabalhos publicados. Logo, seguiram-se trabalhos na seqüência tradicional de um levantamento geológico (delimitação de área, coleta de amostras, confecção de mapa geológico, estudo petrográfico, análises geoquímicas e geocronológicas), de forma a permitir a integração e interpretação dos resultados. As características principais e a síntese geral do procedimento de cada etapa serão discutidos nos tópicos seguintes.

2.1. Trabalhos de campo

Para esse propósito foram utilizados mapas geológicos da região do Projeto PAR 83/005-PNVD-MDN (1986), na escala 1:500.000, e do Projeto Radambrasil, Folha SF-21-Campo Grande (1982), na escala 1:100.000, bem como cartas topográficas do Instituto Geográfico Militar, na escala 1:50.000, com o propósito de localizar as diversas ocorrências, definir, quando possível, a geologia dos corpos e amostrar de modo sistemático os principais litotipos.

Apenas foi possível a realização de uma única etapa de campo, devido à área ser distante e as facilidades de acesso pouco favoráveis. Nessa ocasião, consumiram-se quinze dias de trabalho, com uma média de 10 horas/dia de tarefa, a permitir o reconhecimento de doze corpos alcalinos, com dois deles (Cerro Siete Cabezas e Pão de Açúcar) correspondendo a maciços anelares com diâmetro, respectivamente, de 2 a 3 km. No decorrer da pesquisa, uma segunda viagem foi efetuada, contudo, as condições precárias das estradas, aliadas à instabilidade do tempo (Foto 1), tornaram os trabalhos de campo absolutamente impraticáveis.

Numerosos fatores negativos foram encontrados durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo: ausência de estradas, cobertura vegetal intensa e, principalmente, existência de longas áreas alagadas (Foto 2). De qualquer modo, apesar de toda a problemática enfrentada, o levantamento geológico permitiu reconhecer na região, além dos corpos alcalinos já conhecidos (Fecho dos Morros e Pão de Açúcar, no Brasil, e Cerro Boggiani, no Paraguai), diversos outros não mencionados na literatura e que estão por merecer atenção especial.

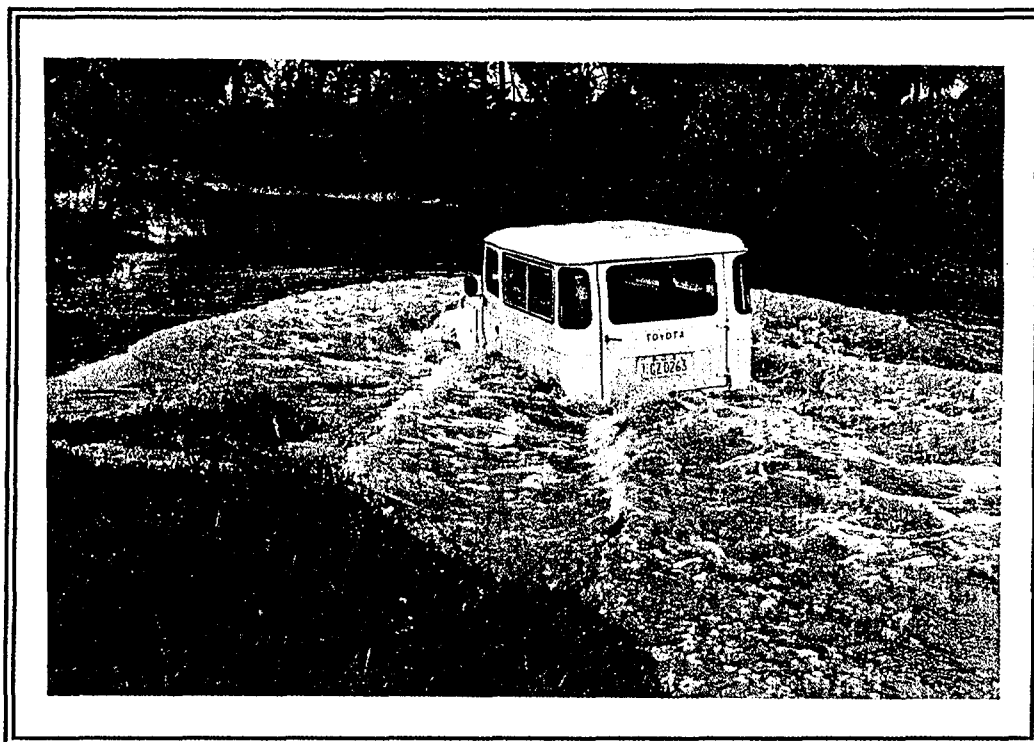


Foto 1. Ausência de estradas, principal dificuldade encontrada durante o desenvolvimento do trabalho.



Foto 2. O guia, na proa da embarcação, procurando passagem entre as palmeiras. Momento em que nos dirigíamos para amostrar o Cerro Boggiani.

2.2. Petrografia microscópica

Com base em feições macroscópicas (ausência de fratura e zona de oxidação, alteração incipiente), foi feita a separação de número de amostras superior a 80, provenientes de diferentes maciços, e preparadas as correspondentes secções delgadas, com o objetivo de agrupar e caracterizar mineralógica e petrograficamente os vários litotipos coletados.

Devido ao fato de as rochas amostradas serem predominantemente de granulação grossa, foi possível, com a ajuda das técnicas consagradas na literatura, o reconhecimento das feições ópticas e texturais comuns às associações mineralógicas presentes, constituindo-se, assim, a programação microscópica em valioso elemento de apoio. O trabalho foi realizado em aparelho binocular de alta resolução de fabricação Zeiss, modelo Axioplan-Pol, do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências.

É interessante apontar que os dados obtidos serão utilizados como elementos de orientação para os demais tipos de análise (geoquímica e geocronológica), uma vez que, para fins de classificação e nomenclatura, pretende-se também recorrer a outros critérios, como o modo de ocorrência do material (lava, dique, "plug" e "stock") e sua associação no campo, além do esquema de classificação de rochas alcalinas de Sorensen (1979, 1986), das sugestões emanadas da Subcomissão de Sistemática de Rochas Ígneas da IUGS (Le Maitre, 1989) e da classificação química proposta por De La Roche (1986).

2.3. Análise geoquímica

Foi realizado um total de 114 análises químicas para elementos maiores (% em peso) e traços (ppm), empregando-se fluorescência de raios X (Philips PW 1400) e a técnica descrita em Bellieni et al. (1983). Os elementos Th, U, Ta e as Terras Raras foram determinados por espectrômetro de massa (Perkin-Elmer Sciex-Elan 500), segundo a metodologia descrita em Alaimo & Censi (1992). Todas as análises químicas foram feitas na Universidade de Trieste, Itália, tendo como analista principal o Prof. P. Comin-Chiaramonti.

Para o tratamento e discussão dos resultados, construíram-se diversos diagramas discriminativos consagrados na literatura e destinados à interpretação petrogenética, seguindo basicamente os procedimentos discutidos por Cox et al. (1979).

2.4. Análises radiométricas

Todas as determinações radiométricas (K/Ar e Rb/Sr) foram obtidas pelo autor no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo), sob a orientação dos Profs. W. Teixeira e C.C.G. Tassinari. Entretanto, determinações adicionais (Ar/Ar) provieram da Universidade de Pisa, Itália,

tendo como principal analista a Profª. Marinella Laurenzi.

Para o andamento da programação analítica, foram selecionadas amostras pesando aproximadamente entre 1 e 2 kg cada e não apresentando quaisquer evidências de alteração intempérica e/ou ação metamórfica. Tanto a preparação mecânica das amostras (britagem, moagem, concentração de mineral) como os procedimentos químicos (diluição isotópica, dosagem de potássio, extração de argônio) obedeceram à rotina estabelecida nos laboratórios daquele centro.

Os concentrados minerais, na granulação 60/100 mesh e 100/150 mesh, foram obtidos por meio de separação magnética em aparelho Frantz, empregando-se, em casos eventuais, placa vibratória e líquido pesado (bromofórmio). Face à impossibilidade de separação das fases minerais, algumas amostras foram analisadas em rocha total, na granulação 35/60 mesh, e pó.

2.4.1. Análises Potássio-Argônio

As determinações radiométricas foram efetuadas seguindo-se a técnica descrita em Amaral et al. (1966) e Cordani (1970), tanto para concentrado mineral como para rocha total. As dosagens de potássio, sempre em duplicata e com padrão interno de Li, foram quantificadas por fotometria de chama em aparelho de microcanal, modelo B-262. As extrações de argônio foram processadas em unidade de ultra-alto vácuo, com precisões da ordem de 2×10^{-7} mmHg ou inferiores, purificadas em fornos Cu-CuO e titânio. Para a análise de argônio, recorreu-se à técnica de diluição isotópica, adicionando-se determinada quantidade de ^{39}Ar traçador isotópico) ao ^{40}Ar da amostra. A composição isotópica da mistura resultante foi medida em espectrômetro de massa gasosa "nuclide" tipo Reynolds.

O cálculo da idade mineral (rocha total) foi feito em microcomputador, utilizando-se a equação sugerida por Faure (1986) e os valores das constantes recomendados por Steiger & Jäger (1978).

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{K}}^{40} &= 4,962 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1} \\ \text{K}^{40} \text{ total} &= 0,581 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1} \\ \text{K}^{40} &= 0,0116\% \text{ K total} \\ {}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar} &= 295,5 \end{aligned}$$

2.4.2. Análises Rubídio-Estrôncio

As dosagens de Rb e Sr foram executadas por fluorescência de raios X, usando-se tubo de molibdênio. Os padrões analíticos utilizados foram os de referência PCC-1 e DT-1. Para as amostras selecionadas, efetuaram-se dosagens quantitativas com correção do "background".

Para os valores situados dentro do intervalo 50-500 ppm, os erros estimados são da ordem de 2%. Fora desse intervalo, o erro se mostra bem maior, sendo por isto a dosagem feita com a técnica da diluição isotópica, com "spikes" enriquecidos em ^{86}Rb e ^{87}Sr , conforme preconizado em Kawashita (1972).

As amostras foram atacadas quimicamente em cadinhos de teflon com HF e HClO_4 , a quente, por 12 horas. Logo após a liberação dos elementos, Rb e Sr foram separados em colunas de pirex com resina do tipo Dowex 50W-X8, com abertura de 200 a 400 mesh, em meio clorídrico. As análises espectométricas foram obtidas a partir da deposição em monofilamento, com prévia diluição em meio H_3PO_4 , empregando-se aparelho do tipo VG-354, de fonte sólida, com coletor múltiplo opcional adaptado a um amplificador do tipo Daly e sistema automático de leitura.

Todos os valores da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram normalizados para a relação $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$; as demais constantes usadas nos cálculos das idades são as recomendadas por Steiger & Jäger (1978).

$$(^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb})_{\text{N}} = 2,5076 \pm 0,00037$$

$$\lambda_{\text{Rb}} = 1,42 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$$

$$(^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb})_{\text{S}} = 0,0186661 \pm 0,00003$$

$$q_{\text{S}^{87}} = 0,03189 \text{ umoles/g}$$

As idades isocrônicas foram calculadas em microcomputador, utilizando-se o modelo Williamson.

CAPÍTULO 3

MAGMATISMO ALCALINO NO PARAGUAI E REGIÃO SUDOESTE DO BRASIL

3.1. Generalidades

O evento tectono-magmático nas bordas da Bacia do Paraná, em especial junto ao seu flanco ocidental, na região sudoeste do Brasil (Mato Grosso do Sul) e Paraguai Oriental, se caracteriza pela existência, a partir do Permiano Superior, de numerosos focos de rochas alcalinas. No Jurássico, a parte centro-oriental do Paraguai esteve sujeita a manifestações ígneas, predominantemente efusivas, de caráter toleítico. Entretanto, no Jurássico Superior ao Cretáceo inferior, sobretudo no último período, a atividade alcalina ganhou maior intensidade, gerando diversos corpos intrusivos e efusivos que se concentraram principalmente nas regiões central, norte e nordeste do país. Posteriormente, no Cenozóico, após um período geológico relativamente calmo e ainda em um ambiente marcadamente sedimentar, teve lugar a última manifestação magmática, esta responsável pela intrusão de rochas ultra-alcalinas de afinidade sódica portadoras de nódulos mantélicos, que afloram principalmente nas circunvizinhanças da cidade de Assunção.

Os primeiros estudos geológicos sobre as ocorrências alcalinas paraguaias constam dos trabalhos de Evans (1894) e Derby (1896), onde se descreve sucintamente a petrografia de amostras coletadas na localidade de Pão de Açúcar. Ainda que tenham havido outras investigações sobre essas rochas, os dados disponíveis são limitados e, somente na década dos 50, começaram a surgir alguns trabalhos de conotação mais geológica. Assim, Moraes (1958) e Guimarães (1958) trouxeram informações referentes aos maciços do Fecho dos Morros e Pão de Açúcar, enquanto que Eckel (1959) investigou diversos outros corpos quanto à petrografia e possível existência de mineralizações associadas. Adicionalmente, Putzer (1962) efetuou levantamento geológico de alguns maciços e realizou estudos petrográficos dos principais tipos de rochas encontradas.

Posteriormente a essa etapa pioneira, foram efetuados alguns trabalhos de investigação mais minuciosa, caso, por exemplo, das ocorrências da área de Sapucaí, onde Palmieri (1973) e Palmieri & Arribas (1975) reuniram descrições petrográficas gerais e forneceram uma discussão sobre a geoquímica e geocronologia das litologias coletadas. Mariano (1978), dentro do Programa Exploração Mineral do Paraguai conduzido pela empresa Anschutz Corporation, descreveu várias ocorrências alcalinas, ainda que tenha se concentrado

preferencialmente na área de Pedro Juan Caballero. O seu informe procura destacar a potencialidade econômica dessas rochas, valendo-se para tanto de dados petrográficos e análises químicas.

Ao lado das referências anteriores, citam-se ainda os trabalhos de Bitschene & Lippolt (1984), Bitschene et al. (1986) e Bitschene (1987), este último focalizando a região de Ybytyruzú, e trazendo informações petrográficas, tectônicas, estratigráficas e geocronológicas, além de ampla discussão sobre a gênese das rochas alcalinas ali aflorantes. Por outro lado, os trabalhos de Livieres (1987) e Censi et al. (1989) foram fundamentais para o melhor conhecimento do complexo alcalino carbonatítico de Cerro Chiriguelo. Esses autores, com base em dados geoquímicos, trataram da origem e evolução do magma carbonatítico.

Dentro do programa de cooperação internacional iniciado em setembro de 1987, e que conta com a participação de várias universidades (Brasil, Itália e Paraguai), foram se intensificando as investigações sobre as rochas alcalinas do Paraguai. A primeira contribuição efetiva do grupo correspondeu ao estudo realizado por Gomes et al. (1989) sobre a atividade filoniana na área de Sapucaí. Vários outros trabalhos de cunho geoquímico foram desenvolvidos junto às ocorrências da Província Central, destacando-se, entre eles, os de Velázquez et al. (1990), Comin-Chiaramonti et al. (1991a), Censi et al. (1991) e Comin-Chiaramonti et al. (1992a); além disso, registre-se também os estudos de interesse mais geocronológico (p.e. Velázquez et al., 1990, 1992). Mais recentemente, esse grupo de pesquisadores passou a se ocupar das ocorrências alcalinas da Província Alto Paraguai, com os primeiros resultados publicados em Gomes et al. (1993) e Velázquez et al. (1993).

3.2. Evolução do conceito de província alcalina

Diversos autores teceram considerações sobre o magmatismo alcalino do Paraguai. O primeiro trabalho a oferecer uma visão global das ocorrências foi o Putzer (1962), onde é feita breve descrição e listagem dos principais corpos até então conhecidos, do que ele denominou magmatismo alcalino pós-triássico da região oriental e ocidental do Paraguai.

Posteriormente, Almeida (1971), baseado em evidências estruturais, reuniu as diversas ocorrências alcalinas brasileiras, incluindo-se aí os centros eruptivos do Jurássico e Cretáceo situados a SE de Assunção, em oito grupos. Ulbrich & Gomes (1981), com base em dados geológicos e petrográficos, propuseram a classificação das alcalinas do Brasil em oito províncias, estando as ocorrências paraguaias incluídas na Província do Mato Grosso. Almeida (1983), ao discutir a reativação Wealdeniana e o magmatismo alcalino na porção meridional da Plataforma

Sul-Americana, fez menção à existência de numerosas intrusões alcalinas no Paraguai, ocupando basicamente duas regiões distintas, central e oriental do país, agrupadas e descritas sob a denominação de Província Paraguai Oriental. Ainda, o Projeto PAR 83/005 (1986), valendo-se de conceitos estratigráficos, e tomando como localidade tipo as atividades alcalinas de Sapucaí, procurou enquadrar as diversas ocorrências (alcalinas potássicas, carbonatíticas e ultramáficas) na Formação Sapucaí.

Até então, as manifestações alcalinas do Paraguai foram apenas reunidas, seja com base na área de ocorrência, seja em evidências geológicas. Contudo, não existia ainda uma divisão clara para esse magmatismo, o que acabou acontecendo somente em 1987 com o trabalho de Livieres & Quade. Surgiria daí a primeira denominação de província alcalina propriamente dita para um conjunto de 32 corpos conhecidos na época, e agrupados em três províncias: Alto Paraguai, Amambay e Central.

No decorrer do tempo, os conhecimentos relativos a esse magmatismo foram se acumulando e levaram à descoberta de novas ocorrências. Hoje, a literatura dispõe de informações que permitem distinguir as grandes feições gerais, sendo mesmo possível avaliar com maior clareza as associações petrográficas, as características geoquímicas e as diferenças cronológicas. Por tudo isto, considera-se necessário efetuar uma revisão para estender o conceito de províncias alcalinas no Paraguai. Dentro dessa perspectiva, apresenta-se aqui uma proposta de agrupamento mais atualizada para essas manifestações, valendo-se, notadamente, de seus aspectos geocronológicos, geoquímicos e petrográficos.

Na Tabela 1, reúnem-se os diversos corpos e complexos alcalinos do Paraguai com algumas de suas características mais relevantes e, na Figura 2, fornece-se a sua localização.

3.2.1. Província Alto Paraguai

Inicialmente, essa denominação foi empregada por Livieres & Quade (1987) para agrupar rochas aflorando nas localidades San Carlos e Cerro Buena Vista, além das ácidas ignimbríticas de Fuerte Olimpo. No presente trabalho, incluem-se apenas as ocorrências situadas geograficamente na divisa do Estado Mato Grosso do Sul com o Paraguai e concentradas ao longo do rio Paraguai, principalmente nas imediações das localidades de Puerto Coeyú (Paraguai) e Porto Murtinho (Brasil). Ali afloram como pequenos "stocks", "plugs" e na forma de verdadeiros corpos intrusivos de caráter anelar, caso particular dos complexos de Cerro Siete Cabezas (Paraguai) e Pão de Açúcar (Brasil), este último representando a feição topográfica mais expressiva da região.

Tabela 1. Características gerais e localização dos corpos alcalinos do Paraguai.

Localidade	Ocorrência	Rocha	Afinidade	Condicionamento tectônico	Período
Provincia Alto Paraguai					
1- Cerro Boggiani	"Stock", "plug", dique	NS, F, T	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
2- Pão de Açúcar	Complexo subanelar	NS, F, T	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
3- Ilha Fecho dos Morros	"Stock", dique	NS, F	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
4- Cerrito	"Stock", dique	NS, F	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
5- Morro São Pedro	"Stock"	SA	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
6- Cerro Pedreira	"Stock", dique	SA, QS, T	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
7- Cerro Siete Cabezas	Intrusão anelar	SA, NS, T	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
8- Satélite I	"Stock"	SA, QS, SG	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
9- Satélite II	"Stock"	SA, QS, SG	Alcalina sódica	Craton Amazônico	Permo-Triássico
Provincia Rio Apa					
10- San Lazaro	Dique	L ?	Alcalina	Arco de Apa	Juro-Cretáceo
11- Cerro Santa Elena	Dique	C	Alcalina-carbonatítica	Arco de Apa	Juro-Cretáceo
12- Cerro Vallemi	Dique	C	Alcalina-carbonatítica	Arco de Apa	Juro-Cretáceo
13- San Carlos	"Plug"	F	Alcalina	Arco de Apa	Juro-Cretáceo
14- Cerro Buena Vista	Dique	F	Alcalina	Arco de Apa	Juro-Cretáceo
Provincia Amambay					
15- Cerro Chiriguelo	Complexo anelar	C, NS, Fe	Alcalina-carbonatítica	Arco de Ponta Porã	Juro-Cretáceo
16- Arroyo Gasory	Dique	T	Alcalina	Arco de Ponta Porã	Juro-Cretáceo
17- Cerro Sarambí	Complexo anelar	P, NS, F, C	Alcalina-carbonatítica	Arco de Ponta Porã	Juro-Cretáceo
18- Cerro Apuá	"Plug"	T	Alcalina	Arco de Ponta Porã	Juro-Cretáceo
19- Cerro Pero	Dique	T	Alcalina	Arco de Ponta Porã	Juro-Cretáceo
20- Cerro Tayay	"Stock"	U	Máfica-alcalina	Arco de Cap. Bado	Juro-Cretáceo
21- Cerro Guazú	Dique	L, T	Máfica-alcalina	Arco de Cap. Bado	Juro-Cretáceo
22- Arroyo Blanco	Dique	Sh	Alcalina	Arco de Cap. Bado	Juro-Cretáceo
Provincia Assunção					
23- Cerro Verde	"Plug"	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
24- Villa Hayes	"Plug"	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
25- Cerro Confuso	"Plug"	F	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
26- Limpio	Dique	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
27- Remanso Castillo	Dique	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
28- San Jorge	Dique	BA	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
29- Jardim Botánico	Lava	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
30- Cerro Tacumbú	"Plug"	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
31- Cerro Lambaré	"Plug"	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
32- Cerro Patiño	Dique	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário
33- Cerro Ñemby	"Plug"	N	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Terciário

Tabela 1 (conclusão).

Província Central					
34- Cerro Arrua-i	"Stock"	SD	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
35- Cerro Piedra	"Stock", dique	SD, T	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
36- Cerro Santo Tomás	"Stock", dique	E, Mi	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
37- Cerro Porteño	"Plug", dique	TB, T	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
38- Cerro Ybypyté	"Stock"	OSG	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
39- Cerro Yarigua-á	"Plug"	Fs	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
40- Cerro Acahay	Complexo anelar	BA, Te, E	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
41- Cerro Gimenez	"Plug"	TF	Alcalina sódica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
42- Sapucaí	Complexo subanelar	Ba, T, F, E	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
43- Tte. Martínez	Dique	F	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
44- Cerro Fidel	"Plug"	F	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
45- Cerro Yaguarú	Dique	Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
46- Catalán	Enxame de diques	T, F, BA	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
47- Cerro Valle-i	"Plug"	F	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
48- Potrero Naranjaty	Enxame de diques	T, F, Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
49- Arroyo Paso Villán	Dique	Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
50- Franco Nú	Dique	T	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
51- Iriarte	Dique	T	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
52- Potrero Ybaté	Lava, "stock"	Te, E, F	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
53- Cerro Medina	"Plug"	T	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
54- Potrero Arce	Dique	Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
55- Cerro San José	"Stock", dique	E, Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
56- Cerro Chobi	"Stock", dique	NS, Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
57- Cerro Cañada	"Stock"	M	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
58- Cerrito (Col. L. Vera)	"Plug"	F	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
59- Cerro Itapé	"Plug"	Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
60- Cerrito (Costa Jhú)	"Plug"	Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
61- Aguapety Portón	"Stock", dique	E, MS	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
62- Mbocayaty	"Stock", dique	M, Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
63- Cerro Capiitindy	"Plug"	T	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
64- Cantera M.O.P.C.	Dique	L	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
65- Ybytyruzú	Complexo subanelar	SD, T, Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
66- Martínez Cué	Dique	Te	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
67- Estancia Las Rosas	Dique	TA	Alcalina potássica	"Rift" de Assunção	Cretáceo
Província Misiones					
68- Cerro Caá Jhovv	"Plug"	F	Alcalina potássica	"Rift" ?	Cretáceo ?
69- Estancia Ramirez	Dique	N	Alcalina sódica	"Rift" ?	Cretáceo ?
70- Estancia Guavira-y	"Plug"	N	Alcalina sódica	"Rift" ?	Cretáceo ?

Abreviações: BA, basalto alcalino; C, carbonatito; E, essexito; F, fonolito; Fe, fenito; L, lamprófito; M, malignito; Mi, minette; MS, microssienito; N, nefelinito; NS, nefelina sienito; OSG, olivina sienogabro; P, piroxenito; QS, quartzo sienito; SA, sienito alcalino; SD, sienodiorito; SG, sienogranito; Sh, shonkinito; T, traquito; TA, traquiandesito; TB, traquibasalto; Te, tefrito; TF, traquifonolito; U, ultramáfica.

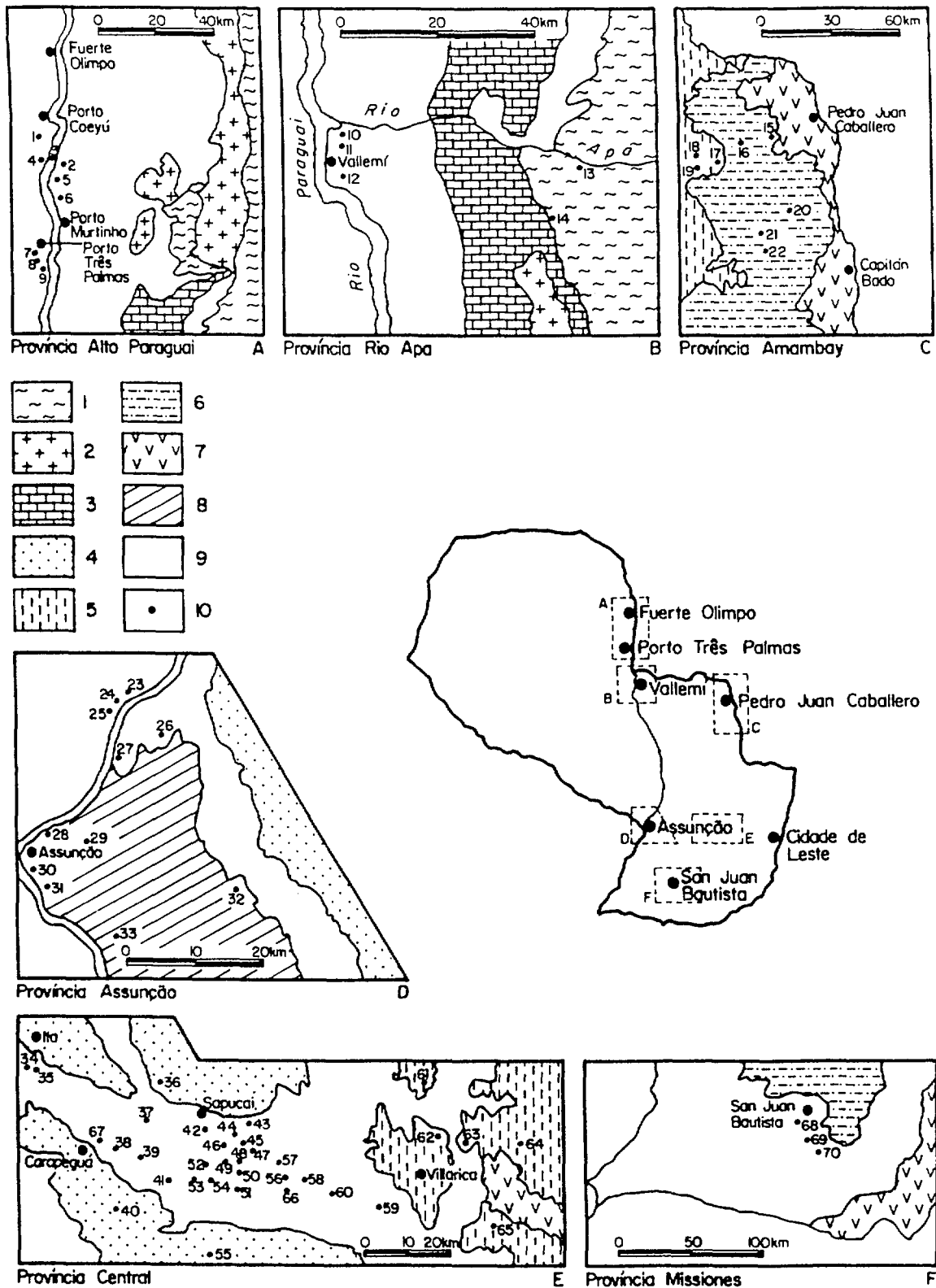


Figura 2- Distribuição geográfica das províncias alcalinas do Paraguai. 1- Pré-Cambriano Inferior, Complexo Rio Apa; 2- Pré-Cambriano Superior, Suíte Intrusiva Alumiador; 3- Sedimentos Cambrianos, Grupo Itapucumi; 4- Sedimentos Silurianos, Grupo Caacupé; 5- Sedimentos Carboníferos, Grupo Cerro Corá; 6- Sedimentos Triássicos, Formação Misiones; 7- Magmatismo toleítico Juro-Cretáceo, Formação Alto Paraná; 8- Sedimentos Terciários, Formação Patiño; 9- Sedimentos Quaternários; 10- Ocorrências alcalinas.

Diversos trabalhos pioneiros de cunho eminentemente petrográfico (Evans, 1894; Derby, 1896) classificaram o material proveniente da intrusão de Pão de Açúcar como sendo constituído de sienitos augíticos. Moraes (1958) e Guimarães (1958) caracterizaram as amostras coletadas na área de Fecho dos Morros como foiaitos e sienitos, enquanto que Putzer (1962) descreveu Cerro Boggiani como formado predominantemente de rochas sieníticas portadoras de nefelina e sodalita.

O Projeto Bodoquena (1979), investigando as ocorrências alcalinas associadas à área de Fecho dos Morros, indicou a existência de sienitos, traquitos e traquiandesitos. Pouco depois, o Projeto Radambrasil (1982) trouxe informações sobre os corpos de Fecho dos Morros e Pão de Açúcar, onde foram descritas rochas do tipo sienito, latíandesito e traquito, além de biotita-egirina sienito e egirina-arfvedsonita sienito.

Os estudos geoquímicos, ainda escassos, têm como primeira referência o trabalho de Putzer & Van den Boon (1962), reunindo dados de elementos maiores para os corpos mais conhecidos. Mais recentemente, tem-se a contribuição de Gomes et al. (1993), oferecendo grande acervo de dados químicos. Nesta, os autores reconheceram, em função do grau de saturação em sílica, dois grupos distintos de rochas sieníticas, sugerindo, ainda, que essas suítes poderiam estar relacionadas a diferentes linhas de evolução petrogenética. Em geral, as suítes englobam rochas de afinidade sienítica e caráter variável de insaturado a saturado, e podem ser incluídas nas associações I e II de Ulbrich & Gomes (1981).

A primeira informação sobre a idade desse evento é encontrada em Amaral et al. (1967), trazendo quatro datações pelo método K/Ar, com valor médio de 226 Ma, para uma única amostra de nefelina sienito da intrusão de Pão de Açúcar. Também no artigo de Comte & Hasui (1971) existe uma idade de 209 Ma (K/Ar, rocha total em fonólito) para a mesma localidade. Outra fonte de dados é o trabalho de Velázquez et al. (1993), reunindo idades obtidas pelas metodologias K/Ar e Rb/Sr em rochas sieníticas. Duas dizem respeito ao corpo de Cerro Boggiani, com idade de 234 Ma (K/Ar, anfíbólio) e 223 Ma (Rb/Sr, isócrona interna), e as outras referem-se às ocorrências de Pão de Açúcar (248 Ma, K/Ar, biotita), Ilha Fecho dos Morros (225 Ma, Rb/Sr, isócrona interna), Cerrito (253 Ma, K/Ar, biotita) e Cerro Siete Cabezas (253 Ma, K/Ar, biotita).

3.2.2. *Província Rio Apa*

As rochas alcalinas pertencentes à Província Rio Apa afloram ao norte do Departamento de Concepción, em duas áreas distintas. Na porção oeste, são conhecidas rochas

predominantemente máficas que incluem diques de afinidade carbonatítica e lamprofirica. Elas ocorrem em San Lazaro, nas imediações de Puerto Vallemí, junto às localidades denominadas de Cerro Santa Elena e Cerro Vallemí. Os diques apresentam orientação preferencial para NE e possuem como material encaixante uma seqüência de rochas carbonáticas, com termos clásticos subordinados, do Grupo Itapucumí, equivalente ao Grupo Corumbá no Brasil. Por outro lado, na porção central foram até então reconhecidas duas ocorrências, Fuerte San Carlos e Cerro Buena Vista, esta última situada a aproximadamente 10 km a norte de Estancia San Luís. Ambas mostram tendência efusiva e afinidade fonolítica, segundo Hutchison (1979, 1980) e Walloughby (1979), e têm como material encaixante as unidades pertencentes ao Alto do Apa (Hutchison, 1979). Estas últimas incluem rochas pré-cambrianas policíclicamente trabalhadas, que se dispõem numa longa faixa NS avançando pelo território brasileiro, onde a unidade recebe o nome de Província de Tapajós, Subprovíncia Madeira (Amaral, 1984).

3.2.3. *Província Amambay*

Os complexos e corpos menores alcalinos pertencentes a esta província acham-se localizados no Departamento de Amambay, parte nordeste do país, e têm a cidade de Pedro Juan Caballero como principal ponto de referência geográfica.

Trabalhos inéditos de interpretação de imagens de satélites (Thomas & Associados, 1976) e dados aeromagnéticos (Hales, 1980) evidenciaram que as estruturas de maior destaque na área são os anticlinais de Ponta Porã e Capitán Bado, ambos orientados para NW. Segundo Livieres & Quade (1987), os complexos de Cerro Sarambí e Cerro Chiriguelo mantêm estreita associação com o anticlinal de Ponta Porã, enquanto que as intrusões de Cerro Guazú e Tayay guardam relação com o anticlinal de Capitán Bado. Os outros corpos menores parecem estar ligados a feições lineares menos marcantes

Como características marcantes da Província Amambay, citam-se a forma anelar dos complexos, com os citados acima, possuindo diâmetro variável de 5 a 10 km, e a ocorrência de rochas carbonatíticas.

Os complexos mostram enorme diversidade litológica. Mariano (1978) descreveu Cerro Chiriguelo como sendo uma estrutura ígnea circular, onde as rochas encaixantes foram intensamente silicificadas por um corpo central carbonatítico responsável pela fenitização. Livieres & Quade (1987) referiram-se à presença de um corpo carbonatítico de caráter sovítico bordejado de rochas feníticas, sendo o conjunto envolvido por nefelina sienitos. Por sua vez, Censi et al. (1989) caracterizaram o complexo como um corpo carbonatítico de forma elipsoidal,

orientado para NE-SW, onde é possível distinguir-se três estágios evolutivos - sovito, alvikito e ferro-carbonatítico -, com predomínio do primeiro.

A 15 km a sudoeste de Cerro Chiriguelo, foi reconhecida por Eby & Mariano (1992) a ocorrência de dique porfírico do tipo traquito.

O complexo de Cerro Sarambí é descrito por Eby & Mariano (1986, 1992) como contendo basicamente um corpo central piroxenítico e, em menor volume, egrina-nefelina sienitos, estes, por sua vez, cortados por diques traquíticos, fonolíticos e veios carbonatíticos. Fenitos reomórficos são abundantes periféricamente, além de corpos satélites, casos particulares de Cerro Apuá e Cerro Perõ. Mariano (1978) caracterizou ainda duas ocorrências de diques porfíricos de afinidade traquítica. Quanto a Cerro Guazú, trata-se aparentemente de um corpo ígneo localizado em zona mais profunda, cuja manifestação se dá na forma de diques. Mariano (1978) chamou a atenção para o fato de ser ele praticamente constituído por sedimentos que foram silicificados e, em alguns casos, até fenitizados. Ainda mencionou a ocorrência de rochas lamprofíricas no seu flanco noroeste, assim como a presença de shonkinitos, distantes aproximadamente 1 km da localidade de Arroyo Blanco. Desconhece-se a ocorrência em superfície de rochas de afinidade carbonatítica, porém, Eby & Mariano (1992) suspeitam da sua existência em profundidade, com base em evidências geofísicas e anomalias geoquímicas de Terras Raras.

O trabalho de Livieres (1987) oferece um panorama geral sobre a geoquímica do complexo de Cerro Chiriguelo. Segundo esse autor, as rochas sieníticas são heterogêneas, ligeiramente miasquíticas, além de portadoras de concentrações elevadas em elementos incompatíveis (Pb, Ba, Ce, La, Nb, Th, Zr e U) e teores baixos em Cr e Ni. Já as rochas carbonatíticas caracterizam-se por apresentar conteúdos elevados em Ca, Ba e CO₂ e baixos em Mg, Sr, Nb, U e Zr.

Censi et al. (1989) obtiveram teores elevados em Ca e Ba para as rochas do complexo. Observaram também que a abundância em Nb, U e Th guarda relação com rochas carbonatíticas portadoras de urânio-pirocloro. Os fenitos exibem teores elevados de K em relação a Na. Adicionalmente, com base na concentração dos isótopos de C e O, eles sugeriram que a evolução do carbonatito teria se dado em ambiente vulcânico e subvulcânico.

Devido à sua grande diversidade litológica, torna-se difícil agrupar esses complexos em uma única associação, ainda que a do tipo III de Ulbrich & Gomes (1981) se mostre a mais adequada.

Trabalhos geocronológicos sobre a Província Amambav são ainda raros na literatura.

Os primeiros dados disponíveis (método K/Ar) são os de Comte & Hasui (1971) para a ocorrência de Arroyo Gasory: 143 ± 8 Ma (rocha total) e 135 ± 7 Ma (biotita) para um traquito. Mariano (1978), em seu relatório sobre pesquisa mineral, reportou duas idades radiométricas: a primeira (128 ± 5 Ma, biotita) relativa ao carbonatito de Cerro Chiriguelo e a segunda (117 ± 4 Ma, biotita) a um shonkinito proveniente da localidade de Arroyo Blanco.

Eby & Mariano (1992) forneceram algumas determinações radiométricas para diversos corpos da Província Amambay. Idades de 118 ± 20 e 125 ± 12 Ma foram obtidas por traços de fissão em apatita em carbonatito transgressivo do Cerro Chiriguelo. Para Cerro Guazú, os valores conseguidos foram 117 ± 4 Ma (K/Ar, biotita) e 114 ± 15 Ma (traços de fissão), enquanto que para Cerro Sarambí as idades (110 ± 10 e 86 ± 2 Ma, ambas por traços de fissão) mostraram enorme discrepância. Para as demais ocorrências, Arroyo Gasoy e Cerro Apuá, os valores reunidos foram 146 ± 12 Ma (traços de fissão em titanita) para a primeira, e 133 ± 12 e 114 ± 15 Ma (traços de fissão em apatita) para a segunda.

3.2.4. Província Assunção

A maioria dos afloramentos localiza-se nas circunvizinhanças da cidade de Assunção. A denominação de Província Assunção para essas ocorrências deveu-se a Bitschene et al (1985). No total, ela reúne 11 corpos principais, na forma de "plugs", "necks", lavas e diques, entre os quais se destacam os de Cerros Ñemby e Tacumbú, presentemente trabalhados como pedreira. Tectonicamente, acham-se associados ao "rift" de Assunção, concentrando-se na sua porção ocidental. A ocorrência dessas rochas na região marca uma importante atividade tectono-magmática durante o Cenozóico.

Coube a Milch (1905), a primeira resenha sobre esse magmatismo, trazendo informações sobre a sua distribuição geográfica, além de uma sucinta caracterização petrográfica. Segundo esse autor, a manifestação corresponde a uma associação de rochas ultramáficas do tipo limburgito.

Trabalhos posteriores demonstraram que essas rochas pertencem a uma suíte reunindo nefelinitos e ankaratritos, com tendência marcadamente sódica, e contendo nódulos mantélicos. Em geral, os nefelinitos são rochas escuras de granulação fina, a levemente porfirítica, portadores de fenocristais de olivina, com dimensões aproximadas de 2 mm, e, subordinadamente, de clinopiroxênios (Stormer et al., 1975; Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti et al., 1991c). Ao microscópio, os piroxênios são fortemente zonados, além de exibirem coroa de reação. Os fenocristais de olivina são xenomórficos, sem zoneamento, e com evidências de deformação

autoclástica. A matriz é afanítica, consistindo predominantemente em clinopiroxênios, olivina, opacos e nefelina; ocasionalmente, aparecem micrólitos de plagioclásio e vidro intersticial. Micronódulos e presumíveis xenocristais (0,2 até 2 mm) são relativamente comuns (Stormer et al., 1975; Bitschene & Báez Presser, 1989)

Os nódulos mantélicos presentes nos nefelinitos possuem composição variável de lherzolito a dunito. Mineralogicamente, acham-se constituídos por olivina e piroxênios (orto e clino), tendo espinélio como principal acessório. A textura é predominantemente xenomórfica granular, onde a olivina mostra extinção ondulante e deformação lamelar, enquanto os piroxênios são xenomórficos, com abundantes lamelas de exsolução. O espinélio é intersticial e de ocorrência irregular (Comin-Chiaramonti et al., 1986; De Vito, 1987; De Marchi et al., 1989).

Essas ocorrências, como evidenciado na literatura, foram objeto de diversos trabalhos geoquímicos. Stormer et al. (1975), com base no estudo do quimismo dos minerais, concluíram que as condições de equilíbrio paragenético foram atingidas a uma temperatura de 1100°C e profundidade de aproximadamente 45 km. Bitschene (1987) e Bitschene & Báez Presser (1989) sugeriram que essas lavas alcalinas teriam se derivado a partir de magma primitivo gerado no manto superior, como indicado pela concentração de Cr, Ni, Mg e razão Zr/Nb. Comin-Chiaramonti et al. (1991c), com base em dados isotópicos e geoquímicos, propuseram para a gênese dos nefelinitos uma derivação a partir de fonte de granada peridotito, posteriormente enriquecida em elementos incompatíveis por processos metasomáticos. Corroborando com a hipótese do metasomatismo, De Marchi et al. (1989) indicaram que esses processos acham-se relacionados petrogeneticamente a uma atividade energética de fluidos ricos em H₂O+CO₂, causada por uma perturbação do gradiente geotérmico responsável pelo vulcanismo toleítico da Bacia do Paraná.

Por apresentarem características comuns às rochas alcalinas fortemente insaturadas, os nefelinitos podem ser incluídos na associação do tipo VII de Ulbrich & Gomes (1981).

Estudos radiométricos dos nefelinitos foram feitos por diversos autores. Comte & Hasui (1971), empregando K/Ar em rocha total, determinaram uma idade de 46±7 Ma para o nefelinito de Cerro Tacumbú. Recorrendo à mesma metodologia, Stormer et al. (1975) obtiveram uma idade de 36±11 Ma para o basanita da localidade de Cerrito Cantera. Contudo, os dados mais completos são os fornecidos por Bitschene (1987), que indicam um intervalo de idade compreendido entre 58-38 Ma para os nefelinitos da Província Assunção, o que permite situá-la no Terciário.

3.2.5. *Provincia Central*

Essa atividade engloba grande número de corpos, ocupando quase sempre as partes mais elevadas da região, e, topograficamente, aparecendo na forma de cerros, com altura entre 100 e 500 m, ou pequenas colinas. A sua ocorrência é das mais variadas, sendo possível distinguir-se desde pequenos diques, "plugs", "stocks", lavas, até verdadeiras massas intrusivas de características anelares (p.e. Cerro Acahay: diâmetro 5 km, borda saliente e depressão central). Tectonicamente, estão ligados ao "rift" de Assunção (DeGraff, 1985), uma estrutura orientada para NW-SE que se estende por aproximadamente 200 km de comprimento e 35 a 40 km de largura.

Nos poucos casos observados, verifica-se que o contato desses corpos com as encaixantes sedimentares regionais se dá com ausência de maior atividade metamórfica, capaz de produzir alterações mineralógicas e químicas, assim como de deformações estruturais expressivas. Quando muito reconhecem-se feições indicativas de recristalização ou silicificação parcial dos arenitos na zona de contato (p.e. Cerro Acahay). Em raras oportunidades (pedreiras), foram encontradas evidências de contato de natureza tectônica.

As ocorrências alcalinas exibem enorme diversidade petrográfica. A fácies intrusiva reúne sobretudo variedades de afinidade sieno-gábrica (gabro-essexíticos, essexitos e sienodioritos), sendo a textura em geral fanerítica, hipidiomórfica granular a ligeiramente porfirítica (plagioclásios e/ou piroxênios como fenocristais). Subordinadamente, aparecem tipos sieníticos (sienitos e nefelina sienitos) com textura fanerítica de natureza alotriomórfica e contendo feldspato potássico como fase mineralógica mais importante. Os constituintes máficos mais comuns são piroxênios, olivina e biotita; junto aos tipos mais félsicos, predominam plagioclásios (suíte gábrica) e feldspato potássico (suíte sienítica). Como acessórios podem ser citados apatita, titanita, opacos e, eventualmente, zircão. Por sua vez, a fácies efusiva (lavas e "plugs") é caracterizada pela presença de rochas de afinidade basáltica e traquibasáltica, ao lado de algumas amostras de composição mais tefrítica, exibindo forte tendência porfirítica. Nestas, os fenocristais possuem dimensões milimétricas a centimétricas e são, em sua maior parte, representados por piroxênios, plagioclásio e, mais raramente, olivina e fôides, imersos em matriz afanítica de natureza holocristalina (Velázquez, 1992).

Os enxames de diques constituem a feição geológica mais proeminente associada ao ambiente hipobassal. Os trabalhos de campo na área de Sapucaí, por exemplo, permitiram reconhecer mais de 200 corpos correspondendo a fases distintas de geração (Gomes et al., 1989;

Comin-Chiaramonti et al., 1991b, d). Em geral, os corpos são verticais a subverticais e de espessura decimétrica a métrica, com valor médio da ordem de 4 a 6 m. Recortam indistintamente as demais rochas alcalinas, assim como as sedimentares encaixantes. Sua orientação preferencial é NW-SE, contudo, duas outras direções, NS e NE-SW, foram também reconhecidas.

Do ponto de vista petrográfico, os diques demonstram grande diversidade mineralógica e textural, a permitir a caracterização de vários tipos litológicos: basaltos alcalinos, tefritos, traquiandesitos, traquifonolitos, traquitos e fonolitos. Como tendência geral, essas rochas apresentam forte caráter porfírico, notadamente as variedades de natureza tefrítica e fonolítica, com mega, feno e microfenocristais dos mais variados minerais. A matriz é comumente afanítica e, preferencialmente, de natureza holocristalina. Como outras particularidades texturais, os traquiandesitos são freqüentemente microporfíricos, enquanto que os traquitos se mostram porfíricos e portadores de cristais tabulares de feldspato potássico com forte orientação (De Min, 1988; Gallo, 1988; Comin-Chiaramonti et al., 1990).

Ao lado da caracterização petrográfica das rochas alcalinas potássicas, alguns trabalhos dando maior ênfase à geoquímica foram também desenvolvidos, entre os quais se destaca o de Palmieri & Arribas (1975), fornecendo uma primeira visão do evento magmático do complexo alcalino de Sapucaí. Posteriormente, Bitschene (1987), em programa de levantamento geológico na área de Ybytyruzú, teceu comentários sobre a sua tectônica, estratigrafia e geocronologia, além de discutir com base em dados geoquímicos a gênese das rochas alcalinas ali aflorantes. Esse autor procurou chamar a atenção para a concentração elevada em K e MgO dessas rochas, para a sua alta razão K_2O/TiO_2 , P_2O_5/TiO_2 e K_2O/Nb , além de assinalar que essa ocorrência pertence a uma suíte potássica a ultrapotássica.

Gomes et al. (1989) forneceram informações sobre o enxame de diques da área de Sapucaí. O estudo envolveu pesquisa detalhada do ponto de vista petrográfico, além de ter possibilitado a reunião de grande acervo de dados geoquímicos, que foram modelados em diferentes diagramas de variação e acompanhados de cálculos de balança de massa. Segundo esses autores, as associações litológicas presentes nos diques, onde se distinguem diversos tipos de basaltos alcalinos (ricos e pobres em elementos incompatíveis) ou mesmo fonolitos exibindo grau variável de evolução, não se acham relacionadas entre si por simples processos de cristalização fracionada. Assim, é possível que os diversos magmas alcalinos representados na área possam ter tido uma evolução a baixa pressão a partir de uma fonte mantélica submetida a grau diferente de fusão.

Comin-Chiaramonti et al. (1990) realizaram estudos petrográficos e químicos (minerais e rochas) para as diversas litologias do maciço alcalino de Acahay, e promoveram exaustiva discussão sobre a sua gênese e evolução. Para esses autores, os dados químicos e petrográficos testemunham que o maciço é constituído em sua maior parte por duas suítes (extrusiva e intrusiva), com as rochas, em função da sua afinidade, incluídas em três grupos distintos: a) traquibasaltos-traquiandesitos-traquitos, b) gabros alcalinos-sienogabros-sienodioritos-sienitos e c) gabros essexitos-essexitos. Além disso, assinalaram que o comportamento dos elementos maiores e traços para esses grupos parece indicativo de uma gênese comum tendo como magma parental os gabros alcalinos. Esse magma é interpretado como sendo o produto de grau diferente de fusão (4-7%) de um manto granatífero, submetido a processos de cristalização fracionada que levaram à formação dos termos mais evoluídos.

Velázquez et al. (1990) fizeram uma primeira avaliação sobre as características geoquímicas de alguns corpos alcalinos potássicos aflorando na área do "rift" Assunção-Sapucaí, oferecendo informações sobre as razões La/Nd, La/Y, La/Nb e Rb/Sr dessas rochas, que serviram de subsídio para a definição da sua área fonte.

Em termos gerais, as tendências geoquímicas observadas para o magmatismo potássico revelam valores de Mg e conteúdos de Cr e Ni relativamente baixos. Por outro lado, a notável dispersão registrada para as razões La/Nd, La/Y, Zr/Nb e Rb/Sr parece indicar uma origem ligada a fontes heterogêneas e/ou grau de fusão diferente para um manto com fases hidratadas no resíduo. Em geral, essas características geoquímicas guardam similaridades com as exibidas pelas rochas vulcânicas potássicas da Província Romana (Comin-Chiaramonti et al., 1991a).

Dados radiométricos e isotópicos (razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) constantes dos trabalhos de Velázquez et al. (1990, 1992) são indicativos de que essa atividade alcalina potássica teve lugar principalmente entre 130 e 120 Ma; estes valores são consistentes com as informações obtidas por meio de análises paleomagnéticas (130 Ma; cf. Ernesto et al., 1990). Por outro lado, a razão inicial apresenta pequena dispersão, agrupando-se entre 0,70685 e 0,70792, à exceção dos "plugs" fonolíticos de Cerro Gimenez e Cerro Medina, de natureza sódica, que mostram valores bem mais baixos, respectivamente, 0,70247 e 0,70324.

3.2.6. *Província Misiones*

Na região sudoeste do país, junto ao Departamento de Misiones, nas proximidades das localidades de Estancia Guavira-y, Estancia Ramirez e Cerro Caá Jhovy, encontram-se

pequenos "plugs" e dique de rochas alcalinas associados discordantemente a arenitos triássicos da Formação Misiones (Projeto PAR/005, 1986). Os "plugs" apresentam dimensões de 0,3 a 0,8 km² e altura média não superior a 50 m; por sua vez, o dique possui largura aproximada de 10 m e orientação para NW.

Os dados disponíveis são ainda insuficientes para se estabelecer o regime tectônico desse magmatismo, porém, as evidências de campo parecem indicar que esses corpos se acham condicionados a lineamentos regionais de direção NW, avaliados por DeGraff & Orué (1984) como resultado de fraturamento crustal, admitindo-se um deslocamento de 2000 m em relação ao embasamento situado a NE da estrutura.

As rochas que ocorrem nas localidades Estancia Guavira-y e Estancia Ramirez foram classificadas como nefelinitos. A textura é tipicamente porfírica, com clinopiroxênios e olivina como feno e microfenocristais. A matriz hipocristalina é constituída de vidro, clinopiroxênios, olivina, opacos e feldspatóides. À diferença das outras ocorrências, em Cerro Caá Jhovy, afloram fonolitos peralcalinos, predominantemente porfíricos, com feldspato alcalino como fenocristais e grãos isolados de opacos como microfenocristais, imersos em matriz consistindo em micrólitos de clinopiroxênio e feldspato alcalino (Comin-Chiaramonti et al., 1992b).

Evidências geoquímicas para elementos maiores e traços indicam diferenças marcantes entre os nefelinitos de San Juan Bautista e aqueles aflorando na área de Assunção, assim como dos fonolitos de Cerro Caá Jhovy em relação às rochas congêneres da Província Central (Comin-Chiaramonti et al., 1992b).

As características gerais das rochas da Província de Misiones permitem identificá-las com a associação do tipo VII de Ulbrich & Gomes (1981).

Pouco se sabe sobre a idade desses corpos, com a única datação disponível (112±6 Ma, J.M. DeGraff, dados inéditos) dizendo respeito aos fonolitos de Cerro Caá Jhovy. Mais recentemente, Comin-Chiaramonti et al. (1992b), utilizando a equação de Rb/Sr, calcularam novos valores de idade convencional para essas rochas, 145,7 e 91,3 Ma, estes, apesar da limitação dos dados, mostrando boa correspondência com o magmatismo alcalino mesozóico das porções central e nordeste do Paraguai Oriental.

CAPÍTULO 4

PROVÍNCIA ALTO PARAGUAI

4.1. Contexto geológico

A área abrangida por este trabalho pertence, em parte, à extremidade sul da Província Tapajós, Subprovíncia Madeira (Amaral, 1984), unidade estratigráfica mais antiga que se dispõe numa longa faixa NS (Fig. 3). Para N, ela desaparece sob os aluviões quaternários do Pantanal Matogrossense, entretanto, a sua parte sul avança pelo território paraguaio, onde acha-se essencialmente coberta por extensas formações calcárias.

Apesar de os estudos sobre o Pré-cambriano da área terem aumentado consideravelmente nos últimos anos, as informações disponíveis são ainda insuficientes. Nesse sentido, qualquer leitor mais familiarizado com a geologia da Província Tapajós pode prontamente notar que a quantidade e qualidade dos dados geológicos existentes ainda carecem de maior trabalhamento. Contudo, para uma discussão mais completa sobre a geologia da região poderão ser consultados, entre outros, os seguintes trabalhos: Projeto Bodoquena (1979), Projeto RadamBrasil (1982), Amaral (1984) e Wiens (1986).

É importante assinalar que as diversas propostas existentes para a subdivisão litoestratigráfica da área são muito controvertidas, sem existir um consenso entre os autores. Adota-se aqui a nomenclatura proposta por Araújo et al. (1981) e Hutchison (1979) por oferecer uma visão mais regional.

As rochas atribuídas ao Complexo Rio Apa (Araújo et al., 1981), denominado no Paraguai de Província Paso Bravo (Hutchison, 1979), expõem-se predominantemente na porção mais oriental da área de estudo, estendendo-se de forma mais ou menos contínua; podem também ser encontradas, em menor quantidade, em áreas isoladas circundadas pelos sedimentos quaternários do Pantanal. Programas de levantamento geológico executados, principalmente pelos Projetos Bodoquena (1979) e RadamBrasil (1982), propuseram para elas idade pré-cambriana, inferior a médio. O complexo congrega um conjunto de rochas magmáticas e metamórficas polideformadas, tendo como principais litotipos gnaisses, migmatitos, anfíbolitos, mica xistos, rochas cataclásticas, além de granitos e pegmatitos.

Ao longo da porção central da área investigada, destacam-se, como corpos isolados, as rochas pertencentes ao Grupo Amoguija (Araújo et al., 1981), conhecido no lado paraguaio como Alto de Centurión (Willoughby, 1979). Segundo aqueles autores, a litologia dominante

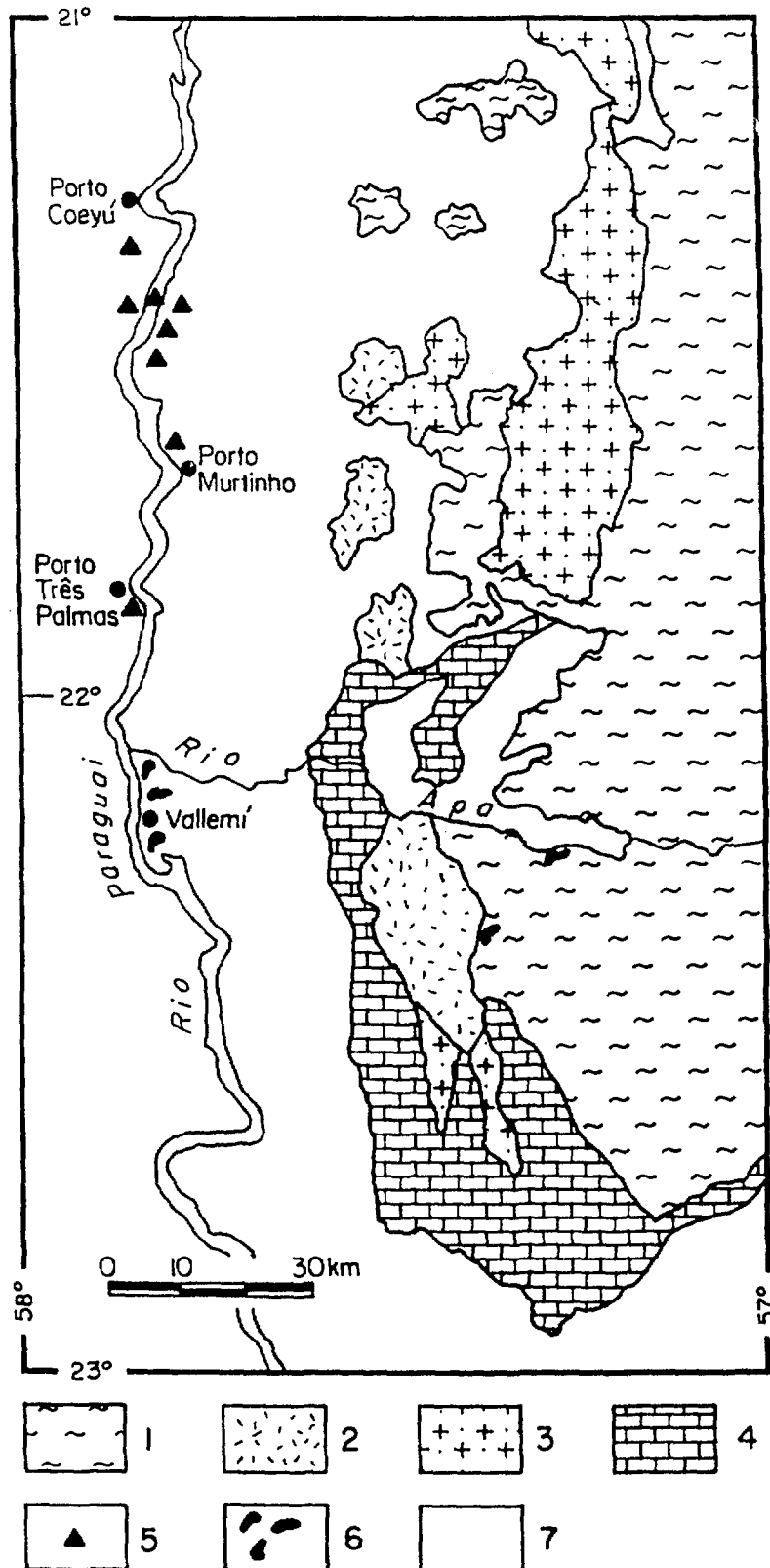


Figura 3- Mapa geológico da área investigada (compilado de Hutchison, 1979 e Projeto RadamBrasil, 1982). 1- Pré-Cambriano Inferior, Complexo Rio Apa; 2- Pré-Cambriano Médio, Grupo Amoguija; 3- Pré-Cambriano Superior, Suíte Intrusiva Alumiador; 4- Sedimentos Cambrianos, Grupo Corumbá; 5- Magmatismo alcalino Permo-Triássico; 6- Magmatismo alcalino Juro-Cretáceo; 7- Sedimentos Quaternários.

reúne rochas metavulcânicas ácidas e intermediárias, produtos piroclásticos e, em proporções menores, metassedimentos, que se dispõem discordantemente sobre o Complexo Rio Apa e em contato tectônico com a Suíte Intrusiva Alumiador.

A Suíte Intrusiva Alumiador (Araújo et al., 1981), referida informalmente no lado paraguaio como Província Sudoeste (Hutchison, 1979), aflora numa faixa contínua NS e aparece, em território brasileiro, penetrando principalmente rochas pertencentes ao Complexo Rio Apa; na sua extremidade sul (território paraguaio), aparece como blocos isolados e coberta por extensas rochas calcárias. Segundo Araújo et al. (1981), essa unidade inclui grande variedade de rochas graníticas, sendo os principais tipos biotita granitos, granitos porfíricos, granodioritos e microgranitos; contudo, no Paraguai, estão presentes granitos associados a rochas metavulcânicas e mica xistos (Hutchison, 1979).

Na porção sul da área, ocorrem grandes extensões de rochas sedimentares calcárias do Grupo Itapucumí, equivalente, no Brasil, ao Corumbá, além de sedimentos aluviais e coluviais recentes.

4.2. Magmatismo alcalino

As diversas intrusões alcalinas da Província Alto Paraguai concentram-se na margem ocidental da Bacia do Paraná e são encontradas principalmente ao longo do rio Paraguai, seja em território brasileiro ou paraguaio (Fig. 4). Essa atividade engloba grande número de corpos, ocupando sempre as partes mais elevadas da região. Topograficamente, aparecem na forma de cerros, com altura entre 100 e 500 m, ou então formando pequenas colinas. A sua ocorrência diversificada permite distinguir desde pequenos diques, lavas e "stocks" até verdadeiras massas intrusivas de características anelares, caso particular dos cerros Pão de Açúcar (Brasil) e Siete Cabezas (Paraguai).

A maior concentração de corpos se dá nas imediações da localidade de Puerto Coeyú (Fig. 4-A), tendo como principal ocorrência a intrusão de Pão de Açúcar, de cota não superior a 500 m, que se ergue na planície do Pantanal (Fotos 3 e 4). No seu flanco ESE, aparecem diversos cerros alongados e distribuídos grosseiramente na forma anelar (Foto 5), enquanto que, na parte WSW, estão presentes alguns cerros isolados, os mais relevantes correspondendo ao Morro San Pedro, Ilha Fecho dos Morros e Cerrito, este último em pleno território paraguaio (Foto 6). Um pouco mais ao norte, distante cerca de 10 km, aflora o corpo intrusivo de Cerro Boggiani (Paraguai) com dois pequenos "plugs" satélites (Fotos 7 e 8).

Outra importante área de afloramento acha-se situada nas proximidades de Puerto

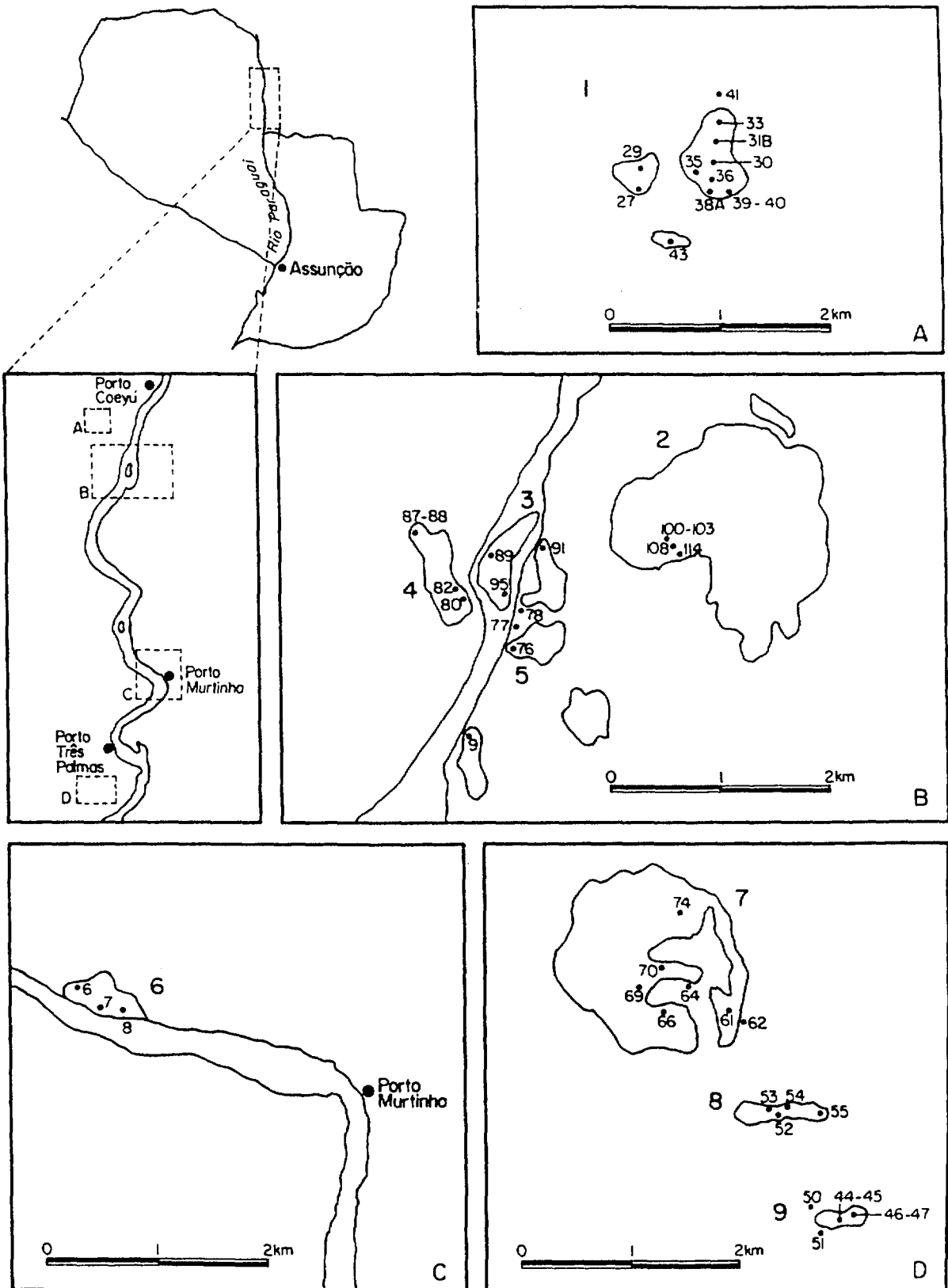


Figura 4- Mapa de localização das amostras da Província Alto Paraguai.

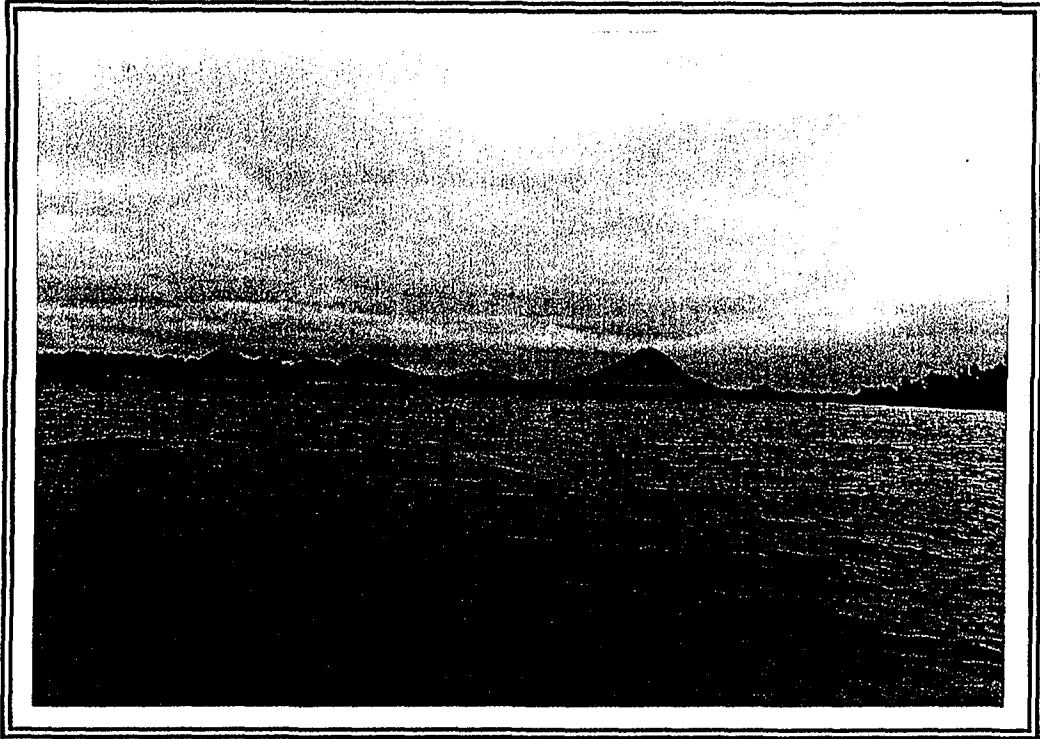


Foto 3. Vista geral do Pão de Açúcar, intrusão maior, e dos corpos associados.

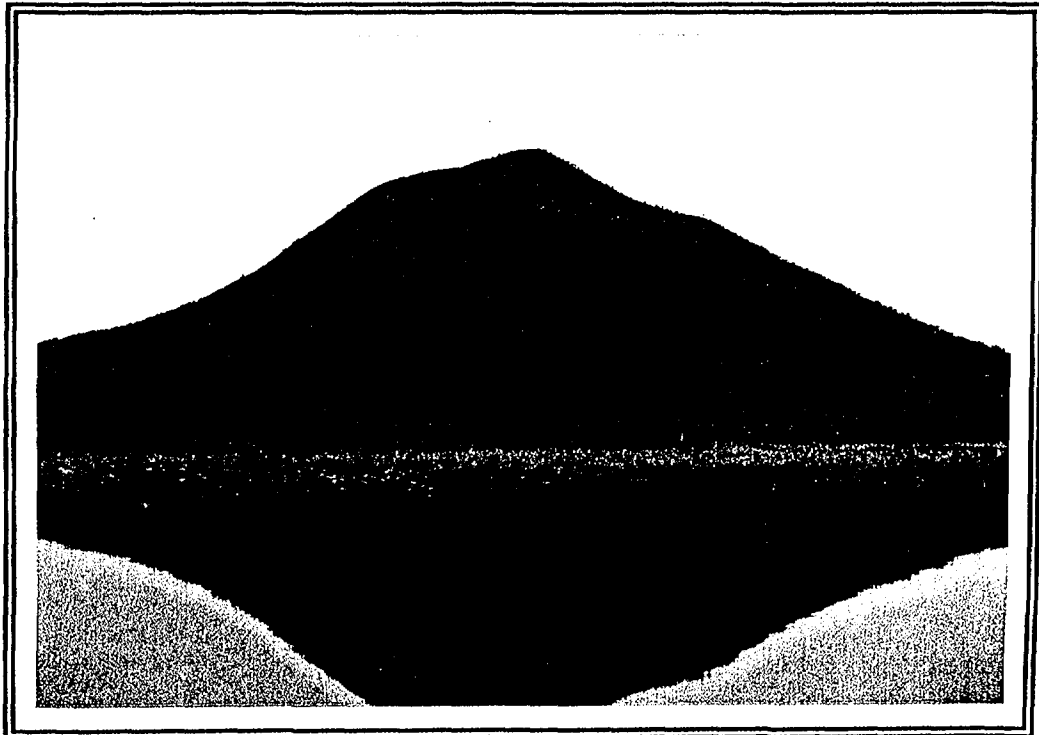


Foto 4. Intrusão principal do complexo do Pão de Açúcar, coberta por densa vegetação.

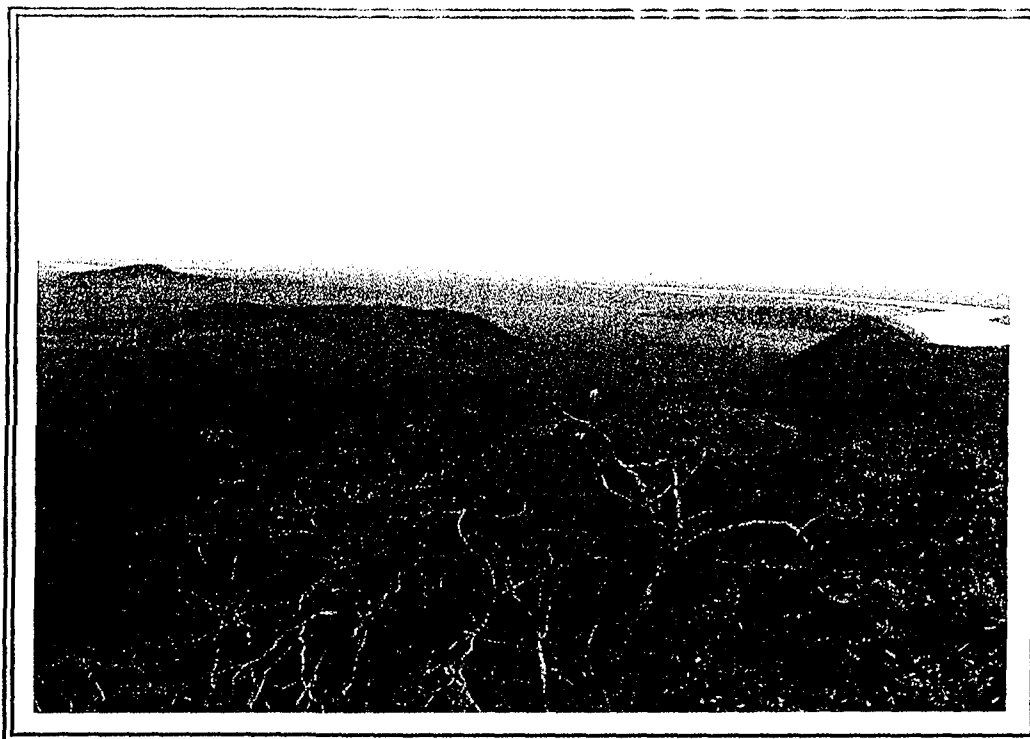


Foto 5. Vista panorâmica tomada do setor S da intrusão principal do Pão de Açúcar. Observa-se geomorfologia típica de planície de inundação, onde se ressaltam os corpos alcalinos e o rio Paraguai.

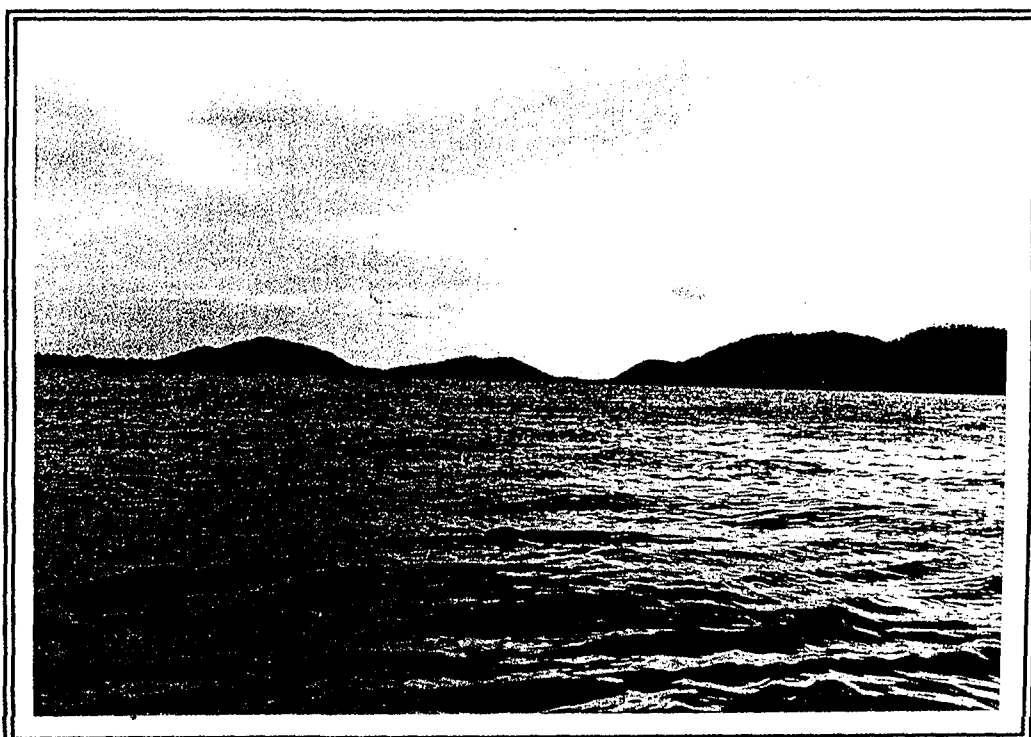


Foto 6. Vista frontal das ocorrências de Cerrito (esquerda), Ilha Fecho dos Morros (centro) e Morro São Pedro.

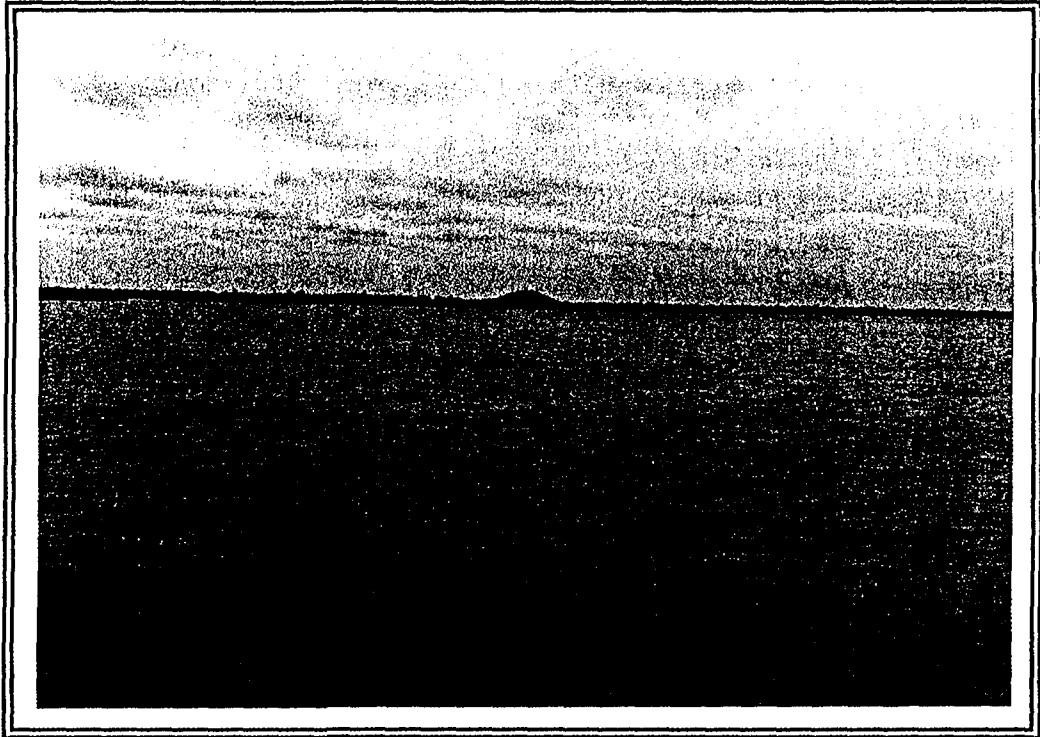


Foto 7. Ao fundo, o corpo de Cerro Boggiani. Note-se a grande extensão do leito do rio Paraguai elevado de cerca de 9 m acima do nível normal.

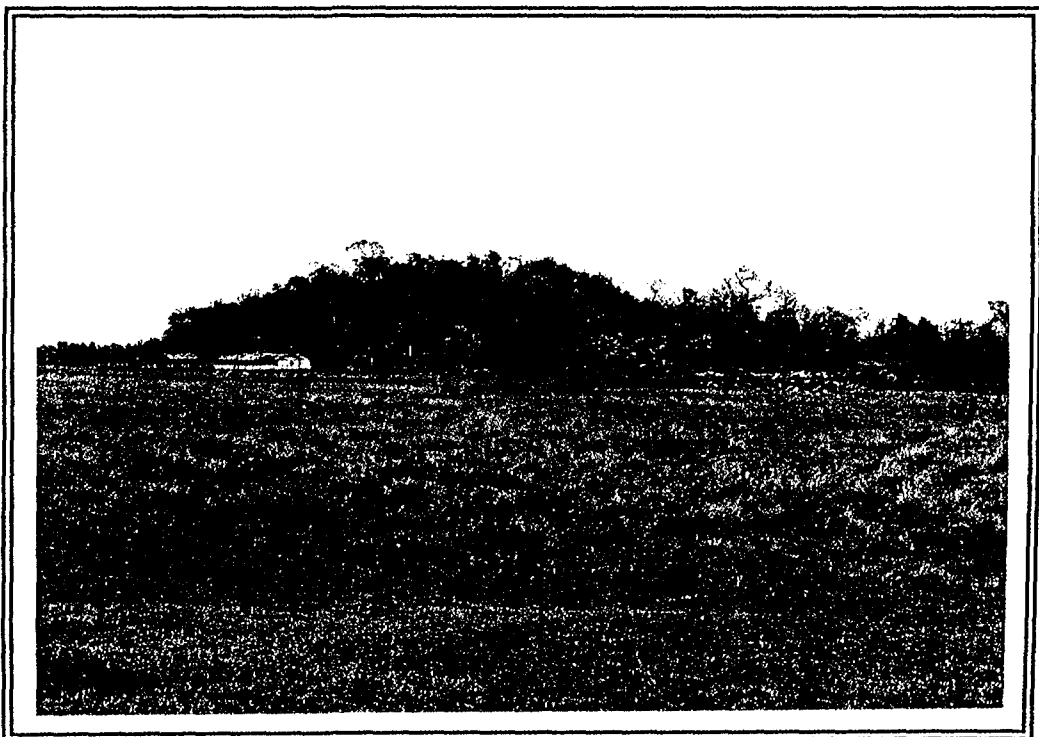


Foto 8. Corpo satélite da intrusão de Cerro Boggiani, com destaque para a ocorrência de "boulders" de material sienítico.

Tres Palmas, no lado paraguaio (Fig. 4-C), a sul da cidade de Porto Murtinho. Consiste em um complexo anelar denominado Cerro Siete Cabezas, com diâmetro não superior a 2,5 km. Geomorfologicamente, se caracteriza por apresentar uma enorme depressão central e bordas salientes, de cota máxima 250 m. Ainda associado a esse complexo ocorrem dois "plugs" alongados.

Adicionalmente, pode-se mencionar a existência de um corpo sienítico, localizado aproximadamente a 5 km ao norte da cidade Porto Murtinho (Cerro Pedreira, Fig. 4-B) (Foto 9).

Por último, é interessante destacar que a literatura faz menção à existência de rochas alcalinas na localidade de Fuerte Olimpo, Paraguai (Foto 10). Contudo, as amostras ali coletadas (Cerro Tres Marias, Estancia Barreto e Cerro Barreto) apontam em realidade para a presença de rochas vulcânicas ácidas de caráter ignimbrítico e idade pré-cambriana.

4.2.1. Características petrográficas

Como previamente mencionado, trabalhos pioneiros sobre as alcalinas da Província Alto Paraguai são devidos a Evans (1894) e Derby (1896), ambos fornecendo uma breve descrição sobre a petrografia de amostras coletadas na localidade de Pão de Açúcar e identificadas como sienitos augíticos. Informações posteriores sobre essas ocorrências pouco aduziram e somente na década de 50, com os trabalhos de Moraes (1958) e Guimarães (1958), surgiram alguns dados de conotação mais geológica, especificamente para as intrusões de Pão de Açúcar e Fecho dos Morros.

Durante o levantamento geológico do Projeto Bodoquena (1979), foram também investigadas as ocorrências associadas ao Fecho dos Morros, com os materiais examinados sendo classificados como sienitos, traquitos e traquiandesitos; não foram encontradas evidências de termos mais básicos ou mesmo produtos piroclásticos.

Por outro lado, o Projeto Radambrasil (1982), no objetivo de mapear os recursos naturais existentes na Folha SF-21 Campo Grande, divulgou uma síntese petrográfica de amostras ocorrendo nas áreas de Fecho dos Morros e Pão de Açúcar, incluindo aí alguns corpos adjacentes. De modo geral, foram descritas rochas sieníticas portadoras de nefelina e sodalita, e tendo como minerais máficos dominantes biotita, egirina e arfvedsonita. Conjuntamente, foram também reconhecidos latíandesitos e traquitos.

Para a descrição petrográfica das rochas sieníticas pertencentes à Província Alto Paraguai, optou-se por conveniência agrupá-las em áreas de ocorrência, à vista da grande diversidade mostrada pelos tipos presentes numa mesma localidade. Essa diversidade, parecendo

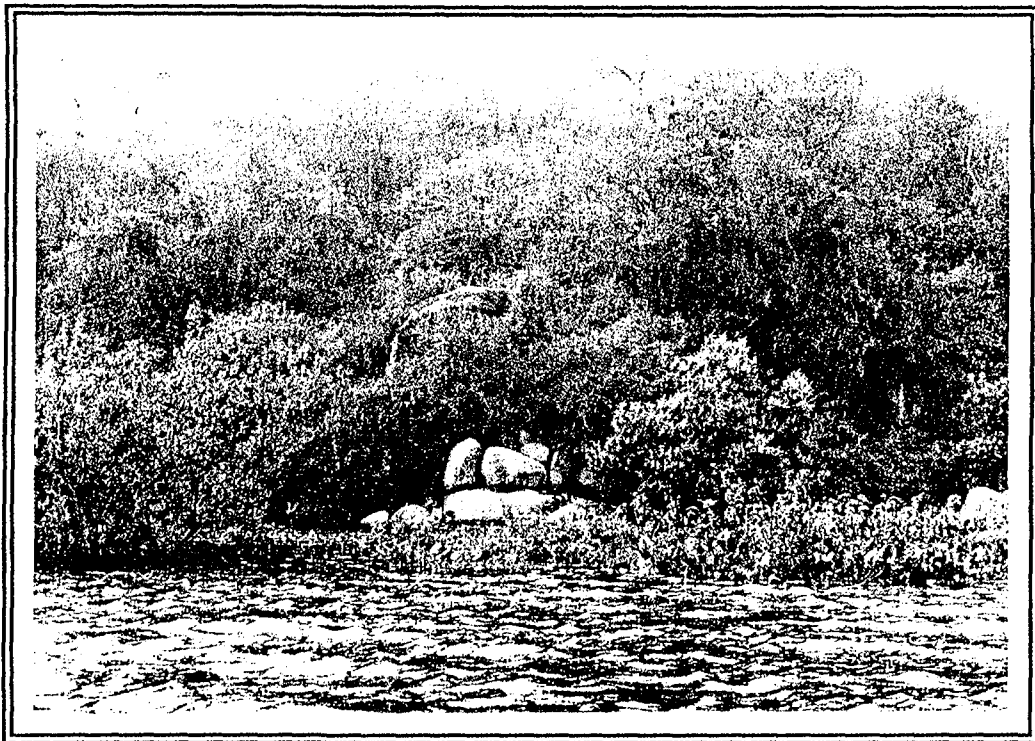


Foto 9. Afloramento em forma de blocos na margem esquerda do rio, pouco quilômetros a N de Porto Murtinho (Cerro Pedreira).

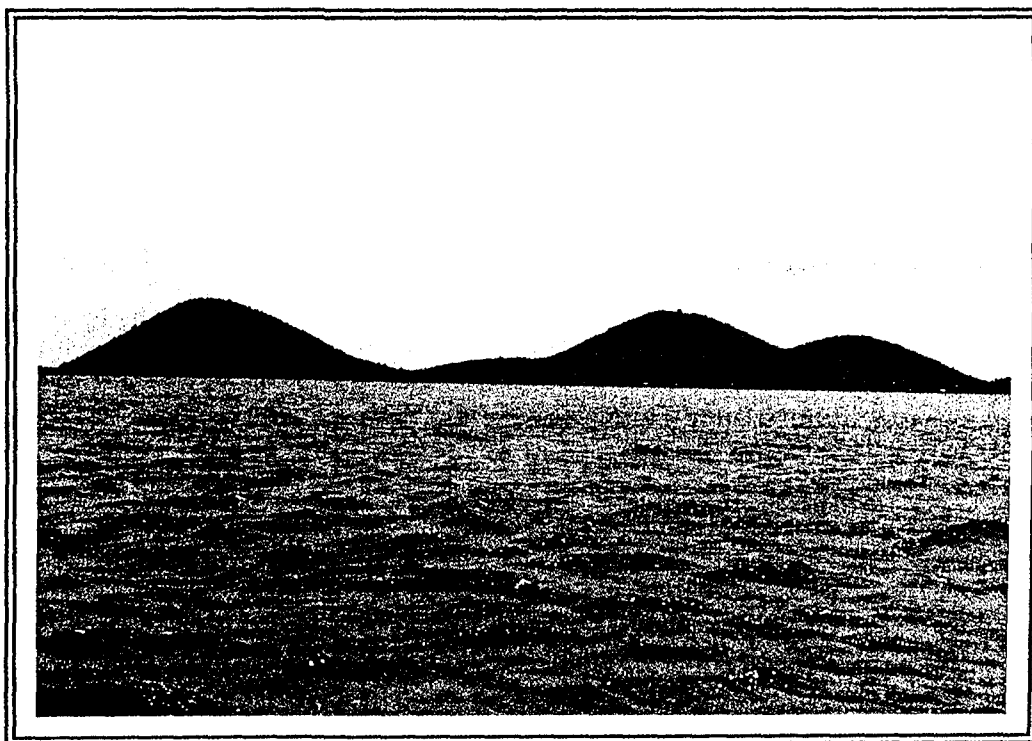


Foto 10. Vista frontal do corpo de Tres Marias na localidade de Forte Olimpo.

refletir fundamentalmente diferentes tipos de intrusão, é evidenciada por marcante variação granulométrica e textural, levando à distinção de dois grandes grupos, plutônico e vulcânico. Empregou-se o termo plutônico para rochas visivelmente faneríticas, ocorrendo com frequência na forma de "stocks" e intrusões anelares; já o vulcânico foi utilizado para rochas com textura porfirítica e matriz eminentemente afanítica. Este tipo de material aflora em geral na forma de lavas, "plugs" e diques. Por outro lado, as principais mudanças mineralógicas dizem respeito sobretudo a variações na concentração de quartzo e nefelina, permitindo, dessa forma, reconhecer-se sienitos saturados e insaturados.

Para fins de caracterização, foram consultados e utilizados diversos trabalhos já consagrados na literatura. Assim, fez-se uso da nomenclatura de Sorensen (1979, 1986) e procurou-se adotar as sugestões apresentadas pela Subcomissão de Sistemática de Rochas Ígneas da IUGS (Le Maitre, 1989). Entretanto, para fins de classificação, recorreu-se ao diagrama de De La Roche (1986), que busca relacionar as diversas litologias com o processo evolutivo.

Utilizando-se como base esse esquema de classificação, e agrupando os vários tipos em áreas de ocorrência distintas, fez-se a descrição petrográfica dos corpos sieníticos, apresentada a seguir.

Cerro Boggiani

Situa-se na porção norte da área de estudo (Fig. 4-A1) e corresponde a três pequenos corpos separados entre si. O maior possui 0,5 km de diâmetro e altura não superior a 140 m, além de apresentar forte caráter intrusivo; os menores, em número de dois, mostram tendências subintrusiva a vulcânica. Adicionalmente, foram identificados pequenos diques que cortam o corpo principal. Esses conjuntos formam uma associação de rochas predominantemente insaturadas, sendo possível distinguir-se sienitos portadores de nefelina e sodalita junto à fase intrusiva; já a efusiva é representada basicamente por rochas fonolíticas.

Macroscopicamente, os nefelina sienitos exibem cor branca-acinzentada a cinza escuro, com grande variação na granulometria, com os megacristais chegando a atingir até 1 cm; as dimensões dos cristais situam-se em torno de 5,0 mm para a granulação média e menor de 2,0 mm para a fina. A textura é tipicamente fanerítica granular.

A mineralogia apresenta notáveis variações, em especial no que concerne à relação máficos/félsicos. De modo geral, os máficos mostram melhor desenvolvimento, prismático para os piroxênios e lamelar para as micas. Por sua vez, os constituintes félsicos possuem hábito menos desenvolvido e ocorrem formando massa xenomórfica de coloração acinzentada.

Ao microscópio, os nefelina sienitos exibem textura holocristalina de granulação grossa a fina, sendo ocasionalmente porfirítica. São caracterizados por uma associação mineralógica contendo predominantemente feldspato potássico subidiomórfico de hábito tabular, com geminação Carlsbad, e, às vezes, incluindo grãos de apatita, piroxênio e biotita (Foto 11). Os clinopiroxênios, da série egirina-augita a egirina, variam notadamente no tamanho e forma, sendo que os grãos xenomórficos possuem bordas muito mal definidas, enquanto que os idiomórficos têm hábito prismático com base hexagonal. O zoneamento está sempre presente e é muito variado, sendo o tipo setorial o mais comum. Apresentam pleocroísmo com tonalidade amarelo-esverdeada no centro, chegando até verde escuro nas bordas. Os feldspatóides, nefelina e sodalita, aparecem na forma de grãos xenomórficos ocupando os interstícios dos demais minerais. A sodalita distingue-se prontamente por sua natureza isotrópica, já a nefelina mostra uma birrefringência de cor cinzenta (Foto 12). As biotitas e os anfibólios sódicos aparecem distribuídos entre os demais minerais em proporções muito variadas, existindo casos em que a sua ausência é total. O primeiro ocorre como lamelas finas, e o segundo como agregados xenomórficos. Apatita, titanita e opacos são reconhecidos como acessórios. Adicionalmente, aparecem grãos isolados de plágioclásio sódico (albita) subidiomórfico com geminação polissintética, além de fases mais raras, como eudialita e astrofilita.

Os fonolitos ocorrem como diques ou então como "plugs", constituindo pequeno cerro de altura inferior a 50 m. No campo, são afaníticos, maciços e de cor escura. Porém, ao microscópio, revelam claramente o seu caráter porfirítico, contendo como microfenocristais feldspato potássico, egirina-augita e nefelina. No geral, os hábitos são bem definidos, tabular para os feldspatos, prismático para os piroxênios e retangular para a nefelina. A matriz varia desde holocristalina a criptocristalina, onde os grãos xenomórficos de nefelina e os cristais aciculares de egirina se associam ao feldspato potássico ripiforme fortemente orientado (Fotos 13 e 14). Em algumas amostras, reconheceu-se textura glomeroporfirítica de minerais félsicos, reunindo feldspato potássico e nefelina. Os acessórios mais frequentes incluem cristais idiomórficos de titanita, apatita e opacos; ocasionalmente, na matriz, foram observados grãos isolados de anfibólio sódico.

Pão de Açúcar

Corresponde sem dúvida ao complexo alcalino de maior expressão na região, cobrindo superfície aproximada de 5 km² (Fig. 4-B2). As condições climáticas e as dificuldades de acesso permitiram apenas desenvolver trabalhos de campo na intrusão principal e, sem dúvida,

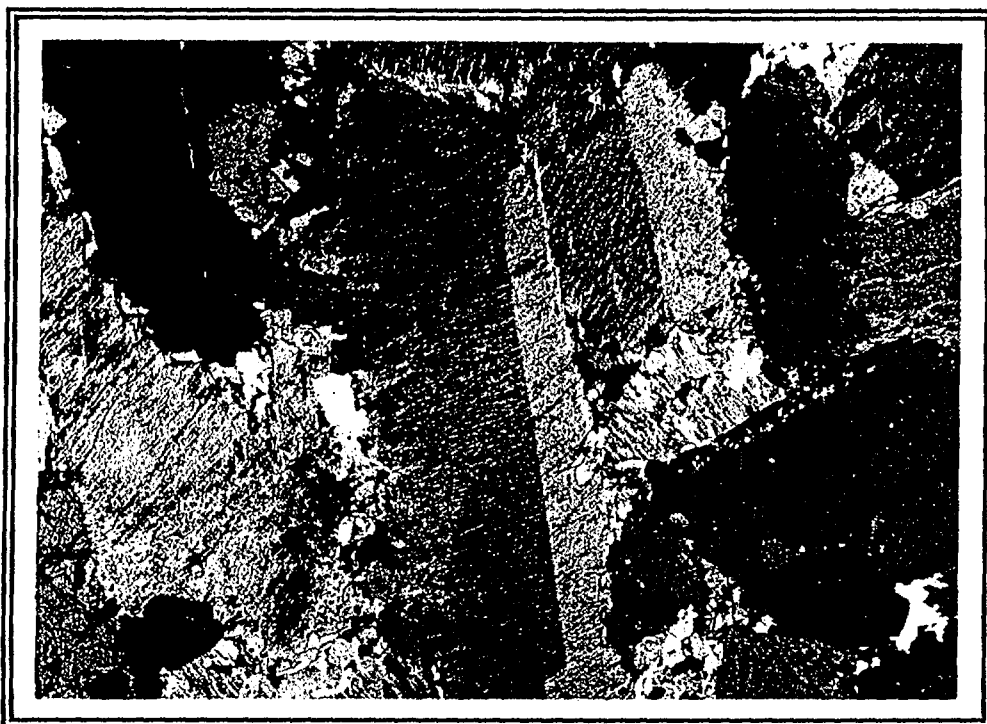


Foto 11. Nefelina-sodalita sienito. Observa-se o domínio de minerais félsicos, feldspato potássico idiomórfico e geminado, nefelina parcialmente retangular (vértice inferior direito) e sodalita xenomórfica (vértice superior esquerdo). Nícois parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.



Foto 12. Nefelina-sodalita sienito. Com maior conteúdo de minerais máficos (piroxênios) e de sodalita (material xenomórfico cinza escuro). Nícois parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.



Foto 13. Fonolito. Textura porfiro-traquítica, com maior domínio de nefelina como fenocristal (cinza escuro) e matriz de feldspato potássico e piroxênio. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 50X.

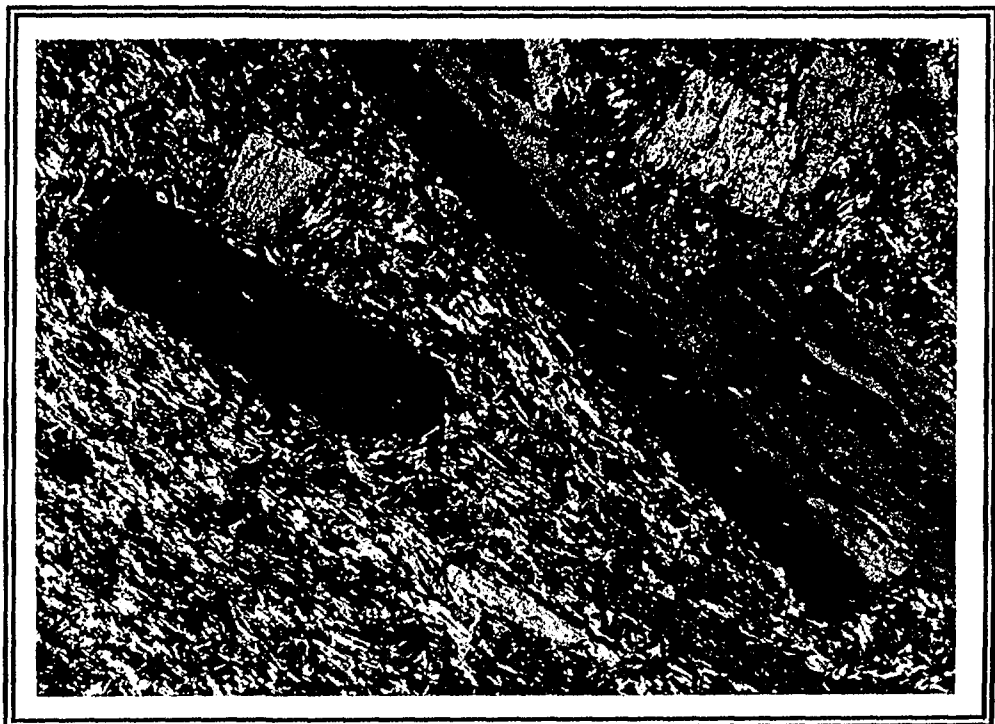


Foto 14. Fonolito. Textura porfirítica com fenocristais de feldspato potássico e nefelina; o primeiro de hábito tabular alongado, e o segundo mais retangular. A matriz leucocrática é fortemente orientada. Nicóis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 50X.

a mais representativa. As amostras ali coletadas sugerem maior domínio de rochas vulcânicas (traquifonolitos), porém, na base da extremidade SE foram encontradas rochas de granulação grossa do tipo nefelina sienito, com abundantes lamelas de biotita. Tem-se plena consciência quanto à necessidade de melhor amostragem do corpo principal de forma a obter-se visão mais completa da situação geológica. Contudo, quando vistas no conjunto, as amostras parecem não apresentar diferenças apreciáveis, embora tenham sido verificadas, em escala de afloramento, pequenas variações texturais que, muito possivelmente, devem refletir efeitos locais.

Os nefelina sienitos, provenientes de um único afloramento, possuem granulação grossa ligeiramente homogênea. À vista desarmada, ressalta prontamente a presença de biotita por seu aspecto nacarado e hábito escamoso. Já a fase félsica forma uma densa massa de coloração rósea, onde os máficos aparecem como aglomerados ou então dispersos aleatoriamente.

O exame microscópico possibilita confirmar a textura hipidiomórfica equigranular e uma associação mineralógica consistindo essencialmente em feldspato potássico, subidiomórfico e, em geral, geminado segundo a lei de Carlsbad. O grupo dos piroxênios acha-se representado por membros da série egirina-augita. Em geral, estes são xenomórficos, exibindo zoneamento do tipo "patch" e setorial, além de portadores de pleocroísmo moderado a forte, com tonalidades amarelo-esverdeado no centro e verde oliva nas bordas dos cristais. A nefelina é xenomórfica e, na maioria das vezes, aparece preenchendo interstícios (Foto 15); ocasionalmente ocorre como cristal idiomórfico de hábito retangular. A biotita encontra-se distribuída entre os demais minerais, sendo mais abundante que os piroxênios; ocorre na forma de lamelas alongadas, com pleocroísmo intenso, castanho claro a castanho-avermelhado. Como acessórios reconhecem-se apatita idiomórfica, agregado xenomórfico de opacos e, eventualmente, zircão. Mais raramente estão presentes anfibólio e plagioclásio albitico.

Ainda na mesma intrusão, os traquitos apresentam-se formando domo lávico de grande elevação. São rochas afaníticas e sua coloração varia no afloramento, em função do grau de alteração intempérica, desde castanho-avermelhado a castanho-esverdeado, sendo o material fresco de coloração escura.

Microscopicamente, revelam amplo predomínio dos minerais félsicos confinados sobretudo à matriz. O caráter porfirítico se fez presente, sendo feldspato potássico o fenocristal de maior importância, ainda que possam aparecer, em quantidade inferior, egirina-augita e biotita. De acordo com a natureza e arranjo dos constituintes da matriz, é possível distinguir-se nos traquifonolitos as seguintes texturas: essencialmente porfirítica (Foto 16), glomeroporfirítica,

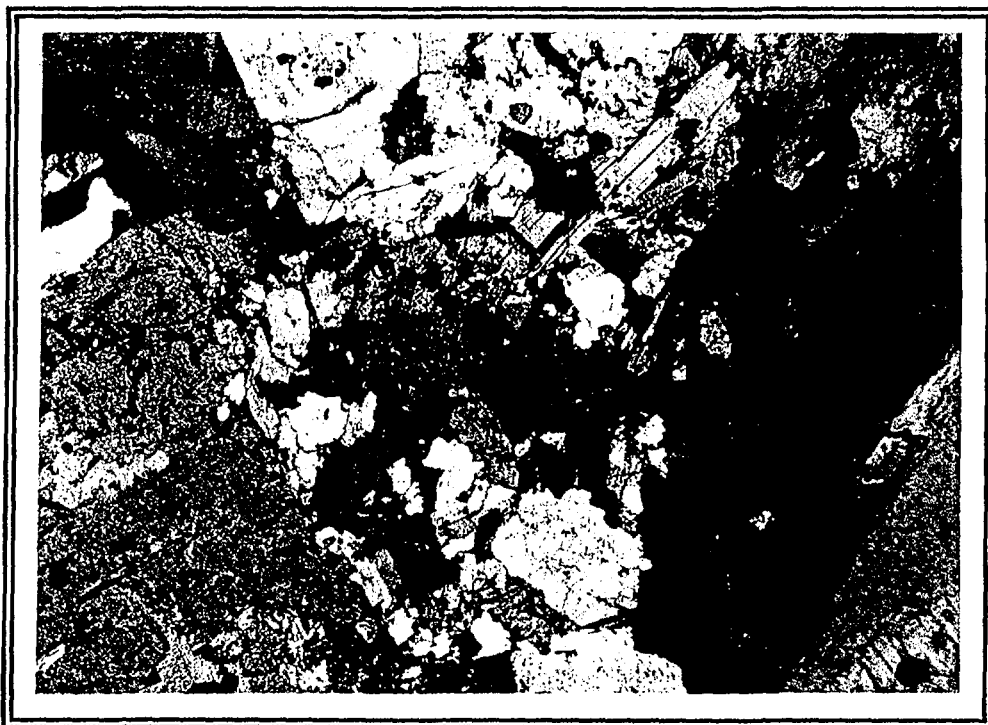


Foto 15. Nefelina sienito. Textura alotriomórfica, onde se distinguem cristais intersticiais de nefelina (cinza claro), o feldspato potássico de hábito tabular alongado (posição de extinção), além de piroxênio e biotita (no centro). Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 25X.



Foto 16. Traquifonolito. Textura porfírica, onde o fenocristal de feldspato potássico apresenta reabsorção parcial e zoneamento em "patch". A matriz holocristalina contém feldspato potássico e piroxênio. Nicóis cruzados, filtros azul e cinza, 50X.

traquítica e até ignimbrítica (Foto 17). Contudo, as características mais relevantes são dadas pelos mega e fenocristais de feldspato potássico, imersos numa matriz fortemente orientada, que inclui grãos xenomórficos de egrina-augita, anfibólio sódico e lamelas de biotita, além dos cristais ripiformes de feldspato potássico (Foto 18). Essa paragênese mineralógica é bastante uniforme, existindo, eventualmente, apenas mudanças quanto à proporção dos constituintes minerais. Como acessórios têm-se apatita, titanita e opacos.

Ilha Fecho dos Morros

Esta ocorrência localiza-se a algumas dezenas de metros a W da intrusão de Pão de Açúcar, aflorando no leito do rio Paraguai (Fig. 4-B3). Apresenta forma elipsoidal alongada e situa-se em cota superior a 100 m. Representa o único afloramento até então encontrado de rochas insaturadas com características texturais fortemente pegmatíticas, onde os cristais de feldspato potássico e nefelina têm dimensões superiores a 2 cm. Das observações feitas no afloramento, pode-se dizer que o corpo se mostra homogêneo, recortado apenas por alguns pequenos filões fonolíticos porfíricos, com megacristais de feldspato potássico, a microporfíricos, sem contudo perturbar a estrutura ígnea primária.

Quando visto ao microscópio, o sienito pegmatóide revela prontamente seu caráter leucocrático, sendo constituído basicamente por cristais idiomórficos de feldspato potássico, de hábito tabular e geminado segundo Carlsbad, e subidiomórficos de nefelina, desenvolvendo parcialmente hábito retangular (Foto 19). Como máficos, ainda que pouco freqüentes, destacam-se egrina-augita e biotita e, mais raramente, anfibólio sódico. Apatita e titanita são comuns na forma de inclusões tanto no feldspato potássico como na nefelina, podendo também ocupar espaços intersticiais.

Os fonolitos ocorrem como diques verticais a subverticais, de largura não superior a 80 cm, e mostram em geral contatos planares. À vista desarmada, exibem cor verde escuro, granulação muito fina, aspecto maciço e brilho graxoso.

Em secções delgadas, os tipos microporfíricos apresentam feldspato potássico como microfenocristal bem desenvolvido, de hábito tabular alongado. A matriz holocristalina reúne diminutos cristais ripiformes de feldspato potássico e aciculares de egrina-augita, juntamente com grânulos xenomórficos de nefelina (Foto 20). Apatita é o acessório mais comum, sendo também identificados titanita e, menos comumente, opacos.

A SE da Ilha Fecho dos Morros, existem vários outros corpos alcalinos, entre eles, o de Morro de São Pedro que, devido à sua posição geográfica pouco favorável, não foi amostrado



Foto 17. Traquifonolito. Textura ignimbrítica. No centro, fenocristal de feldspato potássico envolvido por camadas alternadas de materiais félsicos (parte clara) e máficos (parte escura). Nicois descruzados, filtros azul e cinza, 50X.



Foto 18. Traquifonolito. Textura porfirítica com fenocristal de feldspato potássico evidenciando crescimento em "syneusis" e complexo zoneamento. Na parte superior, observa-se cristal idiomórfico de nefelina. Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 50X.



Foto 19. Nefelina sienito. Textura pegmatítica com enormes cristais de feldspato potássico exibindo zoneamento múltiplo (direita) e nefelina idiomórfica com base pseudo-hexagonal (esquerda). Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 25X.

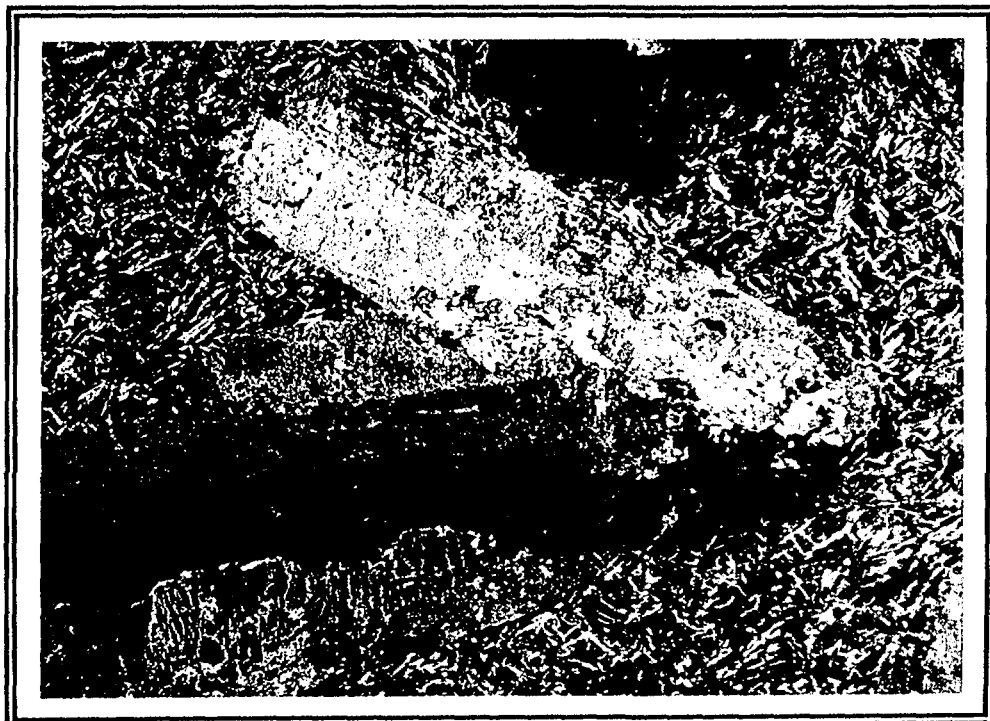


Foto 20. Fonolito. Textura glomeroporfírtica, reunindo feldspato potássico e nefelina (parte superior). A matriz é formada de feldspato potássico e grãos aciculares de piroxênio. Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 50X.

de forma sistemática para ter-se um controle das mudanças mineralógicas locais. As poucas amostras examinadas indicam tratar-se de rochas sieníticas com características muito semelhantes às das demais ocorrências estudadas.

Cerrito

É um pequeno "stock" de nefelina sienitos, de forma elipsoidal alongada (Fig. 4-B4), cortado por pequenos veios e diques fonolíticos. As rochas sieníticas exibem textura hipidiomórfica granular e granulação variável de grossa a fina, com predomínio da primeira. Os cristais subidiomórficos de feldspato potássico possuem coloração cinzenta, enquanto que os xenomórficos de nefelina exibem cor rosa-amarelada e brilho graxoso. No flanco E do morro, foi possível verificar-se a presença de cinco diques menores, muito bem preservados, de composição fonolítica,.

Quando examinados ao microscópio, os nefelina sienitos apresentam nítida dominância dos minerais félsicos, sobretudo feldspato potássico; os cristais têm faces pouco desenvolvidas e são raramente geminados (Foto 21). Em todas as amostras, observou-se que a nefelina ocorre essencialmente como grãos xenomórficos, contendo como inclusões pequenos cristais de egirina-augita, apatita, opacos e rara biotita. Os clinopiroxênios, pertencentes à série egirina-augita, variam amplamente na sua proporção, existindo caso de ausência total do mineral. Porém, nas amostras com maior conteúdo do mineral, as egirina-augitas caracterizam-se pelo forte pleocroísmo, com tonalidade verde-amarelada nas porções centrais dos grãos e verde oliva intenso nas bordas. As fases acessórias mais comuns incluem apatita, titanita e anfibólio sódico, ainda que grãos isolados de opacos possam também estar presentes.

Os corpos menores, diques e veios fonolíticos, exibem enorme contraste textural com respeito ao material encaixante, o que permite o seu pronto reconhecimento no terreno. A maioria dessas rochas possui coloração verde escuro, granulação muito fina e aspecto graxoso. A textura é microporfírica, sendo a matriz de natureza holocristalina a criptocristalina fortemente orientada. Mineralogicamente, são muito semelhantes aos outros fonolitos da região. Contêm abundante concentração de feldspato potássico como fenocristais e, particularmente, como parte integrante da matriz, como cristais ripiformes (Fotos 22 e 23). Os grãos xenomórficos de nefelina e os cristais aciculares de egirina ocorrem também imersos na matriz. Titanita, apatita e opacos são os acessórios mais comuns; ocasionalmente, aparecem grãos isolados de biotita.

Das observações de campo, pode-se afirmar que os nefelina sienitos foram alojados inicialmente, com os filões fonolíticos se dando numa etapa posterior, em condições de equilíbrio

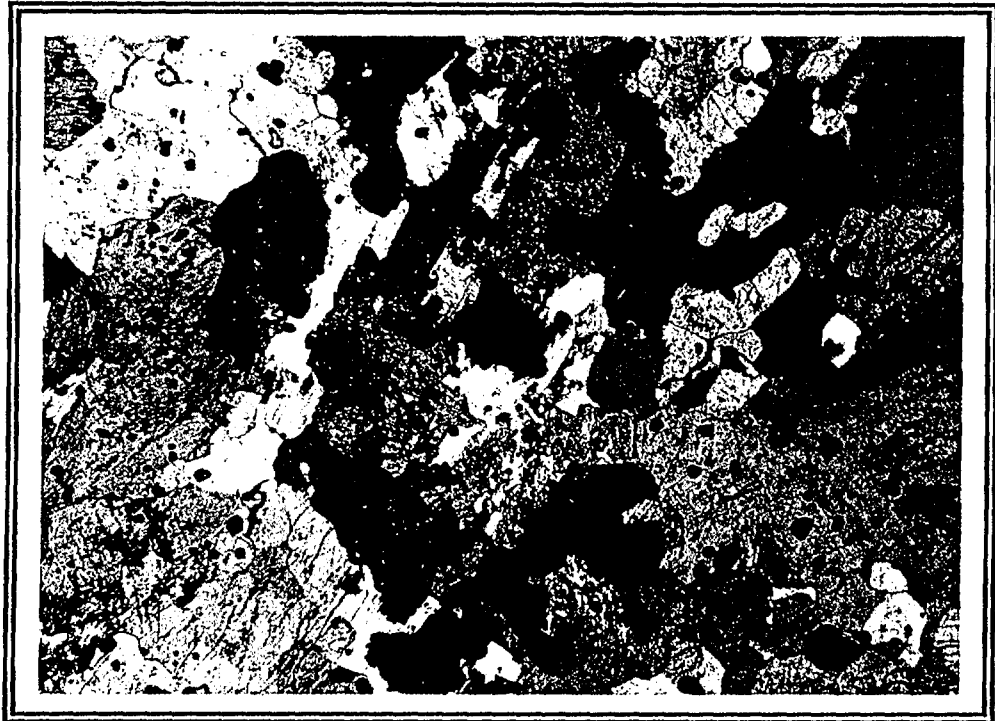


Foto 21. Nefelina sienito. Textura alotriomórfica, onde os cristais de feldspato potássico (cinza claro) e nefelina (cinza escuro) são totalmente xenomórficos. Reconhecem-se, ainda, lamelas de biotita, piroxênio e opacos. Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 25X.

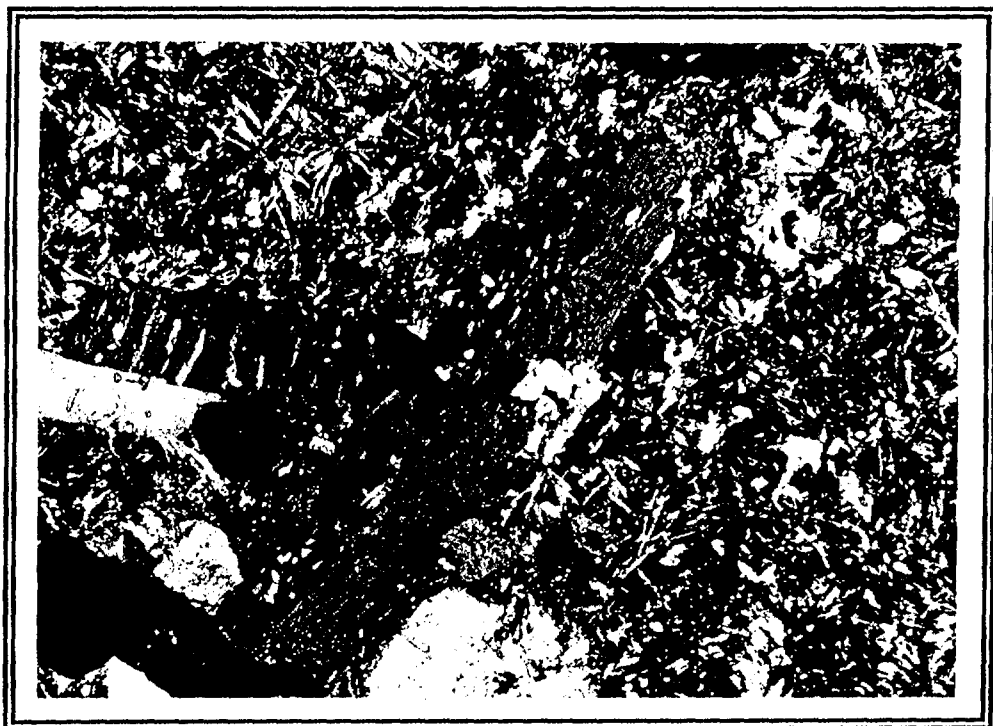


Foto 22. Fonolito. Textura porfirítica reunindo fenocristais de feldspato potássico peritítica. Matriz holocristalina de feldspato potássico ripiforme e grãos xenomórficos de piroxênio. Nicois parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 50X.

sólido-líquido, como sugerido pelas evidências texturais (Foto 24).

Cerro Pedreira

Esta intrusão localiza-se a distância aproximada de 5 km, a NW da cidade de Porto Murtinho (Fig. 4-C6). Não passa de um pequeno morro de 20 m de altura, constituído em sua maior parte de sienitos alcalinos, com quartzo sienitos subordinados, e exibindo coloração rósea e granulação variável de média a fina.

Ao microscópio, os sienitos alcalinos consistem essencialmente em feldspato potássico, aparecendo como cristais subidiomórficos a xenomórficos com as bordas parcialmente sericitizadas que lhes confere uma cor amarelada. As fases máficas são bem menos abundantes, inferior a 5%, sendo o clinopiroxênio da série egirina-augita o representante mais importante; ele é geralmente xenomórfico, com pleocroísmo variando de amarelo-esverdeado a verde escuro, esta última tonalidade com maior frequência nas bordas. Em algumas amostras, anfibólio sódico, com forte pleocroísmo castanho-esverdeado, acha-se presente. Lamelas de biotita, além de opacos, apatita e titanita, ocorrem como acessórios (Foto 25).

No que diz respeito às variedades quartzo sieníticas, elas mostram paragênese mineralógica muito semelhante à dos sienitos alcalinos, diferindo, no entanto, ao microscópio pela presença de grãos de quartzo xenomórfico que ocupam sempre os interstícios do feldspato potássico (Foto 26).

Cerro Siete Cabezas e Corpos Satélites

O complexo de Siete Cabezas e satélites associados situam-se cerca de 15 km, a SW da cidade Porto Murtinho (Fig. 4-C7). As características geomorfológicas são definidas pela forma circular, com 2 km de diâmetro e enorme depressão central; possui bordas salientes e cobre superfície de 4 km². Junto ao corpo principal, encontram-se ainda dois outros menores, denominados neste trabalho Satélite I (Fig. 4-C8) e Satélite II (Fig. 4-C9). O Cerro Siete Cabezas propriamente dito reúne sobretudo rochas do tipo sienito alcalino, existindo localmente nefelina sienitos e diques traquíticos.

Os sienitos alcalinos exibem granulação média a grossa, aspecto homogêneo e coloração cinzenta. Ao microscópio, revelam uma textura hipidiomórfica granular, com leve tendência porfírica. A fase mineralógica mais importante é o feldspato potássico subidiomórfico, de hábito tabular alongado e com geminação do tipo Carlsbad. Os anfibólios sódicos aparecem como a fase máfica dominante; em geral, são xenomórficos e com forte pleocroísmo castanho-esverdeado (Foto 27). A sua proporção na rocha é variável, podendo estar disseminado

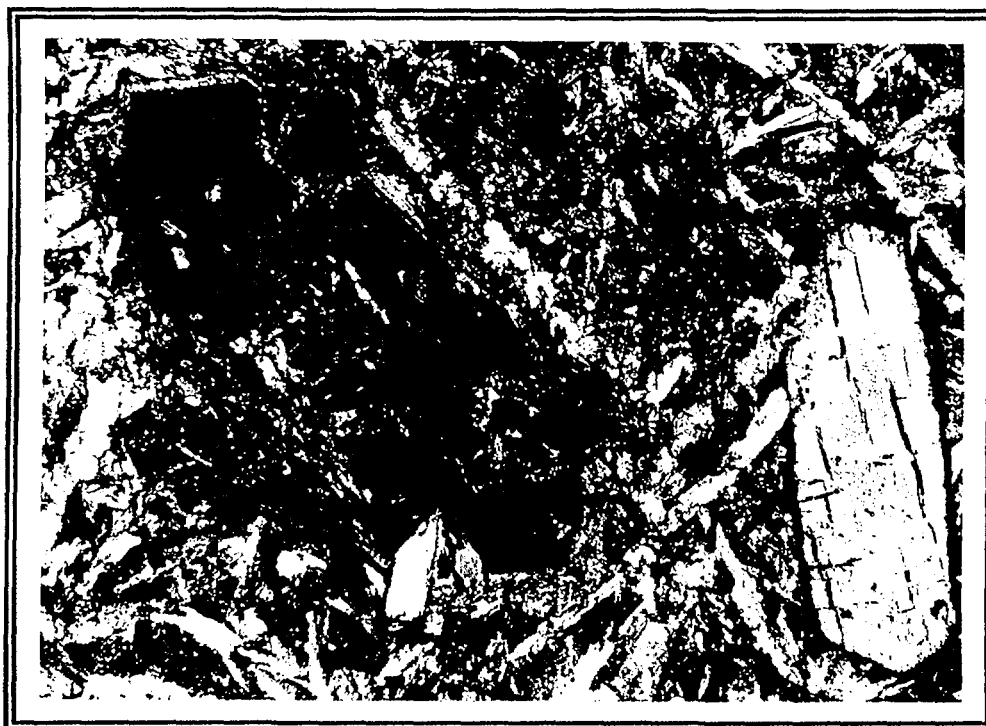


Foto 23. Fonolito. Textura porfírica reunindo fenocristais de piroxênio com marcado zoneamento do tipo oscilatório. Na matriz, observam-se cristais alongados de feldspato potássico e grãos xenomórficos de piroxênio. Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 25X.

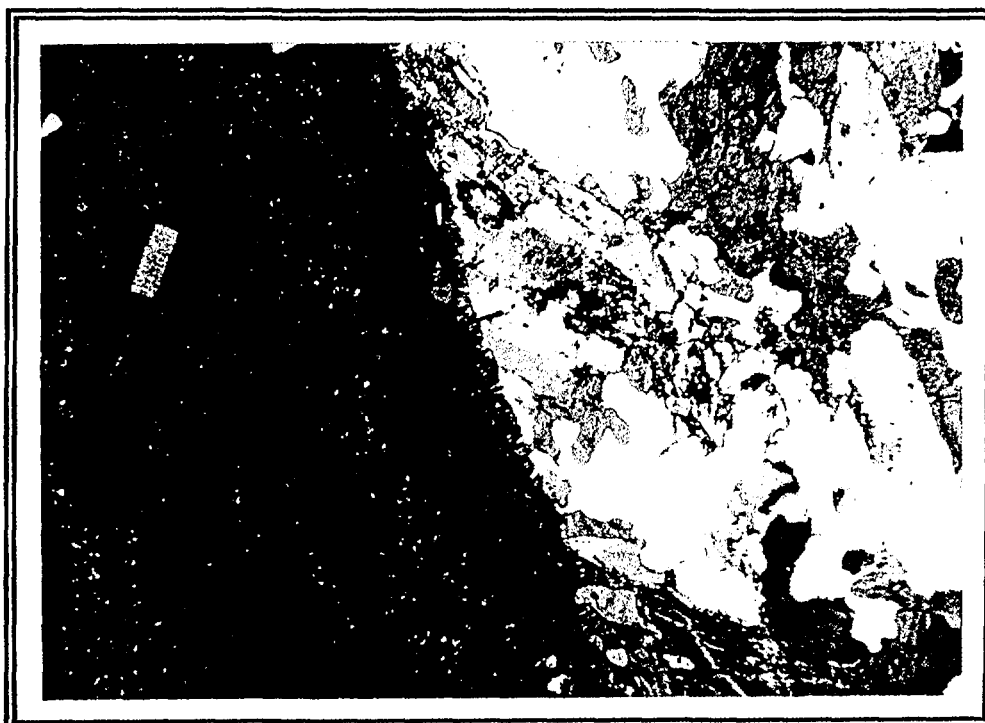


Foto 24. Observação microscópica do contato entre a rocha sienítica (direita) e dique fonolítico (esquerda), mostrando nítido equilíbrio entre os materiais. Nicois parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X,



Foto 25. Sienito alcalino. Textura alotriomórfica e mineralogia constituída basicamente por cristais de feldspato potássico pertítico e grãos xenomórficos de anfibólio e opacos. Nicois parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.

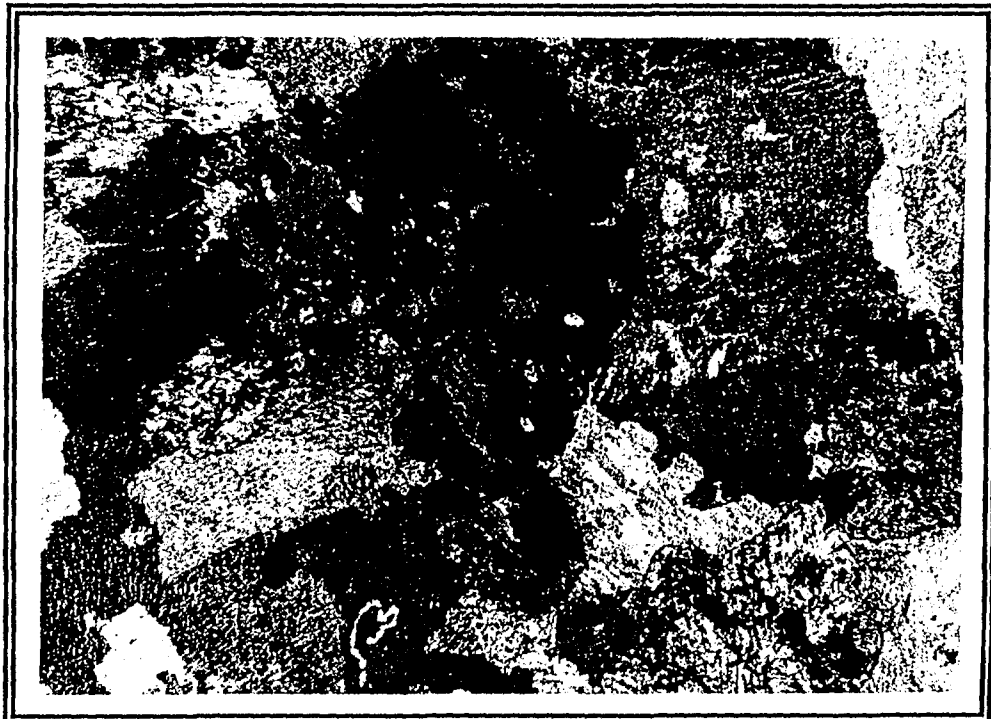


Foto 26. Quartzo sienito. Textura alotriomórfica. Observam-se grãos xenomórficos de quartzo (cinza claro) próximos aos cristais de anfibólio esverdeado, que, por sua vez, acham-se envolvidos por feldspato potássico. Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 25X.

aleatoriamente, ou ainda agrupado na forma de glómeros entre os cristais de feldspato. Os clinopiroxênios, do tipo egrina-augita, são frequentemente idiomórficos e de hábito prismático curto; zoneamento setorial e pleocroísmo de tonalidade esverdeada estão presentes.

Em algumas amostras, biotita é também uma fase máfica importante, com a sua concentração excedendo a 5% (Foto 28). Os acessórios acham-se representados por titanita, apatita idiomórfica e, mais raramente, opacos. Adicionalmente, ocorrem plagioclásios subidiomórficos com geminação polissintética.

Os nefelina sienitos apresentam no campo comportamento muito semelhante ao dos sienitos alcalinos, tornando-se mesmo difícil distingui-los, em especial quando portadores de granulação fina. Contudo, ao microscópio, os grãos xenomórficos intersticiais de nefelina ganham pronto realce.

Os traquitos formam corpos menores, e exibem textura afanítica e coloração escura; em secções delgadas, são claramente porfíricos. Anfibólio sódico, poiquilitico, com marcado pleocroísmo em castanho claro-esverdeado, é a fase mais comum. A matriz félsica está representada por cristais tabulares alongados bem desenvolvidos de feldspato potássico, com geminação Carlsbad, e orientação paralela a subparalela ao eixo maior de crescimento. Como acessórios têm-se titanita e apatita e, subordinadamente, grãos xenomórficos de opacos. A disposição e o arranjo dos componentes lhes confere uma textura tipicamente porfiro-traquítica (Foto 29).

Por outro lado, os corpos satélites formam pequenos "stocks", com altura não superior a 150 m, e contêm rochas do tipo sienito alcalino, quartzo sienito e sienogranito. Essas aparecem como enormes blocos maciços bem preservados, de coloração rósea, contendo megacúmulos de segregações máficas de formas variadas.

À vista desarmada, os sienitos alcalinos são rochas de granulação média a grossa, ocasionalmente pegmatíticas. A textura é hipidiomórfica granular a porfírica, tornando-se mais alotriomórfica junto às variedades de granulação fina.

Ao microscópio, reconhece-se como fase dominante o feldspato potássico de hábito tabular curto e com feições pertíticas. Os ferromagnesianos incluem principalmente anfibólio sódico xenomórfico e lamelas de biotita de cor castanho escuro e pleocroísmo da mesma tonalidade (Foto 30). Clinopiroxênios da série egrina-augita ocorrem em quantidade bem inferior, exibindo forte zoneamento e pleocroísmo amarelo-esverdeado; eventualmente, podem mostrar reação de substituição, com anfibólio sódico nas bordas. Os acessórios mais comuns são opacos. titanita e apatita.

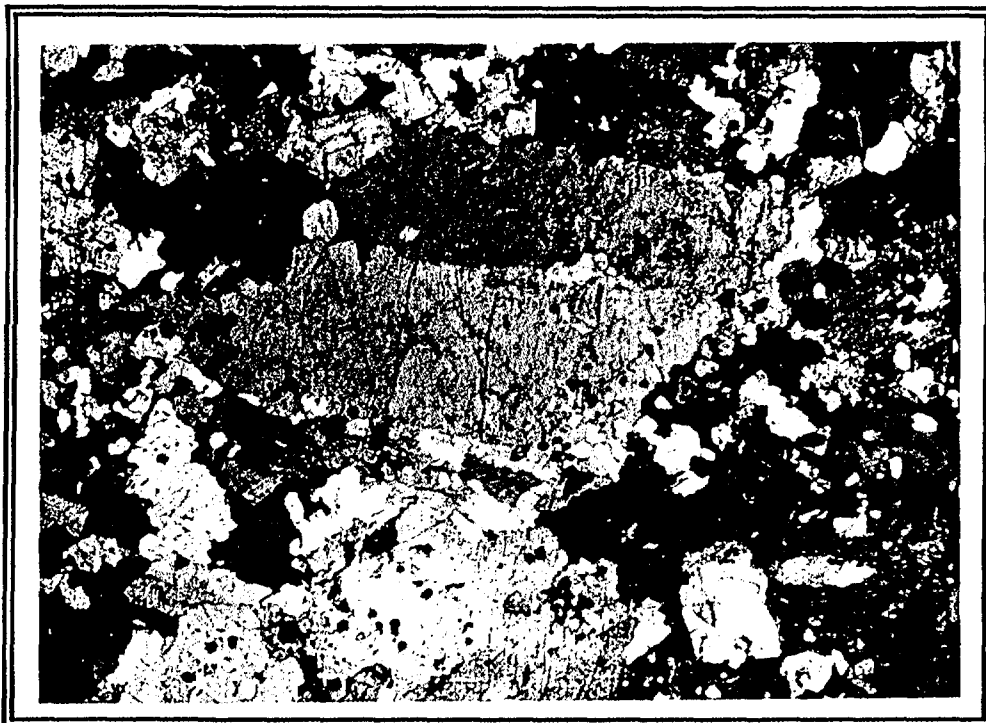


Foto 27. Sienito alcalino. Textura alotriomórfica porfiroidal mostrando enorme cristal de feldspato potássico (centro) e grãos xenomórficos de anfibólio esverdeado e opacos. Nicois cruzados, filtros azul e cinza, 25X.



Foto 28. Sienito alcalino. Textura alotriomórfica, e biotita como representante máfico mais comum. Nicois parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.



Foto 29. Fonolito. Textura porfiro-traquítica, com fenocristais de anfíbólio poiquilítico imersos numa matriz de feldspato potássico fortemente orientada. Nicosis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 50X.



Foto 30. Sienito alcalino. Textura alotriomórfica e mineralogia constituída por grãos xenomórficos de feldspato potássico, anfíbólio esverdeado e lamelas de biotita. Nicosis parcialmente descruzados, filtros azul e cinza, 25X.

Quartzo sienitos e sienogranitos constituem corpos menores, estreitamente associados aos sienitos alcalinos, a ponto de nem sempre ser possível separá-los no campo face ao aspecto macroscópico geral muito semelhante. Porém, nas secções delgadas, ressaltam-se prontamente os cristais de quartzo intersticial e feldspato potássico perítico (Fotos 31 e 32). De modo geral, ambas as litologias possuem proporções variadas de minerais máficos, com maior abundância de anfibólio sódico e presença subordinada da egirina-augita e biotita. No que diz respeito à textura e natureza dos minerais acessórios, não existem variações significativas em relação aos sienitos alcalinos.

4.2.2. Características geoquímicas

A partir de 114 análises de elementos maiores, traços e Terras Raras, foram selecionadas 28 amostras de rochas representativas da Província Alto Paraguai, com os dados, inclusive normas CIPW, fornecidos na Tabela 2. De um modo geral, podem ser destacadas as seguintes características: 1) concentração baixa em Cr, Ni, MgO e CaO, 2) teor elevado em Na+K e 3) conteúdo variável em TiO₂, P₂O₅, Rb, Ba, Zr, Hf e U.

No diagrama R1-R2 (De La Roche, 1986) da Figura 5, verifica-se que as amostras se agrupam no campo dos sienitos nefelínicos (fonolitos peralcalinos), nefelina sienitos (fonolitos) e sienitos (traquitos), sendo que apenas uma delas se situa no dos granitos alcalinos. Gomes et al. (1993) também observaram comportamento similar.

Nota-se grande variação para o grau de saturação dessas rochas. Os sienitos nefelínicos e fonolitos peralcalinos são fortemente insaturados, com valores de nefelina normativa entre 15,2-22,4%; os nefelina sienitos e fonolitos se mostram moderadamente insaturados com *ne* indo de 6,4 a 8,9%. Já os sienitos e granitos alcalinos e seus equivalentes efusivos pertencem aos extremos saturado e supersaturado, como indicado pela presença de quartzo normativo com valores, respectivamente, de 0,4-5,0% e 19,2%.

Na tentativa de examinar a consistência dos dados químicos e petrográficos, recorreu-se ao clássico diagrama do sistema petrogenético residual de Bowen (1937). Para esse propósito, foram recalculados os três componentes (Ne-Q-Ks) a partir dos óxidos residuais SiO₂, NaO₂ e K₂O, destinando todo o potássio para a kalsilita, todo o sódio para a nefelina e expressando a sílica remanescente como quartzo. Maiores detalhes sobre o procedimento dos cálculos podem ser encontrados no trabalho de Landoll et al. (1994).

A representação dos dados no sistema ternário está ilustrada na Figura 6, sendo a relação isobárica das fases extraída de Hamilton & MacKenzies (1965). Vê-se que as amostras



Foto 31. Quartzo sienito. Textura alotriomórfica. Notam-se grãos de quartzo intersticial (cinza claro) e cristais de feldspato potássico mirmequítico de hábito tabular, além de alguns grãos de piroxênio. Nicois cruzados, filtro azul, 25X.



Foto 32. Sienogranito. Textura alotriomórfica e mineralogia reunindo maior conteúdo de feldspato potássico mirmequítico e quartzo intersticial (parte clara), além de minerais máficos. Nicois cruzados, filtro azul, 25X.

Tabela 2. Análises de elementos maiores, traços e Terras Raras, normas CIPW, valores de índice agpaitico e de R1-R2 (cf. De La Roche, 1986) para os principais tipos litológicos da Província Alto Paraguai.

	CP-6 GA	CP-7 SA	CP-8 SA	CB-29 SN	CB-30 SN	CB-31B SN	CB-33 FP	CB-35 SN	CB-36 FP
SiO ₂	69,81	60,94	61,04	57,65	58,52	58,25	57,34	59,07	59,35
TiO ₂	0,51	1,28	1,27	0,37	0,22	0,43	0,41	0,20	0,34
Al ₂ O ₃	14,90	16,66	16,70	19,40	19,57	19,34	19,07	19,96	19,43
FeO _t	3,37	4,40	4,52	2,96	2,26	3,22	3,38	1,89	2,66
MnO	0,20	0,17	0,16	0,24	0,16	0,23	0,22	0,13	0,19
MgO	0,14	2,22	2,01	0,26	0,06	0,21	0,17	0,02	0,12
CaO	0,96	3,00	2,75	1,29	0,66	1,01	1,20	0,55	0,67
Na ₂ O	5,03	6,39	6,49	11,91	12,44	12,02	12,58	11,56	11,20
K ₂ O	4,77	4,15	4,24	5,68	5,81	4,88	5,23	6,38	5,72
P ₂ O ₅	0,04	0,67	0,69	0,02	0,02	0,18	0,12	0,01	0,07
Total	99,73	99,88	99,87	99,78	99,72	99,77	99,72	99,77	99,75
Cr	1	5	2	2	1	1	1	1	1
Ni	5	8	9	9	6	4	11	8	6
Rb	189	106	109	258	310	254	307	305	276
Ba	85	1021	1036	175	76	189	246	66	66
Sr	30	648	579	206	137	190	161	107	93
Nb	421	130	130	36	197	244	201	111	218
Hf	33,7	7,1	7,5	44,6	33,9	29	33,9	27,2	35,8
Zr	1624	344	349	2195	1852	1333	1623	1353	1768
Y	81	34	35	49	36	43	55	36	31
Th	19,7	10,8	11,02	10,5	10,1	27,1	4,9	10,1	16,1
U	16	3,1	2,9	4,9	18,9	26,7	17,4	3,8	14,3
Ta	49,3	19,6	13,2	16,9	14,6	21,1	28,4	9,4	17,3
La	159	63,1	69	71,9	108,1	75	156,5	46,8	77,1
Ce	325	134	194	107	162	162	229	91	124
Nd	103	51,6	77,6	20,1	27	30	56	23	24
Sm	10,4	9,2	13,24	3	4	4,1	7,6	3,5	3,8
Eu	3,46	2,64	3,37	0,80	1,07	1,03	1,88	0,82	0,87
Gd	11,66	8,90,	13,00	3,80	5,20	4,00	8,55	3,68	4,10
Tb	1,28	0,90	1,40	0,50	0,62	0,74	1,29	0,50	0,46
Df	8,07	5,30	7,30	3,80	4,52	3,96	7,60	3,02	2,97
Er	4,26	2,30	3,50	3,30	3,80	2,93	5,90	2,37	1,76
Tm	0,57	0,30	0,54	0,60	0,75	0,70	1,18	0,43	0,37
Ib	3,40	1,90	2,31	4,80	6,14	5,30	8,16	2,87	2,02
Lu	0,52	0,25	0,33	0,71	0,91	0,58	1,03	0,37	0,34
q	19,17	0,27	0,13						
or	28,18	24,52	25,05	33,56	34,33	28,88	30,90	37,70	33,80
ab	42,56	54,07	54,91	26,87	30,06	35,06	28,68	29,62	34,85
an	3,99	4,52	3,91						
ne				22,37	20,72	20,17	21,82	20,32	18,00
ac				3,12	2,40	3,38	3,55	2,02	2,83
ns				3,76	7,96	5,94	7,78	6,60	5,45
di	0,43	4,81	4,21	5,44	2,77	3,34	4,52	2,35	2,50
hi	2,46	5,50	5,37						
ol				0,98	1,06	1,88	1,48	0,78	1,55
mt	1,95	2,31	2,37						
il	0,96	2,43	2,41	0,70	0,41	0,81	0,77	0,37	0,64
ap	0,09	1,58	1,63	0,04	0,04	0,42	0,28	0,02	0,16
I.A.	0,90	0,90	0,91	1,33	1,37	1,30	1,38	1,30	1,27
R1	1641	664	611	-1809	-1946	-1630	-1975	-1719	-1444
R2	402	758	722	532	458	498	511	451	459

Tabela 2. Continuação.

	CB-38A FP	CB-40 FP	CB-41 FP	S II-44 SA	S II-46 SA	S II-49 SA	S II-50 SA	S II-51 SA	S I-52 SA	S I-53 SA
SiO ₂	59,70	56,62	57,65	65,12	65,00	67,17	63,02	64,45	65,55	65,52
TiO ₂	0,19	0,54	0,23	0,64	0,56	0,21	0,86	0,61	0,44	0,43
Al ₂ O ₃	20,73	17,38	19,11	17,33	17,58	17,33	17,05	16,53	17,14	17,29
FeO _t	2,50	5,21	4,72	3,06	2,98	2,09	4,12	4,22	3,05	3,31
MnO	0,18	0,53	0,25	0,11	0,12	0,06	0,18	0,21	0,14	0,13
MgO	0,12	0,07	0,07	0,42	0,38	0,05	1,03	0,41	0,32	0,17
CaO	0,86	1,18	1,07	0,63	0,59	0,07	1,23	0,88	0,51	0,21
Na ₂ O	9,65	13,02	10,94	6,77	6,81	7,13	6,64	6,78	6,93	6,86
K ₂ O	5,80	4,43	5,61	5,65	5,67	5,71	5,41	5,56	5,73	5,79
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,13	0,22	0,06	0,33	0,14	0,08	0,14
Total	99,74	98,99	99,66	99,86	99,91	99,88	99,87	99,79	99,89	99,85
Cr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ni	8	10,1	5	6	8	5	6	8	3	6
Rb	273	340	354	157	152	154	187	165	123	145
Ba	73	135	13	555	548	102	1229	381	195	223
Sr	135	180	72	92	87	47	258	62	36	49
Nb	160	619	165	43	125	109	156	257	112	141
Hf	35,8	149,4	70	12,4	10	12,4	14,4	37,8	18,4	27,2
Zr	1720	8565	2256	695	429	736	538	1263	607	934
Y	31	104	34	46	59	42	58	65	32	53
Th	11,5	28,7	5,1	8,7	3,1	5,1	7,9	1	7,4	8,6
U	4,2	84,7	2,2	3,1	4,9	4,1	4,9	13,5	3,9	5
Ta	12,1	52,1	17	15	15,4	14,9	18,5	36,2	13,7	17,1
La	34,5	205	54	27,2	47,4	51,8	66,3	179,3	62,2	89,1
Ce	57,5	298	71,9	65,6	112,2	123	171,5	398,9	105,1	171,2
Nd	11,60	56,80	11,30	26,90	45,80	53,10	67,60	118,50	46,40	62,10
Sm	1,8	8,6	1,5	5,6	9,8	10,6	14,1	24,7	9,7	13,9
Eu	0,46	2,18	0,36	1,44	1,33	1,44	1,38	1,29	2,48	1,62
Gd	2,20	11,80	2,20	5,10	8,62	9,75	11,40	20,00	8,83	11,97
Tb	0,30	1,50	0,30	0,70	0,98	1,14	1,39	2,03	1,25	1,49
Dy	1,70	10,10	2,10	4,40	6,70	8,15	8,07	14,28	7,62	10,03
Er	1,50	8,70	2,30	2,40	3,53	4,24	4,10	8,14	4,16	5,62
Tm	0,30	1,50	0,50	0,40	0,43	0,53	0,63	1,05	0,69	0,91
Pb	2,30	12,10	4,30	2,50	1,96	1,90	2,69	4,81	4,04	4,82
Lu	0,38	1,71	0,75	0,33	0,41	0,40	0,43	0,79	0,45	0,47
q				2,11	1,77	3,53		1,32	1,66	2,21
or	34,27	26,18	33,15	33,39	33,50	33,74	31,97	32,85	33,86	34,21
ab	35,85	30,77	28,08	57,28	57,62	57,35	56,18	54,07	56,26	56,70
an				0,21	0,65		0,74			
ne	20,84	18,39	21,11							
ac	2,66	5,35	4,88			2,37		2,90	2,09	1,18
ns	0,99	9,16	4,64							
di	3,68	5,12	4,64	1,73	0,69	0,06	2,65	2,97	1,71	0,10
hy				2,00	2,50	2,36	3,44	3,44	2,71	3,13
ol	1,09	3,12	2,82				0,50			
mt				1,71	1,66		2,08	0,87	0,66	1,26
il	0,36	1,02	0,43	1,21	1,06	0,39	1,63	1,15	0,83	0,81
ap	0,02	0,02	0,02	0,30	0,52	0,14	0,78	0,33	0,18	0,33
I.A.	1,07	1,51	1,26	1,00	0,99	1,03	0,98	1,04	1,03	1,01
R1	-881	-2013	-1493	511	488	543	438	452	469	471
R2	505	463	493	428	427	350	517	439	407	370

Tabela 2. Conclusão.

	CSC-62	CSC-74	PA-78	C-82B	C-88	FDM-91	PA-100	PA-103	PA-109
	NS	NS	QS	F	SN	SN	TF	TF	TF
SiO ₂	61,17	62,22	65,05	59,26	57,96	56,07	61,66	61,97	61,77
TiO ₂	0,84	0,58	0,75	1,03	0,50	1,07	0,76	0,69	0,67
Al ₂ O ₃	17,83	17,65	16,88	19,59	17,67	18,62	18,07	18,32	18,18
FeO _t	4,07	3,74	3,00	3,02	5,19	5,37	3,69	3,47	3,24
MnO	0,19	0,22	0,12	0,08	0,36	0,30	0,22	0,23	0,21
MgO	0,77	0,57	0,96	1,03	0,73	1,26	0,65	0,64	0,44
CaO	1,86	1,04	1,46	3,67	1,27	1,76	1,38	1,53	1,36
Na ₂ O	7,92	8,30	6,36	7,45	10,01	9,19	7,53	7,71	8,14
K ₂ O	4,87	5,28	4,98	3,98	5,22	5,17	5,68	5,08	5,64
P ₂ O ₅	0,35	0,25	0,29	0,57	0,18	0,92	0,23	0,22	0,20
Total	99,87	99,85	99,85	99,68	99,09	99,73	99,87	99,86	99,85
Cr	2	1	4	1	1	4	1	1	1
Ni	9	7	8	7	13	8	4	5	4
Rb	110	137	168	67	232	156	107	114	109
Ba	877	679	777	2329	164	201	709	659	925
Sr	370	266	396	2514	213	741	303	308	399
Nb	141	144	127	142	2174	273	137	171	164
Hf	16,5	22,1	10,9	10,6	162,9	39,1	15,3	20	16,9
Zr	647	938	455	421	6020	1470	581	731	691
Y	44	46	33	22	230	53	45	50	52
Th	16,3	9	11,2	5,9	36,1	5,30	13,7	8,2	7
U	7,3	4,3	3,4	2,4	103,2	9,4	2,9	4,3	3,4
Ta	14,9	14,2	12,7	13,1	245,8	29,6	14,3	15	18,3
La	96,9	82,3	66	39	281	103,5	15,9	128,2	129,8
Ce	199,5	154,8	139	82	493	195,9	228	237,8	241,2
Nd	76,7	52,8	45,5	30,6	148	61,3	87,1	90,8	85,9
Sm	16	9,4	7,6	5,5	25,8	10,1	13,4	13,6	15,2
Eu	2,63	2,21	1,79	3,39	4,73	1,20	2,62	2,58	2,28
Gd	13,40	9,70	7,50	6,60	28,50	11,80	14,42	11,52	14,13
Tb	1,68	1,39	0,80	0,60	4,20	1,18	1,96	1,27	1,41
Dy	10,21	7,35	4,60	3,20	29,60	4,48	8,79	5,60	6,75
Er	5,22	4,76	2,40	1,50	23,70	2,70	5,25	3,66	4,57
Tm	0,82	0,75	0,30	0,20	4,30	0,39	0,80	0,55	0,76
Yb	4,57	3,72	2,20	1,40	33,10	2,35	4,06	3,11	3,81
Lu	0,51	0,57	0,30	0,19	4,95	0,30	0,65	0,43	0,50
q			5,04						
or	28,78	31,20	29,43	23,52	30,84	30,55	33,56	30,02	33,33
ab	49,92	49,89	53,81	50,01	33,72	31,61	47,64	53,45	45,76
an			2,80	8,25				0,37	
ne	7,95	6,23		7,05	15,22	19,16	7,41	6,38	8,85
ac	2,12	4,07			5,38	5,43	2,10		3,50
ns		0,97			3,90	1,06			0,64
di	6,25	3,00	2,07	5,04	4,40	2,28	4,51	4,84	4,66
hy			3,00						
ol	1,55	2,90		1,05	2,67	5,61	1,86	1,21	1,47
mt	10,10		1,65	1,55	3,49		0,91	1,85	
il	1,59	1,10	1,42	1,95		2,03	1,44	1,31	1,23
ap	0,82	0,59	0,68	1,35	0,94	2,17	0,54	0,52	0,47
I.A.	1,03	1,10	0,94	0,85	1,25	1,11	1,03	0,99	1,07
R1	1027	1098	807	261	-1071	-914	-17	88	-202
R2	-12	-157	535	828	519	616	534	555	524

Abreviações: C, Cerrito; CB, Cerro Boggiani; CP, Cerro Pedreira; CSC, Cerro Siete Cabezas; FDM, Fecho dos Morros; PA, Pão de Açúcar; SI, Satélite I; SII, Satélite II; F, fonolito; FP, fonolito peralcalino; GA, granito alcalino; NS, nefelina sienito; QS, quartzo sienito; SA, sienito alcalino; SN, sienito nefelínico; TF, traquifonolito.

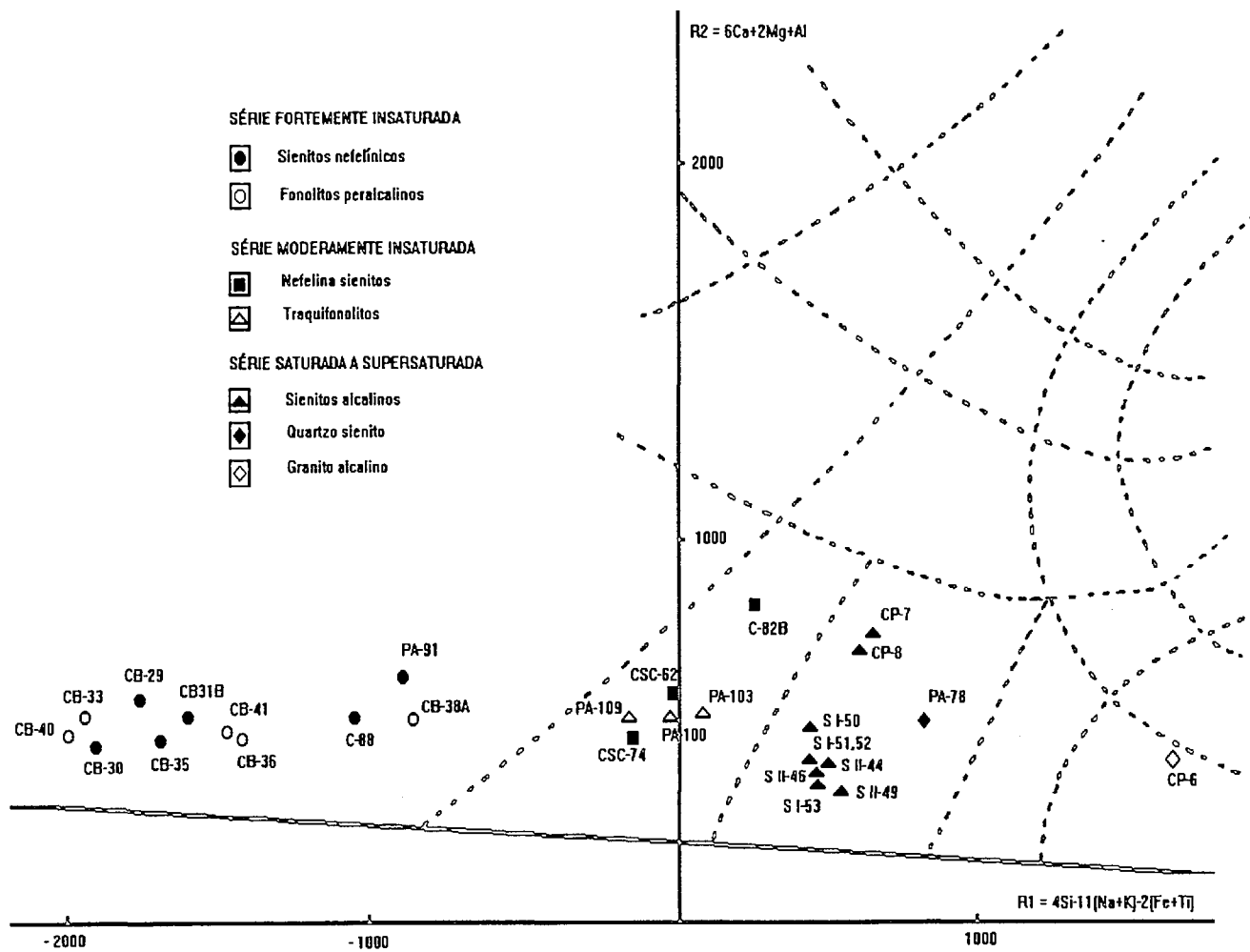


Figura 5- Diagrama de classificação R1-R2 para as rochas alcalinas da Província Alto Paraguai.

fortemente insaturadas se agrupam nas imediações do mínimo fonolítico (m_3) e as moderadamente insaturadas abaixo do plano Ab-Or (m_2). Já as saturadas se posicionam pouco acima do plano termal (Ab-Or) e as supersaturadas próximas ao mínimo granítico (m_1).

Os índices agpaíticos determinados para as diversas amostras (Tabela 2) indicam ampla variação, 0,85 a 1,51. Notadamente as rochas fortemente insaturadas registram os valores mais elevados, 1,07-1,51 (média 1,29); já os intervalos 0,85-1,10 (média 1,01) e 0,90-1,04 (média 0,97) correspondem, na ordem, às amostras moderadamente insaturadas e saturadas a supersaturadas. Levando-se em consideração esses valores, verifica-se que as rochas alcalinas da Província Alto Paraguai possuem características geoquímicas diferentes: agpaíticas, com I.A. superior a 1,2; intermediários, com I.A. igual a 1; e miasquíticas, com I.A. inferior a 1. No entanto, essa distinção é apenas parcialmente satisfatória, uma vez que, além do Índice Agpaítico ($(Na+K)/Al$), existem outros critérios para estabelecer o limite entre agpaíticas e miasquíticas, como, por exemplo, a presença de minerais exóticos (catapleiita, rinkita, lavenita, enigmatita e outros), próprios das primeiras (cf. Sorensen, 1979). À exceção das rochas sieníticas do Cerro Boggiani, contendo eudialita, astrofilita e outras fases raras, as demais litologias aqui investigadas, não são portadoras da paragênese acima.

Por outro lado, quando examinadas as associações mineralógicas comuns às variedades sieníticas das diferentes séries da Província (feldspato potássico, nefelina, piroxênio da série egirina-augita, apatita, zircão e titanita) tem-se que essas rochas se enquadram melhor como miasquíticas. Adicionalmente, pode-se dizer que a presença de minerais alcalinos (nefelina, sodalita, piroxênio e anfibólio sódico), em proporções variadas na sua composição modal, necessariamente modificaria a concentração em Na_2O e K_2O , incidindo, assim, no cálculo do índice agpaítico, e justificando plenamente os valores diversos obtidos.

Por outro lado, quando os dados para os elementos maiores são projetados no diagrama ternário AFM (Fig. 7), nota-se maior concentração de pontos junto ao vértice Na+K, a indicar clara afinidade alcalina e inexistência de termos petrográficos mais primitivos nos corpos amostrados, como já sugerido pela paragênese mineralógica. Ainda nessa figura é possível verificar-se que as rochas menos evoluídas apresentam razões Fe/Alc mais elevadas, além de maior concentração em Mg.

Devido às rochas sieníticas da Província Alto Paraguai serem constituídas essencialmente por minerais félsicos e mostrarem grau de saturação variável, tornou-se conveniente o emprego de SiO_2 como elemento de correlação para os óxidos maiores. A Figura 8

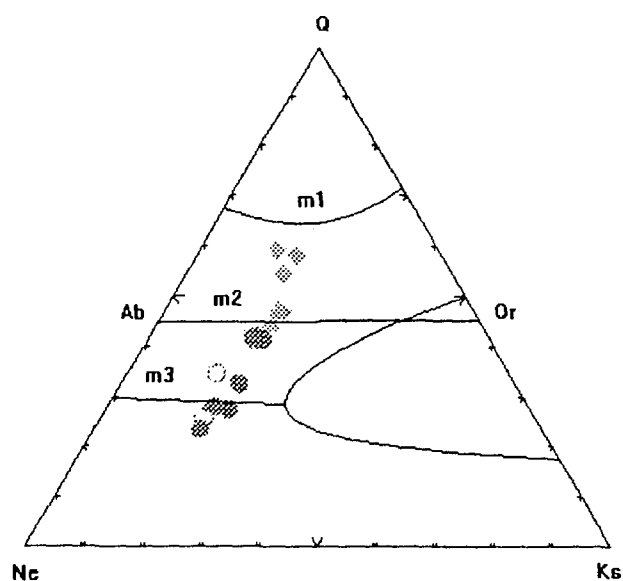


Figura 6- Representação da composição normativa no sistema petrogenético residual para algumas rochas da Província Alto Paraguai. Os pontos m_1 , m_2 e m_3 representam, respectivamente, os planos graníticos, sieníticos e fonolíticos (Bowen, 1937). Símbolos como na Figura 5.

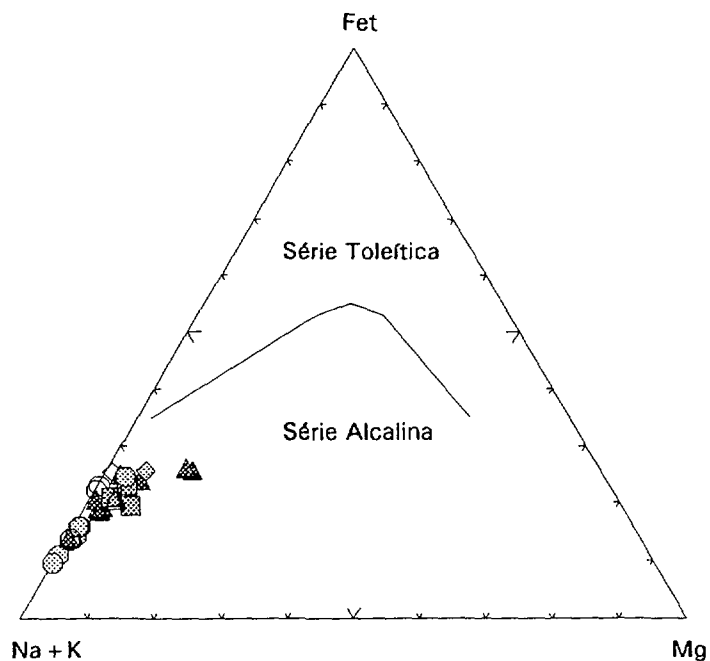


Figura 7- Diagrama AFM para as rochas da Província Alto Paraguai, incluindo a curva de separação das séries toleítica e alcalina (cf. Macdonald & Katsura, 1964). Símbolos como na Figura 5.

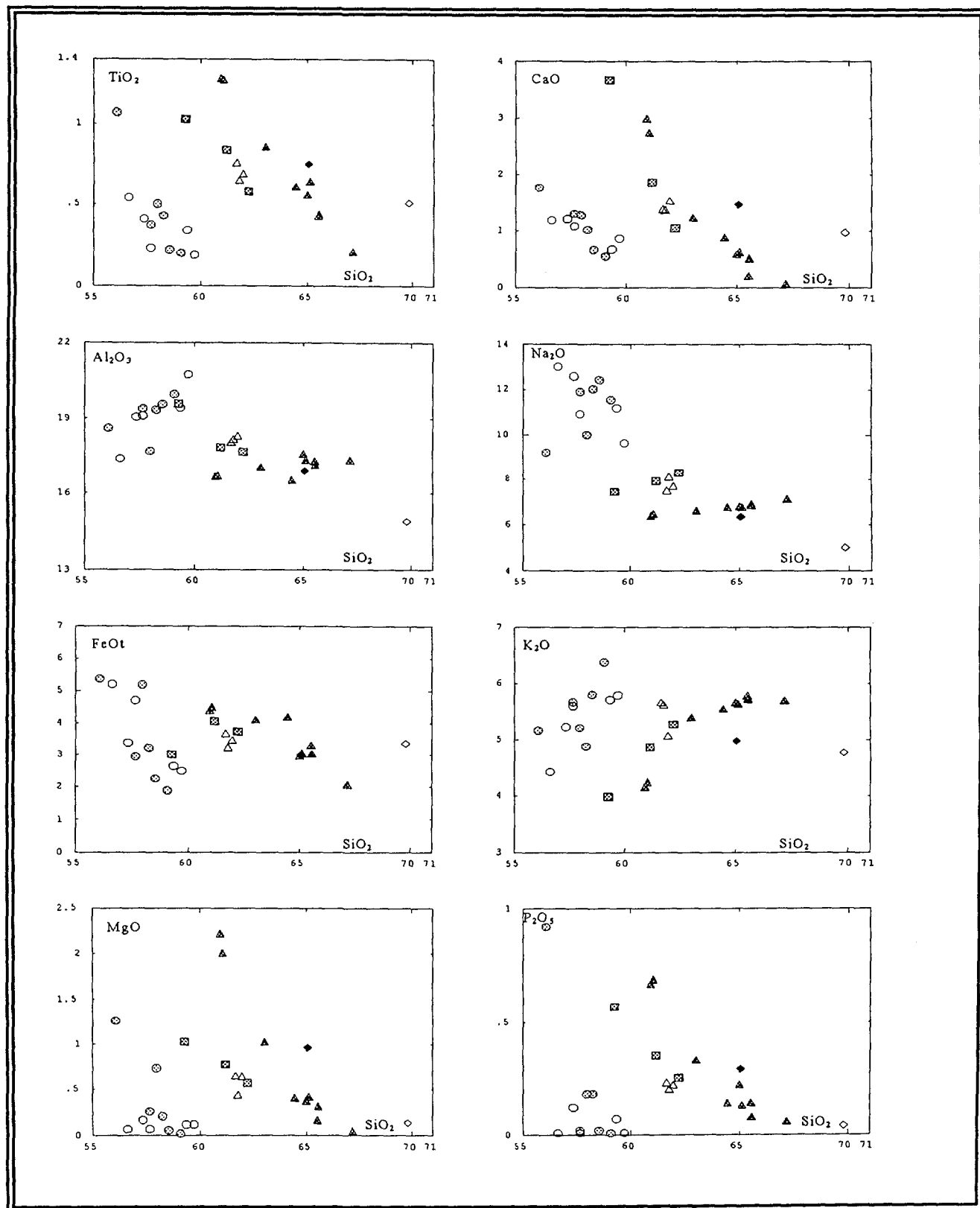


Figura 8- Diagramas de variação SiO₂ vs. elementos maiores para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.

ilustra o comportamento de alguns elementos. Em geral, observa-se uma distribuição coerente dos pontos, com as rochas fortemente insaturadas apresentando baixo conteúdo em TiO_2 , MgO , CaO e P_2O_5 , além de elevada concentração em Al_2O_3 e Na_2O , indicando que a sua evolução se deu a partir de um líquido diferenciado com forte caráter peralcalino.

As variedades moderadamente insaturadas, saturadas a supersaturadas exibem comportamento semelhante e tendências melhor definidas. Com o incremento da sílica, há uma diminuição constante em TiO_2 , FeO , MgO e CaO , e um aumento em K_2O , sendo essas variações consistentes com uma participação dominante de minerais félsicos durante o fracionamento.

Por outro lado, a consistência de P_2O_5 sugere que a cristalização de apatita precedeu à dos demais minerais da rocha e que a diminuição de TiO_2 e de FeO , estaria ligada ao fracionamento de titanita e opacos. O comportamento do Na_2O reflete uma participação variável de feldspatóides, além de piroxênios e anfibólios sódicos durante a cristalização. O aumento paulatino de K_2O e Al_2O_3 indica fracionamento de feldspato potássico e, em menor proporção, de biotita.

Há uma notável diferença no comportamento dos elementos traços, provavelmente devido ao fato dos mesmos mostrarem suscetibilidade diferente para qualquer mudança nas condições da cristalização, como apontado por Zielinski (1975). Não obstante, a análise de vários desses elementos permite comparações interessantes.

Nas Figuras 9 e 10 estão ilustradas as variações dos elementos hidromagmatófilos, empregando-se Th como índice de diferenciação. Preliminarmente, observa-se uma correlação positiva para Nb, Hf e Zr (Fig. 9), assim como para Y, U, Ta, La, Ce e Nd (Fig. 10). Para Rb, Ba e Sr, a relação é difusa.

Por outro lado, quando se comparam as distintas séries, percebe-se que as rochas fortemente insaturadas são mais enriquecidas em Rb, Hf e Zr, além de empobrecidas em Ba, Y, Ce e Nd que as demais; essa diferença é pouco nítida para Sr, Nb, U, Ta e La.

O exame da Tabela 2 possibilita verificar que os elementos U e Th exibem variações sistemáticas semelhantes e guardam estreita relação. Assim, tem-se que os sienitos fortemente insaturados, à exceção de duas amostras, possuem conteúdo variável nesses elementos e limitado, respectivamente, aos intervalos 2,2-26,7 ppm e 4,9-27,1 ppm. Já para os sienitos moderadamente insaturados e saturados, esse intervalo é menor, ficando entre 2,9-13,5 ppm para U e 1,0-16,3 ppm para Th; junto aos sienogranitos, o teor é ligeiramente mais elevado, 16 ppm para U e 19,7 ppm para Th. Esse tipo de variação é também observado para o Ta, com intervalo de 9,4-52,1

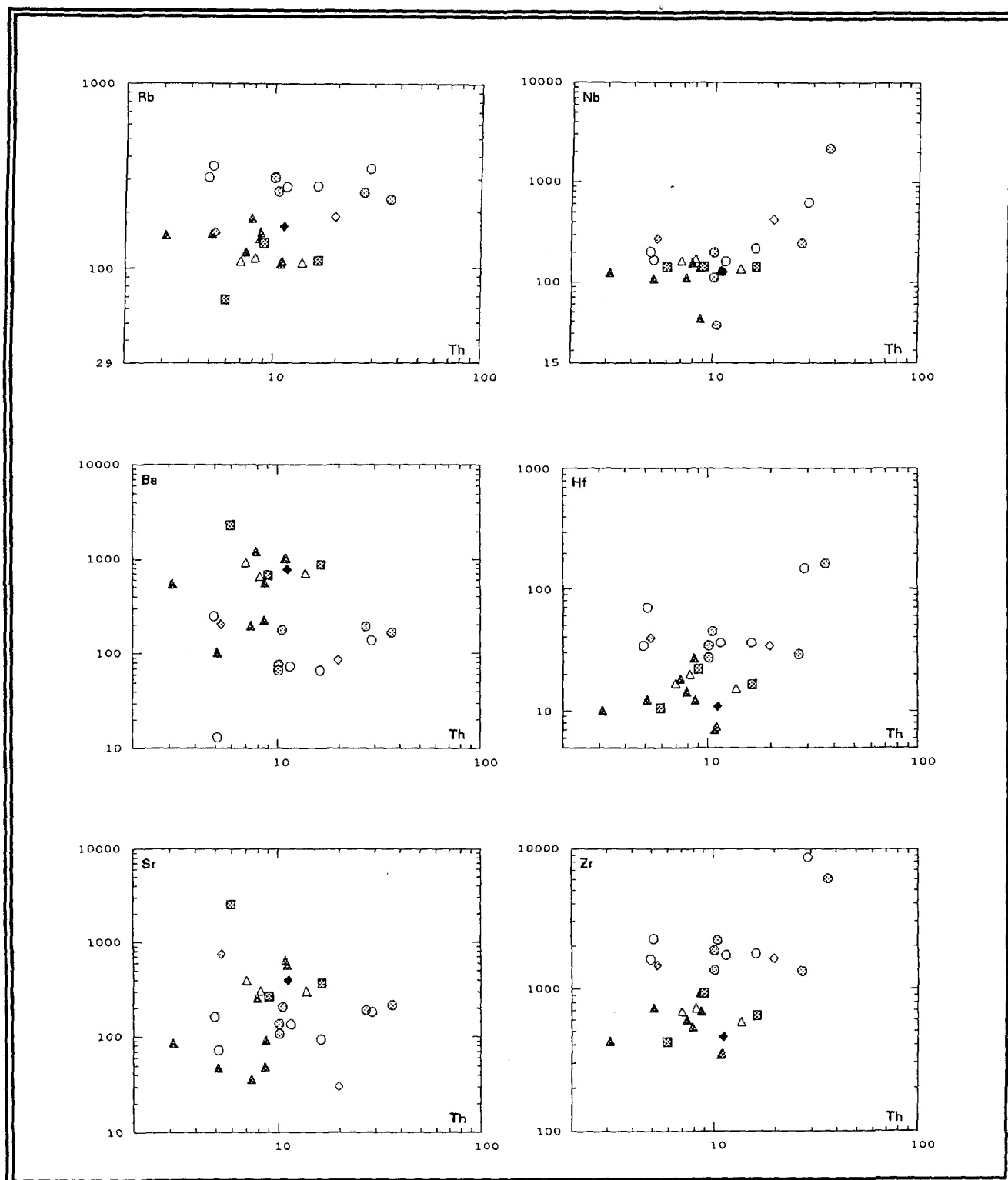


Figura 9 - Diagramas de variação Th vs. elementos hidromagmáticos para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.

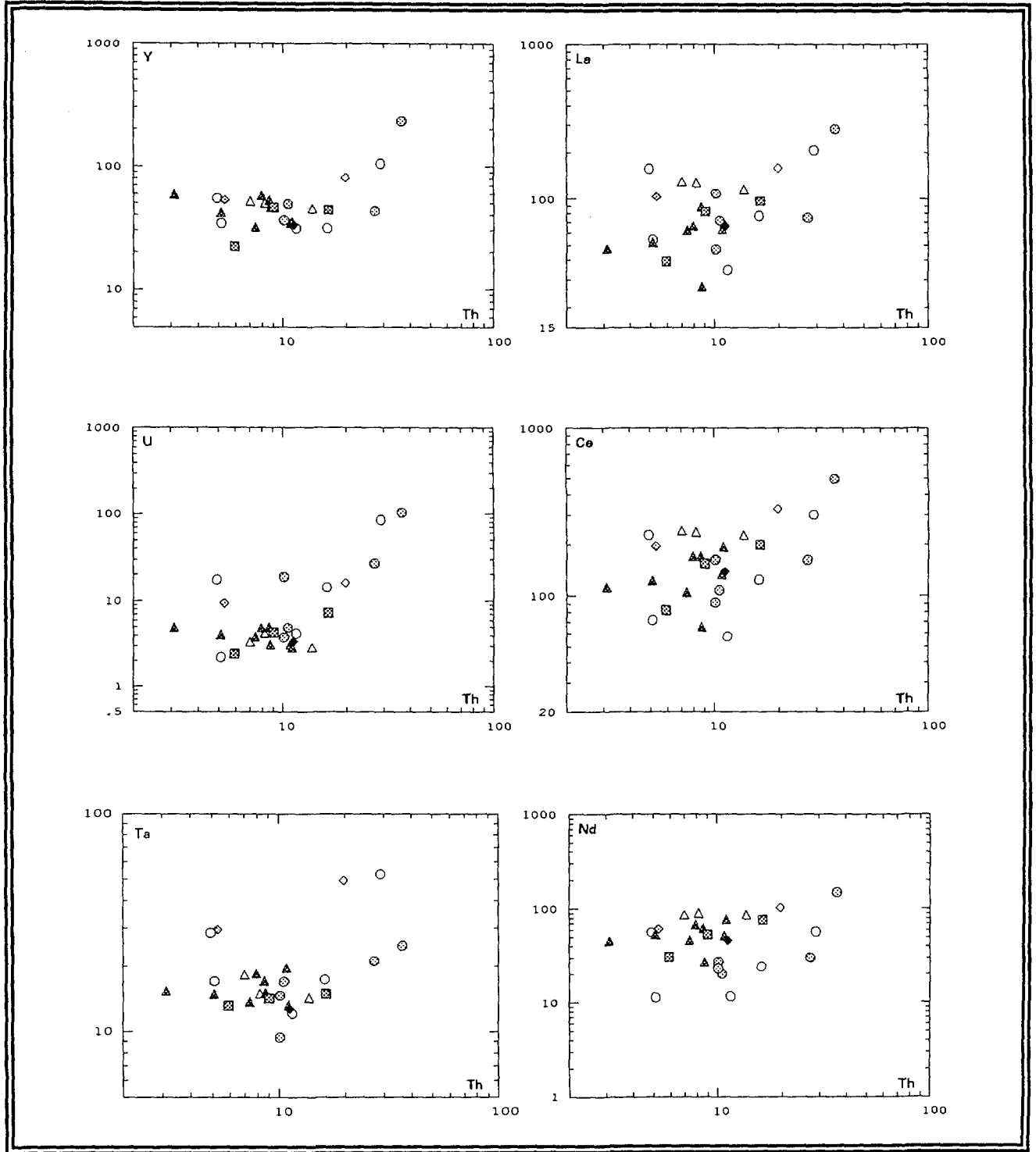


Figura 10- Diagramas de variação Th vs. elementos hidromagmatófilos para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.

ppm para as rochas fortemente insaturadas, 14,2-18,3 ppm para as amostras moderadamente insaturadas e, respectivamente, 12,7-36,2 ppm e 49,3 ppm para as saturadas e supersaturadas.

Outra variação significativa é mostrada pelos elementos Zr e Hf. Nota-se que a sua concentração é bem maior e muito divergente junto à série fortemente insaturada, com valores variando de 1333-8565 ppm de Zr e 27,2-149,4 ppm de Hf. Para a série moderadamente insaturada, registram-se valores inferiores e mais uniformes, sendo os intervalos de 581-938 ppm e 15,3-27,1 ppm, respectivamente, para Zr e Hf. Concentrações de 344-1263 ppm de Zr e 7,1-37,8 ppm de Hf foram obtidas para a série saturada, enquanto que o termo supersaturado apresenta teores de 16 ppm de Zr e 33,7 de Hf.

Ao contrário do até então constatado, Ba exibe maior concentração nos sienitos moderadamente insaturados e saturados (102-1036 ppm), diminuindo um pouco nos sienitos fortemente insaturados (13-246 ppm) e, sobretudo, nos sienogranitos (85 ppm). Essa tendência está também presente no Sr, ainda que o elemento apresente alguma dispersão.

Os elementos hidromagmatófilos normalizados para o manto primitivo (cf. Wood 1979), acham-se representados na Figura 11 para as três séries petrográficas reconhecidas. O gráfico permite visualizar a acentuada anomalia negativa de Ba, Sr e Ti, além de positiva para Rb, U, Nb, Hf e Zr, junto às suítes fortemente insaturada e saturada a supersaturada, apesar de algumas amostras acusarem também anomalia negativa em Th. Quando comparadas entre si, a série moderadamente insaturada evidencia um padrão de distribuição mais uniforme, com apenas duas anomalias negativas (Sr e Ti).

As Terras Raras normalizadas para condritos (cf. Boynton, 1984) estão ilustradas na Figura 12. De modo geral, as rochas da Província Alto Paraguai apresentam fracionamento de TRL (La = 27-205 ppm) em relação às TRP (Lu = 0,19-1,71 ppm) típico de séries alcalinas, com leve anomalia negativa em Eu, talvez como resultado do fracionamento de feldspato.

Os sienitos fortemente insaturados exibem razão La/Ce entre 0,46-0,75 ppm, enquanto que os termos moderadamente insaturados entre 0,48-0,54 ppm. Por sua vez, os quartzo sienitos e sienogranitos mostram valores, respectivamente, entre 0,35-0,59 ppm e de 49 ppm.

Outra variação peculiar é dada pela relação Eu/Sm. Para a série fortemente insaturada, tem-se um fracionamento maior para esses elementos, com a razão variando entre 0,12-0,28 ppm, exceção feita a uma única amostra, onde alcança 0,62 ppm. Ainda que na série saturada existam amostras com valores para a razão Eu/Sm compreendidos no intervalo 0,24-0,26

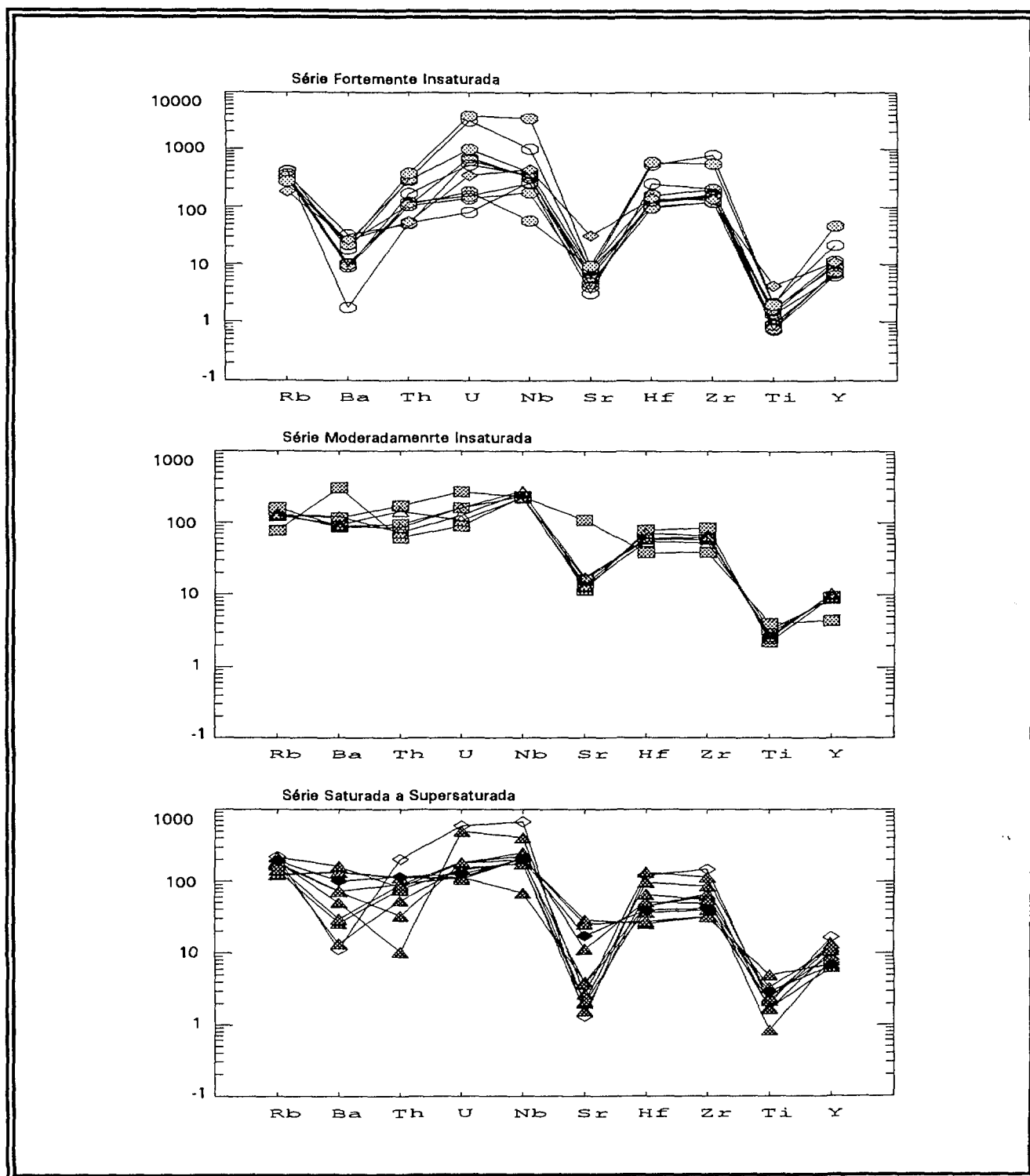


Figura 11- "Spidergrams" dos elementos hidromagmáticos para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.

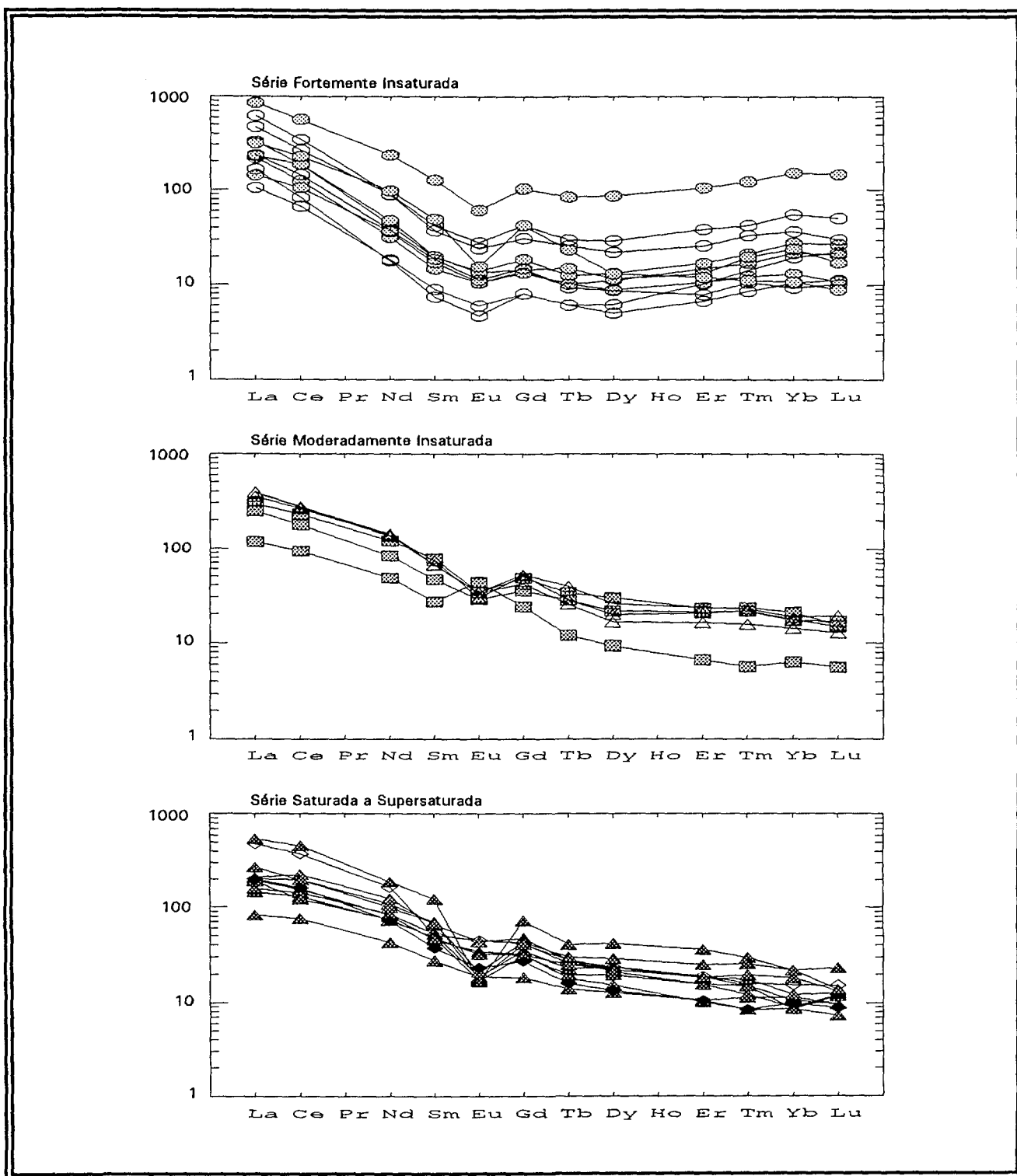


Figura 12- Padrões de Terras Raras para as rochas da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.

ppm, em geral ela se mostra muito baixa (0,05-0,14 ppm). Já a série moderadamente insaturada ocupa posição intermediária entre as duas primeiras, com valores de 0,15-0,24 ppm. Para a amostra supersaturada o valor da razão é 0,33 ppm.

Adicionalmente, é importante assinalar que o conjunto das rochas acima apresenta padrões muito semelhantes, tanto para os elementos hidromagmáticos como para as Terras Raras. Esse quadro abre a perspectiva de que as pequenas variações registradas entre as séries estejam ligadas, muito possivelmente, a mudanças das fases mineralógicas no curso da cristalização.

CAPÍTULO 5

GEOCRONOLOGIA

5.1. Compilação e revisão das idades

Os trabalhos versando sobre a geocronologia das ocorrências alcalinas da Província Alto Paraguai são em número muito pequeno. As primeiras informações constam do artigo de Amaral et al. (1967), trazendo uma idade de média de 226 Ma para uma única amostra de nefelina sienito do complexo de Pão de Açúcar. Recorrendo à metodologia K/Ar, esses autores obtiveram em concentrados minerais os seguintes resultados: 244,6 e 241,7 Ma (biotita) e 211,3 e 209,6 Ma (feldspato alcalino). Àquele trabalho seguiu-se o de Comte & Hasui (1971), fornecendo uma idade de 209 Ma (K/Ar, rocha total) para um fonolito da mesma localidade.

Mais recentemente, coube a Velázquez et al. (1993) a tarefa de reunir novos dados, pelos métodos K/Ar e Rb/Sr, para alguns corpos dessa província. Esses resultados provieram da análise de seis amostras de nefelina sienito, sendo duas referentes à intrusão de Cerro Boggiani (234 Ma, K/Ar, anfíbólio; 223 Ma, Rb/Sr, isócrona interna) e as demais relativas às ocorrências de Pão de Açúcar (248 Ma, K/Ar, biotita), Ilha Fecho dos Morros (225 Ma, Rb/Sr, isócrona interna), Cerrito (253 Ma, K/Ar, biotita) e Cerro Siete Cabezas (253 Ma, K/Ar, biotita).

Como se pode notar, os diversos dados radiométricos resultantes de distintas fontes e metodologias guardam razoável concordância, apontando para um intervalo de pulsação magmática entre 253-223 Ma, uma vez descartados os valores mais baixos de difícil avaliação face à falta de maiores informações sobre o material analisado.

Embora o acervo de informações seja limitado, ele é de grande valia na comparação com os novos dados obtidos, na tentativa de chegar-se a uma melhor visão do quadro evolutivo geocronológico dessa atividade alcalina atingindo a margem ocidental da Bacia do Paraná. Para tanto, vêm sendo empregados métodos já consagrados na literatura (K/Ar, Ar/Ar e Rb/Sr), permitindo não só o melhor controle da qualidade dos resultados analíticos, como também a exploração da aplicabilidade própria de cada sistema determinativo.

5.2. Idades K/Ar

Foi selecionado um conjunto de 14 amostras de distintos corpos, estando os resultados reunidos na Tabela 3.

Três amostras provieram da localidade de Cerro Boggiani, sendo duas de nefelina sienito (CB-27 e CB-30) de granulação média a grossa. As análises foram feitas em concentrados

Tabela 3. Idades K/Ar para as principais ocorrências da Província Alto Paraguai.

Localidades	Rocha	Material	%K	⁴⁰ Ar _{rad} /g (nl/g)	Ar Atm. (%)	Idade (Ma)
Cerro Boggiani (CB-27)	NS	Anf	1,03	10,02	24,42	234,6±13,7
Cerro Boggiani (CB-30)	NS	Anf	0,27	2,62	31,48	234,0±9,0
Cerro Boggiani (CB-43)	F	RT	3,50	34,40	8,44	236,7±10,9
Pão de Açúcar (PA-114)	NS	Bi	6,90	71,32	7,96	248,3±5,3
Pão de Açúcar (PA-114)*	NS	Bi	7,38	77,02	96,00	250±3
Pão de Açúcar (PA-76)	NS	Bi	6,87	71,06	12,97	248,4±10,7
Pão de Açúcar (PA-77)	NS	Anf	1,42	13,75	28,26	233,2±7,2
I. Fecho dos Morros (FDM-91)	NS	Anf	1,02	8,95	66,39	212,8±14,8
Cerrito (C-80)	NS	Bi	7,45	78,63	10,64	253,2±9,2
Cerrito (C-80)*	NS	Bi	7,88	85,53	95,00	254±4
Porto Conceição (PC-9)	SA	Bi	6,93	75,71	13,20	263,2±23,1
Porto Conceição (PC-9)*	SA	Bi	7,70	82,49	95,00	256±3
Cerro Pedreira (CP-7)*	SA	Bi	6,83	71,79	95,00	252±3
Cerro Siete Cabezas (CSC-61)	NS	Anf	1,74	16,40	34,44	227,9±7,8
Cerro Siete Cabezas (CSC-64)	NS	Bi	6,76	71,39	14,24	253,4±12,5
Cerro Siete Cabezas (CSC-64)*	NS	Bi	7,51	77,94	96,00	249±3
Cerro Siete Cabezas (CSC-69)	SA	Anf	1,86	17,63	26,70	229,8±8,3
Cerro Siete Cabezas (CSC-70)	SA	Bi	6,10	61,95	19,84	244,4±10,4

Abreviações: F, fonolito; NS, nefelina sienito; SA, sienito alcalino; Anf, anfibólio; Bi, biotita; RT, rocha total.

* Análises feitas no "Istituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica", Pisa, Itália.

de anfibólio, obtendo-se valores, respectivamente, de 234,6±13,7 Ma e 234,0±9,0 Ma. A terceira corresponde a um fonolito peralcalino (CB-43), que forneceu idade, em rocha total, de 236,7±10,9 Ma.

Do complexo de Pão de Açúcar e proximidades foram trabalhadas seis amostras. Na base SE da intrusão, aflora material intrusivo do tipo nefelina sienito (PA-114), cujo concentrado de biotita indicou idade de 248,3±5,3 Ma. A mesma rocha analisada no laboratório geocronológico de Pisa forneceu um valor de 250±3 Ma.

Uma amostra (C-80) de Cerrito, um pequeno corpo intrusivo situado em território paraguaio e constituído predominantemente de nefelina sienitos muito bem preservados, foi analisada (concentrado de biotita) nos laboratórios de Pisa e do CPGeo com resultados muito similares, respectivamente, 254±4 Ma e 253,2±9,2 Ma. Das proximidades, junto à porção NE da Ilha

Fecho dos Morros, analisou-se um corpo pegmatítico de nefelina sienito (FDM-91), composto essencialmente de enormes cristais de feldspato potássico e nefelina. O resultado obtido em concentrado de anfibólio revelou uma idade de $212,8 \pm 14,8$ Ma. Adicionalmente, foram feitas determinações em amostras coletadas na parte S da Ilha Fecho dos Morros, ao longo do rio Paraguai, em território brasileiro. Elas correspondem a dois pequenos corpos intrusivos de nefelina sienito (CSC-76, CSC-77), com idades, respectivamente, de $248,4 \pm 10,7$ Ma (biotita) e $233,2 \pm 7,2$ Ma (anfibólio). Ainda próxima a essa área, na localidade denominada Porto Conceição, foi coletada uma amostra de sienito alcalino de granulação grossa, com alto teor de biotita. O material analisado (concentrado de biotita) em dois laboratórios diferentes (Pisa e CPGeo) forneceu idades muito próximas, respectivamente, de 256 ± 3 Ma e $263,2 \pm 23,1$ Ma.

Distante aproximadamente 5 km a N da cidade de Porto Murtinho aflora, às margens do rio Paraguai, um pequeno corpo de sienito alcalino (Pedreira), cuja análise (concentrado de biotita) apresentou uma idade de 252 ± 3 Ma.

Do complexo de Cerro Siete Cabezas foram analisadas quatro amostras. Duas de nefelina sienito (CSC-61 e CSC-64), coletadas na sua porção SE, com idades, respectivamente, de $227,9 \pm 7,8$ Ma (anfibólio) e $253,4 \pm 12,5$ Ma (biotita) e duas de sienitos alcalino (CSC-69 e CSC-70), com idades, respectivamente, de $229,8 \pm 8,3$ Ma (anfibólio) e $244,4 \pm 10,4$ Ma (biotita). A amostra CSC-64 foi também analisada nos laboratórios de Pisa, tendo produzido idade (249 ± 3 Ma, biotita) similar à obtida em São Paulo.

5.3. Idades Ar/Ar

Como referido anteriormente, as análises foram feitas em Pisa no "Istituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica", tendo como analista a Profa. Marinella Laurenzi. Detalhes sobre os procedimentos analíticos adotados podem ser encontrados nos trabalhos de Del Moro et al. (1982), Laurenzi & Villa (1987) e Sanson & Alexander (1987).

As medições foram efetuadas em concentrados de biotita e anfibólio de duas amostras. A primeira corresponde petrograficamente a um traquifonolito (PA-100) de textura porfírica, proveniente da localidade de Pão de Açúcar, e a segunda a um nefelina sienito (CSC-61) do Cerro Siete Cabezas.

Os resultados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ para distintas temperaturas estão listados nas Tabelas 4 e 5 e representados graficamente nas Figuras 13 e 14. Para a biotita, as idades variam de $231,5 \pm 4,0$ a $245,9 \pm 0,8$ Ma, apontando para um tempo integrado de 242,0 Ma. Já o anfibólio apresenta maior dispersão no espectro, com as idades variando de $225,6 \pm 1,3$ a $241,5 \pm 0,7$ Ma, para um tempo integrado de $235,7 \pm 1,6$ Ma.

Tabela 4. Resultados das medições de argônio radiogênico em biotita de traquifonolito da localidade de Pão de Açúcar (PA-100 biotita, $J = 2,537E-3$, $p = 11,16$ mg).

T(°C)	$^{40}Ar_{tot}$	^{39}Ar	^{38}Ar	^{37}Ar	^{36}Ar	Idades (Ma)
680	4,840±2 E-06, E-08	6,114±2 E-08, E-10	2,08±2 E-09, E-11	7,91±6 E-10, E-11	4,88±3 E-09, E-11	238,0±1,4
730	1,653±3 E-05, E-08	2,755±7 E-07, E-10	6,36±4 E-09, E-11	6,40±1,5 E-10, E-10	2,49±2 E-09, E-11	245,0±0,7
800	1,393±4 E-05, E-08	2,370±6 E-07, E-10	3,51±11 E-09, E-11	8,13±1,6 E-10, E-10	9,65±10 E-10, E-11	245,9±0,8
825	7,084±4 E-06, E-08	1,220±4 E-07, E-10	1,90±2 E-09, E-11	7,25±1,8 E-10, E-10	6,11±9 E-10, E-12	242,1±1,3
850	5,907±3 E-06, E-08	1,003±2 E-07, E-10	1,53±2 E-09, E-11	3,99±1,8 E-10, E-10	7,07±1 E-10, E-11	242,8±1,3
880	4,047±2 E-06, E-08	6,879±3 E-08, E-10	1,17±2 E-09, E-11	1,18±3 E-09, E-10	6,37±1 E-10, E-11	240,0±1,2
910	4,216±1 E-06, E-08	7,049±2 E-08, E-10	1,17±2 E-09, E-11	5,40±1,6 E-10, E-10	9,39±9 E-10, E-12	239,2±0,8
940	4,887±2 E-06, E-08	7,932±2 E-08, E-10	1,41±2 E-09, E-11	5,26±1,9 E-10, E-10	1,55±2 E-09, E-11	239,0±1,1
970	5,729±2 E-06, E-08	9,285±2 E-08, E-10	1,71±1 E-09, E-11	7,65±1,4 E-10, E-10	2,13±2 E-09, E-11	235,3±1,0
1000	6,411±4 E-06, E-08	1,025±4 E-07, E-10	1,88±2 E-09, E-11	1,46±2 E-09, E-10	2,20±2 E-09, E-11	240,4±1,6
1100	5,603±2 E-06, E-08	9,203±2 E-08, E-10	1,63±1 E-09, E-11	2,50±2 E-09, E-10	1,51±1 E-09, E-11	239,8±1,1
1230	9,332±3 E-08, E-10	1,166±9 E-09, E-12	5,65±8 E-11, E-12	4,84±1,5 E-10, E-10	1,03±4 E-10, E-12	231,5±4,0
						Média 242,0

Tabela 5. Resultados das medições de argônio radiogênico em anfibólio de nefelina sienito da localidade de Cerro Siete Cabezas (CSC-61 hornblenda, $J = 2,546E-3$, $p = 57,67$ mg)

T(°C)	$^{40}Ar_{tot}$	^{39}Ar	^{38}Ar	^{37}Ar	^{36}Ar	Idades (Ma)
800	1,573±7 E-06, E-09	1,965±4 E-08, E-11	1,05±0 E-09, E-12	6,82±6 E-09, E-11	1,85±1 E-09, E-11	225,6±1,3
880	1,703±4 E-06, E-09	2,936±7 E-08, E-11	1,11±1 E-09, E-11	5,91±3 E-08, E-10	3,07±3 E-10, E-12	237,0±0,8
910	2,052±5 E-06, E-09	3,578±9 E-08, E-11	1,33±1 E-09, E-11	9,81±5 E-08, E-10	2,48±2 E-10, E-12	239,0±0,8
930	3,055±7 E-06, E-09	5,314±1 E-08, E-10	2,28±1 E-09, E-11	1,59±1 E-07, E-09	2,84±3 E-10, E-12	241,5±0,7
970	1,860±5 E-06, E-09	3,310±1 E-08, E-10	1,50±1 E-09, E-11	1,02±1 E-07, E-09	2,20±2 E-10, E-12	234,8±1,0
1000	1,449±6 E-06, E-09	2,524±7 E-08, E-11	1,06±1 E-09, E-11	7,93±5 E-08, E-10	3,14±3 E-10, E-12	232,7±1,0
1030	5,501±8 E-07, E-10	9,565±10 E-09, E-11	3,89±3 E-10, E-12	8,73±5 E-08, E-10	1,87±2 E-10, E-12	227,4±0,7
1060	1,352±2 E-07, E-10	2,307±5 E-09, E-12	1,04±3 E-10, E-12	6,27±3 E-08, E-10	6,76±1 E-11, E-12	228,7±0,8
1230	2,905±4 E-07, E-10	4,985±1 E-09, E-11	2,24±3 E-10, E-12	1,04±1 E-07, E-09	1,32±2 E-10, E-12	227,8±0,8
1400	2,514±6 E-07, E-10	4,247±1 E-09, E-11	1,84±2 E-10, E-12	5,35±3 E-08, E-10	1,11±1 E-10, E-12	228,2±0,9
						Média 235,7

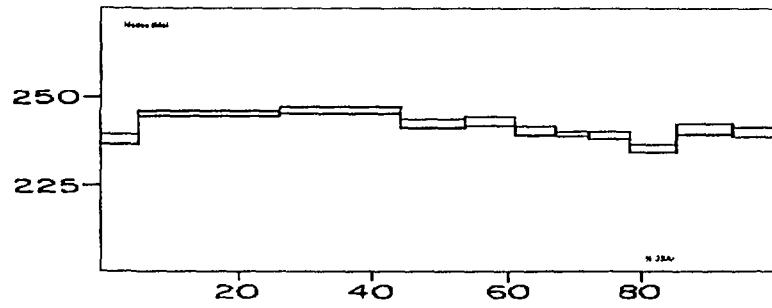


Figura 13- Idade platô Ar/Ar em biotita de traquifonolito da localidade de Pão de Açúcar.

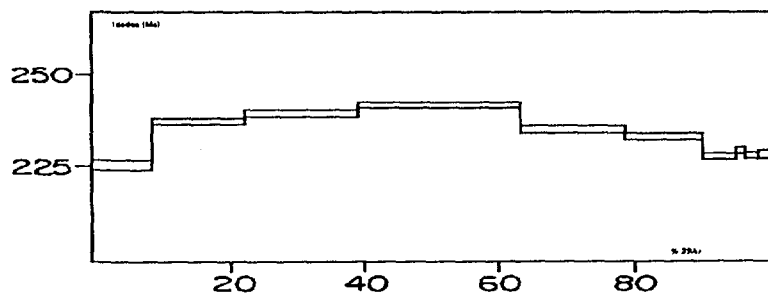


Figura 14- Idade platô Ar/Ar em anfibólio de nefelina sienito da localidade de Cerro Siete Cabezas.

5.4. Idades Rb/Sr

Inicialmente, foram selecionados cinco corpos apresentando maior controle litológico, a fim de evitar-se qualquer tipo de mistura de material caracterizando séries diferentes e, assim, permitir a melhor avaliação dos dados dentro de um contexto mais geológico.

Embora as amostras de cada corpo se refiram essencialmente a rochas intrusivas de granulação grossa, a paragênese mineralógica se constitui em um fator de maior importância por ocasião da construção das isócronas. Disso resulta que algumas análises foram efetuadas em rocha total, enquanto que, em outras, as condições se mostraram mais favoráveis à utilização de concentrados minerais. Os resultados analíticos para os distintos corpos estão reunidos na Tabela 6.

Os materiais analisados da ocorrência de Cerro Boggiani pertencem à série fortemente insaturada e foram caracterizados petrograficamente como nefelina sienitos (CB-27, CB-29 e CB-35) e fonolitos peralcalinos (CB-33 e CB-43). A distribuição dos pontos é mostrada na Figura 15, que representa uma isócrona de referência, cuja inclinação da reta fornece uma idade de $244,6 \pm 5,7$ Ma e uma razão inicial de 0,70486, com $MSWD = 20,72$. Traçou-se uma segunda isócrona com apenas três pontos (Fig. 16) na tentativa de melhorar o nível de corte, com os resultados indicando uma idade de $238,0 \pm 7,3$ Ma e uma razão inicial de 0,70564, com $MSWD = 2,14$.

Para a Ilha Fecho dos Morros foram analisadas duas amostras de nefelina sienito, sendo uma em rocha total (FDM-95) e a outra (FDM-89), além de rocha total, em concentrados de fases minerais (biotita e feldspato potássico). Obteve-se uma reta com quatro pontos (Fig. 17), onde três acham-se agrupados muito próximos à origem. A inclinação do traçado revela uma idade de $225,8 \pm 5,9$ Ma e uma razão inicial de 0,70375, com $MSWD = 4,54$. O mesmo procedimento foi adotado para os nefelina sienitos (C-80 e C-87) provenientes do corpo intrusivo de Cerrito. Neste caso, devido à impossibilidade de separar-se feldspato potássico da nefelina na amostra RP-80, empregou-se um concentrado félsico (feldspato potássico mais nefelina). Para a construção da isócrona, contou-se com análises para rocha total e concentrados (félsico e biotita). Na Figura 18, observa-se que a distribuição dos pontos define uma reta com idade de $242,0 \pm 3,4$ Ma e uma razão inicial de 0,70363, com $MSWD = 1,55$.

Dois conjuntos de amostras foram separados para o complexo do Cerro Siete Cabezas e satélites. Conforme já exposto antes, esse complexo é constituído predominantemente de rochas intrusivas de tipo sienito alcalino, ocorrendo localmente nefelina sienitos. Entretanto, os corpos

Tabela 6. Resultados das determinações de Rb e Sr radiogênico para amostras selecionadas da Província Alto Paraguai.

Litologia	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Cerro Boggiani					
1-NS (CB-27)	RT	272,3	73,1	10,820	0,744630
2-NS (CB-29)	RT	341,9	242,7	4,081	0,716250
3-F (CB-33)	RT	344,3	152,9	6,530	0,727060
4-NS (CB-35)	RT	298,4	120,2	7,201	0,730690
5-F (CB-43)	RT	214,6	319,3	1,946	0,712240
I. Fecho dos Morros					
1-NS (FDM-95)	RT	154,5	641,7	0,697	0,705840
2-NS (FDM-89)	RT	97,8	1126,3	0,251	0,704990
3-NS (FDM-89)	Bi	360,7	85,2	12,296	0,743910
4-NS (FDM-89)	Fd	46,5	805,7	0,167	0,704510
Cerrito					
1-NS (C-80)	Fd+Ne	84,4	2503,0	0,098	0,704060
2-NS (C-80)	Bi	604,4	84,6	20,803	0,775230
3-NS (C-87)	RT	119,7	813,2	0,426	0,705150
4-NS (C-80)	RT	105,5	1613,0	0,189	0,704190
Cerro Siete Cabezas					
1-SA (CSC-74)	RT	155,0	278,0	1,614	0,709390
2-SA (CSC-70)	RT	83,0	335,0	0,717	0,706060
3-SA (CSC-66)	RT	80,0	252,0	0,919	0,707140
4-SA (CSC-70)	Fd	62,0	406,2	0,442	0,705240
Satélites I e II					
1-QS (S II-45)	RT	186,6	22,9	23,792	0,797550
2-SG (S II-47)	RT	153,1	82,9	5,355	0,726120
3-SA (S I-54)	RT	126,9	39,0	9,239	0,738000

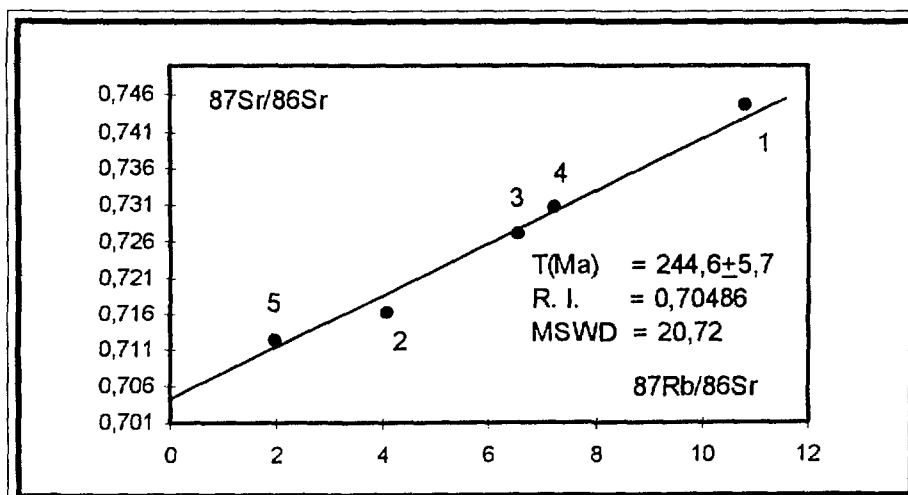


Figura 15. Isócrona de referência para a ocorrência de Cerro Boggiani. 1, 2 e 4, nefelina sienito (RT); 3 e 5, fonolito peralcalino (RT).

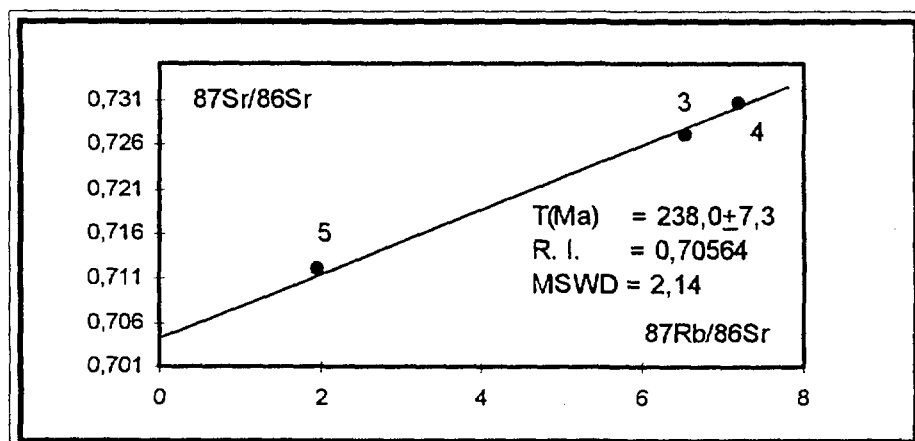


Figura 16. Isócrona de referência para a ocorrência de Cerro Boggiani.

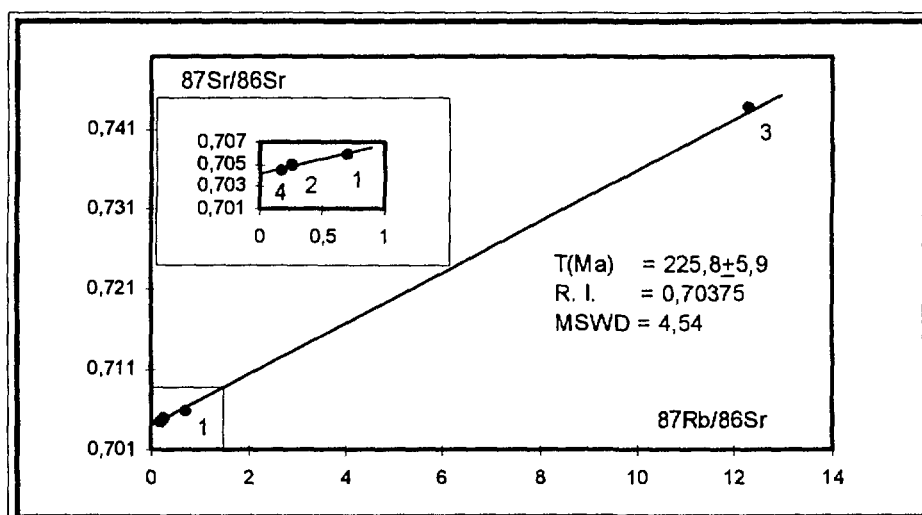


Figura 17. Isócrona interna para o corpo intrusivo da Ilha Fecho dos Morros. 1 e 2, nefelina sienito (RT); 3, nefelina sienito (biotita); 4, nefelina sienito (feldspato potássico).

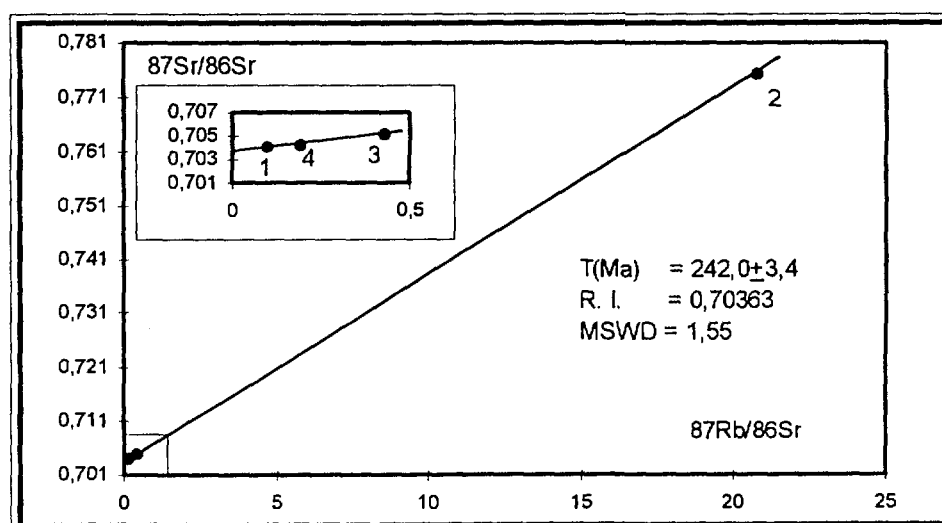


Figura 18. Isócrona interna para o corpo intrusivo de Cerrito. 1, nefelina sienito (concentrado félsico); 2, nefelina sienito (biotita); 3 e 4, nefelina sienito (RT).

satélites se mostram menos homogêneos e os materiais ali coletados refletem variações desde sienitos alcalinos, quartzo sienitos até eventualmente sienogranitos. À vista dessas diferenças litológicas, julgou-se mais adequado tratar os dados em diagramas separados. Assim, três amostras de sienito alcalino (CSC-66, CSC-70 e CSC-74) do corpo principal formam a isócrona de referência da Figura 19. A inclinação da reta indica uma idade de $255,0 \pm 11,0$ Ma e uma razão inicial de 0,70361, com $MSWD = 2,69$. Para os corpos satélites, as análises em rocha total de três amostras, consistindo em sienito alcalino, quartzo sienito e sienogranito, definem, ainda que com limitações, uma isócrona (Fig. 20), cujo traçado sugere uma idade de $259,1 \pm 8,5$ Ma e uma razão inicial de 0,70518, com $MSWD = 13,95$.

Na Tabela 7, acham-se reunidos dados isotópicos para amostras dos vários corpos investigados, congregando um total de 19 análises. A partir das determinações $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras, foram calculados os correspondentes valores da razão inicial normalizada para 250 Ma. O exame dos dados permite verificar a sua considerável variação, cobrindo aproximadamente um intervalo entre 0,703 a 0,707. Nota-se que os sienitos fortemente insaturados das localidades Ilha Fecho dos Morros e Cerrito exibem razão mais baixa e menor dispersão, com os valores situando-se, respectivamente, em torno de 0,703361-0,703916 e 0,703517-0,703713. Por outro lado, a razão inicial mais elevada e apresentando maior dispersão é registrada junto aos sienitos saturados a supersaturados dos corpos satélites I e II, 0,704567-0,707076. Comportamento dispersivo é também observado para as amostras provenientes do Cerro Boggiani, com intervalo entre 0,703837-0,707734. Já os sienitos moderadamente insaturados do Cerro Siete Cabezas apresentam um comportamento intermediário entre os dois agrupamentos acima, com valores da razão inicial entre 0,703510-0,703872.

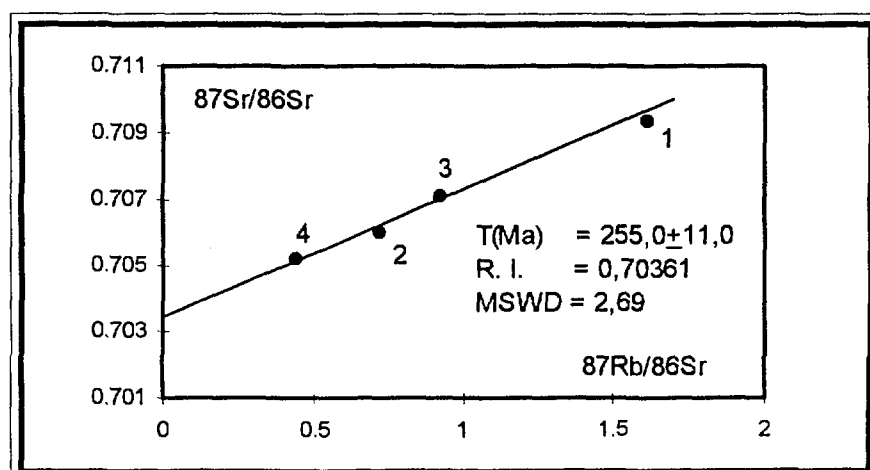


Figura 19. Isócrona de referência para o corpo principal do Cerro Siete Cabezas. 1, 2 e 3, sienito alcalino (RT); 4, sienito alcalino (feldspato potássico).

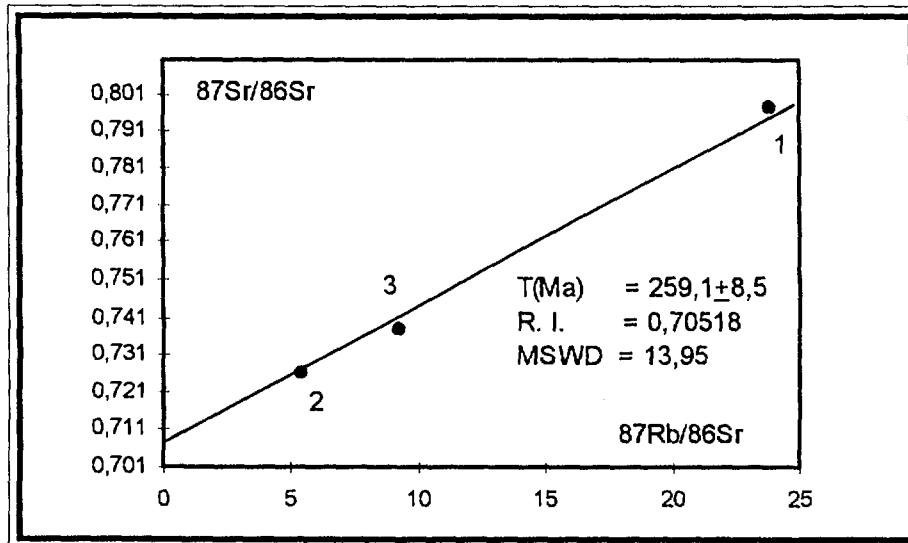


Figura 20. Isócrona de referência para os corpos satélites I e II. 1, quartzo sienito (RT); 2, sienogranito (RT); 3, sienito alcalino (RT).

Tabela 7. Dados isotópicos para algumas amostras selecionadas da Província Alto Paraguai.

Litologia	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Ri*
1-NS (CB-27)	RT	272,3	73,1	10,820	0,744630	0,706151
2-NS (CB-30)	Anf	26,9	68,8	1,133	0,709490	0,705462
3-F (CB-33)	RT	344,3	152,9	6,530	0,727060	0,703837
4-NS (CB-35)	RT	298,4	120,2	7,201	0,730690	0,705081
5-NS (CB-39)	RT	284,7	101,1	8,173	0,736800	0,707734
6-F (CB-43)	RT	214,6	319,3	1,946	0,712240	0,705319
7-NS (FDM-89)	RT	97,8	1126,3	0,251	0,704490	0,703595
8-NS (FDM-89)	Fd	46,5	805,7	0,167	0,704510	0,703916
9-NS (FDM-95)	RT	154,5	641,7	0,697	0,705840	0,703361
10-NS (C-80)	RT	105,5	1613,0	0,189	0,704190	0,703517
11-NS (C-80)	Fd	84,4	2503,0	0,098	0,704060	0,703713
12-NS (C-87)	RT	119,7	813,2	0,426	0,705150	0,703635
13-SA (CSC-66)	RT	80,0	252,0	0,919	0,707140	0,703872
14-SA (CSC-70)	RT	83,0	335,0	0,717	0,706060	0,703510
15-SA (CSC-70)	Fd	62,1	406,2	0,442	0,705240	0,703668
16-SA (CSC-74)	RT	155,0	278,0	1,614	0,709390	0,703650
17-SG (S II-47)	RT	153,1	82,9	5,355	0,726120	0,707076
18-SA (S I-54)	RT	126,9	39,0	9,239	0,738000	0,705143
19-SA (S I-55)	RT	154,4	96,9	4,618	0,720990	0,704567

Abreviações: F, fonolito; NS, nefelina sienito; SA, sienito alcalino; SG, sienogranito; Anf, anfíbólio; Fd, feldspato; RT, rocha total.

Ri*, razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ normalizada para 250 Ma.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES GERAIS

6.1. Aspectos petrográficos

Apesar da existência de alguns trabalhos de cunho petrográfico sobre as rochas alcalinas paraguaias, as propostas para a sua classificação e nomenclatura são diversas, não existindo consenso entre os autores. Este aspecto, aliado principalmente à falta de maiores informações sobre a procedência das amostras descritas, torna difícil a utilização integral dos dados disponíveis na literatura. Assim, adota-se aqui a nomenclatura de De La Roche (1986) com o propósito de não só homogeneizar a classificação, como também facilitar as comparações entre as distintas séries ou mesmo com as ocorrências de outras localidades mencionadas na literatura, notadamente as brasileiras.

Uma característica comum a todas as rochas investigadas é a presença de feldspato potássico como fase dominante; o mineral é comumente geminado segundo a lei de Carlsbad e, mais raramente, exibe textura de exsolução, esta evidenciada por pequenos veios de pertita responsáveis por uma extinção do tipo "patch". Os principais minerais máficos são clinopiroxênios e anfibólios alcalinos, ainda que em algumas amostras biotita se constitua em fase importante. Geralmente, esses minerais ocorrem como cristais agrupados ou na forma de complexos intercrescimentos. Por sua vez, os minerais acessórios consistem em óxidos, apatita, titanita e zircão, estes podendo ser encontrados como grãos isolados ou mesmo como inclusões em outros minerais.

Em função de parâmetros normativos, aliada à porcentagem modal estimada de quartzo e nefelina, as rochas da Província Alto Paraguai são aqui reunidas em três agrupamentos:

Grupo A- Série fortemente insaturada

Dentro dessa denominação, incluem-se sienitos e equivalentes vulcânicos contendo 15-22% de nefelina normativa e, na maioria das vezes, 5-10% de feldspatóide modal. A fase máfica mais relevante é representada por egirina-augita, de teor não superior a 15%; biotita e anfibólio sódico estão eventualmente presentes. Nefelina pode aparecer como cristal bem desenvolvido, de hábito retangular, ou ainda totalmente xenomórfico, preenchendo espaços intersticiais. Essas características petrográficas são comuns aos nefelina sienitos das localidades Ilha Fecho dos Morros e Cerrito, com os sienitos de Cerro Boggiani tendo ainda sodalita como um dos principais componentes.

Grupo B- Série moderadamente insaturada

Reúnem-se aqui rochas sieníticas contendo 6-8% de nefelina normativa e cerca de 5% na composição modal. Estima-se uma concentração de 10-20% para a fase máfica, esta basicamente um anfibólio sódico aparecendo como grão isolado, xenomórfico, de textura poiquilítica, ou então associado com outros minerais. A presença de clinopiroxênio é menor em relação à série anterior, enquanto que biotita mostra maior concentração. Nefelina é de ocorrência inteiramente intersticial. Agrupam-se nesta série nefelina sienitos e os traquifonolitos aflorando no morro de Pão de Açúcar, assim como nefelina sienitos e sienitos alcalinos da localidade de Cerro Siete Cabezas.

Grupo C- Série saturada a supersaturada

Dentro dessa denominação, estão agrupadas rochas sieníticas mostrando variações químicas e mineralógicas ditadas principalmente pela maior ou menor presença de quartzo normativo e modal. Essas mudanças se refletem também na composição do feldspato potássico, com o desenvolvimento de textura mirmequítica nas bordas dos cristais e, com menor frequência, o aparecimento de delgadas lamelas de exsolução peritítica.

Os sienitos saturados contêm 0,4-5,0% de quartzo normativo; já os sienogranitos, representantes da série supersaturada, possuem 19,17% de quartzo normativo e uma porcentagem modal estimada não superior a 10%. Em geral, esses tipos de rochas apresentam pequeno conteúdo em máficos que, quando presentes, revelam maior abundância de anfibólio sódico em relação à biotita e clinopiroxênio. Quartzo ocorre como grão xenomórfico intersticial, ou então, intercrescido com o feldspato potássico. Essas características composicionais são comuns aos quartzo sienitos e sienogranitos do Cerro Pedreira, assim como aos "plugs" Satélite I e Satélite II do Cerro Siete Cabezas.

Outra característica importante a ser mencionada é a relação e distribuição dos máficos nos diferentes grupos. Para o Grupo A, verificou-se maior dominância de clinopiroxênio da série egirina-augita, com forte pleocroísmo em tonalidade amarelo-esverdeada no centro e verde oliva nas bordas dos cristais. A forma e tamanho são dos mais variados, porém, em geral, aparecem como grãos subidiomórficos de hábito prismático ou como pequenos grãos aciculares. Todavia, em algumas amostras da localidade de Cerrito a biotita se constitui em fase importante, podendo ocasionalmente substituir o clinopiroxênio. O anfibólio é pouco presente na fácies intrusiva, contudo, pode ocorrer com maior frequência nos fonolitos peralcalinos. No Grupo B, há um acréscimo significativo de anfibólio sódico, sobretudo nos nefelina sienitos e sienitos

alcalinos do complexo Cerro Siete Cabezas. O mineral ocorre como grão xenomórfico e apresenta pleocroísmo intenso de tonalidade castanho-esverdeada e textura poiquilítica. Em alguns casos, observou-se nítido intercrescimento com o clinopiroxênio e, mais raramente, textura de substituição. A biotita evidencia também um ligeiro aumento neste grupo, com maior incidência junto aos nefelina sienitos. O Grupo C é o que apresenta menor conteúdo em máficos; anfibólio é a fase dominante, sendo que clinopiroxênio e biotita não passam de simples acessórios.

6.2. Aspectos geoquímicos

A presença de nefelina, sodalita, piroxênio e anfibólio sódico nas paragêneses mineralógicas das rochas sieníticas define nitidamente o seu caráter alcalino, como verificado no diagrama de classificação R1-R2 (Fig. 5) e tornado mais evidente no gráfico ternário AFM (Fig. 7). Da mesma forma, faz-se nítida a predominância das fases félsicas, refletindo substancial empobrecimento em Mg, para um acentuado enriquecimento em Al.

O conjunto de rochas sieníticas apresenta traçados coerentes, assim que utilizando-se sílica como elemento discriminador é possível distinguir de forma nítida as três séries. A fortemente insaturada possui baixo conteúdo em sílica (56-60%); já a série saturada a supersaturada exibe maior concentração, com a população dominante situando-se entre 65-70%; essa variação se faz também acompanhar de marcada diminuição em Na e Al, indicando participação clara de quartzo durante a cristalização. Situação intermediária é registrada para a série moderadamente insaturada, apresentando mudança composicional restrita (61-62%).

As distintas variações mencionadas refletem necessariamente aspectos ligados às condições da cristalização, em que foram removidos principalmente os constituintes essenciais das rochas sieníticas. Comportamentos semelhantes foram descritos por Fletcher & Beddoe-Stephens (1987) para as rochas alcalinas da Província Velasco, na Bolívia.

O comportamento dos elementos hidromagmatófilos demonstra ampla variação para as rochas sieníticas, como ilustrado nas Figuras 9 e 10, com a diferença mais notável sugerindo mudança composicional importante do magma ocorrida durante a sua ascensão e colocação na crosta continental. Contudo, essa diferença evidencia também modificação gradual relacionada à concentração dos elementos presentes que, por sua vez, depende essencialmente do seu coeficiente de distribuição e dos parâmetros termodinâmicos reinantes durante a remoção das fases minerais, como enfatizado por McIntire (1963).

O comportamento dos elementos Sr e Ba indica clara predominância de feldspato potássico durante o fracionamento das rochas sieníticas (cf. Drake & Well, 1975), em

especial para as séries moderadamente insaturada e saturada, como também sugerido pela razão Eu/Sm. A alta dispersão observada para os elementos Zr, Rb e Nb aponta para um comportamento marcadamente residual, com a sua maior concentração se dando junto à série fortemente insaturada. Nesse quadro, Zr proporciona a variação mais significativa, a indicar que os silicatos de zircão exercem papel dos mais importantes, como também assinalado por Watson (1979) com base em trabalhos experimentais.

A predominância de anfíbólio e, em menor extensão, de biotita como fase máfica nas séries saturada, supersaturada e sobretudo moderadamente insaturada revela um aumento circunstancial da concentração dos elementos U, Th e, em especial, Ta. Contudo, algumas dessas elevações poderiam estar relacionadas ao brusco enriquecimento dos óxidos de ferro e titânio junto às fases residuais, fato observado por Villemant et al. (1981) para as rochas alcalinas do Chaîne des Puys, França.

Vários autores (Schnetzer & Philpotts, 1970; Carbonnel et al., 1973; Matsui et al., 1977) chamam a atenção para o fato de que a concentração de Hf nas rochas depende fundamentalmente da remoção de biotita e anfíbólio do sistema. Já o trabalho de Lemarchand et al. (1987) procura salientar a importância da incorporação desse elemento nos clinopiroxênios, anfíbólios e biotita do magma alcalino. Notadamente, a série fortemente insaturada mostra teores elevados de Hf e maior dominância de clinopiroxênio como fase máfica.

Como enfatizado por Cullers & Graf (1984), a extração maciça de olivina e clinopiroxênio, conjuntamente com plagioclásio, a partir de um líquido primário leva à formação de um magma intermediário com deficiência acentuada em Cr, Ni, Ba e Sr, além de portador de anomalia negativa em Eu. Notadamente, essas características são marcantes para as rochas sieníticas da Província Alto Paraguai.

Adicionalmente, é importante assinalar que as três séries exibem padrões uniformes e semelhantes tanto para os elementos hidromagmatófilos como para as Terras Raras. Este fato abre a perspectiva de elas terem evoluído de um único magma parental e que as pequenas variações registradas estão muito provavelmente associadas a mudanças mineralógicas havidas durante o curso da cristalização, como constatado por Sun & Hanson (1976) para a seqüência evolutiva das rochas vulcânicas de McMurdo da Ilha Ross, Antártida.

6.3. Aspectos geocronológicos

Os resultados radiométricos obtidos pelas metodologias K/Ar e Ar/Ar são interpretados como indicativos da idade de resfriamento do magma após a sua colocação na

crosta, devido ao fato de não terem sido registradas na área evidências de eventos metamórficos posteriores que possam ter eventualmente modificado o conteúdo de argônio radiogênico das rochas. Portanto, tornou-se necessário recorrer a algumas explicações convencionais, como excesso ou perda de argônio, para justificar aqueles valores não guardando concordância com as evidências geológicas.

O exame da Tabela 3 permite observar que o intervalo de pulsação da atividade magmática alcalina se estende desde 263 a 225 Ma, uma vez descartado o valor mais baixo (212 Ma), necessitando confirmação por apresentar porcentagem elevada de argônio atmosférico, com o fato a indicar que a pressão da linha não estava nas melhores condições por ocasião da sua coleta.

Com base nesses dados, construiu-se o histograma de frequência da Figura 21. Verifica-se que a atividade alcalina é marcadamente unimodal, com a classe correspondendo ao intervalo 260-240 Ma. A maior dispersão observada para os valores mais baixos poderia estar ligada à própria resolução do material analisado (anfíbólio e rocha total); já para a idade 263 Ma considera-se como causa possível o excesso de argônio na biotita, provavelmente incorporado durante resfriamento anômalo do mineral, como proposto por Foland (1983). Contudo, vistos no todo, os dados obtidos guardam boa concordância.

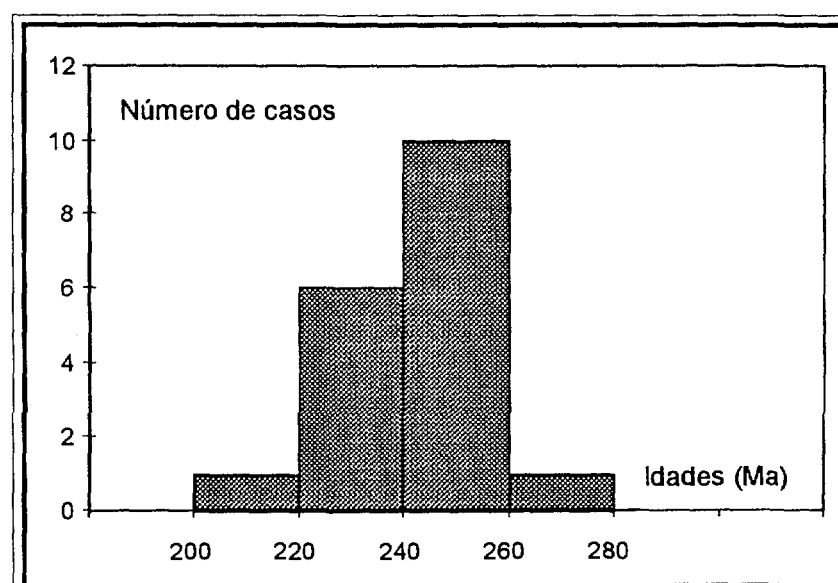


Figura 21. Histograma de idades K/Ar para as rochas da Província Alto Paraguai.

A metodologia Ar/Ar foi empregada para concentrados de minerais de duas amostras. Os pequenos distúrbios registrados nas idades platôs (Figs. 13 e 14) refletem claramente as

variações do espectro do argônio a temperaturas distintas. Segundo Harrison (1983), esse virtual comportamento resulta da distribuição irregular do ^{39}Ar na região intergranular dos minerais, produzida no transcurso da irradiação, levando necessariamente à alteração do espectro de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ na superfície dos grãos durante a coleta, fato já reconhecido por Hess & Lippolt (1986).

Os cinco conjuntos de amostras que integram as rochas sieníticas da Província Alto Paraguai tiveram seus resultados Rb/Sr projetados em diferentes diagramas isocrônicos. Como discutido, é evidente que alguns desses diagramas mostram limitações no traçado da isócrona, porém, a inclinação da melhor reta na construção de cada isócrona aponta para uma idade entre 259 e 225 Ma. Contudo, quando os dados são integrados em um único diagrama tem-se para o conjunto uma idade de $253,8 \pm 3,4$ Ma (Fig. 22).

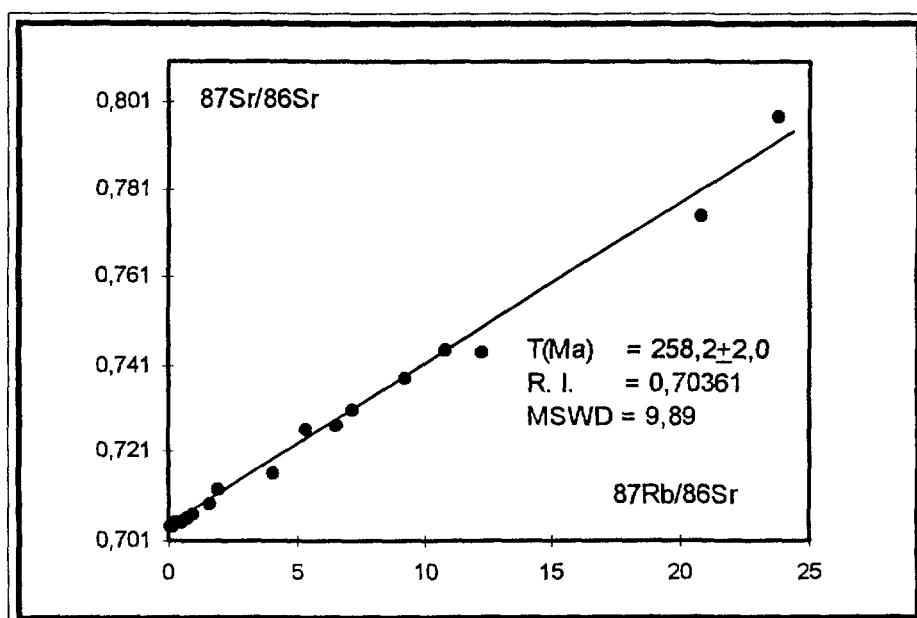


Figura 22. Isócrona de referência reunindo os principais corpos da Província Alto Paraguai (dados constantes da Tabela 6).

Os resultados radiométricos obtidos por meio de distintos métodos mostram boa concordância e, indistintamente, apontam para um intervalo geocronológico de 250-240 Ma. Portanto, esse intervalo marca importante etapa de atividade magmática alcalina, que se acredita única no gênero junto à Bacia do Paraná, considerando que as demais áreas de ocorrências conhecidas, inclusive as localizadas na Bolívia, possuem idade bem inferior, entre 140 e 120 Ma.

Dados isotópicos preliminares exibem ampla variação (Fig. 23). Assim, tem-se que o intervalo $0,703361-0,703872$ se aproxima do obtido para os nefelinitos de Assunção ($0,70362-$

0,70392, cf. Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti et al., 1991c), a sugerir também uma derivação mantélica para as rochas da Província Alto Paraguai. Já os valores mais elevados (0,704567-0,707734) parecem estar relacionados a processos de contaminação crustal, como proposto por diversos autores (Barbieri et al., 1987; Gomes et al., 1987; Macciotta et al., 1990 e Brotzu et al., 1992) para alguns complexos alcalinos sieníticos da porção oriental da Bacia do Paraná.

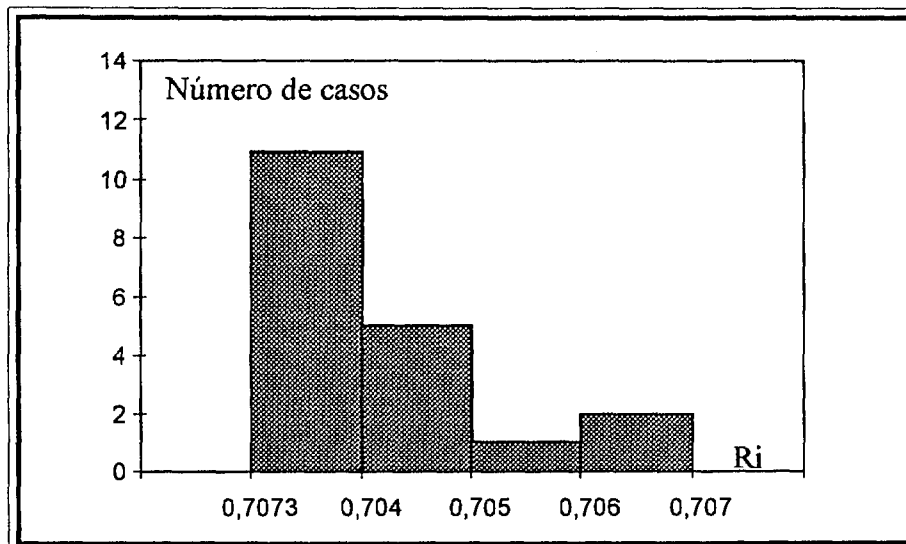


Figura 23. Histograma da razão inicial dos isótopos de Sr para algumas amostras da Província Alto Paraguai.

CAPÍTULO 7

IMPLICAÇÕES PETROGENÉTICAS

7.1. Evidências geológicas e petrográficas

Os vários corpos alcalinos da Província Alto Paraguai, situados na região próxima à cidade de Porto Murtinho (Fig. 4), são constituídos predominantemente por rochas subintrusivas. Em ordem de abundância, as variedades insaturadas surgem como as mais representativas, seguidas pelas saturadas e, por último, as supersaturadas, estas de ocorrência mais restrita. As relações de campo para alguns desses corpos (Satélites I-II e Cerro Pedreira) parecem sugerir uma transição de sienitos alcalinos para quartzo sienitos com presença eventual do extremo mais saturado, sienogranitos. Porém, para o Cerro Siete Cabezas, observou-se apenas a associação sienitos alcalinos e nefelina sienitos, com maior abundância do primeiro tipo. Os corpos da Ilha Fecho dos Morros, Cerrito e Cerro Boggiani exibem maior homogeneidade, sendo constituídos essencialmente por nefelina sienitos e, esporadicamente, de diques fonolíticos. Por sua vez, a intrusão de Pão de Açúcar apresenta características típicas de um domo lávico, sendo traquifonolitos a litologia dominante.

Essa associação espacial é também possível de ser diagnosticada do ponto de vista petrográfico, acompanhando-se as mudanças mineralógicas ocorridas nos diversos tipos litológicos. Assim, quando se compara o grau de saturação em sílica das rochas, pode-se definir a seguinte seqüência: nefelina-sodalita sienitos, nefelina sienitos, sienitos alcalinos, quartzo sienitos e sienogranitos. Essa relação é, no entanto, apenas parcialmente satisfatória, uma vez que a explicação para algumas peculiaridades comuns encontradas em cada transição é no mínimo muito difícil. Contudo, se utilizada a relação da fase dominante dos constituintes máficos versus grau de saturação das rochas, é possível constatar-se uma tendência muito mais próxima da observada no campo: a) sienitos alcalinos, quartzo sienitos e sienogranitos; b) nefelina sienitos e nefelina-sodalita sienitos.

Para a primeira associação, os dados petrográficos indicam anfibólio como fase máfica mais abundante, com o seu teor se tornando cada vez menor à medida que cresce a quantidade de quartzo. Todavia, para a segunda associação, nota-se aumento na concentração de feldspatóides e pequena diminuição do conteúdo de feldspato potássico, sendo clinopiroxênio, da série egrina-augita, a principal fase máfica. Uma particularidade comum às duas associações é a presença dominante de feldspato potássico.

7.2. Evidências geoquímicas e isotópicas

Os distintos comportamentos geoquímicos observados para elementos maiores, traços e Terras Raras nos múltiplos diagramas podem ser empregados para fins de inferências sobre as condições de formação das rochas sieníticas. A julgar pelos padrões de Terras Raras, razão elevada La/Y, baixas concentrações de Cr, Ni e Mg e, ainda, pela razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, acredita-se que o magma parental dessas rochas foi produto de fracionamento extremo de um magma máfico alcalino (basanítico?), e que todas as séries sieníticas evoluíram a partir dessa fonte à baixa pressão, e saturada em H_2O , como é sugerido pela presença dos minerais hidróxidos silicatos-ferromagnesianos (anfíbólios e mica).

Com base nos dados petrográficos e geoquímicos, duas associações principais são distinguidas, ambas relacionadas a diferentes etapas de evolução e mostrando importantes variações composicionais. A etapa inicial é marcada por uma preponderante remoção de feldspato potássico, minerais máficos (clinopiroxênio>anfíbólio>mica) e constituintes menores (titanita, apatita e opacos) gerando, dessa forma, as rochas moderadamente insaturadas, como indicado pelas concentrações de Zr, Ba, Mg, Th, U, Ta e, especialmente, da razão Eu/Sm. Entretanto, durante o transcurso da formação das rochas saturadas a supersaturadas parece ter ocorrido importante interação da crosta sílica, a julgar-se pela relação positiva envolvendo o aumento do grau de saturação das rochas com o da razão inicial. Necessariamente, os quartzos sienitos e sienogranitos teriam evoluído sob condições de sistema aberto.

A formação na fase inicial de rochas moderadamente insaturadas a partir de fracionamento contínuo do magma levou a uma marcada mudança composicional da fonte, com evolução para um líquido demonstrando grande afinidade peralcalina, além de enriquecido residualmente em nefelina. Como resultado desse processo, originaram-se rochas fortemente insaturadas, como apontado pelo comportamento residual do Zr, Nb, Hf e Rb. Por outro lado, a covariação de Th/U, Zr/Th e as mudanças da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ são indicativos de que os nefelina-sodalita sienitos foram submetidos a intensa atividade deutérica, esta, muito provavelmente, responsável pela formação de sodalita, de ocorrência intersticial.

O comportamento isotópico observado para as rochas sieníticas da Província Alto Paraguai sugere que as duas associações teriam derivado de um único magma parental mantélico, com importante assimilação (*in loco*) do componente cortical e, para o caso particular de Cerro Boggiani, de alguma ação deutérica.

Na Figura 24, procura-se relacionar as associações existentes e a sua evolução ligada

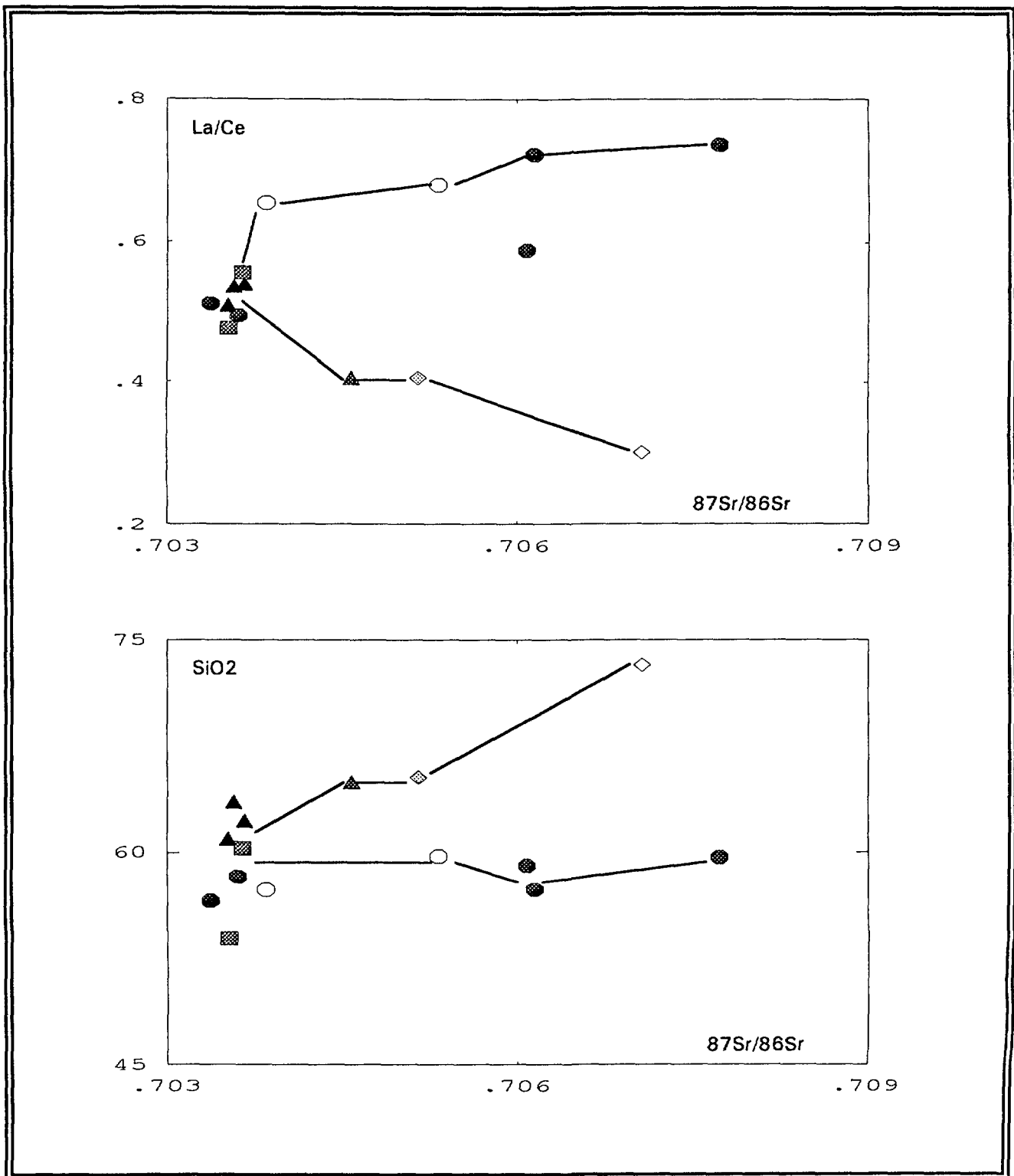


Figura 24. Diagramas de variação reunindo isótopos de Sr vs. La/Ce e SiO₂ para algumas amostras da Província Alto Paraguai. Símbolos como na Figura 5.

a distintos processos. Nota-se que o modelo combinando cristalização fracionada e assimilação parcial, amplamente discutido por Briqueu & Lancelot (1979) e De Paolo (1981), consegue explicar satisfatoriamente a passagem das rochas moderadamente insaturadas (0,703543, média) para as saturadas (0,704855, média) e supersaturadas (0,707076), como evidenciado pelo aumento da sílica e diminuição da razão La/Ce, com a elevação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Por outro lado, para a associação fortemente insaturada, onde ter-se-ia a passagem de nefelina sienitos (0,703527, média) para nefelina-sodalita sienitos (0,706321, média), esse mecanismo parece inviável. Admite-se que a participação de fluidos hidrotermais tenham perturbado o sistema isotópico das rochas. A favor dessa interpretação é possível citar o comportamento de alguns elementos hidromagmáticos (Zr, Nb e Hf) e, em especial, da razão La/Ce.

7.3. Evolução dos quartzos e nefelina sienitos no sistema Ne-Ks-Q

A relação genética existente entre sienitos saturados e insaturados sempre mereceu especial atenção por parte dos petrologistas, à vista da necessidade de explicar o comportamento dessas rochas no diagrama ternário de Schairer & Bowen (1935), conhecido como sistema petrogenético residual, onde o plano Ab-Or se coloca como uma barreira termal entre as fases insaturadas (Ne) e supersaturadas (Q).

No início, os estudos experimentais desenvolvidos se voltaram mais para a determinação do comportamento das fases, quando submetidas a distintas pressões. Nesse sentido, diversas investigações foram realizadas, as mais clássicas correspondendo aos trabalhos de Tuttle & Bowen (1958), Fudali (1963), Hamilton & MacKenzies (1965), Gittins (1979), Zeng & MacKenzies (1984) e Jones & MacKenzies (1989).

Após essa fase experimental, os estudos tiveram como maior preocupação explicar alguns problemas relacionados à gênese e evolução das rochas ígneas naquele sistema. Eles podem ser reunidos em duas tendências principais. A primeira se ocupa especialmente do efeito dos elementos voláteis durante o processo da cristalização. Sabe-se que eles são responsáveis por significativa expansão do plano Ab-Or no sentido da fase ácida, permitindo, assim, passar-se do plano eutético a peritético, com a cristalização simultânea de quartzo e feldspato potássico (Kogarko, 1979). Outros autores sugerem mecanismos alternativos para atingir-se o plano termal: participação importante de um componente não-ternário, como o Fe (Size, 1972), complexa e seletiva reação e reabsorção de minerais (Luth, 1974), mudanças constantes da $P(\text{H}_2\text{O})$ (Pankhurst et al., 1976) e fracionamento acentuado de anfibólio no sistema (Giret et al., 1980). A segunda tendência reúne os trabalhos direcionados para o tradicional mecanismo de

contaminação, com o processo operando essencialmente em sistema aberto. Nos últimos anos, vários modelos foram propostos, destacando-se, entre eles, a interação direta entre magma e crosta (Taylor, 1980; Brooks & Gill, 1982), e processos de cristalização fracionada+assimilação (Landoll et al., 1989; Chen et al., 1994). Todos esses autores, recorrendo a métodos distintos (geoquímicos e isotópicos), ressaltam a importância desses modelos para explicar a transição de nefelina sienitos a quartzo sienitos.

Dentro desse contexto, as evidências mencionadas sugerem para as rochas sieníticas da Província Alto Paraguai uma evolução em sistema aberto, a partir de líquido insaturado, combinando-se cristalização fracionada e assimilação. Os diversos resultados indicam que esse complexo processo provocou uma bifurcação na linha evolutiva, gerando duas tendências diferentes, estas relacionadas a processos de cristalização fracionada (transição dos nefelina sienitos para nefelina-sodalita sienitos) e de contaminação (passagem das rochas moderadamente insaturadas a saturadas e supersaturadas).

Para discutir-se a gênese dos sienitos saturados no diagrama petrogenético residual, a partir de um líquido insaturado por assimilação, é necessário que se estabeleçam antes alguns parâmetros. Parte-se de uma pressão reinante em torno de 1 kb, considerando que as características químicas encontradas (baixos teores em MgO, CaO, Cr e Ni) indicam tratar-se de magma altamente diferenciado e apresentando evidências de intrusão supracrustal. Assume-se que os sienitos moderadamente insaturados sejam os representantes mais próximos da composição inicial, situando-se logo abaixo do plano Ab-Or. Para a relação das fases (Fig. 25) foram utilizados os trabalhos experimentais de Fudali (1963) e Hamilton & MacKenzies (1965).

O ponto "L" na Figura 25 representa a média dos sienitos moderadamente insaturados, com uma composição $Ne_{37}Ks_{19}Q_{44}$. A cristalização se inicia com a remoção da associação mineralógica feldspato potássico+anfíbólio+óxidos de Fe-Ti+nefelina. Com esses componentes, o líquido ao migrar para a superfície passa a ter um caráter essencialmente peralcalino, sendo o equilíbrio do sistema governado pelas fases $Na_2O-Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2$ (Bailey & Schairer, 1963). O que difere do sistema anterior (Ne-Ks-Q) é a ausência do K_2O , porém, essa simplificação não acarreta maiores mudanças à vista do fato de o potássio ser incorporado ao feldspato (Bailey & Schairer, 1964). Entretanto, a cristalização do anfíbólio e dos óxidos de ferro se constitui em ponto mais crítico, uma vez que leva o sistema a um paulatino aumento de quartzo livre, a permitir, dessa forma, que cristais de feldspato potássico e quartzo sejam formados ligeiramente acima do plano Ab-Or (ponto L' na Fig. 25, cf. Bailey & Schairer, 1966; Gittins,

1979; Henderson et al., 1989). Posteriormente, a adição contínua de um componente rico em sílica no sistema por assimilação, como sugerido na Figura 24 (Ri vs. SiO_2), forçaria a composição do líquido a migrar na direção do plano mínimo granítico. Todavia, a fonte cada vez mais peralcalina, e submetida a fracionamento contínuo (remoção de feldspato potássico+clinopiroxênio+nefelina), teria a tendência de evoluir progressivamente para o plano mínimo fonolítico (ponto L" na Fig. 25), como proposto por Henderson & Gibb (1983) e Jones & MacKenzie (1989).

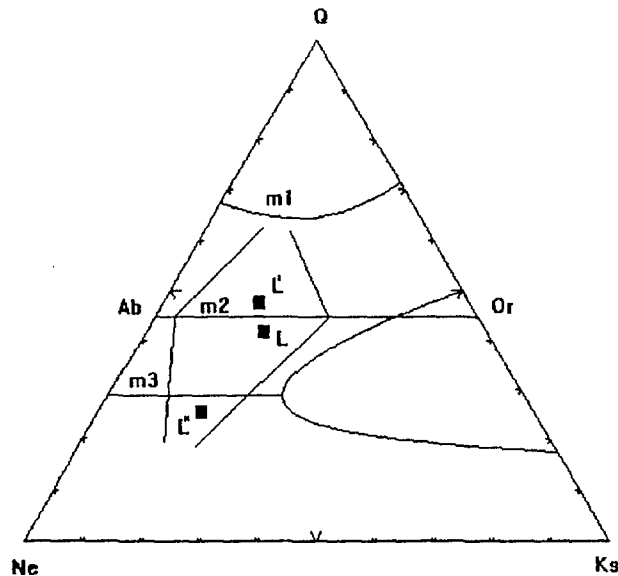


Figura 25. Linhas evolutivas das rochas alcalinas da Província Alto Paraguai no sistema petrogenético residual.

Por último, pode-se apontar que, conforme as características mencionadas antes, os processos de cristalização fracionada e assimilação se constituem em mecanismos importantes na evolução das rochas sieníticas. Ainda que não seja possível quantificar-se o fracionamento dos minerais nos distintos estágios, o comportamento dos elementos hidromagmátófilos e das Terras Raras indica que feldspato potássico, anfibólio e óxidos menores tiveram participação significativa durante a fase inicial. Contudo, para a segunda fase, feldspato potássico, clinopiroxênios e nefelina, ao lado dos acessórios menores (apatita, titanita e zircão), foram os agentes responsáveis pelo curso evolutivo da série fortemente insaturada. Cabe ressaltar que a mudança composicional registrada junto às amostras saturadas a supersaturadas é sugestiva de uma ação de contaminação *in loco*, que teria se dado durante a colocação do magma na crosta, por adição constante de material silicoso.

CAPÍTULO 8 CONCLUSÕES

As diversas metodologias empregadas para o desenvolvimento dos estudos na Província Alto Paraguai permitem chegar às seguintes conclusões:

- Ela é constituída predominantemente por rochas de composição sienítica e equivalentes vulcânicos.

- Petrograficamente, é possível distinguir duas associações principais: rochas insaturadas e saturadas, representadas, respectivamente, por nefelina sienitos e quartzo sienitos.

- Ambas as associações contêm feldspato potássico como a fase félsica dominante, enquanto que clinopiroxênios e anfibólios sódicos são os minerais máficos mais freqüentes; em algumas amostras, biotita é também uma fase importante. Nefelina e quartzo são os principais acidentais. Apatita, titanita, zircão e opacos ocorrem como acessórios.

- Com base nos dados geoquímicos, é possível distinguir-se as seguintes séries: fortemente insaturada, moderadamente insaturada e saturada a supersaturada.

- O comportamento dos elementos hidromagmatófilos indica duas linhas distintas de evolução: a) sienitos alcalinos, quartzo sienitos e sienogranitos e b) nefelina sienitos e nefelina-sodalita sienitos.

- As evidências de campo, juntamente com os dados petrográficos e isotópicos, sugerem que a passagem dos sienitos alcalinos para quartzo sienitos e sienogranitos está ligada à adição contínua de material silicoso no sistema durante o processo de cristalização; já a evolução de nefelina sienitos para nefelina-sodalita sienitos se enquadra melhor dentro de um processo envolvendo essencialmente cristalização fracionada.

- Os padrões de Terras Raras e os dados isotópicos indicam que as duas linhas evolutivas se deram a partir de um líquido parental mantélico insaturado, envolvendo cristalização fracionada e assimilação.

- Uma vez que na área não foram encontradas evidências de metamorfismo, os dados radiométricos (K/Ar, Ar/Ar e Rb/Sr) obtidos são interpretados como correspondendo à idade de resfriamento dos corpos.

- As diferentes metodologias empregadas para a obtenção das idades radiométricas demonstram boa concordância com os dados existentes na literatura, apontando para uma maior atividade no intervalo 250-240 Ma.

- As metodologias K/Ar e Ar/Ar oferecem melhor resolução uma vez empregados concentrados de biotita, comparativamente àquelas utilizando concentrados de anfibólio e rocha total.

- As variações dos isótopos de Sr guardam inteira concordância com as evidências de campo e com os dados petrográficos e geoquímicos, constituindo-se, assim, em importante ferramenta para a interpretação petrogenética.

- A Província Alcalina Permo-Triássico do Alto Paraguai representa um exemplo a mais entre as muitas citadas na literatura, onde evidencia-se a clara coexistência espacial e temporal de nefelina sienitos e quartzo sienitos.

CAPÍTULO 9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAIMO, R. & CENSI, P. (1992) Quantitative determination of major, minor and trace elements in: U.S.G.S. rock standards by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Atomic Spectroscopy*, **13**:113-117.
- ALMEIDA, F.F.M. (1971) Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do Sul do Brasil e do Paraguai Oriental. *An. Acad. brasil.Ciênc.*, **43**:835-836.
- ALMEIDA, F.F.M. (1983) Relações tectônicas das rochas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Rev. Bras. Geoc.*, **13**:139-258.
- ALMEIDA, F.F.M. (1986) Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**:325-349.
- AMARAL, G. (1984) Províncias Tapajós e Rio Branco. In: F.F.M. Almeida & Y. Hasui (eds.), *O precambriano do Brasil*. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, p.6-35.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1967) Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**:117-142.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1966) Potassium-argon dates of basaltic rock from Southern Brazil. *Gochim. Cosmochim. Acta*, **30**:159-189.
- ARAÚJO, H.J.T.; TRINDADE, C.H.H.; PINTO, J.C.A.; MONTALVÃO, R.M.G.; TASSINARI, C.C.G. (1981) Geologia precambriana da Folha SF-21, Rio Apa. *Atas Simp. Geol. Centro-Oeste*, p.117-133.
- BAILEY, D.K. & SCHAIRER, J.F. (1963) Crystallization of the rock-forming silicates in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}_3-\text{SiO}_2$. *Amer. J. Sci.*, **262**:124-131.
- BAILEY, D.K. & SCHAIRER, J.F. (1964) Feldspar-liquid equilibria in peralkaline liquids - the orthoclase effect. *Amer. J. Sci.*, **262**:1198-1206.
- BAILEY, D.K. & SCHAIRER, J.F. (1966) The system $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ at 1 atmosphere, and petrogenesis of alkaline rocks. *J. Petrol.*, **7**:114-170.
- BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; LOSS, E.L.; MACCIOTA, G.; MORBIDELLI, L.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, A. (1987) Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 1. The phonolite suite from Piratini, RS. *Geochim. Brasil.*, **1**:109-138.

- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1983) Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalt to rhyolite sequences of the Southern Paraná Basin (Brazil). *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **55**:353-383.
- BITSCHENE, P.R. (1987) Mesozoicher und kanosozoicher magmatismus in Ost-Paraguay: arbeitetechnur Geologie und Petrologie zweier Alkaliprovinzen. Ph.D. Thesis, Heidelberg University, 317p.
- BITSCHENE, P.R. & BÁEZ PRESSER, J. (1989) The Asunción Alkaline Province (Eastern Paraguay): geologic setting and petrogenetic aspects. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, **5/6**:959-971.
- BITSCHENE, P.R. & LIPPOLT, H.J. (1984) Geologie der Cordillera der Ybytyruzú in Ost-Paraguay: ein Mesozoicher alkali-intrusiv-komplex am westrand der Paranabeckens. *Lat. Amer. Koll. Marburg, Tag., Heft.*, **9**:33-34.
- BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, H.J.; ARETZ, J. (1985) Tertiärer vulcanismus in Ost-Paraguay (Asunción-Provinz) und rifting prozesse am westrand der Sudamerikanischen platform. *Fortsch. Miner.*, **63/1**, p.26.
- BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, H.J.; EMMERMANN, R. (1986) Jungmesozoicher K-betonter magmatismus in Ost-Paraguay (Guairá-Paraguari Provinz) und rifting-prozesse innerhalb der Sudamericka-platform. *Fortsch. Miner.*, **64/1**, p.19.
- BOWEN, N.L. (1937) Recent high-temperature research on silicates and its significance in igneous geology. *Amer. J. Sci.*, **33**:1-21.
- BOYTON, W.V. (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (ed.), *Rare earth elements geochemistry*. Elsevier, p.63-114.
- BRIQUEU, L. & LANCELOT, J.R. (1979) Rb-Sr systematic and crustal contamination models for calc-alkaline igneous rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **43**:385-396.
- BROOKS, C.K. & GILL, R.C.O. (1982) Compositional variation in the piroxenes and amphiboles of the Kangerdlugssuag intrusion, East Greenland: further evidence for the crustal contamination of syenite magma. *Mineral. Mag.*, **45**:1-9.
- BROTZU, P.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MACCIOTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J.B.; TRAVERSA, G. (1992) Petrology and geochimistry of the Passa Quatro alkaline complex, Southeastern Brazil. *J. South Amer. Earth Sci.*, **6**:237-252.
- CARBONNEL, J.P.; DESCHAMPS, N.; JAFFREZIC, H. (1973) Rapport Zr/Hf et Dy/Eu dans

- les zircons des roches ignees basiques des séries continentales alcalines. *Chem. Geol.*, **12**:271-279.
- CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991) "Plugs" fonolíticos no Gráben Assunção-Sapucaí, Paraguai Centro-Oriental. 3^o Congr. Bras. Geol./1^o Congr. Geoq. PLOP, São Paulo, Brasil, Resumos, p.127-129
- CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DEMARCHI, G.; ORUÉ, D. (1989) Geochemistry and C-O isotopes of the Chirigué carbonatite (Northeastern Paraguay). *J. South Amer. Earth Sci.*, **2**:295-303.
- CHEN, J.; HENDERSON, C.M.B.; FOLAND, K.A. (1994) Open-system, subvolcanic magmatic evolution: constraints on the petrogenesis of the Mount Bromé alkaline complex, Canada. *J. Petrol.*, **35**:1127-1153.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CAPALDI, G.; CENSI, P.; CUNDARI, A.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991a) Geoquímica dos complexos alcalinos potássicos do Paraguai Centro-Oriental. 3^o Congr. Bras. Geol./1^o Congr. Geoq. PLOP, São Paulo, Brasil, Resumos, p.100-108.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CAPALDI, G.; CENSI, P.; CUNDARI, A.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991b) Geochemistry of mesozoic K-alkaline complexes from central-eastern Paraguay. *Plinius*, **6**:149-153.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CENSI, P.; BITSCHENE, P.R.; DEMARCHI, G.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; CASTILLO, A. M.C.; VELÁZQUEZ, J.C. (1991c) Tertiary nephelinitic magmatism in Eastern Paraguay: petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with associated spinel-peridotite xenoliths. *Eur. J. Mineral.*, **3**:507-525.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; CENSI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; DE MIN, A.; ORUÉ, D.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991d) Mesozoic dyke swarm in the Sapucaí-Graben (Central-eastern Paraguay). *International Symposium on Mafic Dykes*, São Paulo, Brasil, Extended Abstracts, p.125-132.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; CENSI, P.; DE MIN, A.; BELLINI, G.; VELÁZQUEZ, V.F.; ORUÉ, D. (1992a) Potassic dyke swarm

- in the Sapucaí-Graben eastern Paraguay: petrographical, mineralogical and geochemical outlines. *Lithos*, **28**:283-301.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; DEMARCHI, D.; GIRARDI, V.A.V.; PRINCIVALLE, F.; SINIGOI, S. (1986) Evidence of mantle metasomatism and heterogeneity from peridotite inclusions of northeastern Brazil and Paraguay. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **27**:203-217.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PETRINI, R.; DE MIN, A.; VELÁZQUEZ, V.F.; ORUÉ, D. (1992b). A new area of alkaline rocks in Eastern Paraguay. *Rev. Bras. Geoc.*, **22**:500-506.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.C.; DEMARCHI, G.; GALLO, P.; VELÁZQUEZ, J.C. (1990) Petrologia do maciço alcalino de Acahay, Paraguai Oriental. *Res. Bras. Geoc.*, **20**:133-152.
- COMTE, D. & HASUI, Y. (1971) Geochronology of eastern Paraguay by potassium-argon method. *Rev. Bras. Geoc.*, **9**:59-88.
- CORDANI, U.G. (1970) Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. *Bol. IGA/USP*, **1**:9-75.
- COX, K.G.; BELL, J.K.; PANKURST, R.J. (1979) The interpretation of igneous rocks. London, George Allen & Unwin, 450p.
- CULLERS, R.L. & GRAF, J.L. (1984) Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominant basic and ultrabasic rocks. In: P. Henderson (ed.), Rare earth elements geochemistry. Elsevier, p.237-274.
- DE LA ROCHE, H.C. (1986) Classification et nomenclature des roches ignées: un essai de restauration de la convergence entre systématique quantitative, typologie de usage et modélisation génétique. *Bull. Soc. géol. France*, **2**:337-313.
- DE MIN, A. (1988) Studio petrologico e geochimico della attività filoniana alcalina di Sapucaí (Paraguay). Bs.D. Dissertation, University of Trieste, 260p.
- DE PAOLO, D.J. (1981) Trace elements and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **53**:189-202.
- DE VITO, P. (1987) Studio petrologico di xenoliti peridotici del Paraguay: implicazioni relative a metasomatismo di mantelo. Bs.D. Dissertation, University of Trieste, 210p.
- DEL MORO, A.; PUXEDDU, M.; BROIZOLO, R.F.; VILLA, I.M. (1987) Rb/Sr and K/Ar ages on minerals at temperatures of 300-400°C from deep wells in the Lardello Geothermal Field (Italy). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **81**:340-349.
- DEGRAFF, J.M. (1985) Late mesozoic crustal extension and rifting on the western edge of the

- Paraná Basin, Paraguay. *Geol. Soc. Amer. Abst.*, 17:560.
- DEGRAFF, J.M. & ORUÉ, D. (1984) Proyecto tectónico del Paraguay Suroriental: informe de progreso al termino del trabajo de campo (2da. etapa). MDN-DIM, Rep. Int., Asunción, 12p.
- DEMARCHI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE VITO, P.; SINIGOI, S.; CASTILLO, A.M.C. (1989) Lherzolite-dunite xenoliths from eastern Paraguay: petrological constraints to mantle metasomatism. In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.), *The mesozoic flood vulcanism from the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. IAG-USP, São Paulo, p.207-227.
- DERBY, O.A.A. (1896) Notas sobre a geologia e paleontologia de Mato Grosso. *Arch. Mus. Nac.*, 9:59-88.
- DRAKE, M.J. & WELL, D.F. (1975) Partition of Sr, Ba, Ca, Y, E^{+2} , E^{+3} , and other REE between plagioclase feldspar and magmatic liquid: an experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39:689-712.
- EBY, G.N. & MARIANO, A.N. (1986) Geology and geochronology of carbonatites of the Paraná Basin, Brazil-Paraguay. *Carbonatites Symposium*, Ottawa, 13p.
- EBY, G.N. & MARIANO, A.N. (1992) Geology and geochronology of carbonatites and associated alkaline rocks peripheral to the Paraná Basin, Brazil-Paraguay. *J. South Amer. Earth Sci.*, 3:207-216.
- ECKEL, E.B. (1959) Geology and mineral resources of Paraguay: a reconnaissance. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 34:110 p.
- ERNESTO, M.; RODAS, C.S.R.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C.; CUNDARI, A. (1990) Paleomagnetismo de los diques asociados al complejo alcalino de Sapucaí, Paraguay Oriental. 1er. Coloquio de Rocas Magmaticas de Paraguay, San Lorenzo, Paraguay. *Rev. Geol.*, 1:125-128.
- EVANS, J.W. (1894) The geology of Mato Grosso. *Quart. J. Geol. Soc. London*, 50:85-104.
- FAURE, G. (1986) *Principles of isotope geology*. New York, John Wiley and Sons, 589p.
- FLETCHER, C.J.N. & BEDDOE-STHEPHENS, B. (1987) The petrology, chemistry and crystallization history of the Velasco Alkaline Province, Eastern Bolivia. In: J.G. Fitton & B.G. J. Upton (eds.), *Alkaline igneous rocks*. *Geol. Soc. Sp. Publ.*, 30:403-413.
- FOLAND, K.A. (1983) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating plateaus for biotites with excess argon. *Isotope Geoscience*, 1:3-21.

- FUDALI, R.F. (1963) Experimental studies bearing on the origin of pseudoleucite and associated of alkaline rock systems. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **74**:1001-1026.
- GALLO, P. (1988) Studio petrografico del massiccio alcalino di Acahay (Paraguay Oriental). Bs. D. Dissertation, Palermo University, 188p.
- GIRET, A.; BONING, B.; LEGER, J.N. (1980) Amphibole compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring complexes. *Canadian Mineral.*, **18**:441-495.
- GITTINS, J. (1979) The feldspathoidal alkaline rocks. In: H.S.Jr. Yoder (ed.), *Evolution of the igneous rocks*. Princeton University Press, p.351-390.
- GOMES, C.B.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; MACCIOTTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, G. (1987) Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. *Geochim. Brasil.*, **1**:201-234.
- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; MELFI, A.J.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, V.F. (1989) Atividade filoniana associada ao complexo alcalino de Sapucaí, Paraguai Oriental. *Geochim. Brasil.*, **3**:93-114.
- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; ROTOLO, S.G.; VELÁZQUEZ, V.F. (1993) A Província Alcalina do Alto Paraguai (Mato Grosso do Sul e Paraguai): características geoquímicas. 4º Congr. Bras. Geoq., Brasília, DF, Resumos Expandidos, p.55-58.
- GUIMARÃES, D. (1958) Rochas alcalinas da região Fecho dos Morros no Sul do Mato Grosso e República do Paraguai. Estudos petrográficos dos sienitos da região do Fecho dos Morros. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **30**:171-174.
- HALES, F.W. (1980) An interpretation of the data from the airborne magnetic surveys in northern areas of eastern Paraguay. DRM-MOPC, T.A.C., Rep. Inter., Asunción., 119p.
- HAMILTON, D.L. & MACKENZIES, W.S. (1965) Phase-equilibrium studies in the system NaAlSiO₄-KAlSiO₄-SiO₂-H₂O. *Mineral.Mag.*, **34**:214-231.
- HARRISON, M.T. (1983) Some observations on the interpretation of ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectra. *Isotope Geoscience*, **1**:319-338.
- HENDERSON, C.M.B.& GIBB, F.G.F. (1983) Felsic mineral crystallization trends in differentiating alkaline basic magmas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **84**:355-364.

- HENDERSON, C.M.B.; PENDLEBURY, K.; FOLAND, K.A. (1989) Mineralogy and petrology of the Red Hill Alkaline igneous complex, New Hampshire, U.S.A. *J. Petrol.*, **30**:627-666.
- HESS, J.C. & LIPPOLT, H.J. (1986) Kinetics Ar isotopes during neutron irradiation: ^{39}Ar loss from minerals as a source of error in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Chem. Geol.*, **59**:223-236.
- HUTCHISON, D.S. (1979) Geology of the Apa High. DRM-MOPC, T.A.C., Rep. Inter., Asunción, 24p.
- HUTCHISON, D.S. (1980) Reconnaissance exploration in the Apa High. DRM-MOPC, T.A.C., Repor., Inter., Asunción, 13p.
- JONES, R.H. & MACKENZIES, W.S. (1989) Liquidus phase relationships in the system $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$ - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - NaAlSiO_4 - KAlSiO_4 at $P(\text{H}_2\text{O}) = 5$ kb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **101**:78-92.
- KAWASHITA, K. (1972) O método Rb/Sr em rochas sedimentares: aplicação para as Bacias do Paraná e Amazonas. Ph.D. Thesis, University of São Paulo, 111p.
- KOGARKO, L.N. (1979) Role of volatiles. In: H. Sorensen (ed.), *The alkaline rocks*. Wiley & Sons, p.474-487.
- LANDOLL, J.D.; FOLAND, K.A.; HENDERSON, C.M.B. (1989) Formation of cogenetic quartz and nepheline syenites due to crustal interaction: evidence from Marangudzi Complex, Zimbabwe. *Geol. Soc. Amer. Abstr. Prog.*, **21**:A189.
- LANDOLL, J.D.; FOLAND, K.A.; HENDERSON, C.M.B. (1994) Nd isotopes demonstrate the role of contamination and deformation of coexisting quartz and nepheline syenites at the Abu Khruq Complex, Egypt. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **117**:305-329.
- LE MAITRE, R.W. (1989) A classification of igneous rocks and glossary terms. Recommendations of the International Union of Geology Sciences, Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks. *Bkck. Scient. Publ.*, 139p.
- LAURENZI, M. & VILLA, I.M. (1987) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronostratigraphy of Vico ignimbrites. *Per. Mineral.*, **56**:285-295.
- LEMARCHAND, F.; VILLEMANT, B; CALAS, G. (1987) Trace elements distribution coefficients in alkaline series. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **51**:1071-1081.
- LIVIERES, R.A. (1987) Der karbonatite-komplex von Chiriguelo Nordost-Paraguay. Ph.D. Thesis, Clausthal University, 191p.
- LIVIERES, R.A. & QUADE, H. (1987) Distribución regional y asentamiento tectónico de los

- complejos alcalinos del Paraguay. *Zbl. Geol. Pälont., Teil I, (7/8):791-805.*
- LUTH, W.C. (1974) Resorption of silicate minerals. In: H. Sorensen (ed.), *The alkaline rocks.* Wiley & Sons, p.500-515.
- MACCIOTTA, G.; ALMEIDA, F.F.M.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; COLTORTI, M.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MORBIDELLI, L.; ROBERTI, E.; SIENA, F.; TRAVERSA, G. (1990) Petrology of tephrite phonolite suite and cognate xenoliths of the Fortaleza district (Ceará, Brasil). *Eur. J. Mineral., 2:687-709.*
- MACDONALD, G.A. & KATSURA, R. (1964) Chemical composition of Hawaiian lavas. *J. Petrol., 5:82-133.*
- MARIANO, A.N. (1978) Report on alkaline rocks. Exploration in southern Paraguay and supplement an exploration in the area of Pedro Juan Caballero. DRM-MOCP, T.A.C., Rep. Inter., Asunción, 134p.
- MATSUI, Y.; ONUMA, N.; NAGASAWA, H.; HIGUCHI, H. & BANNO, S. (1977) Crystal structure control in trace element partitioning among crystal and magma. *Bull. Mineral., 100:315-324.*
- McINTIRE, W.L. (1963) Trace elements partition coefficients - a review of theory and applications to geology. *Geochim. Cosmochim. Acta, 27:1209-1264.*
- MILCH, L. (1905) Über die chemische Zusammensetzung eines limburgites, eines phonolithischen Gesteines und einiger Sandsteine aus Paraguay. *Tscherm. Miner. Petr. Mitt., 24:213-226.*
- MORAES, L.J. (1958) Rochas alcalinas da região Fecho dos Morros, no Sul de Mato Grosso e República do Paraguay. Distribuição geográfica das montanhas sieníticas do Fecho dos Morros. *An. Acad. brasil. Ciênc., 10:1-27.*
- PALMIERI, J.H. (1973) El complejo alcalino potásico de Sapucaí (Paraguay Oriental). Ph.D. Thesis, University of Salamanca, 298p.
- PALMIERI, J.H. & ARRIBAS, A. (1975) El complejo alcalino potásico de Sapucaí (Paraguay Oriental). *Congr. Ibero-Amer. Geol. Econ., Buenos Aires, Anais, 2:267-300.*
- PANKHURST, R.J.; BECKINSALE, R. D.; BROOKS, R.K. (1976) Strontium and oxygen isotope evidence relatione, to the petrogenesis of the Kangerdlugssuay alkaline intrusion, East Greenland. *Contrib. Mineral. Petrol., 54:17-42.*
- PROJETO BODOQUENA (1979) Geologia das regiões centro e oeste do Mato Grosso do Sul. *Sér. Geol., Seção. Geol. Bás., 3, 111p.*

- PROJETO PAR 83/005-PNYD-MDN (1986) Mapa geológico del Paraguay. Texto explicativo, Asunción, 270p.
- PROJETO RADAMBRASIL (1982) Campo Grande, Folha SF-21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra. MME/Secretaria Geral, v. 28, 412p.
- PUTZER, H. (1961) Die geologie von Paraguay. Beitr. Reg. Geol. Erder, 2:182p.
- PUTZER, H. & VAN DEN BOOM, G. (1962) Über einige vollkommen von alkaligesteinen in Paraguay. Geol. Tb., 79:423-444.
- SANSON, S.D. & ALEXANDER, E.C.Jr. (1987) Calibration on the interlaboratory $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating Standard, MMhb-1. Chem. Geol., 66:27-34.
- SHAIRER, J.F. & BOWEN, N.L. (1935) Preliminary report on equilibrium relations between feldspathoids, alkali feldspars and silice. Am. Geophys. Union Trans., 16:325-328.
- SCHNETZLER, C.C. & PHILPOTTS, J.A. (1970) Partition coefficients of rare earth elements between igneous matrix material and forming mineral phenocrysts. Geochim. Cosmochim. Acta, 34:77-106.
- SIZE, W.B. (1972) Petrology of the Red Hill Syenite Complex, New Hampshire. Geol. Soc. Amer. Bull., 83:3737-3760.
- SORENSEN, H. (1979) The alkaline rocks. London, Wiley & Sons, 622p.
- SORENSEN, H. (1986) The alkaline rocks: review. Fortschr. Miner., 64:63-86.
- STEIGER, R.H. & JÄGER, E. (1978) Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geochronology. Contribution to the geologic time scale. Studies in Geology. 6:67-72.
- STORMER, J.C.; GOMES, C.B.; TORQUATO, J.R.F. (1975) Spinel ilmenite nodules in basaltic lavas from Asunción, Paraguay. Rev. Bras. Geoc., 5:176-185.
- SUN, S.S. & HANSON, G.N. (1976) Rare earth element evidence for differentiation of MacMurdo Volcanics, Ross Island, Antarctica. Contrib. Mineral. Petrol., 54:139-155.
- TAYLOR, H.P.Jr. (1980) The effects of assimilation of country rocks by magma on $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ systematics in igneous rocks. Earth Planet. Sci. Lett., 47:243-254.
- THOMAS & ASSOCIATES (1976) Preliminary Earths interpretation southeastern Paraguay. DRM-MOPC, T. A. C., Rep. Inter., Asunción, 20p.
- TUTTLE, O.F. & BOWEN, N.L. (1958) Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Geol. Soc. Amer. Mem., 74:153p.

- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sci. Rev.*, **5**:176-185.
- VELÁZQUEZ, V.F. (1992) *Provincia Alcalina Central, Paraguai centro-oriental: aspectos tectônicos, petrográficos e geocronológicos*. Ms.D. Dissertation, University of São Paulo, 119p.
- VELÁZQUEZ, V.F.; DE MIN, A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, J.C. (1990) Vulcanismo mesozóico no Paraguai centro-oriental (Área Ypacaraí-Sapucai). 1er. Coloquio de Rocas Magmáticas de Paraguai. Univ. Nac. Asun., Fac. Ci. Exact. Nat., Resumo.
- VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B.; CAPALDI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; KAWASHITA, K.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M. (1992) Magmatismo alcalino mesozóico na porção centro-oriental do Paraguai: aspectos geocronológicos. *Geochim. Brasil.*, **6**:23-35.
- VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W. (1993) Geocronologia da Provincia Alcalina do Alto Paraguai (Área Puerto Guaraní-Porto Murtinho): considerações preliminares. 4º Congr. Bras. Geol., Brasília, DF, Resumos Expandidos, p.245.
- VELÁZQUEZ, V.F.; KAWASHITA, K.; GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. (1990) Provincia Alcalina Central, Paraguai: dados geocronológicos preliminares. *Rev. Geol.*, **1**:117.
- VILLEMANT, B.; JAFFREZIC, H.; JORON, J.L.; TREUIL, M. (1981) Distribution coefficients of major and trace elements; fractional crystallization in the alkali basalt series of Chaîne des Puys (Massif Central, France). *Geochim. Cosmochim. Acta*, **45**:1997-2016.
- WATSON, E.B. (1979) Zircon-saturation in felsic liquids: experimental results and application to trace element geochemistry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**:409-419.
- WIENS, F. (1986) Zur lithostratigraphischen und strukturellen entwickwng des Rio Apa Hochlandes, Nordost Paraguay. Ph.D. Thesis, Clausthal University, 280p.
- WILLOUGHBY, N.O. (1979) The geology and economic potencial of the Centurion High (Northeastern Paraguay). DRM-MOPC, T. A. C., Rep. Inter., Asunción, 20p.
- WOOD, D.A. (1979) A variably veined suboceanic upper mantle. Genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, **7**:499-503.
- ZENG, R.S. & MACKENZIES, W.S. (1984) Preliminary report on the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O at $P(\text{H}_2\text{O}) = 5 \text{ kb}$. *Bull. Mineral.*, **107**:571-577.

ZIELINSKI, R.A. (1975) Trace element evaluation of a suite from Reunion Island, Indian Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**:713-734.