

ASPECTOS GEOQUÍMICOS DAS ROCHAS ALCALINAS DO MACIÇO DO BANHADÃO, PR

E. Ruberti - USP
C. B. Gomes - USP
C. V. Dutra - Geologia e Sondagens Ltda., BH

ABSTRACT

The alkaline massif of Banhadão, located near Cerro Azul, State of Paraná, southern Brazil, occupies an area of about 8 km² and is constituted by three magmatic associations: a group of mesocratic to leucocratic coarse nepheline syenites (NeS) (melanite NeS, NeS I, and light reddish and grey varieties of NeS II); a second group of medium to fine-grained ultrabasic to basic rocks (phlogopite melteigites and petrologically related malignites and feldspar-melanite ijolites); and a group of fine-grained to aphanitic phonolitic dikes, cutting NeS.

The rocks of the complex are miaskitic, showing low concentrations of trace elements (V, Th and mainly REE), lack of rare-metal silicates, and relative abundance of apatite and sphene. NeS are distinguished by a differentiation trend in which highly differentiated end members are enriched in alkalis and Al₂O₃, with decrease in MgO, FeO (total), CaO and TiO₂. The less differentiated melanite-rich rocks show higher concentrations in Zr, Nb, Y and V. Phlogopite melteigites and associated rocks show the highest contents of MgO, FeO (total), CaO and TiO₂, and the lowest concentration of alkalis and Al₂O₃; they are significantly enriched in Ba and are the only rocks with detectable amounts of Ni, Cu and Cr. The phonolites are chemically similar to NeS.

The Banhadão rocks were probably formed during successive intrusions of two different magmas types. The source of NeS and phonolites was probably a nephelinitic magma, while phlogopite melteigites and related rocks were probably derived from an alkali-enriched ferromagnesian magma. Both parent magmas probably derived by melting of rocks of the lower crust or upper mantle.

RESUMO

O maciço alcalino do Banhadão, situado a 20 km a noroeste de Cerro Azul, Estado do Paraná, ocupa área aflorante de aproximadamente 8 km², e compõe-se de três associações magmáticas distintas: a primeira consiste em diversos tipos de nefelina sienitos (NeS) de granulação grossa com amplas variações mineralógicas, incluindo desde rochas leucocráticas até mesocráticas (melanita NeS, NeS I, NeS II-róseos e NeS II-cinzas); a segunda pertencem rochas ultrabásicas a básicas, de granulação fina a média (flogopita melteigitos e rochas petrológica mente afins, os malignitos e feldspato-melanita ijolitos); a terceira engloba diques de rochas fonolíticas, com granulação fina a afanítica, cortando nefelina sienitos.

As rochas do complexo possuem caráter tipicamente "miasquítico", com pequenas concentrações de elementos traços (V, Th e principalmente terras raras), ausência de silicatos de metais raros, e re

lativa abundância de apatita e titanita. Os nefelina sienitos exibem variações químicas gradacionais compatíveis a processo de diferenciação magmática, sendo os membros finais mais diferenciados enriquecidos em álcalis e Al_2O_3 , e empobrecidos em MgO , FeO (total), CaO e TiO_2 . Os termos petrográficos menos diferenciados, como os melanita nefelina sienitos, mostram concentrações mais elevadas de Zr, Nb, Y e V. Os flogopita melteigitos e rochas associadas exibem os maiores conteúdos de MgO , FeO (total), CaO e TiO_2 , e os menores de álcalis e Al_2O_3 ; são significativamente enriquecidos em Ba e praticamente as únicas rochas a contarem teores detectáveis de Ni, Cu e Cr. Os fonolitos são quimicamente semelhantes aos nefelina sienitos.

As rochas do Banhadão foram provavelmente formadas durante intrusões de caráter petrológico definido, a partir de dois tipos de magmas; um magma de composição nefelinítica teria se diferenciado gerando as diversas variedades de nefelina sienitos e fonolitos; enquanto que outro, de composição ferromagnesiana enriquecida em álcalis, teria dado origem aos flogopita melteigitos e rochas afins. Aparentemente, são magmas alcalinos de caráter primário, originados pela fusão direta de rochas da região basal da crosta ou do manto superior.

INTRODUÇÃO

Numerosos focos alcalinos com ou sem carbonatitos acham-se presentes nas circunvizinhanças de Cerro Azul, Estado do Paraná, ocorrendo na forma de pequenos corpos (stocks, necks, plugs e diques) intrusivos em rochas granitóides do Complexo Três Córregos (idade eopaleozóica) ou em metassedimentos pertencentes ao Grupo Açungui (idade provável precambriana). Eles se dispõem nas bordas da Bacia do Paraná segundo alinhamentos preferenciais, todos ao longo do eixo Tunas-Varzeão, de direção N45W, e têm sua origem ligada a importante episódio magmático atuante durante o mesozóico.

Esse importante evento parece definir, nos limites NE do Estado do Paraná e SW do Estado de São Paulo, dois conjuntos petrográficos (Ulbrich e Gomes, 1981): um formado por estruturas alcalino-carbonatíticas, representadas pelas ocorrências de Itapirapuã, Barra do Itapirapuã e Mato Preto, e outro constituído por intrusões alcalinas, como Banhadão, Barra do Teixeira, Sete Quedas e Tunas, além de diversos outros corpos menores aflorando na região de Cerro Azul.

Investigações de detalhe sobre a maioria dessas ocorrências são restritas. As referências encontradas na literatura geológica são comumente de caráter geral, com a maior parte dos artigos se ocupando da caracterização preliminar da sua mineralogia e petrografia; como exceções citam-se os estudos petrológicos realizados em Itapirapuã (Gomes, 1970), Tunas (Fuck, 1972) e Banhadão (Ruberti, 1984; Ruberti e Gomes, 1984). Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo primordial apresentar resultados sobre a química global das principais unidades petrográficas do maciço do Banhadão, visando não apenas contribuir para o conhecimento de sua própria história petrogenética, como também para uma futura correlação com os demais focos alcalinos existentes na região.

GEOLOGIA

O maciço alcalino do Banhadão possui forma irregular, semelhante a uma pera, e se estende por área aflorante de aproximadamente 8 km² (Fig. 1). Sua estrutura compreende duas chaminés principais dispostas na direção EW, e alguns condutos secundários que emergem principalmente na região lateral entre aquelas duas feições.

O maciço delimita-se com rochas granitóides encaixantes do Complexo Três Córregos através de falhas, ocorrendo na região de contato estruturas orientadas e deformações cataclásticas. Nesse sentido, rochas resultantes de processo de fenitização não foram observadas, ape-

nas reconhecidos efeitos metassomáticos incipientes junto à região de contato da intrusão.

Do ponto de vista petrográfico, compõe-se principalmente de rochas leucocráticas de granulação grossa do campo 11 (nefelina sienitos) do diagrama de classificação modal da IUGS (Streckeisen, 1976). Rochas máficas de granulação fina a média da série urtito-ijolito encaixam-se com auréola de reação (malignitos) aos nefelina sienitos II-róseos e cinzas, e ocupam a parte central da chaminé principal (lado leste); por sua vez, pequenos diques fonolíticos recortam as diversas variedades petrográficas de granulação grossa. No lado oeste do maciço, junto às encaixantes regionais, aparece lava fonolítica carbonatizada e muito rica em sodalita.

Idades radiométricas K/Ar (biotita, feldspato alcalino e rocha total) forneceram idades cretácicas para essas rochas (Hama et al., 1977; Ruberti, 1984).

ASPECTOS PETROGRÁFICOS

O maciço é composto de material exclusivamente insaturado mostrando amplas variações mineralógicas; incluem-se aí desde rochas leucocráticas até melanocráticas, todas elas isentas de plagioclásio. As feições texturais permitem caracterizar três tipos petrográficos distintos, consolidados em condições geológicas próprias: o primeiro refere-se às rochas de granulação grossa, exemplificadas por nefelina sienitos diversos (melanita-nefelina sienitos, nefelina sienitos I, nefelina sienitos II-róseos e nefelina sienitos II-cinzas); o segundo é representado por rochas de granulação fina a média, como os flogopita melteigitos; e o terceiro engloba as variedades finas a afaníticas, e denominadas genericamente de fonolitos.

Os nefelina sienitos constituem-se no tipo petrográfico mais abundante e de maior distribuição geográfica. Exibem predominantemente coloração cinza, entretanto, variedades de tonalidade rosa-avermelhado são encontradas na parte centro-oriental do maciço. São rochas de granulação invariavelmente média a grossa, textura diversa (equigranular, hipidiomórfica a xenomórfica e, por vezes, poiquilítica com feldspato potássico englobando nefelina, piroxênios e melanita), e com uma mineralogia essencial consistindo em feldspato potássico, nefelina e máficos (piroxênios; às vezes, também melanita). As fases acessórias constam de titanita, apatita, opacos e, mais raramente, wollastonita e calcita. Ao lado dessas rochas existem outras trazendo quantidades elevadas de melanita ou intercrescimento feldspato potássico com nefelina, tendo sido denominadas de melanita-nefelina sienitos e nefelina sienitos I, respectivamente, para diferenciar das demais (nefelina sienitos II).

Rochas de natureza básica e ultrabásica, como flogopita melteigitos, ocupam área de menor expressão. Situam-se nas partes centrais da chaminé principal (lado leste) e exibem contato gradacional com suas encaixantes, os nefelina sienitos II-róseos e cinza. Atividades reomórficas sobre essas encaixantes produziram uma auréola de malignitos e, talvez, feldspato-melanita ijolitos, equivalente a um fácies petrográfico de natureza intermediária às encaixantes intrusivas. De modo geral os flogopita melteigitos são rochas máficas, faneríticas de granulação fina a média, equigranulares, e formadas essencialmente de piroxênios, flogopita, nefelina e noseana (sodalita), em ordem decrescente de abundância; como acessórios aparecem apatita, opacos e calcita. Variedades fortemente enriquecidas em nefelina em especial, e em algum feldspato, definem os malignitos e feldspato-melanita ijolitos.

Diques fonolíticos, com dimensões inferiores a 1 metro, cortam as diversas variedades de nefelina sienitos. Exibem cores esverdeadas, escuras e em geral são homogêneos, maciços, além de praticamente afaníticos. Ao microscópio nota-se abundância de microfenocristais de feldspato alcalino, piroxênios e nefelina, imersos em matriz

de feldspato alcalino, nefelina, piroxênios, cancrinita, sodalita, fluo-rita e possivelmente zoisita.

MINERALOGIA

A descrição mineralógica das rochas alcalinas do Banha-
dão é acompanhada de algumas informações químicas extraídas de Ruberti
(1984).

A nefelina constitui na maioria das rochas o mineral pre-
dominante. Em geral é subidiomórfica a xenomórfica, entretanto, algu-
mas vezes mostra-se idiomórfica, indicando maior grau de liberdade na
sua formação. Ocorre também intercrescida com o feldspato potássico
(fingerprint), além de associada à cancrinita, seu principal produto
de alteração. Nas variedades petrográficas de granulação grossa, nefe-
lina formou-se em estágio intermediário de cristalização (após soda-au-
gita ou ao lado de egirina-augita), e exibe composição variável no in-
tervalo $Ne_{77,7-77,9}Ks_{22,1-16,5}Qz_{0,2-5,6}$. Nas rochas de granulação fina a me-
dia, cristalizou-se nos estágios finais, variando a composição de
 $Ne_{75,5-77,9}Ks_{24,5-16,5}Qz_{0-5,6}$; os valores altos são encontrados junto aos ma-
lignitos e feldspato-melanita ijolitos. Já nas finas a afaníticas, a
composição situa-se em torno de $Ne_{74,3}Ks_{19}Qz_7$ para os fenocristais e de
 $Ne_{74,3}Ks_{18}Qz_{7,7}$ para a matriz.

Os feldspatos potássicos formam, ao lado da nefelina,
os minerais félsicos mais importantes desse conjunto de rochas; apenas
não foram reconhecidos nos flogopita melteigitos. Ocorrem na maior par-
te das vezes como cristais subidiomórficos a xenomórficos, com dimen-
sões variáveis de alguns milímetros (fonolitos) até vários centímetros
(nefelina sienitos diversos). Geminação de Carlsbad e Baveno, além de
estruturas pertíticas, estão em geral presentes. Contudo, nas rochas
mais empobrecidas nesses minerais, eles são límpidos e desprovidos de
pertita. Difractogramas de raios X demonstram ausência do pico 131, con-
ferindo a esses feldspatos triclinicidade zero e caracterizando-os co-
mo ortoclásio; nos fonolitos eles acham-se representados por sanidí-
nio. A sua composição cobre o intervalo $Or_{99,1-91,6}$ nos melanita-nefeli-
na sienitos e nefelina sienitos I; $Or_{58,6-94,5}$ e $Or_{83,0-90,6}$ nos nefelina
sienitos II, respectivamente, róseos e cinzas; $Or_{86,2-84,9}$ e Or_{89} , respec-
tivamente, nas bordas e núcleos de fenocristais e matriz dos fonolitos
(Ruberti, 1984).

Os piroxênios formam uma série única de clinopiroxênios,
tendo como membros principais soda-augita, egirina-augita e egirina.

Soda-augitas estão presentes nas diversas variedades pe-
trográficas seja como indivíduos isolados (junto aos flogopita meltei-
gitos, feldspato-melanita ijolitos e alguns nefelina sienitos I), seja
como núcleo de cristais zonados (principalmente nos melanita-nefelina
sienitos, malignitos e, mais raramente, nos nefelina sienitos II-ró-
seos). Aparecem como cristais subidiomórficos e xenomórficos (por ve-
zes idiomórficos nos flogopita melteigitos), límpidos ou poiquilíticos
(incluindo apatita, titanita e opacos), coloração verde claro à amare-
lado, e pleocroísmo muito fraco. Sua composição varia entre $Di_{87,3-68,6}$
 $Hd_{8,1-11,9}Ac_{4,6-19,5}$.

Egirina-augita é o membro mais abundante da série, sen-
do encontrado principalmente como cristais individualizados nos nefeli-
na sienitos I, nefelina sienitos II-róseos e cinzas e fonolitos ou, al-
ternativamente, como bordas de cristais zonados nas demais variedades
petrográficas. Representa o máfico mais importante dessas rochas, apre-
sentando-se como grãos subidiomórficos a xenomórficos. A coloração do
minante é esverdeada, enquanto que zoneamento, do tipo gradacional ou
setorial, ocorre com frequência. Esses piroxênios exibem variação tran-
sicional de composição na sequência: nefelina sienitos I, nefelina sie-
nitos II-róseos, nefelina sienitos II-cinzas, fonolitos; como valores
extremos têm-se $Di_{70,6}Hd_{7,8}Ac_{21,6}$ e $Di_{6,7}Hd_{25,3}Ac_{68,0}$.

Egirinas foram identificadas apenas junto a duas amo-

tras de nefelina sienitos II, coexistindo com egirina-augitas ricas em sódio. Formam aglomerados intersticiais, mostrando coloração verde escura, pleocroísmo baixo $X_{Ac}=5^\circ$. A composição varia de $Di_{11,6-7,3}$ $Hd_{1,6-10,0}$ $Ac_{86,8-82,7}$.

Melanitas são abundantes tão só nos melanita-nefelina sienitos e feldspato-melanita ijolitos (ocasionalmente podem ocorrer nos nefelina sienitos I e II). Ocorrem ora como produto de transformação de piroxênios; ora na forma de "capas" de tonalidade marron claro envolvendo núcleos escuros do mesmo mineral, e originados a partir da cristalização de soluções residuais enriquecidas em Fe^{3+} , Ca e Ti; e ora como micro-fenocristais e constituinte da matriz de rochas de dique (fonolitos), representando mineral de cristalização primária. São granadas de natureza essencialmente cálcica-férrica, tendo andradita como componente molecular básico.

Biotitas e flogopitas estão presentes principalmente como fases deutéricas substituindo piroxênios, na forma de cristais isolados ou como agregados intersticiais. Nos flogopita melteigitos são abundantes e quimicamente mantêm a relação $Mg:Fe > 2,0$ (flogopita); já nos melanita-nefelina sienitos aparecem com pequena concentração modal, correspondendo a biotitas.

Minerais do grupo de sodalita alcançam teores modais elevados apenas nos nefelina sienitos II-róseos e cinzas. Suas relações texturais sugerem que essas fases representam produto de cristalização tardia, ou mesmo, de estágio hidrotermal.

GEOQUÍMICA

Trinta amostras representativas dos principais tipos petrográficos do maciço (Fig. 1) foram analisadas por fluorescência de raios X e espectrografia óptica, e determinados seus elementos maiores, menores e traços, incluindo terras raras. Os resultados foram agrupados nas Tabelas 1 a 6, segundo as associações mineralógicas. Delas foram excluídos diversos elementos - B, Zn, Se, Mo, Ag, Sn, Sb, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Y, W, Au, Bi e Th - que apresentaram teores abaixo do limite de sensibilidade da técnica analítica empregada. Das Tabelas 1 a 4 constam também as normas moleculares CIPW e os valores do coeficiente agpaítico (Na_2O+K_2O/Al_2O_3 , proporção molecular).

Vistas sob a ótica química, as rochas como um todo têm como características principais a pobreza em sílica e a abundância em álcalis e voláteis principalmente. Alguns elementos traços ocorrem em concentrações altas: V, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba e, por vezes, Y e La. O caráter fortemente insaturado e alcalino dessas rochas se reflete de pronto na sua análise normativa, onde nefelina acha-se invariavelmente presente em quantidades elevadas (entre 12,49 e 43,86%) e, na maioria das vezes, também leucita (entre 0 e 35,33%, à exceção da amostra 16 com 63,68%). Em geral, as amostras exibem ampla variação do índice agpaítico, cujos valores se situam entre 0,85 e 1,24, tendo como valor médio 1,03. Essas feições sugerem, numa primeira aproximação, que as rochas do Banhadão evoluem quimicamente no sentido de uma transformação para material de natureza agpaítica. Entretanto, no entender de Gerasimovskii (1956), Sørensen (1960) e Edgar (1974, 1977), agpaítos são rochas alcalinas com quimismo e mineralogia bem particulares, senão exóticas, que possuem riqueza em Sr, Th, U e H_2O , concentrações anômalas de F, Cl, Zr, Nb, terras raras e Fe_2O_3 (relativo a FeO), além de baixos teores em MgO , CaO e CO_2 , quando confrontadas com outras alcalinas ou peralcalinas de grau similar de acidez (SiO_2). Essas feições químicas se manifestam diretamente na mineralogia, com o aparecimento de fases distintivas, além da abundância de minerais raros, ou seja, silicatos sem alumínio portadores de metais raros (rinkita, eudialita, enigmatita, lamprofilita, etc.). Ainda segundo Gerasimovskii (1956), os elementos F e P perdem sua afinidade com Ca, passando a se associar geneticamente com Na, de modo que, em lugar de fluorita ou apatita, essas

rochas podem trazer em sua composição villiaumita (NaF) e lomonosovita. Assim, ressalta-se a pequena significação do índice apatítico quando tomado isoladamente.

Dentro desse contexto químico-mineralógico geral, as pequenas concentrações de Th e U, e sobretudo terras raras, a aparente ausência de minerais raros e a presença comum de apatita, titanita e, por vezes, fluorita (am. 31), constituem evidências do caráter tipicamente "miasquítico" das rochas que compõem o maciço.

Com o objetivo de conhecer o comportamento geoquímico nos diversos tipos petrográficos, elementos maiores, menores e alguns traços foram projetados relativamente à concentração de SiO_2 (Figs. 3 a 6).

Atividade alcalina de caráter granular grosseiro

As tendências químicas na evolução dessas rochas podem ser prontamente visualizadas no diagrama AFM (Fig. 2). É notória a concentração dos pontos dispondo-se quase que paralelamente ao lado Fe-Alk do triângulo, a evidenciar enriquecimento de álcalis e empobrecimento de ferro e magnésio; este último elemento perde sua importância nos termos mais diferenciados da série.

Os resultados químicos indicam que as rochas de granulação grossa são de natureza essencialmente félsica, com os tipos mais básicos representados por alguns melanita-nefelina sienitos (41 a 45% de SiO_2), e os mais ácidos por alguns nefelina sienitos II-róseos e cinzas (respectivamente, 54 e 56% de SiO_2); entre eles, os nefelina sienitos I (49 a 52% de SiO_2). As curvas de variação sugerem a existência de mudança composicional gradativa dentro de cada um desses tipos petrográficos, que, no seu conjunto, se correlacionam de modo sequencialmente linear. Essas mudanças, conquanto pequenas ressalvas, consistiriam essencialmente em aumento dos conteúdos de Al_2O_3 , K_2O e Na_2O com SiO_2 crescente (Fig. 3), e na diminuição concomitante de Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , CaO , MgO e P_2O_5 (Fig. 4), quando passando dos melanita-nefelina sienitos até nefelina sienitos II-cinzas. Destaque-se a presença de termos nitidamente perpotássicos (nefelina sienitos I).

Os teores de K_2O e Al_2O_3 , que inicialmente acompanham o de Na_2O , sofrem declínio nas variedades mais diferenciadas (acima de 50,5% de SiO_2). Em valores normativos, essas variações químicas se traduzem na sensível diminuição ou mesmo desaparecimento de leucita, ao lado do correspondente aumento de ortoclásio e nefelina; nos membros mais diferenciados, nefelina é compensada por metassilicato de sódio devido à diminuição de Al_2O_3 .

Em termos de elementos traços, os comportamentos de Ba e Sr não obedecem qualquer tendência definida, sendo marcados por grande dispersão de pontos. Em verdade, esses elementos seguem de modo grosseiro e parcial o padrão normal de magmas alcalinos diferenciados, de acordo com Goldschmidt (1954) e Taylor (1965). Assim, algumas amostras de composição intermediária mostram-se mais enriquecidas em Ba e Sr (respectivamente, 4000 e 1400 ppm), enquanto que outras, tendendo para composições mais ácidas e mais básicas, acham-se mais empobrecidas nesses elementos. Entretanto, o conjunto de pontos ostenta tamanho espalhamento que impossibilita o estabelecimento de qualquer padrão de referência.

Ba e Sr projetados contra K e Ca (Figs. 7 e 8) se caracterizam também pela ausência de correspondência linear. O conceito de diadoquia Sr-K é baseado na presença de teores apreciáveis de Sr em feldspato alcalino. Segundo Siedner (1965), os raios iônicos de Ba^{2+} (1,34 Å) e de K^+ (1,33 Å) permitem estruturalmente que Sr substitua um deles com igual facilidade. Contudo, considerando as demais características iônicas desses elementos, a maior aproximação esperada seria entre Sr e Ba. Nesse sentido, o gráfico Sr/Ba (Fig. 9) apresenta aparentemente nítida correlação positiva nos melanita-nefelina sienitos, numa relação aproximada de $\text{Sr}=1,5 \text{ Ba}$, e forte dispersão junto às demais va

riedades petrográficas. Esse fato parece indicativo de que Ba exerceu importante controle sobre a distribuição de Sr nessas rochas.

Rb exibe correlação positiva com SiO_2 , a despeito de pequena dispersão junto aos nefelina sienitos I (Fig. 5); a concentração varia de 95 a 595 ppm. Por outro lado, a relação K/Rb comporta-se de forma antagônica à do Rb, sugerindo enriquecimento do elemento relativamente a K nas rochas mais diferenciadas. Similarmente ao Rb, Ga concentra-se primordialmente junto às variedades mais ácidas, com o teor variando de 24 a 58 ppm.

Zr, Nb, Y e La têm comportamento irregular entre as diversas variedades petrográficas, concentrando-se contudo preferencialmente em rochas mais básicas, sobretudo os melanita-nefelina sienitos. Provavelmente esses elementos associam-se à estrutura de melanitas, piroxênios (natureza cálcica), titanita ou mesmo apatita (caso do lantânio). Zr varia de 20 a 620 ppm, Nb de 20 a 560 ppm, Y de 10 a 96 ppm e La de 30 a 100 ppm; os dois últimos elementos mostrando em grande número de amostras concentrações abaixo do limite de detecção da técnica (30 e 10 ppm, respectivamente).

U foi detectado em todas as amostras, sempre com teores muito baixos (1 a 23 ppm); Th e Pb possuem conteúdos abaixo do limite de sensibilidade (30 a 10 ppm, respectivamente).

As variedades petrográficas bem diferenciadas, como os nefelina sienitos II-róseos e cinzas, contêm concentrações altíssimas de Cl, por vezes alcançando valores superiores a 8000 ppm (e uma anomalia com 32000 ppm). Esse caráter anômalo acha-se relacionado com soluções ricas em sódio (cristalizando enorme quantidade de sodalita) que se introduziram ao longo de fraturas; além disso, o processo de infiltração não se restringiu a um único local, existindo evidências por toda a área.

Atividade alcalina de caráter granular médio a fino

As rochas de granulação média a fina (flogopita melteigitos e variedades híbridas geneticamente afins, malignitos e feldspato-melanita ijolitos) caracterizam mineralogia estritamente ferromagnésiana. É nos melteigitos que se encontram as maiores concentrações de TiO_2 , Fe (total), MgO e CaO e as mais baixas de Al_2O_3 , Na_2O e K_2O . No diagrama AFM (Fig. 2), os flogopita melteigitos ocupam sua porção central, evidenciando caráter bem distinto e acentuadamente ultramáfico.

No tocante aos elementos traços, elas se destacam por serem praticamente as únicas a possuírem teores apreciáveis de Ni, Cu e Cr, e a contarem com Ce (220 a 340 ppm nos flogopita melteigitos). As sinala-se, ainda, os conteúdos apreciáveis de La, além de anomalias de Ba.

O teor em Ba dessas rochas, alto em relação às demais de natureza básica, parece refletir um comportamento anormal do elemento, visto que ele deveria concentrar-se nas variedades mais feldspáticas. No entanto, os flogopita melteigitos compõem-se principalmente de piroxênios, nefelina e flogopita, com este último mineral representando mais de 28% do volume total da rocha. Sabe-se que Ba substitui K, Na e Ca nas posições intercamadas de minerais do grupo da biotita, sendo o esquema de substituição, segundo Mansker et al. (1979), do tipo $\text{K}+3(\text{Mg}, \text{Fe})+\text{Si}=\text{Ba}+2\text{Ti}+3\text{Al}$. Diversas ocorrências de biotita e flogopita portadoras de altas concentrações de Ba são citadas na literatura (Thompson, 1977; Wendlandt, 1977; Gaspar e Wyllie, 1982). Assim, a presença de flogopita responde pela concentração anômala do elemento nos flogopita melteigitos, conforme indicado pelas análises do mineral chegando a conter 1,76% de BaO (Ruberti, 1984).

Atividade alcalina de caráter granular fino a afanítico

As rochas correspondentes à última manifestação magmática

ca (fonolitos), ocorrendo na forma de diques, têm comportamento mineralógico similar ao das rochas de granulação grossa. Quimicamente, à luz de apenas uma análise, representam termos similares aos nefelina sienitos II-róseos e cinzas bem mais diferenciados.

PETROLOGIA

O maciço do Banhadão encontra-se indiscutivelmente situado no interior de área afetada por intensa atividade magmática alcalina, que se manifesta segundo alinhamentos preferenciais, e apresenta associações petrográficas diversas.

As relações de campo sugerindo várias fases intrusivas, a evidente ação de contato com desenvolvimento inclusive de auréolas no interior do corpo, a indiscutível inexistência de qualquer correlação genética entre as alcalinas e as encaixantes graníticas, e as analogias petroquímicas e mineralógicas entre as rochas do Banhadão e outras com gêneres como Itapirapuã e Juquiá, distantes algumas dezenas de quilômetros, representam indícios concretos da ação de processos de magmatismo profundo.

Com base em Bailey (1964, 1970, 1972, 1974), Harris (1969), Gass (1970) e Sørensen (1974), pode-se supor que as rochas do Banhadão se derivaram a partir de magmas alcalinos primários originados por fusão de componentes das raízes da crosta ou diretamente do manto, enriquecidos de álcalis por processos metassomáticos (nefelinização, flogopitização ou piroxenitização), em regiões submetidas à pressão reduzida devida a movimentações crustais.

Em verdade, o condicionamento dos complexos alcalinos por estruturas tectônicas profundas é fato plenamente reconhecido por vários investigadores: Freitas (1944), Almeida (1969, 1971, 1983), Grossi-Sad (1972), Algarte (1972), Asmus (1978) e Ferreira e Algarte (1979). Contudo, se a fusão do material mantélico foi importante, senão o principal processo de derivação da série alcalina do Banhadão, ela em si não responde satisfatoriamente a todos os fatos observados, particularmente no decorrer dos sucessivos pulsos magmáticos, como, por exemplo: tendências químicas, sobretudo dos elementos maiores, variações mineralógicas graduais, concentrações crescentes de sílica passando sucessivamente de termos ultrabásicos (41% de SiO_2 em alguns melanita-nefelina sienitos) a intermediários (56% de SiO_2 em alguns nefelina sienitos II) — que levaram à formação das rochas dos três ciclos principais.

No que tange às rochas félsicas grosseiras, o comportamento dos elementos principais e dos menores relativo à sílica permite concluir, segundo Bowen (1928), e salvo pequenas exceções, que grosso modo eles acompanham a tendência normal esperada de um processo de cristalização fracionada. Chama-se a atenção para as dispersões observadas para a distribuição de K_2O e Al_2O_3 nos nefelina sienitos I. Por outro lado, deve-se ressaltar que o comportamento químico de alguns elementos junto aos flogopita melteigitos (MgO , Na_2O , Al_2O_3) é bem distinto, fato que acarreta fortes dispersões nos diagramas, além de afastamento dos pontos correspondentes relativos à curva de tendência seguida nas demais rochas.

A concentração dos elementos traços ao longo da série de rochas investigadas não apresenta em linhas gerais variações regulares, em conformidade com aquilo que se observa em associações fortemente diferenciadas. Assim, dentre esses elementos, Cu, Cr e Ni se concentram quase exclusivamente nos flogopita melteigitos; contudo, nas mesmas rochas Sr e Ba ocorrem em concentrações muito altas, quando o normal seriam teores baixos. Esses fatos sugerem que o comportamento petrogenético dos flogopita melteigitos é bem distinto das demais associações, e que, muito provavelmente, eles se formaram num ciclo à parte.

Outros elementos traços (Zr, Nb, Y e V) também não seguem tendência normal de diferenciação, apresentando teores mais elevados junto às rochas de granulação grossa e de natureza mais básica. O

comportamento desses elementos parece estar relacionado mais com a mineralogia antes que o próprio processo de diferenciação, tendo em vista que eles estão concentrados sobretudo nas rochas portadores de melanita em sua composição.

Além dos aspectos geoquímicos, existem outros indicadores da ação de cristalização fracionada, como a própria mineralogia, representada pela sequência de cristalização de piroxênios. Piroxênios exibem amplas variações composicionais em função da natureza química do meio, e das condições físicas atuantes sobre o sistema em que se cristalizaram. Esses minerais ocorrem invariavelmente em todos os tipos petrográficos do complexo; formam uma série única de clinopiroxênios, passando gradativamente de soda-augita ($\text{Di}_{87,3}\text{Hd}_{8,1}\text{Ac}_{4,6}$) nos melanita-nefelina sienitos mais básicos até egirina-augita ($\text{Di}_{6,7}\text{Hd}_{25,3}\text{Ac}_{68,0}$) nos nefelina sienitos II-róseos e cinzas mais ácidos, com a diminuição dos teores de CaO e MgO acompanhando rigorosamente a alcalinização da rocha. Por outro lado, cristais zonados com núcleos de soda-augita e bordas de egirina-augita, tão frequentes nos melanita nefelina sienitos, coexistem com nefelinas exibindo composição próxima à relação teórica $3\text{Na}:1\text{K}$ de Buerger (1954), sugerindo, assim, que nessas rochas nefelina equilibrou-se em temperaturas submagmáticas. Essa ambigüidade poderia indicar não somente mudanças na fugacidade de O_2 nos estágios iniciais de cristalização das rochas (Larsen, 1976), como também na composição química global do sistema original. Nesse caso, o fracionamento de materiais com tal natureza — como os melanita-nefelina sienitos mais básicos contendo apatita, titanita e altos teores modais de soda-augita (com aproximadamente 50% de SiO_2) e nefelina —, seria um fator determinante para produzir líquidos gradativamente diferenciados e enriquecidos em álcalis, sílica e alumina.

As nefelinas de nefelina-sienitos II-róseos e cinza possuem teores mais elevados de "sílica em excesso" (via de regra, entre $\text{Q}_{23,0-5,6}$) quando comparados aos das demais variedades. Segundo Hamilton e Mackenzie (1960) e Hamilton (1961), o fato é sugestivo da ação de equilíbrio em temperaturas bem mais elevadas, portanto, em condições de resfriamento mais rápido relativamente aos demais tipos petrográficos.

Em linhas gerais, as feições apontadas indicam inquestionavelmente que cristalização fracionada foi um importante processo de derivação das várias litologias durante a manifestação magmática de caráter granular grosso, cada uma delas formada sob condições físico-químicas próprias. Além disso, não faltam indicações geológicas, petrográficas e mineralógicas (Ruberti, 1984; Ruberti e Gomes, 1984) apontando para a existência de um mecanismo responsável por vários pulsos magmáticos diferenciados provindos de fonte maior, provavelmente profunda, para níveis sucessivamente mais elevados da crosta, onde teve lugar a consolidação das diferentes variedades petrográficas e, mais tarde, quando bem próximas da superfície, onde se deram as demais manifestações.

No tocante à natureza do material primário, e à vista da ausência total de plagioclásio nas rochas do Banhadão, deve ser excluída a possibilidade de existência de magma original básico (William, 1959; Erickson e Blade, 1963; Verwoerd, 1966) que possa responder pela sua origem por fracionamento magmático.

As características geológicas e petrológicas dessa associação sugerem, de acordo com Bailey (1974) e outros, uma fonte pretérita de magma de composição próxima à das rochas nefeliníticas, de caráter primário, gerado a partir de processos de fusão de porções do manto ou das raízes da crosta enriquecidas em álcalis e voláteis por processos metassomáticos. Variações de pressão e das porcentagens e proporções relativas de H_2O e CO_2 controlariam o início de fusão e a natureza do líquido neoformado. Segundo Rock (1976), alta pressão de CO_2 inibe a formação da molécula de anortita, produzindo associações ultramáficas alcalinas, fato que permite enquadrar o maciço alcalino do Ba

nhadão no tipo carbonatítico. De outra parte, os flogopita melteigitos seriam consolidados a partir de um magma essencialmente ferromagnesia no enriquecido em álcalis, de caráter primário, formado em regiões de maior profundidade que os nefelina sienitos.

CONCLUSÕES

A integração e interpretação de informações geológicas, petrográficas, mineralógicas e químicas leva a supor que as rochas do Banhadão se derivaram a partir de magmas alcalinos primários gerados de processos havidos na região situada entre crosta basal e manto superior, em locais de pressão reduzida, pela fusão parcial limitada do material aí existente interagindo com voláteis enriquecidos em álcalis. Os líquidos magmáticos, em particular os que produziram alguns diferenciados mais ácidos, como os diversos nefelina sienitos e fonolitos, encontraram-se suficientemente modificados quando emergiram a níveis superiores da crosta, produzindo por resfriamento as rochas em questão. Líquidos do gênero se derivam da cristalização fracionada de magma de natureza alcalina primária de composição próxima à das rochas nefeliníticas. De outra parte, os flogopita melteigitos, face às suas peculiaridades, devem ser vistos como consolidados a partir de magma distinto do originário daquelas rochas; ao que parece, provêm de magmas essencialmente ferromagnesianos muito enriquecidos em álcalis, de caráter primário, e formados em regiões bem mais profundas, sob influência direta do material do manto.

Do ponto de vista evolutivo, admite-se que no maciço alcalino do Banhadão coexistem rochas derivadas de pelo menos três manifestações magmáticas geoquimicamente distintas. Da primeira, resultaram rochas de caráter plutônico. Aparentemente, as rochas desse evento evoluíram na seguinte seqüência: melanita-nefelina sienitos, nefelina sienitos I, nefelina sienitos II-róseos e nefelina sienitos II-cinzas. A segunda manifestação pertencem rochas de natureza ultrabásica a básica, as primeiras representadas principalmente por flogopita melteigitos. Essa manifestação se faz acompanhar, ao redor de toda encaixante (nefelina sienitos II-róseos e cinzas), de atividades reomórficas levando à formação de malignitos e, talvez, feldspato-melanita ijolitos. Finalmente, as atividades culminaram com a terceira e última manifestação, originando inúmeras intrusões menores na forma de pequenos diques verticais de fonolitos.

AGRADECIMENTOS

Estes são devidos ao CNPq (Proc. 30.4425/77, E. Ruberti), FAPESP (Procs. 84/1395-4 e 86/0887-6, C.B. Gomes) e FINEP (Proc. 53.85.0327.00, C.B. Gomes) pelo apoio financeiro prestado, possibilitando a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGARTE, J.P. (1972) A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento das alcalinas nos Estados de São Paulo e Paraná. XXVI Congr. Bras. Geol., Belém, PA, Anais, 1:65-69.
- ALMEIDA, F.F.M. (1969) Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. XXIII Congr. Bras. Geol., Salvador, BA, Anais, 1:29-46.
- ALMEIDA, F.F.M. (1971) Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do sul do Brasil e Paraguai oriental. An. Acad. Brasil. Ciênc., 43:835-836.
- ALMEIDA, F.F.M. (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. Rev. Bras. Geoc., 13:139-158.

- ASMUS, H.E. (1978) Hipóteses sobre a origem de zonas de fratura oceânica/alinhamentos continentais que ocorrem nas regiões sudeste e sul do Brasil. Comunicação Técnica REMAC-004/78.
- BAILEY, D.K. (1964) Crustal warping - A possible tectonic control of alkaline magmatism. *J.Geophys.Res.*, 69:1103-1111.
- BAILEY, D.K. (1970) Volatile flux, heat focussing and the generation of magma. *Geol.J.Spec.USS.*, 2:177-186.
- BAILEY, D.K. (1972) Uplift, rifting and magmatism in continental plates. *J.Earth Sci., Leeds*, 8:225-239.
- BAILEY, D.K. (1974) Continental rifting and alkaline magmatism. In: *The Alkaline Rocks* (H.Sørensen, ed.). John Wiley, London.
- BOWEN, N.L. (1928) *The evolution of the igneous rocks*. Princeton Univ. Press.
- BUERGER, J.M. (1954) The stuffed derivatives of the silica structures. *Amer.Mineral.*, 39:600-614.
- EDGAR, A.D. (1974) On the use of the term "agpaite". *Miner.Mag.*, 39:729-730.
- EDGAR, A.D. (1977) A comment on "Agpaicity revised: pattern recognition in the chemistry of nepheline syenite rocks" by Dagbert et al. *Geochim,Cosmochim.Acta*, 41:439-440.
- ERICKSON, R.J. & BLADE, L.V. (1963) Geochemistry and petrology of the alkaline igneous complex at Magnet Cove, Arkansas. *U.S.Geol.Surv., Prof.Paper*, 425:1-93.
- FERREIRA, F.J.F. & ALGARTE, J.P. (1979) O comportamento aeromagneto métrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. 2º Simp.Reg.Geol., SBG, Rio Claro, SP, Atas, 2:195-208.
- FREITAS, R.O. (1944) Jazimentos das alcalinas no Brasil meridional. *Miner.Metal.*, 8:45-48.
- FUCK, R.A. (1972) Geologia do maciço alcalino de Tunas, Paraná, Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 82p. [inédito].
- GASPAR, J.C. & WYLLIE, P.J. (1982) Barium phlogopite from the Jacupiranga carbonatite, Brazil. *Amer.Mineral.*, 67:997-1000.
- GASS, I.G. (1970) Tectonic and magmatic evolution of the Afro-Arabian dome. In *African magmatism and tectonics* (T.N.Clifford e I.G.Gass, eds.). Oliver and Boyd, Edinburgh.
- GERASIMOVSKII, V.I. (1956) Geochemistry and mineralogy of nepheline syenite intrusions. *Geochemistry*, 5:494-510.
- GOLDSCHMIDT, V.M. (1954) *Geochemistry* (A.Muir, ed.). Oxford University Press.
- GOMES, C.B. (1970) Petrologia do maciço alcalino de Itapirapuã, SP. *Bol.Int.Geoc.Astron., USP*, 1:77-197.

- GROSSI-SAD, J.H. (1972) Complexos ultramáficos alcalinos com carbonatito do Brasil meridional (com ênfase especial sobre os complexos da região do alto parnaíba. 58p.
- HAMA, M.; ALGARTE, J.P.; PAIVA, I.P.; RODRIGUES, J.C. (1977) Idades K/Ar do maciço alcalino do Banhadão e do Complexo Bairro da Cruz. 1º Simp.Reg.Geol., SBG, São Paulo, SP, Atas, 1:170-178.
- HAMILTON, D.L. (1961) Nepheline as crystallization temperature indicators. J.Geol., 69:321-329.
- HAMILTON, D.L. & MACKENZIE, W.S. (1960) Nepheline solid solution in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 . J.Petrol., 1:56-72.
- HARRIS, P.G. (1969) Basalt type and African rift valley tectonism. Tectonophysics, 8:427-436.
- LARSEN, L.M. (1976) Clinopyroxenes and coexisting mafic minerals from the alkaline Ilímaussaq intrusion, South Greenland. J.Petrol., 17: 258-290.
- MANSKER, W.L.; EWING, R.C.; KEIL, K. (1979) Barian-titanian biotites in nephelinites from Oahu, Hawai. Amer.Miner., 64:156-159.
- ROCK, N.M.S. (1976) The role of CO_2 in alkali rock genesis. Geol. Mag., 113:97-113.
- RUBERTI, E. (1984) Petrologia do maciço alcalino do Banhadão, PR. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 248p. [inédito].
- RUBERTI, E. & GOMES, C.B. (1984) O maciço alcalino do Banhadão: geologia e petrologia. XXXIII Congr.Bras.Geol., Rio de Janeiro, RJ, Anais, IX:4400-4412.
- SIEDNER, G. (1965) Geochemical features of a strongly fractionated alkali igneous suite. Geochim.Cosmochim.Acta., 29:113-137.
- STRECKEISEN, A. (1976) To each plutonic rock its proper name. Earth Sci.Rev., 12:1-33.
- SØRENSEN, H. (1960) On the agpaite rocks. Rep.Int.Geol.Congr. XXI session (NORDEN). Part VIII:319-327.
- SØRENSEN, H. (1974) The alkaline rocks. John Wiley, London.
- TAYLOR, S.R. (1965) The application of trace element data to problems in petrology. Phys.Chem.Earth, 6:133-213.
- THOMPSON, R.N. (1977) Primary basalts and magma genesis. III. Alban Hills, Roman comagmatic province, central Italy. Contr.Mineral.Petrol., 60:91-108.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks of continental Brazil. Earth Sci.Rev., 17:135-154.
- VERWOERD, W.J. (1966) South African carbonatites and their probable mode of origin. An.Univ.Stellenbosch, 41, ser. A:1-233 [cit.em SØRENSEN, 1974].

WENDEBLANDT, R.F. (1977) The system $K_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-CO_2$: stability pressures and temperatures. Carn.Inst.Washington Year-Book, 76:441-448.

WILLIAM, C.E. (1959) The origin of carbonatites and related alkaline rocks. Rec.Geol.Surv.Uganda 1955-1956, 9-31.

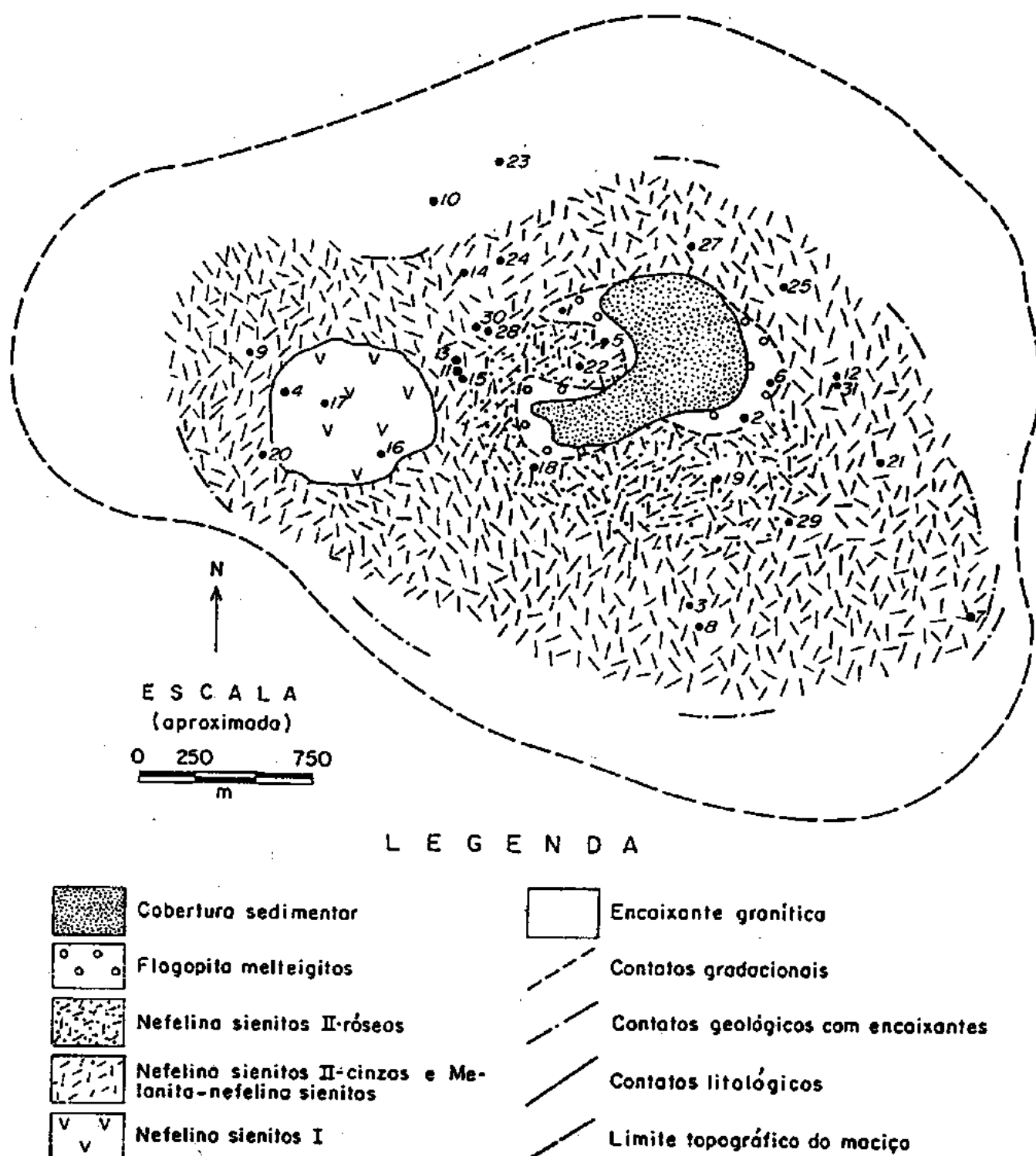


Fig. 1. Mapa geológico do maciço alcalino do Banhadão, PR, com a localização das amostras coletadas (Ruberti, 1984).

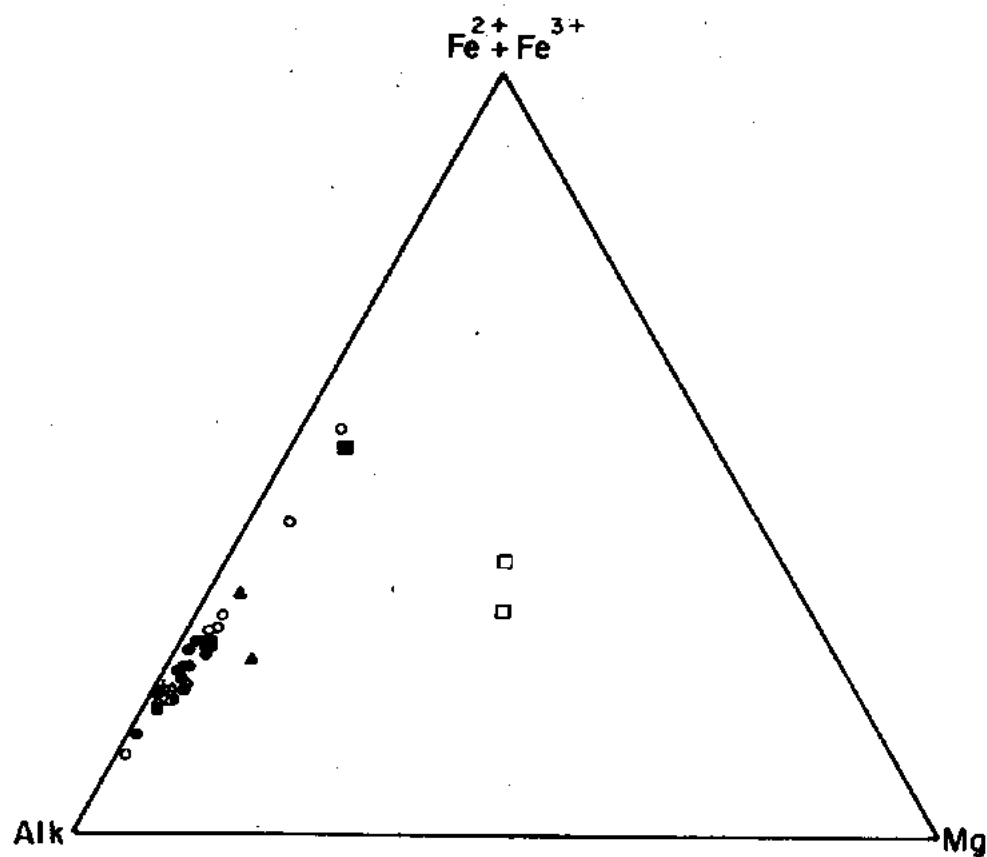


Fig. 2. Diagrama de variação Fe-Alk-Mg para as rochas alcalinas do Ba-
 hia. Símbolos para as diversas litologias: nefelina sienitos I (Δ),
 nefelina sienitos II ($\bullet$), melanita nefelina sienitos ($\circ$), flogopita mel-
 teigitos ($\square$), malignitos ($\blacktriangle$), feldspato-melanita ijolitos ($\blacksquare$), fonol-
 itos (+).

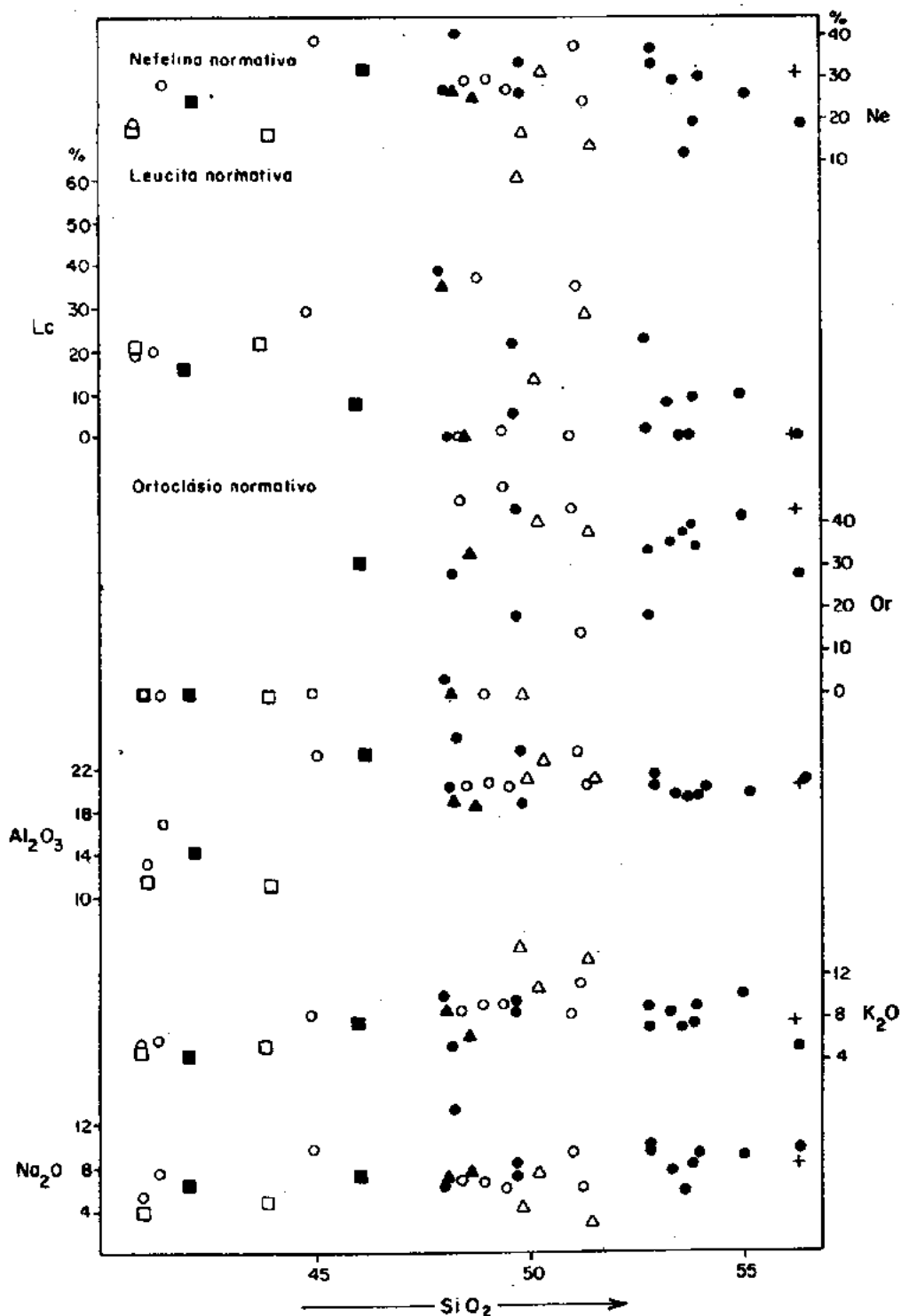


Fig. 3. Diagramas de variação dos óxidos Na_2O , K_2O e Al_2O_3 e dos minerais normativos ortoclásio, leucita e nefelina em função de SiO_2 . Os óxidos são expressos em porcentagem em peso e os minerais em porcentagem normativa, calculadas segundo o método CIPW. Para simbologia das diferentes litologias ver Fig. 2.

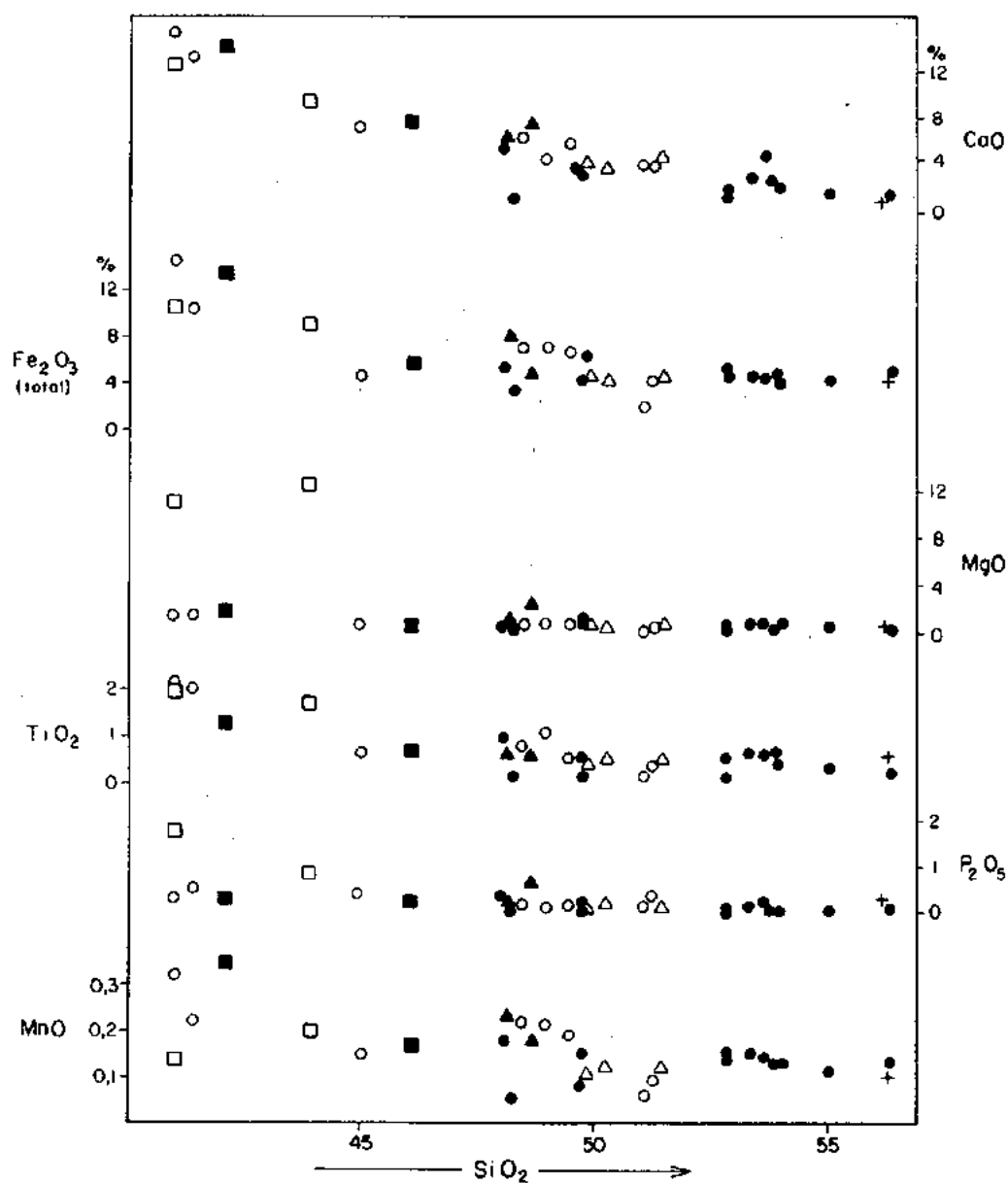


Fig. 4. Diagramas de variação dos óxidos MnO, P_2O_5 , TiO_2 , MgO, Fe_2O_3 (total) e CaO em função de SiO_2 . Os óxidos são expressos em porcentagem em peso. Para simbologia das diferentes litologias ver Fig. 2.

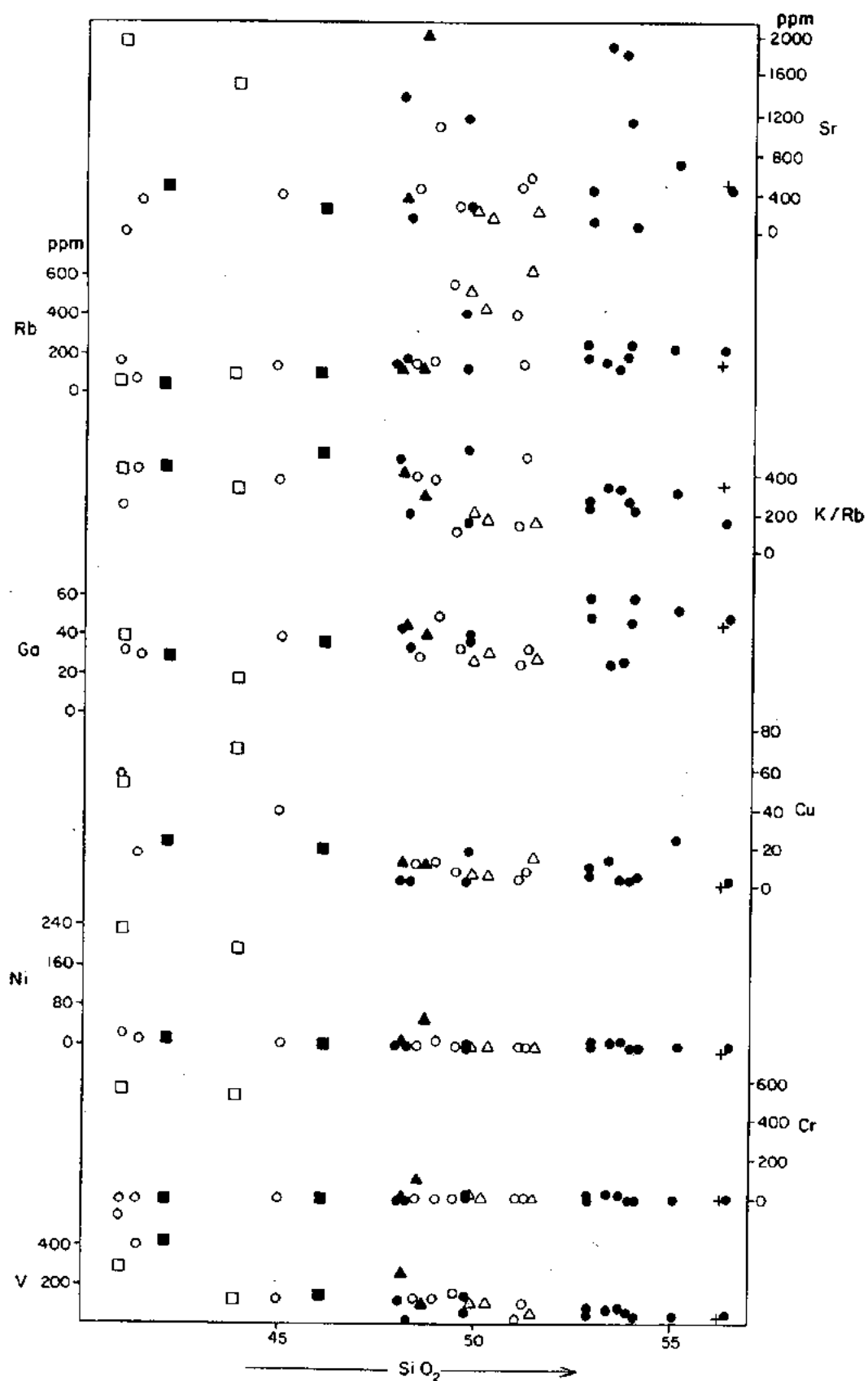


Fig. 5. Diagramas de variação dos elementos traços V, Cr, Ni, Cu, Ga, K/Rb, Rb e Sr em função de SiO_2 . Todos os elementos são expressos em ppm. Para simbologia das diferentes litologias ver Fig. 2.

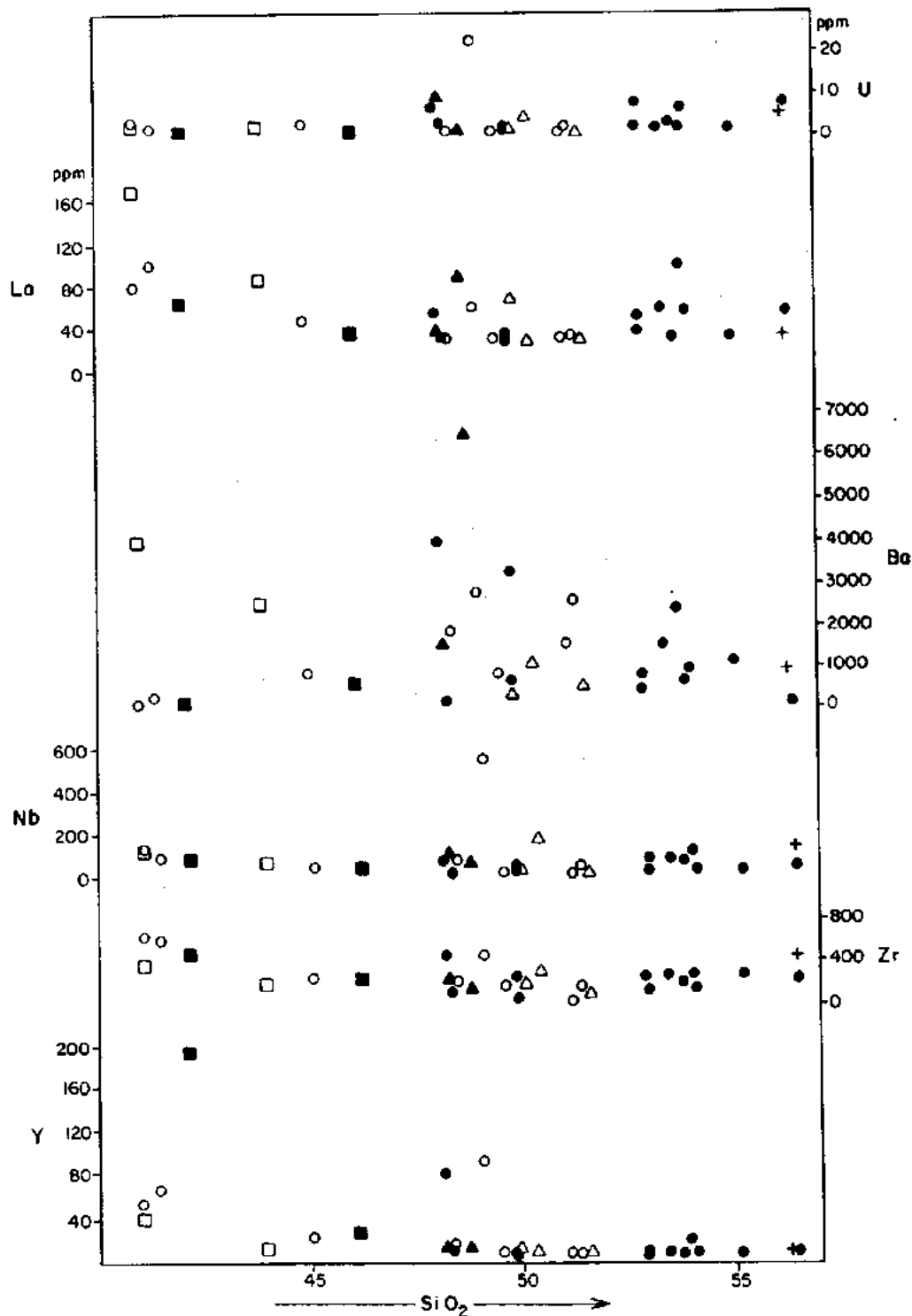


Fig. 6. Diagramas de variação dos elementos traços Y, Zr, Nb, Ba, La e U em função de SiO_2 . Todos os elementos são expressos em ppm. Para simbologia das diferentes litologias ver Fig. 2.

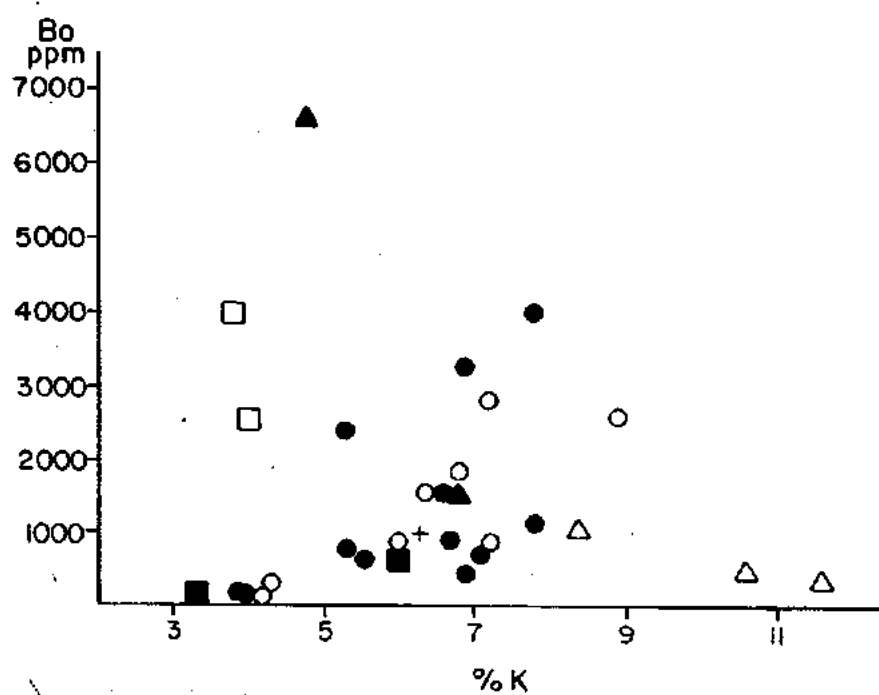


Fig. 7. Gráfico da relação Ba e K nas rochas do Banhadão

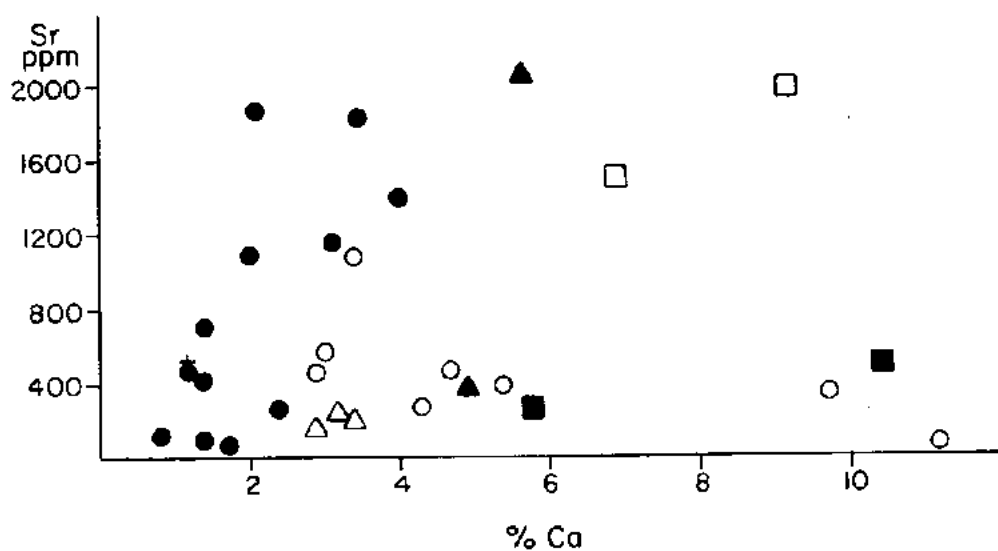


Fig. 8. Gráfico da relação Sr e Ca nas rochas do Banhadão

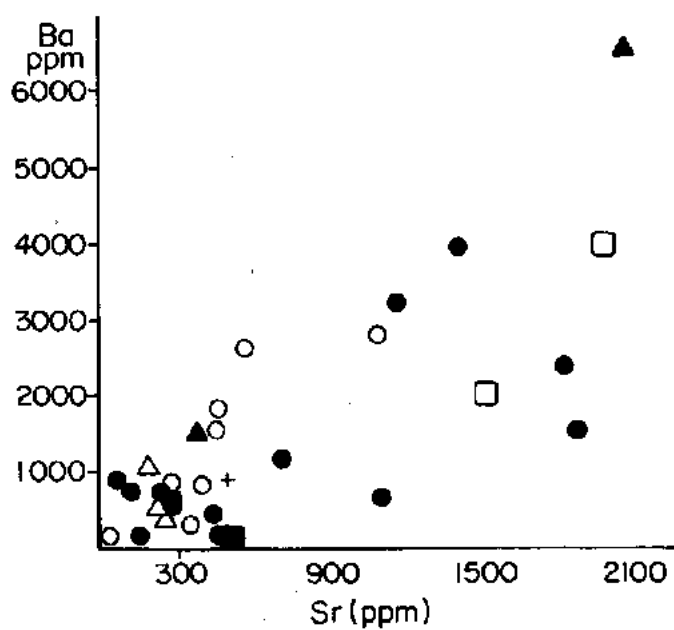


Fig. 9. Gráfico da relação Ba e Sr nas rochas do Banhadão

TABELA 1

Composição química de rochas alcalinas do Banhado

	Flogopita melteigitos			Feldspato-mela- nita ijolitos			Malignitos			Melanita-nefelina sienitos						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
SiO ₂	43,9	41,0	42,1	46,1	48,7	48,2	41,4	41,0	51,3	49,0	48,5	49,5	45,0	51,1		
TiO ₂	1,7	2,1	1,3	0,76	0,64	0,67	2,0	2,3	0,41	1,1	0,82	0,51	0,65	0,13		
Al ₂ O ₃	11,2	11,6	14,1	23,4	18,5	19,2	17,1	13,2	20,9	20,8	20,6	20,7	23,5	23,8		
Fe ₂ O ₃	5,1	5,1	12,4	4,6	3,3	5,8	8,3	12,5	3,2	5,0	6,0	3,7	4,1	1,7		
FeO	3,58	5,01	1,00	1,00	1,43	2,14	2,0	1,71	0,86	1,71	1,00	2,57	0,57	0,43		
MnO	0,20	0,14	0,35	0,17	0,18	0,23	0,22	0,32	0,09	0,21	0,22	0,19	0,15	0,06		
MgO	12,6	11,1	2,0	0,80	2,4	1,2	1,6	1,6	0,51	0,80	0,75	0,80	0,80	0,28		
CaO	9,7	12,9	14,5	8,1	8,0	6,8	13,5	15,7	4,2	4,7	6,6	6,0	7,5	4,1		
Na ₂ O	4,84	4,0	6,52	7,35	7,27	6,90	7,69	5,39	6,13	7,21	7,00	6,09	9,70	9,44		
K ₂ O	4,82	4,57	4,00	7,18	5,71	8,18	5,16	4,99	10,67	8,70	8,14	8,72	7,18	7,66		
P.F.	0,46	0,00	1,22	0,00	1,79	0,10	0,62	0,88	1,02	0,40	0,00	0,98	0,30	0,83		
P ₂ O ₅	0,99	1,8	0,34	0,30	0,59	0,26	0,54	0,36	0,36	0,17	0,20	0,19	0,46	0,19		
CO ₂	0,20	0,37	0,40	0,23	1,18	0,23	0,30	0,34	0,30	0,27	0,17	0,60	0,20	0,47		
S	0,31	0,19	0,63	0,16	0,34	0,24	0,29	0,54	0,13	0,06	0,12	0,14	0,06	0,04		
Total	99,60	99,78	100,86	100,15	100,03	100,15	100,72	100,83	100,08	100,13	100,12	100,69	100,17	100,23		
Coeficiente agapáitico*	1,17	0,99	1,06	0,85	0,98	1,05	1,06	1,08	1,03	1,02	0,98	0,94	1,00	1,00		

* $\frac{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$
(proporção molecular)

TABELA 2

Composição química de rochas alcalinas do Banhado

	Nefelina sienitos I					Nefelina sienitos II					cinzas					Fonolito				
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
SiO ₂	50,3	49,9	51,5	53,7	52,9	49,8	48,1	54,0	49,8	56,4	48,3	55,1	53,9	53,4	52,9	52,9	56,3	56,3	56,3	56,3
TiO ₂	0,52	0,48	0,53	0,68	0,57	0,13	0,91	0,46	0,55	0,23	0,13	0,30	0,64	0,66	0,15	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60
Al ₂ O ₃	23,1	21,4	21,3	19,6	21,0	23,7	20,4	20,1	19,0	20,9	24,9	20,0	19,8	19,6	21,6	21,6	20,9	20,9	20,9	20,9
Fe ₂ O ₃	3,2	3,6	2,9	3,0	3,1	2,0	3,8	2,8	4,5	3,6	2,2	3,72	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
FeO	0,86	0,86	1,43	1,36	1,86	2,14	1,36	1,28	1,71	1,28	0,86	3,72	1,28	1,36	1,28	1,28	0,86	0,86	0,86	0,86
MnO	0,12	0,11	0,12	0,14	0,14	0,10	0,18	0,13	0,15	0,13	0,05	0,11	0,13	0,15	0,14	0,14	0,10	0,10	0,10	0,10
MgO	0,36	0,55	0,56	0,83	0,46	0,80	0,76	0,71	0,53	0,28	0,07	0,50	0,41	0,78	0,38	0,38	0,41	0,41	0,41	0,41
CaO	4,0	4,4	4,8	4,9	1,9	3,3	5,6	2,4	4,3	1,7	1,2	1,9	2,8	3,0	1,9	1,9	1,5	1,5	1,5	1,5
Na ₂ O	7,15	4,26	3,08	5,98	9,77	7,37	6,78	8,97	8,21	9,40	13,64	8,84	8,23	7,83	9,63	9,63	8,10	8,10	8,10	8,10
K ₂ O	10,14	14,00	12,86	6,36	6,38	8,48	9,40	8,04	8,19	4,72	4,79	9,44	6,67	7,95	8,33	8,33	7,54	7,54	7,54	7,54
P.F.	0,00	0,38	0,74	2,27	1,03	2,15	1,42	0,80	2,18	0,78	1,39	0,13	2,04	1,34	0,01	0,01	0,11	0,11	0,11	0,11
P ₂ O ₅	0,20	0,11	0,12	0,23	0,37	1,14	0,74	0,40	0,54	0,27	0,50	0,17	0,50	0,37	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
CO ₂	0,20	0,47	0,81	1,00	0,27	0,12	0,32	0,09	0,65	0,02	0,13	0,04	0,32	0,10	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
S	0,03	0,08	0,09	0,30	0,27	0,12	0,32	0,09	0,65	0,02	0,13	0,04	0,32	0,10	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	100,18	100,60	100,84	100,35	99,80	101,28	100,08	100,28	100,44	99,76	98,21	100,40	100,00	99,83	99,83	99,83	99,98	99,98	99,98	99,98
Oeficiente agapático*	0,98	1,03	0,89	0,85	1,09	0,90	1,05	1,16	1,17	0,98	1,11	1,24	1,04	1,09	1,15	1,15	1,02	1,02	1,02	1,02

*Na₂O + K₂O
Al₂O₃ (proporção molecular)

TABELA 3

Normas CIPW de rochas alcalinas do Banhado

	Flogopita melteigitos		Feldspato-mela- nita iolitos		Malignitos		Melanita-nefelina sienitos						Nefelina sienitos I				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
or																	
ab																	
an		0,58															
lc	22,40	21,22	5,29	10,72	33,83	20,51			32,72	30,95	29,33	36,41		43,70	28,38	1,56	30,97
kp			14,43	9,66	7,11												
ne				24,89	2,56	21,86	14,89	23,16	23,83	16,06	0,75	3,41		0,09	0,99		6,34
ac	16,72	17,99	27,28	33,71	27,95	28,86	32,27	21,77	26,08	31,73	32,10	27,92	32,97	1,24	24,75	63,68	35,33
ns	6,57		4,24			4,49	5,14	4,82	3,33	2,06			0,22				
wo													43,86	43,15	32,79	17,41	14,10
di													1,04			3,40	
hd	5,25	11,36	21,41	9,00	3,71	9,26	25,83	29,17	5,30	6,24	10,18	5,65	13,71	5,83	5,65	5,92	3,16
fo	20,61	16,36	10,77	4,30	12,93	6,45		0,68	2,74	4,30	4,03	4,30		1,50	1,93	2,96	3,01
fa	0,63	0,68										1,68					
cs	15,35	14,10					2,81	2,58					1,40				
mt	4,12	7,41															
hm																	
il			10,96		2,10	4,85	0,32		1,41	2,79	1,13	5,36	0,23	1,06	1,55	1,45	3,14
ap	3,24	4,00	1,37	1,44	1,86	0,90	6,35	10,85	1,08	2,36	5,22		3,59	0,97	2,13	1,42	0,73
cm	2,31	4,21	0,79	0,70	1,22	1,27	3,82	3,02	0,78	2,09	1,56	0,97	1,23	0,25	0,99	0,91	1,01
cc	0,10	0,12			1,38	0,61	1,27	0,84	0,84	0,40	0,47	0,44	1,07	0,44	0,47	0,26	0,28
pr	0,46	0,84	0,91	0,52	0,02	0,00	0,69	0,77	0,68	0,61	0,39	1,36	0,45	1,07	0,45	1,07	1,84
fr	0,58	0,36	1,18	0,30	2,69	0,52	0,55	1,01	0,24	0,11	0,22	0,26	0,11	0,07	0,06	0,15	0,17
hl	0,21	0,12	0,06	0,02	0,64	0,45	0,01	0,09	0,11	0,01	0,02	0,12	0,04	0,05	0,08	0,05	0,04
z	0,61	0,16	0,03		0,12	0,04	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01
pf	0,04	0,06	0,09	0,04	0,03	0,04	0,12	0,12	0,03	0,09	0,03	0,03	0,04	0,00	0,06	0,04	0,01
c			0,99					1,21									
Total	99,79	100,32	99,80	100,21	98,81	100,13	100,25	100,10	99,17	99,83	100,17	99,80	99,96	99,48	100,28	100,29	100,14

TABELA 4

Normas CIPW de rochas alcalinas do Banhado

Nefelina sienitos II														Fonolito
r6seos				cinzas										
18	19	21	22	29	20	23	24	25	27	28	30	31		
or	37,65	37,74	43,69	20,09	47,58	24,16	27,92	28,53	55,82	39,54	47,04	39,89	44,57	
ab	25,30	10,03	6,55		2,96		40,33	17,86	0,65	24,06	5,76		20,45	
an	9,11		5,06	27,86		19,10	2,09	1,79		0,69		7,39		
lc														
kp														
ne	12,49	33,88	33,81	28,53	30,20	28,32	20,07	40,43	26,92	21,43	27,56	35,13	24,43	
ac		8,40		4,00	8,10	13,04			0,29		6,63	9,26	2,64	
ns					1,14	0,06			5,40			0,38		
wo	0,60			6,51	0,10	4,46	0,80			2,55	1,66	0,09	0,85	
di	4,47	2,16	0,78	4,09	3,82	2,85	1,51		1,20	2,21	4,20	2,05	2,20	
hd		3,31	0,68		3,10	2,21			5,45		1,53	4,22		
fo		0,10	1,15					0,12	0,48					
fa		0,20	1,27						2,75					
cs														
mt	1,78	0,29	2,90	1,18			3,82	2,11		1,55	1,17		1,29	
hm	1,77			1,61			0,97	0,76		2,14			1,40	
il	1,29	1,08	0,25	1,73	0,87	1,05	0,44	0,25	0,57	1,22	1,25	0,29	1,14	
ap	0,54	0,12	0,12	0,72	0,12	0,30	0,12	0,12	0,12	0,19	0,44	0,12	0,33	
cm	0,01										0,00			
cc	2,28	0,84	2,59	1,68	0,91	1,23	0,61	1,14	0,39	1,14	0,84	0,46	0,45	
pr	0,56	0,51	0,22	0,60	0,17	1,22	0,04	0,25	0,07	0,60	0,19	0,11	0,04	
fr	0,07	0,08	0,16	0,08	0,13	0,08	0,13	0,20	0,11	0,17	0,07	0,08	0,11	
hl	0,52	0,15		0,05	0,72	0,52	0,50	5,32	0,21	1,39	0,49	1,03	0,00	
z	0,04	0,05	0,01	0,09	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,06	0,01	0,09	
pf														
c								1,24						
Total	98,48	98,94	99,24	98,82	99,95	98,64	99,39	100,15	100,48	98,93	98,89	100,51	99,99	

TABELA 5

Concentração de elementos traços em rochas alcalinas do Banhado

Malignitos		Melanita-nefelina sienitos										
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
050		420	550	740	840	2050	265	725	600	400		
984		100	62	46		171		45		362		
94		260	400	550	110	128	136	158	120	19		
2		5								5		
		7	16	25		7						
		10	15	17		7			6			
		14	19	58	10	14	13	9	41			
		43	28	29	31	48	28	34	38	24		
		161	95	177	177	183	168	595	154	430		
		370	340		560	1080	450	280	390	450		
		12	70	56		96	16		26			
		240	590	620	152	440	200	162	240	20		
		108	98	118	46	560	84	23	58			
		40	280	124	2620	2800	1840	840	840	1560		
		6	100	80	32	59			47			
			2	3	2	38	1	1	3	1		

Flora

Concentra de 2

Nefelina sienitos de 8 k

os I, oc

étrica de

outra zona

ortadores d

idades petro

ação a álcalis

eraluminosas.

xa ligando o va

adentram parcia

ermal Ab-Or é ass

nte por diferenciaç

a apontam na mesma d

(s. ne), a projeção das

Concentração de 2,5 km², dista
 inteiramente repre
 de 8 km² na sua for
 os I, ocupando a par
 trica de pulaskitos
 outra zona concêntrica
 ortadores de quartzo).
 15,idades petrográficas mos
 ação a álcalis (tipos "mias
 eraluminosas. No diagrama
 xa ligando o vale termal pa
 e adentram parcialmente a re
 termal Ab-Or é assim rompido,
 nte por diferenciação magmática
 a apontam na mesma direção. Em
 s. ne), a projeção das rochas se

