

O MACIÇO ALCALINO DO BANHADÃO: GEOLOGIA E PETROGRAFIA

Excelso Ruberti
Celso de Barros Gomes
Instituto de Geociências, USP

ABSTRACT

The alkaline massif of Banhadão, located near Cerro Azul, State of Paraná (24°39'S and 49°23'W), is one of a series of alkaline igneous intrusions emplaced during the late Jurassic and early Cretaceous along the flanks of the Ponta Grossa Arch.

The Banhadão complex intrudes the Três Córregos granite batholith; it is a composite body consisting solely of undersaturated rocks. The following magmatic associations can be distinguished on the basis of mineralogic and textural variations, each association representing different geological conditions of formation: 1) a suite of very coarse leucocratic nepheline syenites, represented by melanite-nepheline syenites, nepheline syenites I, light reddish nepheline syenites II and gray nepheline syenites II; 2) medium to fine-grained mafic rocks represented almost exclusively by phlogopite melteigites, with minor amounts of malignites and feldspar-melanite ijolites, thought to have formed through reactions between the phlogopite melteigites and light reddish and gray nepheline syenite II country rocks; 3) fine-grained to aphanitic phonolitic dikes that cut the various nepheline syenites.

Detailed mineralogical studies of main rock-forming minerals reveal distinctive characteristics. The K-feldspars are perthitic orthoclase in the majority of rocks of the complex with the exception of malignites, feldspar-melanite ijolites and melanite-nepheline syenites, where they are probably microcline, and of phonolites, where they are sanidine. Intergrowths between K-feldspar and nepheline are peculiar to the nepheline syenites I and have crystallized from a magmatic residue enriched in Na and K. The pyroxene composition changes according to rock types: soda-augites are dominant in phlogopite melteigites, melanite-nepheline syenites and feldspar-melanite ijolites; aegirine-augites prevail in nepheline syenites I, nepheline syenites II, phonolites and some malignites; and aegirine-augites, together with aegirines, are found in some nepheline syenites II. Micas crystallized late; biotite is more common than phlogopite. Melanites formed principally by reaction between pyroxenes and titanite; to a lesser extent, they were derived from residual solutions or are primary.

INTRODUÇÃO

O maciço alcalino do Banhadão localiza-se a 20 km a noroeste da cidade de Cerro Azul, Estado do Paraná, entre o rio Sete Quedas e o rio do Fecho, e tem como coordenadas geográficas aproximadas 24°39'S e 49°23'W.G.

A literatura geológica sobre o maciço é restrita. O primeiro programa de reconhecimento geológico do complexo, incluindo a sua delimitação topográfica, foi publicado por Kaefer e Algarte (1972), com as principais unidades de rochas descritas de modo genérico. Hama *et al.* (1977) executaram estudos geocronológicos (K/Ar) para duas amostras

(malignito e foiaito). Ferreira e Algarte (1979) apresentaram uma interpretação estrutural, de caráter regional, a partir de dados aeromagneto métrico-cintilométricos para as alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. Por fim, Ruberti (1984) realizou estudos geoquímicos de minerais e rochas, geocronológicos e petrológicos das principais unidades do maciço.

O intuito do presente trabalho é apresentar os resultados obtidos sobre a geologia e petrografia das várias unidades litológicas que compõem o maciço, com especial ênfase para os seus aspectos mineralógicos e texturais. A nível de informação e de melhor esclarecimento, são fornecidos alguns dados de análises químicas de minerais, obtidos com a microsonda eletrônica, extraídos de Ruberti (1984).

O levantamento geológico realizado — valendo-se de carta topográfica (Folha de Vila Branca, 1971, 1:50.000) e fotografias aéreas (FITEC, 1966, 1:60.000) — teve por objetivo situar as litologias que compõem o maciço, verificar as relações de contato não apenas entre as várias unidades petrográficas, como também entre o corpo e as encaixantes, e, tentativamente, estabelecer uma seqüência evolutiva dessas rochas. O mapa geológico elaborado na escala 1:25.000 é fornecido na Fig. 1.

GEOLOGIA

A região do médio vale do rio Ribeira de Iguape, situada nos limites NE do Estado do Paraná e SW do Estado de São Paulo, é formada, em sua quase totalidade, de rochas granitoides do Complexo Três Córregos e metassedimentos precambrianos do Grupo Açungui. Nesse conjunto de rochas encontram-se alojados mais de uma dezena de pequenos corpos alcalinos (Barra do Itapirapuã, Cerro Azul, Itapirapuã, Mato Preto, Tunas, etc.), entre eles o do Banhadão; dispõem-se segundo alinhamentos preferenciais (p.e., N45W) e têm sua origem ligada a importante episódio magmático atuante durante o mesozóico.

O maciço do Banhadão possui forma irregular, semelhante a uma pera, e ocupa área aflorante de aproximadamente 8 km². Sua estrutura compreende duas chaminés principais de grande porte, que se integram a um conjunto alinhado segundo direção EW, com o maciço completamente encaixado em rochas graníticas do Complexo Três Córregos (Fig. 1). Incluem-se também a estrutura outras chaminés secundárias, de diâmetros menores, que emergem principalmente na região lateral entre as duas principais.

Do ponto de vista morfológico, as duas chaminés principais são mais ou menos circulares e, a despeito de pequenas porções erodidas, praticamente completas. Todavia, cada uma delas exibe características distintas. A do lado leste, de diâmetro bem superior, mostra em sua parte central forte depressão, onde teve lugar a formação de pequena cobertura colúvio-aluvionar com formato de meia lua, fato que lhe emprestou localmente o nome de Banhadão. Por outro lado, a do oeste, de menor porte, apresenta a sua parte central (núcleo) muito elevada, praticamente no mesmo nível ou até superior ao da crista anelar que a envolve. No entanto, a sua topografia é acidentada, com desníveis abruptos causados pelo entalhamento mais profundo da drenagem, que em geral acompanha a região de contato entre as rochas.

As relações de contato maciço/encaixantes não são muito claras, tratando-se aparentemente de contato tectônico. Assim, nas imediações do maciço, conforme observado no extremo leste da chaminé maior e sul da menor, foram reconhecidas deformações nas rochas encaixantes, produzindo estruturas orientadas e feições cataclásticas; nesses locais foi possível comprovar-se a existência de falhas.

O maciço do Banhadão compõe-se principalmente de rochas leucocráticas, de granulação grossa, sendo nefelina sienitos, portadores ou não de melanita e de intercrescimento feldspato potássico com nefelina, o tipo litológico dominante; rochas máficas, de granulação fina a média, da série urtito-melteigito, ocupam geograficamente áreas de menor expressão, enquanto que rochas fonolíticas, de granulação fina a afanítica, estão presentes na forma de pequenos diques, provavelmente verticais, cortando as diversas variedades de nefelina sienitos. Carbonatitos não foram encontrados; contudo, nas imediações da chaminé de menor porte (lado oeste), junto às encaixantes, reconheceu-se lava fonolítica carbonatizada e muito rica em sodalita. Da mesma forma, não se consta

tou a presença de rochas provenientes de processos de fenitização, salvo efeitos metassomáticos incipientes junto aos contatos.

PETROGRAFIA

O maciço é um agrupamento heterogêneo de rochas exibindo grande diversidade textural e mineralógica. Aparentemente, há uma distribuição espacial na forma de intrusões semi-anelares concêntricas. A distinção entre os vários tipos petrográficos foi feita levando-se em consideração o índice de cor e textura e quantidade volumétrica de feldspatos e plagioclásios (Tabelas Ia e Ib), seguindo as sugestões constantes de Streckeisen (1976). Esse esquema de classificação permitiu caracterizar os diversos grupos que serão discutidos mais adiante. A distribuição geográfica das rochas no interior do maciço, exceção feita àquelas reconhecidas em escala de afloramento (melanita-nefelina sienitos, melanitos, feldspato-melanita ijolitos e fonolitos), é dada na Fig. 1.

Rochas de granulação grossa

Melanita-nefelina sienitos

Essas rochas encontram-se preferencialmente distribuídas na região periférica do maciço, em contato direto com as encaixantes, e entre as duas chaminés principais. Em geral são de cor cinza claro a levemente esverdeado. Ao microscópio, a textura é xenomórfica, ora equigranular, ora poiquilítica com feldspato potássico englobando nefelina, piroxênios e melanita; contudo são frequentes as variações de textura e de granulação.

Piroxênios — soda-augita com composição variando entre $Di_{66},8Hd_{24},6Ac_{8},6$ e $Di_{68},6Hd_{11},9Ac_{19},5$ e algumas transições para egirina-augita cálcica ($Ac > 20\%$) — são um dos máficos mais importantes. Ocorrem como cristais xenomórficos e subidiomórficos, límpidos ou poiquilíticos com inclusões de apatita, titanita e opacos, e coloração verde claro a amarelado. Estruturas zonadas são comuns, ora com variação gradual, diminuindo a intensidade de cor da borda para o núcleo dos cristais, ora manchado de partes mais claras. As variedades com pleocroísmo mais fraco, de coloração mais amarelada, têm ZAc ao redor de 55° , e aquelas tendo a tonalidade de verde mais escuro mostram ângulo mais alto, ao redor de 65° .

Nefelina constitui o principal félsico, formando cristais subidiomórficos a xenomórficos, e praticamente não exhibe indícios de alteração. Em todas as amostras examinadas parece ter sido formada em um estágio intermediário, após a cristalização total dos piroxênios.

Feldspato alcalino ocorre como cristais xenomórficos ocupando geralmente os interstícios de nefelina, piroxênios ou melanita, ou com hábito placóide, paralelo à face (010). Geminação aparece raramente e, quando reconhecida, é do tipo Carlsbad. Pertitas são pouco comuns, podendo, no entanto, mostrar-se bem desenvolvidas. A difratometria de raios X indica para alguns exemplares estrutura de ortoclásio (Ruberti, 1984). Em alguns melanita-nefelina sienitos, o feldspato cristalizou-se ao lado da nefelina, logo após os piroxênios, e em outros, representa típico mineral de cristalização tardia. Sua composição situa-se dentro do intervalo $Or_{99},1$ e $Or_{91},6$.

Intercrescimento feldspato potássico-nefelina, ainda que em pequena quantidade, foi reconhecido em algumas amostras. Apresenta-se ora como microcristais vermiformes de feldspato alcalino e nefelina, que crescem lado a lado nos interstícios dos cristais de nefelina, ora também na forma vermicular quando a nefelina acha-se imersa em matriz feldspática gerando textura do tipo mirmequítica.

Melanita é o mineral máfico mais abundante, aparecendo como indivíduos xenomórficos a subidiomórficos, via de regra zonados, com os núcleos de coloração castanho-avermelhada e as bordas castanho bem mais claro. Ocorre de três maneiras distintas: a) como mineral deutérico, com evidências texturais indicando a sua formação como resultado da reação de piroxênios com titanita; b) na forma de "capas" de tonalidade marrom claro envolvendo núcleos escuros formados previamente do mesmo mineral, e originadas a partir da cristalização de soluções residuais; c) como microfenocristais e constituinte da matriz de rochas porfiríticas hip-

abissais, representando um mineral de cristalização primária. Apesar de da diversidade acima, análises por microsonda eletrônica revelam que todas essas granadas possuem natureza essencialmente cálcico-férrica, com andradita como componente básico molecular.

Biotita está presente na maioria das amostras em concentrações baixas e em associação íntima com piroxênios, seja interdigitando ao longo das suas direções de clivagem, seja concentrando-se nas suas bordas corroídas.

Os acessórios mais comuns são titanita, apatita, opacos e, por vezes, wollastonita, embora este último com teores apreciáveis.

Nefelina sienitos I

Essas rochas formam um único corpo, de forma arredondada, ocupando toda a região central da chaminé principal menor, lado oeste. Fazem contato brusco seja com nefelina sienitos II, seja com melanita-nefelina sienitos.

Os nefelina sienitos I têm cor cinza claro a escuro e minerais arranjados de forma a conferir-lhes verdadeira textura em malha. Assim, apresentam núcleos mais ou menos equidistantes, de formas arredondadas ou poligonais (octaédricas, hexagonais), e tamanho em geral ao redor de 3 cm. Esses núcleos, formados de material muito fino (textura similar a sacaróide), de cor esbranquiçada e mineralogia félsica, acham-se circundados por grânulos bem desenvolvidos de feldspato cinza chumbo, nefelina e minerais máficos, emprestando ao conjunto o aspecto de rede. Tendo em vista que essas rochas possuem textura bem distinta em relação às demais do maciço, que formam um corpo bem delimitado, e que contêm enormes quantidades de feldspato potássico intercrescido com nefelina, numa textura do tipo mirmequítica, elas são tratadas em separado, além de denominadas genericamente de nefelina sienitos I para diferenciá-las dos outros tipos de nefelina sienitos (II).

Ao microscópio, elas consistem essencialmente de feldspato alcalino, nefelina e um intercrescimento feldspato potássico-nefelina com os minerais máficos ocupando papel menor.

Os piroxênios — transição entre soda-augita e egirina-augita, com a composição variando entre $Di_{69},7Hd_{23},2Ac_{16},1$ e $Di_{70},6Hd_{7},9Ac_{21},5$ — são bem menos abundantes, com teores inferiores a 5%. Cristalizaram-se cedo, formando prismas curtos; ou então mais tarde, como grânulos xenomórficos. Sua cor é variável, passando de verde pálido a amarelo-esverdeado, e pleocroísmo muito fraco. Por vezes, incluem apatita, mas mostram-se sobretudo ricos em minerais resultantes de processos de reabsorção magmática (piroxênios mais esverdeados, biotita de cor vermelha escuro e granadas). Estes produtos de transformação ocupam a periferia corroída dos cristais ou então se dispõem em seu interior.

A nefelina ocorre como enormes cristais subidiomórficos, praticamente sem qualquer indício de alteração; contudo, são comuns as bordas reabsorvidas. Forma-se em um estágio intermediário de cristalização, juntamente com os feldspatos, logo após os piroxênios.

O feldspato alcalino (ortoclásio) aparece como cristais subidiomórficos a xenomórficos, alcançando por vezes dimensões de até 10 mm. Geminação não foi observada, enquanto que estruturas pertíticas podem estar presentes, ora disseminadas em manchas, ora na forma de veios densamente irregulares. O seu campo de variação química se restringe ao intervalo $Or_{95},4$ e $Or_{99},1$.

O caráter peculiar da textura dessas rochas prende-se ao grande volume ocupado pelo intercrescimento feldspato potássico-nefelina. Essa estrutura se apresenta ora como parte integrante de massa irregular, por vezes individualizada na forma de grânulos com contorno peculiar ou totalmente arredondados, ou então, como material intersticial. O primeiro tipo é o mais comum, consistindo de extensas massas irregulares de feldspato potássico muito límpido englobando nefelina vermiformes de feldspato potássico muito límpido e sem qualquer alteração. Por outro lado, intercrescimento como material intersticial foi registrado em todas as amostras examinadas. Compõe-se de uma matriz de feldspato potássico límpido, sem qualquer indício de pertita e com poucas inclusões de nefelina, que se individualizou na forma de pequenos cristais vermiformes, bastonetes ou mesmo placóides, sem exibir arranjo ordenado. As relações texturais são sugestivas de que o intercrescimento feldspato po-

tássico com nefelina formou-se como produto de cristalização tardia a partir de um magma residual enriquecido em Na e K.

A melanita é um mineral máfico freqüente, ocorrendo como cristais xenomórficos, via de regra zonados; nestes, os núcleos exibem coloração castanho-avermelhada e as bordas castanho bem mais claro. O seu desenvolvimento é tipicamente poliquilítico, aparecendo piroxênios, opacos e biotita como as inclusões mais comuns.

A biotita está sempre presente e, invariavelmente, como produto de transformação dos piroxênios. No entanto, na amostra 17, esse mineral encontra-se isolado e, por vezes, na forma de agregados submilimétricos (glomerofenocristais). Em geral possui coloração castanho-avermelhada ou laranja.

Faça à menor importância, os demais acessórios (titanita, apatita, opacos e calcita) dispensam comentários.

Nefelina sienitos II

Em sua quase totalidade o maciço do Banhadão consiste de nefelina sienitos II. A sua coloração dominante é cinza; no entanto, variedades de cor rosa-avermelhada são encontradas na parte SE, S e W (incluindo o ramo que adentra a depressão) da chaminé maior. Essa cor é devida às proporções relativas de feldspato alcalino e nefelina. Nas variedades róseas, a nefelina, de coloração avermelhada, é abundante, enquanto o feldspato alcalino é cinza pálido; nas de cor cinza, a nefelina é em linhas gerais menos freqüente, mostrando sempre coloração cinza claro, semelhante à do feldspato alcalino.

a) Nefelina sienitos II-róseos: de menor volume, constituem aparentemente um corpo independente daquele dos cinzas. A microscopia revela que a maioria das rochas exibe textura hipidiomórfica granular e, por vezes, xenomórfica equigranular e inequigranular. Sua mineralogia é simples, tendo em vista que feldspato alcalino e nefelina com seus produtos de alteração (agregado, cancrinita, zeólitas, etc.) constituem mais de 70% do seu volume (Tabela Ib).

Os piroxênios - egirina-augita, composição variando entre $Di_{4,6}, {}_5Hd_{3,2}, {}_4Ac_{2,1}$ e $Di_{1,3}, {}_4Hd_{2,9}, {}_7Ac_{5,6}, {}_9$, à exceção de núcleos de cristais zonados com valores ao redor de $Di_{7,8}, {}_2Hd_{1,3}, {}_2Ac_{8,6}$ - são os máficos mais importantes, aparecendo como cristais subidiomórficos a xenomórficos. Em linhas gerais se cristalizaram ao lado da nefelina. A sua coloração dominante é esverdeada e as estruturas zonadas freqüentes: seja gradacional (núcleos mais claros), seja em manchas irregulares. Os valores de ZAc situam-se na faixa de 56 a 68°, à exceção de uma fase coexistente (am. 19) de natureza egirínica e coloração bem mais acentuada, com XAc alcançando no máximo 60° (egirina $Di_{1,1}, {}_6Hd_{1,6}, {}_6Ac_{8,6}, {}_8$).

A nefelina é menos abundante que o feldspato alcalino e ocorre sobretudo na forma granular, subidiomórfica parcialmente envolvida por feldspato alcalino. Na maioria das vezes o mineral exibe sinais evidentes de alteração, provavelmente de natureza hidrotermal, com os produtos mais importantes sendo um agregado mineralógico, cancrinita e, menos comumente, uma fase do grupo das zeólitas.

O feldspato alcalino (ortoclásio) é o único feldspato reconhecido. Forma cristais límpidos, subidiomórficos a xenomórficos, e gemina dos segundo a lei Carlsbad. Estrutura pertítica está presente na quase totalidade das amostras, seja como veios finos, seja como pequenas manchas. Nessas rochas, o feldspato cristalizou-se cedo, logo após os piroxênios, ou então concomitantemente àqueles minerais e às nefelinas. A composição química situa-se no intervalo $Or_{5,8}, {}_6$ e $Or_{9,4}, {}_5$.

Os acessórios mais comuns são titanita, apatita e opacos.

b) Nefelina sienitos II-cinzas: estes tipos ocupam toda a porção externa do maciço. Os dados modais (Tabela Ib) evidenciam que essas rochas possuem composição mineralógica variável. No entanto, se confrontadas as duas variedades (cinzas e róseas), as diferenças mineralógicas existentes consistem essencialmente de concentrações anômalas de sodalita, mais alta de feldspato alcalino e mais baixa em nefelina junto aos nefelina sienitos II cinzas. Ao microscópio, a maioria das amostras apresenta textura xenomórfica e uma mineralogia essencial formada de feldspato alcalino, nefelina (mais agregado), sodalita e piroxênios. Contudo, o fato que mais chama a atenção em algumas lâminas é a presença notável de uma fase pós-magmática, provavelmente hidrotermal, comum em veios.

Os piroxênios - egirina-augita mais enriquecida em sódio, com posição variando entre $Di_{3,3}, {}_4Hd_{2,5}, {}_4Ac_{4,1}, {}_2$ e $Di_{4,4}, {}_0Hd_{2,9}, {}_0Ac_{6,6}, {}_7$ - são somente os únicos representantes ferromagnesianos. Nessas rochas, eles se cristalizaram concomitantemente aos feldspatos e à nefelina, ou então, logo após. Em geral o mineral é subidiomórfico a xenomórfico. Sua coloração tende a escura e zoneamento, ao contrário do observado nas variedades róseas, é pouco comum; quando presente, mostra-se bem menos evidente opticamente (coloração verde mais claro nos núcleos e verde escuro na periferia). Os valores ZAc estão compreendidos entre 52 e 82°, à exceção das fases intersticiais (am. 27) de coloração mais escura, pleocroísmo baixo com XAc de 50° e composição $Di_{7,3}, {}_3Hd_{1,0}, {}_0Ac_{8,2}, {}_7$.

A nefelina é um mineral abundante, com os cristais xenomórficos a subidiomórficos. Em geral exibe comportamento heterogêneo para as diferentes amostras: inalterada em algumas e parcialmente transformada em cancrinita ou agregado mineralógico em outras.

O feldspato alcalino é praticamente o único feldspato presente. Em apenas duas amostras (23 e 30) nota-se a presença de plagioclásio, com teor modal inferior a 5%. Na maioria dos casos o feldspato alcalino é xenomórfico e acha-se geminado segundo a lei de Carlsbad. Sua estrutura corresponde à variedade ortoclásio; contudo, na amostra 20, o mineral possui geminação em grade, indicativa da presença de microclínio. Estruturas pertíticas são comuns, aparecendo na forma de filetes irregulares ou em manchas. Nessas rochas, o feldspato cristalizou-se cedo, em geral antes da nefelina e mesmo dos piroxênios. A despeito das variações estruturais, sua composição situa-se dentro do intervalo $Or_{8,3}$ e $Or_{9,0}, {}_6$.

A sodalita está presente em quase todas as amostras, comumente em concentrações modais muito elevadas. Via de regra ocorre segundo formas distintas, ora integrando massa irregular, ora como pequenos veios milimétricos que se infiltram segundo as mais variadas direções, ou então, menos freqüentemente, como cristais idiomórficos de dimensões milimétricas, incolores com leve tonalidade lilás. Assim, as feições texturais são indicativas de que sodalita é um produto de cristalização tardia e até mesmo de estágio hidrotermal.

Os minerais acessórios mais comuns são titanita, apatita e opacos. Entre os produtos secundários de origem deutérica destacam-se o agregado mineralógico, a cancrinita e a calcita.

Rochas de granulação fina a média

Flogopita melteigitos

Essas rochas ocupam muito provavelmente toda a base da depressão da chaminé principal (lado leste) do maciço, achando-se, contudo, encobertas, em sua maior parte por detritos colúvio-aluvionais. Sua área aflorante abrange todas as bordas da depressão e seu contato com os nefelina sienitos II (róseos e cinzas) é do tipo gradacional. São rochas máficas, faneríticas de granulação fina a média, equigranulares, e formadas essencialmente de piroxênios, flogopita e nefelina. Têm cor preta e intenso brilho micáceo devido à concentração elevada de flogopita.

As porções que se situam nas proximidades das encalixantes possuem abundantes "nódulos" (ao redor de 3 mm) de forma ovalada ou lentiforme, de cores esverdeadas, visivelmente envolvidos por uma auréola de reação de coloração rosada. Xenólitos de nefelina sienitos II-róseos ocorrem com abundância nos flogopita melteigitos; são fragmentos angulosos, com dimensões alcançando até 20 cm, porém, comumente apresentam em suas bordas uma auréola envolvente de reação magmática.

O exame microscópico revela que, mineralogicamente, essas rochas consistem de piroxênios, flogopita, nefelina e noseana (sodalita) em ordem decrescente de abundância, além de apatita, opacos e calcita como acessórios. Feldspato acha-se ausente e a textura dominante é do tipo granular hipidiomórfica.

Os piroxênios - soda-augita, composição variando entre $Di_{8,7}, {}_3Hd_{8,1}, {}_1Ac_{4,6}$ e $Di_{7,0}, {}_0Hd_{1,5}, {}_6Ac_{1,4}, {}_4$ - são os minerais mais importantes. Possuem hábito prismático e, em geral, são subidiomórficos a idiomórficos, de coloração amarelada, e pleocroísmo muito fraco. Estruturas zonadas são raras, e, quando presentes, formam manchas esverdeadas no

interior dos cristais. Contêm como inclusões apatita, opacos e, às vezes, flogopita. As constantes ópticas são variáveis; birrefringência máxima de 0,028 e ângulo de extinção $Z\Delta c$ entre 47 e 67°. Por outro lado, nas regiões mais internas do corpo, foram encontrados alguns megacristais de piroxênio poiquilítico com inclusões de apatita idiomórfica e opacos xenomórficos. A sua coloração é variável, exibindo manchas acastanhadas nas partes centrais circundadas por cores mais claras. A birrefringência é alta e a extinção fortemente ondulante. As características ópticas desses megacristais apontam para uma titano-augita (núcleo), gradando em direção às bordas dos cristais para soda-augita.

Os "nódulos" são formados de núcleo e coroa externa. O núcleo corresponde a um aglomerado quase monomineralico de piroxênio, enquanto a coroa externa consiste essencialmente de cristais de flogopita (castanho-avermelhado), dispendo-se na forma de faixa de cerca de 0,7 mm de largura.

A flogopita forma-se simultaneamente ou após a cristalização da maior parte dos piroxênios. É abundante junto às bordas corroídas de se mineral, ou mesmo interdigitando-o ao longo de suas clivagens. Tem cor castanho-avermelhada e é pleocróica. Quimicamente, mantém a relação Mg: Fe > 2,0.

A nefelina ocorre em pequenas quantidades como um componente xenomórfico granular ou como cristais poiquilíticos, contendo inclusões de piroxênios, opacos e flogopita. Comumente acha-se inalterada ou parcialmente transformada em analcita.

Minerais do grupo da sodalita, identificados como noseana e sodalita, estão presentes em quantidades expressivas. Noseana é o mais freqüente deles, aparecendo como cristais subidiomórficos a idiomórficos, com secções hexagonais regulares ou contornos arredondados por cor rosá. São ricos de inclusões granulares orientadas de opacos, ou dis-tribuídas irregularmente. Devido à alteração (hidratação), essas inclusões imprimem à noseana cores amareladas ou pardacentas. Por outro lado, a sodalita, de ocorrência subordinada à noseana, é vista preenchendo as fraturas, espaços intergranulares ou, mais raramente, como cristais isolados, subidiomórficos a idiomórficos. São límpidos, incolores, com leve tonalidade lilás.

Malignitos

Nas bordas da depressão central da chaminé principal, existe uma estreita faixa de rochas faneríticas finas, de cor cinza escura, prontamente diferenciáveis dos flogopita melteigitos e nefelina sienitos II. A sua textura e mineralogia representam, conforme verificado no campo, mudanças gradacionais daquela primeira rocha em direção à segunda e, devido a isso, é de se esperar que os malignitos sejam comuns ao redor de toda a base da depressão. Além disso, são rochas muito ricas em "nódulos", muito semelhantes dos observados nos flogopita melteigitos.

Ao microscópio, consistem essencialmente de nefelina, feldspato alcalino e máficos (piroxênios e, por vezes, melanita). A sua textura é hipidiomórfica poiquilítica granular.

Os piroxênios - egirina-augita (bordas de cristais e aglomerados) de composição variando entre $Di_{41,8}Hd_{37,9}Ac_{20,3}$ e $Di_{54,7}Hd_{19,9}Ac_{25,4}$ e soda-augita (núcleos de cristais zonados) de composição ao redor de $Di_{82,9}Hd_{7,5}Ac_{9,6}$ - são os minerais máficos mais importantes, aparecendo como cristais subidiomórficos de coloração esverdeada. São zonados, com as partes centrais dos grãos de coloração bem mais clara, ao contrário da periferia, de cor verde bem mais intensa. Nota-se também a presença de aglomerados de pequenos cristais prismáticos.

Os "nódulos" inclusos nessas rochas consistem de megacristais de titano-augita (xenocristais), de cor castanho claro, e pleocroísmo fraco. Essas estruturas acham-se circundadas por bordas de reação consistindo de três "capas" concêntricas: uma interna formada de material praticamente vítreo, outra intermediária reunindo agregados finos de piroxênio, biotita e opacos e, por último, uma mais externa correspondendo a um segmento do próprio mineral e ostentando características ópticas semelhantes às dos piroxênios integrantes da própria rocha.

A nefelina ocorre na forma de pequenos prismas curtos incluídos em feldspato alcalino. Esses são incolores, límpidos, e raramente

alteram-se para cancrinita e zeólitas (natrolita). Por vezes mostram indícios de recristalização; cristais bem individualizados se apresentam em nicóis cruzados como agregados de nefelina finamente cristalizada.

O feldspato alcalino ($Or_{96,3}$) possui desenvolvimento poiquilítico, sendo nefelina, piroxênios e melanita as inclusões mais comuns. Forma enormes cristais irregulares, de extrema limpidez, e sem geminação ou qualquer tipo de exsolução.

A melanita foi reconhecida em uma única amostra (6). Forma cristais isolados, de cor marrom escuro, e tem suas bordas envolvidas por granada quase incolor; alternativamente, ocorre como inclusões em piroxênios, crescendo em suas bordas corroídas ou mesmo interdigitando-o ao longo de clivagens.

Os acessórios mais comuns, em ordem decrescente de abundância, são biotita (ou flogopita), calcita, apatita, opacos, cancrinita e titanita.

Feldspato-melanita ijolitos

Esta litologia acha-se representada por apenas dois afloramentos. Um localizado nas escarpas do lado sul do maciço, entre as duas chaminés maiores, junto às paredes de uma zona em que a erosão atingiu níveis relativos mais profundos. O outro, na base de um dos flancos de um vale relativamente estreito e profundo escavado no contato norte entre os nefelina sienitos I e II-cinzas.

Exibem cor cinza-esverdeada, e consistem de granulação média e mais de 85% de feldspatóides e máficos, com os feldspatos alcalinos destituídos de importância. Sua textura é tipicamente xenomórfica.

Os piroxênios - soda-augita, composição variando entre $Di_{51,1}Hd_{29,1}Ac_{9,7}$ e $Di_{48,4}Hd_{32,3}Ac_{19,3}$ - têm cor esverdeada e pleocroísmo fraco. Zonamento é raro, ocorrendo, no entanto, variações graduais da intensidade de cor em direção ao núcleo.

A nefelina é o mineral mais importante, apresentando-se como cristais subidiomórficos bem desenvolvidos e quase sem alteração.

O feldspato alcalino ($Or_{94,7}$ - $Or_{88,8}$) é um componente pouco comum, aparecendo na forma de cristais poiquilíticos. É límpido, incolor, sem qualquer tipo de geminação, além de desprovido de estrutura micropertítica.

Intercrescimento feldspato potássico-nefelina foi observado em apenas uma amostra (4), quando representa 4,9% do seu volume. Ocorre ora como material intersticial, ora integrando massa irregular, corroendo freqüentemente as bordas de nefelina. A sua textura é em tudo similar à dos nefelina sienitos I.

A melanita forma enormes cristais, invariavelmente associados a piroxênios e crescendo nas suas bordas corroídas. Apresenta cor castanho-avermelhado escuro nos núcleos dos cristais, passando a castanho claro nas bordas ou nas regiões manchadas dos indivíduos zonados. Poiquilíticamente, engloba piroxênios, titanita e opacos.

Os acessórios mais comuns são biotita, wollastonita, apatita, opacos e titanita, além de calcita secundária.

Rochas de granulação fina a afanítica

Fonolitos

Rochas intrusivas, com características mineralógicas e texturais correspondendo às de fonolitos, afloram também na área do Banhadão. Ocorrem sempre na forma de pequenos diques, com dimensões inferiores a 1 m, que atravessam as diversas variedades de nefelina sienitos; somente não foram encontrados em associação com os flogopita melteigitos.

Os fonolitos mostram cores esverdeadas escuras e, na maioria das vezes, são homogêneos, maciços, além de praticamente afaníticos. Ao microscópio, nota-se abundância de microfenocristais de feldspato alcalino, piroxênios e nefelina. A matriz, de granulação fina, reúne cristais inferiores a 0,2 mm de feldspato alcalino, nefelina, piroxênios, cancrinita, mineral do grupo da sodalita, fluorita e, provavelmente, zoisita. Os piroxênios acham-se perfeitamente orientados, adquirindo a rocha textura semelhante à traquítica.

Os piroxênios - egirina-augita muito sódica, variando a compo

sição entre $Di_{13,0}Hd_{26,8}Ac_{60,2}$ e $Di_{6,7}Hd_{25,3}Ac_{68,0}$ - são os ferromagnesianos mais importantes, ocorrendo na condição de microfenocristais, na forma de prismas longos incluídos na matriz feldspática, ou alternativamente, como membro integrante da massa fundamental, quando então são aciculares. Independentemente da forma, a sua coloração é verde clara a amarelado e o pleocroísmo médio a fraco.

A nefelina é um componente importante da matriz, onde se apresenta na forma de pequenos prismas curtos ou, mais comumente, de grânulos xenomórficos.

Os microfenocristais de feldspato alcalino formam prismas alongados, zonados ($Or_{86,2}$ e $Or_{84,9}$, respectivamente, bordas e núcleos dos cristais) e geminados segundo a lei de Carlsbad e, ocasionalmente, Bayeno; comumente apresentam bordas reabsorvidas. Suas características ópticas indicam tratar-se de sanidínio. Os componentes da matriz são xenomórficos, límpidos, e sem qualquer geminação.

A cancrinita é freqüente, surgindo como diminutos cristais xenomórficos ou subidiomórficos. Estes são incolores e facilmente reconhecíveis em razão da sua maior birrefringência. O mineral ocorre sempre isoladamente, fato indicativo da sua origem primária. A fluorita é um constituinte acessório comum em algumas amostras. É fortemente colorida, passando de azul escuro a lilás.

ASPECTOS PETROLÓGICOS

O maciço do Banhadão é constituído de uma típica sucessão de rochas alcalinas insaturadas ocupando duas chaminés maiores e alguns condutos secundários, que emergem principalmente na região lateral entre aquelas duas feições.

Do ponto de vista petrográfico, ele consiste de uma massa heterogênea mostrando amplas variações mineralógicas e incluindo desde rochas leucocráticas até melanocráticas; todas elas são isentas de plagioclásio e têm como tipo dominante, ocupando em volume a maior parte da estrutura, nefelina sienitos portadores ou não de melanita e de intercrescimento feldspato potássico com nefelina. A chaminé principal menor (lado oeste) é preenchida por um núcleo arredondado de nefelina sienitos I envolvido na sua parte oriental por melanita-nefelina sienitos e, na ocidental, por nefelina sienitos II-cinzas. Por outro lado, a chaminé principal maior é preenchida por um núcleo de rochas máficas, como flogopita melteigitos e malignitos, envolvidos em sua quase totalidade por nefelina sienitos II-róseos e cinzas; as primeiras rochas, que se encontram em sua maior parte encobertas por detritos colúvio-aluvionais, constituem a base da depressão central da chaminé, enquanto as segundas, juntamente com alguns melanita-nefelina sienitos, ocupam todo o espesso anel circundando a depressão central. As diversas variedades de nefelina sienitos do complexo acham-se recortadas por grande quantidade de pequenos diques de fonolito.

As variações petrográficas sugerem que as unidades litológicas presentes foram moldadas pela forma circular da chaminé e se constituem em corpos em geral semi-anelares concêntricos.

A passagem de uma unidade petrográfica para outra se faz freqüentemente de modo brusco. Contudo, as relações de contato entre os melanita-nefelina sienitos e os nefelina sienitos II-cinzas não são evidentes devido principalmente à cobertura de alteração; aparentemente, ocorrem mudanças mineralógicas transicionais tendo em vista as observações de campo que apontam para variações gradacionais entre uma e outra unidade. Por outro lado, os nefelina sienitos II-róseos e cinzas, rochas encaixantes dos flogopita melteigitos, exibem em consequência da sua ação intrusiva uma auréola de malignitos, equivalentes a uma fácies petrográfica de natureza intermediária.

Com base nas feições mineralógicas e petrográficas, concluiu-se que o Banhadão está longe de representar um maciço homogêneo, gerado em um único evento. As variedades de rochas reconhecidas, como sugerido por feições geológicas e texturais, resultaram sem exceção de processos magmáticos, aparentemente cíclicos e irregulares quanto ao químismo. Além disso, evidências de campo - relações de contato entre as várias unidades, presença de diques de fonolito cortando associações de granulação grossa e também de xenólitos de nefelina sienitos II-róseos sobretudo e cinzas no interior de flogopita melteigitos - permitiram

distinguir pelo menos três ciclos magmáticos distintos, tendo cada um deles se desenvolvido em condições geológicas específicas, refletindo nas rochas características petrográficas próprias.

O primeiro ciclo, que redundou pelo menos três pulsos magmáticos, se refere às rochas de granulação grossa, com as variedades que afloram nas proximidades das encaixantes exibindo em geral textura mais fina. A despeito das características físico-químicas do magma que deu origem a essas rochas e da influência da pressão de vapor e voláteis sobre o sistema, considera-se que a granulação grossa é devida principalmente à cristalização em profundidade, sob condições plutônicas. Nessas rochas, os piroxênios ocorrem em abundância, sobretudo nos melanita-nefelina sienitos mas decrescem em quantidade junto aos nefelina sienitos I e nefelina sienitos II-róseos e cinzas. São minerais de cristalização precoce nas duas primeiras litologias (soda-augita estendendo muito ao limite da transição para egirina-augita), tendendo a aparecer cada vez mais tarde nos nefelina sienitos II (egirina-augita, com variações gradativas e marcadas por um enriquecimento em sódio). Os piroxênios precoces podem exibir estruturas fortemente zonadas devido à velocidade de resfriamento do magma nas regiões próximas às encaixantes; neste caso, a composição dos núcleos está em desequilíbrio com o meio, enquanto a das bordas foi controlada pelas características químicas do magma. Feldspatos e nefelinas são os constituintes félsicos mais importantes em quase todas as rochas do maciço; cristalizam-se em geral num estágio intermediário, logo após a formação dos piroxênios, fugindo à regra dos nefelina sienitos II-róseos e cinzas, onde eles aparecem mais cedo. As relações texturais sugerem que alguns minerais (fases micáceas, melanita, intercrescimento feldspato potássico com nefelina e sodalita) se formaram como produto final da cristalização do líquido residual. A biotita (raramente flogopita) ocorre principalmente como mineral deutérico, substituindo aos piroxênios, enquanto melanita é uma fase abundante apenas nos melanita-nefelina sienitos. As feições texturais - indicadas pela relação íntima com os piroxênios e presença comum de estruturas poiquilíticas, contendo em geral titanita, piroxênios e algumas vezes opacos - apontam para a formação dessas granadas como produto final de cristalização, por substituição de piroxênios em concordância assim com as observações de King (1975) e Gomes *et al.* (1968). Em algumas variedades registrou-se a presença de "capas" de melanita (coloração clara) envolvendo núcleos escuros, sugerindo uma fase de cristalização a partir de material fornecido diretamente pelo líquido residual; nesse caso, os núcleos escuros seriam germes ou pólos de atração iônica para formação de melanita a partir dos elementos presentes nas soluções intersticiais, indicando presença de soluções enriquecidas principalmente de Fe^{3+} , Ca e Ti. Dentro da sequência de cristalização, melanita primária, formada cedo, foi identificada apenas em rochas porfiríticas subvulcânicas (am. 10). As estruturas de intercrescimento feldspato potássico com nefelina são uma feição peculiar dos nefelina sienitos I, conquanto estejam presentes em menor proporção nos melanita-nefelina sienitos; as relações texturais dessas estruturas (feições do tipo "fingerprint", "chamas" ou "plumas") caracterizando em geral material de origem intersticial, sugerem, segundo Davidson (1970) e Gittins *et al.* (1980), que o intercrescimento feldspato potássico com nefelina originou-se como produto de cristalização tardia a partir de um magma residual enriquecido em Na e K. Como indicado por feições texturais, a sodalita representa na maioria das vezes um constituinte tardio ou mesmo de um estágio hidrotermal.

Ao segundo ciclo pertencem as rochas máficas, representadas principalmente pelos flogopita melteigitos. A sua atividade, que se resume praticamente a um único espasmo magmático, foi também um episódio de caráter plutônico (granulação fina a média) associado sobretudo aos nefelina sienitos II; nesse caso, a granulação reflete unicamente as condições de cristalização em níveis bem menos profundos (rasos) que o ciclo anterior e uma história de resfriamento bem mais rápida. Face às temperaturas elevadas do corpo intrusivo ao redor das encaixantes (nefelina sienitos II-róseos e cinzas), a ação de contato se fez acompanhar de atividades reometamórficas levando à formação de rochas "híbridas", em especial os malignitos, e, muito provavelmente, os feldspato-melanita ijolitos. Assim, feições "nodulares" presentes nestas rochas foram interpretadas como estruturas "reliquiárias". Considerando a similaridade

entre os núcleos dessas estruturas nodulares encontradas nos malignitos ("xenocristais") e os megacristais dos flogopita melteigitos (titano-augitas), é razoável admitir-se que os "xenocristais" dos malignitos representem megacristais "precipitados" durante o intervalo em que se deu a intrusão do magma máfico, a assimilação da encaixante (nefelina sienitos II) e a formação dos malignitos. Por outro lado, sugere-se que os nódulos (núcleo monomineralico de piroxênio augítico envolvido por uma coroa de flogopita), comuns apenas junto às regiões de contato dos flogopita melteigitos e nefelina sienitos II-róseos, representem megacristais precoces de titano-augita reequilibrados em condições cinéticas bem distintas por ocasião da consolidação dessas rochas junto às porções marginais do corpo.

Finalmente, as atividades ígneas do foco alcalino do Banhadão culminaram com o terceiro e último ciclo magmático, originando inúmeras intrusões menores, na forma de pequenos diques verticais de rochas fonolíticas e alguns micro melanita-nefelina sienitos, de granulação fina até mesmo afaníticas, refletindo nitidamente cristalização em condições subvulcânicas.

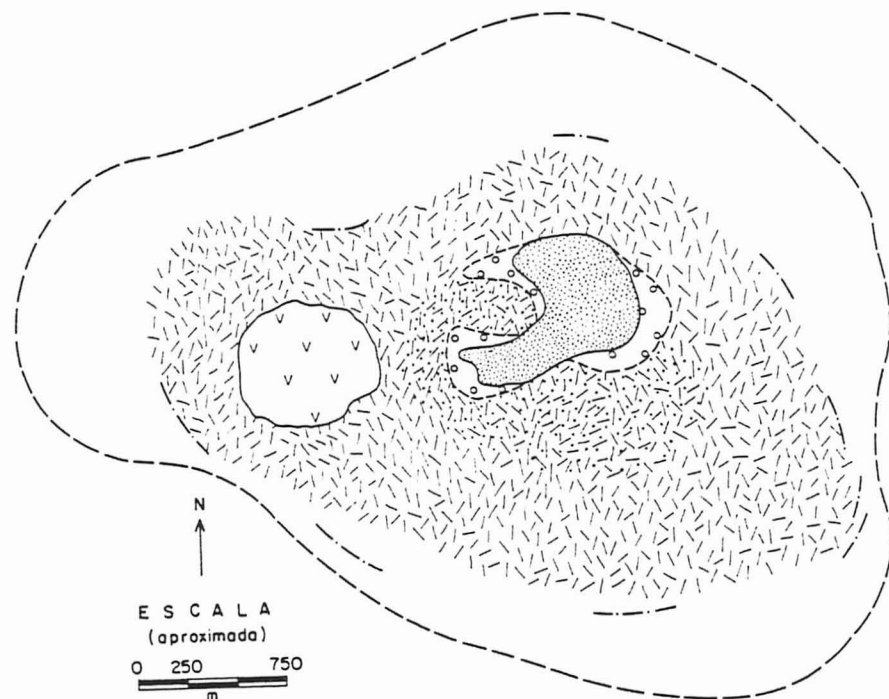
No tocante às rochas fonolíticas carbonizadas, ricas em sodalita e carbonatos, encontradas fora da área do maciço, face às limitações impostas pela falta de dados petrológicos em geral, entendeu-se premente emitir opiniões sobre as possíveis ligações petrogenéticas desse material com qualquer um dos ciclos magmáticos discutidos.

AGRADECIMENTOS

Estes são devidos ao CNPq (Proc. 2222.02061/78, beneficiário E. Ruberti), FAPESP (Proc. Geol. 76/658, beneficiário C.B. Gomes) e FINEP (Proc. 3.3.82.0381.00, beneficiário C.B. Gomes) pelo auxílio financeiro recebido, à CPRM e MINEROPAR, por terem facilitado o acesso à área. Somos também gratos ao Prof. Rômulo Machado pela valiosa colaboração nos trabalhos de campo.

BIBLIOGRAFIA

- CHAYES, F. - 1949 - A simple point counter for thin-section analysis. Amer. Miner., 34: 1-11.
- DAVIDSON, A. - 1970 - Nepheline-K-feldspar intergrowth from Laminak Lake, Northwest territories. Can Mineral., 10: 191-206.
- FERREIRA, F.J.F. & ALGARTE, J.P. - 1979 - O comportamento aeromagnético-métrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. Atas 2º Simp. Reg. Geol., 2: 195-208, SBG, Rio Claro.
- GITINS, J., FAWCETT, J.J., BROOKS, C.K. & RUCKLIDGE, J.C. - 1980 - Intergrowths of nepheline-potassium feldspar and kalsilite-potassium feldspar: A re-examination of the "pseudo-leucite problem". Contr. Mineral. Petrol., 73: 119-126.
- GOMES, C.B., DUTRA, C.V., HYPOLITO, R. & VALARELLI, J.V. - 1968 - Granoditas titaníferas das rochas alcalinas de Itapirapuã, SP. An. Acad. bras. Ciênc., 40: 313-326.
- 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. Atas 1º Simp. Reg. Geol., 1: 170-178, SBG, São Paulo.
- KAEFER, L.Q. & ALGARTE, J.P. - 1972 - Maciço alcalino do Banhadão: Estudo preliminar. An. XXVI Congr. Bras. Geol., 56-64.
- KING, B.V. - 1965 - Petrogenesis of the alkaline igneous rock suites of the volcanic and intrusive centres of Eastern Uganda. J. Petrol., 6: 67-100.
- RUBERTI, E. - 1984 - Petrologia do maciço alcalino do Banhadão, PR. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (inédito).
- STRECKEISEN, A. - 1976 - To each plutonic rock its proper name. Earth Sci. Rev., 12: 1-33.



LEGENDA

- | | | | |
|--|--|--|-------------------------------------|
| | Cobertura sedimentar | | Encaixante granítica |
| | Flogopita melteigitos | | Contatos gradacionais |
| | Nefelina sienitos II-róseos | | Contatos geológicos com encaixantes |
| | Nefelina sienitos II-cinzas e Melanita-nefelina sienitos | | Contatos litológicos |
| | Nefelina sienitos I | | Limite topográfico do maciço |

Figura 1 - Mapa geológico do maciço do Banhadão, PR (Ruberti, 1984).

Tabela Ia - Composição mineralógica modal de rochas alcalinas do Banhadão

	Flogopita melteigitos		Feldspato-mela- nita ifolitos		Malignitos		Melanita-nefelina sienitos						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14
Feldspato alcalino			9,9	9,7	29,4	29,9	20,2	17,7	30,5	30,7	40,5	48,6	46,1
Albita													
Nefelina	10,2	19,0	44,5	53,5	31,2	38,7	53,1	39,0	39,0	43,5	39,3	38,7	38,8
Sodalita	15,0	6,8				2,5							
Intercrescimento feldspato potássico-nefelina				4,9				2,7	1,3				0,9
Agregado*													
Cancrinita						1,1							
Piroxênio	36,8	37,5	27,6	11,7	31,1	13,9	8,1	19,2	10,2	11,6	0,8	2,3	2,7
Melanita			12,6	14,8		12,7	11,4	18,8	12,1	12,5	8,2	6,5	6,7
Titanita						0,7		0,1					
Opacos	2,0	4,7	1,2	0,7	tr	1,4	0,6	1,8	0,9	0,6		0,2	
Apatita	2,6	2,8	1,0	1,5	0,9	0,9	1,0	0,9	1,2	0,7		0,3	1,6
Calcita	0,7	1,2	0,9	tr	1,6	0,4	0,3		2,2		0,9		1,7
Biotita	32,7	28,0	2,3	0,3	1,5	2,1	0,2	1,3	3,5	0,4	10,3		1,5
Wollastonita				2,9				2,3					3,4

Tabela Ib - Nefelina sienitos

	I			II-róseos						II-cinzas					
	15	16	17	18	19	21	22	29	20	23	24	25	27	28	30
Feldspato alcalino	29,0	40,8	32,5	41,4	36,4	33,8	40,2	56,9	59,6	44,3	37,5	45,4	53,3	47,7	65,1
Albita										2,3					0,2
Nefelina	26,0	31,8	47,5	16,4	17,6	51,0	31,5	27,3	3,1	40,4	2,1	29,5	2,1	21,1	23,8
Sodalita			0,4	0,6	4,2		2,4	3,6	20,8	0,2	48,3	2,2	7,8	13,7	5,4
Intercrescimento feldspato potássico-nefelina	33,8	17,1	11,3												
Agregado*				19,0	23,5		11,1	4,5				9,1	27,1	1,2	
Cancrinita	tr				1,6			0,6					4,7	1,0	7,8
Piroxênio	0,5	4,8	1,3	18,6	14,3	5,0	9,0	5,9	12,5	12,2	9,9	8,7	7,8	7,5	3,3
Melanita	8,2	1,3	1,4				2,6		2,4						
Titanita	tr	0,1	0,3	2,3	1,3	tr	0,9	0,6	tr	0,6	1,1	0,3	0,5	0,6	0,5
Opacos		0,2	0,2	tr	1,1	0,4	tr	0,6	1,0		0,7	0,1			
Apatita	0,7	0,4	0,2		0,4		tr				0,1	tr	tr	0,4	
Calcita	0,3	2,1	1,4	0,6	tr	1,1	1,9	tr	0,6		0,3		0,4		0,2
Biotita	1,5	1,4	3,5	0,8		8,7	0,4						tr		
Wollastonita															

* Agregado microcristalino de nefelina, cancrinita, calcita e mineral isótropo do grupo da sodalita.