

QUIMISMO DAS MICAS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS, SC

S.M.A. Furtado¹, C.B. Gomes²

1. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa Postal 476, 88000 Florianópolis, SC

2. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 20899, 01498 São Paulo, SP

ABSTRACT

The Anitápolis alkaline massif, covering an area of about 6 km², is made up by pyroxenites, biotites, ijolites, nepheline syenites and fenites; phoscorites and carbonatites are found as veins and dykes cutting the silicate rocks, while phonolitic dykes penetrate into the granitoid country rocks.

Micas, occurring in variable amount in the alkaline rocks, display a great diversity of colour and pleochroism. Phlogopites and biotites from silicate rocks show a dominantly brownish shade (Y=Z) and a variation of yellow to yellowish-orange (X) colour; subordinately, some green (Y=Z) varieties are also present. Phlogopites from carbonatites range in colour from light green, brownish, orange to red, the last two phases exhibiting reverse pleochroism.

Many of the analysed micas plot along the phlogopite-annite line in the Al-Mg-(Fe²⁺+Mn) ternary diagram and have a high Mg content. On the other hand, phlogopites from phoscorites, carbonatites and glimmerites indicate a very small Al contribution.

Variation in colour is clearly related to the TiO₂, MgO and FeO contents of the micas.

As the sum Si+Al is insufficient to complete the tetrahedral position in the structural formula, leading to a concomitant increase of the octahedral layer, which mainly affects the orange and red varieties, it is believed that a certain amount of FeO_T should be present as Fe₂O₃, with an effective participation of tetrahedral Fe³⁺.

RESUMO

O maciço alcalino de Anitápolis, de aproximadamente 6 km², é constituído de piroxenitos, biotitos, ijolitos, nefelina sienitos e fenitos; foscoritos e carbonatitos cortam as variedades silicáticas na forma de veios e diques, enquanto diques fonolíticos penetram as rochas granitóides encaixantes.

Nas rochas do maciço, as micas estão presentes em quantidades variáveis, bem como apresentam grande diversidade de cores e pleocroísmo. Nos tipos silicáticos, as biotitas e flogopitas exibem mudança pouco acentuada, predominando as espécies de cor marrom (em Y=Z) e amarelo a amarelo-alaranjado (em X); subordinadamente, ocorrem variedades com tonalidades esverdeadas (em Y=Z). Nos carbonatitos e foscoritos, as flogopitas possuem ampla gama de tons compreendendo desde tipos verde claro, marrom, laranja e vermelho, os dois últimos com pleocroísmo inverso.

A maior parte das micas de Anitápolis dispõe-se ao longo da linha flogopita-annita no diagrama ternário Al-Mg-(Fe²⁺+Mn), com predomínio de termos mais magnesianos; as flogopitas de foscoritos, carbonatitos e glimmeritos mostram menor contribuição de Al.

O esquema pleocróico das micas acha-se correlacionado às concentrações de TiO₂, FeO e MgO.

Como a soma Si+Al é insuficiente para o preenchimento da camada tetraédrica e há um concomitante aumento na camada octaédrica, principalmente nas micas alaranjadas e avermelhadas, considera-se que certa quantidade de FeO total deve, em realidade, estar sob a forma de Fe₂O₃, com participação efetiva de Fe³⁺ tetraédrico.

INTRODUÇÃO

O maciço alcalino de Anitápolis, ocupando área de 6 km², acha-se encaixado em rochas granitóides do leste catarinense (Fig. 1) e destaca-se no panorama mineral brasileiro por suas reservas em apatita. Nos últimos anos, ele tem sido tema de diversos trabalhos tratando, seja da mineralização presente nas rochas e no material intemperizado, como da sua petrografia (Rodrigues, 1985; Yamamoto, 1986; Furtado, 1989, entre outros). Segundo Furtado

(1989), as rochas constituintes do maciço são magnetita-biotita piroxenitos e apatita-piroxênio biotitos na porção central, envolvidos por ijolitos e nefelina sienitos (Fig. 2). Nas bordas, ocorrem variedades leucocráticas, mesocráticas e melanocráticas, intimamente associadas e mostradas de modo indiviso no mapa geológico, representando produtos de baixo, médio e alto grau de fenitização. Quantidades menores de apatita piroxenitos formam faixas métri-

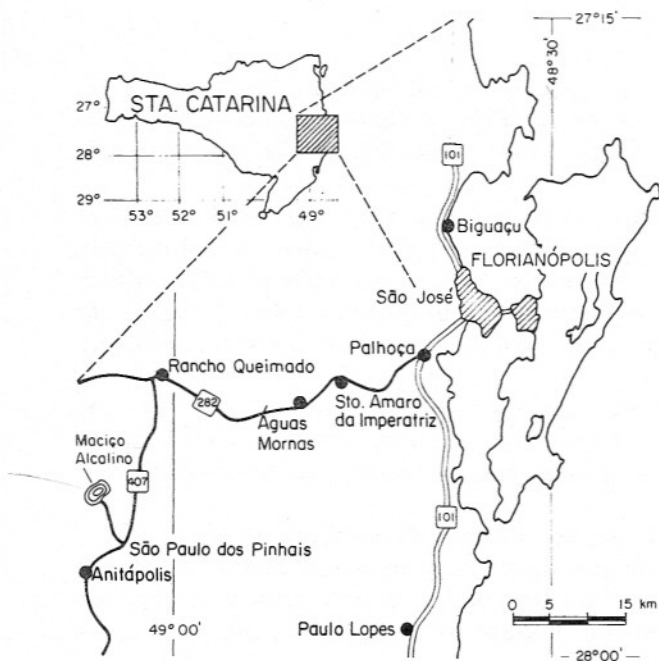


Figura 1 - Mapa de localização do maciço alcalino de Anitápolis, SC.

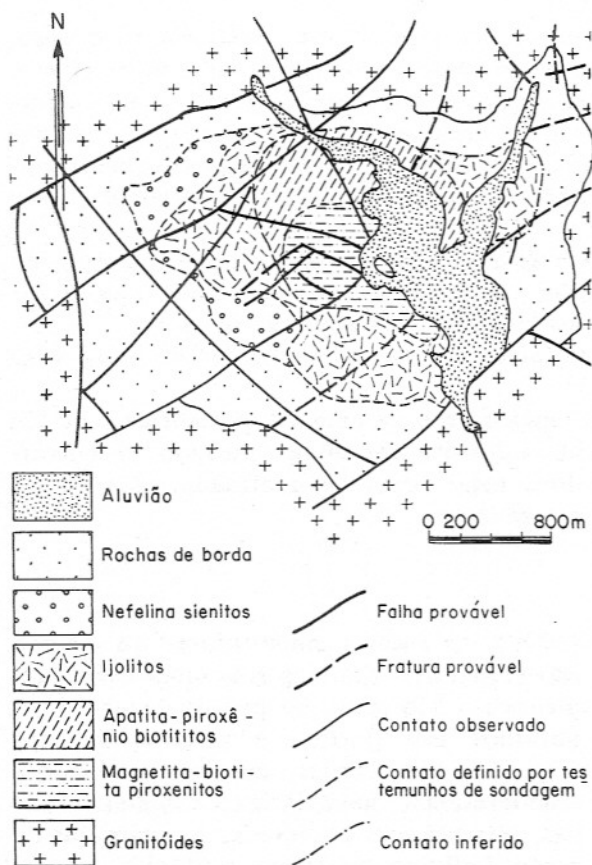


Figura 2 - Mapa geológico do maciço alcalino de Anitápolis (Rodrigues, 1985, modificado).

cas em meio a ijolitos, nefelina sienitos e fenitos. Além desses tipos petrográficos, estão presentes foscoritos e carbonatitos. Os foscoritos são rochas compostas de apatita, magnetita, pseudomorfos de olivina e pequenas concentrações de carbonatos, e que, em Anitápolis, formam veios e diques de alguns centímetros a poucos metros de espessura (Furtado et al., 1986). Os carbonatitos, posteriores aos foscoritos, acham-se representados por tipos sovíticos, magnesianos e calcícticos tardios. Faixas de composição glimmerítica, de 0,1 a 1,0 m de espessura, são encontradas em diferentes tipos de material encaixante aos carbonatitos sovíticos. Diques de fonolito ocorrem penetrando as rochas granitóides encaixantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Nas amostras de Anitápolis, as micas estão presentes em concentrações variáveis e exibem grande diversidade de cor e esquema pleocróico.

Nas rochas silicáticas, por exemplo, elas predominam nos tipos ultramáficos, chegando mesmo a atingir valores próximos a 64% da composição modal nos apatita-piroxênio biotititos; nos demais, a quantidade é em geral pequena, aumentando contudo em locais próximos a carbonatos. As micas (biotitas e flogopitas) ocorrem como lamelas de 0,1 a 8,0 mm que se cristalizam após a formação de piroxênios, opacos, apatita e nefelina, algumas vezes englobando esses minerais ou ocupando os seus interstícios; alteração é incipiente, levando ao aparecimento de clorita. Nos fonolitos, bordas de tetraferroflogopita, com cores avermelhadas e pleocroísmo invertido, dispõem-se em torno das biotitas presentes na massa fundamental.

As variações de cor são pouco acentuadas com predomínio das espécies de cor marrom (Y=Z) e amarelo a amarelo-alaranjado (em X); micas em tons esverdeados e marrom-avermelhados (em Y=Z) possuem ocorrência mais restrita. Zoneamento óptico é pouco perceptível, aparecendo de modo mais nítido nas variedades esverdeadas.

Nos carbonatitos, a quantidade de mica é pequena, inferior a 6,7% da composição modal, e mesmo quase inexistente nos tipos magnesianos e calcícticos tardios. Nos sovíticos, as lamelas de mica, de 0,1 a 2,0 mm de tamanho, predominam nas faixas mais apatíticas, embora também ocorram

entre os grãos de carbonato.

As mudanças de cor e pleocroísmo são mais acentuadas que nas rochas silicáticas, formando-se flogopitas em tom verde claro (em $Y=Z$), além de variedades com pleocroísmo invertido, amarelo-alaranjado (em $Y=Z$) e laranja a vermelho (em X); a verde claro é geralmente livre de zoneamento e, por vezes, apresenta-se capeada por tipos alaranjados, enquanto que as de pleocroísmo invertido, ao lado de formarem capas em torno das demais, podem ocorrer finamente dispersas entre os carbonatos, ou então, como produto de substituição da olivina. Em menor quantidade tem-se uma variedade marrom, envolta por mica verde escuro.

Nos foscoritos, a quantidade de mica passa de valores em torno de 1 até 35%, sendo mais escassa nas amostras menos alteradas por metassomatismo. As flogopitas que ocorrem nos foscoritos, à semelhança daquelas presentes nos carbonatitos, têm diferentes fases de cristalização associadas a distintos esquemas pleocróicos: a variedade verde pálido, de cristalização inicial, está presente nas amostras como pseudomorfo de olivina; nas mais transformadas, o seu desaparecimento dá lugar a uma tetraferroflogopita com forte zoneamento, este marcado por tonalidades alaranjadas e avermelhadas, que ocorrem, tanto como produto de alteração da olivina, como no contato com os grãos de magnetita, adquirindo, neste caso, cores mais avermelhadas. As tetraferroflogopitas podem ter suas bordas cloritizadas e apresentar deformação e recristalização, além de conter inclusões de baddeleita e pirocloro. Em algumas amostras, onde a mica é o constituinte mais abundante, reconhece-se a presença simultânea de três variedades: uma, central, xenomórfica, com pleocroísmo marrom (em $Y=Z$) e amarelo-alaranjado (em X) e exsolução de óxidos de ferro ao longo dos planos de clivagem; nas bordas, grada para uma segunda fase micácea, tetraferroflogopita, de tonalidade vermelha (em X); na transição entre essas duas variedades nota-se o aparecimento de uma terceira, com pleocroísmo verde escuro (em $Y=Z$) e amarelo-alaranjado (em X).

Nas faixas glimmeríticas, a flogopita é o mineral amplamente dominante e apresenta pleocroísmo passando de marrom a amarelo-alaranjado (em $Y=Z$) e amarelo a vermelho (em X); mica bege (em $Y=Z$) e laranja-avermelhado (em X) cristaliza-se

mais próxima ao contato com os carbonatitos.

Essa grande diversidade fez com que se optasse por um número variável de determinações químicas na microsonda para cada grão, objetivando, assim, dar ênfase aos diversos esquemas pleocróicos existentes. Perfis analíticos foram realizados em um grão zonado com o auxílio do dispositivo automático "step scan attachment". A microsonda empregada, de fabricação ARL, é a do Instituto de Geociências da USP. Como padrões, recorreu-se aos minerais biotita (Bio 3) para Si, Ti, Mn, Na, K e F; biotita (Universidade da Basiléia) para Al; benitoíta (San Benito) para Ba; tremolita (Campolungo) para Ca e escapolita (17120) para Cl. De modo esporádico, analisou-se Cr, utilizando-se cromita (53-IN-8) como padrão, com as amostras apresentando, geralmente, teores inferiores aos limites de detecção da técnica.

Os teores médios de cada variedade de mica dos diversos tipos petrográficos, juntamente com as proporções catiônicas calculadas na base de 22 átomos de oxigênio, desconsiderando o teor de F presente, constam da Tabela 1. Nesta, são também fornecidos os valores correspondentes às somas $Si+Al$ (Z), $Mg+Fe+Mn+Ti$ (Y) e $Ca+K+Na+Ba$ (X), bem como o esquema pleocróico de cada amostra.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O exame das fórmulas estruturais permite observar que algumas micas analisadas, em especial as dos foscoritos, possuem quantidade de Si superior a 6,0 átomos por fórmula unitária, fato a impedir a aplicação do diagrama proposto por Deer et al. (1977); este distingue flogopitas e biotitas em função da proporção de Si, entre 5,0 e 6,0, e da razão $Fe^{2+}/Fe^{2+}+Mg$, segundo os termos finais annita-flogopita e siderofilita-eastonita. Esses autores, empregando dados de análises químicas convencionais, caracterizam como flogopitas as micas com relação $Mg:Fe^{2+}$ de 2:1, embora mencionem ser essa distinção, até certo ponto, arbitrária e adotada somente para subdividir uma variação muito grande de composições e propriedades.

Por outro lado, Foster (1960), tomando como protótipo a flogopita pura, classifica as micas trioctaédricas com base nas substituições de Mg por cátions bivalentes ($Fe^{2+}+Mn$) e por cátions trivalentes

(Al+Ti+Fe³⁺). Assim, denomina de flogopitas as que contêm mais que 70% dessas posições ocupadas pelo Mg.

Como nas micas presentes em Anitápolis a quantidade de Al é insuficiente para formar Al^{VI}, e a proporção de Fe³⁺ é desconhecida, optou-se por uma modificação do diagrama proposto por Foster (1960), colocando-se Al total, Mg e Fe total (expresso como Fe²⁺)+Mn (Fig. 3). Nota-se que grande parte desses minerais situa-se em torno da linha flogopita-annita, com predomínio dos termos mais magnesianos, e que as micas dos carbonatitos, foscoritos e glimmeritos desviam-se dos demais face ao maior empobrecimento em Al.

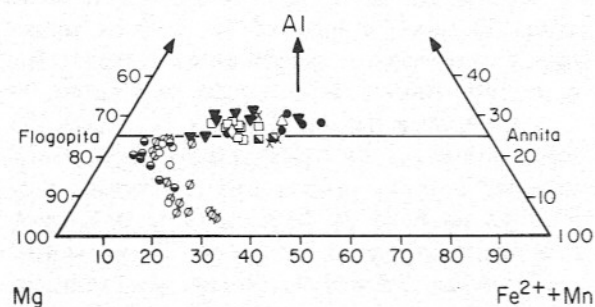


Figura 3 - Diagrama Mg-Al-(Fe²⁺+Mn) para as micas de Anitápolis. Fe_T calculado como Fe²⁺. Triângulos cheios, magnetita-biotita piroxenitos; triângulos abertos, apatita-piroxênio biotititos; diamantes, apatita piroxenitos; retângulos abertos, ijolitos; retângulos semi-cheios, nefelina sienitos; círculos abertos, glimmeritos; círculos semi-cheios, carbonatitos; círculos cortados, foscoritos.

Como mostrado na Tabela 1, Ti ocorre em quantidades compreendidas entre 0,010 e 0,587 átomo por fórmula unitária. De acordo com a classificação de Rock (1982) (titânio biotitas, para quantidades de Ti excedendo a 0,5, e biotitas titaníferas, quando esse elemento varia de 0,1 a 0,5), as micas das rochas silicáticas de Anitápolis podem ser classificadas comumente como titaníferas. Já nos carbonatitos e foscoritos, a proporção de Ti é em geral baixa, com apenas alguns casos caracterizando flogopitas titaníferas. No glimmerito analisado, Ti varia de 0,014 a 0,253, e tem-se, para a maior parte dos casos (C, D e E), flogopitas titaníferas.

Nas micas investigadas, Ti ocorre substituindo a Mg, conforme pode ser sugere-

do pela Figura 4. Nesta, as amostras dispõem-se em torno de uma reta de inclinação 1:5, indicando que outros elementos estão possivelmente envolvidos no processo. Essa mesma inclinação acha-se evidenciada quando se correlaciona Ti com Fe_T, este convertido para Fe²⁺ (Fig. 5). Tanto em um, como em outro diagrama, pode-se observar que a maior parte das flogopitas dos carbonatitos e foscoritos, e também algumas do glimmerito, afasta-se da reta, ao lado de apresentar baixos valores de Ti para proporções variáveis de Mg e de Fe²⁺. O desvio para maiores quantidades de ferro aparece nas micas com pleocroísmo invertido, característico de teores elevados de Fe₂O₃. Portanto, considerando-se apenas o Mg, é possível dizer-se que para as micas de Anitápolis a equação Ti=2R²⁺ de Forbes & Flowers (1974) é apenas parcialmente responsável pelas substituições presentes. Já nos diagramas Ti x Al (Fig. 6) e Ti x Si (Fig. 7), as correlações não ocorrem ou são pouco evidentes.

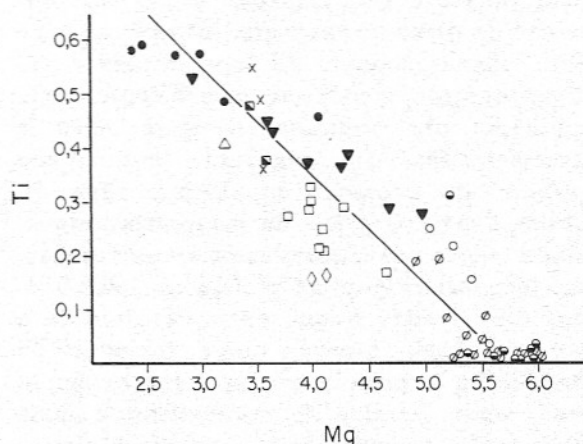


Figura 4 - Diagrama de correlação Ti versus Mg para as micas de Anitápolis. Símbolos como na Figura 3.

O exposto acima, aliado à deficiência de Al octaédrico e ao desconhecimento do conteúdo de Fe³⁺ existente, impossibilitam a aplicação dos mecanismos de substituição propostos na literatura.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PLEOCROÍSMO

Como primeiramente apontado por Hall (1941), o pleocroísmo das micas guar-

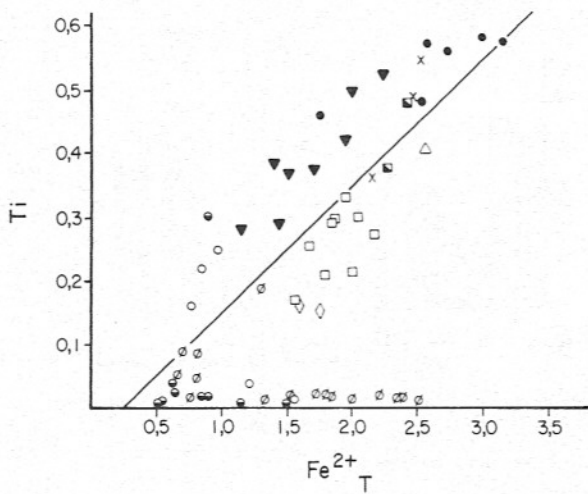


Figura 5 - Diagrama de correlação Ti versus Fe^{2+} para as micas de Anitápolis. Símbolos como na Figura 3.

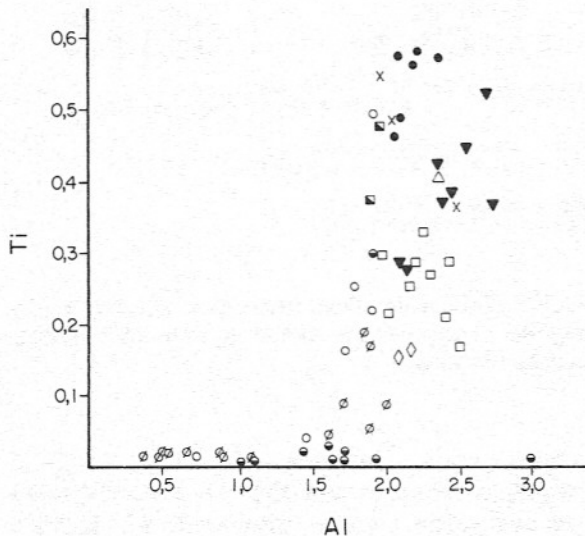


Figura 6 - Diagrama de correlação Ti versus Al para as micas de Anitápolis. Símbolos como na Figura 3.

da forte correspondência com as concentrações de TiO_2 , FeO e MgO. Dessa forma, procurou-se relacionar o esquema pleocróico das micas de Anitápolis com as quantidades de TiO_2 , MgO e FeO e com a razão FeO/MgO desses minerais. Na Figura 8a, que reúne as micas presentes nas rochas silicáticas, nota-se que a variedade marrom escuro contém maiores quantidades de TiO_2 e FeO e baixo MgO, o que se reflete numa alta razão FeO/MgO; tonalidades gradativamente mais claras são originadas pela

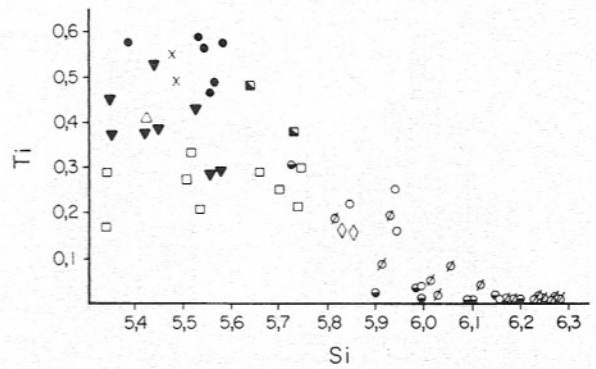


Figura 7 - Diagrama de correlação Ti versus Si para as micas de Anitápolis. Símbolos como na Figura 3.

diminuição dos primeiros e aumento de MgO, enquanto que os tons avermelhados decorrem de teores relativamente altos de TiO_2 e muitos baixos de FeO. Por outro lado, a cor verde oliva mostra valores baixos de TiO_2 , e predomínio de MgO sobre FeO; o tom marrom-esverdeado provém do aumento de TiO_2 em relação à fase anterior, mantidas aproximadamente iguais as proporções de FeO e MgO.

Nas flogopitas de carbonatitos, foscoritos e glimmeritos (Fig. 8b), a cor marrom é também devida ao alto TiO_2 e a uma maior concentração de FeO que nas variedades tendendo a verde. Já nas amostras mais alaranjadas e avermelhadas, o TiO_2 é baixo e o FeO mais alto, o que se reflete nas elevadas razões FeO/MgO; o aumento do FeO é acompanhado pela maior absorção no índice X. A tonalidade verde claro está relacionada a pouco TiO_2 e FeO e alto MgO, gradando para aquelas de cor marrom através da cor verde escuro, ou seja, por um aumento em TiO_2 e FeO.

Esses dados contrariam em parte os fornecidos por Rimsaite (1969). Esta autora assinala que, nas micas do carbonatito de Oka, Canadá, as variedades verde claro e marrom contêm teores aproximadamente iguais de FeO e MgO, com o TiO_2 mostrando-se mais elevado nas segundas; a variedade laranja seria decorrente do alto TiO_2 e a bege do menor conteúdo em FeO. A fase verde claro descrita em Oka parece ter gênese posterior, pois nesse carbonatito ela ocorre formando bordas em torno da verde escuro, o que não foi notado em Anitápolis, onde, tanto nos carbonatitos, como nos foscoritos, o mineral cristaliza-se como lamelas idiomórficas envolvidas por

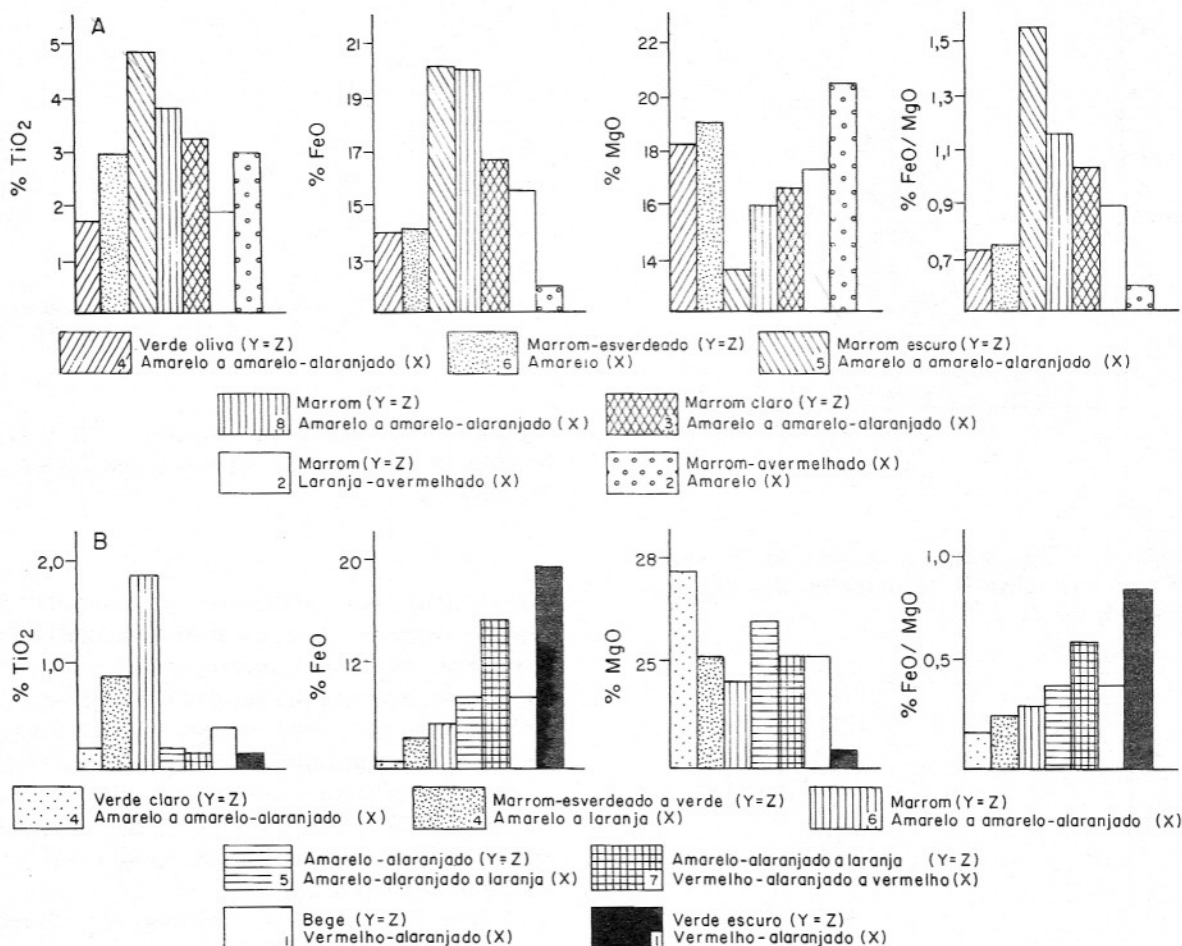


Figura 8 - Variações de TiO₂, MgO, FeO e da razão FeO/MgO para as micas das rochas silicáticas (A) e de carbonatitos, foscoritites e glimmerites (B) de Anitápolis. O número fornecido ao lado do esquema pleocrômico de cada variedade corresponde ao total de análises efetuadas.

outras variedades. Entretanto, essa mica verde claro assemelha-se quanto à cor e às concentrações de Ti e Mg àquelas presentes no carbonatito de Jacupiranga, e investigadas por Gaspar e Wyllie (1987), que as comparam, através desses elementos, com as de peridotitos do manto (Delaney et al., 1980).

Para as flogopitas de cor laranja, aparentemente idênticas às existentes nos carbonatitos e foscoritites de Anitápolis, Rimsaite (1969) atribui a coloração a uma maior participação de Al₂O₃ e menor de FeO quando comparadas às variedades marrons. No presente caso, a cor acha-se associada à maior concentração de FeO, como pode ser observado na Figura 8b.

As modificações químicas entre os diversos tipos de mica podem ser também reconhecidas por meio de perfis analíticos obtidos em cristal zonado (Fig. 9). Neste gráfico, a porção central, marrom, mostra

teores mais elevados em TiO₂, MnO e Al₂O₃ e menores em MgO e FeO. A mica de cor verde escuro (pontos 3, 4, 15, 16 e 17 do perfil), envolvendo a marrom, responde pelo aumento de MgO e diminuição de TiO₂, com os valores de SiO₂, FeO e Al₂O₃ permanecendo constantes. Por outro lado, a flogopita laranja (pontos 1, 2 e 18), que ocorre como capa em torno das demais, exibe conteúdos elevados de SiO₂, MgO e FeO associados a um decréscimo de TiO₂ e Al₂O₃.

Resultados semelhantes foram obtidos por Farmer & Boettcher (1981) em cristal zonado contendo, na porção central, flogopita com pleocroísmo inverso e bordas com pleocroísmo normal. Também para esses autores, a flogopita laranja é caracterizada por SiO₂, MgO e FeO altos e Al₂O₃ e TiO₂ baixos.

A baixa concentração de Al das flogopitas de cor laranja a vermelho é o fator

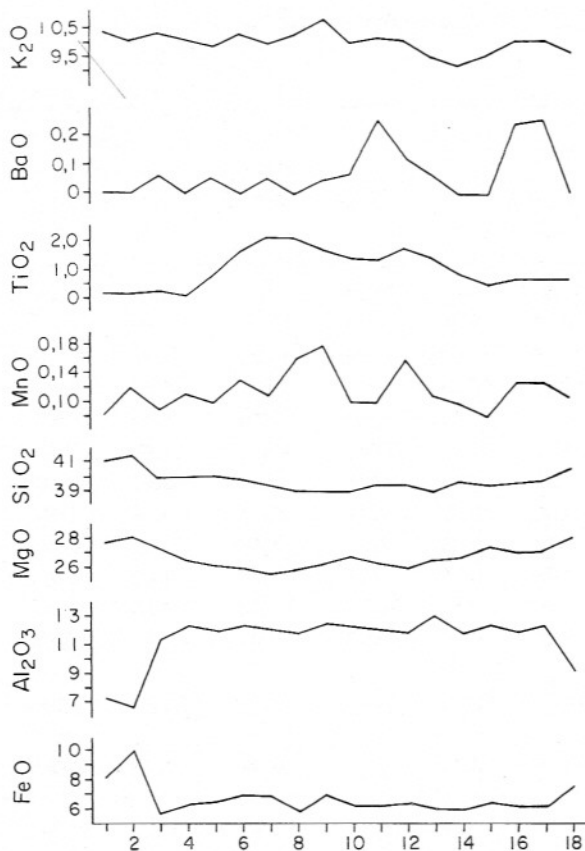


Figura 9 - Perfil analítico em cristal zonado de flogopita. Espaçamento entre os pontos, 10. Pontos 1, 2 e 18 correspondem a bordas e representam mica laranja; pontos 3, 4, 15, 16 e 17 são de mica de cor verde escuro; pontos 5 a 15 indicam a parte central do grão de cor marrom.

responsável pelo não preenchimento da camada tetraédrica, embora isso também seja observado junto às demais variedades, porém, de modo não tão pronunciado. Somente em duas análises (16A-70 e 42-54,2D; Tabela 1), ele é suficiente para completar a posição, originando pequenas quantidades de Al octaédrico.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTEQUIOMETRIA DE MICAS TRIOCTAÉDRICAS

O levantamento dos dados de literatura evidencia que, em muitos casos de micas de rochas alcalinas e carbonatíticas, a soma Si+Al perfaz de 7,7 a 7,9 cátions correspondentes à camada tetraédrica.

Embora a maior parte das micas de rochas silicáticas de Anitápolis exiba comportamento semelhante ao acima referido, as flogopitas de carbonatitos, foscoritos e

glimmeritos apresentam maiores desvios, chegando a totais tão baixos quanto 6,639 para a soma Si+Al, com concomitante aumento na camada octaédrica de 6,000 para 7,802 átomos por fórmula unitária (33-113,8C; Tabela 1). Essas diferenças para os valores estequiométricos são tão acentuadas que não podem ser devidas simplesmente a imprecisões analíticas, mas sim ao fato de que certa proporção de cátions destinada à camada octaédrica deve, na realidade, estar preenchendo as posições tetraédricas.

Na literatura, o procedimento para estabelecer a fórmula das micas trioctaédricas segue duas correntes distintas: preencher a deficiência da posição tetraédrica com Ti, ou então, com Fe^{3+} . Enquanto a primeira é defendida por pequeno número de autores (p.e., Farmer & Boettcher, 1981), a segunda, de Fe^{3+} tetraédrico, encontra maior aceitação apesar de apresentar dificuldades, especialmente no caso das análises por microsonda.

A entrada de pequenas quantidades de Fe^{3+} tetraédrico gera modificações no esquema pleocróico das micas levando à formação de cores mais avermelhadas em X, como assinalado originalmente por Wones (1963). Essas mudanças caracterizam as denominadas tetraferroflogopitas, muito embora biotitas possam também apresentar tais tonalidades nesse índice de absorção (Hogarth, 1964).

Portanto, a locação de Fe^{3+} na camada tetraédrica só encontra amparo quando acompanhada de observações ópticas indicativas; daí certos autores advogarem a existência de Ti tetraédrico para as micas que não exibem inversão no esquema pleocróico.

Contudo, o maior problema reside no fato de atualmente a grande maioria das análises de micas ser obtida por microsonda, inexistindo até o momento condições para a discriminação do ferro total em FeO e Fe_2O_3 . Como geralmente todo o ferro é calculado como FeO, a soma dos cátions octaédricos mostra-se superestimada em menor ou maior grau, em função do Fe_2O_3 presente na amostra.

Como em Anitápolis as amostras que contêm os valores mais baixos correspondentes à soma Si+Al são também as que exibem os mais baixos conteúdos de Ti, parece claro que nos casos estudados esse elemento não é o responsável pelo desvio estequiométrico das fórmulas das flogopi-

Tabela 1. Composição química de biotitas (b) e flogopitas (f) de Anitápolis. FeO* = ferro total; A, B, C ... = composições diferentes na amostra.

	Magnetita-biotita piroxenitos								Piroxênio	Apatita	
	8-33	42-54,2				43-29		47-28	biotitito	piroxenito	
		A	B	C	D	A	B	2-98,6	A	B	
SiO ₂	38,56	36,13	36,01	37,48	36,36	37,01	37,62	37,37	35,65	38,98	39,06
TiO ₂	2,58	4,04	3,32	3,83	4,67	3,37	2,60	3,51	3,57	1,47	1,41
Al ₂ O ₃	12,56	14,61	14,71	13,40	15,09	13,86	11,90	14,20	13,21	12,36	12,06
FeO*	9,56	16,17	14,26	15,83	17,85	12,24	11,58	11,54	20,00	12,82	14,09
MnO	0,12	0,19	0,20	0,19	0,22	0,13	0,12	0,09	0,28	0,28	0,29
MgO	23,01	16,24	17,59	16,53	12,60	19,71	21,18	19,81	14,18	18,48	17,90
CaO	0,17	0,31	0,33	0,16	0,07	0,27	0,35	0,18	0,16	0,07	0,06
Na ₂ O	0,82	0,27	0,28	0,42	0,40	0,56	0,58	0,41	0,25	0,38	0,35
K ₂ O	9,32	9,38	9,46	9,57	9,34	9,24	9,33	9,17	9,56	9,64	9,69
BaO	0,46	0,47	0,61	0,22	0,90	0,43	0,19	0,41	0,33	0,03	0,02
F	0,42	0,21	0,26	0,55	0,07	0,46	0,67	0,28	0,00	0,23	0,00
Cl	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	97,58	98,02	97,03	98,18	97,56	97,27	96,14	96,98	97,18	94,77	94,24
O = F	0,18	0,09	0,11	0,23	0,03	0,19	0,28	0,12	0,00	0,10	0,00
	97,40	97,93	96,92	97,95	97,53	97,08	95,86	96,86	97,18	94,67	94,24

FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 22 OXIGÊNIOS

Si	5,556	5,342	5,345	5,526	5,438	5,421	5,573	5,446	5,418	5,828	5,851
Al	2,133	2,545	2,573	2,329	2,660	2,392	2,078	2,439	2,366	2,177	2,129
Ti	0,279	0,449	0,370	0,425	0,525	0,371	0,290	0,385	0,408	0,165	0,158
Fe	1,152	1,999	1,770	1,952	2,233	1,498	1,435	1,406	2,542	1,603	1,765
Mn	0,015	0,024	0,025	0,024	0,028	0,016	0,015	0,011	0,036	0,036	0,037
Mg	4,941	3,578	3,891	3,632	2,810	4,304	4,676	4,303	3,213	4,119	3,997
Ca	0,026	0,049	0,052	0,023	0,011	0,042	0,055	0,028	0,026	0,011	0,010
Na	0,229	0,077	0,082	0,119	0,117	0,159	0,167	0,114	0,073	0,110	0,103
K	1,713	1,768	1,790	1,801	1,782	1,727	1,764	1,704	1,854	1,839	1,851
Ba	0,026	0,027	0,036	0,013	0,053	0,025	0,011	0,023	0,019	0,003	0,001
Z	7,689	7,887	7,918	7,847	8,000	7,813	7,651	7,885	7,784	8,000	7,980
Y	6,387	6,050	6,056	6,033	5,694	6,190	6,416	6,105	6,199	5,928	5,957
X	1,994	1,921	1,960	1,956	1,965	1,953	1,997	1,869	1,962	1,963	1,965

FeO/MgO 0,41 1,00 0,81 0,96 1,42 0,62 0,55 0,88 1,41 0,69 0,79

Classif.	f	b	f	b	b	f	f	f	b	f	f
	Y = marrom-esverdeado X = amarelo	Y = marrom escuro X = amarelo	Y = marrom-esverdeado X = amarelo	Y = marrom claro X = amarelo	Y = marrom X = amarelo	Y = marrom-avermelhado X = amarelo	Y = marrom averm. claro X = amarelo	Y = marrom X = amarelo-alaranjado	Y = marrom claro X = amarelo	Y = verde oliva X = amarelo-alaranjado	Y = marrom claro X = laranja-avermelhado
Z		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Tabela 1 (cont.)

	Ijolitos											Nefelina sienitos	
	16A-108	21-60,9	22-46,0			23-71,3	36-101,3		57-58,5	13-91,5	19-73,0		
			A	B	C		A	B					
SiO ₂	37,74	38,08	39,05	37,68	38,47	38,84	36,46	36,89	36,21	37,21	38,33		
TiO ₂	1,91	1,90	2,31	3,01	2,63	2,71	2,64	1,56	2,38	4,21	3,35		
Al ₂ O ₃	13,87	11,28	12,63	13,02	12,64	11,08	14,06	14,73	12,86	10,85	10,74		
FeO*	14,64	15,80	13,83	15,96	15,07	16,44	14,96	12,67	16,82	19,11	18,19		
MnO	0,31	0,38	0,34	0,33	0,34	0,56	0,32	0,36	0,47	0,39	0,45		
MgO	18,74	18,00	18,79	18,04	17,83	17,91	19,52	21,54	16,65	15,09	16,33		
CaO	0,22	0,16	0,27	0,11	0,41	0,12	0,20	0,15	0,12	0,04	0,12		
Na ₂ O	0,34	0,32	0,26	0,41	0,45	0,29	0,21	0,33	0,24	0,23	0,23		
K ₂ O	0,57	9,61	9,94	9,92	9,57	9,62	9,72	9,88	9,81	9,75	9,74		
BaO	0,09	0,06	0,05	0,02	0,01	0,05	0,16	0,07	0,01	0,09	0,02		
F	0,03	0,32	2,31	0,49	0,05	0,29	0,05	0,00	0,50	0,38	0,21		
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00		
Total	97,47	96,90	99,78	99,00	97,47	97,91	98,30	98,18	96,08	97,35	97,70		
O = F	0,01	0,13	0,97	0,21	0,02	0,12	0,02	0,00	0,21	0,16	0,09		
	97,46	96,77	98,81	98,79	97,45	97,79	98,28	98,18	95,87	97,19	97,61		

FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 22 OXIGÊNIOS

Si	5,534	5,740	5,702	5,517	5,653	5,742	5,336	5,340	5,507	5,636	5,729		
Al	2,397	2,003	2,174	2,246	2,190	1,931	2,426	2,512	2,305	1,937	1,892		
Ti	0,211	0,215	0,254	0,332	0,291	0,301	0,290	0,170	0,273	0,479	0,377		
Fe	1,796	1,992	1,689	1,954	1,852	2,032	1,831	1,534	2,140	2,420	2,273		
Mn	0,039	0,049	0,042	0,041	0,043	0,070	0,040	0,045	0,061	0,050	0,057		
Mg	4,097	4,045	4,089	3,936	3,906	3,946	4,259	4,647	3,775	3,406	3,638		
Ca	0,034	0,026	0,042	0,017	0,064	0,019	0,031	0,023	0,019	0,006	0,019		
Na	0,097	0,093	0,072	0,117	0,128	0,083	0,060	0,092	0,070	0,068	0,067		
K	1,789	1,848	1,852	1,852	1,794	1,814	1,815	1,824	1,903	1,884	1,857		
Ba	0,005	0,003	0,003	0,001	0,001	0,003	0,009	0,004	0,001	0,005	0,001		
Z	7,931	7,743	7,876	7,763	7,843	7,673	7,762	7,852	7,812	7,573	7,621		
Y	6,143	6,300	6,074	6,263	6,092	6,349	6,420	6,396	6,249	6,355	6,345		
X	1,925	1,970	1,969	1,987	1,987	1,919	1,915	1,943	2,003	1,963	1,954		
FeO/MgO	0,74	0,87	0,74	0,88	0,84	0,92	0,77	0,59	1,01	1,27	1,11		
Classif.	f	f	f	f	f	f	f	f	b	b	b		
	Y = verde oliva X = amarelo	Y = verde oliva X = amarelo-alaranjado	Y = marron claro X = amarelo	Y = marron X = amarelo	Y = marron-esverdeado X = amarelo	Y = marron-esverdeado X = amarelo	Y = marron-esverdeado X = amarelo	Y = oliva X = amarelo-alaranjado	Y = marron X = laranja-avermelhado	Y = marron X = amarelo-alaranjado	Y = marron X = amarelo-alaranjado		
Z	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =	Z =		

Tabela 1 (cont.)

	Carbonatitos						Glimmerito							
	16A-50,5		31A-88,5		39-46,8		50-54,7			1-23,3				
	A	B	A	B	A	B	C	A	B	C	D	E		
SiO ₂	43,34	42,62	42,95	42,67	42,85	41,94	41,91	41,05	41,50	41,62	41,77	41,65	40,63	
TiO ₂	0,09	0,09	0,10	0,13	0,17	0,25	0,34	2,90	0,39	0,12	2,37	1,52	2,03	
Al ₂ O ₃	9,80	6,01	6,49	11,67	8,47	10,29	9,51	11,60	8,58	4,09	10,56	10,27	11,26	
FeO*	4,35	12,58	9,64	4,51	7,06	5,27	5,09	7,56	9,95	12,53	8,05	6,60	6,51	
MnO	0,05	0,09	0,07	0,07	0,07	0,09	0,07	0,21	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	
MgO	27,77	27,32	27,02	26,70	26,58	28,53	27,83	24,91	25,73	27,32	23,78	25,46	24,47	
CaO	0,28	0,48	0,30	0,23	0,51	0,42	0,54	0,60	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03	
Na ₂ O	0,28	0,32	0,94	0,32	0,30	0,40	0,41	0,43	0,22	0,12	0,17	0,17	0,30	
K ₂ O	10,22	9,12	8,48	9,67	9,62	9,59	9,55	9,46	10,40	10,48	10,25	10,47	9,97	
BaO	0,02	0,00	0,00	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,14	0,01	0,10	
F	0,43	0,26	0,11	0,45	0,35	0,35	0,50	0,33	0,25	0,67	0,45	0,82	0,65	
Cl	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	96,65	98,93	96,10	96,58	96,01	97,14	95,78	99,07	97,16	97,04	97,57	97,04	96,01	
O = F	0,18	0,11	0,05	0,19	0,15	0,15	0,21	0,14	0,11	0,28	0,19	0,35	0,27	
	96,47	98,82	96,05	96,39	95,86	96,99	95,57	98,93	97,05	96,76	97,38	96,69	95,74	
FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 22 OXIGÊNIOS														
Si	6,099	6,090	6,195	5,995	6,143	5,899	5,987	5,726	5,992	6,156	5,939	5,946	5,846	
Al	1,626	1,012	1,103	1,933	1,428	1,706	1,601	1,908	1,461	0,712	1,769	1,727	1,910	
Ti	0,010	0,010	0,011	0,014	0,019	0,026	0,037	0,304	0,042	0,014	0,253	0,163	0,220	
Fe	0,512	1,503	1,163	0,530	0,847	0,620	0,608	0,882	1,202	1,551	0,957	0,788	0,783	
Mn	0,006	0,011	0,009	0,009	0,009	0,011	0,009	0,025	0,006	0,009	0,006	0,001	0,006	
Mg	5,825	5,817	5,804	5,592	5,680	5,982	5,925	5,180	5,537	6,023	5,039	5,416	5,248	
Ca	0,043	0,074	0,047	0,035	0,078	0,063	0,082	0,090	0,002	0,003	0,000	0,000	0,005	
Na	0,077	0,090	0,264	0,087	0,083	0,110	0,114	0,115	0,061	0,034	0,047	0,046	0,083	
K	1,836	1,663	1,560	1,733	1,760	1,720	1,741	1,683	1,916	1,978	1,859	1,907	1,829	
Ba	0,001	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,008	0,001	0,006	
Z	7,725	7,102	7,298	7,928	7,571	7,605	7,588	7,634	7,453	6,868	7,708	7,673	7,756	
Y	6,353	7,341	6,987	6,145	6,555	6,639	6,579	6,391	6,749	7,597	6,255	6,368	6,257	
X	1,957	1,827	1,871	1,862	1,922	1,893	1,937	1,888	1,984	2,015	1,914	1,954	1,923	
FeO/MgO	0,16	0,46	0,36	0,17	0,26	0,18	0,18	0,30	0,39	0,46	0,34	0,26	0,27	
Classif.	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	
Z	Y = verde-claro X = amarelo-alaranjado	Y = amarelo-alaranjado X = laranja	Y = amarelo-alaranjado X = laranja	Y = verde claro X = amarelo-alaranjado	Y = verde-amarelado X = laranja	Y = verde claro X = amarelo-alaranjado	Y = verde claro X = laranja claro	Y = marrom X = amarelo	Y = bege X = vermelho-alaranjado	Y = amarelo-alaranjado X = vermelho	Y = marrom X = amarelo-alaranjado	Y = marrom claro X = amarelo-alaranjado	Y = marrom claro X = amarelo-alaranjado	Y = marrom claro X = amarelo

Tabela 1 (cont.)

	Foscoritos										
	16A-77,3			33-113,8							
	A	B	C	A	B	C	D	E	F	G	H
SiO ₂	40,98	42,48	42,59	42,24	40,98	40,71	41,80	42,54	42,68	42,06	41,26
TiO ₂	1,77	0,17	0,13	0,14	0,19	0,13	1,83	0,43	0,83	0,52	0,81
Al ₂ O ₃	11,29	2,79	4,50	2,65	6,17	1,96	11,46	9,49	10,05	11,26	11,80
FeO*	11,05	15,27	12,73	19,02	14,65	19,50	6,53	6,88	5,94	5,58	6,95
MnO	0,20	0,14	0,12	0,17	0,14	0,17	0,12	0,09	0,09	0,10	0,13
MgO	23,16	23,71	27,45	24,42	25,22	22,82	24,16	25,66	26,08	25,25	24,20
CaO	0,16	0,28	0,30	0,28	0,74	0,89	0,29	0,22	0,25	0,19	0,11
Na ₂ O	0,40	0,37	0,36	0,28	0,20	0,19	0,38	0,39	0,37	0,35	0,36
K ₂ O	9,44	9,73	9,81	9,17	8,61	9,20	9,79	9,21	9,65	9,56	10,07
BaO	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,10
F	0,32	0,29	0,26	0,33	0,42	0,28	0,41	0,54	0,45	0,35	0,25
Cl	0,05	0,07	0,11	0,16	0,01	0,08	0,03	0,00	0,04	0,00	0,01
Total	98,87	98,31	98,37	98,87	97,32	95,93	96,85	95,46	96,44	95,23	96,05
O = F	0,13	0,12	0,11	0,14	0,18	0,12	0,17	0,23	0,19	0,15	0,11
	98,74	98,19	98,26	98,73	97,14	95,81	96,68	95,23	96,25	95,08	95,94

FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 22 OXIGÊNIOS

Si	5,812	6,242	6,168	6,268	6,027	6,283	5,927	6,114	6,054	6,015	5,913
Al	1,887	0,484	0,767	0,463	1,107	0,356	1,916	1,607	1,680	1,897	1,993
Ti	0,189	0,019	0,014	0,016	0,021	0,015	0,195	0,047	0,090	0,055	0,088
Fe	1,311	1,876	1,541	2,361	1,801	2,516	0,774	0,827	0,705	0,668	0,833
Mn	0,024	0,018	0,015	0,021	0,018	0,022	0,015	0,011	0,011	0,012	0,016
Mg	4,896	5,849	5,924	5,402	5,528	5,249	5,107	5,497	5,515	5,383	5,169
Ca	0,024	0,044	0,047	0,044	0,116	0,147	0,044	0,034	0,029	0,029	0,017
Na	0,110	0,106	0,102	0,081	0,057	0,057	0,105	0,109	0,102	0,097	0,099
K	1,708	1,824	1,813	1,736	1,615	1,811	1,771	1,688	1,747	1,743	1,840
Ba	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,006
Z	7,699	6,726	6,935	6,731	7,134	6,639	7,843	7,721	7,734	7,912	7,906
Y	6,420	7,762	7,494	7,800	7,368	7,802	6,091	6,382	6,321	6,118	6,106
X	1,845	1,974	1,962	1,861	1,788	2,015	1,922	1,831	1,878	1,870	1,962
FeO/MgO	0,48	0,57	0,46	0,78	0,58	0,85	0,47	0,27	0,23	0,22	0,28
Classif.	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f
Z	Y = marrom X = amarelo-alaranjado	Y = amarelo-alaranjado X = vermelho-alaranjado	Y = amarelo-alaranjado X = laranja	Y = laranja X = vermelho-alaranjado	Y = laranja-esverdeado X = laranja	Y = verde escuro X = vermelho-alaranjado	Y = marrom-esverdeado X = amarelo-alaranjado	Y = amarelo X = laranja	Y = marrom-esverdeado claro X = amarelo-alaranjado	Y = marrom claro X = amarelo-alaranjado	Y = verde X = amarelo-alaranjado

Tabela 1 (cont.)

	Rochas mesocráticas de borda				Fonolitos				Foscorito			
	4-51,65		21-138		1		4-2		2-40,0			
	A	B	A	B	A	B	A	B	C	A	B	C
SiO ₂	36,48	36,08	36,10	36,94	36,21	35,90	37,18	36,63	42,04	42,12	41,69	41,75
TiO ₂	4,87	4,27	3,22	5,02	5,12	5,10	4,12	4,27	0,19	0,14	0,16	0,15
Al ₂ O ₃	11,15	11,29	14,00	12,33	12,34	13,52	11,68	11,73	3,64	6,25	2,84	2,73
FeO*	20,11	19,42	17,36	21,69	23,39	20,57	14,16	19,98	13,81	10,67	15,97	18,69
MnO	0,50	0,48	0,32	0,37	0,41	0,14	0,27	0,25	0,15	0,10	0,15	0,20
MgO	15,34	15,60	15,84	12,30	10,60	13,20	18,29	14,14	26,04	25,72	25,23	23,74
CaO	0,05	0,10	0,08	0,03	0,01	0,01	0,06	0,04	0,43	0,40	0,56	0,50
Na ₂ O	0,27	0,27	0,26	0,37	0,46	0,38	0,33	0,32	0,08	0,27	0,11	0,08
K ₂ O	9,68	9,47	9,70	9,50	9,42	9,31	9,66	9,60	10,12	9,92	9,47	0,57
BaO	0,17	0,12	0,08	0,56	0,48	0,53	0,56	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,60	0,32	0,09	0,64	0,57	0,65	0,33	0,31	0,46	0,58	0,42	0,23
Cl	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,10	0,04	0,10	0,05
Total	99,23	97,42	97,05	99,76	99,01	99,29	96,63	97,50	97,07	96,21	96,70	97,71
O = F	0,25	0,13	0,04	0,27	0,24	0,27	0,14	0,13	0,19	0,24	0,18	0,10
	98,98	97,29	97,01	99,49	98,77	99,02	96,49	97,37	96,88	95,97	96,52	97,61

FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 22 OXIGÊNIOS

Si	5,473	5,478	5,412	5,541	5,526	5,377	5,553	5,559	6,237	6,183	6,251	6,271
Al	1,972	2,019	2,474	2,179	2,218	2,386	2,056	2,097	0,657	1,081	0,503	0,484
Ti	0,549	0,488	0,363	0,566	0,587	0,574	0,463	0,487	0,022	0,016	0,018	0,017
Fe	2,522	2,465	2,176	2,721	2,983	2,576	1,769	2,535	1,714	1,309	2,006	2,348
Mn	0,063	0,062	0,041	0,047	0,052	0,018	0,034	0,032	0,019	0,013	0,019	0,026
Mg	3,429	3,531	3,539	2,749	2,409	2,947	4,072	3,198	5,758	5,628	5,648	5,316
Ca	0,008	0,016	0,013	0,005	0,002	0,002	0,009	0,006	0,068	0,063	0,090	0,080
Na	0,078	0,079	0,076	0,108	0,135	0,110	0,095	0,095	0,023	0,077	0,033	0,024
K	1,852	1,835	1,855	1,818	1,831	1,779	1,840	1,858	1,914	1,957	1,815	1,833
Ba	0,010	0,007	0,005	0,033	0,029	0,031	0,032	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	7,445	7,497	7,886	7,720	7,744	7,763	7,609	7,656	6,894	7,264	6,764	6,754
Y	6,563	6,546	6,119	6,083	6,031	6,115	6,338	6,252	7,513	6,966	7,691	7,707
X	1,948	1,937	1,948	1,964	1,997	1,922	1,977	1,973	2,005	1,997	1,938	1,937
FeO/MgO	1,31	1,24	1,09	1,76	2,39	1,54	0,74	1,41	0,53	0,24	0,63	0,79
Classif.	b	b	b	b	b	b	f	b	f	f	f	f
	Y = marrom escuro X = amarelo-alaranjado	Y = marrom X = amarelo	Y = marrom X = amarelo-alaranjado	Y = marrom escuro X = amarelo	Y = marrom escuro X = amarelo-alaranjado	Y = marrom escuro X = amarelo	Y = marrom-esverdeado X = amarelo	Y = marrom X = amarelo	Y = amarelo-alaranjado X = laranja	Y = amarelo-alaranjado X = amarelo-laranja	Y = amarelo-alaranjado X = vermelho-alaranjado	Y = amarelo-alaranjado X = vermelho
Z		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

tas.

Por outro lado, as micas com maiores deficiências em Si+Al exibem inversão do pleocroísmo, que se torna mais avermelhado quanto maior o ferro total, o que indica que grande parte do ferro é na realidade Fe_2O_3 com participação efetiva de Fe^{3+} te-

traédrico.

AGRADECIMENTOS

Estes são devidos às agências FINEP (Convênio 43.88.0690.00) e FAPESP (Proc. 89/2551-3) pelo apoio financeiro emprestado à realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1977) An introduction to the rock-forming minerals. Longmans, London, 528p.
- DELANEY, J.S.; SMITH, J.V.; CARSWELL, D.A.; DAWSON, J.B. (1980) Chemistry of micas from kimberlites and xenoliths II. Primary- and secondary-textured micas from peridotite xenoliths. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**: 857-872.
- FARMER, G.L. & BOETTCHER, A.L. (1981) Petrological and crystal-chemistry significance of some deep-seated phlogopites. *Amer. Mineral.*, **66**: 1154-1163.
- FORBES, W.C. & FLOWERS, M.F.J. (1974) Phase relations of titan-phlogopites $K_2Mg_4TiAl_2Si_6O_{20}(OH)_4$: a refractory phase in the upper mantle? *Earth Planet. Sci. Lett.*, **22**: 60-66.
- FOSTER, M.D. (1960) Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *Geol. Surv. Prof. Paper.*, **354-B**, 49p.
- FURTADO, S.M.A. (1989) Petrologia do maciço alcalino de Anitápolis, SC. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP, 245p (inédito).
- FURTADO, S.A.M.; GOMES, C.B.; SCHEIBE, L.F. (1986) Ocorrência de foscritos no maciço alcalino de Anitápolis, SC. XXXIV Congr. Bras. Geol., Goiânia, GO, **4**: 1604-1614.
- GASPAR, J.C. & WYLLIE, P.J. (1987) The phlogopites from the Jacupiranga carbonatite intrusions. *Contr. Mineral. Petrol.*, **36**: 121-134.
- HALL, A.J. (1941) The relation between colour and chemical composition in the biotites. *Amer. Mineral.*, **26**: 29-33.
- HOGARTH, D.D. (1946) Normal and reverse pleochroism in biotites. *Canadian Mineral.*, **8**(1): 136.
- RIMSAITE, J. (1969) Evolution of zoned micas and associated silicates in the Oka carbonatite. *Contr. Mineral. Petrol.*, **23**: 340-360.
- ROCK, N.M.S. (1982) Chemical mineralogy of the Monchique Alkaline Complex, Southern Portugal. *Contr. Mineral. Petrol.*, **81**: 64-78.
- RODRIGUES, E.P. (1985) O complexo alcalino de Anitápolis. Um estudo petrológico. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências/USP, 174p (inédito).
- WONES, D.R. (1963) Phase equilibria of ferriannite $KFe_3^{2+}Fe^{3+}Si_3Al_{10}(OH)_2$. *Amer. Mineral.*, **50**: 1228-1272.
- YAMAMOTO, J.K. (1986) Representações gráficas espaciais em geologia. Aplicações no complexo alcalino de Anitápolis. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências/USP, 167 p. (inédito).