

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

PETROLOGIA DO MACIÇO ALCALINO DE PEIXE - GOIÁS

Tese Apresentada por

RONALDO LIMA LEMOS

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIA

Na área de

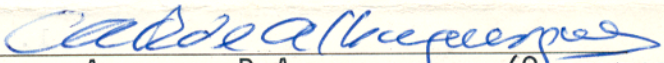
GEOLOGIA

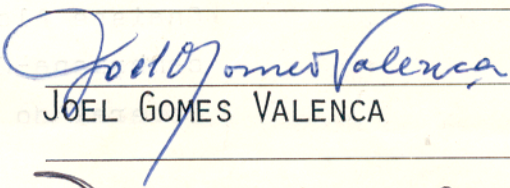
Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em

Ciências Geofísicas e Geológicas da

Universidade Federal do Pará

Aprovado: 22.12.83


CARLOS ALBERTO R. ALBUQUERQUE (ORIENTADOR)


JOEL GOMES VALENÇA


JOSE MOACIR V. COUTINHO

Comitê de Tese

À Vanda, Isabela e
Andrei

AGRADECIMENTOS

Desejamos expressar os nossos agradecimentos à to das aquelas pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho e, em especial:

Ao Professor Doutor Carlos Alberto R. de Albuquerque, que orientou-nos nesta pesquisa, pelos ensinamentos, sugestões e estímulos.

Ao Professor Doutor José Haroldo da Silva Sã, pelos questionamentos e discussões a nível técnico-científico durante a terceira etapa de campo, além do apoio, estímulo e sugestões durante a realização desta pesquisa.

Aos Professores Doutor José Moacyr V. Coutinho (Universidade de São Paulo) e Doutor Joel G. Valença (Universidade Federal do Rio de Janeiro) pelas críticas e sugestões apresentadas.

Ao colega José Pedro de Á. Martins, com o qual realizamos os trabalhos de campo, pelas discussões a nível técnico-científico.

Aos colegas João Batista S. Costa, Paulo Sergio S. Gorayeb e Waldmaria França Mendes pela revisão do texto.

Aos técnicos do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas Raimundo Nonato de Oliveira, José Herculano da Silva Neto e Sônia Maria Rodrigues pelo auxílio nas análises químicas de rochas.

Aos srs. João Marinheiro, João Lima, José Lopes e Luis Lopes, a sra. Maurina e os demais moradores da região pela hospitalidade e amizade que nos foi dedicada durante os trabalhos de campo.

Aos colegas do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Pará e do Curso de Pós-Graduação do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas pelo clima geral de amizade e discussões levantadas durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará pelo apoio material e humano e em

especial aos Professores Doutor Raimundo Netuno Nobre Villas, Coordenador do NCGG e Doutor Luis Ercílio do Carmo Faria Jr., Coordenador do Curso de Pós-Graduação do NCGG pelo apoio e estímulo.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pela utilização do Laboratório de Microsonda Eletrônica e em especial aos Professores Doutor Celso de Barros Gomes, Excelso Ruberti e Mabel Ulbrich pelos ensinamentos e sugestões durante a realização das análises químicas de minerais por microsonda eletrônica.

A McMaster University (Hamilton, Canadá) que através do Professor Carlos Alberto R. de Albuquerque possibilitou a realização de análises químicas de rochas (quatro amostras).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq e Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP que através do Projeto Faixa Orogênica forneceu o apoio financieiro para a realização desta pesquisa.

FIGURAS

1	Mapa de Localização do Maciço Alcalino de Peixe (GO)	6
2	Unidades Geotectônicas da Região Brasil Central da Plataforma Sulamericana (modificado de Almeida et alii, 1976)	10
3	Aspecto do nefelina sienito gnaiss com "olhos" de magnetita. Bordo sudeste do Maciço	16
4	Foliação do nefelina sienito gnaiss ressaltada pela biotita	16
5	Bandamento do nefelina sienito gnaiss dado pela variação na proporção da biotita em relação aos minerais fêlsicos	17
6	Estrutura em "schlieren", constituída de cristais não orientados de biotita, mostrando contato brusco com o nefelina sienito gnaiss	17
7	Xenólitos de metagrauvaca no granito gnaiss ..	19
8	Agregados de cristais não orientados de sillimanita no contato do "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto com o nefelina sienito gnaiss	19
9	Xenólito de metassedimentos (metagrauvaca) no granito pegmatóide	21
10	Fotomicrografia. Cristais alongados e orientados de sillimanita (2ª geração) cortando sillimanita de 1ª geração, não orientada. "Roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto. NII, 40 X	30
11	Fotomicrografia. Cristais de albita dispostos intersticialmente em relação ao quartzo e cordierita. NX, 40X	30
12	Fotomicrografia. Contato em ponto tríplice entre cristais de albita intersticial. NX, 160 X.	32
13	Fotomicrografia. Textura granoblástica, no granito gnaiss, mostrando contatos curvos e/ou irregulares	

	regulares entre cristais de quartzo, microclina e plagioclásio. NX, 40X	33
14	Fotomicrografia. Textura granoblástica, no quartzo sienito gnaiss, mostrando contatos em ponto tríplice entre cristais de quartzo, microclina e plagioclásio. NX, 40X	33
15	Fotomicrografia. Borda de albita no plagioclásio (em contato com cristais de microclina) mostrando passagem brusca do plagioclásio An_{8-14} para a borda de albita (An_{0-3}). NX, 40X	36
16	Fotomicrografia. Bordas de albita ("swapped rims") na interface de cristais de microclina. NX, 160X	36
17	Fotomicrografia. Textura granoblástica, do nefelina sienito gnaiss, mostrando contatos em ponto tríplice entre albita e nefelina. NX, 40X ..	39
18	Fotomicrografia. Textura granoblástica, do nefelina sienito gnaiss, mostrando contatos interpenetrantes entre cristais de peristerita e entre peristerita e nefelina. NX, 40X	39
19	Fotomicrografia. Aspecto textural, do nefelina sienito gnaiss, mostrando a foliação dada pela orientação de cristais de muscovita e biotita. NII, 40X	40
20	Fotomicrografia. Aspecto textural, do nefelina sienito gnaiss, mostrando a foliação dada pela orientação de cristais anédricos de microclina, peristerita e nefelina. NX, 40X	40
21	Fotomicrografia. Grãos arredondados de mesoperita e albita envolvidos pela nefelina normal. NX, 40 X	43
22	Fotomicrografia. Cristal de peristerita com tendência euédrica envolvido pela nefelina normal. NX, 160X	43
23	Fotomicrografia. Cristais euédricos de biotita, orientados, inclusos na nefelina normal. NII, 160 X.	44

24	Fotomicrografia. Nefelina intergranular dispo <u>s</u> ta intersticialmente em relação aos cristais de albita e nefelina normal. NX, 40X	44
25	Fotomicrografia. Contato em ponto tríplice en <u>t</u> re cristais de nefelina normal. NX, 40X	45
26	Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre peristerita e nefelina normal. NX, 160X	45
27	Fotomicrografia. Borda de cancrinita no conta <u>t</u> o da calcita com a nefelina. NX, 160X	46
28	Fotomicrografia. Cristais euédricos de nefeli <u>n</u> a inclusos na mesopertita. NX, 160X	48
29	Fotomicrografia. Borda de nefelina, onde os cristais estão dispostos perpendicularmente ao contato do corindon com a peristerita e micro <u>cl</u> ina. NX, 40X	48
30	Fotomicrografia. Nefelina gráfica intercresci <u>d</u> a na microclina. NX, 160X	49
31	Fotomicrografia. Nefelina vermicular intercres <u>c</u> ida na peristerita. NX, 160X	49
32	Fotomicrografia. Cristal de mesopertita com la <u>m</u> elas (fase sódica) tipo "rod" e "bend". Por <u>ç</u> ão central do Maciço. NX, 40X	51
33	Fotomicrografia. Cristal de mesopertita com la <u>m</u> elas (fase potássica) tipo "string", "rod" e "bend". Extremidade norte do Maciço. NX, 40X .	51
34	Fotomicrografia. Lamelas da fase sódica da me <u>s</u> opertita truncadas por cristais de nefelina . NX, 40X	52
35	Fotomicrografia. Lamelas da fase sódica (peris <u>t</u> erita) da mesopertita interpenetrante em cris <u>t</u> al de peristerita. NX, 160X	52
36	Fotomicrografia. Mesopertita onde uma parte de cristal é formada pela fase sódica, e a ou <u>t</u> ra pela potássica. NX, 40X	53
37	Fotomicrografia. Agregado de microclina e albi <u>l</u>	

	ta associado a cristais de mesopertita. NX, 16X	53
38	Fotomicrografia. Peristerita apresentando maclamento encurvado. NX, 40X	54
39	Fotomicrografia. Peristerita mostrando maclamento de deformação cortando o maclamento original. NX, 40X	56
40	Fotomicrografia. Peristerita com estriações (081) simetricamente disposta em relação ao plano (010), formando um ângulo de 14° com este plano (tipo espinha de peixe). NX, 160X	56
41	Fotomicrografia. Peristerita (An _{7,0-10,7} - An _{0,4-4,0}) apresentando as lamelas da fase mais sódica orientadas segundo os planos (081) e (010) na fase menos sódica. NX, 40X	57
42	Fotomicrografia. Peristerita (An _{4,0-5,1} - An _{0,5-2,8}) com a fase mais sódica envolvendo parcialmente a menos sódica e ainda sob a forma de lamelas, orientadas segundo o plano (081) NX, 40X	57
43	Fotomicrografia. Peristerita (An _{7,0-10,7} - An _{0,4-4,0}) onde uma parte do cristal é formada pela fase mais sódica (clara) e a outra pela menos sódica (escura). Esta última mostrando estriações segundo (081). NX, 160X	58
44	Fotomicrografia. Peristerita (An _{4,0-5,1} - An _{0,5-2,8}) onde uma parte do cristal é formada pela fase mais sódica (clara) e a outra pela menos sódica (escura), com o maclamento aparecendo nas duas fases. NX, 40X	58
45	Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre cristais de peristerita. NX, 40X	59
46	Fotomicrografia. Albita tardia com feição tipo "chessboard", invadindo irregularmente a fase potássica da mesopertita. NX, 160X	61
47	Fotomicrografia. Contato em ponto tríplice entre cristais de microclina. NX, 40X	61

48	Fotomicrografia. Microclina tardia invadindo ir regularmente vários cristais de peristerita. NX, 160X	62
49	Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre peristerita e biotita. NX, 160X	64
50	Fotomicrografia. Cristal de magnetita envolvido por halo de muscovita. NII, 40X	64
51	Fotomicrografia. Agregados de muscovita e can crinita substituindo parcial a totalmente cris tais de nefelina. NX, 40X	67
52	Fotomicrografia. Muscovita intercrescida com biotita. NII, 40X	67
53	Fotomicrografia. Calcita e zeólita dispostas nos planos de clivagem da biotita. NX, 640X	68
54	Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre cristais de peristerita e calcita. NX, 160X ...	70
55	Fotomicrografia. Cancrinita invadindo irregular mente cristais de nefelina e peristerita. NX , 40 X	70
56	Fotomicrografia. Zeólita preenchendo fratura no nefelina sienito gnaiss. NX, 160X	71
57	Fotomicrografia. Zeólita invadindo irregularmen te cristais de peristerita e nefelina. NX, 160X	71
58	Composição dos diferentes tipos texturais de ne felina, da tabela 3, plotadas no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo. Contornos das temperatu ras de Hamilton (1961) e Hamilton e Mackenzie (1960)	78
59	Composição de diferentes tipos texturais de plagioclásio, do nefelina sienito gnaiss, no diagrama Or-Ab-An. A) peristerita ($An_{0.5-2.8}/$ $An_{4.0-5.1}$) de ampla distribuição no Maciço. B) peristerita ($An_{0.4-4.0}/An_{7.0-10.7}$) de uma estre ta faixa nos bordos do Maciço	81
60	Composição de diferentes tipos texturais de pla gioclásio, do nefelina sienito gnaiss, no dia	

	grama Or-Ab-An. A) peristerita ($An_{0.7-2.8}/An_{4.0-5.1}$) da fase sódica da mesopertita; B) albita ($An_{0.4-2.6}$) da fase sódica da mesopertita; C) albita ($An_{0.5-2.8}$) em cristais individuais e intergranulares	82
61	Biotitas e flogopita, do nefelina sienito gnaiss, plotadas no diagrama triangular Mg-(Fe^{2+} , Mn)-(Al ^{VI} , Fe^{3+} , Ti) de Foster (1960)	86
62	Composição dos nefelina sienito gnaiss da tabela 7 no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo. A temperatura mínima (M), o mínimo no sistema Ab-Or(m), o ponto de reação (R) e os limites entre os campos da sanidina, nefelina, kalsilita e leucita são de Hamilton e Mackenzie (1965)	92
63	Diagramas de variação do Si, Al, ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$) e Ca versus Índice de diferenciação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953), ($1/3 Si + K$)-(Ca + Mg)	93
64	Diagramas de variação do Na, K, $Fe^{3+}/Fe^{2+} + Fe^{3+}$ e K/K+Na versus Índice de diferenciação ($1/3 Si + K$)-(Ca + Mg)	94
65	Diagramas de variação do Rb, Sr, Zr, Rb/Sr e K/Rb versus Índice de diferenciação ($1/3 Si + K$)-(Ca + Mg)	97
66	Diagrama K/Rb do nefelina sienito, sienito, quartzo sienito e granito gnaisses	101
67	Campos dos nefelina sienito gnaisses de Blue Mountain, Bigwood, Darkainle e Peixe no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo	109
68	Condições de temperatura e pressão do metamorfismo regional da região do Maciço Alkali no de Peixe baseado nas associações mineralógicas de metapelitos e trabalhos experimentais	114

1	Tipos de pleocroismo da biotita	65
2	Análise química (valores médios), por microsonda eletrônica, de diferentes tipos texturais de nefelina	76
3	Composição de diferentes tipos texturais de nefelina expressa em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo	77
4	Análise química (valores médios), por microsonda eletrônica, de diferentes tipos texturais de microclina	79
5	Análise química, por microsonda eletrônica, de biotita e flogopita	84
6	Análise química, por microsonda eletrônica, de diferentes tipos texturais de Muscovita	85
7	Análise química, coeficiente agpaítico, Índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$, norma CIPW e composição em termos dos componentes nefelina-kalsilita-quartzo das amostras, de nefelina sienito gnaiss, do Maciço Alcalino de Peixe	88
8	Elementos traço (p.p.m) e razões de elementos de amostras, de nefelina sienito gnaiss, do Maciço Alcalino de Peixe	96
9	Análise química, Índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ e norma CIPW e rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses.	99
10	Elementos traço (p.p.m) e razões de elementos de rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses	100
11	Composições mineralógicas dos nefelina sienito gnaisses de Blue Mountain, Bigwood (Rutter e French River), Darkainle e Peixe	106

12	Composições químicas (médias) dos nefelina sienito gnaisses de Blue Mountain, Bigwood, Darkainle e Peixe	108
13	Análises químicas de sedimentos ricos em analcima e do nefelina sienito gnaisse de Peixe (valor médio)	117
14	Análise química (microsonda eletrônica) de diferentes tipos texturais de nefelina	145
15	Análise química (microsonda eletrônica) de diferentes tipos texturais de microclina	155
16	Análise química parcial (microsonda eletrônica) e composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio, albita e anortita de diferentes tipos texturais de plagioclásio	162
17	Comparação entre os teores dos elementos obtidos nos laboratórios do NCGG-UFPA, com aqueles obtidos em McMASTER UNIVERSITY, HAMILTON, CANADÁ	168

SUMÁRIO

Pág

AGRADECIMENTOS	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 INTRODUÇÃO	5
1.1 <u>Localização, Extensão e Acesso à Área</u>	5
1.2 <u>Trabalhos Anteriores</u>	7
1.3 <u>Metodologia</u>	7
2 GEOLOGIA	9
2.1 <u>Geologia Regional</u>	9
2.1.1 Maciço Central de Goiás	9
2.1.1 Faixa de Dobramentos Uruaçu	11
2.1.3 Faixa de Dobramentos Brasília •.....	13
2.2 <u>Geologia da Região do Maciço Alcalino de Peixe</u>	14
3 PETROGRAFIA	22
3.1 <u>Rochas Encaixantes</u>	22
3.1.1 Metagrauvaca	22
3.1.2 Metapelitos	25
3.1.3 Anfibolitos	28
3.2 <u>Xenólitos e "Roof Pendant"</u>	29
3.3 <u>Sienito, Quartzo Sienito e Granito Gnaisses</u>	31
3.3.1 Aspecto Textural	31
3.3.2 Mineralogia	31
3.4 <u>Nefelina Sienito Gnaisse</u>	38
3.4.1 Aspecto Textural	38
3.4.2 Mineralogia	42
3.5 <u>Granito Pegmatóide</u>	73
4 QUIMISMO	74
4.1 <u>Quimismo dos Minerais</u>	74
4.1.1 Nefelina	75
4.1.2 Microclina	75
4.1.3 Plagioclásio	80
4.1.4 Micas	83

	Pág
4.2 <u>Quimismo das Rochas</u>	83
4.2.1 Nefelina Sienito Gnaissé	87
4.2.2 Sienito, Quartzo Sienito e Granito Gnaisses	95
5 CORPOS DE NEFELINA SIENITO GNAISSES SIMILARES AO DO MACIÇO ALCALINO DE PEIXE	103
5.1 <u>Descrição dos Complexos de Nefelina Sienito Gnaissé</u>	103
5.1.1 Nefelina Sienito Gnaissé de Blue Mountain-Canadá.	103
5.1.2 Nefelina Sienito Gnaissé de Bigwood-Canadá	104
5.1.3 Nefelina Sienito Gnaissé de Darkainle-Somalia ...	104
5.2 <u>Comparação Mineralógica e Química</u>	105
6 METAMORFISMO	110
7 PETROGÊNESE	115
7.1 <u>Origem do Nefelina Sienito Gnaissé</u>	115
7.1.1 Metamorfismo de Sedimentos de Composição Apropria da	115
7.1.2 Transformação Metassomática de Rochas Preexisten- tes (Nefelinização)	116
7.1.3 Cristalização a Partir de um Magma Nefelina Siení- tico	121
7.1.4 Metamorfismo e Deformação de um Corpo de Nefelina Sienito de Origem Ígnea	123
7.2 <u>Origem dos Sienito, Quartzo Sienito e Granito Gnaissés</u>	127
7.2.1 Diferenciação Magmática a Partir do Magma Nefeli- na Sienítico	127
7.2.2 Assimilação de Rochas Encaixantes pelo Magma Nefe- lina Sienítico	129
7.2.3 Metassomatismo de Rochas Encaixantes pelo Magma Nefelina Sienítico	130
7.2.4 Magmas Independentes	130
7.3 <u>Modelo de Evolução do Maciço Alcalino de Peixe</u>	132
8 CONCLUSÕES	135
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
10 APÊNDICES	143
1. ANÁLISES QUÍMICAS DE MINERAIS	144
2. ANÁLISES QUÍMICAS DE ROCHAS	165

11	ANEXOS	169
1.	MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DO MACIÇO ALCALINO DE PEIXE-GOIÁS.	
2.	MAPA DE AMOSTRAGEM DA REGIÃO DO MACIÇO ALCALINO DE PEIXE-GOIÁS.	

RESUMO

O Maciço Alcalino de Peixe consiste de um corpo de nefelina sienito gnaiss, leucocrático, foliado e bandado. A foliação é acentuada nos bordos e incipiente ou ausente no centro, enquanto o bandamento está restrito aos bordos. O Maciço é envolvido por uma estreita faixa de quartzo sienito e granito gnaiss, em contato com metassedimentos pré-Grupo Serra da Mesa, predominantemente pelíticos (grafita-sillimanita micaxisto e sillimanita-quartzo micaxisto).

O nefelina sienito gnaiss é constituído essencialmente de nefelina, mesopertita, peristerita e microclina, sendo a biotita o mineral máfico e, mais raramente, a magnetita. O seu coeficiente agpático é típico de rochas miaskíticas, sendo a sua mineralogia também deste tipo.

Os diferentes tipos texturais de nefelina mostram variação na razão Si/Al , enquanto a razão Na/K é aproximadamente constante. A peristerita tem composição $An_{4,0-5,1} - An_{0,5-2,8}$ e, numa estreita faixa da borda é $An_{7,0-10,7} - An_{0,4-4,0}$. A microclina e a fase potássica da mesopertita (microclina) têm composição $Or_{83,0-94,4}$, enquanto a fase sódica da mesopertita é predominantemente peristerita ($An_{4,0-5,1} - An_{0,7-2,8}$) e, às vezes, é de albita ($An_{0,4-2,6}$). A biotita é do tipo lepidomelana-siderofilita.

A composição do nefelina sienito gnaiss, semelhante à do ponto mínimo no diagrama Ne-Ks-Qz, a variação na razão Si/Al da nefelina, típica de nefelina cristalizada a partir de um magma tipo nefelina sienito em condições plutônicas, assim como os "trends" dos elementos Si, Al, Na e K e da razão $K/(K+Na)$ em diagramas de diferenciação, que são concidentes com a variação observada em séries de rochas ígneas alcalinas, indicam que o nefelina sienito gnaiss resultou de um magma nefelina sienítico, gerado na crosta inferior ou manto superior, em ambiente tectonicamente estável. Durante a ascensão deste magma, o aumento do gradiente geotérmico provocou fusões em rochas da crosta, gerando magmas de composição quartzo sienítica e granítica.

O corpo de nefelina sienito, a faixa de quartzo sie

nito e granito e os metassedimentos prē-Grupo Serra da Mesa foram posteriormente afetados, juntamente com os sedimentos da Faixa de Dobramentos Uruaçu (Grupo Serra da Mesa), por um metamorfismo regional do tipo média pressão, no fácies anfibolito, com temperatura de $650 \pm 30^{\circ}\text{C}$ e pressão de $6 \pm 0,5 \text{ kb}$. O metamorfismo deu-se em presença de uma fase fluída rica em H_2O e CO_2 , além de SO_3 , F e P originada pela decomposição de minerais tardi-magmáticos, do nefelina sienito, ricos em componentes voláteis, que teve grande importância, durante o metamorfismo na formação e recristalização de minerais e em processos locais de autometassomatismo.

Este Maciço apresenta analogias marcantes com os complexos alcalinos de Blue Mountain, Bigwood e Darkainle.

ABSTRACT

The Peixe Alkalic Massif consists of leucocratic nepheline syenite gneiss. The Massif is surrounded by a narrow, continuous rim of quartz syenite and granite gneisses, which are in contact with pelitic metasediments, mostly graphite-sillimanite micaschists and sillimanite-quartz micaschistes.

The nepheline syenite gneiss is composed of nepheline, mesoperthite, peristerite and microcline. Biotite is the common ferromagnesian mineral and magnetite occurs locally. The agpaitic coefficient is typical of miaskitic rocks as well as the mineralogy of this gneiss.

Various textural types of nepheline show variations in the Si/Al ratio while the Na/K ratio is almost constant. Peristerite generally has a composition $An_{4.0-5.1} - An_{0.5-2.8}$ and, in the border of the Massif, is $An_{7.0-10.7} - An_{0.4-4.0}$. Microcline and the potassic phase of mesoperthite are $Or_{83.0-94.4}$, while the sodic phase of the latter is a peristerite of composition $An_{4.0-5.1} - An_{0.7-2.8}$ and, more rarely, is albite ($An_{0.4-2.6}$). Biotite has a composition in the lepidomelane-siderophyllite series.

The chemical composition of the nepheline syenite gneiss, which plots near the ternary minimum in the Ne-Ks-Qz diagram, a trend of variation of the Si/Al ratio of nepheline typical of nepheline crystallizing in equilibrium with a liquid (magma), and the trends of variation of the elements Si, Al, Na and K and of the K(K+Na) ratio in the rocks of the Massif, which trends are similar to those observed in differentiation series, suggest that the gneiss of the massif, was formed from a nepheline syenite magma of upper mantle or lower crust derivation. The rise of the geothermal gradient during emplacement of this magma probably caused fusion in the crust with formation of quartz sienitic and granitic magmas.

All these lithologies and the country rocks were subsequently affected by, at least, one event of metamorphism of the intermediate pressure type reaching, in the amphibolite facies, temperatures of $650 \pm 30^\circ\text{C}$ and pressures of $6 \pm 0.5\text{kb}$.

A fluid phase was active during metamorphism and, apparently, components such as CO_2 , SO_3 , F and P were released during the breakdown of magmatic, late-stage minerals, rich in volatiles.

The Peixe Massif is similar to the Blue Mountain and Bigwood Complexes of the Canadian Shield.

1 INTRODUÇÃO

Com a denominação de "gnaisses alcalinos", Floor (1974) cita a ocorrência em diversas partes do mundo, de rochas alcalinas foliadas, bandadas, apresentando orientação de uma ou mais espécies minerais, e associadas a rochas metamórficas.

São vários os trabalhos existentes na literatura sobre os gnaisses alcalinos principalmente no Canadá (Phipps, 1955; Tilley, 1958; Tilley e Gittins, 1961; Gittins, 1961; Hewitt, 1961; Payne, 1966, 1968; Appleyard, 1967, 1969, 1974; Duke, 1975; Duke e Edgar, 1977), que geraram uma série de discussões e controvérsias com relação à gênese destes tipos de rochas. No Brasil, tem-se como referência o trabalho de Lowell e Villas (1983), que trata da origem de um gnaisse alcalino na Amazônia.

Tendo em vista essas controvérsias, e também no sentido de contribuir para o estudo de gnaisses alcalinos no Brasil, propôs-se então este trabalho com o objetivo de determinar a origem do nefelina sienito gnaisse do Maciço Alcalino de Peixe e das rochas que constituem a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses que contorna o Maciço, a partir de dados de campo, petrográficos e químicos (minerais e rochas).

1.1 Localização, Extensão e Acesso à Área

O Maciço Alcalino de Peixe está localizado entre os Municípios de Peixe e Paranã no centro do Estado de Goiás, limitado pelas coordenadas geográficas de $48^{\circ}37'$ e $48^{\circ}30'$ de longitude oeste e $12^{\circ}42'$ e $13^{\circ}00'$ de latitude sul (Fig. 1).

O Maciço apresenta uma forma elíptica com seu eixo maior na direção norte-sul e o menor na direção este-oeste, medindo 30 km e 7 km, respectivamente (Anexo 1).

O acesso à área é feito através da rodovia pavimentada da BR-153 (Belém-Brasília). A partir desta rodovia, atinge-se o Maciço por três rodovias estaduais, não pavimentadas, que se iniciam nas cidades de Gurupi, Alvorada e Santa Tereza. O acesso ao Maciço é facilitado pela rodovia não pavimentada GO-142, que corta a área aproximadamente na direção norte-sul e por estradas

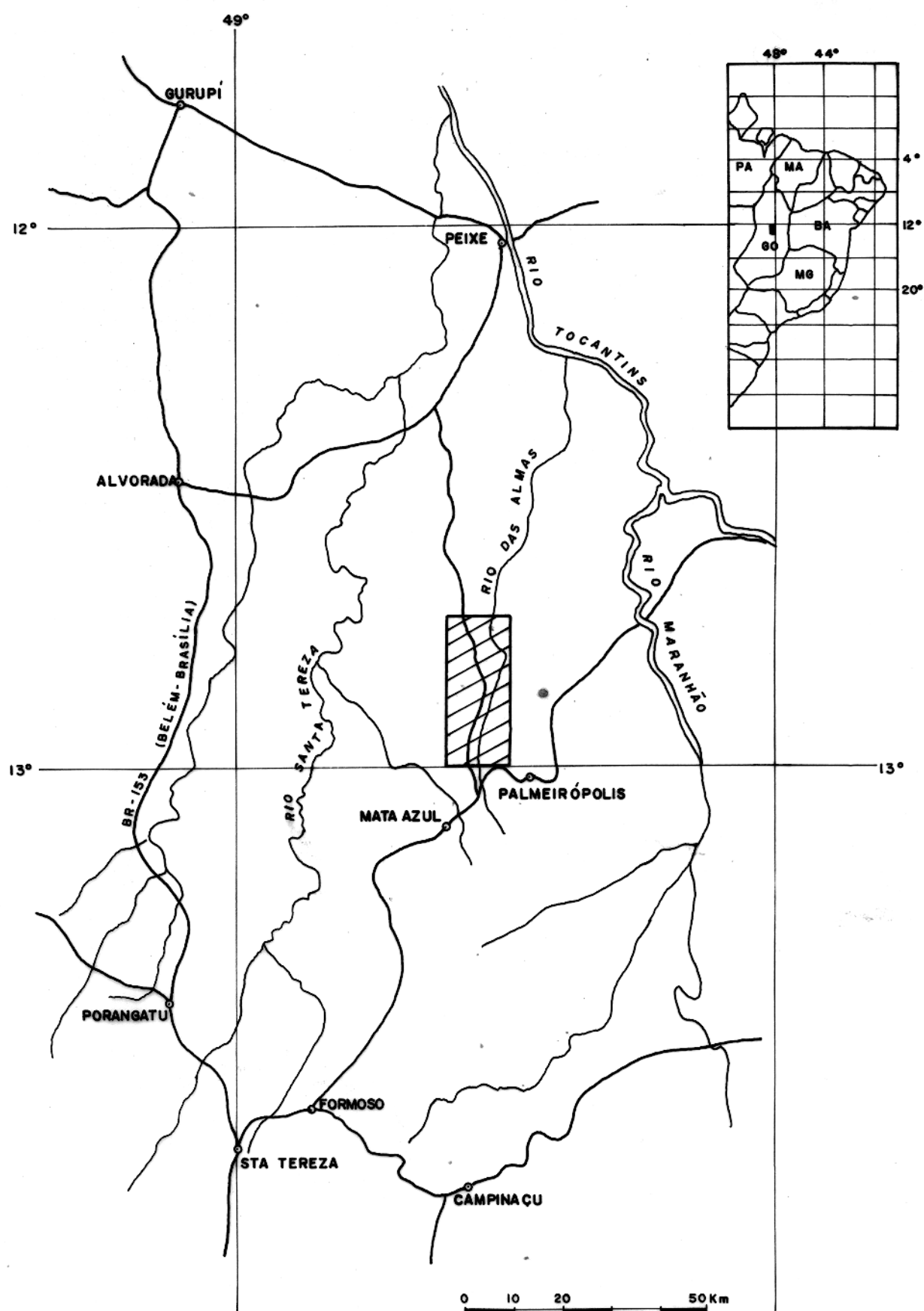


Fig. 1 - Mapa de localização do Maciço Alcalino de Peixe (GO).

secundárias, ligando a referida rodovia às várias fazendas existentes na Região.

1.2 Trabalhos Anteriores

Não se tem registro na literatura de estudos específicos no Maciço Alcalino de Peixe. Apenas algumas citações foram feitas por Barbosa et alii (1969), Marini et alii (1974), Schobbenhaus Filho et alii (1975) e Marini et alii (1977).

Barbosa et alii (1969), com a denominação de "Rochas Alcalinas da Folha de Peixe", citam a ocorrência de um corpo com cerca de 50 km na direção norte-sul e 6 km na direção este-oeste, constituído de litchfieldito, leucocrático, com foliação dada pela biotita, encaixado em biotita gnaiss do Pré-cambriano indiferenciado, sobreposto no seu lado oeste por xistos do Grupo Araxá.

Marini et alii (1974) e Marini et alii (1977) ao mapearem uma área ao sul do paralelo 13°00'S, abrangendo apenas a extremidade sul da "Rocha Alcalina da Folha de Peixe", constataram que parte da área (extremidade sul), mapeada por Barbosa et alii (1969), como litchfieldito, seria constituída na realidade por granito pegmatóide, existindo somente 1 km² de rocha alcalina, classificada como monzonito nefelínico, cortada em várias direções por granitos pegmatóides. Os autores admitiram a possibilidade de uma intrusão alcalina composta, constituída de vários tipos petrográficos tais como: granito pegmatóide, monzonito alcalino, litchfieldito e possivelmente granito.

Schobbenhaus Filho et alii (1975), em sua nota explicativa da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo Folha Goiás SB-22, fazem um resumo do que Barbosa et alii (1969) e Marini et alii (1974) citaram sobre a "Rocha Alcalina da Folha de Peixe".

1.3 Metodologia

Utilizando como base, fotos aéreas na escala 1:60.000 e imagem de Radar semi-controlada nas escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, o mapeamento do Maciço Alcalino de Peixe, foi realizado em quatro etapas de campo, envolvendo 90 dias aproximadamen

te. As duas primeiras etapas, tiveram como objetivo a coleta de informações geológicas e a realização de amostragem, enquanto que, as duas últimas visaram o mapeamento de detalhe nos bordos do Maciço, além do estudo detalhado de alguns afloramentos previamente selecionados.

Tendo como apoio a estrada GO-142 que corta o Maciço aproximadamente na direção norte-sul, foram realizados 27 perfis com espaçamento de um quilômetro, no sentido leste-oeste. Os caminhamentos com extensão variando de 2 a 6 km, foram feitos a passo e bússola com amostragem sistemática em intervalos de aproximadamente 600 metros e observações geológicas de todos os afloramentos (Anexo 2).

As amostras coletadas durante as etapas de campo, em número de 110, foram estudadas petrograficamente a nível de detalhe. A partir deste estudo, foram selecionadas 10 amostras para análise química de minerais (nefelina, plagioclásio, microclina, biotita, flogopita e muscovita) por microssonda eletrônica (Apêndice 1) e 24 amostras para análise química de rochas (nefelina sienito, sienito, quartzo sienito e granito gnaisses) por fluorescência de raios-X, absorção atômica e métodos clássicos (Apêndice 2).

2 GEOLOGIA

2.1 Geologia Regional

A geologia da borda ocidental do Craton São Francisco, constitui-se em um tema bastante complexo e controvertido. São reconhecidas nesta região três unidades geotectônicas denominadas de Maciço Central de Goiás, Faixa de Dobramentos Uruaçu e Faixa de Dobramentos Brasília (Almeida et alii, 1976; Almeida et alii, 1977). O Maciço Alcalino de Peixe ocorre no domínio da Faixa de Dobramentos Uruaçu (Fig. 2).

2.1.1 Maciço Central de Goiás

O Maciço Central de Goiás aflora por cerca de 1000 km na direção NNE, recoberto a norte e sul pelos sedimentos Fanerozóicos das bacias do Parnaíba e Paraná, respectivamente.

O conjunto de rochas que compõem o Maciço Central de Goiás, foi posicionado por Barbosa et alii (1966) e Barbosa et alii (1969), no Pré-cambriano indiferenciado, e denominado por Almeida (1968), de Complexo Basal Goiano.

Para Almeida et alii (1977), as rochas do Complexo Basal Goiano são muito antigas, com idades maiores que 2.6 b.a (Arqueana), apresentando porém, registros dos processos que aconteceram no Proterozóico.

Berbert (1980) considera o Complexo Basal Goiano, como constituído de terrenos granito - gnáissicos, de composição granodiorítica a tonalítica, com seqüências vulcano-sedimentares do tipo "Greenstone-Belt", que estariam metamorfisados no fácies xisto verde a anfibolito baixo, e por terrenos granulíticos.

Fuck e Marini (1981) e Marini et alii (1981) posicionaram no Proterozóico Inferior uma seqüência metassedimentar constituída de paragnaisses e xistos, freqüentemente grafitosos, denominada de Formação Ticunzal (Marini et alii, 1978), cortada por corpos graníticos (tipo Serra da Mesa), portadores de cassiterita.

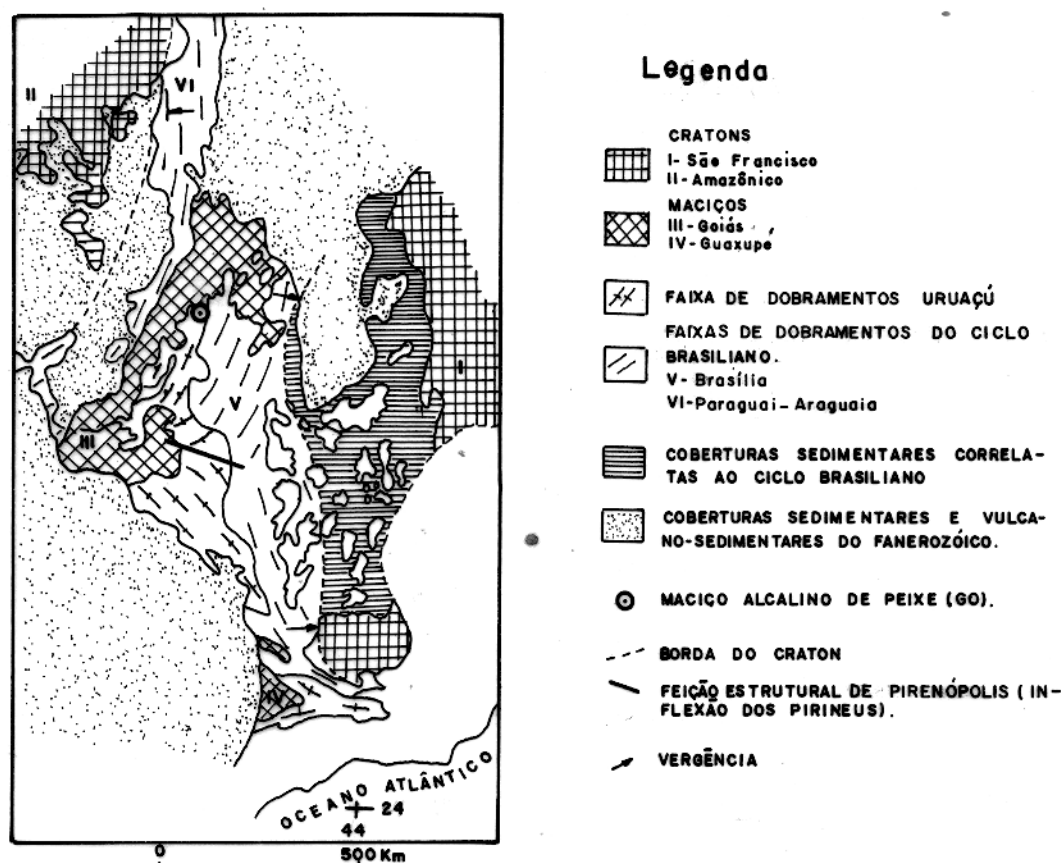


Fig. 2- Unidades Geotectônicas da Região Brasil Central da Plataforma Sulamericana (modificado de Almeida et alii, 1976).

2.1.2 Faixa de Dobramentos Uruaçu

A Faixa de Dobramentos Uruaçu aflora a leste do Complexo Basal Goiano e estende-se desde Natividade, em Goiás, até a região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais.

Hasui e Almeida (1970), Almeida et alii (1976) e Almeida et alii (1977) consideram que esta faixa é constituída pelos metassedimentos do Grupo Araxá, dobrados e metamorfisados no fácies xisto verde alto a anfibolito, durante o Ciclo Uruaçuano (1,3 b.a a 1,0 b.a). Ainda segundo estes autores, os dobramentos são de caráter holomórfico com vergência para o Craton São Francisco, mostrando uma mudança na região central da faixa, adaptados à Inflexão dos Pirineus. Ao norte desta inflexão, a direção desses dobramentos está orientada entre NNE e meridiana, enquanto que ao sul é predominantemente NW.

O Grupo Araxá foi definido por Barbosa (1955) como "um Complexo Metamórfico Pré-cambriano, constituído de migmatitos, micaxistos, xistos verdes, quartzitos e filitos" descritos no Planalto de Araxá em Minas Gerais. Provisoriamente, este autor dividiu esse Complexo Metamórfico em duas formações denominadas Araxá e Canastra, separadas provavelmente por uma discordância angular.

Na região central de Goiás, Barbosa et alii (1969) denominaram os metamorfitos de fácies anfibolito, ali existentes, de Grupo Araxá e os de fácies xisto verde ocorrendo a leste, de Grupo Araí, este último recobrando discordantemente o embasamento granito-gnáissico com restos de xistos do Grupo Araxá. Ainda segundo Barbosa et alii (1969) os grupos Araxá e Araí apresentariam as seguintes divisões estratigráficas:

Grupo Araxá - foi dividido provisoriamente em duas unidades litológicas distintas: unidade A (inferior) e unidade B (superior). A unidade A compõe-se de micaxistos com granada, estauroлита, cianita e cordierita, com intercalações de quartzitos e mais localmente de xistos grafitosos. Na base dos micaxistos são encontradas localmente camadas ou lentes de anfibolito. A unidade B consiste de calcoxistos com muscovita e localmente biotita, lentes de mármore micáceos e intercalações de quartzitos.

Grupo Araí - foi dividido nas formações Arraias (inferior) e Traíras (superior). A Formação Arraias é constituída por quartzitos com intercalações de metassiltitos e filitos, os quartzitos apresentando na base lentes de metaconglomerados intratransformacionais e localmente vulcanitos basalto-andesíticos (metamorfisados). A Formação Traíras compõe-se de metassiltitos, filitos e calco-filitos com intercalações de calcários impuros e níveis de quartzitos.

Sob a denominação de Sistema de Dobramentos Araxá, Schobbenhaus Filho et alii (1975), incluem as unidades Araxá, Araí e Canastra. Consideram ainda a unidade Canastra como uma formação do Grupo Araxá, e o Grupo Araí como um fácies marginal do Sistema de Dobramentos Araxá. Este esquema difere do proposto por Almeida et alii (1977).

Marini et alii (1977) propõem a substituição da denominação Grupo Araxá por Grupo Serra da Mesa para os metamorfitos do fácies anfibolito, ocorrentes ao norte da Inflexão dos Pirineus.

Fuck e Marini (1981) dividem a Faixa em dois segmentos separados pela Inflexão dos Pirineus. O segmento setentrional compreende a parte central e nordeste de Goiás, sendo constituído pelos grupos Serra da Mesa, Araí e Natividade. O segmento meridional abrange o sul de Goiás e o Triângulo Mineiro, e é constituído pelo Grupo Araxá e Formação Canastra. Os dobramentos e falhamentos inversos (alto ângulo), no segmento setentrional, têm direções meridiana, com vergência para o Craton São Francisco. Grande parte das falhas parecem ser de idade brasileira, ou pelo menos foram reativadas durante este evento. Destacam-se no contexto regional as braquianticlinais, resultantes da ascensão diapírica de granitos pré-Uruaçuanos, durante o Proterozóico Superior e no início do Fanerozóico. No segmento meridional, as estruturas primárias estão obliteradas pelas falhas inversas de rumo NW e pelos "Nappes de Charriage" relacionados ao Ciclo Brasileiro.

Segundo Fuck e Marini (1981) o metamorfismo nos segmentos setentrional e meridional é de pressão intermediária, do tipo cianita-sillimanita, com grau metamórfico crescendo de leste para oeste. No segmento meridional há significativas interrupções na polaridade relacionadas às falhas inversas e aos "Nappes

de Charriage". As rochas vulcânicas nos dois segmentos são de ocorrência restrita, estando representadas por: a) basaltos, andesitos e riolitos, metamorfisados, intercalados na base dos metassedimentos dos grupos Araí e Natividade; b) anfibolitos discordantes e concordantes com as estruturas dos metassedimentos dos grupos Serra da Mesa e Araxá. Há também pequenos corpos de granito pegmatóide intrusivos nos metassedimentos do Grupo Serra da Mesa e alguns pequenos corpos de granodiorito e granito intrusivos no Grupo Araxá.

2.1.3 Faixa de Dobramentos Brasília

A Faixa de Dobramentos Brasília, estende-se por mais de 1.100 km ao longo da borda ocidental do Craton São Francisco.

Para Hasui e Almeida (1970), Ferreira (1972), Almeida et alii (1976) e Almeida et alii (1977) a Faixa Brasília compreenderia um estágio inferior, constituído pelos grupos Canastra e Araí e um estágio superior composto pelo Grupo Bambuí. Esta interpretação contrapõe-se à de Schobbenhaus Filho et alii (1975) e Fuck e Marini (1979, 1981) que consideram as unidades Canastra e Araí, pertencentes à Faixa de Dobramentos Uruaçu.

A denominação Bambuí foi proposta por Rimann (1917) para um conjunto de rochas pelíticas e carbonáticas, ocorrendo nas proximidades da cidade de Bambuí, em Minas Gerais.

Braun (1968) propõe para o Grupo Bambuí a seguinte divisão estratigráfica: Formação Paranoá, que constitui a base do Grupo e é composta essencialmente de quartzitos, filitos e metassiltitos, com predominância dos primeiros; Formação Paraopeba predominantemente pelítica e carbonática, sendo a margalita a litologia mais comum, e subordinadamente ocorrem siltitos, arenitos e arcósios; e Formação Três Marias composta predominantemente de psamitos arcoseanos, localmente calcíferos.

Marini et alii (1981) consideram a Faixa Brasília constituída pelos metassedimentos dos grupos Paranoá (Dardenne, 1977, in Marini et alii, 1978) e Bambuí, dobrados e metamorfisados no fácies xisto verde durante o Ciclo Brasileiro com evolução entre 1.0 b.a e 0.5 b.a (Almeida et alii, 1976). A deformação e metamorfismo crescem de leste para oeste. Os sedimentos ho

rizontais de cobertura do Craton São Francisco passam gradativamente, em direção a oeste, para metassedimentos com dobramentos de caráter holomórfico, em isoclinais fechadas, com vergência para o Craton São Francisco, com o metamorfismo não passando do fácies xisto verde. Marini et alii (1980) admitem a possibilidade de os metassedimentos dos grupos Bambuí, Canastra e Araxá, ao sul da Inflexão dos Pirineus, terem evoluído em um único ciclo orogênico. Esta interpretação já tinha sido proposta por Costa e Angeiras (1970, 1971) para a região que abrange os segmentos setentrional e meridional.

2.2 Geologia da Região do Maciço Alcalino de Peixe

O Maciço Alcalino de Peixe está associado a um conjunto de rochas metamórficas, representadas na base por metagrauvaca e no topo por metapelitos. Estes últimos compreendem uma sequência inferior e outra superior, separadas por uma camada de quartzito. A sequência inferior é constituída predominantemente por grafita-sillimanita micaxisto e mais localmente por sillimanita-quartzito micaxisto, com intercalações de quartzito micaxisto e de muscovita-sillimanita quartzito, e a superior por micaxisto com granada, com intercalações de sillimanita micaxisto com granada.

Estes metamorfitos foram incluídos por Marini et alii (1977), Marini et alii (1978), Marini et alii (1980) e Fuck e Marini (1981) no grupo Serra da Mesa, contudo Martins e Lemos (1981) consideram que a metagrauvaca e a sequência inferior de metapelitos possam fazer parte de uma unidade mais antiga (pré-Grupo Serra da Mesa), interpretação esta que nos parece a mais provável.

O Maciço consiste de um corpo de nefelina sienito gnaisse, com forma elíptica, tendo seu eixo maior na direção N-S, medindo aproximadamente 30 km e seu eixo menor na direção E-W com cerca de 7 km (Anexo 1).

O nefelina sienito gnaisse é uma rocha leucocrática de granulação média, coloração cinza esbranquiçada, composta essencialmente de nefelina (cinza clara) e feldspatos (branco). O mineral ferromagnésiano dominante no Maciço é a biotita, porém no bordo sudeste ocorre uma estreita faixa onde a magnetita é o mi

neral máfico dominante. A passagem do nefelina sienito gnaiss com biotita para o nefelina sienito gnaiss com magnetita faz-se através de uma estreita zona, onde ocorrem agregados, com tamanho de até 5 cm, formados por concentrações de cristais não orientados de biotita, apresentando por vezes em seus núcleos, cristais de magnetita (Fig. 3).

A foliação no nefelina sienito gnaiss é ressaltada pela biotita (Fig. 4), sendo bem acentuada nos bordos, e incipiente ou ausente no centro do Maciço. Apresenta também um bandamento dado pelas variações nas proporções dos minerais fêlsicos e máficos (Fig. 5), restrito aos bordos do Maciço. Nestes é ainda freqüente a presença de "schlieren", com dimensões variando de 0,1 a 3 m, constituídos por cristais não orientados de biotita (menores que 10 cm), concordantes com a foliação do nefelina sienito gnaiss e apresentando contato brusco com esta rocha (Fig. 6).

Veios de nefelina sienito pegmatito concordantes com a foliação do nefelina sienito gnaiss e apresentando contato brusco com esta rocha, são de ocorrência muito restrita.

O Maciço é contornado a leste por uma faixa contínua de aproximadamente 0,2 km de largura, constituída de quartzo sienito gnaiss e mais localmente de sienito gnaiss, e a oeste por uma faixa com cerca de 0,5 km de largura, constituída de granito gnaiss. Essas rochas são leucocráticas, de granulação média, coloração rósea e apresentam uma foliação ressaltada pela biotita e/ou anfibólio, e mais localmente, um bandamento dado pela variação das proporções dos minerais fêlsicos e máficos. O aspecto gnáissico é mais fortemente ressaltado no granito gnaiss, devido a apresentar cristais de quartzo e feldspatos estirados.

De um modo geral, não foi possível observar os contatos do nefelina sienito gnaiss com as rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, haja visto que ocorrem em vales e estão encobertos por solos. Na extremidade noroeste, há uma passagem brusca do nefelina sienito gnaiss para o granito gnaiss.

A rocha encaixante que ocorre em contato com a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses é uma metagrauvaca. Esta rocha aflora com uma largura máxima de 10m a sudeste, sudoeste, leste e



Fig. 3 - Aspecto do nefelina sienito gnaissse com "olhos" de magnetita. Bordo sudeste do Maciço



Fig. 4 - Foliação do nefelina sienito gnaissse ressaltada pela biotita.



Fig. 5 - Bandamento do nefelina sienito gnaissado pela variação na proporção da biotita em relação aos minerais fêlsicos.



Fig. 6 - Estruturas em "schlieren", constituída de cristais não orientados de biotita, mostrando contato brusco com o nefelina sienito gnaissado.

extremidade norte do Maciço. Os contatos de um modo geral são encobertos por um manto de intemperismo. Na porção sudeste e sudoeste apresenta contato brusco com os quartzos sienito e granito gnaisses, respectivamente. A oeste e noroeste são encontrados xenólitos de metagrauvaca no granito gnaiss (Fig. 7).

O contato da metagrauvaca com a sequência de metapelitos inferior está igualmente obscurecido pela cobertura de solo, dificultando assim, a sua caracterização. Na porção sudeste foi observado um afloramento de anfibolito próximo à zona de contato, porém não foi possível definir a relação desta rocha com a metagrauvaca e os metapelitos.

O grafita-sillimanita micaxisto está bastante alterado e ocorre em áreas arrasadas em torno do Maciço, enquanto o sillimanita-quartzo micaxisto, com intercalações de quartzo micaxisto e mais localmente de muscovita-sillimanita quartzito, aflora em pequenos morrotes abaulados na parte sudeste da área.

Na porção sudeste do Maciço ocorre um "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto, no qual os cristais de sillimanita aumentam progressivamente de tamanho (menor que 1 até 20 cm) à medida que se aproxima do contato com o nefelina sienito gnaiss (cristais maiores que 1 cm não estão orientados). O contato se faz através de um agregado de cristais não orientados de sillimanita com dimensões de até 40 cm (Fig. 8). O "roof pendant" se estende por mais de 10 km e apresenta uma largura de 2 - 5 m, podendo localmente atingir 50 m. A foliação impressa nessa rocha é concordante com a do nefelina sienito gnaiss. Às proximidades do ponto de amostragem ALP-67, foi observado um afloramento de anfibolito com foliação concordante com a do nefelina sienito gnaiss. Porém, não foi possível determinar se essa rocha ocorre como xenólito ou um dique "intrusivo" na rocha alcalina.

A foliação desenvolvida no nefelina sienito, sienito, quartzo sienito e granito gnaisses, e nos metassedimentos apresenta direção NNE a NNW com mergulhos de 30 a 80° para NW a SW. Na extremidade norte, o nefelina sienito gnaiss apresenta uma foliação encurvada e discordante dos metassedimentos. Devido à ausência de afloramentos de quartzo sienito e granito gnaisses naquela parte da área não foi possível observar a relação existente entre a foliação destas rochas com a do nefelina sienito gnaiss.



Fig. 7 - Xenólitos de metagrauvaca no granito gnaiss



Fig. 8 - Agregados de cristais não orientados de sillimanita no contato do "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto com o nefelina sienito gnaiss.

O nefelina sienito, quartzo sienito e granito gnaisses estão limitados a sul por um granito pegmatóide de granulação variável (média, grosseira e pegmatítica), coloração rôsea a cinza, constituído de quartzo, feldspatos, muscovita, biotita e granada. É freqüente nesta rocha a presença de xenólitos de nefelina sienito, quartzo sienito e granito gnaisses e também de metassedimentos (Fig. 9).

O Maciço, a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses e os metassedimentos encaixante são intensamente cortados por diques e pequenos corpos de granito pegmatóide e de pegmatitos de composição granítica e, mais localmente, quartzo sienítica e sienítica, estes sendo encontrado apenas cortando o nefelina sienito gnaisse.



Fig. 9 - Xenólito de metassedimentos (metagrauvaca) no granito pegmatóide.

3 PETROGRAFIA

Este capítulo tem por objetivo apresentar as descrições petrográficas das rochas que compreendem o Maciço Alcalino de Peixe (nefelina sienito gnaisses), a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses (sienito, quartzo sienito e granito gnaisses) e suas encaixantes. Estas últimas serão descritas de uma maneira sucinta, enquanto que detalhe maior será dado às rochas do Maciço e da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses.

Tendo em vista que as rochas do Maciço e da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses apresentam orientação de algumas das espécies minerais, dando-lhes uma aparência foliada e/ou bandada, e por serem rochas de origem ígnea, afetadas posteriormente por processos metamórficos (conforme será discutido nos capítulos 6 e 7), adotou-se neste trabalho a nomenclatura proposta por Floor (1974) para gnaisses alcalinos. Daí o fato das rochas do Maciço serem denominadas de "nefelina sienito gnaisse" e as da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses de "sienito gnaisse", "quartzo sienito gnaisse" e "granito gnaisse".

3.1 Rochas Encaixantes

3.1.1 Metagrauvaca

A metagrauvaca aflora entre as rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses e a sequência inferior de metapelitos, com uma largura aproximada de 10 m. Trata-se de uma rocha leucocrática a melanocrática, de granulação fina a média, coloração cinza-clara, com porções escuras, intensa foliação ressaltada pela biotita, e por intercalações de litologias diferentes que apresentam alternância de leitos centimétricos a métricos constituídos predominantemente de quartzo e feldspato, com leitos milimétricos a centimétricos constituídos predominantemente de biotita e muscovita.

A textura é granoblástica, com contatos em ponto triplice, quando o oligoclásio predomina sobre o quartzo e/ou microclina, e curvos e irregulares, e mais localmente em ponto tripli

ce, quando o quartzo e/ou microclina predominam sobre o oligoclásio. O quartzo, oligoclásio e microclina perfazem 60 a 90% dos minerais da rocha, com o quartzo variando entre 3% e 50%, variação esta que é independente das proporções relativas de oligoclásio (10 - 70%) e microclina (0 - 40%). Com o aumento na proporção modal da microclina há o aparecimento de bordas de albita no oligoclásio quando em contato com a microclina e na interface de cristais de microclina (similares às descritas por Ramberg (1962) e Carstens (1967)). Mais localmente observa-se a presença de mirmequita no oligoclásio e nas bordas de albita. A biotita (10-30%) geralmente predomina sobre a muscovita (0-20%) enquanto que a grafita e granada ocorrem em quantidades menores. Como traços o correm ainda minerais opacos, apatita, rutilo e zircão.

A metagrauvaca apresenta as seguintes associações mineralógicas em ordem de frequência decrescente:

- . quartzo-oligoclásio-biotita ($\pm$ grafita)
- . quartzo-oligoclásio-microclina-biotita ($\pm$ grafita)
- . quartzo-oligoclásio-biotita-muscovita ($\pm$ grafita)
- . quartzo-oligoclásio-microclina-biotita-muscovita ($\pm$ grafita)
- . quartzo-oligoclásio-biotita-granada ($\pm$ grafita)
- . quartzo-oligoclásio-biotita-muscovita-granada ($\pm$ grafita)

- Quartzo

O quartzo ocorre em cristais anédricos (tamanho em torno de 0,6 mm), fraturados e com extinção ondulante moderada a forte. Em algumas seções delgadas observa-se a presença de cristais de quartzo estirados e intensamente fraturados, com forte extinção ondulante e orientados segundo sua maior dimensão (2 - 4 mm). O quartzo ocorre ainda mais localmente como pequenos cristais com formas vermiculares, intercrescidos nas bordas de albita e no oligoclásio (intercrescimento mirmequítico).

- Plagioclásio

O plagioclásio de composição An_{14-17} , ocorre em

cristais anédricos (tamanho em torno de 0,6 mm), comumente maclado segundo a lei da albita, raramente albita-periclina e periclina e de um modo geral estão moderadamente alterados para sericita e argilo-mineral. Este mineral ocorre ainda como bordas de albita no oligoclásio quando em contato com a microclina, e na interface de cristais de microclina. As bordas de albita são de ocorrência restrita e apresentam composição An_{0-2} (descrição detalhada será feita nos itens 3.3 e 3.4).

- Microclina

A microclina ocorre em cristais anédricos, de um modo geral com maclamento em xadrez nítido. Alguns destes cristais são micropertíticos, onde aparecem pequenas lamelas sódicas do tipo "stringlet", "string" e "patch" (Alling, 1938).

- Biotita

A biotita ocorre em cristais subédricos, orientados e de um modo geral com "kink-bands". Apresenta pleocroísmo onde $Z = Y$ = marrom avermelhado e X = amarelo pálido. Algumas seções apresentam cristais de biotita parcialmente alterados para clorita.

- Muscovita

A muscovita ocorre em cristais subédricos, orientados e intercrescidos e/ou associados à biotita. Raramente aparecem em cristais anédricos, associados ao plagioclásio. Estes cristais de modo geral apresentam "kink-bands".

- Granada

A granada ocorre em cristais subédricos a euédricos, coloração rosa-pálido, com tamanho variando entre 2,0 e 6,0 mm, envolvendo poiquiloblasticamente cristais de quartzo, oligoclásio e biotita.

- Grafita

A grafita ocorre em cristais subédricos a euédricos, hábito lamelar ou esquelético, com dimensões semelhantes às dos demais minerais.

Como traços ocorrem minerais opacos, apatita, rutilo e zircão. Este último, em cristais anédricos, com formas arredondadas e tamanho menor que 0,2 mm.

3.1.2 Metapelitos

Os metapelitos podem ser divididos em duas seqüências (superior e inferior), separadas por uma camada de quartzito constituída na base por um muscovita quartzito, com intercalações de quartzo micaxisto, e no topo por quartzito quase puro. O muscovita quartzito grada localmente para um quartzito conglomerático.

A seqüência inferior de metapelitos é constituída por um grafita-sillimanita micaxisto com granada, e mais localmente (sudeste do Maciço), por um sillimanita-quartzo micaxisto com intercalações de muscovita-sillimanita quartzito. O sillimanita-quartzo micaxisto grada localmente para quartzo micaxisto. Já a seqüência superior compõe-se de micaxisto com granada e, mais localmente, de sillimanita micaxisto com granada.

O grafita-sillimanita micaxisto apresenta granulação média, coloração marrom-avermelhada variando para cinza-escuro nas porções mais ricas em grafita, e com bandas, lentes ou nódulos (coloração branca) milimétricos a centimétricos, constituídos por cristais de sillimanita, com tamanho de até 1,0 cm. Esta rocha mostra frequentemente níveis centimétricos a métricos de grafita e lentes milimétricas a centimétricas formadas por cristais de quartzo, concordantes com a foliação da rocha.

O sillimanita-quartzo micaxisto e o muscovita-sillimanita quartzito apresentam uma granulação média, e colorações cinza-claro e branca, respectivamente. O sillimanita-quartzo micaxisto quando alterado apresenta manchas de coloração marrom avermelhada. Esta rocha apresenta nódulos milimétricos a centimétrico constituídos por cristais de sillimanita, os quais podem atingir tamanhos de até 0,5 cm.

O micaxisto com granada apresenta uma granulação média, coloração cinza-claro a cinza-escuro, e quando alterado apresenta manchas de coloração marrom avermelhada. São freqüentes as presenças de lentes milimétricas a centimétricas formadas por

cristais de quartzo, concordantes com a foliação da rocha. Localmente observa-se nódulos milimétricos a centimétricos de coração branca, constituídos por cristais de sillimanita.

A textura do sillimanita-quartzo micaxisto varia de lepidoblástica a grano-lepidoblástica, enquanto que a dos micaxistos das seqüências inferior e superior é lepidoblástica. O tamanho dos grãos nessas rochas varia entre 0,3 e 4,0 mm.

As rochas destas seqüências apresentam as seguintes associações mineralógicas em ordem decrescente de abundância:

Grafita-sillimanita micaxisto

- . quartzo-biotita-sillimanita-grafita
- . quartzo-biotita-granada-sillimanita-grafita
- . quartzo-biotita-muscovita-granada-sillimanita-grafita

Sillimanita-quartzo micaxisto

- . quartzo-muscovita-sillimanita ($\pm$ plagioclásio)
- . quartzo-biotita-muscovita-sillimanita ($\pm$ plagioclásio)
- . quartzo-biotita-muscovita ($\pm$ plagioclásio)

Micaxisto

- . quartzo-muscovita-granada
- . quartzo-biotita-muscovita-granada
- . quartzo-biotita-muscovita-granada-sillimanita
- . quartzo-muscovita-granada-sillimanita
- . quartzo-biotita-muscovita

- Quartzo

O quartzo ocorre em cristais anédricos, fraturados e com moderada extinção ondulante. No sillimanita-quartzo micaxisto pode, por vezes, formar agregados com contatos irregulares, curvos, e mais raramente em ponto tríplice. Nos micaxistos das seqüências inferior e superior são freqüentes as lentes formadas por agregados de cristais de quartzo concordantes com a foliação da rocha. Estes cristais são anédricos, com tamanho variando entre 2 e 6 mm, intensamente fraturados, forte extinção ondulante e apresentam contatos curvos e irregulares.

- Biotita

A biotita ocorre em cristais subêdricos, orientados, e de um modo geral com "kink-bands". No micaxisto e quartzo mica xisto da sequência inferior, a biotita apresenta-se intensamente deformada e associada a cristais pouco deformados de muscovita. Seu pleocroismo é $Z = Y =$ marrom avermelhado e $X =$ amarelo pá lido, embora raramente observado nos micaxistos das sequências inferior e superior, devido à descoloração em consequência de liberação de $\bar{o}$ xido de ferro ao longo dos seus planos de cliva gem.

- Muscovita

A muscovita ocorre em cristais subêdricos, orienta dos, de um modo geral com "kink-bands". No micaxisto da sequên cia inferior, os cristais de muscovita estão, por vezes, intensa mente deformados.

- Sillimanita

Nos micaxistos das sequências inferior e superior, a sillimanita ocorre em cristais subêdricos a euêdricos, com ta manho variando entre 0,3 e 10,0 mm, geralmente parcial a total mente alterados para caulinita (identificada por difração de raios-X). No sillimanita-quartzo micaxisto e no muscovita - silli manita quartzito, ocorre em cristais subêdricos a euêdricos, há bito prismático, acicular e fibroso, com tamanho variando entre 0,2 e 0,5 mm, orientados segundo a foliação da rocha.

- Granada

A granada ocorre em cristais anêdricos a subêdricos, coloração rosa pálido, com tamanho entre 0,5 e 7,0 mm e comumen te envolvem poiquiloblasticamente cristais de quartzo, biotita, muscovita e turmalina. Apresenta-se rotacionada, estirada e ori entada na direção da biotita e/ou muscovita. De um modo geral está parcial a totalmente alterada para $\bar{o}$ xido de ferro, translu cido, de coloração marrom avermelhado (hematita).

- Grafita

A grafita ocorre em cristais subêdricos a enêdricos, de hábito lamelar.

Como traços estão presentes a turmalina e minerais opacos.

3.1.3 Anfibolitos

Os anfibolitos ocorrem associados às rochas encaixantes e como xenólitos ou diques nas rochas do Maciço. São rochas melanocráticas, de granulação fina, coloração verde escura com pontuações cinza.

Apresenta textura granoblástica, com contatos em ponto tríplice entre cristais de plagioclásio, de hornblenda e de plagioclásio e hornblenda, e com o tamanho dos grãos em torno de 0,5 mm. São constituídos quase que exclusivamente por hornblenda e plagioclásio em proporções aproximadamente iguais, ocorrendo ainda piroxênio em quantidades inferiores a 2%.

- Plagioclásio

O plagioclásio de composição An_{36-38} , ocorre em cristais anédricos, de modo geral maclados segundo a lei da albita, e com tamanho em torno de 0,5 mm.

- Hornblenda

A hornblenda ocorre em cristais anédricos, com tamanho em torno de 0,5 mm. Existem também alguns cristais com tendências euédricas, que atingem tamanho de até 2,0 mm, e por vezes envolvem poiquiloblasticamente cristais de plagioclásio e minerais opacos. Apresenta pleocroísmo onde Z = marrom-esverdeado, Y = marrom e X = marrom amarelado pálido, e um ângulo de extinção ZAc em torno de 20° .

- Piroxênio

O piroxênio ocorre em cristais anédricos, tamanho variando entre 0,3 e 1,5 mm. É incolor e apresenta ângulo de extinção ZAc de aproximadamente 40° , o que sugere tratar-se de diopsídio.

Ocorrem ainda como traços a biotita (pleocroísmo, Z = Y = marrom-alaranjado e X = amarelo pálido), minerais opacos, titanita, apatita e quartzo.

3.2 Xenólitos e "Roof Pendant"

Os xenólitos ocorrem na porção oeste e noroeste do granito gnaiss, consistindo de fragmentos angulosos de metagrauvaca com tamanho de até 50 cm. Mostram aspectos texturais e mineralógicos similares aos da metagrauvaca descrita no item 3.1.1.

O "roof pendant" ocorre na porção sudeste do Maciço e consiste de sillimanita-quartzo micaxisto, mostrando aspectos texturais e mineralógicos similares aos descritos no item 3.1.2. Nesta rocha a sillimanita apresenta um aumento progressivo no seu tamanho, à medida que se aproxima do contato com o nefelina sienito gnaiss. Os cristais de sillimanita próximo ao contato não estão orientados. Este contato se faz através de um agregado formado por cristais não orientados de sillimanita, com dimensões de até 40 cm.

Os cristais de sillimanita (menores que 1 cm), que ocorrem mais afastados do contato com o nefelina sienito gnaiss, apresentam-se orientados, juntamente com as micas (biotita e muscovita), definindo a foliação do sillimanita-quartzo micaxisto. Em seções delgadas de amostras próximas ao contato, cristais não orientados de sillimanita acham-se cortadas por uma foliação, dada pela orientação de cristais de sillimanita, muscovita e biotita. Esta estrutura plana é concordante com a foliação regional.

O "roof pendant" apresenta, localmente próximo ao contato com o nefelina sienito gnaiss, agregados granoblásticos constituídos por cordierita, quartzo, flogopita, sillimanita e/ou cianita ou por andesina, cōrindon, biotita, sillimanita e/ou cianita, onde são frequentes contatos em ponto tríplice entre cristais de cordierita e/ou quartzo ou entre os cristais de andesina. Os cristais não orientados de sillimanita estão cortados por uma outra geração de sillimanita, orientada na mesma direção da flogopita, cianita e de alguns cristais estirados de cordierita e quartzo (Fig. 10).

Nos agregados granoblásticos de cordierita, quartzo, flogopita, sillimanita e/ou cianita, observa-se a presença de cristais de albita (An_{4-5}), com disposição intersticial em relação aos cristais de quartzo e cordierita (Fig. 11). Localmente

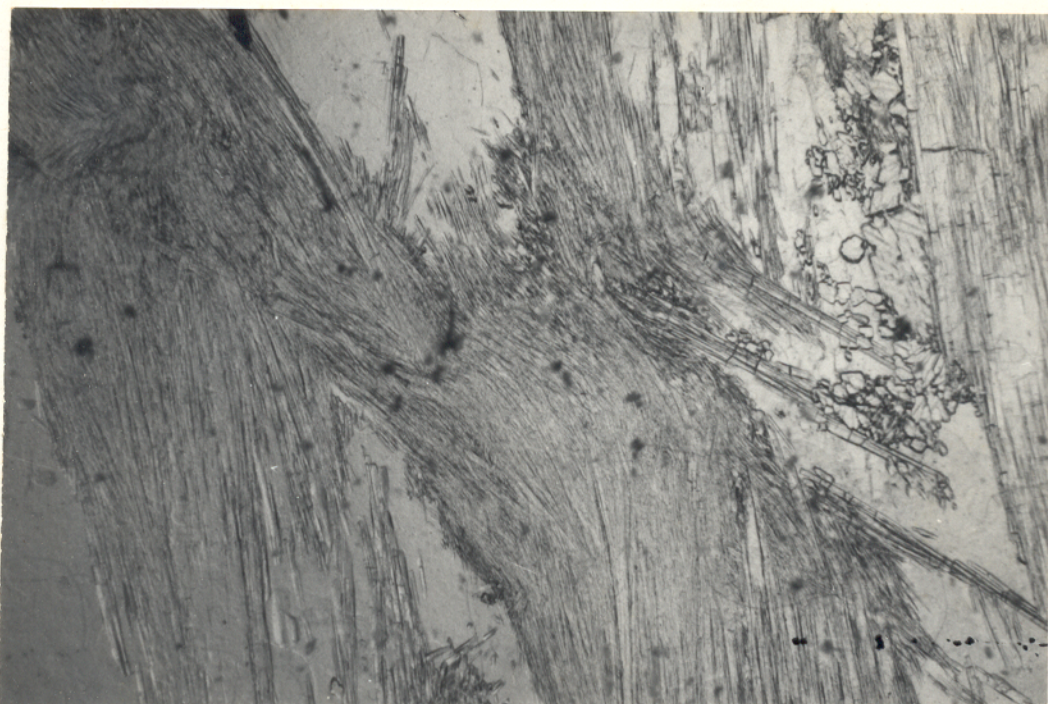


Fig. 10 - Fotomicrografia. Cristais alongados e orientados de sillimanita (2ª geração) cortando sillimanita de 1ª geração, não orientada. "Roof pendant" de sillimanita-quartzo mica xisto. NII, 40 X.

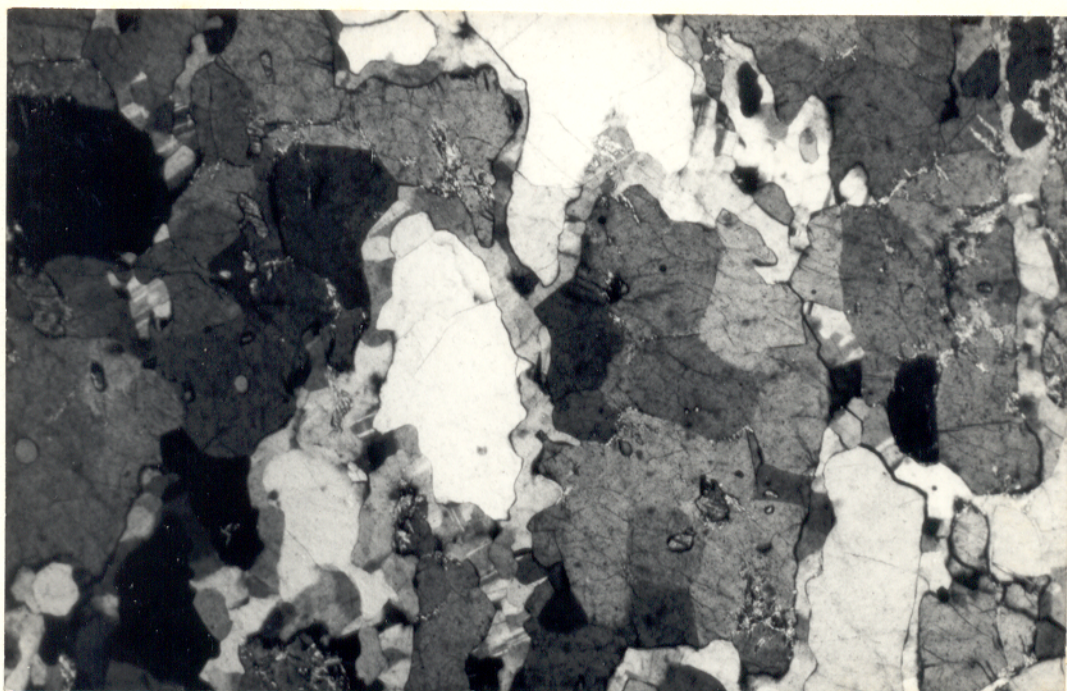


Fig. 11 - Fotomicrografia. Cristais de albita dispostos intersticialmente em relação ao quartzo e cordierita. NX, 40X.

esta albita está recristalizada, sendo freqüentes os contatos em ponto tríplice entre os cristais de albita e entre cristais de albita e cordierita e/ou quartzo (Fig. 12).

Os agregados granoblásticos referidos acima, apresentam as seguintes associações mineralógicas, em ordem de frequência decrescente:

- . quartzo-cordierita-flogopita-sillimanita
- . quartzo-cordierita-flogopita-sillimanita-cianita
- . quartzo-cordierita-flogopita-cianita
- . quartzo-flogopita-sillimanita
- . quartzo-flogopita-sillimanita-cianita
- . andesina-corindon-biotita-sillimanita
- . andesina-corindon-biotita-sillimanita-cianita

3.3 Sienito, Quartzo Sienito e Granito Gnaisses

3.3.1 Aspecto Textural

Os sienito, quartzo sienito e granito gnaisses apresentam texturas granoblásticas, com tamanho dos grãos variando entre 0,2 e 5,0 mm. Os contatos entre os cristais nos três tipos litológicos são curvos, irregulares e mais localmente em ponto tríplice (Fig. 13). Nos sienitos e quartzo sienito gnaisses são relativamente freqüentes a presença de agregados poligonais, onde é comum os contatos em ponto tríplice entre cristais de uma mesma espécie ou de espécies diferentes (Fig. 14).

3.3.2 Mineralogia

- Quartzo

No sienito gnaisse, o quartzo ocorre, em proporção modal inferior a 2%, como cristais anédricos, tamanho menor que 0,6 mm, dispostos intersticialmente em relação aos feldspatos. Nos quartzo sienito e granito gnaisses, suas quantidades modais são de 10 ($\pm 5\%$) e 30 ($\pm 5\%$), respectivamente. Ocorre em cristais anédricos, com tamanho variando de 0,3 a 4,0 mm. De um modo geral encontra-se fraturado e com moderada extinção ondulante. Alguns cristais de quartzo, principalmente no granito gnaisse,



Fig. 12 - Fotomicrografia . Contato em ponto tríplice entre cris
tais de albita intersticial. NX, 160 X.



Fig. 13 - Fotomicrografia. Textura granoblástica, no granito gnaise, mostrando contatos curvos e/ou irregulares entre cristais de quartzo, microclina e plagioclásio. NX, 40X.

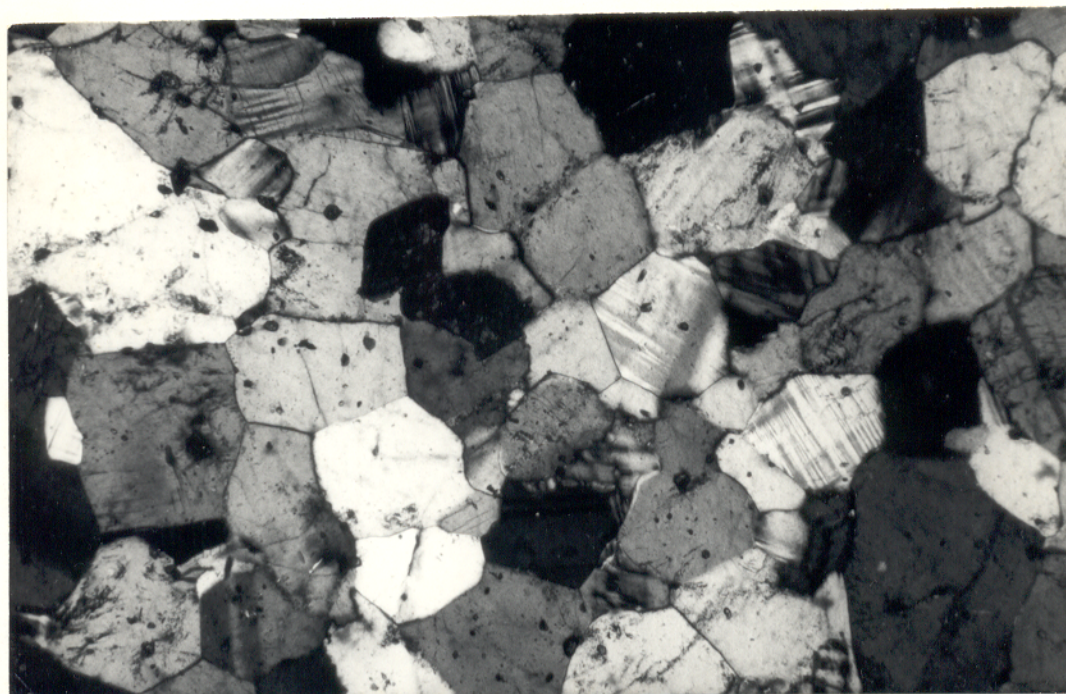


Fig. 14 - Fotomicrografia. Textura granoblástica, no quartzo sienito gnaise, mostrando contatos em ponto triplíce entre cristais de quartzo, microclina e plagioclásio. NX, 40X.

apresentam-se estirados, bastante fraturados, com forte extinção ondulante, mostrando-se alongados com seu maior comprimento orientado segundo a foliação da rocha, a qual é ressaltada pela biotita e/ou anfibólio. Ocorre ainda, de maneira restrita, como cristais com formas verniculares intercrescido no plagioclásio e nas bordas de albita (intercrescimento mirmequitico). Estes cristais apresentam dimensões menores que 0,2 mm quando intercrescidos no plagioclásio, e menores que 0,04 mm quando nas bordas de albita.

- Microclina

A microclina aparece, nos três tipos litológicos, em proporções modais variando entre 40 e 70%. Ocorre em cristais anédricos, com tamanho variando entre 0,4 e 4,5 mm, com maclamento em xadrez nítido. Alguns cristais são micropertíticos, com lamelas sódicas do tipo "stringlet", "string", "band" e "patch" (Ailing, 1938). Na seção (010) as lamelas de composição sódica estão orientadas formando um ângulo de 106° com a clivagem (001). Nos quartzos sienito e granito gnaisses, alguns cristais de microclina apresentam-se estirados, fraturados e com forte extinção ondulante. Agregados de cristais de microclina, apresentando contato em ponto tríplice, ocorrem com frequência no sienito e quartzos sienito gnaisses, e mais raramente, no granito gnaiss. A microclina, de um modo geral, apresenta-se em cristais límpidos, estando porém, às vezes, incipiente a fracamente alterados para argilo-mineral.

- Plagioclásio

Com composição An_{8-14} , o plagioclásio aparece nos três tipos litológicos, em proporções modais variando entre 20 e 50%. Ocorre em cristais anédricos a subédricos, tamanho variando entre 0,4 e 4,0 mm, maclados segundo a lei da albita e mais raramente albita-periclina e periclina. Apresenta-se por vezes fraturado, com moderada extinção ondulante. No quartzos sienito gnaiss, pode ocorrer agregados de cristais de plagioclásio, de plagioclásio, microclina e quartzos, onde são frequentes os contatos em ponto tríplice. Alguns cristais de plagioclásio (composição An_{8-14}) são peristerita, com estriações segundo (081), e nas seções perpendiculares a X, estas estriações estão simetricamente dispostos em relação a (010), formando um ângulo de 14° com o referido

plano, e por vezes, apresentam lamelas de composição An_{0-3} , orientadas segundo (081). Esses cristais de plagioclásio são limpidos, porém às vezes estão incipientes a fracamente alterados para sericita.

O plagioclásio ocorre ainda como bordas de albita de composição An_{0-3} . Estas bordas de albita ocorrem de duas maneiras: no plagioclásio (An_{8-14}) quando em contato com a microclina e na interface de cristais de microclina. Apesar de aparecerem em pequena quantidade, apresentam uma distribuição generalizada, principalmente no primeiro caso. A borda de albita no plagioclásio, ocorre somente quando este mineral está em contato com a microclina. Esta borda de albita (An_{0-3}), passa bruscamente para o plagioclásio (An_{8-14}) e apresenta uma continuidade cristalográfica evidenciada pelos seus planos de clivagem e maclamento. O contato entre a borda de albita e o plagioclásio é regular, e com a microclina irregular (Fig. 15). A borda de albita na interface de cristais de microclina, de um modo geral é descontínua, constituída de pequenos grãos ou pequenas faixas alongadas. Esta borda de albita apresenta um contato regular com o cristal de microclina com o qual está em contato, e irregular com o outro cristal de microclina onde está contida. Algumas vezes aparecem como borda dupla (swapped rims) (Fig. 16). As bordas de albita, conforme descritas anteriormente apresentam intercrescimento mirmequítico.

- Biotita

A biotita é o mineral ferromagnésiano dominante no granito gnaiss, onde ocorre em proporção modal de 2 a 10%, enquanto que no sienito e quartzo sienito gnaisses ocorre em quantidades menores que 3%, sendo o anfibólio o ferromagnésiano predominante nestas rochas. No quartzo sienito gnaiss, embora o anfibólio seja o ferromagnésiano dominante, localmente a biotita pode ocorrer em maior quantidade (com até 10%), quando as proporções de quartzo são elevadas (próximo ao contato da metagrauwaca). Nos três tipos litológicos a biotita, ocorre em cristais subédricos, tamanho variando entre 0,2 e 2,0 mm dispersos entre os demais minerais. No quartzo sienito gnaiss e principalmente no granito gnaiss, estes cristais concentram-se em faixas orientadas. Este mineral apresenta um pleocroísmo onde $Z = Y =$ marrom e $X =$ amarelo pálido e de um modo geral apresenta "kink-bands".



Fig. 15 - Fotomicrografia. Borda de albita no plagioclásio (em contato com cristais de microclina) mostrando passagem brusca do plagioclásio An_{8-14} para a borda de albita (An_{0-3}). NX, 40X.

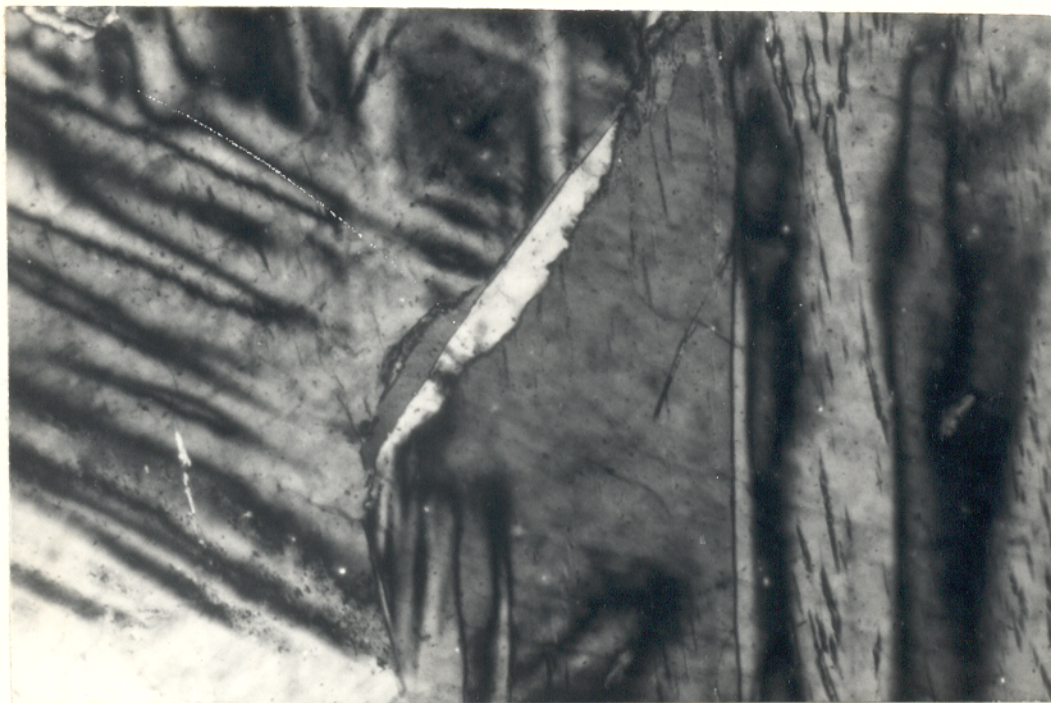


Fig. 16 - Fotomicrografia. Bordas de albita ("swapped rims") na interface de cristais de microclina. NX, 160 X.

- Anfibólio

O anfibólio é o mineral ferromagnesiano dominante no sienito e quartzo sienito gnaisses, onde ocorre em proporções modais de 25% e de 0 a 20%, respectivamente. No granito gnaiss, pode por vezes ser o mineral ferromagnesiano dominante, em quantidades de até 6%. Ocorre em cristais anédricos a subédricos, com tamanho variando entre 0,4 e 2,0 mm. Apresenta pleocroísmo onde Z = verde azulado intenso, Y = marrom esverdeado e X = marrom amarelado, ângulo de extinção $Z \wedge c$ em torno de 130° e um ângulo ótico (2V) menor que 10° , sugerindo tratar-se de ferrohastingsita (Deer, Howie e Zussman, 1963 a).

- Piroxênio

Este mineral foi observado apenas em duas amostras, uma de quartzo sienito gnaiss e outra de granito gnaiss, em quantidade modal inferior a 10%. Ocorre em cristais anédricos a subédricos, com tamanho variando entre 0,2 e 2,0 mm. Seu pleocroísmo é Z = verde amarronzado pálido, Y = verde amarelado e X = verde e apresenta um ângulo de extinção $X \wedge c$ em torno de 35° , o que sugere tratar-se de aegirina-augita (Deer, Howie e Zussman, 1963 a).

- Granada

Foi observada em apenas uma amostra de quartzo sienito gnaiss, em proporção modal inferior a 5%. Ocorre em cristais euédricos, tamanho variando entre 0,4 e 3,5 mm, apresentando uma coloração marrom clara. De um modo geral a granada envolve poiquiloblasticamente cristais de quartzo, feldspatos e biotita.

- Alanita

A alanita ocorre em cristais subédricos e auédricos, com tamanho variando entre 0,1 e 2,0 mm, apresentando pleocroísmo onde Z = marrom escuro, Y = marrom e X = amarelo pálido.

- Zircão

O zircão ocorre em cristais euédricos, tamanho de até 0,5 mm e com cor neutra ou marrom pálido.

- Titanita

A titanita ocorre em cristais subédricos a euédricos, com tamanho de até 0,6 mm e coloração marrom pálida.

Ocorrem ainda em quantidades menores a apatita, fluorita e calcita.

3.4 Nefelina Sienito Gnaiss

3.4.1 Aspecto Textural

O nefelina sienito gnaiss é constituído essencialmente de nefelina, mesopertita, peristerita, microclina e, mais localmente, albita. O mineral ferromagnésico dominante é a biotita, porém, em uma estreita faixa no bordo sudeste do Maciço a magnetita aparece como o mineral máfico dominante. Como acessórios ocorre muscovita, coríndon, calcita, cancrinita, zeólita, zircão, e em quantidades menores pirocloro, alanita, apatita e fluorita.

Apresenta textura granoblástica, granulação média, sendo os contatos entre os minerais curvos, irregulares e retilíneos. Contatos do tipo ponto tríplice são frequentes entre os cristais de nefelina, de microclina e de albita, e também entre cristais destas diferentes espécies minerais (Fig. 17). Os contatos entre os cristais de peristerita e entre os cristais de peristerita e nefelina, microclina, biotita e calcita são de um modo geral do tipo interpenetrante (Fig. 18), ou ainda curvos e irregulares. É relativamente frequente a presença de cristais orientados de nefelina, peristerita (albita), microclina, biotita e muscovita (Figs. 19 e 20).

A nefelina apresenta uma distribuição homogênea e generalizada nas rochas do Maciço, e localmente sua proporção modal tende a diminuir com o aparecimento do coríndon, ou com o aumento da proporção de muscovita e cancrinita.

A mesopertita ocorre associada a agregados constituídos de cristais individuais de microclina e peristerita (albita), em uma estreita faixa, na porção mais central do Maciço, que se amplia em direção à extremidade norte, tendendo a desaparecer

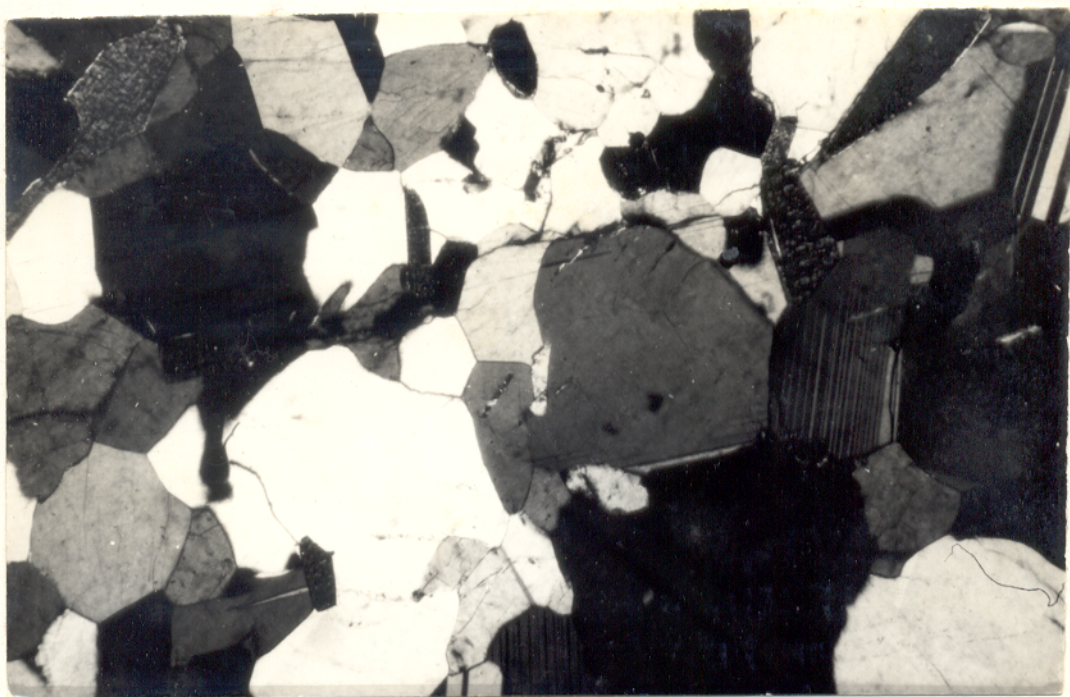


Fig. 17 - Fotomicrografia. Textura granoblástica, do nefelina sienito gnaiss, mostrando contatos em ponto tríplice entre albita e nefelina. NX, 40X.



Fig. 18 - Fotomicrografia. Textura granoblástica, do nefelina sienito gnaiss, mostrando contatos interpenetrantes entre cristais de peristerita e entre peristerita e nefelina. NX 40X.

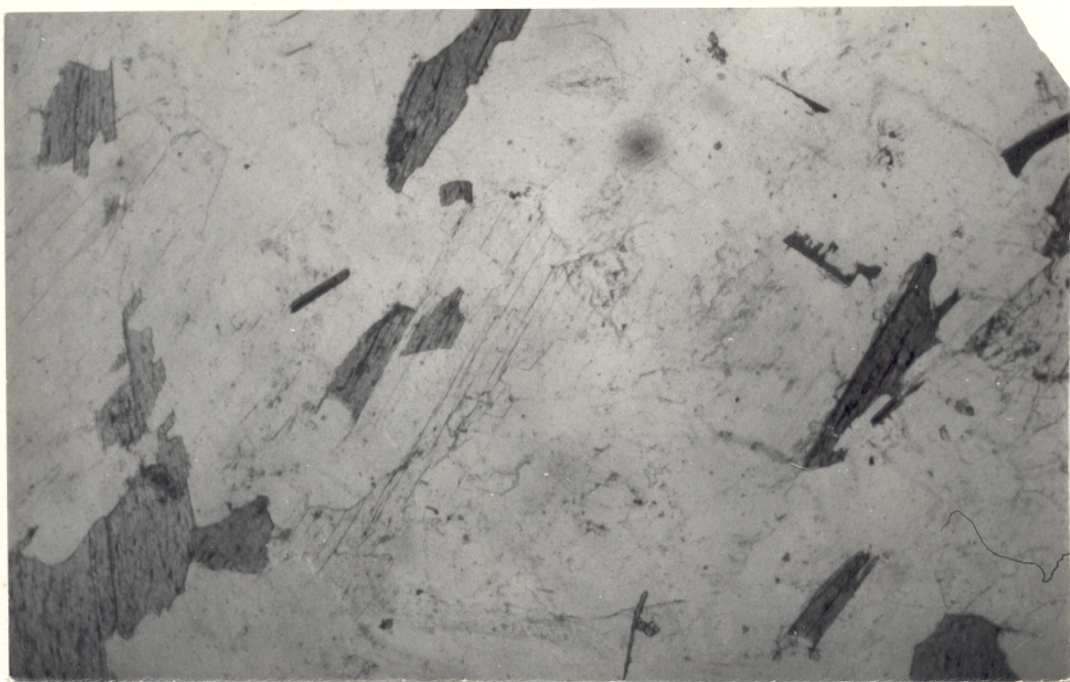


Fig. 19 - Fotomicrografia. Aspecto textural, do nefelina sienito gnaiss, mostrando a foliação dada pela orientação de cristais de muscovita e biotita. NII, 40X.

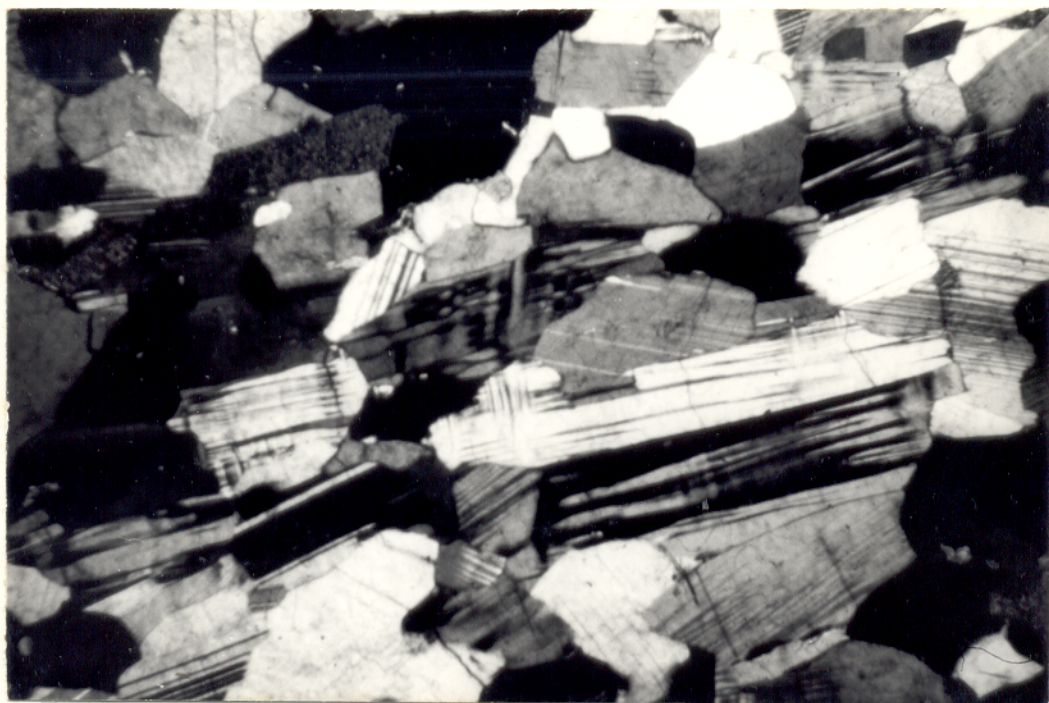


Fig. 20 - Fotomicrografia. Aspecto textural, do nefelina sienito gnaiss, mostrando a foliação dada pela orientação de cristais anédricos de microclina, peristerita e nefelina. NX, 40X.

em direção aos bordos. O desaparecimento da mesopertita é acompanhado pelo aparecimento de cristais individuais de peristerita e microclina, em proporções aproximadamente iguais, e em direção aos bordos há um aumento progressivo na quantidade de peristerita em relação à microclina, onde aquela passa a ser o mineral dominante. A fase sódica da mesopertita é peristerita, e mais localmente albita, e ocorre na porção mais central do Maciço em proporção de 20 a 60%, aumentando progressivamente em direção aos bordos da extremidade norte, onde passa a ser a fase dominante (90%).

A composição da peristerita dominante no Maciço é $An_{4-6} - An_{0-3}$ porém em uma estreita faixa dos bordos tem composição $An_{8-12} - An_{0-4}$, porém não foi possível verificar a continuidade desta faixa, em função do espaçamento da amostragem.

A albita de composição An_{0-3} ocorre localmente, por vezes em grandes proporções na porção central do Maciço, associada aos cristais de mesopertita, cuja fase sódica é albita de composição An_{0-3} . Aparece ainda com uma disposição intersticial em relação aos cristais de peristerita ou de peristerita e nefelina, microclina e biotita, em pequenas proporções, porém com ampla distribuição.

A biotita é o mineral ferromagnesiano dominante no Maciço, contudo, em uma estreita faixa no bordo sudeste predomina a magnetita. A passagem para esta faixa com magnetita dá-se através da presença de cristais de biotita formando agregados, de até 5cm, que por vezes apresentam em seu núcleo, cristais de magnetita. Estes cristais, de um modo geral apresentam halos de muscovita e mais raramente de feldspato potássico. No restante dos bordos do Maciço, a magnetita ocorre como traços mostrando as mesmas feições texturais.

A muscovita, além de ocorrer como halos em torno da magnetita, é encontrada também nos bordos do Maciço, em cristais orientados, intercrescidos e/ou associados à biotita. Agregados constituídos por cristais não orientados de muscovita e cancrinita, proveniente da transformação parcial ou total da nefelina, são comuns, principalmente nos bordos do Maciço. A cancrinita ocorre ainda, nas rochas do Maciço, juntamente com a zeólita e calcita, disposta intersticialmente e/ou preenchendo fraturas nos demais minerais da rocha, podendo os dois primeiros, invadir

irregularmente cristais de nefelina e peristerita (albita).

3.4.2 Mineralogia

- Nefelina

Aparece em proporção modal de 15 a 30%, porém localmente, em presença do cōrindon ou com o aumento na proporção de muscovita e cancrinita, sua quantidade diminui. Este mineral ocorre em vários tipos texturais distinguidos principalmente segundo seu tamanho, hābito, tipos de contato e interrelação com os demais minerais. Estes tipos foram denominados de: normal; intergranular; eudral; bordas de nefelina; grāfica; e vermicular.

a) nefelina normal - este ē o tipo textural dominante e de ampla distribuição. Ocorre em cristais geralmente anēdricos, com tamanho variando entre 0,5 e 5,0 mm, de um modo geral dispersos entre os demais minerais, ou mais localmente formando concentrações. Este tipo textural freqüentemente envolve pequenos cristais (menores que 0,5 mm) de albita, microclina, periste^{ri}ta, mesopertita e também da própria nefelina, os quais apresentam formas arredondadas e/ou irregulares (Fig. 21), embora os três últimos apresentem tendências euēdricas (Fig. 22). A nefeli^{na} normal, localmente no centro do Maciço, apresenta inclusões orientadas de pequenos cristais euēdricos (menores que 0,1 mm) de biotita (Fig. 23);

b) nefelina intergranular - apesar de ter uma ampla distribuição sua freqüência ē bem mais reduzida que a do tipo anterior. Ocorre em cristais anēdricos com formas irregulares, arredondadas ou amebōides, tamanho menor que 0,5 mm, dispondo-se intersticialmente em relação aos demais minerais (Fig. 24).

Os contatos entre os cristais de nefelina (normal e/ou intergranular) ou entre os cristais de nefelina (normal e/ou intergranular) com os de microclina e albita são em ponto trīplice (Fig. 25), curvos ou irregulares. Com a peristerita os contatos são interpenetrantes (Fig. 26), e com a calcita dão-se atravēs de uma borda de cancrinita (Fig. 27).

c) nefelina eudral - este tipo aparece em pequena

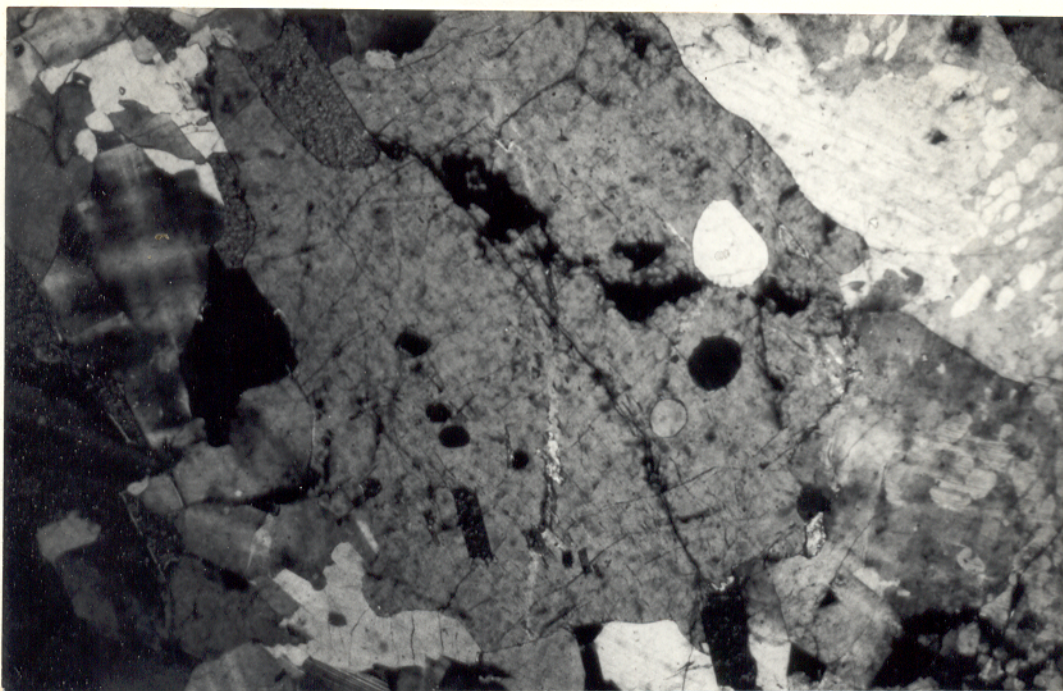


Fig. 21 - Fotomicrografia. Grãos arredondados de mesopertita e albita envolvidos pela nefelina normal. NX, 40X.

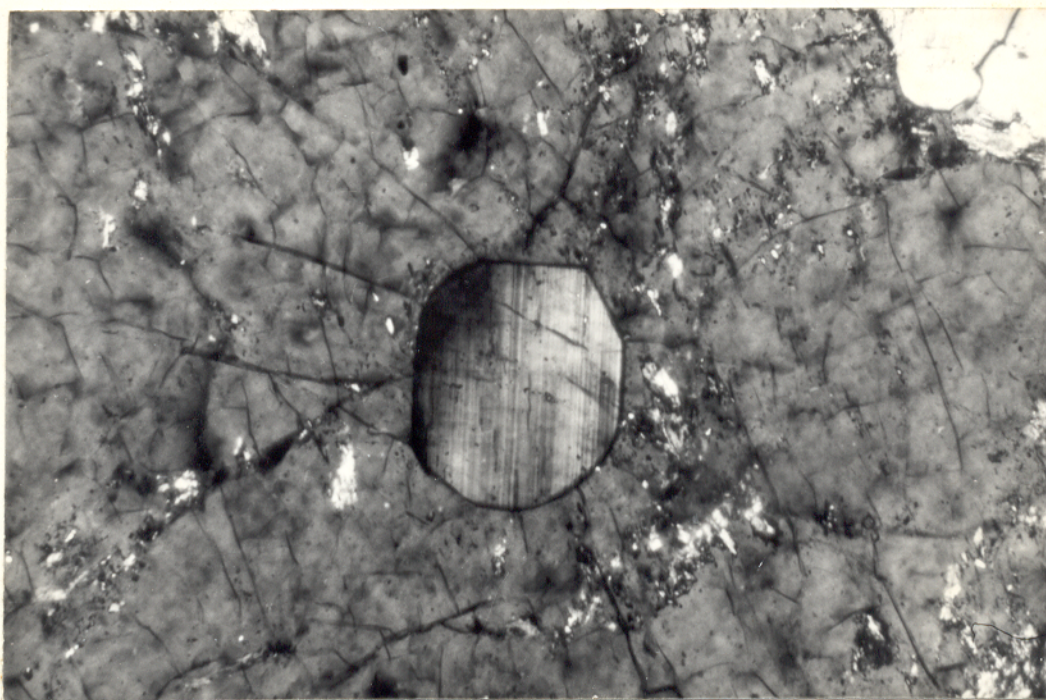


Fig. 22 - Fotomicrografia. Cristal de peristerita com tendência euédrica envolvido pela nefelina normal. NX, 160X.

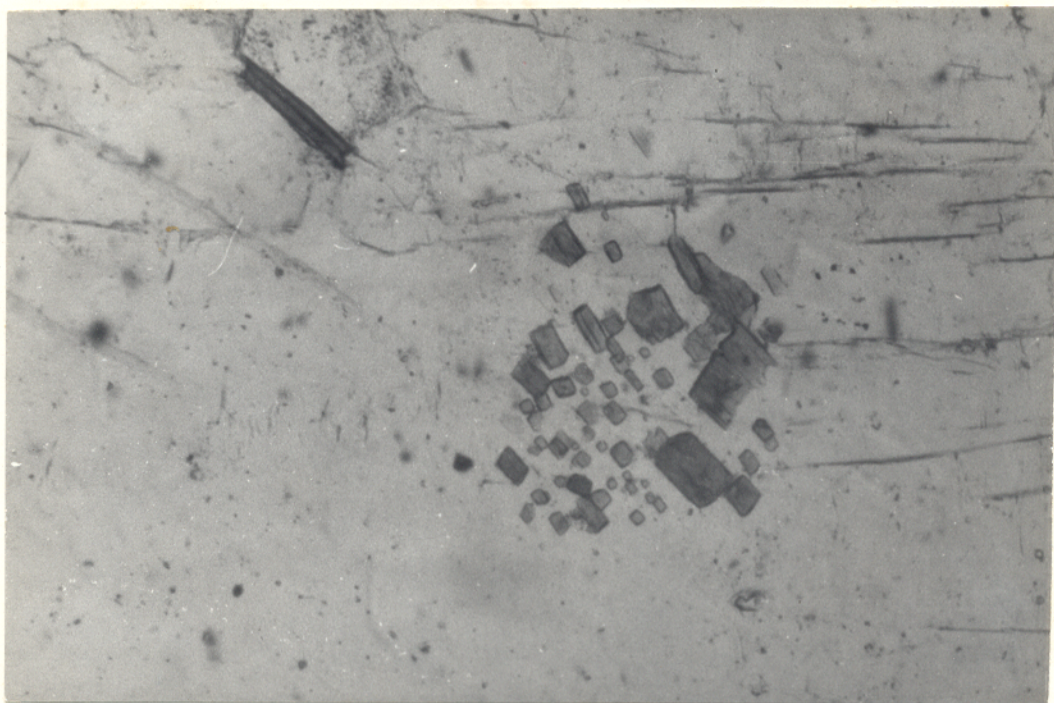


Fig. 23 - Fotomicrografia. Cristais euédricos de biotita, orientados, inclusos na nefelina normal. NII, 160 X.

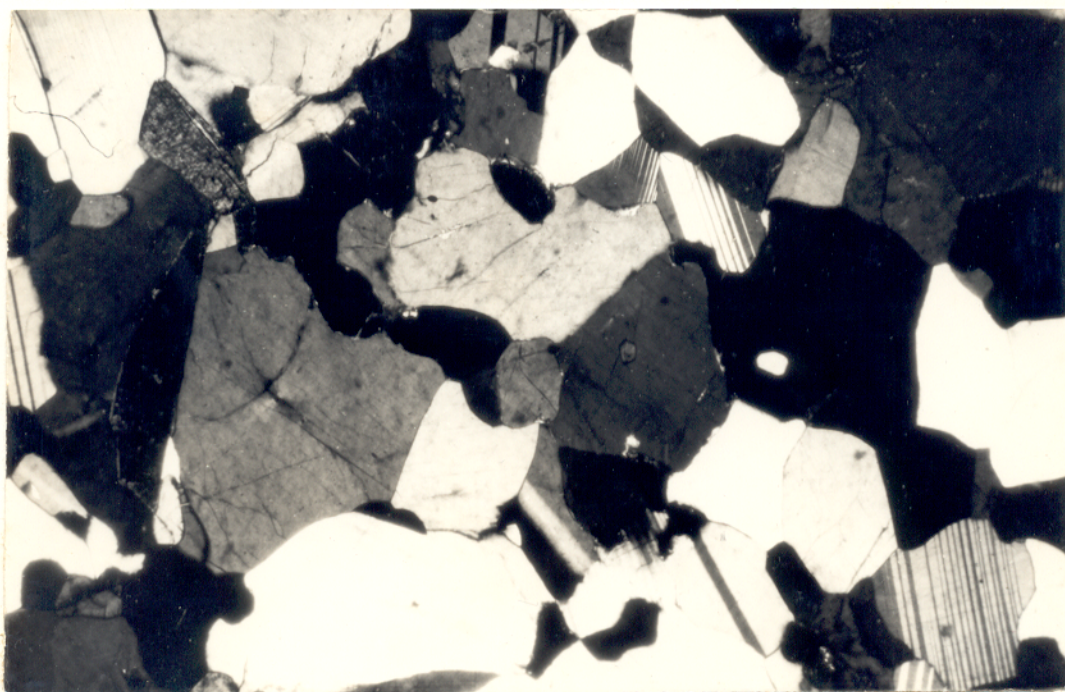


Fig. 24 - Fotomicrografia. Nefelina intergranular disposta intersticialmente em relação aos cristais de albita e nefelina normal. NX, 40X.

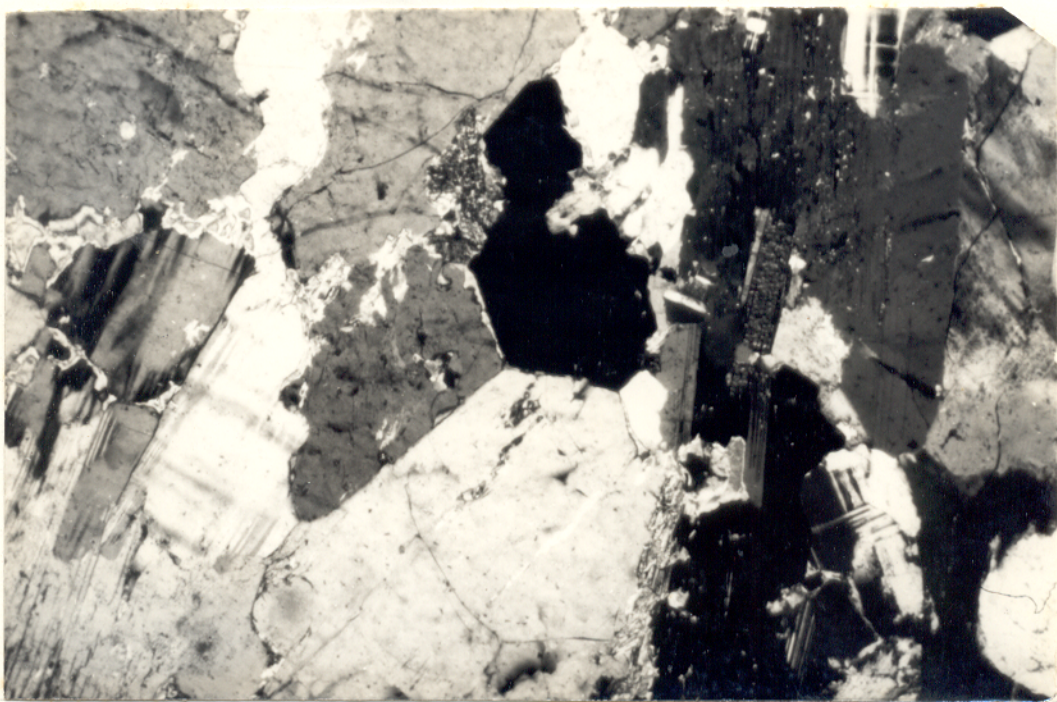


Fig. 25 - Fotomicrografia. Contato em ponto tríplice entre cristais de nefelina normal. NX, 40X.



Fig. 26 - Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre peristerita e nefelina normal. NX, 160X.



Fig. 27 - Fotomicrografia. Borda de cancrinita no contato da calci
ta com a nefelina. NX, 160X.

percentagem modal na porção mais central e extremidade norte do Maciço. Ocorre em cristais com tendências euédricas, tamanho menor que 0,5 mm, inclusos nos feldspatos (mesopertita, peristerita, microclina e albita) e na nefelina normal (Fig. 28).

d) bordas de nefelina: aparece apenas na extremidade nordeste do Maciço. Este tipo é caracterizado por apresentar-se na forma de uma borda contínua, em torno dos cristais de côrindon quando este está em contato com a peristerita, microclina e biotita. Esta borda consiste de vários cristais de nefelina, dispostos perpendicularmente ao contato do côrindon com esses minerais (Fig. 29).

e) nefelina grãfica - ocorre na extremidade nordeste do Maciço, em cristais (menores que 0,1 mm) com formas arredondadas, tubiformes, amebóides, intercrescidos na microclina (Fig. 30). Os vários cristais deste tipo textural, quando intercrescidos num determinado cristal de microclina, apresentam uma mesma orientação ótica.

d) nefelina vermicular - foi observada em duas seções delgadas dos bordos do Maciço. Ocorre em pequenos cristais (menores que 0,1 mm) com formas de vermes, intercrescidos no lado côncavo de um dos cristais de peristerita com contatos interpenetrantes entre si (Fig. 31).

Os diferentes tipos texturais de nefelina descritos acima apresentam-se em cristais de um modo geral, límpidos, fraturados, com extinção ondulante fraca a moderada e um leve caráter biaxial.

- Mesopertita

Ocorre na porção mais central e na extremidade norte do Maciço em proporção modal variando de 10 a 60%. Ocorre em cristais de um modo geral anédricos, com tamanho variando entre 0,5 a 6,0 mm.

Os cristais de mesopertita, apresentam uma variação na percentagem das suas fases sódica e potássica. Na porção mais central do Maciço predomina a fase potássica, na ordem de 40 a 80%, que tende a diminuir progressivamente em direção aos bordos da extremidade norte, onde atinge proporções de no máximo 10%. A fase potássica é representada pela microclina e a sódica

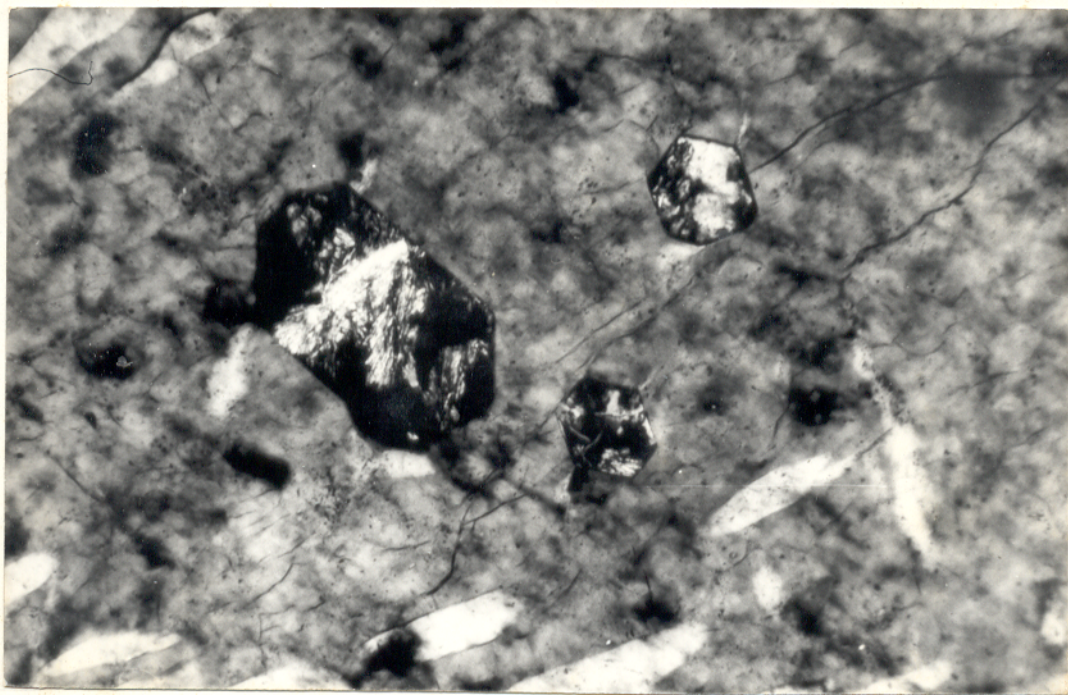


Fig. 28 - Fotomicrografia. Cristais euédricos de nefelina incluídos na mesopertita. NX, 160X.

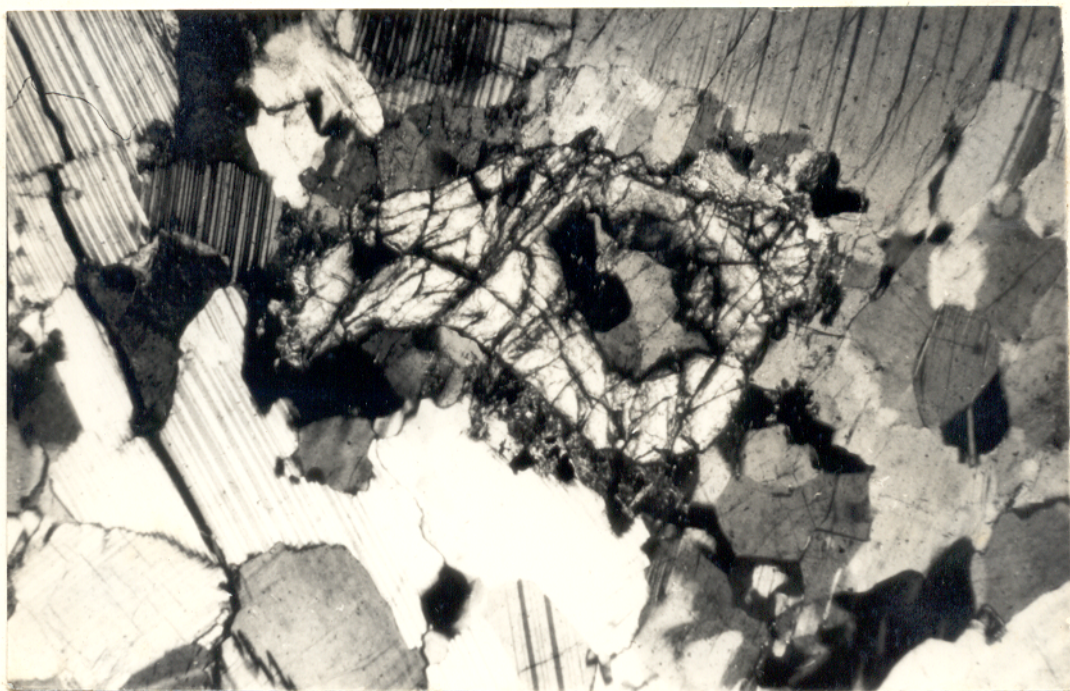


Fig. 29 - Fotomicrografia. Borda de nefelina, onde os cristais estão dispostos perpendicularmente ao contato do corindão com a peristerita e microclina. NX, 40X.

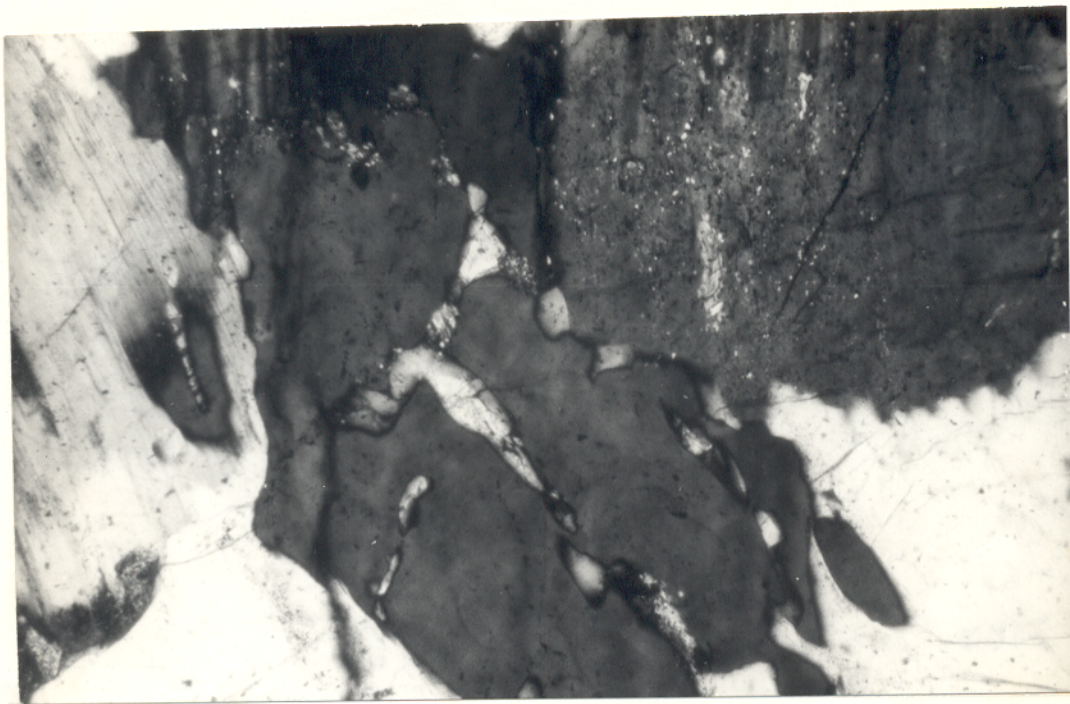


Fig. 30 - Fotomicrografia. Nefelina grãfica intercrescida na microclina. NX, 160X.

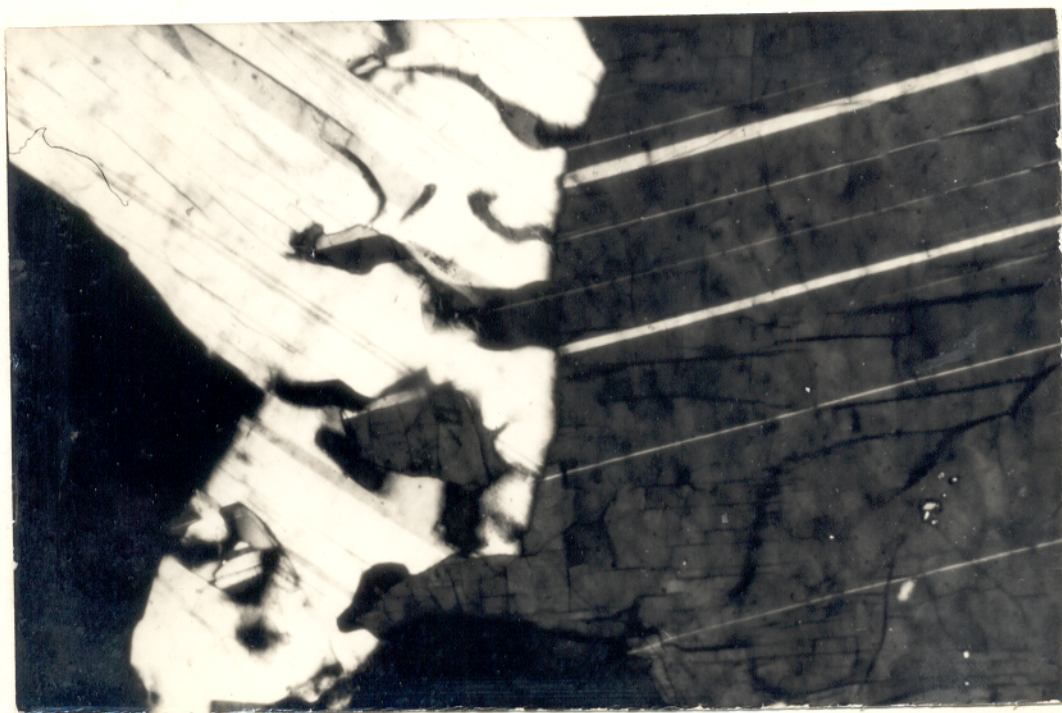


Fig. 31 - Fotomicrografia. Nefelina vermicular intercrescida na peristerita. NX, 160X.

por uma peristerita (An_{4-6} - An_{0-3}), e mais localmente, na porção central do maciço, por uma albita (An_{0-3}).

Na porção mais central e extremidade norte do Maciço, a mesopertita apresenta lamelas sódica e potássica, respectivamente, bem desenvolvidas do tipo "string", "bead", "rod", "bands" e "patch" segundo a classificação de Alling (1938) (Figs. 32 e 33). Na porção mais central do Maciço, a fase sódica da mesopertita forma um ângulo de 106° com a clivagem (001), estando orientada segundo o plano de Murchison, o que pode ser observado na seção (010). Na extremidade norte a fase potássica está orientada segundo o plano de clivagem (001), podendo esta orientação ser observada na seção (100).

As lamelas das fases sódica ou potássica da mesopertita geralmente se concentram no centro do cristal, porém são relativamente freqüentes cristais de mesopertita, onde suas lamelas são truncadas e/ou interpenetram cristais vizinhos de nefelina, mesopertita, peristerita (albita), microclina e biotita (Figs 34 e 35). Observa-se ainda com certa freqüência, cristais de mesopertita em que uma parte do cristal é formada pela fase potássica e a outra pela fase sódica (Fig. 36). Associados à mesopertita, ocorrem pequenos cristais individuais (menores que 0,5 mm) de microclina e peristerita (albita) (Fig. 37).

- Plagioclásio

Com proporção modal variando de 10 a 60%, o plagioclásio apresenta-se em vários tipos texturais denominados de: peristerita; albita; albita intergranular; bordas de albita; e albita tardia.

a) Peristerita - é o tipo dominante mostrando composição e distribuição distintas. A peristerita com fases menos sódica An_{4-6} e mais sódica An_{0-3} , apresenta uma distribuição generalizada, enquanto que a peristerita com fases menos sódica An_{8-12} e mais sódica An_{0-4} , aparece em uma estreita faixa nos bordos do Maciço. Este tipo textural ocorre em cristais anédricos a subédricos, límpidos, tamanho variando de 0,3 a 4,0 mm, maclados segundo a lei da albita e mais raramente albita-periclina e periclina. De um modo geral apresentam-se fraturados, com extinção ondulantes moderada a forte e maclamento encurvado (Fig. 38), ocorrendo por vezes maclamento de deformação cortando a clivagem

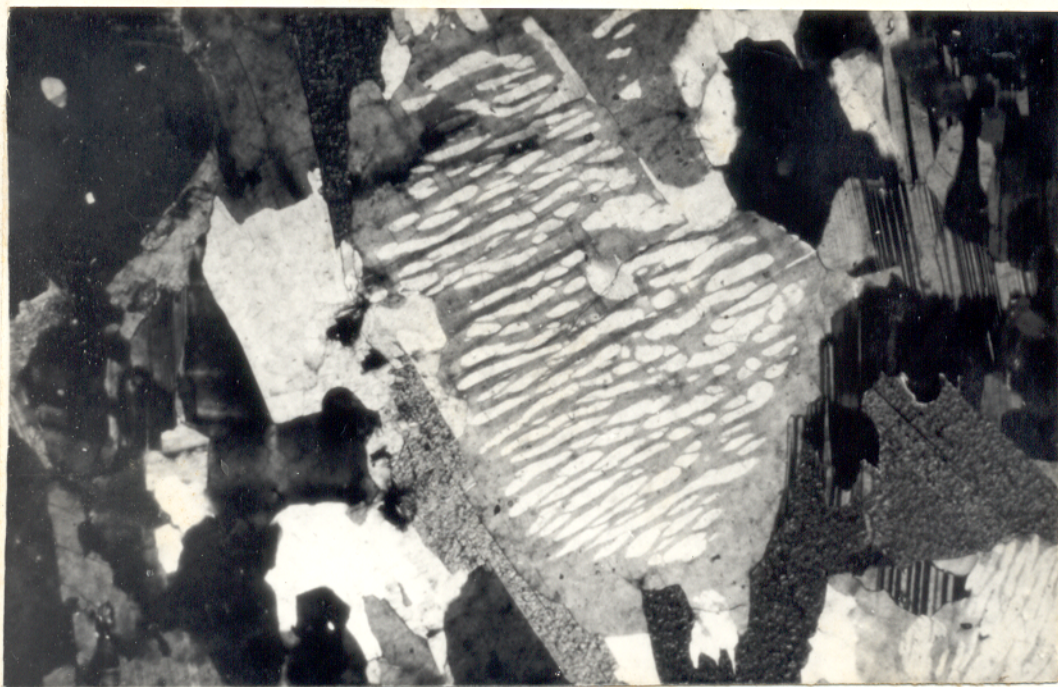


Fig. 32 - Fotomicrografia. Cristal de mesopertita com lamelas (fase sódica) tipo "rod" e "bend". Porção central do Maciço. NX, 40X.



Fig. 33 - Fotomicrografia. Cristal de mesopertita com lamelas (fase potássica) tipo "string", "rod" e "bend". Extremidade norte do Maciço. NX, 40X.

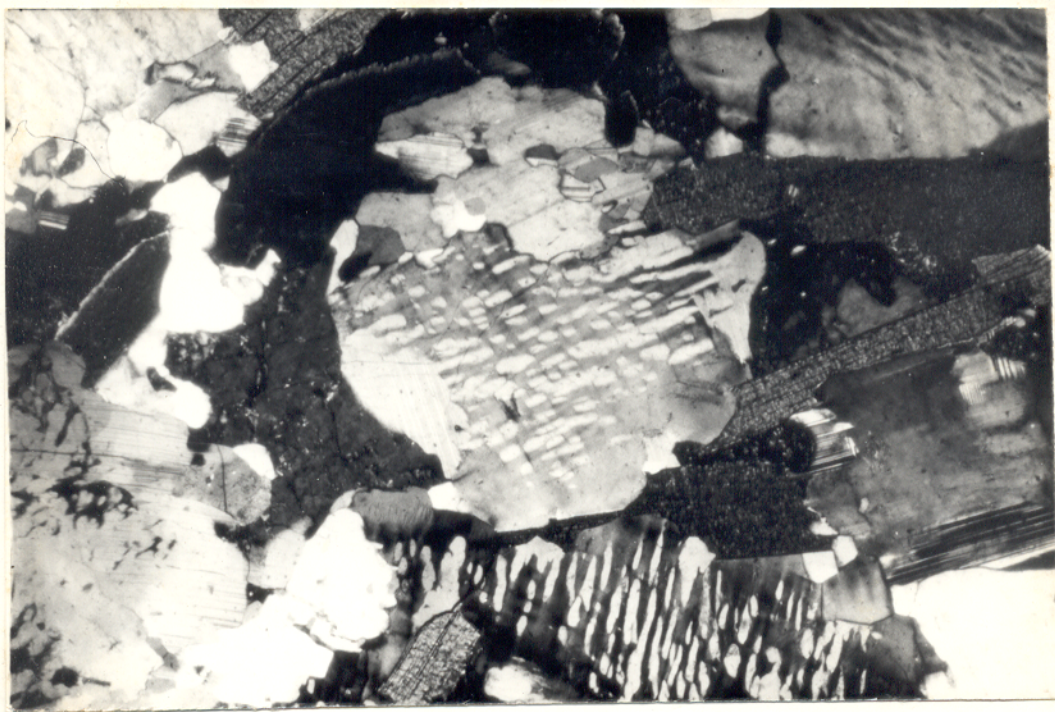


Fig. 34 - Fotomicrografia. Lamelas da fase sódica da mesopertita truncadas por cristais de nefelina. NX, 40X.



Fig. 35 - Fotomicrografia. Lamelas da fase sódica (peristerita) da mesopertita interpenetrante em cristal de peristerita. NX, 160X.



Fig. 36 - Fotomicrografia. Mesopertita onde uma parte de cristal é formada pela fase sódica, e a outra pela potássica. NX, 40X.



Fig. 37 - Fotomicrografia. Agregado de microclina e albita associado a cristais de mesopertita. NX, 16X.

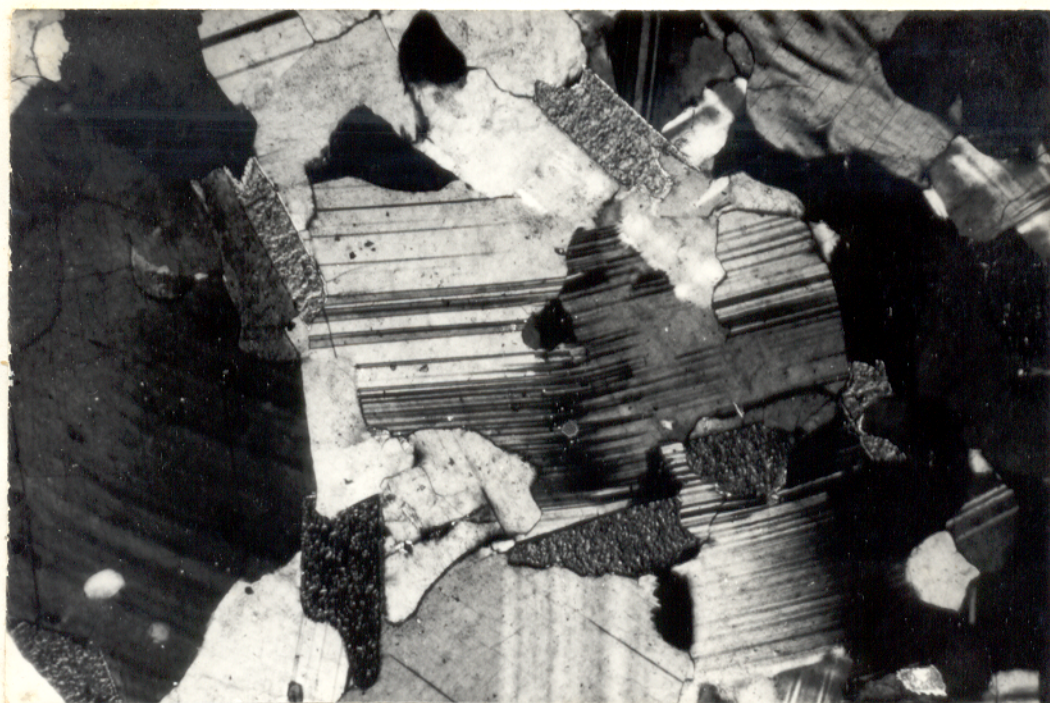


Fig. 38 - Fotomicrografia. Peristerita apresentando maclamento en
curvado. NX, 40X.

e o maclamento original (Fig. 39). Estas peristeritas apresentam estriações bem visíveis segundo $(0\bar{8}1)$ nas fases menos sódicas (An_{4-6} ou An_{8-12}). Nas seções perpendiculares a X estas estrias dispõem-se simetricamente em relação ao plano (010) , formando com este, um ângulo de 14° (Fig. 40). A fase mais sódica An_{0-3} ou An_{0-4} está orientada segundo os planos $(0\bar{8}1)$ e (010) (Fig. 41), ou ainda ocorre nos bordos da fase An_{4-6} ou An_{8-12} envolvendo-a parcial a totalmente (Fig. 42). Estas fases (mais sódicas) que se dispõem segundo os planos $(0\bar{8}1)$ e (010) têm mesma orientação ótica daquelas que ocorrem nas bordas. É também bastante comum, a presença de peristerita em que uma parte do cristal apresenta composição An_{0-3} ou An_{0-4} e a outra composição An_{4-6} ou An_{8-12} , respectivamente. No referido cristal, as estriações segundo $(0\bar{8}1)$ só ocorrem na fase menos sódica (Fig. 43), enquanto que o maclamento aparece em ambas as fases deste cristal (Fig. 44).

Os contatos entre os cristais de peristerita ou entre cristais de peristerita e nefelina, microclina, biotita ou calcita são de um modo geral interpenetrantes (Fig. 45), e mais raramente curvos ou irregulares.

b) albita - aparece em cristais individuais, com composição An_{0-3} , localmente, na porção central do Maciço, em proporção modal de até 60%. Este tipo está associado à mesopertita com fase sódica de composição An_{0-3} . Ocorre em cristais anédricos, tamanho variando entre 0,3 e 2,0 mm, maclados segundo a lei da albita e mais raramente albita-periclina e periclina. Alguns cristais apresentam-se fraturados com extinção ondulante fraca a moderada e maclamento encurvado. É comum os cristais de albita, juntamente com a microclina e nefelina, formarem agregados granoblásticos, onde são frequentes os contatos em ponto tríplice (Fig. 17).

c) albita intergranular - este tipo textural tem composição An_{0-3} , e apesar de ocorrer em pequena proporção modal, apresenta uma ampla distribuição no Maciço. Ocorre em cristais anédricos a subédricos, de tamanho inferior a 0,5 mm, dispostos intersticialmente entre cristais de peristerita ou entre os cristais de peristerita e nefelina, microclina e biotita. Esta albita localmente apresenta contato em ponto tríplice entre seus cristais e com cristais de microclina e nefelina.

d) bordas de albita - este tipo textural apresenta



Fig. 39 - Fotomicrografia. Peristerita mostrando maclamento de deformação cortando o maclamento original. NX, 40X.

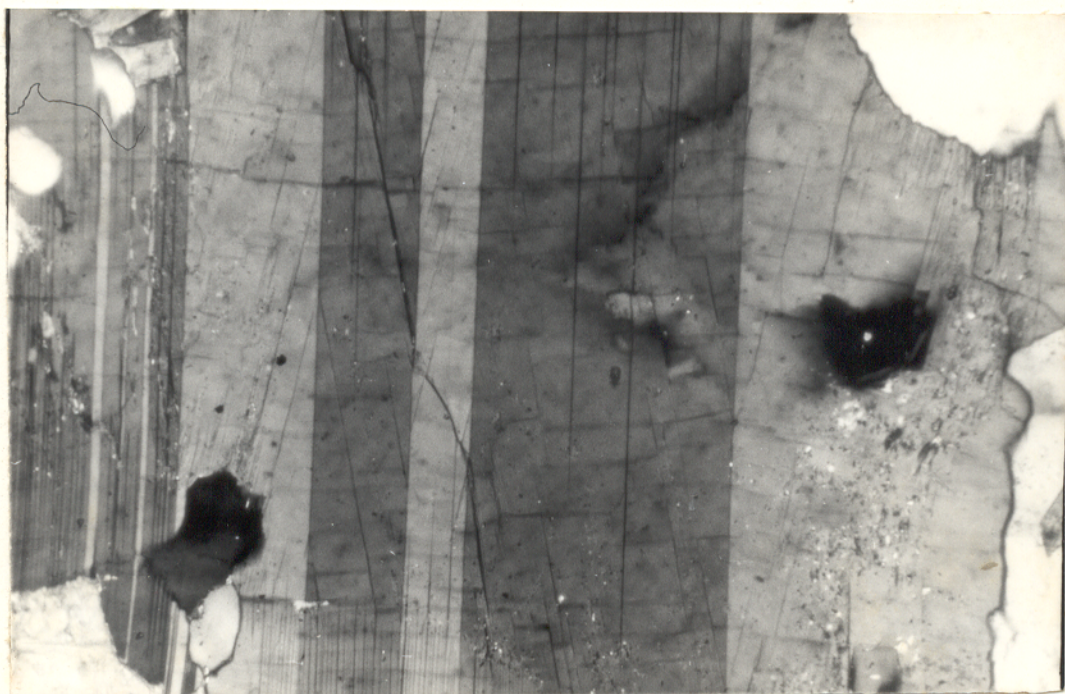


Fig. 40 - Fotomicrografia. Peristerita com estriações (081) simetricamente disposta em relação ao plano (010), formando um ângulo de 140° com este plano (tipo espinha de peixe). NX, 160X.



Fig. 41 - Fotomicrografia. Peristerita ($An_{7,0-10,7} - An_{0,4-4,0}$) apresentando as lamelas da fase mais sódica orientadas segundo os planos (081) e (010) na fase menos sódica. NX, 40X.

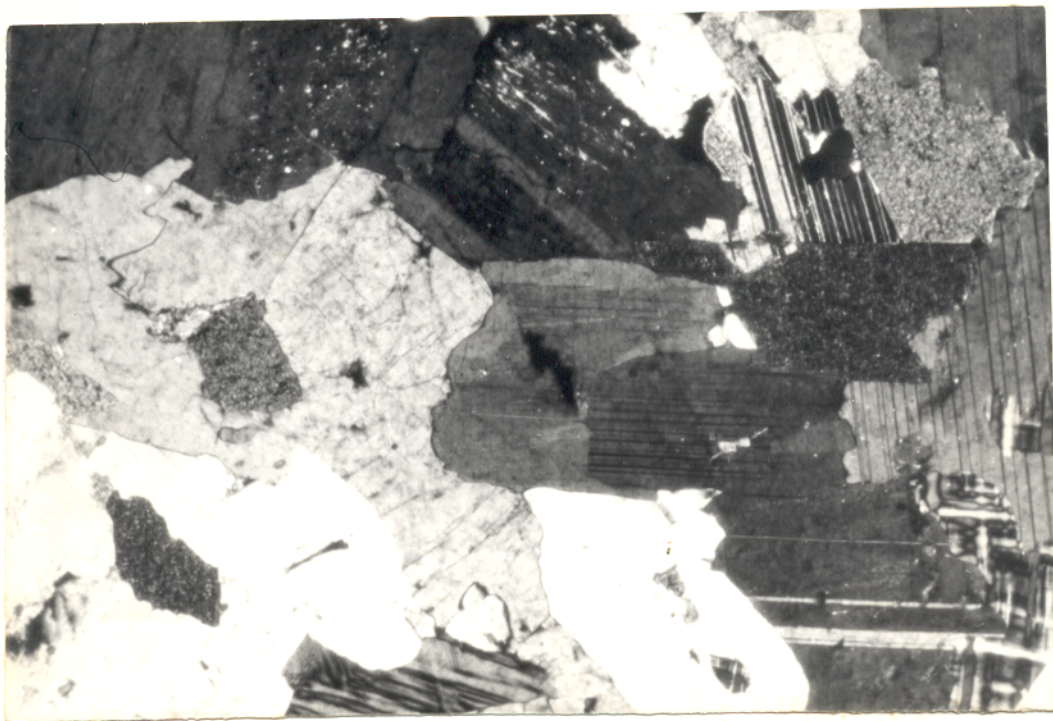


Fig. 42 - Fotomicrografia. Peristerita ($An_{4,0-5,1} - An_{0,5-2,8}$) com a fase mais sódica envolvendo parcialmente a menos sódica e ainda sob a forma de lamelas, orientadas segundo o plano (081). NX, 40X.



Fig. 43 - Fotomicrografia. Peristerita ($An_{7,0-10,7} - An_{0,4-4,0}$) onde uma parte do cristal é formada pela fase mais sódica (clara) e a outra pela menos sódica (escura). Esta última mostrando estriações segundo (081). Nx, 160X.



Fig. 44 - Fotomicrografia. Peristerita ($An_{4,0-5,1} - An_{0,5-2,8}$) onde uma parte do cristal é formada pela fase mais sódica (clara) e a outra pela menos sódica (escura), com o maclamento aparecendo nas duas fases. NX, 40X.



Fig. 45 - Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre cristais de peristerita. NX, 40X.

feições similares às descritas nos sienito, quartzo sienito e granito gnaisses, ocorrendo em pequena quantidade modal, mas com distribuição generalizada. Duas maneiras de ocorrência são registradas no nefelina sienito gnaisse, uma como borda na peristerita quando em contato com a microclina, e a outra na interface de cristais de microclina. Essa borda de albita tem composição An_{0-3} e passa bruscamente para uma peristerita de composição $An_{0-3}-An_{4-6}$ ou $An_{0-4}-An_{8-12}$, apresentando no entanto, uma continuidade cristalográfica. Quando a borda de albita ocorre na interface de cristais de microclina, consiste de pequenos grãos ou faixas alongadas, por vezes formando borda dupla ("swapped rims"), apresentando contato regular com o cristal de microclina com o qual faz limite, e irregular com aquele no qual está contida.

e) albita tardia - tem uma composição An_{0-2} apresenta ocorrência muito localizada e restrita aos bordos do Maciço. Mostra aspectos morfológicos irregulares, invadindo os cristais de microclina e mesopertita (fase potássico), a partir de seus bordos e planos de fraturas. Esta albita apresenta feições do tipo "chessboard" (Fig. 46).

- Microclina

Em proporção modal variando de 10 a 60%, a microclina ocorre em cristais anédricos, límpidos, tamanho de 0,3 a 4,0 mm e maclamento em xadrez nítido. Alguns destes cristais são micropertíticos, com pequenas lamelas de peristerita (An_{0-2}/An_{4-6}) do tipo "string" e patch, segundo a classificação de Alling (1938). Estas lamelas apresentam-se orientadas, formando um ângulo de 106° com a clivagem (001) nas seções (010) (Plano de Murchison). A microclina por vezes envolve cristais irregulares ou arredondados de nefelina e peristerita (albita). Os contatos entre cristais de microclina ou entre cristais de microclina e nefelina ou albita, são em ponto tríplice (Fig. 47), ou ainda curvos e irregulares. Com a peristerita apresenta contato interpenetrante. Localmente nos bordos do Maciço a microclina (tardia) ocorre disposta intersticialmente em relação aos cristais de peristerita ou preenchendo fraturas deste mineral, invadindo-os de maneira irregular (Fig. 48).

- Biotita

A biotita é o mineral máfico dominante. Sua propor

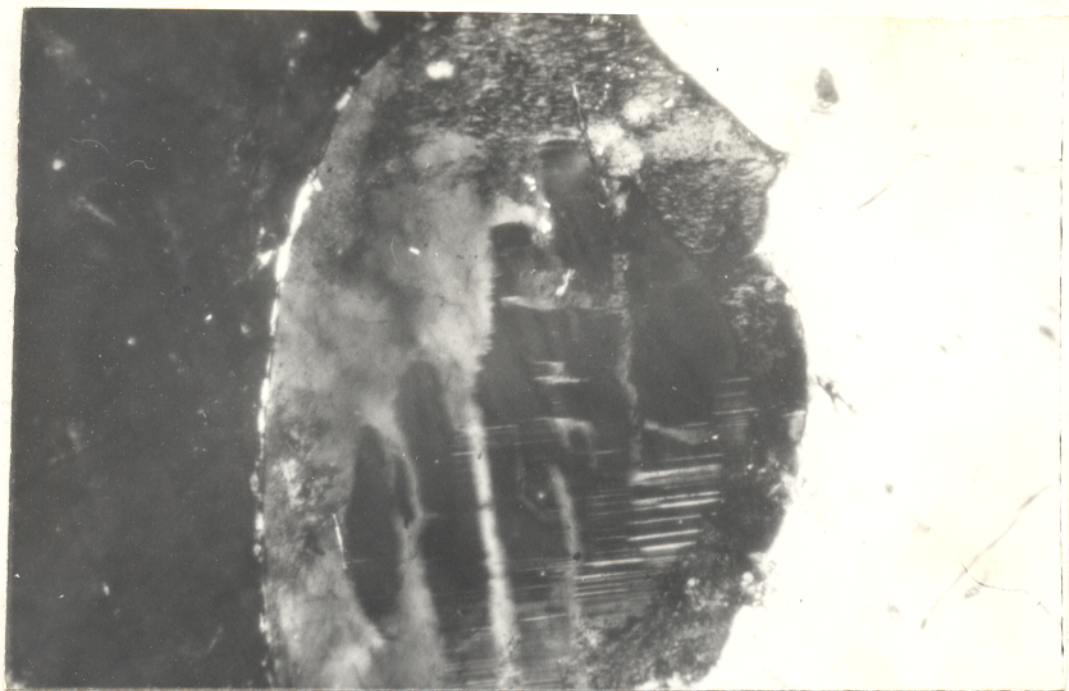


Fig. 46 - Fotomicrografia. Albita tardia com feição tipo "chessboard", invadindo irregularmente a fase potássica da mesopertita. NX, 160X.

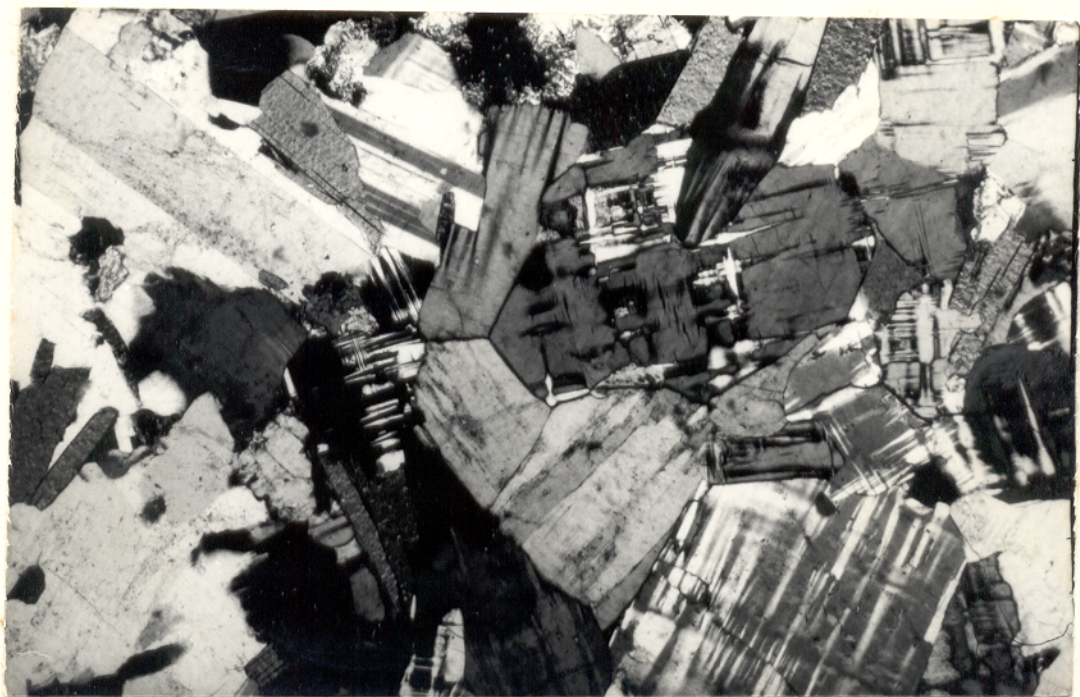


Fig. 47 - Fotomicrografia. Contato em ponto tríplice entre cristais de microclina. NX, 40X.

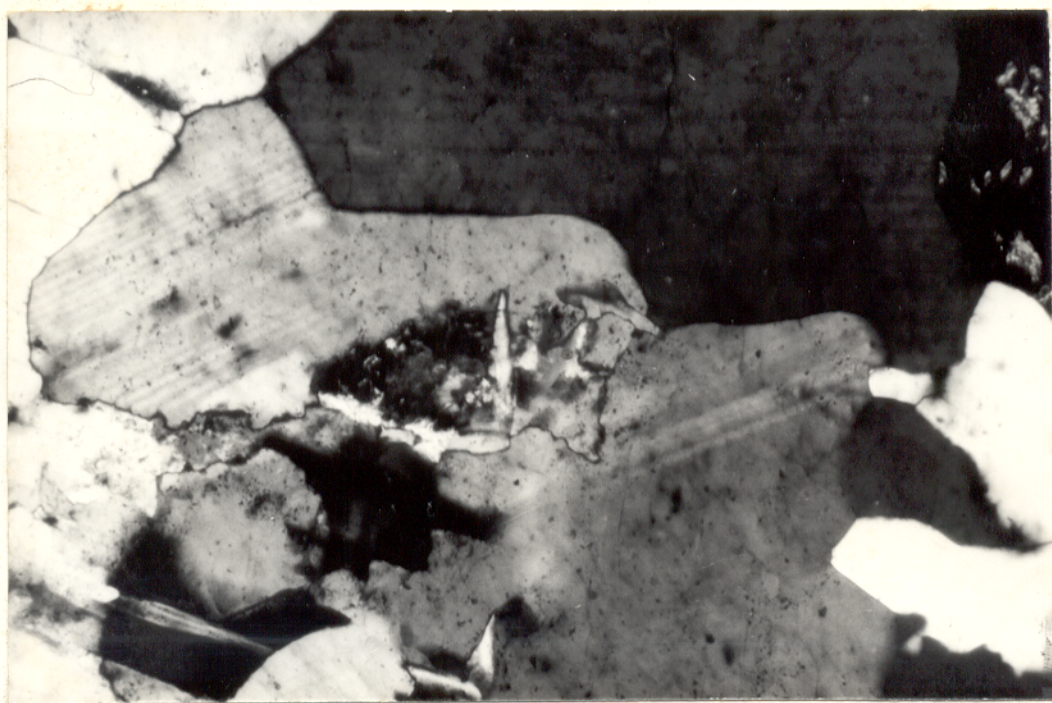


Fig. 48 - Fotomicrografia. Microclina tardia invadindo irregularmente vários cristais de peristerita. NX, 160X.

ção modal varia de 2 a 10%, atingindo embora raramente, proporções de até 25%. Ocorre em cristais subêdricos menores que 0,7mm, dispersos entre os demais minerais. Quando em proporções maiores, ocorrem em agregados definindo faixas, onde o tamanho dos cristais varia entre 0,5 e 3,0 mm. Estes cristais apresentam-se orientados e com "kink bands". As faces (010) são bem formadas em contatos retos, e as outras faces mostram contatos curvos ou irregulares com a nefelina, mesopentita, microclina e albita. Com a peristerita seu contato de um modo geral é interpenetrante (Fig. 49). Nos bordos do Maciço, principalmente na extremidade sudeste, a biotita ocorre como halos descontínuos (restos de biotita) em torno de cristais de magnetita, os quais são envolvidos por halos de muscovita. Mais localmente, na porção central do Maciço, ocorre em agregados constituídos de pequenos cristais euêdricos (tamanho menor que 0,1 mm), orientados, inclusos na nefelina normal (Fig. 23).

Na tabela 1 são dados os diferentes tipos de pleocroísmo da biotita. Os tipos 1 e 2 ocorrem somente nos cristais do centro do Maciço, enquanto que os tipos 3, 4 e 5 ocorrem tanto no centro quanto nos bordos. O tipo 6 aparece apenas nos bordos, principalmente em uma estreita faixa na porção sudeste, estando esta biotita associada a cristais de magnetita.

Na amostra ALP-64, próximo ao "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto, encontra-se flogopita em cristais subêdricos, tamanho variando de 0,3 a 3,5 mm e pleocroísmo fraco, onde $Z = Y =$ marrom alaranjado pálido e $X =$ incolor.

- Óxido de ferro

A magnetita ocorre como traços, em cristais anêdricos, tamanho variando entre 0,3 e 2,5 mm, envolvidos por halos de muscovita (com restos de biotita) ou mais raramente feldspato potássico. Em uma estreita faixa no bordo sudeste, a magnetita é o mineral máfico dominante no nefelina sienito gnaiss, em proporção de 3 a 5%. Ocorre em cristais subêdricos a euêdricos, tamanho entre 0,2 e 30,0mm, geralmente envolvidos por halos de muscovita com restos de biotita (Fig. 50). No centro do Maciço a magnetita aparece somente na amostra ALP-19 em proporção modal inferior a 1,0%. São cristais anêdricos a subêdricos, com tamanho variando entre 1,0 e 5,0 mm, que envolvem pequenos cristais

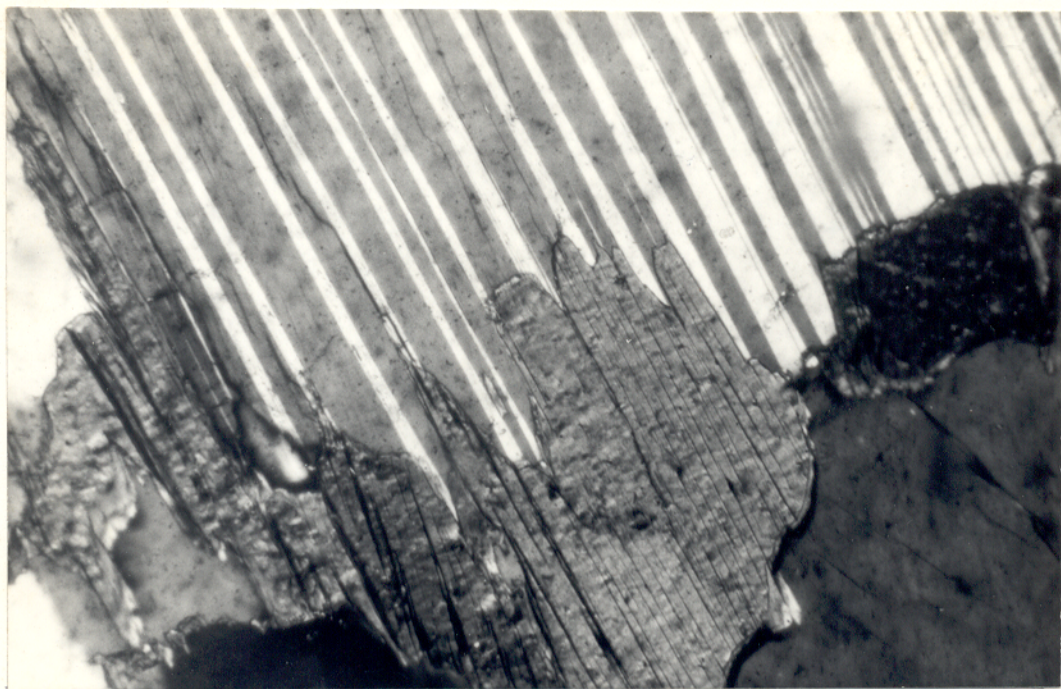


Fig. 49 - Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre peristerita e biotita. NX, 160X.

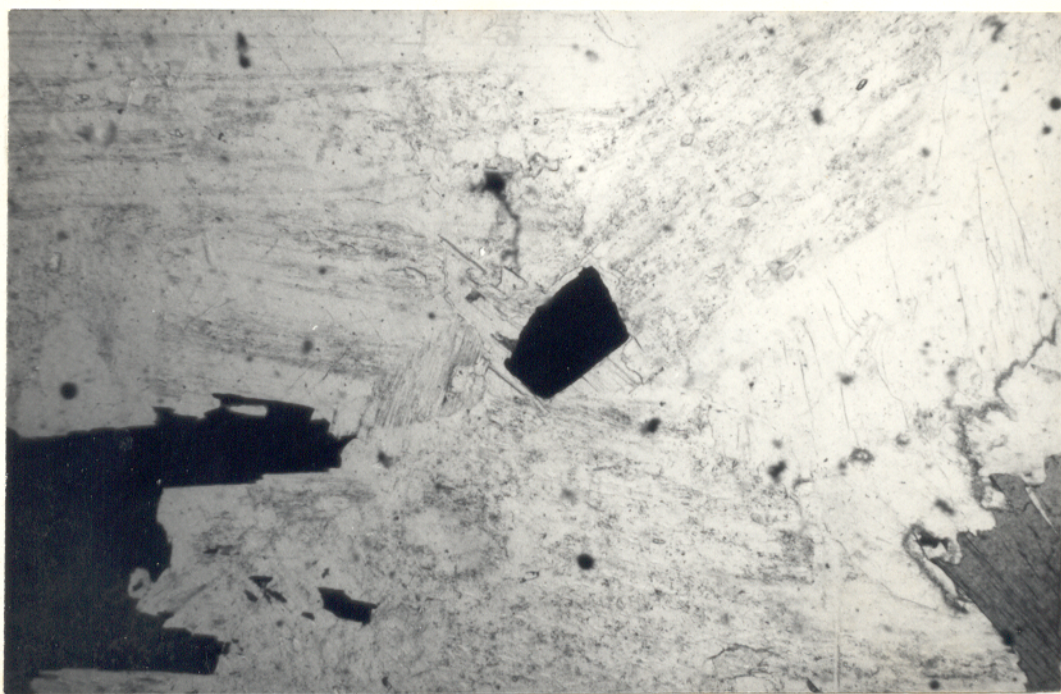


Fig. 50 - Fotomicrografia. Cristal de magnetita envolvido por halo de muscovita. NII, 40X.

Tabela 1 - Tipos de pleocroismo da biotita

TIPOS	Direções de vibrações	
	Z = Y	X
1	Marrom escuro (quase opaco)	Marrom amarelado p <u>á</u> lido
2	Verde escuro (quase opaco)	Amarelo esverdeado p <u>á</u> lido
3	Verde intenso	Amarelo p <u>á</u> lido
4	Marrom esverdeado	Amarelo p <u>á</u> lido
5	Verde	Amarelo p <u>á</u> lido
6	Marrom	Amarelo p <u>á</u> lido

de anfibólio, piroxênio, albita, microclina, nefelina, zircão e pirocloro.

A hematita, apesar de aparecer como traço apresenta uma distribuição generalizada. Ocorre em cristais anédricos menores que 0,5 mm, inclusos nos cristais de biotita ou em concentrações ao longo dos planos de clivagem da biotita. Ocorre ainda em cristais anédricos, tamanho menor que 1,0 mm, dispostos intersticialmente ou preenchendo fraturas de uma ou mais espécies minerais do nefelina sienito gnaisse.

- Muscovita

Ocorre de um modo geral nos bordos do Maciço, em proporções inferiores a 4%, em cristais anédricos a subédricos, tamanho menor que 0,5 mm, formando agregados não orientados, associados à cancrinita nos bordos e planos de fraturas da nefelina, e por vezes aparecem substituindo parcial a totalmente cristais deste mineral (Fig. 51). A muscovita ocorre ainda como traço nos bordos do Maciço, em cristais subédricos, tamanho variando entre 0,3 e 5 mm, orientados, associados e/ou intercrescidos com a biotita (Fig. 52). Na extremidade sudeste do Maciço, ocorre como halos não orientados em torno dos cristais de magnetita.

- Córindon

Foi observado em um afloramento na extremidade norte, compreendendo 5 a 10% da rocha. Em amostra de mão apresenta coloração cinza, às vezes com leve tonalidade azulada. Em seção delgada ocorre em cristais anédricos, tamanho variando de 2,0 a 3,0 mm, envolvidos por uma borda constituída de cristais de nefelina, dispostos perpendicularmente ao contato do córindon com a peristerita, microclina e biotita (Fig. 29).

- Calcita

Apresenta ampla distribuição, embora suas quantidades modais sejam pequenas (inferior a 2,0%). Ocorre mais frequentemente em cristais anédricos, tamanho variando entre 0,1 e 2,0 mm, dispostos intersticialmente ou preenchendo as fraturas de uma ou mais espécies minerais do nefelina sienito gnaisse, e também nos planos de clivagem da biotita (Fig. 53). Estes cris



Fig. 51 - Fotomicrografia. Agregados de muscovita e cancrinita substituindo parcial a totalmente cristais de nefelina. NX, 40X.

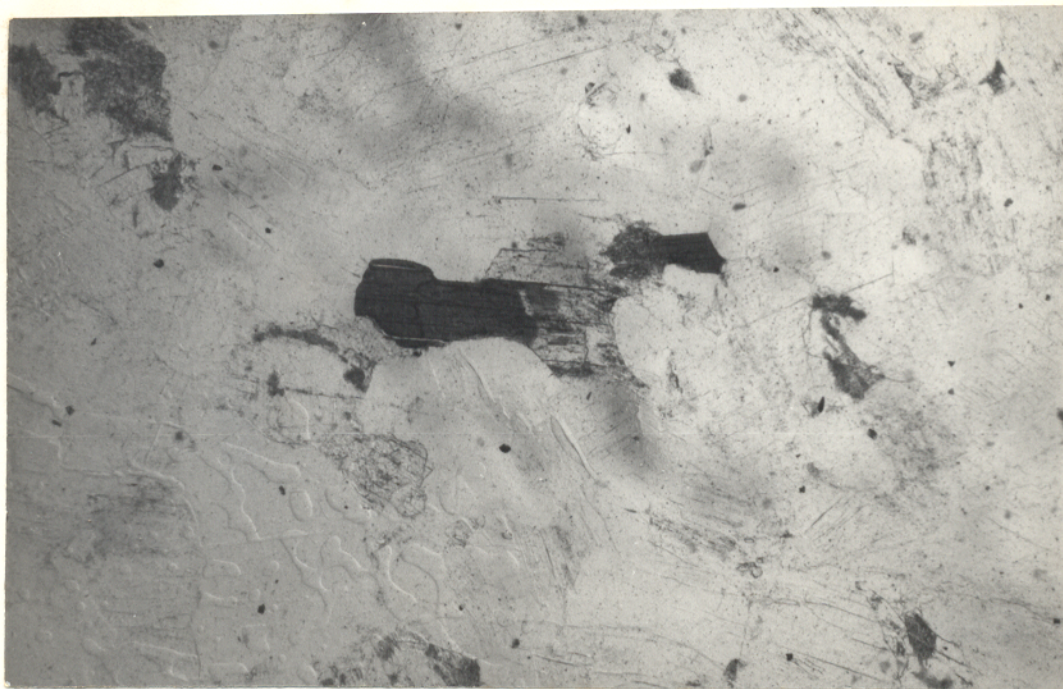


Fig. 52 - Fotomicrografia. Muscovita intercrescida com biotita. NII, 40X.



Fig. 53 - Fotomicrografia. Calcita e zeólita dispostas nos planos de clivagem da biotita. NX, 640X.

tais apresentam contatos irregulares ou mais comumente interpenetrante com a peristerita (Fig. 54). O seu contato com a nefelina faz-se através de uma borda contínua, constituída de cristais de cancrinita. A calcita ocorre ainda em pequenos cristais anédricos a euédricos, com tamanho menor que 0,1 mm, associada a zeólita que aparece preenchendo planos de fraturas nos minerais. Nos bordos do Maciço, a calcita aparece associada à cancrinita, em cristais anédricos a euédricos; tamanho menor que 0,2 mm, dispostos ao longo das estriações (081) e da clivagem (010) da peristerita ou mais raramente de maneira irregular no referido mineral.

- Cancrinita

Apesar de aparecer em proporção modal inferior a 3,0%, apresenta uma ampla distribuição. Ocorre em cristais anédricos, com tamanho menor que 1,0 mm, dispostos intersticialmente ou preenchendo fraturas nos minerais, invadindo indistintamente um ou mais cristais de nefelina e/ou plagioclásio (peristerita ou albita) (Fig. 55). A cancrinita aparece ainda formando borda nos contatos dos cristais de nefelina e calcita. Esta borda é contínua e consiste de vários cristais dispostos perpendicularmente a este contato (Fig. 29). Nos bordos do Maciço, aparece em agregados de cristais anédricos (tamanho de até 1,0 mm), associados à muscovita, substituindo parcial ou totalmente a nefelina (Fig. 51). Ocorre também em cristais anédricos (tamanho menor que 0,3 mm), associados à calcita e dispostos ao longo das estriações (081) e da clivagem (010) da peristerita, apresentando por vezes, uma disposição mais irregular neste mineral.

- Zeólita

Observada em todas as seções delgadas analisadas, aparece de um modo geral em percentagem modal inferior a 0,5%, porém em cinco amostras, suas proporções estão entre 5,0 e 7,0%. Ocorre como cristais anédricos, com disposição intersticial ou preenchendo fraturas nos minerais (Fig. 56). Estes cristais invadem indistintamente a nefelina e/ou peristerita (albita) (Fig. 57) e também preenchem os planos de clivagem da biotita (Fig. 53).

A zeólita apresenta índice de refração menor que o bálamo do Canadá, extinção reta, cor de interferência amarelo pálido de primeira ordem e um caráter biaxial negativo, com ângu

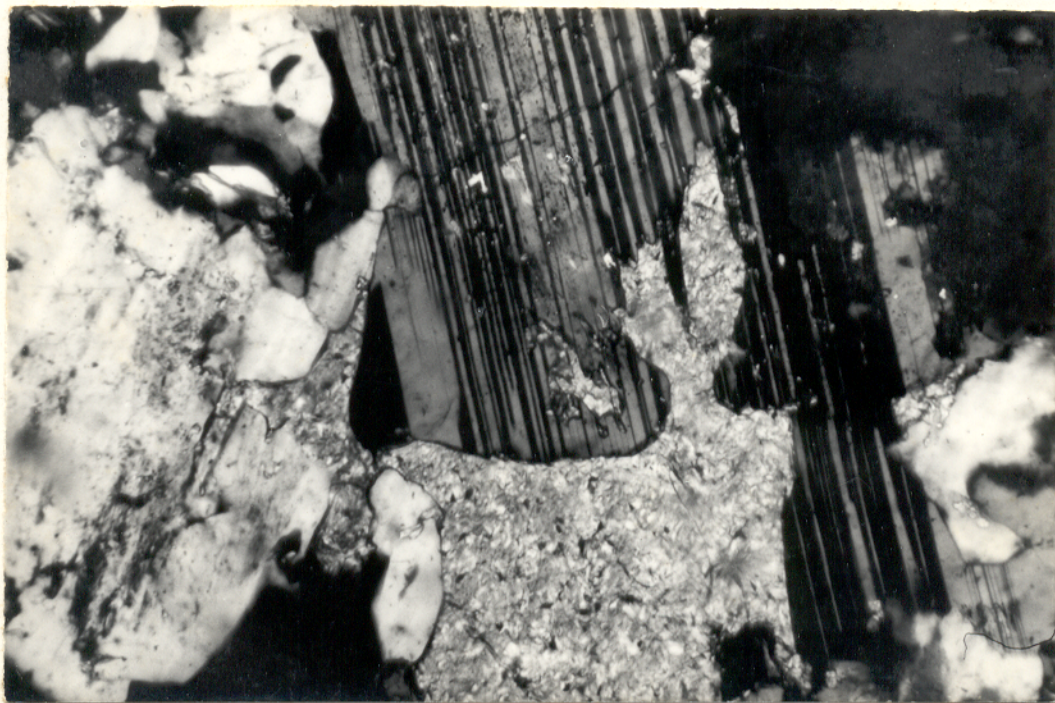


Fig. 54 - Fotomicrografia. Contato interpenetrante entre cristais de peristerita e calcita. NX, 160X.



Fig. 55 - Fotomicrografia. Cancrinita invadindo irregularmente cristais de nefelina e peristerita. NX, 40X.



Fig. 56 - Fotomicrografia. Zeólita preenchendo fratura no nefelina sienito gnaiss. NX, 160X.



Fig. 57 - Fotomicrografia. Zeólita invadindo irregularmente os cristais de peristerita e nefelina. NX, 160X.

lo ótico (2V) em torno de 50° , o que sugere tratar-se de natrolita.

- Zircão

O zircão apresenta-se amplamente distribuído no Maciço em quantidade modal inferior a 0,5%. Ocorre em cristais euédricos, tamanho variando entre 0,1 e 20,0 mm, dispersos na rocha. É encontrado ainda incluso na biotita sob a forma de cristais euédricos, menores que 0,1 mm, desenvolvendo halos pleocrôicos. Apresenta cor neutra ou marrom.

- Pirocloro

Em quantidade modal inferior a 0,2%, o pirocloro ocorre em cristais euédricos, tamanho menor que 0,1 mm, dispersos na rocha ou inclusos na biotita, onde desenvolvem halos pleocrôicos. Apresenta coloração marrom amarelada.

- Alanita

A alanita ocorre como traço, principalmente no bordo leste do Maciço, em cristais euédricos, tamanho variando entre 0,05 e 0,3 mm, atingindo as vezes dimensões de até 6,5 mm. Apresenta pleocroísmo onde X = amarelo pálido, Y = marrom amarelado e Z = marrom.

- Apatita

A apatita aparece como traço em cristais euédricos a subédricos, tamanho variando entre 0,1 e 1,0 mm, dispersos na rocha.

- Fluorita

A fluorita de um modo geral ocorre nos bordos do Maciço, em cristais anédricos, tamanho menor que 0,3 mm, de caráter intersticial, apresentando coloração violeta pálido.

- Piroxênio e Anfibólio

O piroxênio e anfibólio sódicos foram observados como traços na amostra ALP-19, localizada na porção central do Maciço. Ocorrem em cristais anédricos a euédricos, com tamanho inferior a 0,40 mm associados e/ou envolvidos pela magnetita. O piroxênio apresenta pleocroísmo onde Z = marrom amarelado,

Y = verde e X = verde intenso, e um ângulo de extinção $X\Delta c$ em torno de 0° ; enquanto que o anfibólio mostra pleocroísmo, onde Z = marrom amarelado, Y = verde escuro a verde amarronzado escuro e X = verde azulado intenso, com ângulo de extinção $X\Delta c$ de aproximadamente 10° , sugerindo tratar-se de aegirina e arfvedsonita, respectivamente (Deer, Howie e Zussman, 1963a).

3.5 Granito Pegmatóide

O granito pegmatóide é constituído essencialmente de quartzo, pertita, microclina e oligoclásio (An_{10-16}) e, em pequenas quantidades aparecem muscovita, biotita e granada. Os minerais acessórios são turmalina e berilo.

Apresenta uma textura granular hipidiomórfica, não mostrando evidências de metamorfismo, a não ser indícios locais de deformação tais como: fraturamento de alguns minerais e cristais de plagioclásio com maclamento deformado. Estudo mais detalhado desta rocha foi feito por Martins (1981).

4 QUIMISMO

As análises químicas das diferentes espécies minerais (nefelina, feldspato potássico, plagioclásio, biotita, flogopita e muscovita) do Maciço Alcalino de Peixe e das rochas que compreendem o Maciço (nefelina sienito gnaiss) e a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses (sienito, quartzo sienito e granito gnaisses) que contorna o Maciço, foram realizadas com a finalidade de verificar:

- a composição química das diferentes espécies minerais e compará-la com aquela de minerais descritos na literatura, onde seus campos de estabilidade foram determinados com base em estudos experimentais;

- as características químicas do nefelina sienito gnaiss e dos sienitos, quartzo sienito e granito gnaisses e compará-las com tipos semelhantes descritos na literatura;

- o comportamento do nefelina sienito gnaiss no diagrama $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2$, à pressão de água de 1 kb, de Hamilton e Mackenzie (1965); e

- o comportamento de elementos maiores, menores e traços e das razões de elementos no diagrama de variação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953).

Estes dados, adicionados às observações de campo e aos estudos petrográficos, serão utilizados para determinar os processos que atuaram nos nefelina sienito, sienito, quartzo sienito e granito gnaisses, com o objetivo de determinar a origem destas rochas.

4.1 Quimismo dos Minerais

Os minerais nefelina, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, flogopita e muscovita, de 10 amostras de nefelina sienito gnaiss, foram analisados por microsonda eletrônica (A pêndice 1). Estas amostras foram analisadas de maneira a abrange rem os vários tipos texturais, das diferentes espécies minerais, identificados nos estudos petrográficos.

4.1.1 Nefelina

As análises químicas (valores médios), fórmulas estruturais e composições em termos dos componentes normativos nefelina, kalsilita e quartzo dos diferentes tipos texturais de nefelina são apresentadas na tabela 2. As fórmulas estruturais, destas nefelinas, foram calculadas segundo Deer, Howie e Zussman (1963b, 1966) com base em 32 oxigênios.

Na tabela 3 são apresentadas as composições em termos dos componentes normativos nefelina, kalsilita e quartzo dos diferentes tipos texturais, de nefelina, analisados (40 cristais), onde se observa que:

- o componente normativo quartzo, apresenta uma faixa acentuada de variação (0,0 - 6,1%);

- o componente normativo kalsilita, mostra uma estreita faixa de variação compreendida entre 19,7 e 22,7% e uma maior concentração em torno de 22%;

- as nefelinas do tipo normal, apresentando contatos em ponto tríplice (NT), são as que apresentam uma maior dispersão do componente normativo kalsilita; e

- as nefelinas do tipo eudral (E) são as que apresentam valores mais altos do componente normativo quartzo.

A composição de diferentes tipos texturais de nefelina (Tab. 3), quando plotada no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo (Fig. 58), mostra um certo espalhamento em torno da composição kalsilita 22% e uma ampla variação do componente quartzo, o que indica uma variação na razão Si/Al, enquanto que a razão Na/K é aproximadamente constante. Além disso, essas nefelinas situam-se no campo de convergência Monozewicz-Buerger (Tilley, 1954), à exceção de 8 amostras, das quais 6 são nefelina normal apresentando contato em ponto tríplice, e das duas restantes uma é nefelina normal com contatos curvos e/ou irregulares, e a outra é nefelina intergranular.

4.1.2 Microclina

Na tabela 4 são apresentadas as análises químicas

Tabela 2 - Análise química (valores médios), por microsonda eletrônica, de diferentes tipos textu-
rais de nefelina.

	NT	NI	NC	R	i	E
SiO ₂	43,10	43,32	43,17	42,93	43,00	44,04
Al ₂ O ₃	33,67	33,92	33,53	33,63	33,63	32,97
Fe ₂ O ₃ t*	0,09	0,08	0,12	0,12	0,17	0,17
CaO	0,27	0,04	0,37	0,28	0,22	0,34
Na ₂ O	16,62	16,13	16,54	16,48	15,95	15,93
K ₂ O	6,25	6,52	6,41	6,24	6,49	6,22
TOTAL	100,00	100,01	100,14	99,68	99,46	99,67

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,298	8,325	8,310	8,291	8,314	8,472
Al	7,641	7,682	7,609	7,657	7,666	7,477
Fe ³⁺	0,014	0,013	0,019	0,019	0,025	0,025
Ca	0,056	0,008	0,075	0,059	0,046	0,070
Na	6,205	6,011	6,173	6,173	5,980	5,942
K	1,536	1,600	1,574	1,538	1,601	1,526
ΣR**	7,853	7,627	7,897	7,829	7,673	7,608

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	75,80	74,30	75,10	75,80	74,40	73,82
Ks	21,20	22,00	21,80	21,20	22,18	21,12
Qz	3,00	3,70	3,10	3,00	3,42	5,06

NT = nefelina normal, contato em ponto triplíce; Ni = nefelina normal, contato interpenetrante;
NC = nefelina normal, contato curvo e/ou irregular; R = nefelina com formas arredondadas ou ir-
regulares envolvidas pelos feldspatos; i = nefelina intergranular; E = nefelina euedral inclu-
sa nos feldspatos.

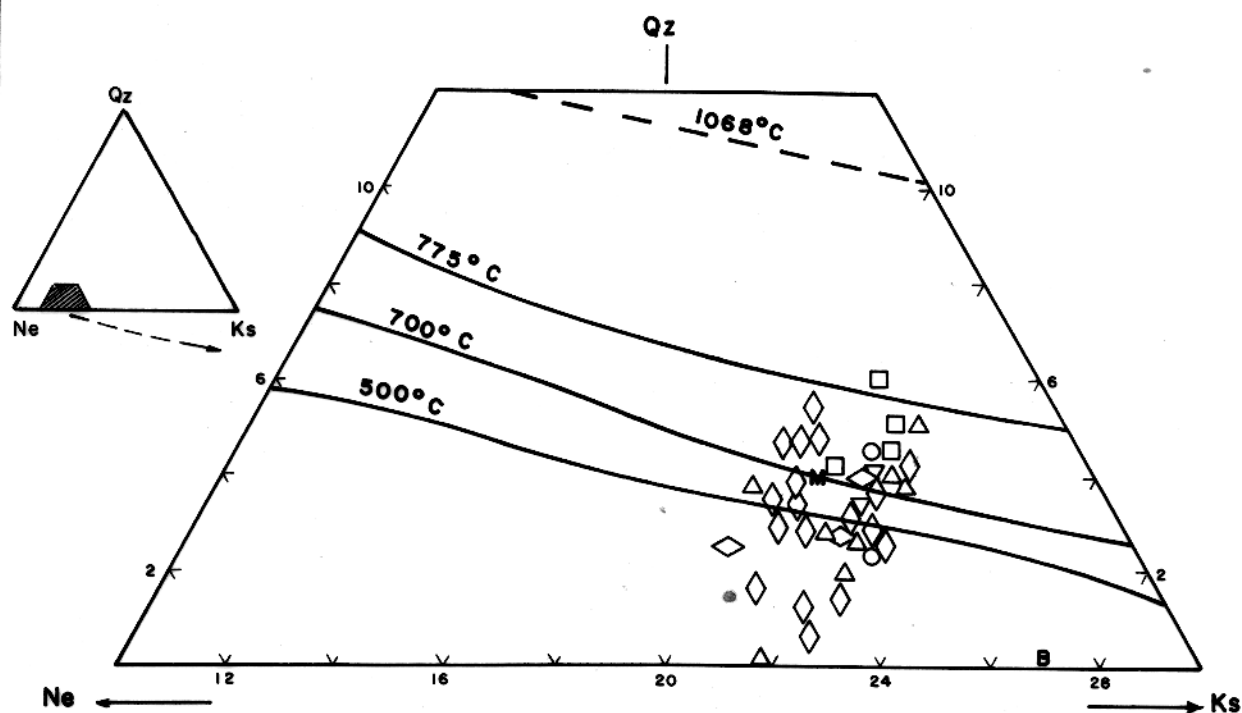
*Fe₂O₃ t = ferro total (Fe³⁺)

** ΣR = (K + Na + 2Ca)

Tabela 3 - Composição de diferentes tipos texturais de nefelina expressa em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo.

AMOSTRA	Ne	Ks	Qz
ALP-23.1-I-NT*	74,8	22,8	2,4
ALP-23.1-II-R	77,5	20,0	2,5
ALP-23.1-III-NT	74,9	22,4	2,7
ALP-23.1-IV-R	75,2	22,1	2,7
ALP-23.1-V-R	74,2	21,9	3,9
ALP-23.1-VI-NT	75,0	22,7	2,3
ALP-23.1-VII-i	73,9	21,6	4,5
ALP-23.1-VIII-i	74,9	22,7	2,4
ALP-23.1-IX-E	72,9	21,0	6,1
ALP-23.1-X-NT	77,0	22,4	0,6
ALP-23.1-XI-NT	73,5	22,5	4,0
ALP-23.1-XII-NT	76,0	22,6	1,4
ALP-23.1-XIII-NT	74,3	22,1	3,6
ALP-23.1-XIV-NC	73,7	22,4	3,9
ALP-25.3-I-NI	74,5	22,0	3,5
ALP-25.3-II-NI	74,1	22,0	3,9
ALP-43.2-I-E	74,8	21,1	4,1
ALP-43.2-II-E	73,1	21,9	5,0
ALP-54-I-NC	75,6	21,6	2,8
ALP-54-II-NC	75,6	22,3	2,1
ALP-54-III-NC	74,7	22,2	3,1
ALP-54-IV-NC	75,0	22,3	2,7
ALP-54-V-NC	78,2	21,8	0,0
ALP-55.1-I-NC	72,8	22,1	5,1
ALP-55.1-II-NC	73,8	22,2	4,0
ALP-57.3-I-NT	76,4	20,3	3,3
ALP-57.3-II-NT	74,6	20,1	5,3
ALP-57.3-III-NT	75,4	20,0	4,6
ALP-57.3-IV-NT	75,0	22,0	3,0
ALP-57.3-V-NT	74,8	20,5	4,7
ALP-57.3-VI-NT	75,1	20,8	4,1
ALP-57.3-VII-NT	75,2	20,2	4,6
ALP-57.3-VIII-E	73,9	21,0	5,1
ALP-57.3-IX-NC	76,5	19,7	3,8
ALP-64.2-I-NT	77,5	21,0	1,5
ALP-64.2-II-NT	75,9	20,8	3,3
ALP-64.2-III-NT	76,4	20,7	2,9
ALP-64.2-IV-NT	76,9	21,9	1,2
ALP-64.2-V-NT	75,9	21,2	2,9
ALP-64.2-VI-NT	75,7	20,6	3,7

* Prefixo da amostra - ALP; número da amostra - 23.1; número do cristal - I; tipo de nefelina - NT = normal contato em ponto triplice, NI = normal contato interpenetrante, NC = normal contato curvo e/ou irregular, R = arredondada ou irregular, i = intergranular, E = euedral.



Legenda

- △ NEFELINA NORMAL
- ▽ NEFELINA NORMAL CONTATO INTERPENETRANTE
- ◇ NEFELINA NORMAL CONTATO PONTO TRIPLICE
- ◊ NEFELINA INTERGRANULAR
- NEFELINA EUEDRAL
- NEFELINA ARREDONDADA
- M NEFELINA MOROZEWICZ
- B NEFELINA BUERGER

Fig. 58 - Composição dos diferentes tipos texturais de nefelina, da tabela 3, plotadas no diagrama nefelina- kalsilita- quartzo. Contornos das temperaturas de Hamilton (1961) e Hamilton e Mackenzie (1960).

Tabela 4 - Análise química (valores médios), por microsonda eletrônica, de diferentes tipos texturais de microclina.

	MN	MC	M	MM
SiO ₂	63,97	64,59	65,47	64,59
Al ₂ O ₃	18,71	19,02	18,50	18,78
Fe ₂ O ₃ t*	0,11	0,09	0,11	0,06
CaO	0,01	0,01	0,00	0,01
Na ₂ O	1,17	1,54	0,99	1,13
K ₂ O	15,15	14,56	15,24	15,46
TOTAL	99,12	99,81	100,31	100,03

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	11,907	16,03	11,901	12,011	11,921
Al	4,105		4,130	4,001	4,084
Fe ³⁺	0,017		0,013	0,017	0,009
Ca	0,002		0,002	0,000	0,002
Na	0,422	4,02	0,551	0,353	0,403
K	3,597		3,422	3,567	3,639
					4,04

Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita

Or	89,47	86,13	91,03	89,98
Ab	10,48	13,82	8,97	9,97
An	0,05	0,05	0,00	0,05

MN = fase potássica da mesoperitita (extremidade norte do Maciço); MC = fase potássica da mesoperitita (centro do Maciço); M = microclina; MM = microclina-microperitítica.

* Fe₂O₃ t = ferro total (Fe³⁺)

cas (valores médios), fórmulas estruturais e composições em termos dos componentes moleculares ortoclásio, albita e anortita dos diferentes tipos texturais de microclina. As fórmulas estruturais foram calculadas segundo Deer, Howie e Zussman (1963b, 1966) com base em 32 oxigênios.

A composição dos diferentes tipos texturais de microclina no nefelina sienito gnaiss varia entre $Or_{83,0}$ e $Or_{94,4}$, predominando porém, a composição Or_{88} a Or_{92} . Os valores mais baixos em percentagem molecular de ortoclásio, correspondem à fase potássica da mesopertita e a cristais individuais de microclina, que ocorrem associados à mesopertita.

Todos os tipos texturais de microclina apresentam conteúdos moleculares de anortita menores que 0,15%.

4.1.3 Plagioclásio

As análises químicas parciais para Na, Ca e K dos diferentes tipos texturais de plagioclásio foram calculadas em termos da percentagem em peso dos componentes moleculares ortoclásio, albita e anortita, sendo estas percentagens plotadas no diagrama triangular ortoclásio-albita-anortita (Figs. 59 e 60).

O plagioclásio dominante no Maciço é uma peristerita apresentando uma fase menos sódica de composição $An_{4,0-5,1}$ e outra mais sódica, $An_{0,5-2,8}$ (Fig. 59.A). Esta peristerita, apresenta uma ampla distribuição no Maciço, no entanto, há ocorrência, em uma estreita faixa nos bordos do Maciço, de uma peristerita de composição $An_{7,0-10,7}$ - $An_{0,4-4,0}$ (Fig. 59.B).

Na figura 60.A têm-se as composições das fases sódicas da mesopertita. Estas fases correspondem a uma peristerita de composição $An_{4,0-5,1}$ - $An_{0,7-2,8}$, similar à observada na figura 59.A. Mais localmente, a fase sódica da mesopertita, é uma albita de composição $An_{0,4-2,6}$, conforme está indicado na figura 60.B.

A albita em cristais individuais e a albita intergranular apresentam composição $An_{0,5-2,8}$ (Fig. 60c). A primeira ocorre de maneira restrita na porção central do Maciço, associada à mesopertita, cuja fase sódica tem composição

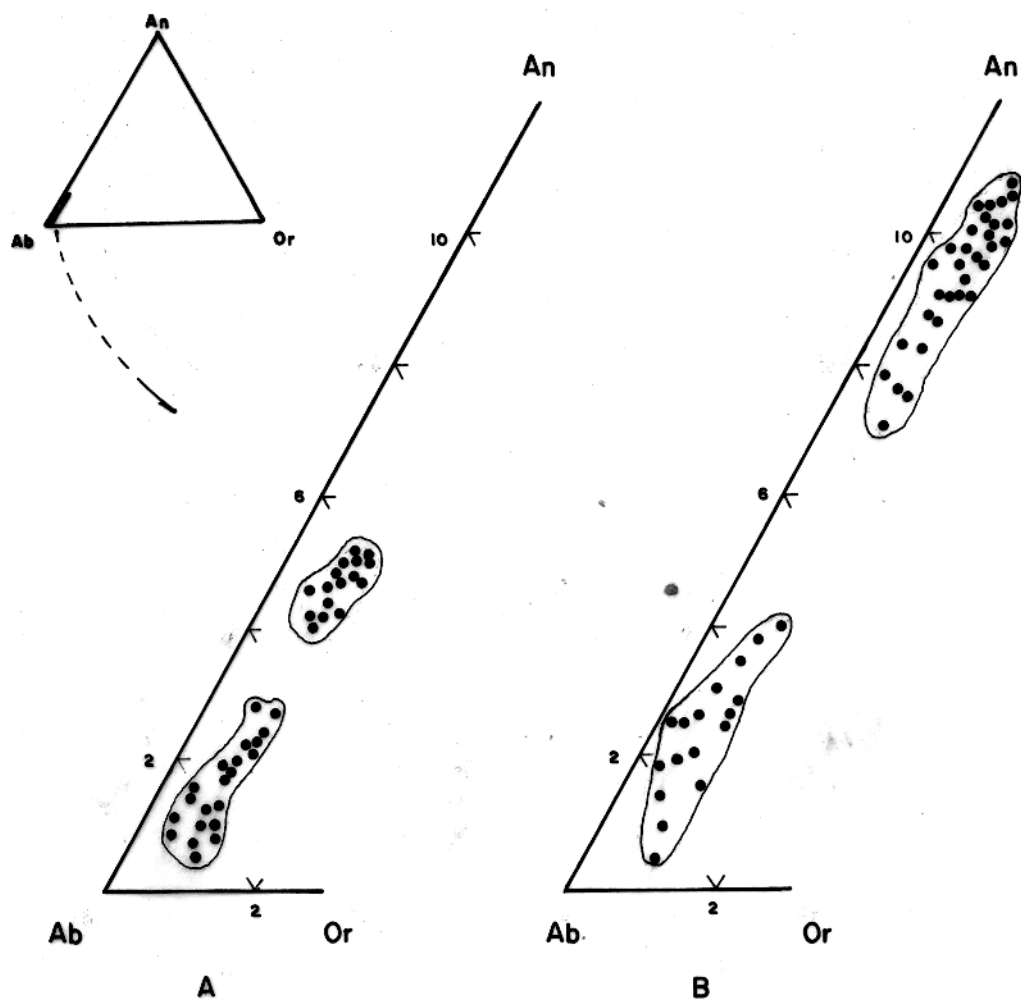


Fig. 59 - Composição de diferentes tipos texturais de plagioclásio, do nefelina sienito gnaiss, no diagrama Or-Ab-An. A) peristerita ($An_{0.5-2.8}/An_{4.0-5.1}$) de ampla distribuição no Maciço. B) peristerita ($An_{0.4-4.0}/An_{7.0-10.7}$) de uma estreita faixa nos bordos do Maciço.

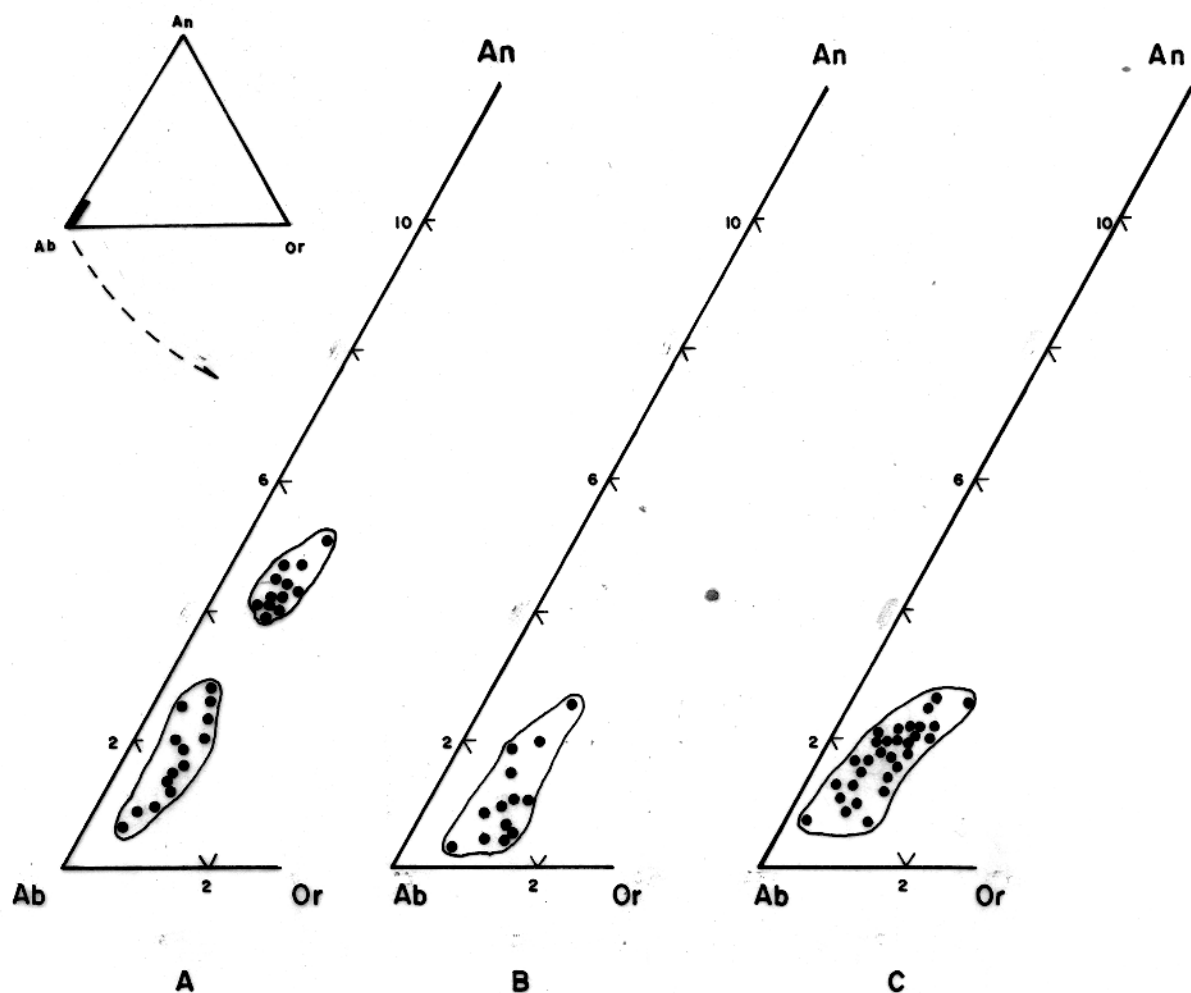


Fig. 60 - Composição de diferentes tipos texturais de plagioclásio, do netelina sienito gnaiss, no diagrama Or-Ab-An. A) peristerita ($An_{0.7-2.8} / An_{4.0-5.1}$) da fase sódica da mesopertita; B) albita ($An_{0.4-2.6}$) da fase sódica da mesopertita; C) albita ($An_{0.5-2.8}$) em cristais individuais e intergranulares.

$An_{0,4-2,6}$ (Fig. 60B), enquanto que a segunda apresenta uma distribuição generalizada, e está associada às peristeritas tanto de composição $An_{4,0-5,1} = An_{0,5-2,8}$ (Fig. 59A) como $An_{7,0-10,7} - An_{0,4-4,0}$ (Fig. 59B).

Os vários tipos texturais de plagioclásio citados acima, apresentam teor do componente molecular ortoclásio variando na faixa de 0,3 a 1,6%.

4.1.4 Micas

As análises químicas e fórmulas estruturais de biotita e flogopita, e de muscovita são apresentadas nas tabelas 5 e 6, respectivamente. As fórmulas estruturais destes minerais, foram calculadas com base em 22 oxigênios.

As biotitas com diferentes tipos de pleocroísmo apresentam composições químicas semelhantes, não sendo portanto possível, com base nos dados disponíveis, correlacionar a cor da biotita com a sua composição. Possivelmente a análise de Fe^{3+} , poderia permitir a interpretação dos vários tipos de pleocroísmo. As biotitas são caracterizadas por apresentarem teores altos em Fe e muito baixos em Mg, e a flogopita como era de se esperar, apresenta um valor baixo em Fe e alto em Mg.

Biotitas e flogopita estão plotadas no diagrama $Mg-(Al^{VI}+Fe^{3+}+Ti)-(Fe^{2+}+Mn)$ de Foster (1960), onde se observa que as biotitas concentram-se no campo da lepidomelana e siderofilita, e a flogopita no seu respectivo campo. Em virtude do Fe^{2+} representar o ferro total, há um pequeno erro traduzido num leve deslocamento em direção ao vértice $(Fe^{2+} + Mn^{2+})$ relativamente ao $(Al^{VI} + Fe^{3+} + Ti)$ (Fig. 61).

Os dois tipos texturais de muscovita mostram diferenças nos teores de Fe^{2+} e Mg, com a muscovita que ocorre como halos em torno de cristais de magnetita apresentando valores de Fe^{2+} e Mg mais altos que os da muscovita associada à cancrinita.

4.2 Quimismo das Rochas

As amostras de nefelina sienito gnaiss do Maci

Tabela 5 - Análise química, por microsonda eletrônica, de biotita e flogopita.

	ALP-55.1(4)	ALP-81.1(1)	ALP-57.3(2)	ALP-23.1(5)	ALP-64.2
SiO ₂	31,87	32,17	32,26	32,32	40,04
TiO ₂	0,57	2,29	0,66	0,31	0,14
Al ₂ O ₃	20,16	16,78	19,30	19,44	16,90
FeO ⁺	31,07	32,30	31,25	30,23	4,38
MnO	0,95	0,32	0,54	0,36	0,12
MgO	0,62	1,79	1,58	0,54	21,65
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,24	0,17	0,25	0,31	0,42
K ₂ O	9,69	9,33	9,28	9,57	10,60
TOTAL	95,17	95,15	95,12	93,08	94,25

Fórmula estrutural com base em 22 oxigênios					
Si	5,218	5,301	5,217	5,375	5,743
Al ^{IV}	2,782	2,699	2,733	2,625	2,257
Al ^{VI}	1,109	0,560	0,980	1,185	0,600
Ti	0,070	0,284	0,082	0,039	0,016
Fe ²⁺	4,254	4,451	4,267	4,205	0,526
Mn	0,131	0,045	0,074	0,051	0,015
Mg	0,151	0,439	0,385	0,135	4,628
Na	0,077	0,054	0,080	0,099	0,116
K	2,024	1,961	1,933	2,030	1,939

Os números entre () correspondem aos tipos pleocroísmo apresentados na tabela 1. ALP-23.1, ALP-55.1, ALP-57.3 e ALP-81.1 são biotitas e ALP-64.2 é flogopita.

*FeO⁺ - ferro total (Fe²⁺)

Tabela 6 - Análise química, por microsonda eletrônica, de diferentes tipos texturais de muscovita.

	1	2
SiO ₂	44,31	44,75
TiO ₂	0,03	0,04
Al ₂ O ₃	34,34	34,29
FeOt*	2,66	6,29
MnO	0,01	0,03
MgO	0,02	0,14
CaO	0,00	0,00
Na ₂ O	0,52	0,27
K ₂ O	11,35	11,64
TOTAL	93,24	97,45

Fórmula estrutural com base em 22 oxigênios

Si ^{IV}	6,117	8,00	6,026	8,00
Al ^{IV}	1,883		1,974	
Al ^{VI}	3,703		3,469	
Ti	0,003		0,004	
Fe ²⁺	0,308	4,02	0,709	4,21
Mn	0,001		0,003	
Mg	0,004		0,028	
Na	0,138		0,071	
K	1,998	2,14	2,000	2,07

Muscovitas da mostra ALP-25.3 : 1. muscovita associada a cancrinita; 2. muscovita associada a magnetita.

*FeOt - ferro total (Fe²⁺)

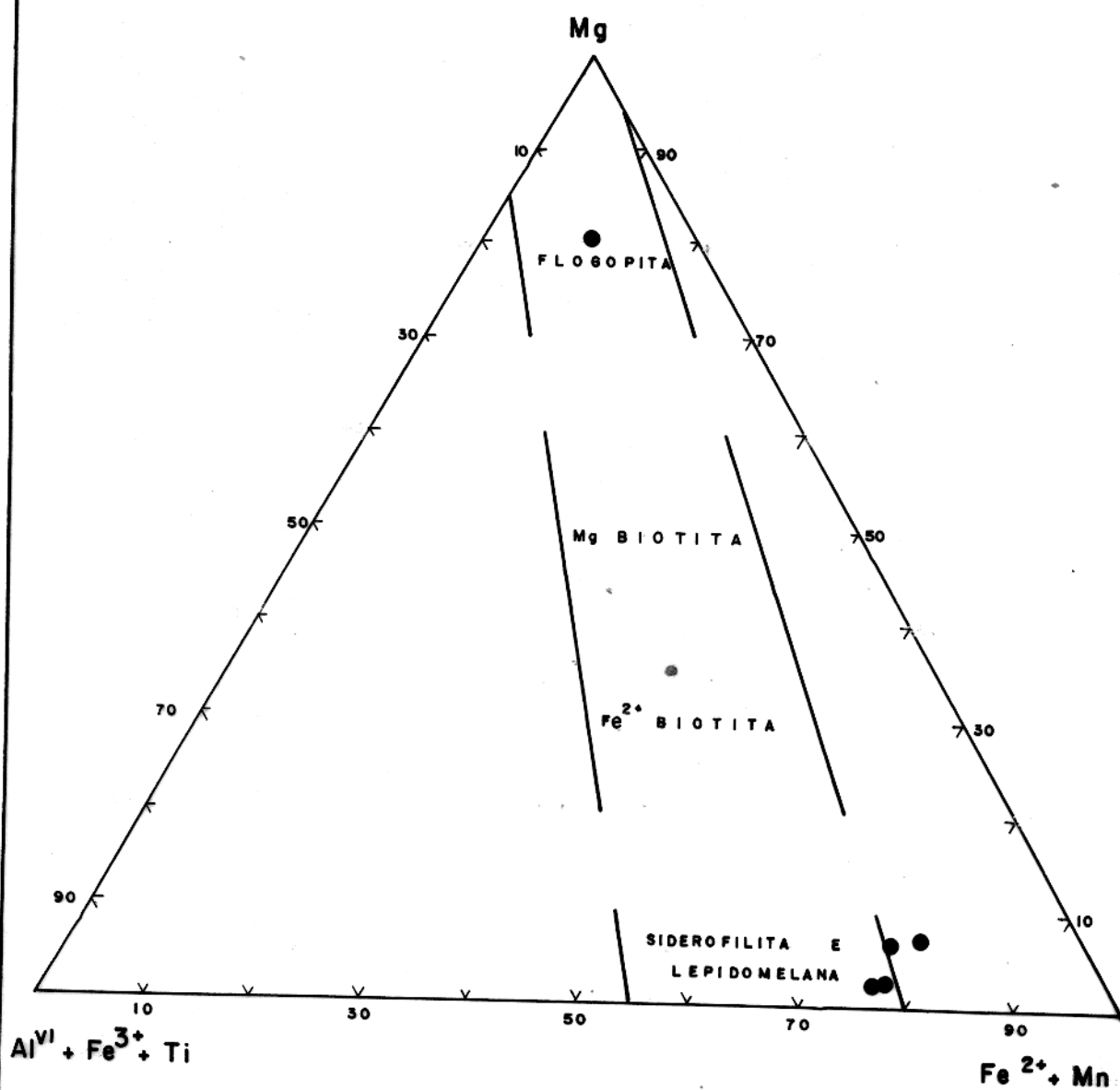


Fig. 61 - Biotitas e flogopita, do nefelina sienito gnaiss, plotadas no diagrama triangular Mg - (Fe^{2+} , Mn) - (Al^{VI} , Fe^{3+} , Ti) de Foster (1960).

ço e de sienito, quartzo sienito e granito gnaisses da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, que envolve o Maciço, foram selecionadas com base em estudos petrográficos. Foram analisadas 21 amostras representativas das porções dos bordos e núcleo do Maciço, de maneira a refletir as variações nas proporções dos minerais nefelina, mesopertita, peristerita (albita), microclina e biotita (flogopita). Da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, foram analisadas 3 amostras representativas dos tipos litológicos, que ocorrem nesta faixa.

Entre os métodos químicos utilizados nas análises dos elementos maiores, menores e traços, constam a fluorescência de raios-X, absorção atômica e clássicos (Apêndice 2).

4.2.1 Nefelina Sienito Gnaisse

a- Elementos maiores e menores

As análises químicas, o coeficiente agpaítico, o Índice de diferenciação ($1/3 \text{ Si} + \text{K}$)-(Ca + Mg), as normas CIPW e as proporções de nefelina-kalsilita-quartzo de 21 amostras de nefelina sienito gnaisse são apresentadas na tabela 7.

O nefelina sienito gnaisse apresenta coeficiente agpaítico variando entre 0,81 e 1,01, com um valor médio de 0,91, típico de rochas alcalinas miaskíticas. A mineralogia deste nefelina sienito gnaisse é também semelhante a de rochas alcalinas miaskíticas (Sorensen, 1974). As suas características químicas são as seguintes:

- teores baixos a moderados de Si, variando entre 26,1 e 28,0, com um valor médio de 27,1;
- teores altos de Al, variando entre 11,6 e 12,7, com um valor médio de 12,1;
- teores baixos a moderados de Fe, com o Fe^{2+} variando entre 1,0 e 4,1, sendo o valor médio de 2,7 e o Fe^{3+} de 0,2 a 1,0, com um valor médio de 0,5;
- teores extremamente baixos em Ti, Mn e Mg, com exceção da amostra ALP-64.2, um nefelina sienito gnaisse, com flogopita que ocorre próximo ao "roof pendant" de sillimanita -

Tabela 7 - Análise química, coeficiente albitico, índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$, norma CIPW e composição em termos dos componentes nefelina-kalsilita-quartzo das amostras de nefelina sienito gnaisse do Maciço Alcalino de Peixe.

	ALP-10.1	ALP-10.3	ALP-13.1	ALP-20.1	ALP-21.1	ALP-23.1	ALP-29.1
SiO ₂	56,84	56,69	55,99	55,78	59,83	59,32	58,03
TiO ₂	0,08	0,04	0,05	0,19	0,06	0,04	0,03
Al ₂ O ₃	22,30	22,43	22,23	21,75	22,62	22,75	22,90
Fe ₂ O ₃	1,15	0,44	0,76	1,21	0,31	0,71	0,52
FeO	3,56	3,39	3,45	5,20	1,58	2,85	2,28
MnO	0,05	0,10	0,10	0,16	0,06	0,04	0,04
MgO	0,04	0,03	0,07	0,01	0,03	0,02	0,02
CaO	0,76	1,19	1,46	0,41	0,50	0,28	0,28
Na ₂ O	10,96	9,13	9,20	5,86	9,44	9,91	10,60
K ₂ O	2,94	5,64	5,30	7,43	5,41	4,29	4,46
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,05	0,06
H ₂ O	0,53	0,86	0,65	0,64	0,42	0,28	0,25
TOTAL	99,23	99,96	99,28	98,67	100,27	100,54	99,47
c.a.	0,95	0,94	0,94	0,81	0,95	0,92	0,97
I.D.	+10,87	+12,75	+12,20	+14,85	+13,46	+12,56	+12,64

Norma CIPW

Or	17,60	33,46	31,75	44,79	32,02	25,26	26,56
Ab	47,64	30,37	30,52	29,48	41,86	48,36	42,02
An	3,01	3,58	3,76	1,87	2,42	1,06	1,00
Ne	25,09	25,56	26,22	11,43	20,66	19,07	26,20
C	0,00	0,00	0,00	3,46	0,35	1,41	0,27
Ac	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ns	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Di	0,60	1,97	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ol	0,07	0,04	0,09	0,02	0,05	0,03	0,04
Fo	4,10	3,52	3,33	6,72	2,06	3,58	2,94
Mt	1,69	1,37	1,12	1,79	0,45	1,03	0,76
Il	0,15	0,08	0,10	0,37	0,11	0,08	0,06
Ap	0,05	0,05	0,05	0,07	0,02	0,12	0,14

Composição em termos dos componentes Ne - Ks - Qz

Qz	32,6	31,7	31,3	38,3	34,9	35,7	32,4
Ne	56,3	47,0	48,3	32,0	45,8	48,8	51,7
Ks	11,1	21,3	20,4	29,7	19,3	15,5	15,9

Continuação da tabela 7

	ALP-34.1	ALP-35.2	ALP-37.4	ALP-40.1	ALP-47	ALP-51.1	ALP-54
SiO ₂	55,99	58,26	57,83	58,17	57,55	57,12	54,93
TiO ₂	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05	0,24
Al ₂ O ₃	23,40	21,99	22,81	22,55	23,38	21,41	23,55
Fe ₂ O ₃	0,94	0,70	0,90	0,62	0,79	1,22	0,59
FeO	3,53	3,41	3,19	2,96	1,90	3,59	3,45
MnO	0,11	0,08	0,09	0,07	0,04	0,10	0,07
MgO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,08	0,10
CaO	0,98	0,79	0,84	0,94	0,23	1,67	0,69
Na ₂ O	9,44	9,74	8,09	10,81	10,96	9,45	8,09
K ₂ O	3,65	4,32	5,57	3,37	4,93	3,25	6,81
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
H ₂ O	0,73	0,52	0,65	0,52	0,29	0,60	0,45
TOTAL	98,85	99,89	100,02	100,07	100,13	98,57	98,99
c.a.	0,83	0,94	0,85	0,95	1,00	0,89	0,88
I.D.	+11,26	+12,16	+13,11	+11,23	+12,91	+10,58	+13,87

Norma CIPW

Or	21,98	25,69	33,12	20,00	29,18	19,60	40,84
Ab	45,27	43,76	39,28	46,89	35,92	48,32	23,07
An	4,75	3,55	4,06	3,07	0,04	6,54	3,34
Ne	19,57	21,22	16,04	24,37	30,86	18,03	25,13
C	2,25	0,00	2,01	0,00	0,00	0,00	1,69
Ac	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ns	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Di	0,00	0,18	0,00	1,26	0,87	1,53	0,00
Wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ol ^{Fo}	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,12	0,18
Fa	4,61	4,42	4,08	3,38	1,88	3,88	4,37
Mt	1,39	1,02	1,31	0,90	1,15	1,81	0,87
Il	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,10	0,46
Ap	0,07	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05

Composição em termos dos componentes Ne-Ks-Qz

Qz	34,8	34,3	36,5	32,9	30,3	35,6	31,7
Ne	50,8	49,6	42,2	54,6	52,4	51,4	42,2
Ks	14,4	16,1	21,3	12,5	17,3	13,0	26,1

Continuação da tabela 7

	ALP-57.2	ALP-62.2	ALP-64.2	ALP-68.2	ALP-69.2	ALP-79	ALP-84
SiO ₂	58,12	57,89	53,47	57,55	58,83	56,41	59,26
TiO ₂	0,05	0,02	0,06	0,03	0,03	0,12	0,08
Al ₂ O ₃	23,34	22,78	20,98	21,93	22,86	22,71	22,65
Fe ₂ O ₃	0,38	0,54	0,38	1,40	0,62	0,43	0,29
FeO	2,25	3,19	1,31	3,09	2,71	2,14	1,50
MnO	0,09	0,13	0,07	0,11	0,14	0,16	0,06
MgO	0,05	0,01	7,55	0,01	0,01	0,05	0,02
CaO	1,24	0,62	0,33	1,11	0,79	2,82	0,24
Na ₂ O	10,05	10,35	4,58	10,35	9,77	9,44	10,81
K ₂ O	3,11	3,91	8,75	3,67	2,90	5,16	4,68
P ₂ O ₅	0,07	0,03	0,02	0,02	0,01	0,09	0,01
H ₂ O	0,44	0,40	0,82	0,29	0,41	0,46	0,33
TOTAL	99,19	99,87	98,32	99,56	99,08	99,99	99,93
c.a.	0,85	0,93	0,81	0,96	0,84	0,97	1,01
I.D.	+10,86	+11,88	+11,09	+11,29	+11,15	+11,09	+12,99

Norma CIPW

Or	18,61	23,23	53,03	21,85	17,37	30,63	27,77
Ab	51,60	44,31	9,73	44,76	57,62	28,02	42,02
An	5,77	2,90	1,54	2,51	3,91	4,37	0,00
Ne	18,70	23,70	16,26	23,55	14,17	28,29	26,43
C	1,37	0,47	3,51	0,00	2,27	0,00	0,00
Ac	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84
Ns	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Di	0,00	0,00	0,00	2,59	0,00	7,21	1,00
Wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00
Ol	0,09	0,02	13,51	0,01	0,02	0,00	0,03
Fo							
Fa	3,05	4,84	1,68	2,58	3,66	0,00	1,72
Mt	0,56	0,42	0,57	2,05	0,91	0,63	0,00
Il	0,10	0,04	0,12	0,06	0,06	0,23	0,15
Ap	0,17	0,07	0,05	0,05	0,02	0,21	0,02

Composição em termos dos componentes Ne-Ks-Qz

Qz	35,6	33,2	34,6	33,2	38,0	30,0	32,5
Ne	52,5	52,3	27,3	53,0	50,9	50,0	51,1
Ks	11,9	14,5	38,1	13,8	11,1	20,0	16,4

(c.a.) = coeficiente apatítico (Na + K/Al); (I.D.) = índice de diferenciação
 $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$.

quartzo micaxisto, apresentando um teor moderado de Mg(4,7);

- teores baixos de Ca, variando entre 0,2 e 2,0, com um valor médio de 0,6;

- teores altos em (Na+K), variando entre 9,7 e 12,3, com o Na na faixa de 4,4 a 8,2 e o K entre 2,4 e 6,3. Os teores de Na são maiores que os de K, com exceção das amostras ALP-20.1 e ALP-64.2; e

- excesso de Al sobre o (Na + K) observado em todas as amostras, à exceção das ALP-47 e ALP-84, que apresentam coeficientes agpaitico igual a 1,00 e 1,01, respectivamente.

Os valores normativos de nefelina, kalsilita e quartzo das 21 amostras de nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe, apresentados na tabela 7, estão plotados no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo de Hamilton e Mackenzie (1965) (Fig. 62). Estas amostras concentram-se às proximidades da curva que separa os campos de estabilidade dos feldspatos e nefelina e próximo do ponto mínimo, com exceção das amostras ALP-64.2 (nefelina sienito gnaiss com 25% de flogopita) e ALP-20.1 (nefelina sienito gnaiss com 20% de biotita), que plotam nos campos da estabilidade da leucita e feldspato, respectivamente, ficando esta última próxima à curva que separa os campos de estabilidade do feldspato e leucita.

As variações das percentagens em peso dos elementos Si, Al, ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$), Ca, Na e K, e razões ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) e ($\text{K}/\text{K} + \text{Na}$) versus Índice de diferenciação de Larsen, modificado por Nockolds e Allen (1953) são apresentadas nas figuras 63 e 64, onde se observam os seguintes comportamentos:

- os teores de Si e Al permanecem constantes com o crescimento do Índice de diferenciação;

- os teores de Ca e ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) e a razão ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) não apresentam uma variação regular em relação ao Índice de diferenciação;

- o Na permanece constante em relação ao Índice de diferenciação, para valores de 10-12, e diminui com o aumento do Índice, no intervalo de 12-15;

- o K e a razão ($\text{K}/\text{K} + \text{Na}$) crescem levemente com o aumento do Índice de diferenciação.

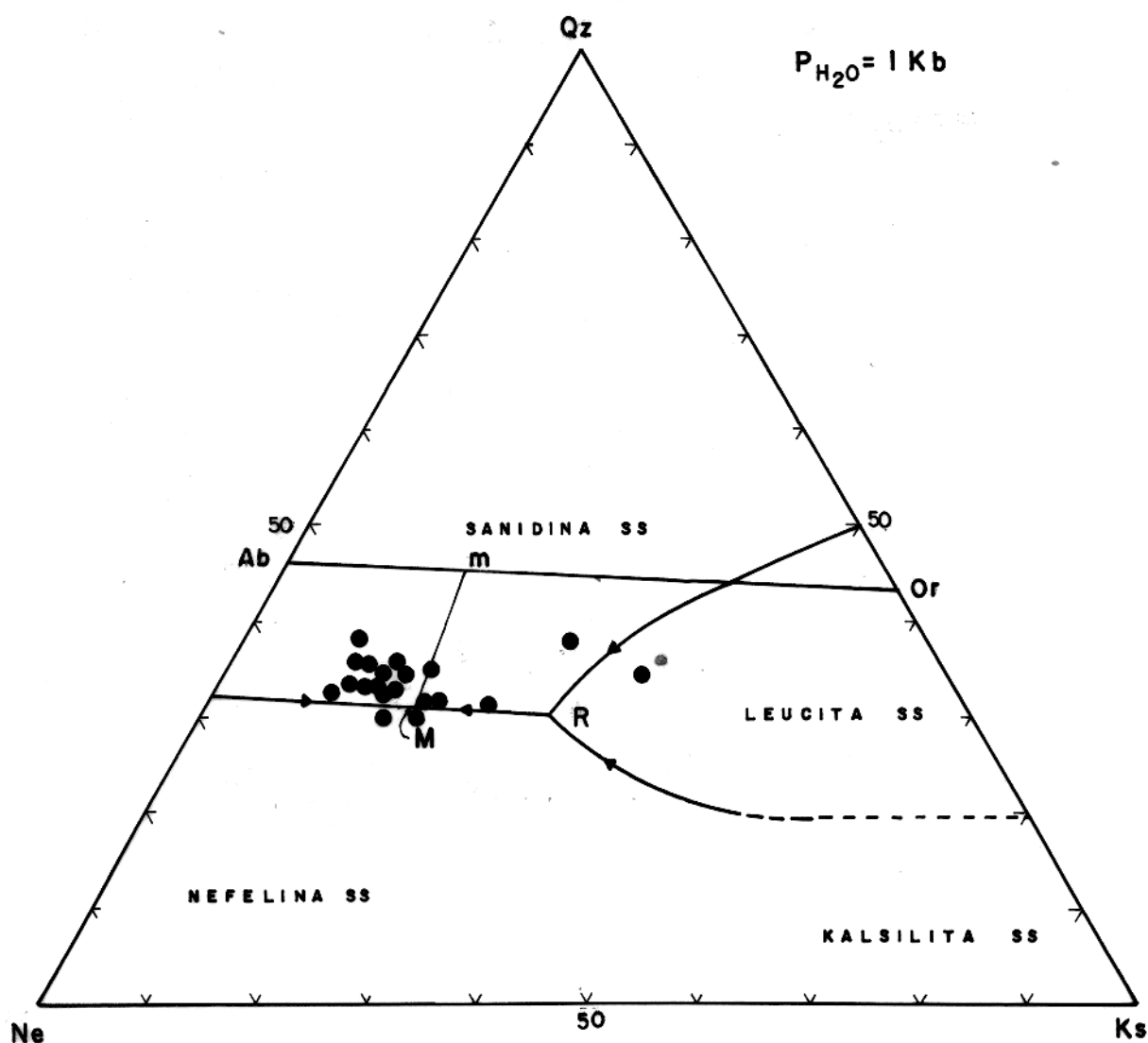


Fig. 62 - Composição dos nefelina sienito gnaiss da tabela 7 no diagrama Nefelina - Kalsilita - Quartzo. A temperatura mínima (M), o mínimo no sistema Ab-Or (m), o ponto de reação (R) e os limites entre os campos da sanidina, nefelina, kalsilita e leucita são de Hamilton e Mackenzie (1965).

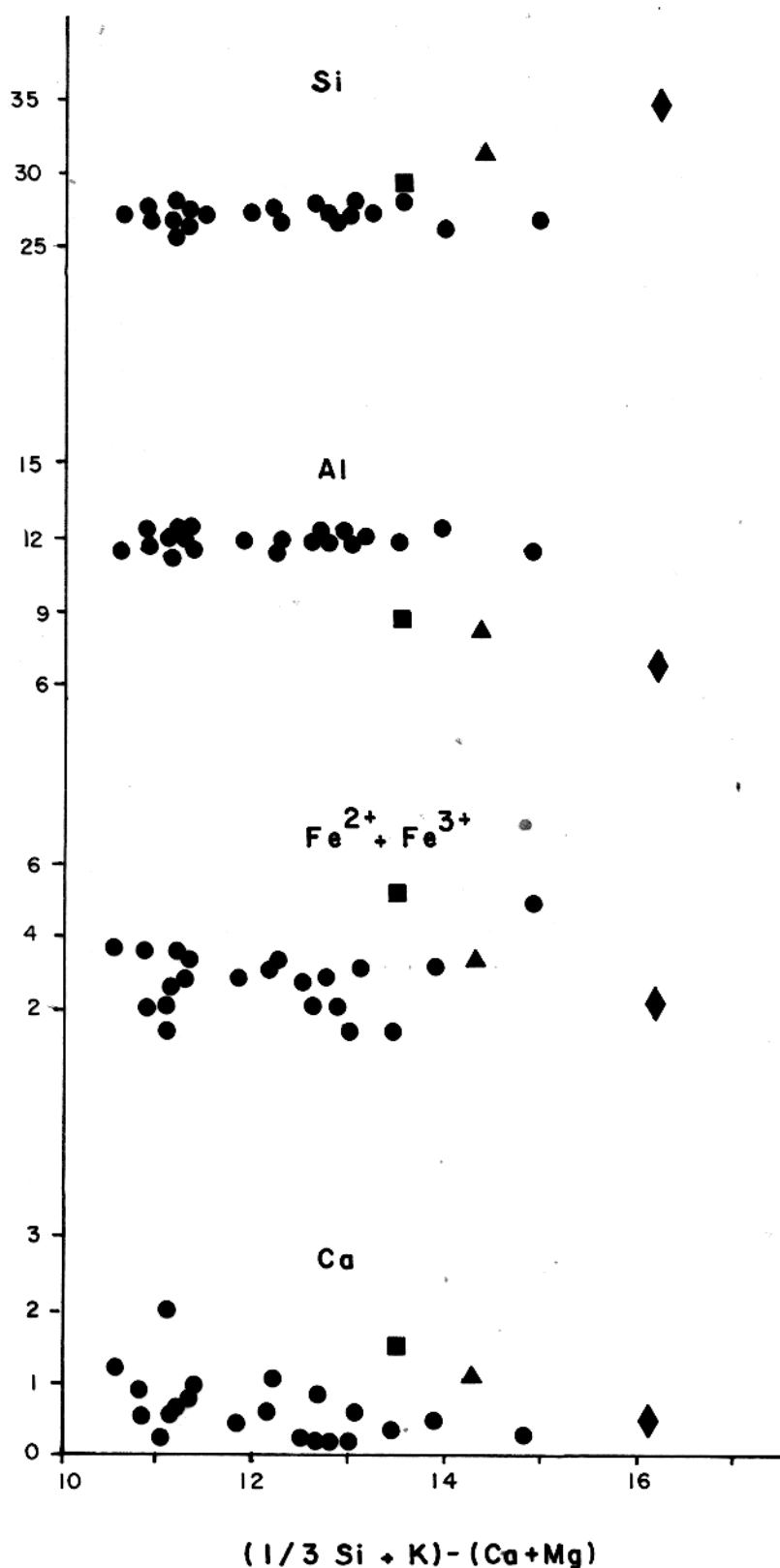


Fig.63- Diagramas de variação do Si, Al, ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) e Ca versus índice de diferenciação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953), $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$. Símbolos: ● nefelina sienito gnaïsse; ■ sienito gnaïsse; ▲ quartzo sienito gnaïsse; ◆ granito gnaïsse.

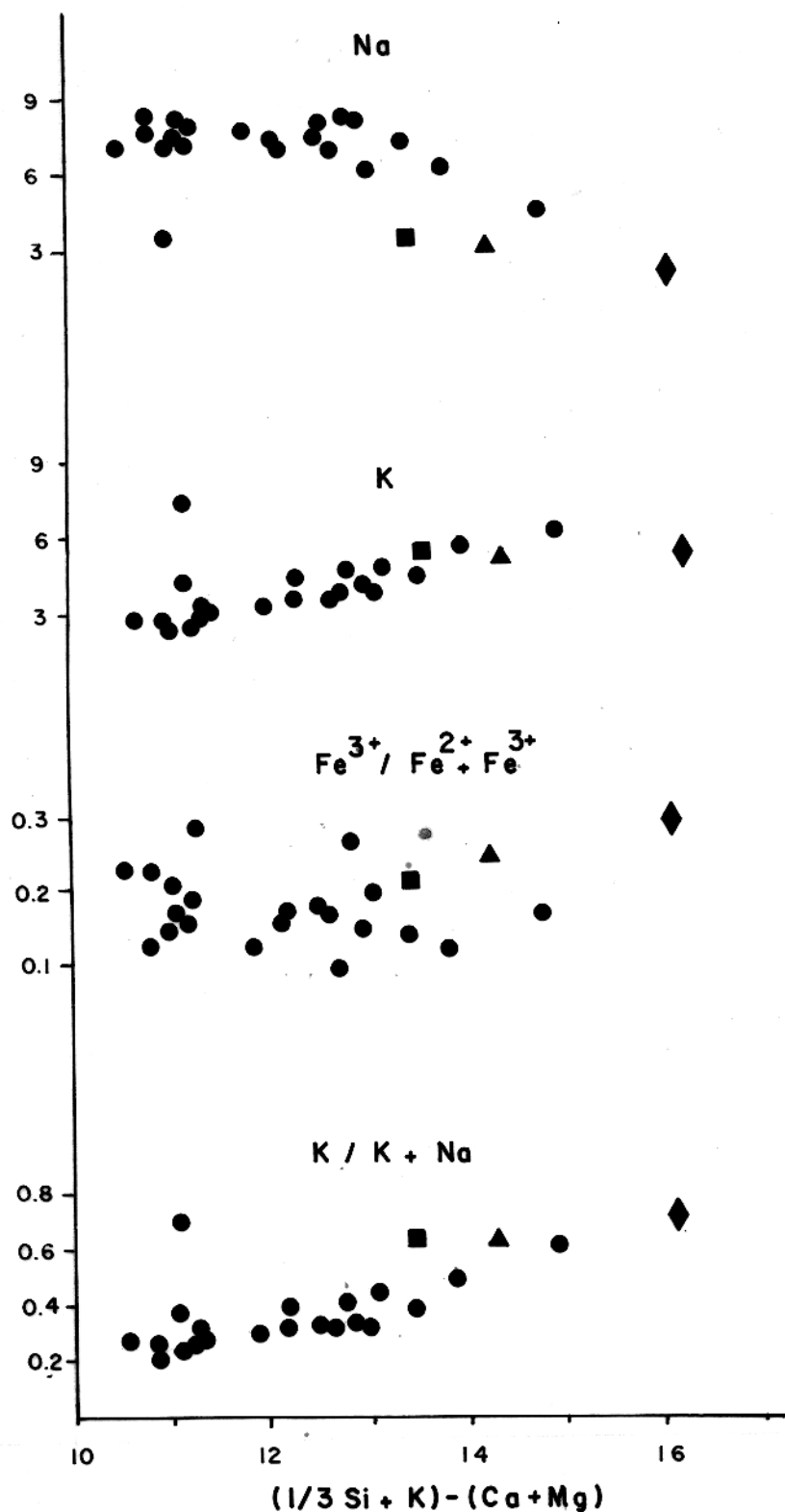


Fig. 64- Diagramas de variação do Na, K, $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ e $\text{K} / \text{K} + \text{Na}$ versus índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$. Símbolos iguais aos da fig. 63.

b- Elementos traços

Na tabela 8 são apresentadas as concentrações (em ppm) dos elementos Rb, Sr, Ba e Zr e as razões K/Rb e Rb/Sr.

O Rb no nefelina sienito gnaïsse varia entre 81 e 279 ppm, com um valor médio de 172 ppm. Entretanto a amostra ALP-62.2 (nefelina sienito gnaïsse com flogopita, que ocorre às proximidades do "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto) apresenta um teor de 513 ppm. Os valores da razão K/Rb, mostram-se dispersos na faixa de 133 a 351, com um valor médio de 215, correspondendo assim aqueles intervalos característicos para as rochas da crosta, que variam de 160 a 300 (Heier e Billings, 1970). A amostra ALP-54 é a única que apresenta um valor mais alto (698).

O Sr apresenta uma ampla variação na faixa de 67 a 745 ppm, com valor médio de 314 ppm. A amostra ALP-54, contém um teor extremamente alto em relação às demais amostras do Maciço (2141 ppm). A razão Rb/Sr é bastante variável, num intervalo de 0,04 a 5,23.

Os teores de bário estão de um modo geral abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado (aproximadamente 100 ppm). Foram obtidos resultados em apenas 5 amostras, que apresentam valores entre 171 e 1767 ppm.

Os teores de zircônio são extremamente variáveis (48-1170 ppm). Duas amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção do método analítico empregado (aproximadamente 5 ppm).

Os elementos Rb, Sr e Ba e as razões K/Rb e Rb/Sr não apresentam uma variação regular em relação ao índice de diferenciação $(1/3\text{Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ (Fig. 65).

4.2.2 Sienito, Quartzo Sienito e Granito Gnaïsses

a- Elementos maiores e menores

Os teores destes elementos, o índice de diferenciação $(1/3\text{Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ e as normas CIPW das amostras de

Tabela 8 - Elementos traço (p.p.m) e razões de elementos de amostras, de nefelina sienito gnaissse, do Maciço Alcalino de Peixe

	ALP-10.1	ALP-10.3	ALP-13.1	ALP-20.1	ALP-21.1	ALP-23.1	ALP-29.1	ALP-34.1	ALP-35.2	ALP-37.4	ALP-40.1
	Rb Sr Ba Zr K/Rb Rb/Sr	105 499 nd 70 232 0,21	217 438 nd 280 216 0,49	163 586 329 48 270 0,28	176 616 nd nd 351 0,28	264 267 nd 730 170 0,99	151 246 nd 250 236 0,61	133 284 nd 89 278 0,47	144 303 nd 335 210 0,47	205 233 nd 188 175 0,88	192 123 nd 706 241 1,56

	ALP-47	ALP-51.1	ALP-54	ALP-57.2	ALP-62.2	ALP-64.2	ALP-68.2	ALP-69.2	ALP-79	ALP-84
	Rb Sr Ba Zr K/Rb Rb/Sr	135 241 nd 258 303 0,56	147 548 nd 242 184 0,27	81 2141 1787 nd 698 0,04	81 745 279 nd 319 0,11	245 115 nd 171 133 2,13	513 98 171 238 142 5,23	173 94 nd 718 176 1,84	178 67 nd 199 135 2,66	211 384 200 536 203 0,55

(nd) = não detectado

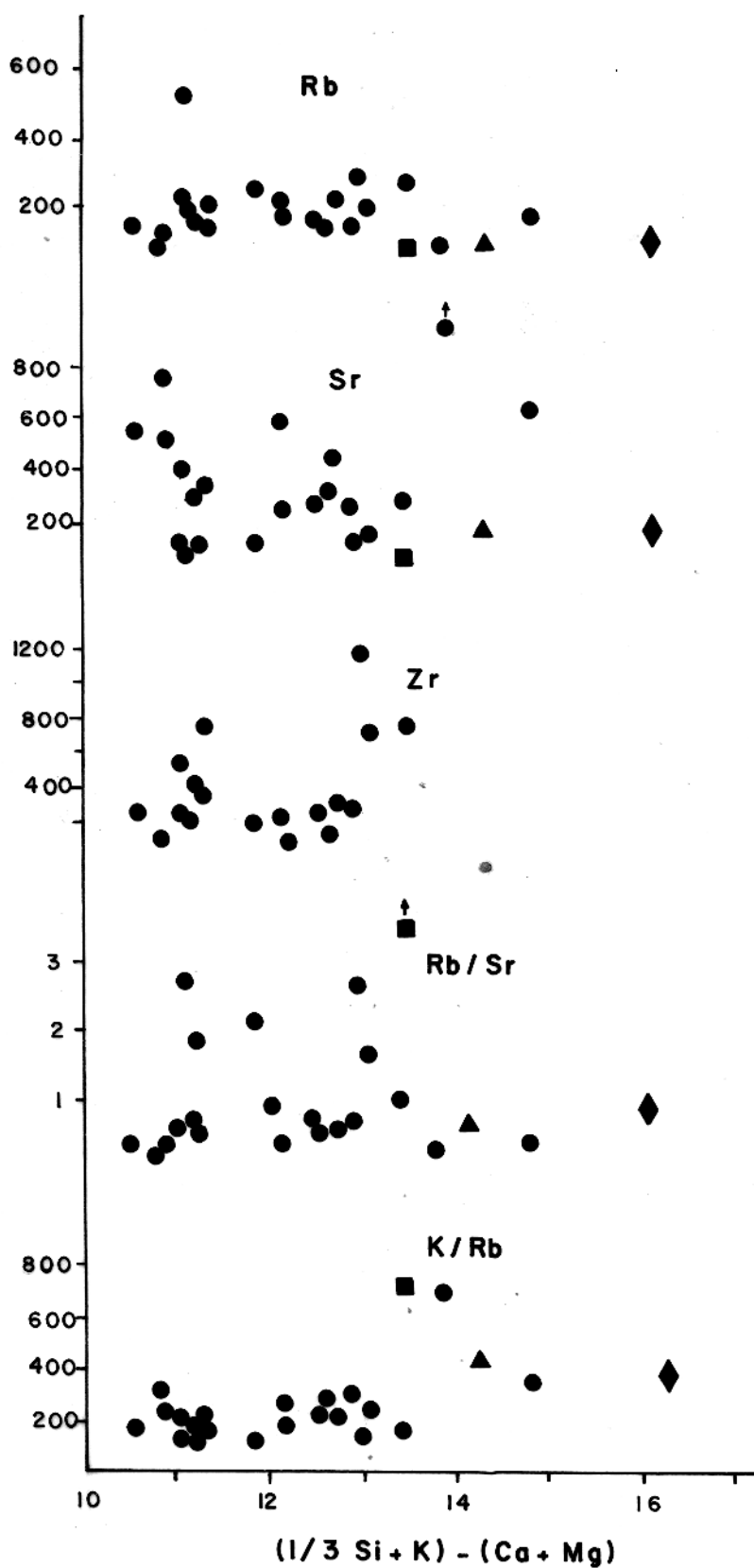


Fig. 65 - Diagramas de variação do Rb, Sr, Zr, Rb/Sr e K/Rb versus índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$. Símbolos iguais aos da fig. 63.

rochas da faixa de quartzó sienito e granito gnaisses são apresentados na tabela 9.

Os sienito, quartzó sienito e granito gnaisses apresentam as seguintes características químicas:

- excesso de Al sobre (Na + K), evidenciando o caráter peraluminoso destas rochas;

- teores de Si, Al, Ca, Na e K similares aos dos sienitos, quartzó sienitos e granitos alcalinos ígneos de Nockolds (1954);

- teores baixos de Ca;

- teores moderados de Fe;

- teores extremamente baixos em Ti, Mn e Mg.

O diagrama de variação dos elementos Si, Al, ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$), Ca, Na e K e das razões (K/(K + Na)) e ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) versus Índice de diferenciação de Larsen, modificado por Nockolds e Allen (1953) são apresentados nas figuras 63 e 64, onde se observa que:

- o Si e as razões (K/(K + Na)) e ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) aumentam do sienito gnaisse para o granito gnaisse, à medida que cresce o Índice de diferenciação;

- os teores de Al, Ca, Na e ($\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$) diminuem do sienito gnaisse para o granito gnaisse, com o aumento do Índice de diferenciação;

- o conteúdo de K permanece constante no sienito, quartzó sienito e granito gnaisses.

b- Elementos traços

As concentrações (em ppm) dos elementos Rb, Sr e Ba e as razões K/Rb e Rb/Sr são apresentadas na tabela 10.

Os teores de Rb no sienito, quartzó sienito e granito gnaisses são de 69, 90 e 116 ppm, respectivamente, similares aos valores mais baixos encontrados no nefelina sienito gnaisse. As razões K/Rb no sienito, quartzó sienito e granito gnaisses são de 752, 546 e 474, respectivamente, valores estes mais elevados que aqueles encontrados no nefelina sienito gnaisse (Fig. 66) e nas rochas da crosta, que apresentam valores na

Tabela 9 - Análise química, índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ e norma CIPW de rochas da faixa de quartzó sienito e granito gnaisses.

	ALP-BJ-75	ALP-70	ALP-48
SiO ₂	61,55	66,15	72,80
TiO ₂	0,43	0,33	0,20
Al ₂ O ₃	16,43	15,38	13,16
Fe ₂ O ₃	1,59	1,16	0,94
FeO	5,14	3,16	1,87
MnO	0,21	0,11	0,06
MgO	0,05	0,07	0,03
CaO	2,10	1,65	0,79
Na ₂ O	4,56	4,04	2,74
K ₂ O	6,25	5,91	6,24
P ₂ O ₅	0,09	0,05	0,04
H ₂ O	0,28	0,26	0,54
TOTAL	98,68	98,27	99,41
I.D.	+13,47	+14,29	+16,12
Norma CIPW			
Q	4,15	15,11	30,59
Or	37,53	35,62	37,29
Ab	39,21	34,88	23,45
An	6,00	6,51	3,70
C	0,00	0,00	0,56
Di	3,54	1,34	0,00
Hy	6,18	4,06	2,55
Mt	2,34	1,72	1,38
Il	0,83	0,64	0,38
Ap	0,22	0,12	0,10

(I.D.) = Índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$.

ALP-BJ-75 = sienito gnaisse; ALP-70 = quartzó sienito gnaisse;

ALP-48 = granito gnaisse.

Tabela 10 - Elementos traço (p.p.m.) e razões de elementos de rochas da faixa de quartzó sienito e granito gnáissés.

	ALP-BJ-75	ALP-70	ALP-48
Rb	69	90	116
Sr	10	134	136
Ba	725	829	692
K/Rb	752	546	447
Rb/Sr	6,90	0,67	0,85

ALP-BJ-75 = sienito gnáisse; ALP-70 = quartzó sienito gnáisse; ALP-48 = granito gnáisse.

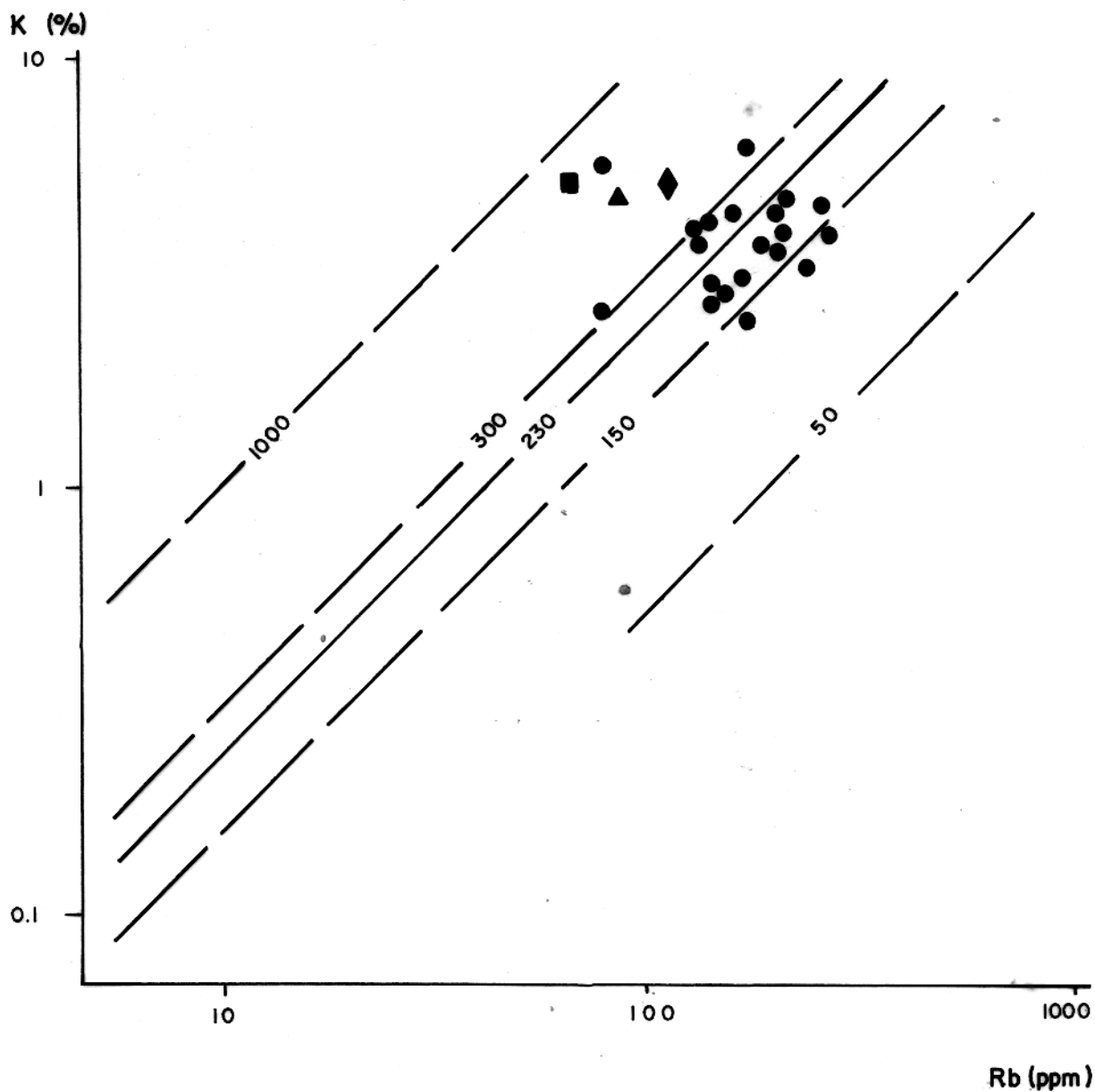


Fig.66 - Diagrama K/Rb do nefelina sienito, sienito, quartzo sienito e granito gnaisses. Símbolos iguais aos da figura 63.

faixa de 160-300 ppm (Heier e Billings, 1970).

As concentrações de Sr nos sienito, quartzo sienito e granito gnaisses são de 10, 134 e 136 ppm, respectivamente. Nestes dois últimos tipos de rochas, os teores de Sr são similares aqueles mais baixos encontrados no nefelina sienito gnaisse, enquanto que no sienito gnaisse a concentração deste elemento é mais baixa. A razão Rb/Sr nessas rochas é de 6,80, 0,67 e 0,85, respectivamente.

Os teores de Ba nos sienito, quartzo sienito e granito gnaisses são de 725, 829 e 692 ppm, respectivamente, portanto mais elevados do que aqueles encontrados no nefelina sienito gnaisse.

Os elementos Rb e Sr e as razões K/Rb e Rb/Sr apresentam em relação ao Índice de diferenciação $(1/3Si + K) / (Ca+Mg)$ (Fig. 65) os seguintes comportamentos:

- o Rb e Sr aumentam levemente do sienito gnaisse para o granito gnaisse, à medida que cresce o Índice de diferenciação;

- a razão K/Rb diminui do sienito gnaisse para o granito gnaisse, com o aumento do Índice de diferenciação;

- a razão Rb/Sr diminui do sienito gnaisse para o quartzo sienito gnaisse, e aumenta deste para o granito gnaisse, com o aumento do Índice de diferenciação.

5 CORPOS DE NEFELINA SIENITO GNAISSES SIMILARES AO DO MACIÇO ALCALINO DE PEIXE

Na literatura são descritos três complexos, constituídos por nefelina sienito gnaisses, leucocráticos, foliados e bandados, similares ao do Maciço Alcalino de Peixe, no que diz respeito ao modo de ocorrência, características macroscópicas e microscópicas e composições mineralógicas e químicas.

5.1 Descrição dos Complexos de Nefelina Sienito Gnaisse

5.1.1 Nefelina Sienito Gnaisse de Blue Mountain-Canadá

Segundo os estudos de Phipps (1955), Hewitt (1961), Payne (1966, 1968), Duke (1975) e Duke e Edgar (1977), o Complexo Alcalino de Blue Mountain consiste de um corpo de forma elíptica, com 4,0 km de comprimento por 2,4 km de largura, que apresenta na parte oeste uma ramificação alongada com 6,4 km de comprimento por 0,4 km de largura. O Complexo é formado por um corpo de nefelina sienito gnaisse envolvido por uma estreita faixa descontínua de sienito gnaisse, sendo o contato entre estas rochas, brusco ou transicional.

A foliação no nefelina sienito gnaisse é ressaltada pelos minerais máficos, sendo bem acentuada nos bordos, e incipiente a ausente no núcleo. O bandamento é dado pela variação no conteúdo dos minerais fêlsicos e máficos. O Complexo apresenta frequentemente lentes, veios e diques de nefelina sienito pegmatito, concordantes ou discordantes com a foliação do nefelina sienito gnaisse, e mostrando contatos geralmente bruscos com esta rocha.

O Complexo está associado a sienito gnaisses híbridos e metassedimentos (anfíbolitos, paragneisses básicos e mais localmente mármore) com metamorfismo no fácies anfíbolito médio a alto. Os contatos destas rochas com o nefelina sienito gnaisse são bruscos e a foliação é concordante em grande escala, embora localmente a foliação do nefelina sienito gnaisse seja discordante da dos metassedimentos.

5.1.2 Nefelina Sienito Gnaiss de Bigwood-Canadá

Os estudos desenvolvidos por Hewitt (1961), Duke (1975) e Duke e Edgar (1977), mostram que o Complexo Alcalino de Bigwood consiste de um corpo alongado de sienito gnaiss com 11,6 km de comprimento por 1,6 km de largura, envolvendo dois corpos lenticulares de nefelina sienito gnaiss, denominados de nefelina sienito gnaiss de Rutter e nefelina sienito gnaiss de French River. O primeiro ocorre ao norte e tem 4,8 km de comprimento por 0,6 km de largura, e o segundo, que ocorre ao sul, apresenta 4,0 km de comprimento por 0,8 km de largura. Os contatos entre o sienito gnaiss e os nefelina sienito gnaiss são gradacionais.

Tanto nos corpos de nefelina sienito gnaiss quanto no sienito gnaiss, a foliação, ressaltada pelos minerais máficos, é concordante. O bandamento é dado pela variação no conteúdo de minerais fêlsicos e máficos, e se desenvolve de maneira mais acentuada no nefelina sienito gnaiss de Rutter.

Nefelina sienito pegmatitos ocorrem nos dois corpos de nefelina sienito gnaiss, porém são mais frequentes no nefelina sienito gnaiss de French River. Estes pegmatitos são concordantes com a foliação do nefelina sienito gnaiss e seu contato com esta rocha é brusco.

O Complexo está associado a paragneisses metamorfizadas no fácies anfibolito alto a granulito.

5.1.3 Nefelina Sienito Gnaiss de Darkainle-Somalia

Gellatly e Hornung (1968) e Floor (1974) descreveram o Complexo Alcalino de Darkainle, como um corpo tabular, dobrado, com 33,6 km de comprimento por 2,4 km de largura, constituído de nefelina sienito e sienito gnaisses, cortados por diques e veios de nefelina sienito pegmatito, sienito pegmatito e carbonatitos.

O nefelina sienito gnaiss mostra em grande escala um interbandamento composicional com o sienito gnaiss, porém em escala mesoscópica não ocorre bandamento gnáissico, exceto localmente, nos bordos.

O Complexo está associado a metariolitos e biotita xistos que apresentam foliação concordante com a dos nefelina sienito e sienito gnaisses. O contato com o metariolito é brusco, enquanto que com o biotita xisto se faz através de um nefelina gnaisse metassomático.

5.2 Comparação Mineralógica e Química

Na tabela 11 são apresentadas as composições mineralógicas dos complexos de Blue Mountain, Bigwood e Darkainle e do Maciço Alcalino de Peixe. É difícil fazer uma analogia em relação as composições químicas de nefelina e feldspatos dos complexos de Blue Mountain e Bigwood com as do Maciço Alcalino de Peixe, uma vez que nos dois primeiros, estes minerais foram determinados por difração de raios-X cuja precisão não é bem conhecida.

No Complexo Alcalino de Blue Mountain, Payne (1966), cita a ocorrência de plagioclásio zonado, com o núcleo apresentando uma composição An_{6-10} e o bordo composição An_{1-6} . Este plagioclásio apresenta clivagem formando ângulos de 10 a 14° com o plano (010) e lamelas de composição mais sódica An_{1-6} ao longo das clivagens (estriações). As características deste plagioclásio são similares às observadas nas peristeritas do Maciço Alcalino de Peixe. Brown (1960) já havia citado a ocorrência de peristerita de composição $An_{6-9} - An_{0-3}$ no nefelina sienito gnaisse de Blue Mountain.

Os minerais ferromagnesianos presentes nos complexos de Blue Mountain, Bigwood e Darkainle são: biotita, anfíbólio, piroxênio e magnetita, sendo que no último e no nefelina sienito gnaisse de French River (Bigwood) o anfíbólio e o piroxênio aparecem como traços. No Maciço Alcalino de Peixe os minerais ferromagnesianos são biotita e magnetita, além de anfíbólio e piroxênio que foram observados como traços em uma seção delgada. A biotita nos complexos de Blue Mountain e Bigwood é similar à do Maciço Alcalino de Peixe, caracterizada por apresentar teor elevado em Fe e muito baixo em Mg.

Valores médios dos constituintes maiores e menores e as proporções normativas de nefelina, kalsilita e quartzo

Tabela 11 - Composições mineralógicas dos nefelina sienito gnaisses de Blue Mountain, Bigwood (Rutter e French River), Darkainle e Peixe.

MINERAIS	BLUE MOUNTAIN	BIGWOOD		DARKAINLE	PEIXE
		RUTTER	FRENCH RIVER		
Essenciais	Nefelina (Ks=20,0-23,0; Qz=3,0-4,5) Mesopertita Albita (An ₃₋₇) Microclina (Or ₉₀₋₉₄)	Nefelina (Ks=21,0-22,0 Qz=3,5-4,0) Mesopertita Albita (An ₅₋₆) Microclina (Or ₈₉₋₉₀)	Nefelina (Ks=23,0 ; Qz=3,0-3,2) Mesopertita Albita (An ₅) Microclina (Or ₈₈₋₉₀)	Nefelina Microclina	Nefelina (Ks=19,7- 22,8; Qz=0,0-6,1) Mesopertita Peristerita (An _{4,0- 5,1} - An _{0,5-2,8} e An _{7,0-10,7} ± An _{0,4- 4,0}) Albita (An _{0,5-2,8}) Microclina (Or _{83,0- 94,4})
Varietais	Biotita* Hastingsita* Aegirina-augita* Magnetita	Riebeckita* Biotita Aegirina-augita* Magnetita	Biotita* Riebeckita Aegirina-augita Magnetita	Biotita* Anfibolio sódico Aegirina- augita	Biotita* Magnetita
Acessórios	Muscovita Granada Corindon Calcita Cancrinita Zircão Hematita Apatita Titanita Alanita	Titanita Alanita Apatita Calcita Zircão Hematita	Titanita Zircão Apatita Grafita Corindon Cancrinita Hematita	Calcita Cancrinita Zircão Apatita Alanita Titanita Pirocloro	Muscovita Corindon Calcita Cancrinita Zircão Hematita Alanita Pirocloro Fluorita Piroxênio sódico Anfibolio sódico

* Minerais varietais predominantes.

dos complexos de Blue Mountain, Bigwood e Darkainle e do Maciço Alcalino de Peixe, são apresentados na tabela 12. Nesta tabela, verifica-se que as composições químicas das rochas desses Complexos e do Maciço Alcalino de Peixe, podem ser consideradas similares, apesar de existirem pequenas diferenças tais como:

- os teores de Si e Al no Complexo de Blue Mountain são ligeiramente mais elevados que nos demais complexos e no Maciço Alcalino de Peixe;

- os teores de Ti e Mg são mais elevados no Complexo de Bigwood do que nos demais complexos e no Maciço Alcalino de Peixe, embora os teores sejam muito baixos em todos;

- o teor de Fe é mais baixo no Complexo de Blue Mountain do que nos demais complexos e no Maciço Alcalino de Peixe, cujos teores são similares; e

- os teores de Mn, Na, K, Ca e P são similares nos três complexos e no Maciço Alcalino de Peixe.

A figura 67 mostra os campos onde plotam as amostras dos complexos de Blue Mountain, Bigwood e Darkainle e do Maciço Alcalino de Peixe no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo, onde se observa uma superposição destes campos, confirmando assim, a semelhança química entre as rochas destes complexos com a do Maciço Alcalino de Peixe.

Tabela 12 - Composições químicas (médias) dos nefelina sienito gnaisses de Blue Mountain, Bigwoog, Darkainle e Peixe.

	BM [8]	BW [4]	DK [4]	PX [19]
SiO ₂	59,03 (± 0,66)	57,39 (± 1,64)	57,57 (± 2,43)	57,61 (± 2,68)
TiO ₂	0,03 (± 0,10)	0,22 (± 0,41)	0,08 (± 0,05)	0,05 (± 0,19)
Al ₂ O ₃	23,68 (± 1,12)	21,15 (± 0,97)	22,03 (± 1,13)	22,66 (± 1,25)
Fe ₂ O ₃	0,90 (± 0,53)	1,82 (± 0,86)	1,55 (± 0,48)	0,70 (± 0,70)
FeO	0,74 (± 0,54)	3,17 (± 1,83)	2,38 (± 1,46)	2,84 (± 1,34)
MnO	0,03 (± 0,03)	0,14 (± 0,11)	0,14 (± 0,06)	0,09 (± 0,07)
MgO	0,07 (± 0,14)	0,15 (± 0,22)	0,04 (± 0,03)	0,03 (± 0,07)
CaO	0,47 (± 0,21)	0,72 (± 0,97)	1,09 (± 0,11)	0,92 (± 1,90)
Na ₂ O	9,98 (± 1,18)	9,78 (± 1,90)	10,34 (± 1,60)	9,82 (± 1,73)
K ₂ O	4,72 (± 1,10)	4,88 (± 1,54)	3,74 (± 1,54)	4,39 (± 2,42)
P ₂ O ₅	0,02 (± 0,05)	0,04 (± 0,03)	0,03 (± 0,04)	0,03 (± 0,07)
H ₂ O	0,38 (± 0,28)	0,43 (± 0,28)	0,66 (± 0,21)	0,48 (± 0,38)
CO ₂	0,08 (± 0,11)	0,41 (± 0,41)	na	na
TOTAL	100,13	100,30	99,65	99,62

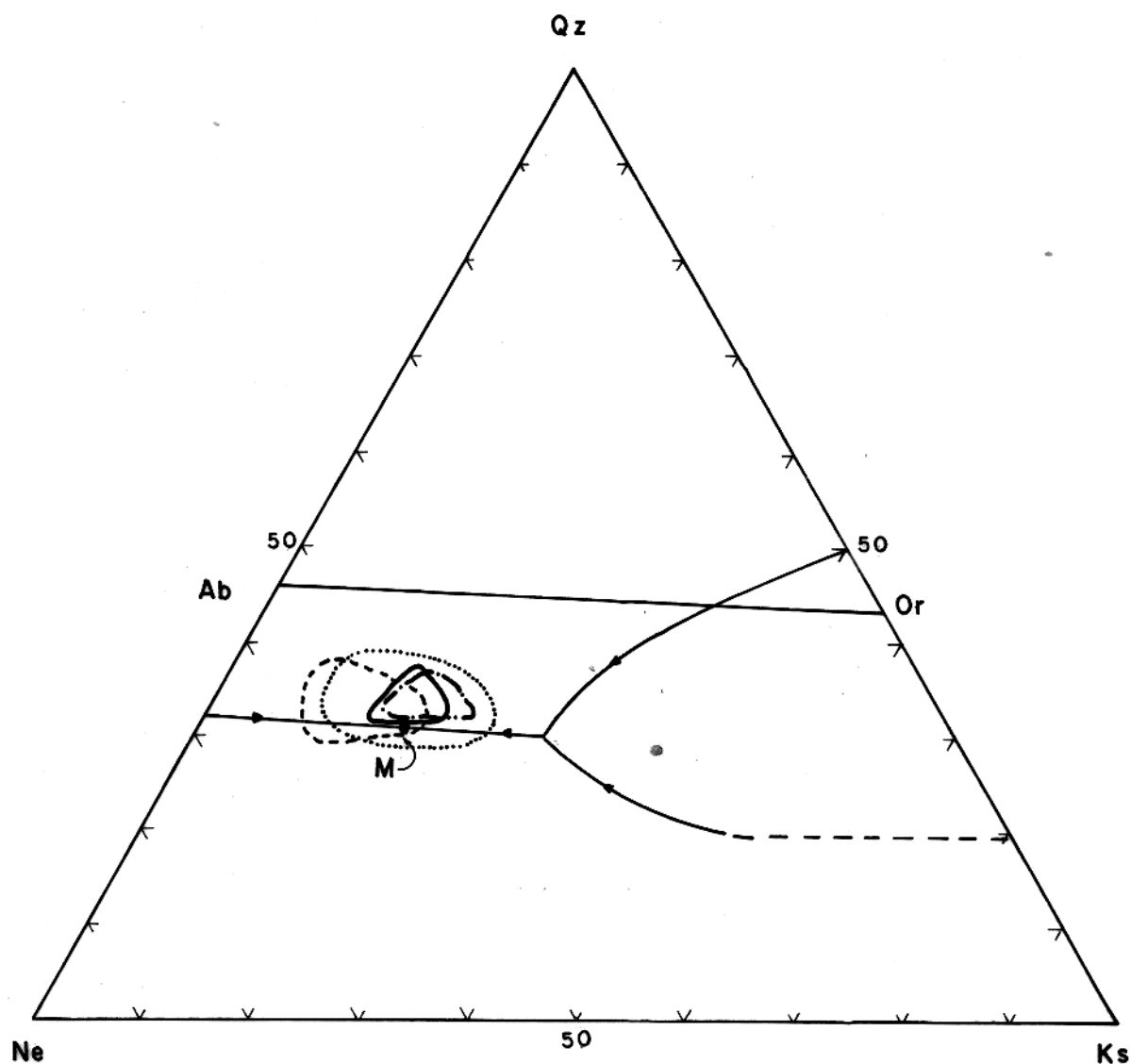
Composições em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	48,60	48,48	52,69	50,17
Ks	16,81	17,97	13,96	15,43
Qz	34,69	33,55	33,35	33,40

BM = nefelina sienito gnaiss de Blue Mountain; BW = nefelina sienito gnaiss de Bigwood. DK = nefelina sienito gnaiss de Darkainle. PX = nefelina sienito gnaiss de Peixe.

Os algarismos entre [] representam os números de amostras analisadas.

na = não analisado



Legenda

-  NEFELINA SIENITO GNAISSE DE BLUE MOUNTAIN
-  NEFELINA SIENITO GNAISSE DE BIGWOOD
-  NEFELINA SIENITO GNAISSE DE DARKAINLE
-  NEFELINA SIENITO GNAISSE DE PEIXE
- M** TEMPERATURA MINIMA

Fig. 67- Campos dos nefelina sienito gnaisses de Blue Mountain, Bigwood, Darkainle e Peixe no diagrama Nefelina - Kalsilita - Quartzo.

6 METAMORFISMO

Os metassedimentos encaixantes e o "roof pendant" que ocorre no Maciço Alcalino de Peixe, apresentam as seguintes associações mineralógicas (em ordem decrescente de abundância por litologia):

- Metagrauvaca

- 1) quartzo-oligoclásio-biotita ($\pm$ grafita)
- 2) quartzo-oligoclásio-microclina-biotita ($\pm$ grafita)
- 3) quartzo-oligoclásio-biotita-muscovita ($\pm$ grafita)
- 4) quartzo-oligoclásio-microclina-biotita-muscovita ($\pm$ grafita)
- 5) quartzo-oligoclásio-biotita-granada ($\pm$ grafita)
- 6) quartzo-oligoclásio-biotita-muscovita-granada ($\pm$ grafita)

- Metapelitos

- 7) quartzo-biotita-sillimanita-grafita
- 8) quartzo-biotita-granada-sillimanita-grafita
- 9) quartzo-biotita-muscovita-granada-sillimanita-grafita
- 10) quartzo-muscovita-sillimanita ($\pm$ plagioclásio)
- 11) quartzo-biotita-muscovita-sillimanita ($\pm$ plagioclásio)
- 12) quartzo-biotita-muscovita ($\pm$ plagioclásio)
- 13) quartzo-muscovita-granada
- 14) quartzo-biotita-muscovita-granada
- 15) quartzo-biotita-muscovita-granada-sillimanita
- 16) quartzo-muscovita-granada-sillimanita

- Roof Pendant

- 10) quartzo-muscovita-sillimanita ($\pm$ plagioclásio)
- 11) quartzo-biotita-muscovita-sillimanita ($\pm$ plagioclásio)
- 12) quartzo-biotita-muscovita ($\pm$ plagioclásio)
- 17) quartzo-cordierita-flogopita-sillimanita

- 18) quartzo-cordierita-flogopita-sillimanita-cianita
- 19) quartzo-cordierita-flogopita-cianita
- 20) quartzo-flogopita-sillimanita
- 21) quartzo-flogopita-sillimanita-cianita
- 22) andesina-cōrindon-biotita-sillimanita
- 23) andesina-cōrindon-biotita-sillimanita-cianita

No "roof pendant" de sillimanita-quartzo mica xisto, que ocorre no nefelina sienito gnaiss, as associações mineralógicas de 10 a 12 são as mais freqüentes e as de 17 a 23 a parecem muito localmente. Este "roof pendant" apresenta os seguintes aspectos mineralógicos e geológicos:

a) os cristais de sillimanita mostram um aumento progressivo no seu tamanho à medida que se aproximam do contato com o nefelina sienito gnaiss, com uma variação de menor que 1 até 30 cm. Os cristais de sillimanita menores que 1 cm ocorrem afastados do contato, e geralmente estão orientados na mesma direção dos cristais de biotita e muscovita da rocha do "roof pendant", enquanto que os maiores atingindo até 30 cm, ocorrem próximo do contato e não estão orientados;

b) o contato do sillimanita-quartzo micaxisto com o nefelina sienito gnaiss se faz através de um agregado de cristais não orientados de sillimanita, que apresentam dimensões variando de 10 a 40 cm;

c) cristais de cordierita ocorrem tanto como porfiroblastos, como agregados, associados com quartzo, onde, nestes últimos são freqüentes os contatos em ponto tríplice. Os cristais de cordierita e quartzo, por vezes, estão estirados, e a cianita e alguns dos cristais de sillimanita orientam-se na mesma direção dos grãos de cordierita e quartzo estirados;

d) os cristais orientados de sillimanita são de uma segunda geração, já que por vezes, cortam os cristais não orientados de sillimanita da primeira geração; e

e) cristais de albita (An_{4-5}) aparecem com disposição intersticial em relação aos cristais de cordierita, quartzo e sillimanita, e mais localmente formando agregados com contatos em ponto tríplice entre si e por vezes com a cordierita e o

quartzo.

Estes aspectos e as associações mineralógicas dos metassedimentos permitem admitir a existência de pelo menos dois eventos metamórficos para a área em estudo. O primeiro estaria relacionado à intrusão do magma nefelina sienítico, causando um metamorfismo de contato em uma sequência metassedimentar (pré Grupo Serra da Mesa), enquanto que o segundo tipo de metamorfismo, superimposto ao primeiro, está relacionado ao metamorfismo regional no fácies anfibolito que afetou os sedimentos (Grupo Serra da Mesa) da Faixa de Dobramentos Uruaçu, o corpo de nefelina sienito e a faixa de quartzo sienito e granito.

O metamorfismo de contato está registrado no "roof pendant", e é indicado pela presença de cristais não orientados de sillimanita, aumentando progressivamente de tamanho em direção ao contato com o nefelina sienito gnaiss, de cristais intersticiais de albita e possivelmente pelas associações mineralógicas com cordierita ou cōrindon. O aspecto textural apresentado pelos cristais de albita, sugere que se originaram pela introdução de líquidos residuais do magma nefelina sienítico nas rochas encaixantes.

A superimposição do metamorfismo regional ao de contato, é definida levando-se em consideração as seguintes feições:

a) a presença de cristais de cordierita e quartzo estirados;

b) a existência de uma segunda geração de sillimanita, orientada, juntamente com cristais de muscovita e biotita, que cortam cristais de sillimanita (não orientados) de uma primeira geração;

c) a orientação de cristais de sillimanita (2ª geração) e de cianita e flogopita na mesma direção dos cristais de cordierita e quartzo (estirados); e

d) a recristalização da albita (An_{4-5}) intersticial, formando localmente contatos em ponto tríplice entre si e com a cordierita e quartzo.

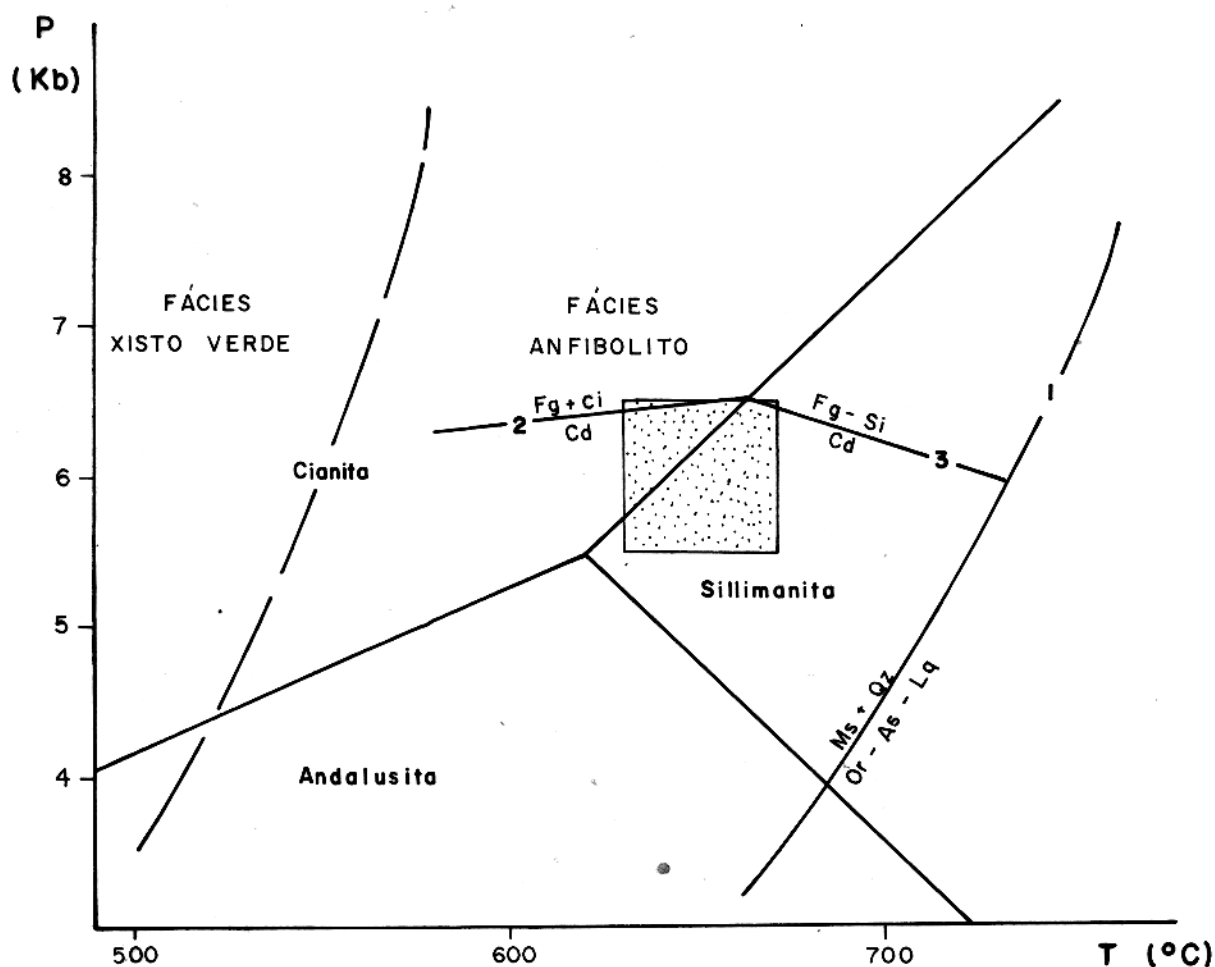
As condições de temperatura e pressão do metamorfismo regional da área do Maciço Alcalino de Peixe, foram estabelecidas a partir das assembléias mineralógicas dos metapeli

tos, dos campos de estabilidade dos polimorfos Al_2SiO_5 (Richardson et alii, 1969) e das curvas de decomposição:

- 1) quartzo+muscovita $\rightleftharpoons$ feldspato potássico + Al_2SiO_5 + líquido (Storre, 1972);
- 2) cordierita $\rightleftharpoons$ flogopita + cianita (Hess, 1969); e
- 3) cordierita $\rightleftharpoons$ flogopita + sillimanita (Hess, 1969).

De acordo com os parâmetros acima citados (Fig. 68), as condições de temperatura e pressão para o metamorfismo regional foram de 620 - 730°C e 4,5 - 6,5 kb, respectivamente. Contudo a presença freqüente da sillimanita e mais localmente da cianita, e das associações mineralógicas: quartzo-cordierita-flogopita-cianita; quartzo-cordierita-flogopita-sillimanita; e quartzo-cordierita-flogopita-sillimanita-cianita, sugerem que as condições deste metamorfismo, ocorreram principalmente no campo de estabilidade da sillimanita, porém próximo da curva que separa este campo daquele da cianita, e próximo das curvas de decomposição da cordierita, onde os valores mais prováveis de temperatura e pressão são 650 ($\pm 20^\circ\text{C}$) e 6.0 ($\pm 0,5$ kb), respectivamente (Fig. 68).

O valor da temperatura ($650 \pm 20^\circ\text{C}$) estimada para o metamorfismo regional, é compatível com o obtido para o nefelina sienito gnaiss (capítulo 7), a partir dos pares nefelina-feldspato potássico (500°C) e feldspato potássico-plagioclásio ($500-600^\circ\text{C}$) e ainda a temperatura de formação da peristerita, que segundo Smith (1974) seria abaixo de 600°C , considerando que estas últimas poderão representar temperaturas de exsolução durante o resfriamento.



Legenda

1 - Quartzo (Qz) + Muscovita (Ms) $\rightleftharpoons$ Feldspato potássico (Or) + Al_2SiO_5 (As) + Líquido (Lq). (Storre, 1972)

2 - Cordierita (Cd) $\rightleftharpoons$ Flogopita (Fg) + Cianita (Ci).

3 - Cordierita (Cd) $\rightleftharpoons$ Flogopita (Fg) + Sillimanita (Si).

} (Hess, 1969).

— Campo de estabilidade dos polimorfos de Al_2SiO_5 segundo Richardson et alii (1969).

- - - Limite aproximado dos fácies metamórficos (xisto verde e anfibolito) segundo Winkler (1976).



Condições de temperatura e pressão mais prováveis para o metamorfismo na região do Maciço Alcalino de Peixe.

Fig. 68- Condições de temperatura e pressão do metamorfismo regional da região do Maciço Alcalino de Peixe baseado nas associações mineralógicas de metapelitos e trabalhos experimentais.

7 PETROGÊNESE

Neste capítulo será discutida a origem do nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe, sendo consideradas várias hipóteses, a saber:

- metamorfismo a partir de sedimentos de composição apropriada;
- transformação metassomática de rochas preexistentes (nefelinização);
- cristalização a partir de um magma nefelina sienítico; e
- metamorfismo e deformação de um nefelina sienito de origem ígnea.

Algumas outras hipóteses (diferenciação magmática, assimilação ou metassomatismo de rochas encaixantes, e magmatismo independente) serão questionadas com relação à origem das rochas que constituem a faixa de quartzô sienito e granito gnaisses, que envolve o Maciço.

Levando em consideração os dados de campo, petrográficos e químicos (minerais e rochas), discutir-se-á cada hipótese referida acima, com o objetivo de encontrar um modelo de evolução que permita explicar as várias feições do Maciço e da faixa que o envolve.

7.1 Origem do Nefelina Sienito Gnaiss

7.1.1 Metamorfismo de Sedimentos de Composição Apropriada

Coombs (1965), ao estudar ocorrências de rochas sedimentares ricas em analcima em várias partes do mundo, constatou que estas rochas apresentam uma razão $\text{SiO}_2/4 \text{Na}_2\text{O} + 6\text{K}_2\text{O}$ (em proporção molecular) entre 1,12 e 1,63. Neste estudo ele considera a possibilidade de nefelina gnaisses com razões iguais ou maiores que a unidade terem sido formados pelo metamorfismo de rochas ricas em analcima.

As amostras do nefelina sienito gnaiss de Peixe

mostram razões $\text{SiO}_2/4 \text{Na}_2\text{O} + 6\text{K}_2\text{O}$ variando na faixa de 0,94 a 1,2, onde 5 amostras apresentam valores menores que a unidade e o restante (16) valores próximos à unidade. Além disso, comparando-se as composições químicas das rochas ricas em analcima com as do nefelina sienito gnaiss de Peixe, apresentadas na tabela 13, observa-se uma diferença acentuada nos teores de Si, Ti, Al, Mg, Na e K, o que invalida a hipótese de o nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe ter sido originado a partir de metamorfismo de rochas sedimentares ricas em analcima.

Outros argumentos contrários a esta hipótese são:

a) a presença de nefelina euédrica inclusa nos feldspatos, incompatível com uma cristalização a partir de um processo metamórfico, onde a nefelina teria uma tendência anédrica;

b) o comportamento indicado pela composição de diferentes tipos texturais de nefelina no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo (Fig. 58), mostrando uma variação na razão Si/Al, típica de nefelina cristalizada a partir de magma nefelina sienítico (Hamilton, 1961);

c) homogeneidade nas composições mineralógicas e químicas das amostras de nefelina sienito gnaiss. Estas últimas, quando plotadas no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo (Fig. 62) concentram-se próximo do ponto mínimo. Estes dados são característicos de rochas alcalinas cristalizadas a partir de um magma nefelina sienítico; e

d) comportamento da foliação no corpo de nefelina sienito gnaiss e na sequência de metassedimentos ao qual está associado. Esta foliação é discordante na extremidade norte e concordante no restante do Maciço. Esta discordância não deveria ocorrer se o nefelina sienito gnaiss fosse originado de uma sequência de sedimentos ricos em analcima, intercalados com grauvacas e pelitos, que compõem a sequência de metassedimentos.

7.1.2 Transformação Metassomática de Rochas Preexistentes (Nefelinização)

O termo nefelinização foi introduzido por Gummer e Burr em 1943 (in Tilley, 1958), para definir um processo metassomático que envolve a adição de álcalis e alumina (fonte granítica).

Tabela 13 - Análises químicas de sedimentos ricos em analcima e do nefelina sienito gnaiss de peixe (valor médio).

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	26,51	56,07	52,10	55,37	49,00	66,56	73,20	57,61
TiO ₂	0,20	0,49	0,95	1,02	1,20	0,11	0,14	0,05
Al ₂ O ₃	5,19	19,34	18,70	18,61	21,63	15,77	13,10	22,66
Fe ₂ O ₃	[2,56]	3,58	1,20	5,87	6,80	0,91	0,37	0,70
FeO	-	-	1,50	-	-	0,28	0,36	2,84
MnO	-	-	0,01	-	-	0,04	-	0,09
MgO	6,77	0,36	1,94	0,52	0,39	0,28	0,38	0,03
CaO	13,50	0,64	3,10	1,15	1,25	1,36	0,30	0,92
Na ₂ O	2,36	8,24	7,57	8,31	11,00	4,87	6,20	9,82
K ₂ O	1,55	3,47	0,66	0,80	0,25	4,26	0,88	4,39
P ₂ O ₅	0,02	0,10	0,49	0,38	0,39	-	0,03	0,03
CO ₂	18,27	0,18	3,22	-	-	-	0,06	na
H ₂ O ⁺	22,17*	(7,50*)	(8,60)	7,07	7,97	4,45*	(5,00)	(0,48)
H ₂ O ⁻	0,22			0,65	0,30	0,27		
TOTAL	100,18**	99,97	100,04	99,75	100,18	99,76***	100,02	99,62

1 a 7 = sedimentos ricos em analcima (Coombs, 1965)

8 = nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe (valor médio)

Valores entre [] = ferro total

Valores entre () = H₂O⁺ + H₂O⁻

* Perda ao fogo, menos CO₂

** incluindo 0,86 de S

*** incluindo 0,60 de F

na = não analisado

ca) em rochas preexistentes, na formação de nefelina gnaisses. Alguns autores consideram que no processo de nefelinização a formação de nefelina dá-se pela introdução de soluções ricas em nefelina em rochas preexistentes, estando as soluções relacionadas a magmas alcalinos (Tilley, 1958; Gittins, 1961; Tilley e Gittins, 1961; Appleyard, 1967, 1969, 1974).

A posição estratigráfica do Maciço Alcalino de Peixe e da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses que o envolve, em relação às rochas encaixantes, sugere que as rochas que poderiam dar origem ao nefelina sienito gnaisse por um processo de nefelinização seriam a metagrauvaca e a sequência inferior de metapelitos (grafita-sillimanita micaxisto e sillimanita-quartzo micaxisto), a primeira por ocorrer em volta da faixa, e a última por ser encontrada como "roof pendant" no nefelina sienito gnaisse. Nesta hipótese, a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses representaria a porção menos metassomatizada da metagrauvaca.

A provável fonte responsável pelo processo de nefelinização dos metassedimentos poderia estar relacionada a magmas graníticos ou alcalinos, o que poderia ser sugerido pela presença de granito pegmatóide e veios de nefelina sienito pegmatito, respectivamente.

Os aspectos texturais e as composições mineralógicas do granito pegmatóide indicam que esta rocha não foi submetida a metamorfismo e que alguns corpos estão contaminados pelo nefelina sienito gnaisse. Estes dados sugerem que o "emplacement" do granito pegmatóide foi posterior ao do nefelina sienito, quartzo sienito e granito gnaisses, em condições tardi a pós-tectônicas em relação ao metamorfismo regional que afetou o Maciço, a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses e os metassedimentos encaixantes. Este fato elimina a possibilidade do magma que deu origem ao granito pegmatóide ser a fonte de nefelinização dos metassedimentos.

De acordo com o que foi exposto acima, resta apenas como provável fonte de nefelinização dos metassedimentos, soluções ricas em nefelina relacionadas possivelmente a um magma alcalino, que teria dado origem ao nefelina sienito pegmatito. Esta possibilidade será avaliada em função da presença de nefelina sienito gnaisse com flogopita, às proximidades do "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto, que também apresenta localmen

te flogopita como um dos minerais ferromagnesianos, além de alguns aspectos texturais observados no nefelina sienito gnaiss, tais como:

a) nefelina vermicular intercrescida no plagioclásio (peristerita);

b) nefelina envolvendo um ou mais cristais de feldspato (mesopertita, peristerita e microclina), com formas arredondadas e/ou irregulares;

c) nefelina grânica intercrescida na microclina; e

d) contatos interpenetrantes entre nefelina e peristerita.

Os aspectos texturais a) e b) são similares àqueles observados no nefelina gnaiss de York River, e interpretados como feições de substituição metassomática do feldspato pela nefelina (Tilley, 1958). Os aspectos c) e d) são similares aos observados no nefelina de Wolfe Belt (Appleyard, 1967, 1969) e no nefelina sienito gnaiss do Complexo Alcalino de Blue Mountain (Duke, 1975; Duke e Edgar, 1977), respectivamente, e segundo esses autores, poderiam representar uma feição de origem metassomática. Contudo essas feições texturais também poderiam resultar de recristalização metamórfica ou de cristalização magmática, tendo já Appleyard (1969, 1974) lançado dúvidas sobre as interpretações texturais, uma vez que os dados texturais não são critérios seguros de interpretação.

Certos dados texturais do nefelina sienito gnaiss de Peixe indicam, pelo contrário, uma possível recristalização metamórfica ou ainda uma cristalização magmática. Assim, cristais de feldspato e até mesmo de nefelina, com formas arredondadas e/ou irregulares que aparecem envolvidos por nefelina, por vezes apresentam tendências euédricas, indicando assim que a nefelina pode ter cristalizado a partir de um magma, tardiamente em relação aos minerais envolvidos. Enquanto, que os contatos interpenetrantes não ocorrem somente entre cristais de nefelina e peristerita, mas aparecem também entre cristais de peristerita e microclina, biotita e calcita, e mais provavelmente representem texturas metamórficas de desequilíbrio.

O nefelina sienito gnaiss com flogopita que ocorre às proximidades do "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxis

to poderia ter sido formado pela contaminação de um magma nefelina sienítico, e não necessariamente representar uma porção metasomatizada do sillimanita-quartzo micaxisto.

Segundo Tilley (1958), Gittins (1961) e Appleyard (1967, 1969 e 1974), os gnaisses alcalinos de origem metassomática apresentam variação muito ampla na proporção de nefelina (0 - 100%). Baseado nesta observação conclui-se que um processo de nefelinização na metagrauvaca (com proporção modal de quartzo na faixa de 3 a 50%) ou nos metapelitos, dificilmente conduziria à formação de um corpo de nefelina sienito gnaiss de dimensão igual à de Peixe, com uma pequena variação na proporção modal de nefelina (15 - 30%), e da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, com proporções modais de quartzo em torno de 10 (± 5) e 30 (± 5), respectivamente, em que esta representaria a porção menos metassomatizada da metagrauvaca.

Outros dados que contestam a hipótese da origem do nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe por um processo de nefelinização são:

a) a foliação do nefelina sienito gnaiss e metassedimentos, discordante na extremidade norte e concordante no restante do Maciço. Esta discordância não deveria ocorrer caso o nefelina sienito gnaiss fosse originado por um processo de nefelinização dos metassedimentos;

b) um processo de nefelinização não conseguiria explicar a presença de nefelina euédrica, como aquela que ocorre inclusive nos feldspatos do Maciço Alcalino de Peixe, pois a nefelina formada por tal processo é anédrica (McMillan e Moore JR, 1974; Duke e Edgar, 1977);

c) a composição da nefelina, do Maciço Alcalino de Peixe, quando plotada no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo (Fig. 58) indica uma variação na razão Si/Al, que é incompatível com nefelina formada por processos metassomáticos, onde a variação ocorreria somente na razão Na/K (Tilley, 1954; Hamilton, 1961);

d) a pequena variação nos teores dos elementos Si e Al (aproximadamente constantes), no Maciço Alcalino de Peixe, é incompatível com aquela observada em gnaisses alcalinos formados por processos metassomáticos, onde devem apresentar uma ampla variação (Gellatly e Hornung, 1968); e

e) a concentração das amostras de nefelina sienito gnaiss próximo do ponto mínimo, no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo (Fig. 62), é incompatível com de gnaisses alcalinos formados por processos metassomáticos que tendem a se afastar do ponto mínimo (Reeve e Anderson, 1976; Sylvester e Anderson, 1976).

7.1.3 Cristalização a Partir de um Magma Nefelina Sienítico

A origem do Maciço Alcalino de Peixe por um processo magmático, implica em admitir que o nefelina sienito gnaiss tenha cristalizado a partir de um magma do tipo nefelina sienito. Neste caso, a foliação poderia representar o alinhamento de minerais precocemente formados, na direção do fluxo de magma, e o bandamento, o fracionamento ocorrido durante a cristalização deste magma. Interpretações similares a estas foram feitas por Payne (1968) para a origem do nefelina sienito gnaiss do Complexo Alcalino de Blue Mountain.

A hipótese de que o nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe tenha cristalizado a partir de um magma nefelina sienítico é indicada pela concentração das amostras de nefelina sienito gnaiss próximo do ponto mínimo, quando plotadas no diagrama nefelina-kalsilita-quartzo (Fig. 62), e pelo comportamento apresentado pelos diferentes tipos texturais de nefelina no referido diagrama (Fig. 58), onde se observa uma variação na razão Si/Al , típica de nefelina cristalizada a partir de magma nefelina sienítico em condições plutônicas (Hamilton, 1961).

Esta hipótese é ainda reforçada pelos comportamentos dos elementos Si, Al, Na e K, e da razão $K/(K + Na)$ versus Índice de diferenciação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953) (Figs. 63 e 64), que mostram o Si e Al mantendo-se constantes, o Na apresentando-se inicialmente constante e depois decrescendo, enquanto que o K e a razão $K/(K + Na)$ aumentam com o Índice de diferenciação $(1/3 Si + K) - (Ca + Mg)$. Os comportamentos do Si e Al indicam uma homogeneidade destes elementos durante a cristalização do magma nefelina sienítico, enquanto que os de Na, K e da razão $K/(K + Na)$ indicam que as primeiras porções cristalizadas deste magma foram mais ricas em Na e pobres em K. Com a evolução do processo de cristalização ocorreu um enrique

cimento em K, com o Na mantendo-se inicialmente constante e posteriormente decrescendo de tal maneira, que na fase final de cristalização, o magma tornou-se mais rico em K e pobre em Na. Isto está refletido nas variações das fases sódica e potássica dos feldspatos do Maciço, onde nos bordos, a fase sódica predomina sobre a potássica e em direção ao centro há um aumento gradativo da fase potássica em relação à sódica. Aqueles comportamentos (elementos) são compatíveis com os observados em algumas séries de rochas ígneas alcalinas (índice de diferenciação $(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ compreendido na faixa de +10 a +15) apresentadas por Nockolds e Allen (1954).

A presença de cristais não orientados de sillimanita no "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto e o aumento gradual do tamanho destes cristais em direção ao contato com o nefelina sienito gnaiss caracterizam o metamorfismo de contato na seqüência inferior de metapelitos pelo magma nefelina sienítico, o que é mais uma evidência de que o Maciço Alcalino de Peixe formou-se a partir da cristalização de um magma nefelina sienítico.

Numa hipótese de origem magmática para o Maciço Alcalino de Peixe, a presença do nefelina sienito gnaiss com corindon, localizado na extremidade norte do Maciço, pode ser explicada pela contaminação do magma nefelina sienítico por porções aluminosas do grafita-sillimanita micaxisto, assim como a do nefelina sienito gnaiss com flogopita, que ocorre às proximidades do "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto (este com flogopita como um dos minerais ferromagnesianos), pela contaminação deste magma por porções do "roof pendant" ricas em Mg. Contudo, não se pode eliminar a possibilidade dos nefelina sienito gnaisses com corindon e com flogopita terem sido formados pelo metassomatismo local do grafita-sillimanita micaxisto e sillimanita-quartzo micaxisto, respectivamente, pelo magma nefelina sienítico.

As interpretações feitas acima indicam que o nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe teria sido formado a partir da cristalização de um magma nefelina sienítico, em condições plutônicas. Entretanto, alguns dados químicos (minerais), petrográficos e de campo, como a presença de biotita com elevados teores em Fe e baixos em Mg, de peristerita, de "olhos"

de magnetita com halos de muscovita ou feldspato potássico, e o comportamento da foliação e bandamento no nefelina sienito gnaiss, indicam que após o "emplacement" e cristalização do magma, o corpo de nefelina sienito foi submetido a processos metamórficos e deformacionais, conforme será discutido no item a seguir.

7.1.4 Metamorfismo e Deformação de um Corpo de Nefelina Sienito de Origem Ígnea

No item anterior concluiu-se que o corpo de nefelina sienito gnaiss, do Maciço Alcalino de Peixe, formou-se a partir da cristalização de um magma nefelina sienítico e que posteriormente foi submetido a processos metamórficos e deformacionais, os quais serão discutidos a seguir.

Duke e Edgar (1977) com base em estudos experimentais referentes ao campo de estabilidade de biotitas ricas em Fe (Rutherford, 1969), e à curva de fusão mínima (sob condições saturadas em água) do nefelina sienito gnaiss de Blue Mountain (Millhollen, 1971), concluíram que as biotitas ricas em Fe e pobres em Mg dos complexos de Blue Mountain e Bigwood, não poderiam ter cristalizado diretamente a partir de um magma nefelina sienítico em condições normais na crosta, e sim a partir de processos metamórficos que afetaram estes complexos. As similaridades nas composições de biotitas e rochas dos complexos de Blue Mountain e de Bigwood, com as do Maciço Alcalino de Peixe sugerem que as biotitas deste Maciço também se formaram a partir de processos metamórficos.

A exsolução no estado sólido foi considerada por Smith (1974, 1975) como o mecanismo mais provável para a formação de peristerita. A ocorrência deste mineral em gnaisses alcalinos foi citada por Appleyard (1967, 1969) e Lowell e Villas (1983), que atribuíram sua formação a processos de exsolução no estado sólido durante o metamorfismo que afetou esses gnaisses, o que está de acordo com a observação de Smith (1975) de que a existência de peristerita numa rocha indica que esta foi submetida a metamorfismo regional. A presença deste mineral no nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe é portanto um indicativo de que esta rocha foi afetada por metamorfismo regional.

A passagem de nefelina sienito gnaissé com biotita para nefelina sienito gnaissé com magnetita dá-se através de uma estreita faixa, onde a biotita se concentra em agregados de até 5 cm de diâmetro que apresentam, por vezes, cristais de magnetita em seu núcleo. Feições similares foram observadas no nefelina sienito gnaissé do Complexo Alcalino de Blue Mountain por Hewitt (1961), que atribuiu a formação da magnetita à segregação e posterior decomposição da biotita durante o metamorfismo. A presença de "olhos" de magnetita envolvidos por "halos" de muscovita ou feldspato potássico, por vezes com restos de biotita, no Maciço Alcalino de Peixe, semelhantes àqueles observados por Duke (1975) e Duke e Edgar (1977) no Complexo Alcalino de Blue Mountain, deve-se à decomposição da biotita em presença de uma fase fluída e consequente variação da fugacidade do oxigênio (fO_2), durante o metamorfismo regional que afetou o Maciço (o que será discutido adiante).

O bandamento existente no nefelina sienito gnaissé está restrito aos bordos do Maciço, e é dado pela variação na proporção dos minerais máficos (biotita) em relação aos fêlsicos (nefelina, mesopertita, peristerita, microclina e albita), enquanto que a foliação é definida pela orientação da biotita, ou ainda biotita mais nefelina, peristerita (albita), microclina e mesopertita, este último somente na extremidade norte do Maciço. A exceção da biotita e por vezes mesopertita, que tendem a ser subédricas, os demais minerais são anédricos.

Analisando o comportamento da foliação em relação à distribuição dos feldspatos no Maciço, verifica-se que na porção mais central, onde a foliação é incipiente ou ausente, ocorre mesopertita, e em direção aos bordos, onde a foliação se torna mais acentuada, há o desaparecimento deste mineral, e o aparecimento de cristais individuais de peristerita e microclina. Esta foliação é concordante com a das rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses e com a dos metassedimentos encaixantes. Na extremidade norte, onde a foliação é discordante com a dos metassedimentos, o feldspato que predomina é a mesopertita.

A mesopertita, por vezes, está parcial a totalmente envolvida por agregados de cristais individuais (menores que 0,5 mm) de microclina e peristerita (quando a fase sódica da mesopertita é a peristerita) ou albita (quando a fase sódica da me

sopertita é albita). Esta última ocorre localmente na porção central do Maciço, onde por vezes a mesopertita tende a desaparecer, dando lugar a cristais individuais de microclina e albita, além da nefelina e biotita.

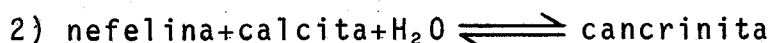
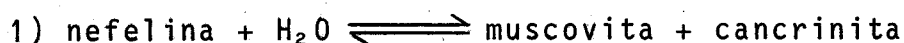
Os aspectos apresentados pela foliação e pela distribuição dos feldspatos no Maciço, citados acima, indicam que a foliação do nefelina sienito gnaiss formou-se durante um evento de metamorfismo e deformação que afetou o Maciço Alcalino de Peixe, e não por um fluxo de magma onde os minerais deveriam apresentar tendência euédrica. A deformação teria atuado mais intensamente nos bordos do que na porção central do Maciço, provocando a separação de cristais de microclina e peristerita (albita) a partir da mesopertita, e preservando, na porção mais central e extremidade norte do Maciço, texturas ígneas reliquias, como nefelina euédrica (inclusa nos feldspatos) e mesopertita. Na extremidade norte a foliação do nefelina sienito gnaiss definida por mesopertita (subédrica) e biotita e discordante em relação aos metassedimentos, poderia ter sido formada por fluxo de magma.

Efeitos de metamorfismo no Maciço Alcalino de Peixe são ainda reforçados pela frequência de contatos em ponto triplíce entre minerais de uma mesma espécie ou espécies diferentes (nefelina, microclina e albita), indicando texturas metamórficas de equilíbrio (Spry, 1969); e de deformação pela presença de cristais de peristerita ou albita com maclamentos encurvados e maclamentos de deformação, além do caráter frequentemente biaxial da nefelina.

A utilização de geotermômetros nefelina-microclina (Powell e Powell, 1977) e feldspato potássico-plagioclásio (Whitney e Stormer Jr., 1977) no nefelina sienito gnaiss indica temperaturas mínimas de equilíbrio em torno de 500°C (para pressão menor que 5 kb) e 450-550°C (para pressão de 5 a 6 kb), respectivamente. Estas temperaturas estão próximas dos valores mínimos estabelecidos para o metamorfismo regional na área do Maciço Alcalino de Peixe (Capítulo 6).

No nefelina sienito gnaiss são observadas algumas feições texturais, tais como: a) cristais de magnetita envolvidos por "halos" de muscovita ou feldspato potássico, por vezes

com restos de biotita; b) borda de cancrinita no contato da nefelina com a calcita; c) cristais de nefelina parcial a totalmente substituídos por agregados de muscovita e cancrinita; d) cristais de nefelina e peristerita (albita) parcial a totalmente substituídos por cancrinita e/ou zeólita; e) cristais de calcita e cancrinita dispostos ao longo dos planos (081) e (010) da peristerita; f) cancrinita, calcita e zeólita, com disposição intersticial, preenchendo planos de fraturas dos demais minerais do nefelina sienito gnaiss ou ainda nos planos de clivagem da biotita. Estas feições indicam que o metamorfismo regional que afetou o Maciço atuou em presença de uma fase fluída rica em componentes voláteis, e em particular, as feições a), b) e c) sugerem as seguintes reações (simplificadas):



Alguns desses aspectos texturais, indicativos da presença de uma fase fluída rica em componentes voláteis, foram observados nos nefelina sienito gnaiss de Blue Mountain e Bigwood (Duke e Edgar, 1977) e Bova Nova (Lowell e Villas, 1983). Duke e Edgar (1977) concluíram que a fase fluída seria proveniente de uma fonte externa e teria atuado durante ou subsequentemente ao metamorfismo do nefelina sienito de origem ígnea. Contudo, Lowell e Villas (1983) relacionaram a fase fluída à injeção de líquidos numa fase pós-cinemática, que seriam formados por processos incipientes de anatexia de nefelina sienito.

Os dados petrográficos do nefelina sienito gnaiss do Maciço Alcalino de Peixe mostram que as feições texturais que evidenciam a presença de uma fase fluída rica em componentes voláteis distribuem-se por todo o Maciço, porém com maior frequência nos bordos, estando ausentes na faixa de quartzo sienito e granito gnaisses que o envolve, assim como nos metassedimentos do "roof pendant". Estas observações indicam que a fase fluída atuou em todo o Maciço, todavia com maior intensidade nos bordos, sugerindo que a fase fluída não proveio de uma fonte externa.

Lowell e Villas (1983) observaram no nefelina sienito gnaiss de Boca Nova a presença de numerosos veios e lentes de nefelina sienito pegmatito, concordantes e discordantes à foliação daquela rocha, e atribuíram sua formação à cristalização de líquidos produzidos por processos incipientes de anatexia do nefelina sienito gnaiss de origem ígnea, aos quais a fase fluída estaria relacionada. No Maciço Alcalino de Peixe, os veios de nefelina sienito pegmatito são de ocorrência muito restrita e concordantes com a foliação do nefelina sienito gnaiss. Estes dados sugerem ser mais provável que esses veios tenham cristalizado a partir de fluídos magmáticos, durante ou após a cristalização do magma nefelina sienítico que deu origem ao Maciço, e não pela fusão incipiente do nefelina sienito durante o metamorfismo regional.

Conforme foi discutido acima, a fase fluída não seria proveniente de uma fonte externa, e nem estaria relacionada a processos incipiente de anatexia, restando como alternativa a possibilidade da fase fluída estar relacionada à decomposição de minerais tardi-magmático, do nefelina sienito, durante o metamorfismo regional que afetou o Maciço. Com o processo metamórfico, a fase fluída foi remobilizada, atuando durante e principalmente no final deste processo, influenciando na recristalização de minerais preexistentes e provocando variações na fugacidade de oxigênio (fO_2), o que propiciou a formação de novos minerais como biotita e magnetita, além de muscovita, calcita, cancrinita e zeólita e, finalmente produzindo fenômenos locais de albitização e microclinização (albita e microclina tardias). A ocorrência de calcita, cancrinita e zeólita, e mais localmente apatita e fluorita no nefelina sienito gnaiss, sugere que a fase fluída foi rica em H_2O e CO_2 , além de SO_3 , Cl , P e F .

7.2 Origem dos Sienito, Quartzo Sienito e Granito Gnaisses

7.2.1 Diferenciação Magmática a Partir do Magma Nefelina Sienítico

Tilley (1958) ao estudar a associação de nefelina sienito, com sienito, quartzo sienito, quartzo sienito e granito em complexos ígneos alcalinos, considera que a barreira térmica

existente no sistema ternário nefelina-kalsilita-quartzo de fusões experimentais, que impede a transição de nefelina sienito, através de sienito, para quartzo sienito e granito pode ser inoperante em fusões naturais, onde a composição é modificada pela presença de componentes máficos e pelo apreciável conteúdo em voláteis.

No Maciço Alcalino de Peixe, os teores de minerais máficos (biotita e magnetita) são baixos. A magnetita, que se precipitada em quantidade razoável, poderia influenciar num "trend" de diferenciação, acha-se limitada ao bordo sudeste do Maciço. Além disso, os dados de campo e petrográficos (texturais) indicam que este mineral não se formou a partir da cristalização de um magma nefelina sienítico, e sim pela decomposição de biotita durante o metamorfismo (em presença de uma fase fluída), conforme discussão no item 7.1.4.

A presença de biotita, calcita, cancrinita, zeólita, além de fluorita e apatita, no nefelina sienito gnaiss, indica a existência de voláteis como H_2O , CO_2 , SO_3 , Cl , F e P nesta rocha, porém, a pequena porção desses minerais sugere que as rochas do Maciço não apresentam teores apreciáveis em componentes voláteis, embora esses teores não correspondam aqueles do magma nefelina sienítico, que provavelmente teriam sido maiores que os do nefelina sienito gnaiss.

Dessa maneira, os dados referentes aos componentes voláteis, necessários para uma discussão sobre a validade da hipótese de diferenciação magmática, tal qual aquela proposta por Tilley (1958), não são suficientes. Entretanto, a hipótese de diferenciação magmática pode ser avaliada, com base no comportamento de alguns elementos e razões de elementos, no diagrama de diferenciação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953), para as rochas do Maciço e da faixa que o envolve. Os elementos Si , Al , Na , K e Rb e as razões $K/(K+Na)$ e K/Rb , apresentam "trends" distintos para as rochas do Maciço e da faixa (Figs. 63, 64 e 65), o que é incompatível com a hipótese de diferenciação de nefelina sienito para granito, onde se deveria esperar que cada um desses elementos e razões de elementos apresentassem "trends" contínuos do nefelina sienito gnaiss para o granito gnaiss, como aqueles observados por Nockolds e Allen (1954), em séries de diferenciação de rochas ígneas alcalinas.

A pequena área de afloramento de sienito gnaiss, em relação a de quartzo sienito gnaiss e deste em relação ao granito gnaiss, assim como a distribuição assimétrica dessas rochas em torno do corpo de nefelina sienito gnaiss (granito gnaiss se no bordo oeste, e quartzo sienito gnaiss no bordo leste), são outros dados que contribuem para a incompatibilidade da hipótese de diferenciação magmática para a origem das rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, se assim fosse, dever-se-ia esperar, no primeiro caso, uma predominância do sienito gnaiss sobre o quartzo sienito gnaiss, e deste sobre o granito gnaiss, e no segundo caso, seria mais provável um zoneamento concêntrico desses tipos litológicos.

7.2.2 Assimilação de Rochas Encaixantes pelo Magma Nefelina Sienítico

O Maciço Alcalino de Peixe é intrusivo numa sequência metassedimentar representada na base por metagrauvacas, e no topo, por grafita-sillimanita micaxisto, e mais localmente, sillimanita-quartzo micaxisto com intercalações de quartzo micaxisto e muscovita-sillimanita quartzito. Estas rochas provavelmente fazem parte de uma sequência de metassedimentos pré-Grupo Serra da Mesa, que tem como embasamento terrenos granito-gnaissicos de composição predominantemente tonalítica (Complexo Basal Goiano). A faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, que envolve o Maciço, está em contato com a metagrauvaca, que ocorre ainda como xenólito no granito gnaiss.

A assimilação de metagrauvaca ou de rochas do terreno granito-gnaissico, pelo magma nefelina sienítico, durante a sua ascensão e/ou cristalização, dificilmente conseguiria mudar sua composição para a de um magma granítico. Esta mudança só poderia ocorrer se a rocha encaixante assimilada pelo magma nefelina sienítico, fosse bastante quartzosa (por exemplo, quartzito). Rochas deste tipo, ocorrem apenas como pequenas lentes no sillimanita-quartzo micaxisto. A ocorrência restrita de quartzito, além do fato da razão K/Rb ser mais alta nas rochas da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses do que nas do Maciço, são fatores que tornam incompatível a hipótese de assimilação de quartzito pelo magma nefelina sienítico para dar origem aos sienito,

quartzito sienito e granito gnaisses, o que exigiria uma razão ex tremamente alta (da ordem de 2000), improvável em quartzitos ou outras rochas da crosta.

7.2.3 Metassomatismo de Rochas Encaixantes pelo Magma Nefelina Sienítico

Como foi referido no item anterior, as rochas da faixa de quartzito sienito e granito gnaisses, que envolve o Maciço Alcalino de Peixe, estão em contato com metagrauvaca e apre sentam xenólitos desta rocha. A hipótese de metassomatismo de metagrauvaca pelo magma nefelina sienítico para explicar a ori gem dos sienito, quartzito sienito e granito gnaisses, torna-se in viável devido aos seguintes aspectos:

a) grande variação na proporção modal de quartzito (3 - 50%) na metagrauvaca, enquanto que nos quartzito sienito e granito gnaisses as proporções deste mineral são relativamente constantes, da ordem de $10 \pm 5\%$ e $30 \pm 5\%$, respectivamente;

b) a passagem brusca do nefelina sienito gnaisse, com 20% de nefelina, para o granito gnaisse com 30% de quartzito, no bordo oeste; e

c) a passagem brusca de quartzito sienito gnaisse, com 10% de quartzito, para a metagrauvaca com 3% de quartzito, na extre midade sudeste.

7.2.4 Magmas Independentes

Conforme foi discutido anteriormente, a origem da faixa de quartzito sienito e granito gnaisses não pode ser atribuída a processos de diferenciação magmática, assimilação ou metas somatismo. Entretanto, a presença de xenólitos (metagrauvaca) no granito gnaisse, indica que esta rocha foi formada a partir de um magma, o que deve também ser válido para o sienito e quartzito sienito gnaisses.

O fato das rochas que constituem a faixa de quartzito sienito e granito gnaisses não apresentarem relações intrusivas

com o nefelina sienito gnaisses, mas ocorrerem em uma estreita faixa em torno desta rocha, sugere que teriam ocorrido intrusões simultâneas de magmas nefelina sienítico e de outra(s) composiçã(ões), dando origem às rochas do Maciço e da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, respectivamente.

Com base na hipótese das rochas do Maciço Alcalino de Peixe e da faixa de quartzo sienito e granito gnaisses, terem sido originadas a partir de intrusões simultâneas de magmas independentes, existem três alternativas a serem discutidas: 1) intrusões de magmas nefelina sienítico e granítico; 2) intrusões de magmas nefelina sienítico, quartzo sienítico e granítico; e 3) intrusões de magmas nefelina sienítico, sienítico, quartzo sienítico e granítico.

A primeira alternativa não é viável, devido à mistura de magmas de composições nefelina sienítica e granítica (similares às do nefelina sienito e granito gnaisses), em qualquer proporção, não conduzir à formação de rochas como o sienito e quartzo sienito gnaisses, que apresentam por exemplo, teores de Ti, Fe, Mn, Ca e Ba mais elevados do que aqueles esperados em rochas resultantes da mistura desses magmas, conforme pode ser observado nas tabelas 7, 8, 9 e 10. Enquanto que a pequena área de afloramento de sienito gnaisse (ocorrência muito restrita), em relação a do nefelina sienito, quartzo sienito e granito gnaisses, não leva a crer na existência de um magma de composição sienítica, tornando assim pouco provável, a terceira alternativa.

A origem das rochas que constituem a faixa de quartzo sienito e granito gnaisses pode ser explicada a partir da segunda alternativa, com os magmas quartzo sienítico e granítico tendo sido formados, em locais distintos, por fusões parciais de rochas da crosta inferior a média, em consequência do aumento do gradiente geotérmico, o qual poderia ter ocorrido durante a ascensão do magma nefelina sienítico. Nesta alternativa, a formação do sienito (sienito gnaisse) poderia ser explicada, pela acumulação de minerais ferromagnesianos e plagioclásio, durante a cristalização do magma quartzo sienítico.

7.3 Modelo de Evolução do Maciço Alcalino de Peixe

A composição do nefelina sienito gnaiss, do Maciço Alcalino de Peixe, próximo do ponto mínimo no diagrama nefelina kalsilita-quartzo (Fig. 62), a variação da razão Si/Al na nefelina, quando plotada no referido diagrama (Fig. 58), assim como o comportamento dos elementos Si , Al , Na e K , e da razão $K/(K+Na)$ no diagrama de diferenciação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953) (Figs. 63 e 64), mostram que o nefelina sienito gnaiss cristalizou a partir de um magma do tipo nefelina sienito. Este magma foi gerado na crosta inferior, de acordo com as idéias de Bailey (1974) sobre a origem de magmas alcalinos dos tipos fonolito, traquito, pantelerito, comedito e seus equivalentes plutônicos, e em ambiente tectonicamente estável, submetido a esforços distensivos. Contudo, não pode ser descartada a hipótese de geração de tal magma no manto superior.

Durante a ascensão do magma nefelina sienítico, o aumento do gradiente geotérmico provocou fusões em rochas da crosta, e consequentemente a formação de magmas quartzo sienítico e granítico, dando origem à faixa de quartzo sienito e granito, que envolve o Maciço. Esses magmas foram intrusivos em condições provavelmente plutônicas ou subvulcânicas, em uma sequência de metassedimentos pré-Grupo Serra da Mesa, a qual foi termicamente afetada por metamorfismo de contato, evidenciado pelo aumento progressivo no tamanho dos cristais, não orientados, de sillimanita que ocorrem no "roof pendant" de sillimanita-quartzo micaxisto.

Com o resfriamento do magma nefelina sienítico a cristalização da nefelina começou antes da do feldspato, o que pode ser inferido pela presença de cristais eudrícos de nefelina inclusos neste mineral. Os primeiros feldspatos formados seriam homogêneos, de alta temperatura, inicialmente mais ricos em sódio e, com a evolução da cristalização, teria ocorrido um enriquecimento em potássio, o que está de acordo com o "trend" experimental de cristalização de feldspatos observado nos riolitos da Islândia (Carmichael et alii, 1974). Com o contínuo resfriamento da rocha, pode ter-se iniciado a exsolução nos feldspatos homogêneos, e consequentemente formação de mesopertita.

No que se refere à cristalização de minerais máficos, quase nenhuma informação foi obtida neste estudo, devido ao metamorfismo que afetou o Maciço, porém, a presença de pequenos cristais orientados de biotita, inclusos na nefelina, poderia indicar que o piroxênio foi transformado durante o metamorfismo, feições estas, que seriam similares às aquelas de natureza ígnea descrita por Tilley e Gittins (1961), sugerindo que a cristalização do mineral máfico (piroxênio), teria sido iniciada antes da nefelina e feldspato.

No Maciço Alcalino de Peixe observa-se uma variação das fases sódica e potássica dos feldspatos, onde nos bordos há uma predominância da fase sódica sobre a potássica, e em direção ao centro há um aumento progressivo da potássica, que passa a predominar. Esta feição é comprovada pelo comportamento dos elementos Na e K e da razão $K/(K+Na)$ no diagrama de diferenciação de Larsen modificado por Nockolds e Allen (1953) (Figs. 63 e 64), indicando que as primeiras porções do magma nefelina sienítico a cristalizarem teriam sido mais ricas em Na e pobres em K. Com o decorrer do processo de cristalização, teria havido um enriquecimento em K em relação ao Na, de tal maneira que as últimas porções a cristalizarem seriam mais ricas em K, sugerindo que a cristalização do magma deu-se do bordo para o centro do Maciço, o que é compatível com as observações de Carmichael et alii (1974) para a cristalização de plutons de tipos litológicos distintos.

O corpo de nefelina sienito, a faixa de quartzo sienito e granito, que o envolve, e a sequência de metassedimentos pré-Grupo Serra da Mesa, foram posteriormente afetados, juntamente com os sedimentos da Faixa de Dobramentos Uruaçu (Grupo Serra da Mesa), por metamorfismo regional no fácies anfíbolito (temperatura de $650 \pm 30^{\circ}\text{C}$ e pressão de $6,0 \pm 0,5 \text{ kb}$). O metamorfismo provavelmente acentuou a separação das fases sódica e potássica da mesopertita, o que é sugerido pelas lamelas da fase sódica de mesopertita ocorrerem de forma interpenetrante ou truncadas por nefelina, peristerita (albita), microclina e biotita, e pela presença de bordas de albita, sendo esta última compatível com a interpretação de Ramberg (1962). Ainda durante o metamorfismo, formaram-se biotita e peristerita, esta a partir da fase sódica (composição maior que An_3) da mesopertita, o que está de acordo com a formação de peristerita a partir de plagioclásio de compo

sição An_{2-16} (Smith, 1974, 1975; Ribbe, 1975), e recristalizaram nefelina, microclina e albita.

A deformação que atuou durante o metamorfismo, foi mais intensa nos bordos do Maciço, contribuindo para o desenvolvimento de estruturas bandadas e foliadas e formação de cristais individuais de microclina e peristerita (albita), a partir da mesopertita. Na porção mais central e extremidade norte do Maciço, onde a deformação foi menos intensa, foram preservadas texturas ígneas reliquias (nefelina euédrica e mesopertita). A foliação observada na extremidade norte, poderia estar relacionada a fluxo de magma.

Com o metamorfismo os minerais tardi-magmáticos ricos em componentes voláteis, da nefelina sienito, tornaram-se instáveis originando uma fase fluída rica em H_2O e CO_2 , além de SO_3 , P e F, que teve importância na formação e recristalização de minerais (biotita, nefelina, microclina e albita), contribuindo ainda para a formação de novos minerais como magnetita, muscovita, calcita, cancrinita, zeólita, apatita e fluorita. A fase fluída foi responsável pela substituição da nefelina e peristerita (albita) por cancrinita e zeólita, da nefelina por cancrinita e muscovita, e da microclina (cristais individuais e/ou fase potássica da mesopertita) e peristerita por albita e microclina tardias, respectivamente. Essas feições de substituição refletem um processo local de autometassomatismo, que teria ocorrido principalmente na fase final do metamorfismo.

8 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que o nefelina sienito gnaisse do Maciço Alcalino de Peixe formou-se a partir da cristalização de um magma do tipo nefelina sienito, gerado por fusões parciais na crosta inferior ou manto superior. Durante a ascensão deste magma, teria havido fusão parcial de rochas da crosta, originando assim magmas de composições quartzo sienítica e granítica. Esses magmas alojaram-se em metassedimentos pré-Grupo Serra da Mesa, em ambiente tectonicamente estáveis e por cristalização deram origem às rochas do Maciço e da faixa que o envolve. O sienito gnaisse, que ocorre localmente na faixa, formou-se provavelmente pela acumulação de minerais ferromagnesianos e plagioclásio, durante a cristalização do magma quartzo sienítico.

A cristalização do magma nefelina sienítico deu-se dos bordos para o centro, em condições subvulcânicas ou plutônicas, afetando termicamente os metassedimentos encaixantes. Os aspectos texturais sugerem que a cristalização começou pelos minerais máficos, seguidos da nefelina e feldspato, tendo a da nefelina sido iniciada antes da do feldspato. Os feldspatos formados seriam homogêneos, de alta temperatura, inicialmente mais ricos em sódio, e com a evolução da cristalização tornaram-se mais ricos em potássio. Com o resfriamento, iniciou-se um processo de ex-solução a partir do feldspato homogêneo, separando fases sódica e potássica (mesopertita).

O corpo de nefelina sienito, a faixa de quartzo sienito e granito que o envolve, os metassedimentos pré-Grupo Serra da Mesa e os sedimentos da Faixa de Dobramentos Uruaçu (Grupo Serra da Mesa) foram afetados por um evento de metamorfismo regional no fácies anfibolito, com temperatura de $650 \pm 30^{\circ}\text{C}$ e pressão de $6 \pm 0,5$ kb, que acentuou a separação das fases sódica e potássica da mesopertita, foi responsável pelo processo de exsolução nos plagioclásios de composição maior que An_3 (formação da peristerita), provocou a formação de biotita e ainda recristalizou nefelina, microclina e albita. A deformação atuou mais fortemente nos bordos do Maciço, contribuindo para o desenvolvimento da foliação, bandamento e aparecimento de cristais

individuais de microclina e peristerita (albita) a partir da mesopertita.

O metamorfismo deu-se em presença de uma fase fluílda rica em H_2O e CO_2 , além de SO_3 , F e P originada pela decomposição de minerais tardi-magmáticos do nefelina sienito, acelerando assim a cristalização da biotita e recristalização dos minerais preexistentes (nefelina, microclina e albita), formando novos minerais como a magnetita, muscovita, cancrinita e zeólita e provocando processos locais de substituição (autometassomatismo).

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLING, H.L. - 1938 - Plutonic Perthites. J. Geol. 46:142-165.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1968 - Evolução Tectônica do Centro-Oeste Brasileiro no Proterozóico Superior. An. Acad. Bras. Ciênc. (Supl.) 40:285-295.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de - 1976 - The Upper Precambrian of South America. São Paulo, Bol. Inst. Geoc. 7:45-80.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R. A. - 1977 - Províncias Estruturais Brasileiras. In: Atas do VIII Simp. Geol. do Nordeste. Campina Grande, Soc. Bras. Geol. Vol. 6, p. 363-391.
- APPLEYARD, E.C. - 1967 - Nepheline Gneisses of the Wolfe Belt, Lyndoch Township, Ontario. I. Structure, Stratigraphy and Petrography. Can.J. Earth Sci. 4:371-395.
- APPLEYARD, E.C. - 1969 - Nepheline Gneisses of the Wolfe Belt, Lyndoch Township, Ontario. II. Textures and Mineral Paragenesis. Can. J. Earth Sci. 6:689-717.
- APPLEYARD, E.C. - 1974 - Syn-Orogenic Alkaline Rocks of Eastern Ontario and Northern Norway. Lithos. 7:147-169.
- BAILEY, D.K. - 1974 - Origin of Alkaline Magmas As a Result of Anatexis; Crustal Anatexis. In: Sorensen, H. Ed. The Alkaline Rocks. New York, John Wiley & Sons. p. 436-442.
- BARBOSA, O. - 1955 - Guia das Excursões do IX Congresso Brasileiro de Geologia. Belo Horizonte, Soc. Bras. Geol. Noticiário 3, p. 3-5.
- BARBOSA, O.; ANDRADE RAMOS, J.R. de; GOMES, F.A.; HEMBOLD, R. - 1966 - Geologia Estratigráfica da Área do Projeto Araguaia. Rio de Janeiro, Bol. DGM/DNPM, nº 19. 95 p.
- BARBOSA, O.; BATISTA, M.B.; DYER, R.L.; BRAUN, O.P.G.; SORIANO, C.R.; ARRUDA, M.; COTTA, J.C. - 1969 - Projeto Brasília-Goiás. Relatório Final. Prospec/DNPM, 1:225 p. (Inédito).
- BERBERT, C.O. - 1980 - Complexo Basal Goiano. In: Anais XXXI Congr. Bras. Geol. Camboriú, Soc. Bras. Geol. Vol. 5.

p. 2837-2849.

- BRAUN, O.P.G. - 1968 - Contribuição à Estratigrafia do Grupo Bambuí. In: Anais do XXII Congr. Bras. Geol. Belo Horizonte, Soc. Bras. Geol. p. 155-167.
- BROWN, W.L. - 1960 - The Crystallographic and Petrologic Significance of Peristerite Unmixing in the Acid Plagioclases. Z. Krist. 113:330-344.
- CARMICHAEL, I.S.E.; TURNER, F.J.; VERHOOGEN, J. - 1974 - Igneous Petrology. New York, McGraw-Hill. 739 p.
- CARSTENS, H. - 1967 - Exsolution in Ternary Feldspars. II. Intergranular Precipitation in Alkali Feldspar Containing Calcium in Solid Solution. Contr. Mineral. Petrol. 14:316-320.
- COOMBS, D.S. - 1965 - Sedimentary Analcime Rocks and Sodium-Rich Gneisses. Min. Mag. 34:144-158.
- COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G. - 1970 - Tectonic Zoning in the Epi-Baykalian Plataform of Central Brazil. (Abstract). Anais Acad. Bras. Cienc. 41:641.
- COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G. - 1971 - Geosynclinal Evolution in the Epi-Baykalian Plataform of Central Brazil. Geol. Rundschau, 60:1024-1050.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. - 1963a - Chain Silicates. London, Longman. 333 p. (Rock-Forming Minerals, Vol. 2)
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. - 1963b - Framework Silicates. London, Longman. 270 p. (Rock-Forming Minerals, vol. 4).
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. - 1966 - An Introduction to the Rock-Forming Minerals. London, Longman. 270 p.
- DUKE, N.A. - 1975 - Petrology of the Blue Mountain and Bigwood Nepheline Syenite Gneiss Complexes of the Grenville Province. M. Sc. Thesis. Canada, University of Western Ontario. 247 p.
- DUKE, N.A.; EDGAR, A.D. - 1977 - Petrology of the Blue Mountain and Bigwood Felsic Alkaline Complexes of the Grenville Province of Ontario. Can. J. Earth Sci. 14:515-538.
- FERREIRA, E.O. - 1972 - Carta Tectônica do Brasil. Rio de Janeiro, Dep. Nac. Prod. Mineral, Bol. nº 1, 19p.

- FLOOR, P. - 1974 - Alkaline Gneisses. In: Sorensen, H. Ed. The Alkaline Rocks. New York, John Wiley & Sons. p. 124-141.
- FOSTER, M.D. - 1960 - Interpretation of the Composition of Trioctahedral Micas. U.S. Geological Survey p. 11-49 (Professional Paper 354 B).
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J. - 1979 - Projeto São Felix. Geologia da Folha Córrego São Bento. Brasília, DNPM/UnB. 49 p. (Inédito).
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J. - 1981 - O Grupo Araxá e Unidades Homotaxiais. In: Anais do Simpósio sobre o Craton do São Francisco e suas Faixas Marginais. Salvador, Soc. Bras. Geol. p. 118-130.
- GELLATLY, D.C.; HORNUNG, G. - 1968 - Metasomatic Nepheline-Bearing Gneisses from Darkainle, Somali Republic. J. Geol. 76:678-691.
- GITTINS, J. - 1961 - Nephelinization in the Haliburton-Bancroft District, Ontario, Canada. J. Geol. 69:291-308.
- HAMILTON, D.L. - 1961 - Nephelines as Crystallization Temperature Indicator. 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.
- HAMILTON, D.L.; MACKENZIE, W.S. - 1965 - Phase-Equilibrium Studies in the System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Nepheline) - KAlSi_3O_8 (Kalsilite) - SiO_2 - H_2O . Miner. Mag. 34:214-231.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de - 1970 - Geocronologia do Centro-Oeste Brasileiro. São Paulo. Bol. da Soc. Bras. de Geol. 19:7-26.
- HEIER, K.S.; BILLINGS, G.K. - 1970 - Rubidium. In: Wedepohl, K.H. Ed. Handbook of Geochemistry. Berlin, Springer-Verlag. Vol. II - 4. Cap. 37 E. p. 1-10.
- HESS, P.C. - 1969 - The Metamorphic Paragenesis of Cordierite in Pelitic Rocks. Contr. Mineral. Petrol. 24:191-207.
- HEWITT, D.F. - 1961 - Nepheline Syenite Deposits of Southern Ontario. Ontario, Dept. Mines. Vol. 69, Pt VIII, 194 p.
- LOWELL, G.R.; VILLAS, R.N. - 1983 - Petrology of Nepheline

- Syenite Gneiss from Amazonian Brazil. *Geol. J.* 18:53-75.
- MARINI, O.J.; BARBOSA, G.V.; DARDENNE, M.A.; FARIA, A.;
FUCK, R.A. - 1974 - Projeto Serra Dourada. Brasília, DNPM/
UnB. 188 p. (Inédito).
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A. -
1981 - A Evolução Geo-Tectônica da Faixa Brasília e do seu
Embasamento. In: Anais do Simpósio sobre o Craton do São
Francisco e suas Faixas Marginais. Salvador, Soc. Bras.Geol.
p. 100-115.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DARDENNE, M.A.; FARIA, A. - 1977 -
Contribuição à Geologia do Pré-Cambriano da Porção Central de
Goiás. *Rev. Bras. de Geoc.* 7:304-324.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DARDENNE, M.A.; TEIXEIRA, N.A. -
1978 - Dobramentos da Borda Oeste do Craton São Francisco.
In: Anais da Reunião Preparatória para o Simpósio do Craton
do São Francisco e suas Faixas Marginais. Salvador, Soc.
Bras. Geol. p. 155-224 (Pub. Especial, 3).
- MARTINS, J.P.A. - 1981 - Pegmatitos do Complexo Alcalino de
Peixe - Goiás. Tese de Mestrado. Belém, Núcleo de Ciências
Geofísicas e Geológicas - Universidade Federal do Pará. 102 p.
- MARTINS, J.P.A.; LEMOS, R.L. - 1981 - Contribuição à Geologia
do Centro Oeste de Goiás na Área do Complexo Alcalino de Pei-
xe. In: Atas do I Simp. de Geol. do Centro-Oeste. Geologia
do Pré-Cambriano. Goiania, Soc. Bras. Geol. p. 565-578.
- McMILLAN, W.J.; MOORE, Jr. J.M. - 1974 - Gneissic Alkalic
Rocks and Carbonatites in the Frenchman's Cap Gneiss Dome,
Shuswap Complex, British Columbia. *Can. J. Earth Sci.*
11: 304-318.
- MILLHOLLEN, G.L. - 1971 - Melting of Nepheline Syenite with
 H_2O and H_2O-CO_2 , and the Effect of Dilution of the Aqueous
Phase on the Beginning of Melting. *Amer. J. Sci.* 270:244-254.
- NOCKOLDS, S.R. - 1954 - Average Chemical Compositions of Some
Igneous Rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.* 65:1007-1032.
- NOCKOLDS, S.R.; ALLEN, R. - 1953 - The Geochemistry of Some
Igneous Rock Series: Part I. *Geochim. Cosmochim. Acta*,
4:105-142.

- NOCKOLDS, S.R.; ALLEN, R. - 1954 - The Geochemistry of Some Igneous Rock Series: Part II. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 5:245-284.
- PAYNE, J.G. - 1966 - Geology and Geochemistry of the Blue Mountain Nepheline Syenite Body. Ph.D. Thesis. Canada, McMaster University. 184 p.
- PAYNE, J.G. - 1968 - Geology and Geochemistry of the Blue Mountain Nepheline Syenite. *Can. J. of Earth Sci.* 5:259-273.
- PHIPPS, C.V.G. - 1955 - The Petrology and Structure of the Alkaline Rocks of the Blue Mountain Area. Ph.D. Thesis. Canada, University of Toronto. 107 p.
- POWELL, M.; POWELL, R. - 1977 - A Nepheline - Alkali Feldspar Geothermometer. *Contr. Mineral. Petrol.* 62:193-204.
- RAMBERG, H. - 1962 - Intergranular Precipitation of Albite Formed by Unmixing of Alkali Feldspar. *Neues Jahrb. Mineral Abhandl.* 98:14-34.
- REEVE, E.J.; ANDERSON, G.M. - 1976 - The Goulding-Keene Nepheline Pegmatite near Bancroft Ontario. *Can. J. Earth Sci.* 13:237-248.
- RIBBE, P.H. - 1975 - The Chemistry Structure and Nomenclature of Feldspars. In: Ribbe, P.H. Ed. *Feldspar Mineralogy, Short Course Notes*. Washington, Min. Soc. America. Vol. 2, p. R1 - 51.
- RICHARDSON, S.W.; GILBERT, M.C.; BELL, P.M. - 1969 - Experimental Determination of Kyanite - Andalusite and Andalusite- Sillimanite Equilibria; The Aluminum Silicate Triple Point. *Amer. J. Sci.* 267:259-272.
- RIMANN, E. - 1917 - A Kimberlita no Brasil. *Anais da Escola de Minas*. Vol. 15, p. 29-32.
- RUTHERFORD, M.J. - 1969 - An Experimental Determination of Iron Biotite - Alkali Feldspar Equilibria. *J. Petrol.* 10:381-408.
- SCHOBENHAUS FILHO, C.; RIBEIRO, C.L.; OLIVA, L.A.; TAKANOHASHI, J.T.; LINDENMAYER, Z.; VASCONCELOS, J. - 1975 - Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo; Folha Goiás (SD. 22). Brasília, DGM/DNPM. 113 p.

- SMITH, J.V. - 1974 - Chemical and Textural Properties. New York, Springer-Verlag. 690 p. (Feldspar Minerals, vol. 2).
- SMITH, J.V. - 1975 - Phase Equilibria of Plagioclase. In: Ribbe, P.H. Ed. Feldspar Mineralogy, Short Course Notes. Washington, Min. Soc. America. Vol. 2, p. SM 1-17.
- SORENSEN, H. - 1974 - Alkali Syenites, Feldspathoidal Syenites and Related Lavas. In: Sorensen, H. Ed. The Alkaline Rocks. New York, John Wiley & Sons. p. 22-52.
- SPRY, A. - 1969 - Metamorphic Textures. Oxford, Pergamon Press. 350 p.
- STORRE, B. - 1972 - Dry Melting of Muscovite + Quartz in the Range $P_S = 7$ Kb to $P_S = 20$ Kb: Short Communication. Contr. Mineral. Petrol. 37:87-89.
- SYLVESTER, G.C.; ANDERSON, G.M. - 1976 - The Davis Nepheline Pegmatite and Associated Nepheline Gneisses near Bancroft, Ontario. Can J. Earth Sci. 13:249-265.
- TILLEY, C.E. - 1954 - Nepheline - Alkali Feldspar Paragenesis. Amer. J. Sci. 252:65-75. •
- TILLEY, C.E. - 1958 - Problems of Alkali Rock Genesis. Quart. J. Geol. Soc. London, 113:323-360.
- TILLEY, C.E.; GITTINS, J. - 1961 - Igneous Nepheline - Bearing Rocks of Haliburton - Bancroft Province of Ontario. J. Petrol. 2:38-50.
- WHITNEY, J.A.; STORMER Jr. J. C. - 1977 - The Distribution of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ Between Coexisting Microcline and Plagioclase and its Effect on Geothermometric Calculations. Amer. Mineral 62:687-691.
- WINKLER, H.G.F. - 1976 - Petrogenesis of Metamorphic Rocks. 4th Edition. New York, Springer-Verlag. 334 p.

10 APÊNDICES

APÊNDICE 1 - ANÁLISES QUÍMICAS DE MINERAIS

As análises químicas dos minerais foram realizadas utilizando-se uma Microsonda Eletrônica de fabricação "Applied Research Laboratories" modelo EMX-SM, equipada com três espectrômetros dispersivos e três pares de cristais (LiF/ADP, LiF/ADP e LiF/RAP), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Foram analisados quimicamente diferentes tipos texturais de nefelina, plagioclásio, microclina, biotita, flogopita e muscovita de 10 seções delgadas, selecionadas com base nas observações petrográficas.

Para a nefelina e microclina, em número de 40 e 27 cristais, respectivamente, foram efetuadas análises para Si, Al, Fe (total), Ca, Na e K (Tab. 14 e 15). O plagioclásio, em número de 67 cristais, foi analisado para Ca, Na e K (Tab. 16). A biotita, flogopita e muscovita, em número de 40, 10 e 5 cristais, respectivamente, foram analisadas para Si, Ti, Al, Fe (total), Mn, Mg, Ca, Na e K. Em cada cristal analisado, foram realizadas de 3 a 15 determinações, por elemento.

As condições de operação foram as seguintes: Potencial de aceleração - 15 KV; corrente de amostra - 0,02-0,03 mA ; diâmetro do feixe - 10 μ ; tempo de integração nos contadores - 10s; cristal de LiF nas determinações do Ti, Fe, Mg e Ca; cristal ADP nas determinações do Si, Al e K; cristal RAP nas determinações do Na e Mg.

Os dados obtidos foram corrigidos para radiação de fundo (background), flutuação (drift), número atômico, absorção e fluorescência secundária, utilizando-se programas de computações internos do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo-USP (SLAVE e BETA). O "background" foi determinado para cada dia de trabalho e as flutuações foram verificadas a cada 40 minutos.

Os padrões utilizados foram:

Albita (TIBURON) para o Si, Al e Na da nefelina e para o Na da microclina e plagioclásio.

Ortoclásio-1 - para o Si, Al e K da microclina e para

Tabela 14 - Análise química (microsonda eletrônica) de diferentes tipos texturais de nefelina

	ALP* 23.1 I NT	ALP 23.1 II R	ALP 23.1 III NT	ALP 23.1 IV R
SiO ₂	43,24	42,39	43,24	43,14
Al ₂ O ₃	33,74	34,10	33,92	33,78
Fe ₂ O _{3t} *	0,11	0,22	0,03	0,08
CaO	0,27	0,30	0,29	0,21
Na ₂ O	17,07	16,47	16,71	16,78
K ₂ O	6,70	5,81	6,64	6,52
TOTAL	101,13	99,29	100,83	100,51
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios				
Si	8,27	8,21	8,28	8,28
Al	7,60	7,78	7,65	7,64
Fe ³⁺	0,02	0,04	0,00	0,01
Ca	0,06	0,06	0,06	0,04
Na	6,33	6,18	6,20	6,25
K	1,63	1,44	1,62	1,60
ΣR**	8,08	7,74	7,94	7,93
Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo				
Ne	74,78	77,50	74,90	75,17
Ks	22,79	20,03	22,42	22,11
Qz	2,43	2,47	2,68	2,72

	ALP 23.1 V R	ALP 23.1 VI NT	ALP 23.1 VII i	ALP 23.1 VIII i
SiO ₂	43,25	43,18	44,14	41,86
Al ₂ O ₃	33,02	33,82	33,60	33,66
Fe ₂ O ₃ t	0,06	0,07	0,15	0,18
CaO	0,32	0,28	0,27	0,17
Na ₂ O	16,18	17,13	16,02	15,88
K ₂ O	6,39	6,68	6,40	6,57
TOTAL	99,22	101,16	100,58	98,32
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios				
Si	8,39	8,25	8,42	8,21
Al	7,55	7,62	7,56	7,78
Fe ³⁺	0,01	0,01	0,02	0,03
Ca	0,07	0,06	0,06	0,04
Na	6,08	6,35	5,93	6,04
K	1,58	1,03	1,56	1,64
ΣR	7,80	8,10	7,61	7,76
Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo				
Ne	74,17	75,02	73,86	74,90
Ks	21,89	22,72	21,62	22,70
Qz	3,94	2,26	4,52	2,40

	ALP 23.1 IX E	ALP 23.1 X NT	ALP 23.1 XI NT	ALP 23.1 XII NT
SiO ₂	44,46	41,71	44,43	42,23
Al ₂ O ₃	32,84	34,00	33,23	33,83
Fe ₂ O _{3t}	0,20	0,21	0,04	0,31
CaO	0,27	0,27	0,24	0,27
Na ₂ O	15,56	17,30	17,02	17,14
K ₂ O	6,11	6,50	6,63	6,60
TOTAL	99,44	99,99	101,59	100,38

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,55	8,09	8,43	8,16
Al	7,44	7,78	7,43	7,70
Fe ³⁺	0,03	0,03	0,01	0,05
Ca	0,06	0,06	0,05	0,06
Na	5,80	6,51	6,26	6,42
K	1,50	1,61	1,61	1,63
ΣR	7,42	8,24	7,97	8,17

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	72,95	77,00	73,44	75,99
Ks	20,99	22,37	22,52	22,65
Qz	6,06	0,63	4,04	1,36

	ALP 23.1 XIII NT	ALP 23.1 XIV NC	ALP 25.3 I NI	ALP 25.3 II NI
SiO ₂	43,39	43,58	43,35	43,29
Al ₂ O ₃	33,10	33,03	33,97	33,86
Fe ₂ O _{3t}	0,11	0,07	0,06	0,10
CaO	0,28	0,27	0,04	0,04
Na ₂ O	16,59	16,51	16,22	16,03
K ₂ O	6,45	6,54	6,55	6,48
TOTAL	99,92	100,00	100,19	99,80

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,37	8,40	8,32	8,33
Al	7,53	7,50	7,68	7,68
Fe ³⁺	0,02	0,01	0,01	0,02
Ca	0,06	0,06	0,01	0,01
Na	6,20	6,17	6,04	5,98
K	1,59	1,61	1,60	1,59
ΣR	7,91	7,90	7,66	7,59

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	74,28	73,74	74,49	74,14
Ks	22,11	22,39	22,04	21,96
Qz	3,61	3,87	3,47	3,90

	ALP 43.2 I E	ALP 43.2 II E	ALP 54 I NC	ALP 54 II NC
SiO ₂	43,53	43,93	42,91	42,22
Al ₂ O ₃	33,29	33,00	33,50	33,97
Fe ₂ O ₃ t	0,20	0,24	0,13	0,08
CaO	0,35	0,40	0,76	0,32
Na ₂ O	16,20	15,62	16,51	16,17
K ₂ O	6,22	6,38	6,32	6,51
TOTAL	99,79	99,57	100,13	99,27

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,38	8,47	8,27	8,20
Al	7,56	7,50	7,61	7,78
Fe ³⁺	0,03	0,04	0,02	0,01
Ca	0,07	0,08	0,16	0,07
Na	6,05	5,84	6,17	6,09
K	1,53	1,57	1,55	1,61
ΣR	7,72	7,57	8,04	7,84

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	74,79	73,08	75,62	75,56
Ks	21,11	21,87	21,60	22,29
Qz	4,10	5,05	2,78	2,15

	ALP 54 III NC	ALP 54 IV NC	ALP 54 V NC	ALP 55.1 I NC
SiO ₂	43,28	42,81	41,01	44,87
Al ₂ O ₃	33,38	33,45	34,92	33,38
Fe ₂ O ₃ t	0,19	0,08	0,14	0,15
CaO	0,44	0,35	0,66	0,07
Na ₂ O	16,68	16,57	16,90	16,32
K ₂ O	6,51	6,50	6,42	6,62
TOTAL	100,48	99,76	100,05	101,41

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,32	8,28	7,95	8,50
Al	7,56	7,63	7,98	7,45
Fe ³⁺	0,03	0,01	0,02	0,02
Ca	0,09	0,07	0,14	0,01
Na	6,22	6,22	6,35	5,99
K	1,60	1,60	1,59	1,60
ΣR	8,00	7,96	8,22	7,61

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	74,65	75,03	78,23	72,76
Ks	22,24	22,25	21,77	22,14
Qz	3,11	2,72	0,00	5,10

	ALP 55.1 II NC	ALP 57.3 I NT	ALP 57.3 II NT	ALP 57.3 III NT
SiO ₂	43,47	42,41	44,32	44,04
Al ₂ O ₃	32,89	33,29	33,14	33,83
Fe ₂ O ₃ t	0,15	0,07	0,07	0,06
CaO	0,08	0,31	0,33	0,30
Na ₂ O	16,58	16,10	16,02	16,21
K ₂ O	6,46	5,84	5,88	5,87
TOTAL	99,63	98,02	99,76	100,31

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,40	8,30	8,50	8,40
Al	7,50	7,68	7,49	7,61
Fe ³⁺	0,02	0,01	0,01	0,01
Ca	0,02	0,07	0,07	0,06
Na	6,22	6,11	5,96	6,00
K	1,59	1,46	1,44	1,43
ΣR	7,85	7,71	7,54	7,55

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	73,85	76,43	74,63	75,43
Ks	22,20	20,30	20,07	20,02
Qz	3,95	3,27	5,30	4,55

	ALP 57.3 IV NT	ALP 57.3 V NT	ALP 57.3 VI NT	ALP 57.3 VII NT
SiO ₂	42,68	43,74	43,43	44,26
Al ₂ O ₃	32,64	33,54	33,43	33,39
Fe ₂ O ₃ t	0,07	0,08	0,10	0,05
CaO	0,34	0,30	0,34	0,30
Na ₂ O	16,88	15,94	16,06	16,50
K ₂ O	6,29	5,97	6,08	5,98
TOTAL	98,90	99,57	99,44	100,48

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,33	8,41	8,38	8,45
Al	7,51	7,60	7,60	7,51
Fe ³⁺	0,01	0,01	0,02	0,01
Ca	0,07	0,06	0,07	0,06
Na	6,39	5,94	6,01	6,10
K	1,57	1,46	1,50	1,45
ΣR	8,10	7,52	7,65	7,67

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	74,99	74,79	75,11	75,23
Ks	22,00	20,52	20,83	20,14
Qz	3,01	4,69	4,06	4,63

	ALP 57.3 VIII E	ALP 57.3 IX NC	ALP 64.2 I NT	ALP 64.2 II NT
SiO ₂	44,23	43,61	42,19	43,24
Al ₂ O ₃	32,74	33,57	33,92	33,70
Fe ₂ O ₃ t	0,05	0,07	0,01	0,07
CaO	0,35	0,42	0,15	0,20
Na ₂ O	16,32	16,62	17,21	16,55
K ₂ O	6,16	5,84	6,13	6,15
TOTAL	99,85	100,13	99,61	99,91

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,50	8,36	8,18	8,32
Al	7,42	7,59	7,75	7,64
Fe ³⁺	0,01	0,01	0,00	0,01
Ca	0,07	0,09	0,03	0,04
Na	6,08	6,18	6,47	6,18
K	1,51	1,43	1,52	1,51
ΣR	7,73	7,79	8,05	7,77

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	73,90	76,46	77,47	75,87
Ks	21,00	19,75	20,97	20,80
Qz	5,10	3,79	1,56	3,33

	ALP 64.2 III NT	ALP 64.2 IV NT	ALP 64.2 V NT	ALP 64.2 VI NT
SiO ₂	42,82	42,01	42,61	43,17
Al ₂ O ₃	33,70	34,32	34,66	33,89
Fe ₂ O _{3t}	0,05	0,17	0,11	0,07
CaO	0,20	0,22	0,27	0,19
Na ₂ O	16,58	16,88	16,16	16,23
K ₂ O	6,10	6,46	6,17	6,02
TOTAL	99,45	100,06	99,98	99,57

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	8,28	8,12	8,19	8,32
Al	7,68	7,82	7,85	7,70
Fe ³⁺	0,01	0,03	0,02	0,01
Ca	0,04	0,05	0,06	0,04
Na	6,22	6,33	6,02	6,06
K	1,51	1,59	1,51	1,48
ΣR	7,81	8,02	7,65	7,62

Composição em termos dos componentes normativos nefelina-kalsilita-quartzo

Ne	76,36	76,90	75,88	75,74
Ks	20,72	21,90	21,22	20,58
Qz	2,92	1,20	2,90	3,68

* Prefixo da amostra - ALP; número da amostra - 23.1; número do cristal - I; tipo de nefelina - NT = normal contato em ponto triplíce; NI = normal contato interpenetrante, NC = normal contato e/ou irregular, R = ar redondada ou irregular, i=intergranular, E = euedral.

** Fe₂O_{3t} - ferro total (Fe³⁺)

*** ΣR = (K + Na + 2 Ca).

Tabela 15 - Análise química (microsonda eletrônica) de diferentes tipos texturais de microclina

	ALP*		ALP		ALP		ALP	
	23.1	I	23.1	III	23.1	IV	45.3	I
	M		M	MM	M	M		MN
SiO ₂	65,51		65,31		64,94		64,64	
Al ₂ O ₃	18,14		18,82		18,81		19,04	
Fe ₂ O ₃ t**	0,05		0,10		0,05		0,15	
CaO	0,00		0,00		0,02		0,01	
Na ₂ O	1,15		1,11		1,25		1,41	
K ₂ O	15,39		15,04		15,03		14,88	
TOTAL	100,24		100,38		100,10		100,44	
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios								
Si	12,04		11,97		11,94		12,04	11,89
Al	3,93		4,06		4,08		3,95	4,13
Fe ³⁺	0,01		0,02		0,01		0,03	0,02
Ca	0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Na	0,41		0,39		0,45		0,35	0,50
K	3,69		3,52		3,53		3,58	3,49
Z***	15,98		16,05		16,03		16,02	16,04
X	4,10		3,91		3,98		3,93	3,99
Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita								
Or	89,82		90,38		88,71		91,16	87,39
Ab	10,18		9,62		11,19		8,84	12,56
An	0,00		0,00		0,10		0,00	0,05

	ALP 45.3 II MN	ALP 54 I M	ALP 54 II MC	ALP 55.1 I MM
SiO ₂	63,29	66,32	63,44	63,73
Al ₂ O ₃	18,39	18,57	19,28	18,43
Fe ₂ O _{3t}	0,07	0,15	0,06	0,19
CaO	0,01	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,93	1,63	1,92	0,63
K ₂ O	15,41	14,61	14,19	16,06
TOTAL	98,10	101,28	98,89	99,04

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	11,92	12,02	11,81	11,92
Al	4,08	3,97	4,23	4,06
Fe ³⁺	0,01	0,02	0,01	0,03
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,34	0,57	0,69	0,23
K	3,70	3,38	3,37	3,83
Z	16,01	16,01	16,05	16,01
X	4,04	3,95	4,06	4,06

Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita

Or	91,57	85,53	82,98	94,39
Ab	8,38	14,47	17,02	5,61
An	0,05	0,00	0,00	0,00

	ALP 55.1 II MM	ALP 55.1 III M	ALP 55.1 IV MC	ALP 55.1 V M
SiO ₂	65,31	65,53	64,93	65,32
Al ₂ O ₃	18,70	18,75	18,72	18,55
Fe ₂ O _{3t}	0,06	0,07	0,04	0,09
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,69	0,78	1,56	0,93
K ₂ O	15,65	15,45	14,96	14,99
TOTAL	100,41	100,58	100,21	99,88
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios				
Si	11,98	11,99	11,94	12,01
Al	4,04	4,04	4,06	4,02
Fe ³⁺	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,25	0,28	0,56	0,33
K	3,66	3,61	3,51	3,52
Z	16,03	16,04	16,01	16,04
X	3,91	3,89	4,07	3,85
Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita				
Or	93,73	92,89	86,35	91,40
Ab	6,27	7,11	13,65	8,60
An	0,00	0,00	0,00	0,00

	ALP 64.2 I MM	ALP 64.2 II MM	ALP 64.2 III MM
SiO ₂	64,38	64,28	63,84
Al ₂ O ₃	19,03	19,04	18,95
Fe ₂ O ₃ t	0,08	0,08	0,02
CaO	0,00	0,00	0,02
Na ₂ O	1,18	1,29	1,33
K ₂ O	14,85	14,87	15,22
TOTAL	99,52	99,56	99,38

Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios

Si	11,90	11,89	11,86
Al	4,15	4,15	4,15
Fe ³⁺	0,01	0,01	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00
Na	0,42	0,46	0,48
K	3,50	3,51	3,61
Z	16,06	16,05	16,01
X	3,92	3,97	4,09

Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita

Or	89,17	88,38	88,21
Ab	10,83	11,62	11,69
An	0,00	0,00	0,10

	ALP 64.2 IV MM	ALP 64.2 V MM	ALP 64.2 VI MM	ALP 64.2 VII MM
SiO ₂	64,60	63,57	64,53	63,85
Al ₂ O ₃	18,80	18,88	19,03	18,45
Fe ₂ O ₃ t	0,02	0,04	0,03	0,04
CaO	0,01	0,02	0,02	0,03
Na ₂ O	0,89	1,25	1,18	1,12
K ₂ O	15,87	15,75	16,09	16,07
TOTAL	100,19	99,51	100,88	99,56
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios				
Si	11,92	11,84	11,86	11,90
Al	4,09	4,14	4,12	4,05
Fe ³⁺	0,00	0,01	0,00	0,01
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,32	●0,45	0,42	0,40
K	3,74	3,74	3,77	3,82
Z	16,01	15,99	15,98	15,96
X	4,06	4,19	4,19	4,23
Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita				
Or	92,12	89,17	89,91	90,32
Ab	7,83	10,73	10,00	9,54
An	0,05	0,10	0,09	0,14

ALP 64.2 VIII MM		ALP 64.2 IX MM		ALP 64.2 X MM		ALP 64.2 XI MM	
SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ t CaO Na ₂ O K ₂ O		65,46 18,87 0,06 0,02 1,23 15,30		65,77 18,59 0,01 0,03 1,02 15,15		64,21 18,51 0,08 0,03 1,37 15,44	
TOTAL		100,94		100,57		99,64	
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios							
Si Al Fe ³⁺ Ca Na K Z X		11,95 4,06 0,01 0,00 0,44 3,56 16,02 4,00		12,02 4,00 0,00 0,01 0,36 3,53 16,02 3,90		11,92 4,05 0,01 0,01 0,49 3,66 15,98 4,16	
Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita							
Or Ab An		89,05 10,85 0,10		90,60 9,25 0,15		88,02 11,84 0,14	
						89,47 10,53 0,00	

	ALP 64.2 XII MM	ALP 85.3 I MC	ALP 85.3 II MC
SiO ₂	65,84	64,26	65,72
Al ₂ O ₃	18,60	19,07	19,01
Fe ₂ O _{3t}	0,03	0,08	0,17
CaO	0,01	0,03	0,00
Na ₂ O	1,23	1,22	1,46
K ₂ O	14,88	15,06	14,03
TOTAL	100,59	99,72	100,39
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios			
Si	12,02	11,88	11,98
Al	4,00	4,15	4,08
Fe ³⁺	0,00	0,01	0,03
Ca	0,00	0,01	0,00
Na	0,44	0,44	0,52
K	3,47	3,55	3,26
Z	16,02	16,04	16,09
X	3,91	4,00	3,78
Composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio-albita-anortita			
Or	88,82	88,93	86,37
Ab	11,13	10,92	13,63
An	0,05	0,15	0,00

* Prefixo da amostra - ALP; número da amostra - 23.1; número do cristal - I; tipo de microclina - M = microclina, MM = microclina-microperitita, MC = fase potássica da mesopertita (centro do Maciço), MN = fase potássica da mesopertita (extremidade norte do Maciço).

** Fe₂O_{3t} - ferro total (Fe³⁺).

*** Z = (Si + Al + Fe³⁺); X = (Ca + Na + K).

Tabela 16 - Análise química parcial (microsonda eletrônica) e composição em termos dos componentes moleculares ortoclásio, albíta e anortita de diferentes tipos texturais de plagioclásio.

AMOSTRA	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Or	Ab	An
ALP-23.1-I-A*	0,41	12,00	0,23	1,23	96,96	1,81
ALP-23.1-II-A	0,35	12,13	0,24	1,25	97,20	1,55
ALP-23.1-III-A	0,21	11,74	0,17	0,92	98,09	0,99
ALP-23.1-IV-A	0,27	11,77	0,22	1,21	97,52	1,27
ALP-23.1-V-A	0,23	11,90	0,17	0,92	98,01	1,07
ALP-23.1-VI-A	0,19	11,89	0,14	0,78	98,35	0,87
ALP-25.3-I-P	0,27	11,71	0,08	0,52	97,86	1,62
ALP-25.3-II-P	1,01	11,37	0,08	0,45	94,90	4,65
ALP-25.3-III-P	0,54	11,51	0,07	0,37	97,12	2,51
ALP-25.3-IV-P	1,03	11,48	0,12	0,66	94,66	4,68
ALP-25.3-V-P	0,65	11,65	0,11	0,62	96,40	2,98
ALP-25.3-VI-P	1,87	11,17	0,14	0,75	90,83	8,42
ALP-25.3-VII-P	0,32	11,95	0,19	1,05	97,49	1,46
ALP-25.3-VIII-P	1,76	11,02	0,12	0,68	91,26	8,06
ALP-25.3-IX-P	0,84	11,04	0,14	0,75	95,42	3,83
ALP-25.3-X-P	2,01	10,87	0,14	0,77	89,75	9,48
ALP-25.3-XI-P	0,09	12,17	0,20	1,02	98,54	0,44
ALP-25.3-XII-P	1,96	10,73	0,13	0,74	90,16	9,10
ALP-25.3-XIII-P	0,27	11,54	0,12	0,69	98,02	1,29
ALP-25.3-XIV-P	2,22	11,01	0,17	0,92	89,14	9,94
ALP-25.3-XV-P	0,74	11,49	0,14	0,79	95,76	3,45
ALP-25.3-XVI-P	2,10	10,79	0,11	0,58	89,78	9,64
ALP-25.3-XVII-P	0,55	11,21	0,12	0,64	96,72	2,64
ALP-25.3-XVIII-P	2,01	10,44	0,16	0,93	89,57	9,50
ALP-25.3-XIX-P	0,57	11,72	0,18	0,96	96,44	2,60
ALP-25.3-XX-P	2,05	10,77	0,12	0,64	89,90	9,46
ALP-25.3-XXI-P	0,53	11,34	0,05	0,28	97,22	2,50
ALP-25.3-XXII-P	1,97	10,53	0,16	0,90	89,81	9,29
ALP-43.2-I-A	0,53	11,56	0,25	1,28	96,50	2,22
ALP-43.2-II-A	0,48	11,76	0,21	1,13	96,68	2,19
ALP-43.2-III-A	0,35	11,99	0,19	1,05	97,35	1,60
ALP-43.2-IV-A	0,45	11,79	0,18	0,98	96,99	2,03
ALP-43.2-V-A	0,41	11,73	0,16	0,86	97,28	1,86
ALP-43.2-VI-A	0,38	11,85	0,09	0,50	97,77	1,73
ALP-43.2-VII-A	0,38	12,02	0,18	0,93	97,37	1,70
ALP-43.2-VIII-A	0,36	12,08	0,12	0,67	98,76	1,57
ALP-43.2-IX-A	0,43	11,78	0,13	0,72	97,30	1,98
ALP-43.2-X-A	0,33	11,88	0,13	0,68	97,82	1,50
ALP-43.2-XI-A	0,16	12,21	0,08	0,41	98,88	0,71
ALP-43.2-XII-A	0,44	11,67	0,25	1,37	96,60	2,03
ALP-43.2-XIII-A	0,46	11,56	0,21	1,13	96,74	2,13
ALP-43.2-XIV-A	0,54	11,32	0,20	1,13	96,34	2,53
ALP-43.2-XV-A	0,45	11,20	0,24	1,35	96,49	2,16
ALP-43.2-XVI-A	0,47	11,72	0,19	1,00	96,85	2,15
ALP-43.2-XVII-A	0,45	11,71	0,23	1,25	96,67	2,08
ALP-43.2-XVIII-A	0,49	11,72	0,16	0,86	96,90	2,24
ALP-43.2-XIX-A	0,44	11,78	0,20	1,07	96,92	2,01
ALP-43.2-XX-A	0,40	12,03	0,15	0,79	97,40	1,81

Continuação da Tabela 16

AMOSTRA	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Or	Ab	An
ALP-54-I-P	0,55 0,97	11,49 11,54	0,10 0,17	0,57 0,94	96,88 94,68	2,55 4,38
ALP-54-II-P	0,49 0,94	11,99 11,56	0,16 0,21	0,85 1,15	96,93 94,68	2,22 4,23
ALP-54-III-P	0,61 1,13	11,12 11,52	0,16 0,20	0,91 1,10	96,19 93,83	2,90 5,07
ALP-54-IV-P	0,17 0,96	12,07 11,23	0,12 0,13	0,57 0,72	98,69 94,81	0,74 4,47
ALP-54-V-i	0,15 0,52	11,65 11,94	0,07 0,12	0,72 0,65	98,56 97,01	0,72 2,34
ALP-54-VI-M	0,91 0,21	11,57 11,58	0,15 0,11	0,82 0,62	95,05 98,39	4,13 0,99
ALP-54-VII-P	1,09 0,30	11,20 11,89	0,19 0,17	1,06 0,93	93,87 97,73	5,07 1,34
ALP-54-VIII-P	0,93 0,55	11,66 11,49	0,21 0,10	1,16 0,57	94,67 96,88	4,17 2,55
ALP-54-IX-P	1,07 0,43	11,56 11,99	0,19 0,12	1,05 0,65	94,13 97,42	4,82 1,93
ALP-54-X-P	1,09 0,42	11,44 11,76	0,15 0,20	0,84 1,08	94,21 97,02	4,95 1,90
ALP-54-XI-i	0,58 0,92	11,56 11,39	0,14 0,16	0,74 0,88	96,50 94,87	2,76 4,25
ALP-54-XII-M	0,22 0,31	11,85 11,60	0,16 0,14	0,89 0,78	98,09 97,78	1,02 1,44
ALP-55.1-I-A	0,31 0,45	11,60 11,81	0,14 0,18	0,78 0,98	97,78 96,98	1,44 2,04
ALP-55.1-II-M	0,45 0,33	11,81 11,63	0,18 0,17	0,98 0,94	96,98 97,52	2,04 1,54
ALP-55.1-III-M	0,33 0,47	11,63 11,86	0,17 0,20	0,94 1,05	97,52 96,86	1,54 2,09
ALP-57.3-I-A	0,47 0,53	11,86 11,71	0,20 0,19	1,05 1,03	96,86 96,57	2,09 2,40
ALP-57.3-II-A	0,53 0,60	11,71 11,69	0,19 0,18	1,03 0,96	96,57 96,29	2,40 2,75
ALP-57.3-III-A	0,60 0,44	11,69 11,97	0,18 0,15	0,96 0,83	96,29 97,19	2,75 1,98
ALP-57.3-IV-M	0,44 0,49	11,97 11,31	0,15 0,17	0,83 0,95	97,19 96,71	1,98 2,34
ALP-57.3-V-M	0,26 1,10	11,71 11,48	0,14 0,19	0,79 1,00	98,00 94,04	1,21 4,96
ALP-64.2-I-P	0,16 0,12	11,70 11,46	0,20 0,17	1,10 0,93	98,13 98,52	0,77 0,55
ALP-64.2-II-i	0,12 0,17	11,46 11,67	0,17 0,22	0,93 1,24	98,52 97,98	0,55 0,78
ALP-64.2-III-i	0,17 0,09	11,67 11,74	0,22 0,25	1,24 1,38	97,98 98,22	0,78 0,40
ALP-64.2-IV-i	0,09 0,13	11,74 11,97	0,25 0,25	1,38 1,33	98,22 98,08	0,40 0,59
ALP-85.3-I-A	0,13 0,10	11,97 11,62	0,25 0,27	1,33 1,52	98,08 98,00	0,59 0,48
ALP-85.3-II-A	0,10 0,18	11,62 11,74	0,27 0,21	1,52 1,18	98,00 98,05	0,48 0,77
ALP-85.3-III-A	0,18 0,10	11,74 11,90	0,21 0,23	1,18 1,26	98,05 98,27	0,77 0,47
ALP-85.3-IV-M	0,10	11,90	0,23	1,26	98,27	0,47

*Prefixo da amostra - ALP; número da amostra - 23.1; número do cristal - I; tipo de plagioclásio - A = albita, i = albita intergranular, M = fase sódica da mesopertita e P = Peristerita.

o K da nefelina e plagioclásio.

Andesina (AC-362) - para o Ca da nefelina, microclina e plagioclásio.

Bytownita (Cristal Bay) - para o Fe (total) da nefelina e microclina.

Biotita $\neq$ 3 = para todos os elementos da biotita e flogopita.

Muscovita (Padrão da USP) - para todos os elementos da muscovita.

APÊNDICE 2 - ANÁLISES QUÍMICAS DE ROCHAS

As análises químicas das amostras, selecionadas através de observações petrográficas, foram realizadas em termos dos constituintes maiores, menores (Si, Ti, Al, Fe (total), Mn, Mg, Ca, Na, K, P e H₂O) e traços (Rb, Sr, Ba e Zr).

Entre os métodos de análise química aplicados, constam: 1) Métodos Clássicos - titulometria (FeO) e gravimetria (H₂O); 2) Fluorescência de Raios-X (Si, Ti, Al, Fe (total), Ca, K, Rb, Sr, Ba e Zr); 3) Absorção Atômica (Mn, Mg e Na).

Com o objetivo de detectar e corrigir erros analíticos sistemáticos, foram ainda realizadas análises em quatro amostras (sendo duas de nefelina sienito gnaiss, uma de quartzo sienito gnaiss e uma de granito gnaiss) por fluorescência de raios-X (Si, Ti, Al, Fe (total), Mn, Mg, Ca, Na, K e P) em McMaster University, Hamilton (Canadá).

2.1 - Métodos Clássicos de Análise Química

Apenas os teores de Fe²⁺ e H₂O foram obtidos por esses métodos. Sendo o Fe²⁺ determinado por titulação usando K₂MnO₄, logo após a abertura das amostras com HF + H₂SO₄ e dissolução imediata do resíduo com mistura de H₃BO₃ e H₂SO₄, previamente preparada, na qual o H₃BO₃ foi utilizado para eliminar interferência do F. O teor de H₂O foi obtido por método gravimétrico de volatilização.

2.2 - Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

Elementos maiores e menores

Os elementos Si, Ti, Al, Fe (total), Ca, K e P foram determinados utilizando-se um Espectrômetro PHILIPS, modelo PW-1410/70, do NCGG-UFPa.

A preparação das amostras, para análise, foi feita a partir de uma mistura constituída de 2 g de amostra + 13 g de fundente (tetraborato de lítio + metaborato de lítio na proporção de 66:34, Spectromel A-12).

Esta mistura foi homogeneizada por 20 minutos, em seguida depositada em uma forma cilíndrica de aço, com diâmetro interno de 40 mm e comprimida em uma prensa hidráulica a uma pressão de 10 ton/cm². A amostra prensada assim obtida, foi colocada em um cadinho de grafite e fundida a 1200°C durante 10 minutos. Finalmente foi resfriada sobre um tijolo refratário umedecido, durante dois minutos.

As condições adotadas nas medidas das intensidades foram as seguintes: Voltagem - 50 KV; Amperagem - 50 mA; Gerador de Raios-X - tubo de Cromo; Cristal Analisador - LiF (na determinação de Ti, Fe, Ca e K) e PE (na determinação do Si, Al e P); Detector - contador de cintilações para um tempo prefixado de 20 segundos para as leituras de picos e "background".

Para as análises do Si, Ti, Al, Fe, Ca e K foram utilizados os padrões BHVO-1, AGV-1, NIM-S, STM-1, GSP-1 e QLO-1. Na análise do P foi utilizado, além dos padrões já referidos, o NIM-G.

Elementos traços

Nas análises dos elementos Rb, Sr, Ba e Zr foi utilizado o mesmo aparelho, referido anteriormente. Na preparação das amostras para as análises desses elementos, utilizou-se 1,8 g de amostra mais 0,2 g de H₃BO₃. A partir desta mistura, foram efetuadas as etapas de homogeneização (15 minutos de duração para cada amostra) e prensagem (pressão de 2,4 ton/cm²).

Para minimizar os efeitos de matriz, foram construídas curvas de calibração com os padrões GSP-1, STM-1, AGV-1 e NIM-S para os elementos Rb, Sr e Zr. Na análise do Ba, foram empregados os três últimos padrões além do BHVO-1.

Nas medidas das intensidades desses elementos, utilizou-se um tubo de raios-X com anodo de Cr, operando a 60 KV e 40 mA. Foram usados um colimador fino, um cristal LiF (200) e um contador de cintilações. O tempo de contagem foi de 20 segundos, tanto para as leituras dos picos, quanto do "background".

2.3 - Espectrometria de Absorção Atômica

Os teores dos elementos Mn, Mg e Na, foram determina

dos em um Espectrômetro de Absorção Atômica - ZEISS, modelo MD-4 do NCGG.UFPA.

Na preparação das soluções - amostras, utilizou-se 0,1 g de amostra. Estas foram então abertas mediante ataque ácido, com uma mistura (HClO_4 + HF) na proporção de 1:10. O Mn e Mg (com excessão do Mg na amostra ALP-64.2) foram determinados diretamente na solução-amostra, enquanto que, o Na e o Mg na amostra ALP-64.2 foram determinados em uma alíquota de solução contendo 1 mg de amostra por 100 ml de solução.

As análises foram efetuadas paralelamente com os padrões internacionais AGV-1, STM-1 e GL, sendo os resultados obtidos, semelhantes aos recomendados na literatura.

Comparando-se os teores dos elementos analisados por fluorescência de raios-X (Si, Ti, Al, Fe, Ca e P) e absorção atômica (Mn, Mg e Na), nas amostras ALP-10.3, ALP-48, ALP-54 e ALP-BJ-75 nos laboratórios do NCGG-UFPA, com aqueles obtidos em McMaster University, Hamilton - Canadá, por fluorescência de raios-X, verifica-se que os resultados são semelhantes (Tab. 17).

Tabela 17 - Comparação entre os teores dos elementos obtidos nos laboratórios do NCGG-UFPA, com aqueles obtidos em McMASTER UNIVERSITY, HAMILTON, CANADÁ.

Valores obtidos no NCGG-UFPA					Valores obtidos em McMaster University, Hamilton			
	ALP-10.3	ALP-54	ALP-BJ-75	ALP-48.1	ALP-10.3	ALP-54	ALP-BJ-75	ALP-48.1
	56,99 0,04 22,55 4,22 0,03 1,20 0,10 9,18 5,67 0,02	55,53 0,24 23,81 4,47 0,10 0,70 0,07 8,18 6,88 0,02	62,19 0,43 16,60 7,38 0,05 2,12 0,21 4,61 6,32 0,09	73,47 0,20 13,28 3,05 0,03 0,80 0,06 2,77 6,30 0,04	57,04 0,05 22,70 4,46 0,03 1,15 0,10 8,64 5,82 0,01	55,25 0,25 23,55 4,77 0,08 0,85 0,07 8,17 7,00 0,01	62,41 0,44 16,45 7,37 0,03 2,12 0,20 4,51 6,43 0,04	73,25 0,21 13,36 3,03 0,03 0,70 0,08 2,94 6,38 0,02
SiO ₂								
TiO ₂								
Al ₂ O ₃								
Fe ₂ O ₃ t*								
MgO								
CaO								
MnO								
Na ₂ O								
K ₂ O								
P ₂ O ₅								

Os valores das análises estão recalculados para 100%.

* Fe₂O_{3t} = ferro total (Fe³⁺)

11 ANEXOS