UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PETROLOGIA DOS FONÓLITOS DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA, PE

Rosana Peporine Lopes

Orientadora: Profa. Dra. Mabel Norma Costas Ulbrich

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO 1997 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PETROLOGIA DOS FONÓLITOS DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA, PE

ROSANA PEPORINE LOPES

Orientador: Prof^{a.} Dr^{a.} Mabel Norma Costas Ulbrich

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

9

Presidente: Prof^a Dr^a Mabel Norma Costas Ulbrich

Examinadores: Prof. Dr. Antonio José Ranalli Nardi

Prof. Dr. Excelso Ruberti

SÃO PAULO 1997 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PETROLOGIA DOS FONÓLITOS DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA, PE

Rosana Peporine Lopes

Orientadora: Profa. Dra. Mabel Norma Costas Ulbrich

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia



SÃO PAULO 1997

ERRATA

Página 2 - Na legenda da figura 1 onde esta escrito: "Mapa geológico do Arquipélago de Fernando de Noronha segundo Almeida (1955)" ler: Mapa geológico do Arquipélago de Fernando de Noronha segundo Almeida (1955), simplificado. Os basanitos da Formação São José foram incluídos na Formação Quixaba (maiores informações ver texto).

Página 9 - No primeiro parágrafo onde está escrito: "As amostras utilizadas neste estudo, foram coletadas em 1989..." ler: As amostras utilizadas neste estudo, foram coletadas em 1989 e 1991...

Página 27 - No sexto parágrafo onde está escrito: "... estando parcialmente ou quase que totalmente substituídos por pequenos cristais de opacos e clinopiroxênios." ler: ... estando parcialmente ou quase que totalmente substituídos por pequenos cristais de opacos e rodeados por clinopiroxênios da matriz.

Página 77 - Na primeira linha onde está escrito: "...silício ocupa os vértices dos tetraedros apontados em uma direção segundo o eixo z, enquanto que o alumínio ocupa os vértices que apontam na direção oposta." ler: **...silício ocupa os tetraedros com vértices apontados em uma direção segundo o eixo z, enquanto o eixo z, enquanto que o alumínio ocupa os tetraedros cujos vértices apontam na direção oposta.**

Aos meus pais por não terem poupado carinho, compreensão e apoio no decorrer da minha vida.

AGRADECIMENTOS

1.

Agradeço ao CNPq pela bolsa de estudos e à FAPESP pelo respaldo financeiro (processo 96/0027-9).

Gostaria de registrar aqui meus sinceros agradecimentos às pessoas que, de uma forma ou de outra, me ajudaram a superar os diversos obstáculos que surgiram durante a elaboração deste trabalho.

Aos funcionários da secretaria (Marta e Tadeu) e dos laboratórios do DMP, do CPGEO, da biblioteca, gráfica e laminação.

Ao Vagner pelas amostras cedidas.

Aos colegas do departamento, em especial aos amigos Olavo, Gilson, Angela, Dionísio e Gandini expresso minha gratidão pelo constante apoio que deram.

Ao meu irmão Norberto e ao meu meio-irmão Mané manifesto meu carinho pela paciência que demonstraram ter durante os períodos mais difíceis.

Desejo exprimir o apreço ao meu namorado Eder por estar sempre ao meu lado a me incentivar.

À minha orientadora e amiga Mabel, o meu muito obrigado pela orientação que foi de inestimável valor tanto para minha formação científica como pessoal.

ÍNDICE

FIGURAS	iii
TABELAS	v
QUADROS	vii
FOTOS	viii
RESUMO	х
ABSTRACT	xi
1- INTRODUÇÃO	1
2- TRABALHOS ANTERIORES	3
3- METODOLOGIA	9
3.1- ANÁLISES PETROGRÁFICAS	9
3.2- ANÁLISES EM MICROSSONDA ELETRÔNICA	11
3.3- ANÁLISES ISOTÓPICAS	12
4- PETROGRAFIA	17
4.1- FONÓLITOS AFÍRICOS	17
4.2- FONÓLITOS PORFIRÍTICOS	22
5- QUÍMICA MINERAL	43
5.1- MINERAIS MÁFICOS	43
5.2- MINERAIS FÉLSICOS	67
5.3- XENOCRISTAIS	86

6- QUÍMICA DAS ROCHAS	99
6.1- DIAGRAMA NEFELINA-KALSILITA-SÍLICA	99
6.2- DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO	102
6.3- DIAGRAMAS DE DISTRUIÇÃO DE ELEMENTOS MENORES	
E TRAÇOS E DE TERRAS RARAS	104
7- GEOQUÍMICA ISOTÓPICA	110
7.1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS	110
7.2- RESULTADOS OBTIDOS	111
7.3- DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS DADOS	113
8- CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

FIGURAS

Figura 1:	Mapa geológico do Arquipélago de Fernando de Noronha	2
Figura 2:	Detalhe da porção central da Ilha de Fernando de Noronha (extraído do mapa geológico de Almeida, 1955) com a localização dos pontos de amostragem dos fonólitos estudados	10
Figura 3:	Classificação dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos e porfiríticos (matriz) no diagrama QJ (Morimoto, 1988)	47
Figura 4:	Classificação de feno e microfenocristais de clinopiroxênios, dos fonólitos porfiríticos, segundo o diagrama QJ	48
Figura 5:	Classificação e nomenclatura dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos (A) e porfiríticos (B) no diagrama Q-Jd-Ae (Morimoto, 1988)	49
Figura 6:	Classificação e nomenclatura dos clinopiroxênios dos fonólitos no diagrama Wo-En-Fs (Deer <i>et al.</i> , 1978)	50
Figura 7:	Diagramas de variação dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos (grupos I e II) e porfiríticos	52
Figura 8:	Diagrama Na-Mg-(Fe ²⁺ +Fe ³⁺ +Mn-Na) mostrando a composição dos clinopiroxênios dos fonólitos estudados	54
Figura 9:	Classificação dos feno e microfenocristais de anfibólio dos fonólitos porfiríticos	62
Figura 10:	Diagramas de variação dos anfibólios dos fonólitos porfiríticos	64
Figura 11:	Classificação dos espinélios da matriz dos fonólitos porfiríticos no sistema FeO-Fe ₂ O ₃ -TiO ₂	68

Figura 12:	Nomenclatura e composição dos feldspatos alcalinos dos fonólitos afíricos e porfiríticos no diagrama Ab-An-Or	75
Figura 13:	Composição das nefelinas dos fonólitos afíricos e porfiríticos no diagrama Ne-Ks-Qz	82
Figura 14:	Classificação do xenocristal de clinopiroxênio da amostra 91FN128 no diagrama Wo-En-Fs. Nomenclatura segundo Deer <i>et al.</i> (1978)	88
Figura 15:	Diagramas de variação de elementos dos clinopiroxênios da coroa e borda de reação da olivina	95
Figura 16:	Diagramas de variação de elementos das micas (flogopitas) da coroa e borda de reação da olivina	96
Figura 17:	Nomenclatura e diagramas de variação dos espinélios da inclusão, coroa e borda de reação da olivina	97
Figura 18:	Diagramas de variação dos elementos dos anfibólios da coroa da olivina	98
Figura 19:	Composição dos fonólitos afíricos e porfiríticos no sistema Ne-Ks-Qz	103
Figura 20:	Diagramas de variação de óxidos em função de K ₂ O	105
Figura 21:	Diagramas de variação de elementos traços em função de K ₂ O	106
Figura 22:	Padrão de abundância de elementos menores e traços, de amostras representativas de fonólitos, normalizados pelo manto primitivo	108
Figura 23:	Padrão de abundância de elementos terras raras de fonólitos de Fernando de Noronha, em comparação com tefrifonólito do mesmo arquipélago, fonólito de Trindade e fonólito de Fortaleza	109
Figura 24:	Diagrama de correlação isotópica ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd vs ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	115

iv

TABELAS

Tabela 1:	Padrões utilizados para análise em Microssonda Eletrônica	13
Tabela 2:	Condições analíticas para análises de Sr, Sm e Nd	16
Tabela 3:	Análises modais de fonólitos afíricos	20
Tabela 4:	Análises modais de fonólitos porfiríticos	30
Tabela 5:	Análises químicas dos clinopiroxênios dos fonólitos estudados	55
Tabela 6:	Análises químicas dos anfibólios dos fonólitos porfiríticos estudados	65
Tabela 7:	Dados químicos dos espinélios da matriz dos fonólitos porfiríticos	68
Tabela 8:	Análises químicas dos feldspatos alcalinos dos fonólitos estudados	70
Tabela 9;	Análises químicas das nefelinas dos fonólitos estudados	78
Tabela 10:	Análises químicas das sodalitas e noseanas dos fonólitos estudados	84
Tabela 11:	Análises químicas das analcimas e zeólitas dos fonólitos estudados	85
Tabela 12:	Dados químicos do clinopiroxênio xenocristalino da amostra 91FN128	87
Tabela 13:	Análises químicas da olivina da amostra 91FN129a	89
Tabela 14:	Análises químicas dos clinopiroxênios da borda de reação e coroa da olivina	90
Tabela 15:	Análises químicas dos anfibólios da inclusão da olivina e coroa	91

Tabela 16:	Análises químicas dos espinélios: inclusão da olivina, borda de reação e	
T -b-t- 4 7		92
i adela 17:	Analises químicas das micas da borda de reação e coroa da olivina	93
Tabela 18:	Análises químicas dos fonólitos afíricos e porfiríticos	100
Tabela 19:	Análises químicas dos elementos traços e terras raras das amostras	
	89FN64 e 91FN127.	108
Tabela 20:	Dados analíticos Rb-Sr das rochas de Fernando de Noronha	111
Tabela 21:	Dados analíticos Sm-Nd das rochas de Fernando de Noronha	112
Tabela 22:	Dados analíticos Rb-Sr e Sm-Nd de rochas de Fernando de Noronha	113

QUADRO

Quadro 1:	Descrições sucintas das amostras de fonólitos estudados	33
-----------	---	----

FOTOS

Foto 1:	Detalhe da amostra 89FN47, fonólito afírico do Grupo I	20
Foto 2:	Agrupamentos de prismas longos de clinopiroxênio verde formando textura em feltro, cristais de sodalita	21
Foto 3;	Fenocristal de feldspato alcalino	21
Foto 4:	Aspecto geral de um fonólito porfirítico do Morro do Pico	23
Foto 5:	Detalhe da amostra 89FN86: fenocristal de feldspato alcalino com as bordas reabsorvidas, contendo inclusões de opacos e zeólita fibrosa	23
Foto 6:	Amostra 89FN88 (fonólito porfirítico) apresentando agrupamentos de clinopiroxênios castanhos zonados	24
Foto 7:	Detalhe de microfenocristais de clinopiroxênios do fonólito porfirítico, 89FN87	24
Foto 8:	Detalhe do microfenocristal de clinopiroxênio	26
Foto 9:	Detalhe de um fenocristal de clinopiroxênio da amostra 89FN71, fonólito porfirítico, exibindo zoneamento do tipo ampulheta	26
Foto 10:	Aspecto geral da amostra 91FN133, fonólito porfirítico	28
Foto 11:	Aspecto geral dos fonólitos porfiríticos da pedreira	28
Foto 12:	Microfenocristais de anfibólios, exibindo clivagem proeminente, parcialmente substituídos por microcristais de grãos de opacos e de clinopiroxênios verdes.	31
Foto 13:	Xenocristal de clinopiroxênio, amostra 91FN128, intensamente fraturado exibindo zoneamento (núcleo amarelado e borda verde)	31

Foto 14:	Relicto de olivina, amostra 91FN129, apresentando borda e coroa de reação	
	no contato com o fonólito porfirítico	32
Foto 15:	Detalhe da foto 14	32

RESUMO

Os fonólitos porfiríticos de Fernando de Noronha apresentam conteúdo variável de feno e microfenocristais (± 12 a $\pm 40\%$) de *feldspato alcalino* (Or₆₅₋₅₀Ab₃₅₋₅₀An_{<3}), *nefelina, noseana, clinopiroxênio* zonado (*salita titanífera, salita* até *salita sódica* ou *ferrossalita sódica*) e *anfibólio* com inclusões de apatita (*pargasita com Fe*²⁺, *kaersutita* a *ferro-kaersutita*), além de escassos microfenocristais de *magnetitas titaníferas* e *titanita*, em meio a matriz traquítica composta por *feldspato alcalino, nefelina, prismas* curtos, dispersos, de *ferrossalita sódica* a *egirina-augita* e *magnetita titanífera*. Nos fonólitos porfiríticos da "pedreira", de granulação mais grossa e mais rico em minerais máficos, foram encontrados xenocristais de diopsídio e de olivina; esta última apresentando borda de reação e coroa em contato com a matriz.

Os fonólitos afíricos por apresentarem diferenças mineralógicas e texturais entre si, foram divididos em dois grupos: Grupo I de composição semelhante a matriz dos fonólitos porfiríticos e Grupo II com *sodalita* e agrupamentos de prismas longos de *egirina* a *egirina com titânio* formando textura em feltro.

Os dados químicos das rochas (elementos maiores, menores e traços) ilustram o caráter mais evoluído dos fonólitos afíricos do grupo II que aparecem empobrecidos em elementos compatíveis (Al₂O₃, FeO, CaO, Sr, Ba, P, Ti) e enriquecidos em elementos incompatíveis, sugerindo fracionamento de feldspato, apatita, titanita e magnetita titanífera a partir de uma composição semelhante à dos fonólitos porfiríticos. Dados de elementos terras raras mostram também que os fonólitos afíricos do Grupo II são fortemente empobrecidos em terras raras médias confirmando o fracionamento de minerais acessórios como apatita e titanita.

As composição mineralógicas e químicas dos fonólitos porfiríticos variam de um domo para o outro sugerindo a existência de reservatórios magmáticos distintos. A ocorrência dos dois tipos de fonólitos afíricos (grupos I e II) num mesmo domo poderiam representar pulsos de líquidos fonolíticos distintos menos e mais diferenciados.

As razões de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ilustram a semelhança isotópica das rochas de Fernando de Noronha com as das ilhas do Hawai e São Miguel (Açores) e confirmam a natureza mantélica compatível com ambientes de ilhas intraplaca ou de montanhas de fundo de mar de pequeno volume.

ABSTRACT

The Fernando de Noronha porphyritic phonolites with variable pheno- and microphenocrysts amounts (±12 to 40%) contain *alkali feldspar* (Or₆₅₋₅₀Ab₃₅₋₅₀An_{<3}), *nepheline, nosean, zoned clinopyroxene* (varying from *titanian salite, salite* to *sodium salite* or *sodium ferrosalite*), *amphibole* with apatite inclusions (*ferropargasite, kaersutite, ferrokaersutite*) scarce microphenocrysts of *titanian magnetite* and *titanite* in a trachytic matrix composed of *alkali feldspar, nepheline,* short scattered *pyroxene* prisms (*sodium ferrosalite*) and *titanian magnetite*. Diopside and olivine xenocrysts were found in the coarse grained "pedreira" porphyritic phonolites. An olivine relict present a mineralogically and chemically zoned magmatic corona.

The aphyric phonolites were separated in two groups based on mineralogical and textural features: Group I, similar in composition to the porphyritic phonolites matrix and Group II with *sodalite* and felted aggregates of long pyroxene prisms (*aegirine* to *titanian aegirine*).

Chemical data (major, minor and trace elements) reveal the evolved character of the aphyric Group II phonolites. These rocks are depleted in Al₂O₃, FeO, CaO, Sr, Ba, P, Ti and enriched in incompatible elements suggesting fractionation of feldspar, apatite, titanite and tinanian magnetite from a starting composition similar to the ones shown by the porphyritic phonolites. Group II aphyric phonolites are strongly depleted in medium rare earths thus corroborating the fractionation of accessory phases (apatite, titanite).

The chemical and mineralogical composition of the porphyritic phonolites varies from dome to dome indicating the possible existence of different magmatic reservoirs. The aphyric phonolites (Groups I and II) coexist in the same dome thus representing separate magmatic pulses of more or less differentiated phonolitic liquids.

Isotopic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and Nd/Nd ratios of Fernando de Noronha rocks are closely related to those of the Hawaiian and São Miguel (Azores) Islands. The data confirm the mantelic nature of the vulcanism compatible with oceanic island environments.

1- INTRODUÇÃO

O Arquipélago de Fernando de Noronha situa-se aproximadamente a 345 Km da costa do nordeste brasileiro entre os paralelos 32°28 - 32°24 longitude W e 3°52 - 3°50 latitude sul. Sua área total é de cerca de 18,4 Km² sendo que 16,9 km² pertencem à Ilha de Fernando de Noronha e a área restante à várias ilhotas e rochedos. O arquipélago representa as porções mais elevadas de um edifício vulcânico com base repousando a 4000 metros de profundidade.

Dois eventos eruptivos principais, separados por fase erosiva, são reconhecidos em Fernando de Noronha (figura 1). O mais antigo, Formação Remédios, com grande variedade de tipos litológicos, está constituído por diques de rochas ultrabásicas, básicas e intermediárias (basanitos, tefrifos e lamprófiros, traquitos e fonólitos), escassos "plugs" de traquitos e numerosos domos de fonólitos, cortando rochas piroclásticas. O evento vulcânico mais novo, Formação Quixaba, é de caráter predominantemente ultrabásico e forma extensos derrames de rochas nefeliníticas (ankaratritos).

Os fonólitos são os litotipos mais abundantes da Formação Remédios. Os domos que ocorrem nas porções centrais da ilha principal destacam-se das rochas piroclásticas encaixantes por sua forma e relevo acentuado, constituindo as maiores elevações da região. Um dos domos, o Morro do Pico, com um diâmetro de \pm 950 m, representa a maior altitude do arquipélago (310 m).

Dois tipos de fonólitos foram reconhecidos no campo formando domos independentes: os *fonólitos porfiríticos*, com teores variáveis de fenocristais de minerais máficos e félsicos e os *afíricos*, rochas maciças de granulação finíssima que se quebram com fraturas conchoidais (Almeida, 1955, Ulbrich, 1993).

O presente trabalho tem como finalidade estudar em detalhe os fonólitos de Fernando de Noronha, com o intuito de caracterizar as variações petrográficas e químicas da suite por meio de estudos ópticos e de química mineral. Dados químicos das rochas (elementos maiores, menores e traços) serão também utilizados para avaliar possíveis processos de fracionamento e fazer comparações com outras ocorrências de fonólitos. O trabalho é complementado com a apresentação de novas análises químicas isotópicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd.



Figura 1: Mapa geológico do Arquipélago de Fernando de Noronha segundo Almeida (1955).

N

2- TRABALHOS ANTERIORES

O primeiro trabalho significativo, e sem dúvida o mais completo, sobre o Arquipélago de Fernando de Noronha foi o de Almeida (1955), o qual inclui a monografia e o mapa geológico da região.

Almeida (op.cit.) realizou estudos petrográficos e químicos nas rochas do arquipélago estabelecendo, quando possível, as relações estratigráficas entre elas, além de fornecer um estudo detalhado sobre os aspectos geomorfológicos e uma revisão bibliográfica sobre os trabalhos realizados no Arquipélago até 1958.

Com base nestes estudos, o autor subdividiu as rochas magmáticas em três formações: Remédios, Quixaba e São José (figura 1).

A Formação Remédios reúne o conjunto de rochas subvulcânicas, compostas por tufos, aglomerados e brechas, cortado por grande variedade de diques ultramáficos a máficos e por domos de fonólitos e traquitos.

Os fonólitos, as rochas mais representativas desta formação, ocorrem como corpos isolados com forma dômica ou de "plug" (Morros do Pico, Meio, Atalaia, Forte dos Remédios e outros) e também como diques subverticais com direções NW e NE (Praias da Caieira e Cachorro). Variam de fonólitos porfiríticos a afíricos, mostrando ocasionalmente estruturas fluidais.

Sobrepostos à Formação Remédios, após um evento erosivo que destruiu parte desta formação, aparecem extensos derrames ankaratríticos, intercalados com níveis de rochas piroclásticas e raros diques de composição nefelinítica, constituindo a *Formação Quixaba*.

A terceira formação definida por Almeida (*op.cit.*) denominada *Formação* São *José* inclui os derrames de nefelina basanitos com xenólitos de peridotitos e dunitos que aparecem restritos a três ilhotas (São José, Cuscus e de Fora).

Da erosão do edifício vulcânico foram geradas rochas sedimentares, caracterizando depósitos de terraços marinhos e dunas antigas, depósitos fluviais, de praias, além de recifes fitógenos e fosfatos de origem orgânica.

Almeida (op.cit.) ao estudar o vulcanismo do arquipélago fez comparações com o de outras ilhas do Oceano Atlântico (Logario, 1887; Lacroix, 1923; Esenwein, 1929; Wolf, 1931; Bebiano, 1923; Ermert, 1936 *in Almeida 1955*). Para o autor as rochas

vulcânicas das formações Quixaba e São José teriam sido geradas durante o Terciário e as rochas da Formação Remédios durante o Neo-Cretáceo.

Os primeiros dados isotópicos obtidos no arquipélago de Fernando de Noronha, foram apresentados no trabalho de Cordani (1970). No estudo da idade do Vulcanismo do Atlântico Sul, o autor selecionou 23 amostras do arquipélago para análise isotópica potássio-argônio.

A interpretação destas análises evidenciou idades mais jovens do que as estimadas por Almeida *(op.cit.)*. As rochas da Formação Remédios teriam se desenvolvido no final do Mioceno e durante o Plioceno, tendo como contemporâneos os derrames da Formação São José. Nesse conjunto, as rochas mais antigas seriam os álcalis basaltos da Enseada do Abreu, com idade de 12,3 Ma. O vulcanismo ankaratrítico da Formação Quixaba só ocorreria no final do Plioceno, com a maior atividade vulcânica ao redor de 3 Ma, sendo que somente o derrame ankaratrítico da Ilha Rata teria sido formado no Pleistoceno (1,7 Ma).

Análises de ³⁹Ar/⁴⁰Ar (fusão por etapas), em três rochas da Ilha de Trindade e em uma de Fernando de Noronha, foram apresentadas no trabalho de Bernat *et al.* (1977). No caso de Fernando de Noronha os autores selecionaram um fonólito porfirítico (Formação Remédios) correspondente à amostra FAFN 380 de Cordani, para análise de feldspato. O resultado obtido foi uma idade de 12 Ma, superior, a de 9 Ma, determinada pelo método K/Ar por Cordani *(op.cit.)*.

A descrição petrográfica e química de um novo corpo subvertical de basanito, localizado na borda N da Ilha de Fernando de Noronha próximo à Baía do Sancho, cortando um pacote de ankaratritos da Formação Quixaba, foi apresentada no trabalho de Ulbrich & Ruberti (1992). O reconhecimento dessa ocorrência invadindo os ankaratritos indicou, segundo os autores, que os últimos estágios de atividade magmática em Fernando de Noronha seriam de caráter básico e que provavelmente as rochas basaníticas da Ilha de São José (Formação São José) poderiam ser posteriores às rochas da Formação Quixaba, de acordo portanto com as observações de Almeida (1955).

Trabalhos que descrevem em linhas gerais o magmatismo das ilhas oceânicas incluem sempre Fernando de Noronha com base no trabalho de Almeida (1955). Entre eles merece destaque o de Borley (1974) que fez uma compilação de trabalhos

referentes às ilhas dos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico, caracterizando Fernando de Noronha e Trindade, como ilhas remanescentes de cadeias de vulcões submarinos.

No tocante aos processos magmáticos em ilhas oceânicas, Gunn & Watkins (1976) selecionaram sete ilhas do Arquipélago de Cabo Verde para serem comparadas petrográfica e quimicamente com a Ilha de Fernando de Noronha. O motivo da escolha decorreu de suas posições geográficas, por serem ilhas mais ou menos eqüidistantes da dorsal meso-atlântica, em direções opostas. Estes autores concluíram que magmas idênticos foram produzidos nos dois grupos de ilhas oceânicas e que ocorreram dois processos de fracionamento no magma primário: um formando rochas basaníticas e rochas com mais de 20% de MgO (com pelo menos 600 ppm de Ni) e o outro gerando sienitos e fonólitos.

Os mesmos autores fizeram comparações com outras ilhas dos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico e através dos diagramas álcalis *versus* sílica e Sr *versus* TiO₂, demonstraram a natureza mais fortemente alcalina de Fernando de Noronha e Cabo Verde.

Stormer (1978), discutiu o fracionamento magmático no Arquipélago de Fernando de Noronha; utilizando análises de microssonda, REE (terras raras), Sr (isotópico), elementos maiores e traços em amostras da Formação Remédios considerou que os fonólitos poderiam ter sido gerados, através de cristalização fracionada, a partir de lamprófiros pouco evoluídos. Quanto às rochas ankaratríticas da Formação Quixaba o autor indicou a possibilidade de origem a partir de um magma rico em voláteis produzido através da fusão parcial de um reservatório mantélico.

Gerlach *et al.* (1987) realizaram as primeiras análises isotópicas de Rb, Sr, Nd, Pb e U em amostras do Arquipélago de Fernando de Noronha.

Com base nos dados isotópicos, principalmente nas razões iniciais Sr⁸⁷/Sr⁸⁶, dividiram a suíte de rochas do arquipélago em dois grupos: grupo das rochas alcalinas insaturadas (ankaratritos e fonólitos) com razões iniciais Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ entre 0,70365 e 0,70418 e grupo das rochas menos alcalinas (álcali basaltos e traquitos) empobrecidas em elementos incompatíveis, com razões iniciais Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ entre 0,70457 e 0,70458.

Ainda segundo Gerlach *et al.* (1987) os álcali basaltos e traquitos da Formação Remédios derivaram, provavelmente, da litosfera subcontinental e os ankaratritos da Formação Quixaba foram gerados a partir da mistura de duas fontes geoquímicamente distintas, uma enriquecida em Pb radiogênico (tipo *HIMU*) com alta razão ²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb e a outra mais empobrecida em Sr e Pb radiogênico (*depleted mantle*).

Com base nos dados químicos obtidos em algumas amostras de rochas de Fernando de Noronha e Trindade, Weaver (1990) teceu considerações a respeito da fonte mantélica e dos processos de cristalização atuantes nestas ilhas. Segundo o autor, os fonólitos e traquitos de Fernando de Noronha originaram-se por cristalização fracionada a partir de um magma basanítico. O vulcanismo alcalino resultaria da fusão de um reservatório do tipo OIB (*Ocean Island Basalt*) com flogopita residual, o que explicaria o empobrecimento em K e o fracionamento dos elementos LIL (terras raras leves).

Ulbrich (1993), considerando a complexidade da nomenclatura utilizada para as rochas de Fernando de Noronha, discutiu a classificação dos vários tipos litológicos expostos no arquipélago. Com base na nomenclatura apresentada no trabalho de Almeida (1955) e a proposta da IUGS, a autora questionou alguns dos nomes de rochas empregados até então para descrever as rochas máficas-ultramáficas do arquipélago, apresentando também um esquema de agrupamento dos diques da Formação Remédios.

Dando continuidade aos estudos das rochas de Fernando de Noronha, Ulbrich *et al.* (1994a) apresentaram resultados de análises químicas de rochas (elementos maiores e de alguns traços) da Formação Quixaba (ankaratritos) e de rochas da Formação Remédios (fonólitos e diques ultrabásicos-básicos-intermediários).

Para a Formação Remédios os autores definiram duas séries petrográficas, uma delas constituída por álcali basaltos - traquiandesitos - traquitos moderadamente potássica com nefelina ou quartzo na norma e a outra, sódica e subsaturada, contendo basanitos e tefritos - tefritos fonolíticos - fonólitos tefríticos - fonólitos. Com relação aos ankaratritos da Formação Quixaba estes seriam de dois tipos: tipo A (composição restrita, com SiO₂= 37-39% e MgO= 9-12%) e tipo B (composição mais variada, com SiO₂= 39-45%).

Os mesmos autores teceram ainda algumas considerações quanto aos magmas progenitores da Formação Remédios, sendo estes, possivelmente, álcali basaltos para a série moderadamente potássica e basanitos-tefritos ou limburgitos para a série sódica (enriquecidos em elementos incompatíveis quando comparados com os álcali basaltos). Para a Formação Quixaba as relações de Ba/Nb e La/Nb indicaram fontes mantélicas e magmas parentais diferentes para os tipos A e B, sendo que o reservatório mantélico do tipo A seria muito similar ao reservatório que gerou os basanitos da Formação São José.

Maríngolo (1995) apresentou um estudo petrográfico e químico de 36 diques ultramáficos a máficos que ocorrem nas porções centrais da ilha de Fernando de Noronha (figura 1), incluindo ankaratritos, álcali basaltos, basanitos, tefritos, monchiquitos, camptonitos e tefrifonólitos. A maioria dos diques estudados pertencem a Formação Remédios, com exceção dos ankaratríticos relacionados ao evento vulcânico posterior (Formação Quixaba).

Esse autor discorre sobre as relações genéticas entre os vários tipos litológicos da série sódica da Formação Remédios, indicando a possibilidade de derivação dos camptonitos a partir de magmas basaníticos ou tefríticos, enriquecidos em voláteis, por processos de cristalização fracionada a baixas pressões.

Nesse trabalho e também em Maríngolo & Ulbrich (1997) foram apresentadas as diferenças (químicas e de química mineral) entre camptonitos e monchiquitos sugerindo que estes últimos cristalizaram-se em câmaras magmáticas profundas.

Estudos de xenocristais encontrados em diques máficos e em fonólitos da Formação Remédios aparecem descritos nos trabalhos de Ulbrich *et al.* (1994b); Maríngolo (1995) e Ulbrich & Lopes (1996).

Ulbrich *et al.* (1994b) estudaram uma rocha proveniente de um dique da Formação Remédios que apresentou 35% a 40% de macrocristais de composição variada: olivina, diopsídio rico em de Al, salita, ferro-kaersutita, nefelina, noseana, titanita e cromita, junto com xenólitos de rochas plutônicas e subvulcânicas alcalinas, em matriz fina composta por salita, magnetita com Ti, ferro-kaersutita, feldspato alcalino e vidro intersticial.

Com base nesse estudo, consideraram que a maioria desses macrocristais seriam na verdade xenocristais, cumulatos de origem profunda, provenientes das paredes dos condutos de câmaras magmáticas profundas. Esses materiais seriam incorporados no magma gerador dos diques durante sua ascenção.

Xenocristais de olivina imersos em fonólito porfirítico foram descritos por Ulbrich & Lopes (1996). Um deles, estudado em detalhe, apresentou uma borda de reação e coroa ilustrando um nítido zoneamento mineralógico e químico (maiores informações são fornecidas nesta dissertação).

Características petrográficas e de química mineral de fonólitos do Arquipélago de Fernando de Noronha foram apresentadas no trabalho de Lopes & Ulbrich (1997). Com base em observações de campo e laboratório, as autoras consideraram a existência de diferentes fácies petrográficas afíricas, num mesmo domo.

A tentativa de correlacionar as rochas do Distrito Alcalino de Fortaleza com as rochas alcalinas do Arquipélago de Fernando de Noronha, a tempos vêm sendo apresentada na literatura (Almeida, 1955; Vandoros & Oliveira, 1968; Sial, 1970 *in Guimarães 1982*), razão pela qual considerou-se adequado inserir no presente trabalho, algumas informações sobre o magmatismo alcalino de Fortaleza, Ce.

O magmatismo alcalino de Fortaleza estaria relacionado ao alinhamento tectônico com direção ENE-WSW estendendo-se do continente em direção ao oceano até o Arquipélago de Fernando de Noronha (Almeida 1983; Almeida *et al.*, 1988).

As rochas alcalinas do distrito de Fotaleza variam de tefritos, fonotefritos a fonólitos peralcalinos. Datações K/Ar e Rb/Sr em rochas dessa suíte vulcânica forneceram uma idade de aproximadamente 30 Ma (Cordani, 1970; Teixeira *et al.*, 1978). Em uma das ocorrências dessas rochas alcalinas (Caruru) foram encontrados xenólitos de olivina clinopiroxenito, essexito e nefelina sienito em fonólitos. Cálculos de balanço de massa mostraram que a evolução de tefritos para fonotefritos e fonólitos poderia ocorrer através da subtração de uma associação mineralógica correspondente à de um gabro alcalino (essexítica). Os fonólitos peralcalinos mais diferenciados poderiam resultar da remoção de cumulatos de nefelina sienito semelhantes aos encontrados nos fonólitos. Os tefritos, por sua vez poderiam ter sido derivados a partir de um líquido basanítico (Macciota *et al.*, 1990).

3- METODOLOGIA

As amostras utilizadas neste estudo, foram coletadas em 1989, durante os trabalhos de campo realizados pelos Profs. Mabel Norma Costas Ulbrich e Excelso Ruberti do Instituto de Geociências da USP, Profa. Velde da Universidade Pierre e Marie Curie (França) e pelo aluno de Pós-graduação V. Maríngolo.

As amostras com iniciais FN (Fernando de Noronha) pertencem à coleção dos Profs. Mabel N. C. Ulbrich e Excelso Ruberti e as com iniciais WFN (Wagner Fernando de Noronha) a Vagner Maríngolo.

A figura 2, extraída do mapa geológico do Arquipélago de Fernando de Noronha de Almeida (1955) mostra em detalhe a porção central da Ilha de Fernando de Noronha com a localização dos pontos de amostragem dos fonólitos.

Os trabalhos de laboratório consistiram em estudos ópticos, análises químicas de minerais máficos e félsicos em microssonda eletrônica e análises isotópicas para determinação das razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr , ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd e dos teores de Rb, Sr, Sm e Nd. Esses estudos foram realizados no Instituto de Geociências da USP.

As técnicas, bem como materiais utilizados nos trabalhos de laboratório aparecem descritos a seguir.

3.1- ANÁLISES PETROGRÁFICAS

O estudo petrográfico foi realizado no Laboratório de Óptica do Departamento de Mineralogia e Petrologia (DMP). Para esse estudo foram utilizadas vinte e seis amostras que representassem os principais pontos de ocorrência dos fonólitos: dezessete fonólitos porfiríticos e nove afíricos.

Após as descrições macroscópicas, foram realizados os estudos microscópicos utilizando o microscópio petrográfico Zeiss Axioplan Binocular, para identificação dos minerais e caracterização da textura das rochas.



Figura 2: Detalhe da porção central da Ilha de Fernando de Noronha (extraído do mapa geológico de Almeida, 1955) com a localização dos pontos de amostragem dos fonólitos estudados nesta dissertação. Em verde: fonólitos afíricos e em vermelho: fonólitos porfiríticos.

Com o objetivo de se obter melhor estimativa percentual da composição mineralógica, foram efetuadas análises modais em dezessete fonólitos. Para tanto foi utilizado o microscópio Tipo Leitz Ortholux Binocular (ocular com aumento de 10x) e malhas de 0,1 e 0,3mm.

3.2- ANÁLISES EM MICROSSONDA ELETRÔNICA

As análises químicas dos minerais foram efetuadas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Petrologia.

As amostras utilizadas para esse estudo foram selecionadas em função dos baixos sinais de alteração nos minerais (principalmente nos da matriz) e das suas localizações, procurando abranger toda a área de ocorrência dos fonólitos afíricos e porfiríticos. Assim sendo, foram selecionados 3 fonólitos afíricos (89FN46, 89FN47 e 89FN66) e 9 fonólitos porfiríticos (89FN86, 91FN89, 91FN89a, 89FN71, 91FN128, 91FN129, 91FN129a, 91FN130 e 91FN131).

Técnicos do laboratório de microssonda eletrônica confeccionaram as seções polidas e encaminharam-nas para o evaporador "Consolidated Vacuum Corporation-CV144" (processo conhecido como "metalização") visando a formação de uma película de carbono por sobre a seção, para que assim não houvesse problemas de condutividade elétrica da amostra.

Uma vez preparadas, as seções polidas foram estudadas ao microscópio, procedendo-se à seleção dos grãos de minerais máficos e félsicos destinados à análise, junto as observações com desenhos detalhados e fotografias. O aparelho utilizado foi a Microssonda Eletrônica JXA - 8600 S, sendo as condições analíticas: voltagem 15 KV, diâmetro do feixe de elétrons de 5 μ m (para os minerais máficos) a 15 μ m (para os minerais félsicos) e corrente do feixe de elétrons de 20,4 η A.

Estudo Mineralógico

A microssonda eletrônica foi utilizada para analisar os fenocristais e cristais da matriz de fonólitos porfiríticos e afíricos. Nos fenocristais foram realizados de dois a três pontos por grão (núcleo e borda), enquanto que nos cristais da matriz apenas um ponto

por grão. Os principais minerais analisados foram: clinopiroxênios, anfibólios, feldspatos, feldspatóides e opacos, além de zeólitas.

Várias análises foram repetidas devido a problemas resultantes da "metalização" das amostras e da migração do Na principalmente nos feldspatóides.

Na amostra 91FN129a foi estudada uma olivina xenocristalina e os minerais gerados em sua borda de reação e coroa (micas, clinopiroxênios, opacos e anfibólios) para maiores detalhes ver Ulbrich e Lopes (1996).

Os padrões empregados para análise de todos os minerais citados foram selecionados de acordo com a composição química destes. Na tabela 1 são apresentadas algumas características destes padrões.

3.3 - ANÁLISES ISOTÓPICAS

As análises isotópicas, visando determinar as razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, e os teores de Rb, Sr, Sm e Nd, em rochas das formações Remédios e Quixaba, foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGEO) do Instituto de Geociências da USP.

Para obtenção dos teores de Sm e Nd utilizou-se a técnica de diluição isotópica e para Rb e Sr utilizou-se a Fluorescência de Raios-X. As determinações das razões de ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd e de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr foram realizadas através de análises em espectômetros de massas.

Os procedimentos adotados para análise das amostras, bem como os aparelhos utilizados para as mesmas aparecem descritos a seguir.

Análise de Rb e Sr por Fluorescência de Raios-X(FRX).

Cinco amostras da Formação Remédios (89FN47 e 89FN66 fonólitos afíricos, WFN29 basanito, WFN42 lamprófiro e WFN1 basanito-tefrito) e uma da Formação Quixaba (91FN110 ankaratrito) foram pulverizadas e submetidas a análise quantitativa em espectrômetro seqüencial dispersivo de onda, Fluorescência de Raios-X, marca Philips, equipado com microprocessador.

PADRÃO	Elemento e mineral	Intensidade média	Tempo de
	analisado	(Cnt/seg./nA)*	contagem
			(segundos)
SANIDINA	Si - feldspato e feldspatóide	2,226	10
RUTILO	Ti - anfibólio, flogopita,	0,431	10
	clinopiroxênio e opaco		
CORINDON	AI - todos os minerais	2,963	10
HEMATITA	Fe - todos os minerais	0,721	10
RODONITA	Mn - clinopiroxênio e opaco	0,332	10
PERICLÁSIO SINTÉTICO	Mg - clinopiroxênio,	2,413	10
(CAMBRIDGE)	flogopita, anfibólio, opaco e		:
	olivina		
CROMITA	Cr - olivina, anfibólio, opaco	0,421	10
(53-IN-8)	e clinopiroxênio		-
Ni OLIVINA	Ni - olivina	0,625	10
WOLLASTONITA	Si - clínopiroxênio,	2,312	10
(CAMBRIGDE)	anfibólio, flogopita, olivina e		
	орасо		
	Ca - todos os minerais	1,739	10
ANDESINA	Na - todos os minerais	0,316	5
(AC-362)			
MICROCLÍNIO	K - todos os minerais	0,588	10
(USNM 143966)			
ZIRCÔNIO	Zr- clinopiroxênio	0,833	20
(10166)			
CELESTITA	S - feldspatóide	0,405	10
	Sr - feldspatóide e		
	feldspato	0,384	20
FLUORETO DE BÁRIO	Ba - feldspatóide e	0,261	20
(BaF ₂) "SINTÉTICO"	feldspato		
	F - anfibólio e flogopita	0,276	5
TUGTUPITA	CI - feldspatóide e anfibólio	0,355	5

Tabela 1: Padrões utilizados para análise em Microssonda Eletrônica.

*Cnt/seg./nA= contagem/segundo/nAmper

Os fatores que influenciaram na escolha destas amostras foram: baixo grau de alteração, ausência de amigdalas e homogeneidade do material.

a) Preparo das amostras.

As análises por Fluorescência de Raios-X foram realizadas após a pulverização das amostras.

O processo de pulverização para obtenção de um pó de Rocha Total foi realizado através do uso de uma marreta, um britador de mandíbulas e um triturador de moinho de tungstênio. A permanência das amostras nesse último equipamento foi variável, dependeu da dureza do material a ser triturado, nunca ultrapassando 20 minutos.

Submetidas a estas fases, as amostras adquiriram a consistência necessária para análise (granulação inferior a 200 mesh), não sendo necessária a confecção de pastilhas prensadas.

b) Condições analíticas.

Como dito anteriormente, o aparelho utilizado foi de marca Philips, com tubo de anticatodo de molibdenio, colimador fino, cristal analisador de LiF(200), V=50KV e A=24mA.

Padrões	C(Sr) ppm	C(Rb) ppm
GSP-1	235,000	250,700
PCC-1	0,410	0,063

Os padrões empregados na análise quantitativa foram:

Os ângulos e lower level(LL) das leituras foram:

Leitura	1 <u>a</u> leitura	2 <u>a</u> leitura	3 <u>a</u> leitura	4 <u>a</u> leitura	5 <u>a</u> leitura
Angulos	21,05	24,45	25,08	25,90	26,55
LL	280	210	210	210	210

Análise de Sr natural, Sm e Nd por Espectrômetro de Massas.

Todas as amostras estudadas na Fluorescência de Raios-X foram utilizadas para a determinação da concentração de Sr natural (sem adição de spike). Apenas as amostras 89FN47, WFN29 e 91FN110 foram submetidas a análise de Sm e Nd.

No caso da determinação das concentrações de Sm e Nd, necessitou-se aplicar a técnica de diluição isotópica. Tal técnica, como dito no trabalho de Sato *et al.* (1995), consiste na adição de um traçador, normalmente conhecido como spike, junto a amostra. A dosagem entre o spike e a amostra depende do tipo litológico e da concentração do traçador. Para as amostras estudadas utilizou-se um spike combinado de Sm e Nd com as seguintes concentrações:

¹⁵⁰Nd= 0,003314umoles/g

¹⁴⁹Sm=0,004575umoles/g.

a) Preparo das amostras.

Seguindo os procedimentos adotados pelo laboratório CPGeo, as seis amostras (91FN110, 89FN47, WFN29, 89FN66, WFN42 e WFN1) foram pulverizadas e pesadas, cerca de 5mg, em béquer de savillex, sendo que em três (89FN47, WFN29 e 91FN110) adicionou-se spike de Sm e Nd. Para que não houvesse problema de estática e com isso perda de amostra durante a pesagem, estes recipientes foram envolvidos com papel alumínio.

Após a pesagem das amostras iniciou-se o ataque químico descrito abaixo:

1- Primeiro foram adicionados 1ml de ácido nítrico (HNO₃) concentrado e destilado e 2ml de ácido fluorídrico (HF) fumegante para quebra de silicatos.

2- A seguir as soluções foram encaminhadas para ultra-som, permanecendo neste por 40 minutos e decorrido este tempo foram secas através de aquecimento sob lâmpada de infravermelho (\pm 60°C) em evaporador com ar filtrado por cerca de 24 horas.

3- Outro ataque químico foi realizado utilizando ácido clorídrico (HCI) 6N e novamente as soluções foram colocadas sob lâmpada em evaporador (mesmas condições) por uma noite, porém com o béquer permanecendo fechado.

4- Passado uma noite de aquecimento verificou-se que restavam resíduos nas amostras 89FN66, WFN42 e WFN1 o que levou a repetir o ataque químico.

5- A etapa final consistiu na evaporação até a secura das amostras e na adição de 200µl de HCl 2,5N nas amostras com spike de Sm e Nd, e de 200µl de HCl 2,62N nas outras três amostras, onde foi analisado apenas o Sr natural.

b) Separação dos elementos e Espectrometria de Massas.

A separação de Sr, Sm e Nd foi feita após a digestão química, através de duas etapas.

Primeiro utilizou-se uma coluna de quartzo com resina do tipo AG-50W-X8 (200-400 mesh) conhecida como coluna primária de troca catiônica, para coletar o Sr e o conjunto de terras raras.

Depois seguiu-se para separação fina das terras raras, com coleta do Sm e Nd através de uma coluna de quartzo com resina de pó de teflon revestido com ácido ortofosfórico di(2-etilexil), 200 mesh, conhecida como coluna secundária.

A seguir os concentrados de Sr, Sm e Nd foram depositados sobre filamento ultra limpo e analisados em espectrômetro de massas para determinação dos teores de Sm e Nd e das razões de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd.

A tabela a seguir ilustra os espectrômetros, padrões, tipos de coletores e filamentos utilizados na determinação.

Tipo de análise	Sr	Sm e Nd
Espectrômetro	VG-II 354	VG-I 354
Padrão do aparelho	NBS 987	La Jolla
Coletor	simples	multicoletor
Filamento	tântalo	rênio para Nd tântalo para Sm

Tabela 2: Condições analíticas para análise de Sr, Sm e Nd em espectrômetro de massas.

4- PETROGRAFIA

Em Fernando de Noronha ocorrem fonólitos afíricos e porfiríticos constituindo domos independentes.

Os estudos petrográficos mostram que os fonólitos porfiríticos possuem quantidades variáveis de fenocristais de minerais máficos e félsicos constituindo pouco mais de 10 até cerca de 40% das rochas. Os fonólitos afíricos também possuem alguns fenocristais (menos de 5%), sendo em sua maioria de minerais félsicos e de pequeno porte. A matriz das rochas é invariavelmente muito fina dificultando a identificação óptica de alguns minerais, principalmente, dos vários feldspatóides presentes.

Os fonólitos afíricos e porfiríticos são descritos em grupos de rochas que apresentam características petrográficas e texturais em comum. Ao final deste Capítulo é apresentado um quadro (Quadro 1) com descrições sucintas de todas as amostras estudadas.

4.1- FONÓLITOS AFÍRICOS

Os fonólitos afíricos estudados, provêm da Baía de Sueste (amostras 89FN4a, FN6, FN6a e FN34), do Morro do Meio (amostras 89FN46 e 89FN47) e do Morro do Forte (amostra 89FN64, 89FN65 e 89FN66).

Estas rochas têm coloração variável de verde a cinza, possuem estrutura maciça a orientada, sendo a orientação definida, principalmente, pelos agregados de minerais máficos. Apresentam fenocristais milimétricos de feldspatos tabulares e de nefelina (2-5mm). Em algumas amostras é comum o aparecimento de manchas arredondadas, róseas, com até 2mm de diâmetro. Como material secundário, preenchendo pequenas fraturas da rocha, são vistos minerais do grupo das zeólitas.

Os fonólitos afíricos, quando observados ao microscópio, mostram-se muito variáveis, principalmente quanto ao hábito dos clinopiroxênios. Em um grupo de amostras os clinopiroxênios aparecem como prismas curtos ou agregados microcristalinos, ao passo que num outro grupo apresentam-se como prismas longos, agregados, com aspecto de feltro. Devido a esta e a outras diferenças que irão ser

apresentadas a seguir, considerou-se adequado dividir os fonólitos afíricos em dois grupos.

GRUPO I

Os fonólitos afíricos do grupo I são representados pelas amostras 89FN4a, FN6a e 89FN47.

Nessas amostras são observados feno e microfenocristais de feldspato alcalino e nefelina, representando no máximo 2,5% da rocha e escassos microfenocristais de noseana, anfibólio e clinopiroxênio.

Os feno (1-3,5mm) e microfenocristais (<0,5mm) de feldspato alcalino aparecem com formas subhedrais tabulares, geminados segundo a Lei de Carlsbad e com abundantes inclusões fluidas. Feições de deformação e reabsorção são comuns nesses fenocristais. Os mais deformados, apresentam-se intensamente fraturados, com a geminação mascarada por uma extinção ondulante, formas não mais subhedrais, mas anhedrais triangulares e bordejados por agregados de minúsculos grãos de feldspatóides.

Os feno (±1mm) e microfenocristais (<0,5mm) de nefelina são euhedrais, retangulares ou hexagonais, ocorrendo como grãos isolados ou formando glomérulos. Alguns microfenocristais apresentam a borda substituída por analcima. Além da nefelina, pode-se observar em algumas amostras microfenocristais de noseana, menores que 0,5mm, aglomerados.

Duas das três amostras desse grupo, 89FN4a e 89FN47, possuem microfenocristais de minerais máficos de três tipos: clinopiroxênio com núcleo castanho e borda verde, ilustrando um zoneamento do tipo ampulheta, característico de augitas titaníferas ou salitas titaníferas; clinopiroxênio verde, prismático alongado e anfibólio marrom, bordejado por agregados de prismas muito finos de clinopiroxênio verde da matriz. Todos esses microfenocristais são comuns nos fonólitos porfiríticos.

A matriz apresenta *textura traquítica* marcada pela orientação de ripas de feldspato alcalino, paralelas a subparalelas, entre as quais aparecem grãos de nefelina euhedrais-subhedrais, em seções retangulares ou hexagonais e cristais de clinopiroxênio verde como prismas curtos (egirina-augita) isolados ou como pequenos

grãos agrupados (foto 1). Os minerais acessórios são magnetita quadrática ou arredondada e titanita.

GRUPO II

O grupo II é representado pelas amostras FN6, FN34, 89FN46, 89FN64 e 89FN66.

Os feno e microfenocristais de minerais félsicos são o feldspato alcalino e a nefelina, sendo que a noseana, presente no Grupo I, encontra-se ausente nesse grupo.

No grupo II praticamente não ocorrem feno e microfenocristais de clinopiroxênio, exceção da amostra 89FN64 que apresenta um glomérulo de microfenocristais de clinopiroxênio verde e um grão de clinopiroxênio castanho de aproximadamente 0,5mm, corroído, bordejado por prismas finos de clinopiroxênio verde da matriz e parcialmente alterado para carbonato (possivelmente xenocristalino).

As principais diferenças entre os dois grupos de fonólitos afíricos podem ser vistas na matriz. O clinopiroxênio da rochas do Grupo II aparece como prismas longos, de cor verde e pleocroísmo intenso, agrupados, formando uma textura em feltro, tratando-se provavelmente de egirinas (foto 2). Os feldspatóides são mais diversificados variando de nefelina, subhedral, retangular ou hexagonal, a sodalita quadrática, hexagonal ou arredondada (fotos 2 e 3). Os cristais de feldspato alcalino, aparecem como ripas orientadas paralela-subpalelamente marcando a *textura traquítica* (foto 3). Os acessórios são a magnetita e a titanita.

A amostra 89FN65 apesar de não apresentar clinopiroxênios prismáticos alongados como agrupamentos com estrutura em feltro, mas como pequenos grãos de cor verde e pleocroísmo intenso, possui sodalita na matriz, sendo considerada integrante desse grupo.

Análises modais de amostras dos grupos I e II aparecem na tabela 3. Cabe comentar que as nefelinas e sodalitas da matriz do grupo II foram tratadas em conjunto.
Amostra	89FN47	FN34	89FN46	89FN64	89FN66
Localização	M. do Meio	B. de Sueste	M. do Meio	M. do Forte	M. do Forte
Grupo		Ш	11	11	11
Feno e microf. (%)	3,50	1,00	1,50	1,50	1,96
Feldspato alcalino	2,00	1,00	1,00	1,00	1,96
Feldspatóide	0,50*	tr	0,50	tr	tr
Minerais máficos	1,00	0,00	0,00	0,50	0,00
Matriz (%)	96,50	99,00	98,50	98,50	98,04
Feldspato Alcalino	57,03	53,80	54,17	72,97	58,70
Feldspatóide**	20,12	24,76	27,75	16,69	26,38
Clinopiroxênio	19,16	20,40	16,41	8,70	12,60
Titanita	tr	tr	tr	tr	tr
Opacos	tr	tr	tr	tr	tr
Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 3: Análises modais de fonólitos afíricos do grupo I e II.

*feldspatóide: microfenocristais de nefelina mais noseana

**feldspatóide: nefelina no grupo I e nefelina mais sodalita no grupo II microf.=microfenocristais; tr=traços (valores menores que 0,30%).



Foto 1: Detalhe da amostra 89FN47, fonólito afírico do Grupo I, mostrando ao centro e a direita da foto, microfenocristais de nefelina retangular ou hexagonal em meio a uma matriz muito fina, de difícil reconhecimento, composta por cristais de nefelina hexagonais ou retangulares, prismas curtos de clinopiroxênio verde e ripas de feldspatos alcalinos. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,200 mm.



Foto 2: Agrupamentos de prismas longos de clinopiroxênio verde formando textura em feltro; cristais de sodalita subhedrais no centro da foto. Amostra 89FN46, fonólito afírico do Grupo II, polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,200 mm.



Foto 3: Fenocristal de feldspato alcalino fraturado, exibindo geminação segundo a Lei de Carlsbad, em meio a uma matriz traquítica, marcada pela orientação de ripas de feldspato alcalino; agrupamentos de clinopiroxênios (amarelos) preenchendo o espaço entre as duas partes do feldspato e pequenos grãos de sodalita anhedrais (isotrópicos) junto a esses e na borda do fenocristal. Polarizadores cruzados, filtro azul, barra de escala= 0,200 mm.

4.2- FONÓLITOS PORFIRÍTICOS

Os fonólitos porfiríticos pertencem ao Morro do Pico (porção inferior, próxima a Praia do Boldró), a um pequeno corpo da Enseada do Abreu e a uma "pedreira" localizada no morro vizinho ao Morro do Medeira.

Morro do Pico

O Morro do Pico encontra-se próximo a Praia do Boldró. As amostras que foram coletadas e fornecidas para este estudo (maiores referências ver metodologia), 89FN85, 89FN85a, 89FN86, 89FN87, 91FN88, 91FN89 e 91FN89a, foram obtidas na base do Morro, nas proximidades da Praia do Boldró.

Estes fonólitos porfiríticos apresentam-se, macroscopicamente, com tonalidades cinza a cinza-esverdeada, estrutura maciça, matriz fina onde destacam-se fenocristais de feldspato alcalino (com até 6mm) com formas subhedrais tabulares, além de feldspatóides euhedrais, hexagonais ou arredondados (com até 3mm) e minerais máficos prismáticos, de até 3mm (isolados ou aglomerados). Quando alteradas, estas rochas exibem tonalidades castanhas.

Ao microscópio mostram *textura porfirítica a glomeroporfirítica (glomérulos de minerais máficos e félsicos) e matriz* orientada, inequigranular, *traquítica*.

Os feno e microfenocristais de minerais félsicos são os mais abundantes, sendo eles: feldspatos alcalinos, tabulares, fraturados, muito a pouco deformados, geminados segundo a Lei de Carlsbad (de contato e interpenetrante), com sinais de corrosão nas bordas (fotos 4 e 5); nefelina euhedral hexagonal ou retangular, zeolitizada e noseana (foto 4), normalmente alterada, subhedral a anhedral, com forma arredondada, corroída, contendo pequenas inclusões de opacos no núcleo, que dispõem-se ortogonalmente, ao longo dos planos de clivagem.

Os feno e microfenocristais de minerais máficos são representados principalmente por dois tipos de clinopiroxênio. Um deles, com tonalidade castanha, tem ângulo de extinção ($z\land c$) $\pm 50^{\circ}$ e $2V_z \pm 45^{\circ}$, aparece como prismas associado com titanita e magnetita (foto 6) ou como grãos isolados (fotos 7 e 8), apresenta zoneamento do tipo ampulheta e borda verde, tratando-se provavelmente de salita titanífera.



Foto 4: Aspecto geral de um fonólito porfirítico do Morro do Pico (amostra 89FN87). Glomérulo de microfenocristais de noseana hexagonais a arredondados (castanhos com aspecto sujo) associados a fenocristal retangular branco de nefelina (ne); feno e microfenocristais de feldspatos alcalinos brancos, corroídos. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,357 mm.



Foto 5: Detalhe da amostra 89FN86: fenocristal de feldspato alcalino com as bordas reabsorvidas, contendo inclusões fluidas (pretas) e zeólita fibrosa (produto de alteração), em matriz orientada traquítica. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,200 mm.



Foto 6: Amostra 89FN88 (fonólito porfirítico) apresentando agrupamento de clinopiroxênios castanhos (alguns com manchas verdes nos núcleos) zonados (bordas verdes) com opacos associados; glomérulos de noseanas (núcleos com aspecto sujo devido as inclusões de opacos, cantos esquerdo e direito superiores da foto) e fenocristais de feldspatos alcalinos (brancos). Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,357 mm.



Foto 7: Detalhe de microfenocristais de clinopiroxênios do fonólito porfirítico, 89FN87. Ao centro prisma longo zonado (núcleo castanho e borda verde oliva) e a sua direita prisma pequeno verde que confunde-se com os clinopiroxênios verdes da matriz. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala=0,200mm.

O outro, de cor verde, é fortemente pleocróico, possui $2V_z\pm70^\circ$, ocorre preferencialmente como microfenocristais prismáticos alongados (foto 7) e é semelhante aos clinopiroxênios da matriz da rocha (série diopsídio-hedenbergita a egirina-augita).

Em menores proporções são observados microfenocristais e mais raramente fenocristais de anfibólio marrom, pleocróico, como glomérulos ou grãos isolados, com formas euhedrais ou anhedrais, além de microfenocristais de titanita e de opacos. Esses anfibólios possuem inclusões de opacos, apatita e titanita e aparecem parcialmente ou totalmente substituídos por pequenos cristais de minerais opacos e de clinopiroxênio verde, os quais freqüentemente aparecem bordejando-os.

A matriz apresenta ripas orientadas (paralela-subparalelamente) de feldspatos alcalinos (foto 8), entre as quais se dispõem nefelina subhedral a euhedral, hexagonal ou retangular e prismas curtos de clinopiroxênio verde fortemente pleocróico (egirina-augita?). Como acessórios ocorrem magnetita quadrática a anhedral, titanita e esporadicamente um anfibólio marrom.

Nesses fonólitos porfiríticos é muito comum o aparecimento de fraturas e amigdalas preenchidas por zeólitas e por carbonatos. Em uma das amostras, FN86, foram observadas zeólitas fibrosas radiadas com até 0,5mm, produto de alteração de fenocristais de feldspatos alcalinos (foto 5) ou nefelinas.

Enseada do Abreu

O fonólito porfirítico da Enseada do Abreu, amostra 89FN71, possui tonalidade cinza esverdeada, matriz fortemente orientada, fluidal, na qual se destacam fenocristais tabulares de feldspatos com até 4mm de comprimento e fenocristais de minerais máficos de até 2mm.

Ao microscópio assemelha-se aos fonólitos do Morro do Pico, com *textura* glomeroporfirítica e matriz traquítica, apresentando porém maiores quantidades de feno e microfenocristais de minerais máficos.

Os clinopiroxênios, de tonalidade castanha, aparecem com dois tipos de zoneamento: núcleo castanho mostrando zoneamento do tipo ampulheta (foto 9) com borda verde, e concêntrico com núcleo castanho e borda de anfibólio marrom.



Foto 8: Detalhe do microfenocristal de clinopiroxênio da amostra 89FN87, mostrando no núcleo tonalidade púrpura, típicas das salitas titaníferas estudadas, em meio a matriz traquítica marcada pela orientação das ripas de feldspatos alcalinos. Polarizadores cruzados, filtro azul, barra de escala= 0,200 mm.



Foto 9: Detalhe de um fenocristal de clinopiroxênio da amostra 89FN71, fonólito porfirítico, exibindo zoneamento do tipo ampulheta. As manchas marrons correspondem a alteração dos grãos de opacos (hidróxido de ferro). Polarizadores cruzados, barra de escala= 0,200 mm.

Os anfibólios aparecem em maiores quantidades, como microfenocristais castanhos, fortemente pleocróicos, ou marrons. Os microfenocristais de nefelina têm formas retangulares, zoneamento concêntrico e normalmente aparecem alterados para analcima e zeólitas.

Pedreira - morro próximo ao Morro do Medeira

As amostras 91FN126, 91FN127, 91FN128, 91FN129, 91FN129a, 91FN130, 91FN131, 91FN132 e 91FN133, foram coletadas em uma pedreira próxima ao Morro do Medeira.

Tais fonólitos variam de cores cinza a cinza-esverdeada, alguns com manchas rosadas arredondadas, apresentando granulação bem mais grossa que as demais amostras. Possuem feldspatos de até 10mm e minerais máficos de até 5mm. No geral estas rochas são bem mais enriquecidas em feno e microfenocristais do que os outros fonólitos porfiríticos, constituindo até 40% das rochas.

A amostra 91FN133 difere das demais amostras desse morro, assemelhando-se aos fonólitos porfiríticos do Morro do Pico (foto 10).

Em escala microscópica, mostram *textura porfirítica a glomeroporfirítica* (glomérulos de minerais félsicos e máficos) e matriz traquítica. Essas rochas, quando comparadas com os fonólitos porfiríticos já descritos, caracterizam-se pela abundância de anfibólio entre os feno e microfenocristais, chegando até a 6% das rochas (foto 11).

Nesses fonólitos porfiríticos freqüentemente ocorrem dois tipos de anfibólios: um de tonalidade castanha, fortemente pleocróico e o outro de coloração marrom escura, fracamente pleocróico (foto 12), em seções basais ou alongadas, com as bordas corroídas, estando parcialmente ou quase que totalmente substituídos por pequenos cristais de opacos e clinopiroxênios.

Apesar de predominarem anfibólios com aspecto homogêneo, foram observados, em algumas amostras, fenocristais zonados com núcleo castanho e borda marrom escura.

Com relação aos feno e microfenocristais de clinopiroxênio e de minerais félsicos pouco pode-se acrescentar ao que foi mencionado, a não ser o fato de aparecem com dimensões maiores.



Foto 10: Aspecto geral da amostra 91FN133, fonólito porfirítico. Em destaque fenocristal de nefelina euhedral, branco, fraturado e microfenocristais de noseana aglomerados (a direita da nefelina). Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,357 mm.



Foto 11: Aspecto geral dos fonólitos porfiríticos da pedreira, amostra 91FN132. Observar a abundância de feno e microfenocristais da rocha. Nefelinas (Ne) e feldspatos alcalinos (F.A.) em branco, anfibólios marrom escuros e clinopiroxênios verdes escuros, em matriz orientada traquítica. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,357 mm

As análises modais dos fonólitos porfiríticos são apresentadas na tabela 4.

Além da quantidade de feno e microfenocristais e da granulação bem mais grossa, algumas amostras desta pedreira diferem das demais por conterem *xenocristais*. São estas as *amostras 91FN128, 91FN129, 91FN129a, 91FN130 e 91FN132*.

Na amostra 91FN128 foi identificado um megacristal de clinopiroxênio amarelado (foto 13), muito fraturado, com uma borda fina composta por clinopiroxênio verde. A suspeita de uma origem xenocristalina foi confirmada através da química mineral, caracterizando este grande cristal como um diopsídio com borda de salita.

Nas outras amostras foram identificados relictos de olivina, fraturados e, em parte, alterados para carbonatos e cloritas, bordejados por uma coroa de reação composta por diospídio, magnetita e flogopita. Cabe salientar que no trabalho de Vasconcellos (1995) também foram reconhecidos, em fonólitos, xenocristais de olivina serpentinizados, envolvidos por minerais opacos, piroxênio, anfibólio e biotita.

Na amostra 91FN129a foi identificado o maior relicto de olivina, dentre os estudados, parcialmente alterado para clorita (Ulbrich & Lopes 1996).

Esse relicto (foto 14) possui forma arredondada (2,4mm X 1,2mm), lembrando o aspecto de um ovo, contendo inclusões de opacos quadráticos e escassas inclusões fluidas. Nas bordas ocorrem agregados finos de filossilicatos verdes.

Ao redor deste relicto nota-se uma coroa, composta por duas faixas distintas. A primeira, *borda de reação da olivina*, é composta por uma zona interna com grãos de clinopiroxênios e opacos, formando uma estrutura simplectítica. Em direção a porção mais externa desta borda, diminuem os grãos opacos, dando lugar ao aparecimento de finas placas de mica castanha, intercrescidas com os clinopiroxênios. O contorno euhedral do xenocristal de olivina (limite da borda) está marcado pelo aparecimento de pequenos grãos opacos, normalmente agrupados.

O início da segunda faixa, *coroa externa*, é marcado pelo aparecimento de placas mais espessas de mica castanha escura, intercrescidas com anfibólio marrom e grãos opacos. Nas porções marginais dessa coroa aparecem junto aos anfibólios e micas, grãos opacos e clinopiroxênios verdes (foto 15).

Por ser difícil realizar análises modais nessas duas faixas, foi feita apenas uma estimativa percentual. O mineral mais abundante na borda de reação é o clinopiroxênio

(55-60%) seguido do opaco (20-25%) e da mica (20-25%). Na coroa predomina a mica (50-60%), com quantidades menores de clinopiroxênio (20-25%), opaco (15-20%) e anfibólio (\pm 5%).

Amostra	89FN71	89FN85	89FN86	89FN87	91 FN 88	91FN133
Localização	Enseada	Morro do	Morro do	Morro do	Morro do	Pedreira
	do Abreu	Pico	Pico	Pico	Pico	
Feno e microf.(%)	18,50	12,55	15,90	14,65	14,26	17,31
Feldspato Alcalino	5,70	5,83	7,80	6,00	7,50	7,49
Nefelina	2,36	1,00	2,00	0,94	1,61	1,24
Noseana	4,42	3,92	3,80	4,04	2,87	4,00
Clinopiroxênio	4,12	1,48	0,80	2,30	1,95	3,71
Anfibólio	1,37	tr	tr	tr	tr	tr
Opaco	tr	0,00	0,00	0,00	0,00	tr
Titanita	tr	tr	0,00	tr	0,00	tr
Zeólita	0,00	0,00	0,90	0,46	0,00	0,00
Matriz (%)	81,50	87,45	84,10	85,35	85,74	82,69
Feldspato Alcalino	57,78	57,54	58,17	63,21	53,92	56,90
Feldspatóide	4,38	15,12	13,09	11,45	17,64	16,40
Clinopiroxênio	18,83	14,32	12,72	10,31	13,45	8,19
Anfibólio	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Titanita	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Opacos	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 4: Análises modais dos fonólitos porfiríticos.

Amostra	91FN126	91FN127	91FN128	91FN129 a	91 FN 130	91FN132
Localização	Pedreira	Pedreira	Pedreira	Pedreira	Pedreira	Pedreira
Feno e microf.(%)	32,50	31,63	25,80	28,71	34,93	29,24
Feldspato Alcalino	12,78	16,12	13,20	12,74	15,97	12,53
Nefelina	1,40	1,39	1,00	3,60	5,00	3,80
Noseana	2,97	5,28	3,65	4,57	5,57	5,96
Clinopiroxênio	2,13	3,31	2,00	2,34	1,91	3,67
Anfibólio	5,10	4,47	4,80	4,87	6,00	2,97
Opaco	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Titanita	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Matriz (%)	67,50	68,37	74,20	71,29	65,07	70,76
Feldspato Alcalino	40,22	33,90	56,90	44,16	39,81	40,74
Feldspatóide	6,06	9,56	8,81	13,70	8,00	8,89
Clinopiroxênio	19,54	24,53	7,42	13,13	15,55	19,46
Anfibólio	0,00	0,00	0,00	0,00	tr	0,00
Titanita	tr	tr	tr	tr	tr	0,00
Opacos	1,46	tr	0,89	tr	tr	0,91
Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

microf. = microfenocristais; tr = traços (valores menores que 0,30%)



Foto 12: Microfenocristais de anfibólios, exibindo clivagem proeminente, parcialmente substituídos por microcristais de grãos de opacos e de clinopiroxênios verdes, observando-se a direita fenocristal de titanita castanha, euhedral (Ti) e clinopiroxênio verde. Amostra 91FN129, fonólito porfirítico, polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,333 mm.



Foto 13: Xenocristal de clinopiroxênio, amostra 91FN128, intensamente fraturado exibindo zoneamento (núcleo amarelado e borda verde) e fenocristal de noseana anhedral no canto esquerdo inferior da foto. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,333 mm.



Foto 14: Relicto de olivina (branco), amostra 91FN129a, apresentando borda e coroa de reação no contato com o fonólito porfirítico. O contorno externo da borda de reação marca os limites idiomórficos do cristal original. A coroa desenvolve-se entre a borda de reação e a matriz do fonólito. Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,357 mm.



Foto 15: Detalhe da foto 14. Olivina (branca, parte superior esquerda) mostrando inclusão euhedral de opaco e fraturas preenchidas por cloritas. Notar zoneamento na borda de reação: parte interna em contato com olivina rica em opacos e parte externa rica em finas placas de micas castanhas; limite entre borda e coroa marcado pelo aparecimento de placas mais espessas de micas marrons. Matriz do fonólito (canto inferior direito). Polarizadores paralelos, filtro azul, barra de escala= 0,200 mm.

Quadro 1 : Descrições sucintas das amostras de fonólitos estudados.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
89FN4a Baía de Sueste	Rocha fresca, esverdeada, holocristalina, maciça, muito fina com fenocristais ripiformes e tabulares de feldspato alcalino (2-3mm).	Fonólito afírico . Textura traquítica. Feno e microfenocristais subhedrais tabulares de feldspato alcalino reabsorvidos (máximo 3,5mm) e euhedrais de nefelina (1mm); microfenocristais de cpx castanho com borda verde (zoneamento do tipo ampulheta), de titanita, de opacos e de noseana (glomérulo) em matriz orientada, muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde microcristalino e opaco. Alterações: carbonatos e zeólitas ao longo das fraturas dos fenocristais e da rocha, além de manchas marrons (material vítreo ?).
FN6 Baia de Sueste	Rocha fresca, esverdeada, holocristalina, maciça, muito fina com fenocristais tabulares de feldspato alcalino de até 1mm.	Fonólito afírico . Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino subhedrais tabulares reabsorvidos (máximo 1mm) e microfenocristais de nefelina euhedral (hexagonal e retangular) às vezes zonados (borda de analcima) em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal, sodalita (?) e cpx verde (prismas longos com aspecto de feltro). Alterações: carbonatos e zeólitas ao longo das fraturas da rocha e manchas marrons (material vítreo ?).
FN6a Baía de Sueste	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, maciça, muito fina, com manchas róseas arredondadas de até 6mm de diâmetro.	Fonólito afírico . Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares, reabsorvidos (máximo 1mm) e microfenocristais de noseana; em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular e cpx verde (pequenos cristais prismáticos curtos agrupados). Alterações: manchas marrons (material vítreo?).
FN34 Baía de Sueste	Rocha fresca, esverdeada, holocristalina, com agregados de cpx orientados e fenocristais de feldspato alcalino (1mm).	Fonólito afírico. Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (máximo 1mm) deformados e microfenocristais de sodalita (subhedrais-anhedrais) em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, sodalita arredondada e cpx verde (prismas longos em agregados com aspecto de feltro). Alterações: carbonatos e zeólitas e manchas marrons (material vítreo ?).

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
89FN46 Morro do Meio	Rocha fresca, acinzentada, holocristalina, muito fina, maciça, com manchas rosadas e fenocristais de feldspato alcalino (1-5mm)	Fonólito afírico. Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (máximo 5mm) deformados, corroídos; microfenocristais (glomérulos) de nefelina e sodalita (subhedral a anhedral) em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, sodalita quadrática ou arredondada, cpx verde (prismas longos em agregados com aspecto de feltro) e opaco. Alterações: carbonatos nas fraturas das nefelinas e manchas marrons (material vítreo ?).
89FN47 Morro do Meio	Rocha fresca, cinza esverdeada, holocristalina, maciça, muito fina com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (1mm) e fraturas com zeólitas.	Fonólito afírico . Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares, corroídos, deformados, com inclusões aciculares de apatita; microfenocristais de nefelina retangular zonada (borda de analcima), de anfibólio marrom (bordejado por cpx verde microcristalino) e de cpx verde (prismas longos); em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde (prismas curtos) e titanita lenticular castanha. Alterações: manchas marrons (material vítreo ?), carbonatos e zeólitas nas fraturas dos fenocristais.
89FN64 Morro do Forte	Rocha fresca, esverdeada, holocristalina, com agregados de cpx orientados e fenocristais de feldspato alcalino (2mm).	Fonólito afírico . Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (máximo 2mm), corroídos, deformados, alguns com aspecto denteado e formas triangulares; microfenocristais de cpx verde aglomerados com titanita; em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde (prismas longos aglomerados com aspecto de feltro) e titanita. <i>Xenocristal</i> de cpx castanho (0,5mm) corroído, bordejado por pequenos grãos de cpx verde da matriz. Alterações: carbonatos e zeólitas nas fraturas da rocha.
89FN65 Morro do Forte	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, orientada, com agregados de minerais máficos e fenocristais de feldspato alcalino (4mm).	Fonólito afírico . <i>Textura traquítica</i> . Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (2mm), muito deformados, com inclusões fluidas, bordas reabsorvidas (aspecto denteado), zeolitizados (?), em matriz muito fina, orientada, inequigranular de feldspatos alcalinos ripiformes, nefelina hexagonal e retangular e cpx verde predominantemente como agregado microcristalino. <i>Alterações</i> : carbonatos nas microfraturas dos fenocristais e manchas marrons.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
89FN66 Morro do Forte	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, maciça, com manchas róseas arredondadas; fenocristais de feldspato alcalino (1mm) e fraturas preenchidas por zeólitas.	Fonólito afírico . Textura traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (1mm a 3mm), deformados, fraturados, bordas corroídas, alguns com formas triangulares, com inclusões aciculares de cpx verde e microfenocristais de nefelina retangular; em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino subhedral ripiforme, nefelina subhedral hexagonal ou retangular, sodalita quadrática, cpx verde (prismas longos em agregados com aspecto de feltro), opaco e titanita. Alterações: carbonatos nas fraturas dos fenocristais e da rocha.
89FN71 Enseada do Abreu	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, estrutura fluidal, com fenocristais tabulares e ripiformes de feldspato alcalino (de até 4mm) e de minerais máficos (de até 2mm).	Fonólito porfirítico. Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (fenocristais de 1mm a 5mm), deformados, fraturados, bordas corroídas; feno e microfenocristais de nefelina (até 1,5mm), hexagonais e retangulares, alterados (analcima, zeólitas); feno e microfenocristais de cpx, prismas curtos e longos, zonados (núcleo castanho com borda verde ou núcleo castanho com borda marrom de anfibólio), isolados ou aglomerados; feno e microfenocristais de noseana, anhedrais a anhedrais, bordejados por cpx verde; microfenocristais de noseana, anhedrais arredondados a subhedrais (1mm), aglomerados, com núcleo rico em inclusões de opaco; microfenocristais de opaco, euhedrais quadráticos (1mm) com alterações amareladas (hidróxido de ferro); em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde (prismas curtos e longos), titanita lenticular castanha rosada e opaco anhedral.
89FN85 e 85a Morro do Pico / Praia do Boldró	Rocha acinzentada, holocristalina, estrutura maciça, com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (3mm a 5mm) e de minerais máficos de até 1mm.	Fonólito porfiritico . <i>Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica</i> . Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 5mm) isolados ou agregados, deformados, fraturados, bordas corroídas gerando formas triangulares, com inclusões fluidas (pseudo-secundárias ?); microfenocristais de nefelina (glomérulos); feno e microfenocristais de noseana anhedral arredondada (até 1,5mm), aglomerados ou isolados, com opacos inclusos; feno e microfenocristais de cpx verdes e castanhos (prismas com até 1,5mm); microfenocristais de anfibólio marrom, corroídos, fraturados, bordejados por grãos de cpx verde; microfenocristais lenticulares de titanita castanha rosada; em matriz muito fina, orientada, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular ou hexagonal, cpx verde, opaco e titanita. Alterações: zeólitas e carbonatos ao longo das fraturas da rocha e manchas marrons.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
89FN86 Morro do Pico / Praia do Boldró	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, maciça, com fenocristais de feldspato alcalino (2mm a 5mm) e de minerais máficos (até 2mm).	Fonólito porfirítico . Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino, tabulares (1,5mm a 5mm), bordas corroídas, deformados, fraturados (preenchidos por carbonatos); feno e microfenocristais de nefelina hexagonal e retangular (até 1mm); feno e microfenocristais de cpx (até 1,5mm), verdes e castanhos zonados (núcleo castanho borda verde); raros microfenocristais de anfibólio marrom e titanita; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina subhedral hexagonal ou retangular, cpx verde (prismas curtos), opaco e titanita. Alterações: carbonatos e zeólitas (produto de alteração dos feldspatos e nefelinas).
89FN87 Morro do Pico / Praia do Boldró	Rocha acinzentada, holocristalina, maciça, com fenocristais de feldspato alcalino (3mm a 6mm), minerais máficos (1- 2mm) e de nefelina hexagonal (3mm).	Fonólito porfirítico. Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino (2mm a 4mm) subhedrais tabulares, às vezes zonados, bordas corroídas, microfissurados; feno e microfenocristais de nefelina (com até 3mm) hexagonais ou retangulares, dispersos ou aglomerados; fenocristais de cpx (1,5mm) zonados (núcleo castanho-borda verde) e microfenocristais verdes (prismas longos); feno e microfenocristais de anfibólio marrom, subhedrais a anhedrais, principalmente seções basais, reabsorvidos, bordejados por grãos de cpx verde e de opacos; glomérulos de feno e microfenocristais de noseana (até 2mm) subhedrais a anhedrais arredondados, bordas reabsorvidas, núcleos ricos em inclusões de opacos; microfenocristais de titanita lenticular, isolados ou associados aos cpx; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde (prisma curto a longo), opaco e titanita.
91FN88 Morro do Pico / Praia do Boldró	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, maciça, com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (2mm a 6mm) esbranquiçado e de minerais máficos (até 2mm).	Fonólito porfirítico . Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 5mm), fraturados, deformados; feno e microfenocristais de nefelina, subhedrais hexagonais e retangulares (até 3mm), fraturados; fenocristais de cpx castanho (até 1,5mm), com zoneamento do tipo ampulheta (bordas verdes), aglomerados com microfenocristais de titanita castanho rosada e opaco quadráticos; microfenocristais de cpx verde (prismas longos); feno e microfenocristais de anfibólio marrom (até 1,5mm), euhedrais a subhedrais predominando seções basais, bordejados por grãos de cpx verde e de opaco; microfenocristais de noseana, subhedrais a anhedrais arredondados, com inclusões de opacos; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde, opaco e titanita. Alterações: zeólitas e carbonatos ao longo das fraturas dos fenocristais de feldspato alcalino e nefelina.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
91FN89 Morro do Pico / Praia do Boldró	Rocha pouco alterada, cinza a marrom, holocristalina, contendo manchas cinza redondas, fenocristais de feldspato alcalino e de feldspatóide (hexagonal-arredondado).	Fonólito porfirítico . Textura porfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 3mm), bordas corroídas (alguns com formas triangulares), muito deformados, fraturados; microfenocristais de nefelina, reabsorvidos (normalmente como glomérulos); feno e microfenocristais de cpx verde, prismáticos alongados, com opaco anhedral e titanita lenticular associados e microfenocristais de anfibólio marrom, bordejados por grãos de cpx verde, com inclusão de apatita e opaco; microfenocristais aglomerados de noseana, subhedrais a anhedrais, muito corroídos, núcleo com opaco incluso, gerando alteração marrom alaranjada (hidróxido de ferro); em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal ou retangular, cpx verde (prismas curtos e longos), titanita, opaco e anfibólio.
91FN89a Morro do Pico / Praia do Boldró	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, com fenocristais de feldspato alcalino e de feldspatóides.	Fonólito porfirítico. Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 3mm), deformados, fraturados, bordas corroídas, com inclusões fluidas (pseudo secundárias); feno e microfenocristais de nefelina, retangulares ou hexagonais (até 2 mm), fraturados (preenchimento por zeólitas e carbonatos); feno e microfenocristais de cpx verde (prismas curtos e longos) e castanho, zonado (borda verde), com até 1mm, dispersos ou agregados com opaco quadrático a anhedral e titanita lenticular associados; feno e microfenocristais de anfibólio marrom, subhedrais a anhedrais arredondados, reabsorvidos, bordejados por grãos de cpx verde e opacos, com inclusões de titanita; feno e microfenocristais de noseana (até 1,5mm), aglomerados, anhedrais arredondados a subhedrais, núcleo com inclusões de opacos (alguns dispostos ortogonalmente); em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal a arredondada ou retangular, cpx verde (prismas curtos e longos), opaco e titanita.

.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
91FN126 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza escura, holocristalina, maciça, com fenocristais de até 5mm de feldspatos tabulares e de até 2mm de minerais máficos.	Fonólito porfirítico. Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 4mm) bordas corroídas, deformados, fraturados; feno e microfenocristais de nefelina (até 2mm), hexagonais ou retangulares, bordas corroídas, com carbonatos e zeólitas nas fraturas; feno e microfenocristais de cpx verde (prismas longos) e de cpx castanho, zonado (núcleo castanho-borda verde), com até 1,5mm, isolados ou aglomerados com titanita associada; feno e microfenocristais de cpx verde anfibólio marrom (até 1,5mm), subhedrais seções basais e alongadas, bordejados por microcristais de cpx verde e opaco, isolados ou aglomerados, com inclusões de opaco; feno e microfenocristais de noseana (até 15mm), anhedrais arredondados, aglomerados, com inclusões de opaco (ortogonais); em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular, cpx verde (prismas curtos e longos), titanita e opaco. Alterações: carbonatos e zeólitas.
91FN127 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza esverdeada, orientada, com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (até 7mm) e agregados de minerais máficos (até 2mm).	Fonólito porfirítico . Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino (até 8mm), subhedrais tabulares, deformados, fraturados, alguns zonados, bordas corroídas, isolados ou agregados; feno e microfenocristais de nefelina (até 2,5mm), euhedrais a subhedrais retangulares, alterando-se para carbonatos ou zeólitas; feno e microfenocristais de cpx verde e castanho (até 2 mm), seções basais euhedrais, zonados (núcleo castanho-borda verde), isolados ou aglomerados; feno e microfenocristais de anfibólio marrom (até 1,5mm), subhedrais seções basais e alongadas, com inclusões de opacos e apatita, bordejados por grãos de cpx verde e de opaco, isolados ou aglomerados; feno e microfenocristais de noseana (até 2mm), anhedrais a subhedrais, aglomerados, com inclusões de opaco (dispostas ou não ortogonalmente); microfenocristais subhedrais de titanita castanha e de opaco quadrático; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina hexagonal, cpx verde e opaco.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
91FN128 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, orientada, com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (até 10mm) e de minerais máficos, prismáticos alongados e aglomerados (até 5mm).	Fonólito porfirítico . Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 5 mm), reabsorvidos, deformados, fraturados, contendo ou não inclusões fluidas; feno e microfenocristais de nefelina (até 1 mm), fraturados, alterando-se para carbonatos; fenocristais de cpx verde e castanho zonado (núcleo castanho-borda verde) e microfenocristais de cpx verde (prismas longos) isolados ou com opaco e titanita lenticular associados; feno e microfenocristais de anfibólio marrom escuro e de anfibólio marrom claro (com até 2,5mm), subhedrais a anhedrais, alguns zonados (núcleo marrom escuro e borda castanha), reabsorvidos, isolados ou agregados, com inclusões de opaco, apatita e titanita, bordejados por grãos de cpx verde e opaco; feno e microfenocristais de noseana (até 1,5 mm), anhedrais a subhedrais, isolados ou aglomerados, com inclusões de opaco; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular ou hexagonal, cpx verde (prismas longos e curtos), titanita e opaco. Presença de um megacristal de cpx (3mm) amarelo, zonado (borda verde), fraturado (xenocristal?).
91FN129 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza clara, holocristalina, com manchas arredondondas, orientada, com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (até 9mm) e de minerais máficos prismáticos alongados (até 5mm).	Fonólito porfirítico . <i>Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica</i> . Feno e microfenocristais de feldspato alcalino (até 5mm), tabulares, bordas corroídas, fraturados, zonados, pouco a muito deformados, isolados ou agregados; feno e microfenocristais de nefelina, retangulares ou hexagonais (até 5mm) normalmente aglomerados, alterando-se para zeólitas e carbonatos; fenocristais de cpx (até 2mm) verde e castanho, zonado (núcleo castanho-borda verde), com inclusões aciculares de apatita e opaco e microfenocristais verdes prismáticos alongados; feno e microfenocristais de anfibólio marrom (até 1mm), subhedrais a anhedrais arredondados, bordas reabsorvidas, isolados ou aglomerados, com inclusões de opacos e apatita, bordejados por grãos de cpx verde e de opaco; feno e microfenocristais de inscena (até 1mm), anhedrais arredondados, aglomerados, com inclusões de opaco; feno e microfenocristais de titanita (até 2mm), euhedrais-subhedrais, isolados ou agregados; em matriz muito fina, inequigranular de feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular, cpx verde e opaco. Xenocristal de olivina (relicto alterado para carbonato e argilo minerais) com borda de reação (cpx, opaco e mica) e coroa (mica, anfibólio, cpx verde e opaco).

.....

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
91FN129a Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza esverdeada, holocristalina, orientada, com fenocristais de feldspato alcalino tabulares (até 9mm) e de minerais máficos prismáticos (até 3mm).	Fonólito porfirítico. Textura porfirítica a glomeroporfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino, subhedrais tabulares (até 7mm), fraturados (carbonatos nas microfissuras), bordas reabsorvidas, mutito deformados; feno e microfenocristais de nefelina (até 2mm), hexagonais ou retangulares, aglomerados; fenocristais de cpx verde e castanho, zonado (núcleo castanho-borda verde), prismáticos, com até 2mm, isolados ou com titanita castanha lenticular e opaco associados; microfenocristais de cpx verde prismáticos alongados; feno e microfenocristais de anfibólio marrom, anhedrais arredondados a euhedrais (até 4mm), aglomerados ou isolados, com inclusões de titanita, cpx verde e opaco, bordejados pelos dois últimos; microfenocristais de noseana, agregados, com inclusões de opaco; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular ou hexagonal, cpx verde (prisma curto ou longo), titanita e opaco. Xenocristais de olivina (relicto de aproximadamente 1,5mm) com borda de reação (cpx, opaco e mica) e coroa (mica, anfibólio, cpx verde e opaco).
91FN130 Pedreira Morro próximo ao Morrro do Medeira	Rocha cinza, holocristalina, pouco orientada, com fenocristais de feldspato alcalino tabulares de até 8mm e de minerais máficos prismáticos alongados a arredondados com até 5mm.	Fonólito porfirítico. Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino (até 5mm), subhedrais, bordas reabsorvidas, deformados, intensamente fraturados; feno e microfenocristais de nefelina (até 1,5mm), hexagonais ou retangulares, reabsorvidos, isolados ou aglomerados; fenocristais de cpx castanho (até 1,5mm), zonados (borda verde), bordas reabsorvidas, com inclusões de opaco e titanita; microfenocristais de cpx verde (prismas longos) e castanho (prismas curtos) zonado (anfibólio na borda) como glomérulos; feno e microfenocristais de anfibólio marrom, com até 1,5mm, subhedrais a anhedrais, com inclusões de opaco, apatita e titanita, bordejados por grãos de cpx verde; microfenocristais de noseana, anhedrais arredondados a subhedrais, reabsorvidos, isolados ou agregados, com inclusões de opaco e titanita. Presença de relictos de olivina quase que totalmente substituídos por borda de reação e coroa.

AMOSTRA LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
91FN131 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza esverdeada, orientada, com fenocristais de feldspato alcalino, tabulares com até 3mm e de minerais máficos com até 2mm.	Fonólito porfirítico. Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino, tabulares (até 3,5 mm), pouco a muito fraturados (com preenchimento por carbonatos), bordas reabsorvidas, zonados ou não, isolados ou aglomerados; feno e microfenocristais de nefelina hexagonais ou retangulares, com até 2,5 mm, alterando-se para carbonatos; fenocristais de cpx castanho, zonados (núcleo castanho-borda verde) com até 1,5 mm, bordas reabsorvidas, isolados ou aglomerados com titanita lenticular e opaco quadrático; microfenocristais de cpx verde, isolados (prismas longos) e castanho (prismas curtos) agregados; feno e microfenocristais de anfibólio marrom (até 1mm), isolados ou aglomerados, anhedrais a subhedrais (seções alongadas e basais), pouco a muito reabsorvidos, bordejados por grãos de cpx verde e de opaco, com inclusões de opaco, apatita e titanita; microfenocristais de noseana, anhedrais a subhedrais, isolados ou agregados, núcleo com inclusões de opaco; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular, cpx verde, opaco e titanita.
91FN132 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza esverdeada, orientada, com fenocristais de feldspato alcalino, tabulares com até 7mm e de minerais máficos com até 3mm.	Fonólito porfirítico. Textura glomeroporfirítica - matriz traquítica. Fenocristais de feldspato alcalino subhedrais tabulares (até 5mm) zonados, muito a pouco deformados, fraturados (preenchimento por carbonatos), bordas corroídas; feno e microfenocristais de nefelina (até 2mm), subhedrais a anhedrais hexagonais ou retangulares, isolados ou aglomerados; fenocristais de cpx verde e castanho com até 2mm, subhedrais prismáticos; microfenocristais de cpx verde (prismas longos) e castanho (zonado com borda verde), isolados, agregados com titanita e opaco associados; feno e microfenocristais de cpx verde, com opaco e apatita inclusos; feno e microfenocristais de noseana (até 2mm), anhedrais arredondados, aglomerados com os núcleos ricos em inclusões de opaco; fenocristais de titanita euhedrais, castanhos com até 2,5mm; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular, cpx verde, titanita e opaco. Xenocristais de oliva intensamente fraturados, alterando-se para carbonatos com opaco e cpx verde).

AMOSTRA	DESCRIÇÃO	DESCRIÇÃO
LOCALIZAÇÃO	MACROSCÓPICA	MICROSCÓPICA
91FN133 Pedreira Morro próximo ao Morro do Medeira	Rocha cinza esverdeada, orientada, holocristalina, com fenocristais de feldspato alcalino tabulares de até 5mm e de minerais máficos (até 3mm).	Fonólito porfirítico . Textura porfirítica - matriz traquítica. Feno e microfenocristais de feldspato alcalino subhedrais tabulares (até 4mm) intensamente deformados, com as bordas corroídas, muito fraturados; microfenocristais de nefelina, hexagonais ou retangulares; microfenocristais de cpx verde, prismas longos, isolados ou aglomerados com titanita e opaco; raros microfenocristais de anfibólios, bordas reabsorvidas, anhedrais, com inclusões de titanita, apatita, opaco e cpx, bordejados por grãos de cpx verde; feno e microfenocristais de noseana, subhedrais a anhedrais, reabsorvidos, agregados com inclusões de opaco no núcleo; em matriz muito fina, inequigranular de: feldspato alcalino ripiforme, nefelina retangular ou hexagonal, cpx verde (prismas longos), titanita e opaco.

5- QUÍMICA MINERAL

Os dados químicos dos minerais foram obtidos em amostras representativas dos fonólitos afíricos do Grupo I (89FN47) e do Grupo II (89FN46 e 89FN66) e dos fonólitos porfiríticos (89FN71, 89FN86, 91FN89, 91FN89a, 91FN128, 91FN129, 91FN129a, 91FN130 e 91FN131).

A microssonda eletrônica forneceu os resultados das análises químicas dos minerais sob a forma de óxidos e cátions (calculados de acordo com o número de oxigênios por unidade de fórmula estrutural), sem diferenciar a valência do ferro (todo o ferro analisado é expresso como Fe²⁺).

A determinação da proporção atômica de Fe^{3+} e do teor de Fe_2O_3 dos clinopiroxênios e anfibólios foi feita através do programa de informática PAPIKE (elaborado por Sílvio R. F. Vlach, baseando-se no cálculo proposto por Papike *et al.* 1974).

Além desse programa foi também utilizado o MINFILE versão 4.0 para se obter o teor de Fe₂O₃ dos minerais opacos e para calcular o teor de H₂O dos anfibólios.

Os diagramas apresentados a seguir foram elaborados através de programas de informática, utilizando na construção o número de átomos por unidade de fórmula (a.u.f.) ou as porcentagens molares (mol %).

5.1- MINERAIS MÁFICOS

CLINOPIROXÊNIOS

Os clinopiroxênios dos fonólitos afíricos são verdes, pleocróicos e aparecem predominantemente na matriz, como prismas curtos ou agregados microcristalinos (amostra 89FN47 - Grupo I) e como prismas longos, agregados com aspecto de feltro (amostra 89FN66 - Grupo II).

Os clinopiroxênios dos fonólitos porfiríticos variam de verdes pleocróicos a castanhos. Os de tonalidade verde aparecem na matriz como prismas curtos, como microfenocristais prismáticos alongados, que às vezes confundem-se com os cristais da matriz e também como fenocristais. Os castanhos ocorrem como microfenocristais e

fenocristais, normalmente zonados (aparecimento de clinopiroxênio verde ou anfibólio nas bordas), isolados ou aglomerados.

Por não possuirem diferenças significativas na composição química, os feno e microfenocristais verdes foram tratados como um grupo único, condição também adotada para os núcleos e zonas intermediárias castanhas. As bordas verdes dos feno e microfenocristais zonados que possuem núcleos ou zonas intermediárias castanhas, foram tratadas como um grupo a parte.

Na amostra 91FN128 (fonólito porfirítico) além dos tipos descritos foi encontrado um megacristal de clinopiroxênio com núcleo amarelado e borda verde, considerado como um xenocristal e portanto discutido separadamente dos demais, no ítem xenocristais.

As análises químicas dos clinopiroxênios são apresentadas após a interpetração dos dados (tabela 5).

Análise da confiabilidade dos dados.

Após a determinação de Fe³⁺ com base em 6 átomos de oxigênio, as análises químicas foram submetidas a testes, com o propósito de confirmar a qualidade das mesmas.

Para tanto foi adotado o procedimento de Cameron e Papike (1981), que visa verificar a confiabilidade de análises químicas cuja soma dos óxidos é igual ou próxima a 100%, através dos seguintes testes:

1) Somatória de Si + AI^{IV} = 2,00 ± 0,02.

2) Somatória dos cátions da posição octaédrica > 0,98.

3) M2= 1,00 \pm 0,02.

4) Equação do balanço de carga ($^{VI}AI + {}^{VI}Fe^{+3} + {}^{VI}Cr^{+3} + 2{}^{VI}Ti^{+4} = {}^{IV}AI + {}^{M2}Na$), balanceada em ± 0,03.

Deve ser lembrado que o Programa PAPIKE realiza os mesmos testes, fornecendo uma estimativa da qualidade das análises, boas ou ruins, em função dos resultados dos mesmos.

Estrutura e Química dos Piroxênios

O diopsídio foi o primeiro piroxênio a ter sua estrutura determinada (Warren & Bragg 1928: *in Deer et al. 1978*). Com base neste estudo os autores estabeleceram que os piroxênios possuem como estrutura essencial, a união de tetraedros de SiO₄ que compartilham dois dos quatro vértices formando cadeias contínuas de (SiO₃)_n. Estas cadeias estão ligadas lateralmente por cátions (Ca, Na, Mg, Fe etc) cujas posições, classificadas como M₁ (Al³⁺, Fe³⁺, Ti⁴⁺, Cr³⁺, V³⁺, Ti³⁺, Zr⁴⁺, Sc³⁺, Zn²⁺) e M₂ (Mg²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Li⁺, Ca²⁺, Na⁺) situam-se respectivamente entre os ápices e as bases da cadeia de SiO₃.

A fórmula química geral dos piroxênios, foi proposta por Berman (1937) e modificada por Hess (1949): *in Deer et. al. (1978),* como sendo:

 $(W)_{1-p}(X, Y)_{1+p}Z_2O_6$ na qual:

W= Ca,Na X= Mg, Fe⁺², Mn, Li Y= Al, Fe⁺³, Cr, Ti Z= Si, Al

p= aproximadamente 1 e Y relativamente baixo na série dos piroxênios ricos em Mg e Fe.

Com p= aproximadamente 0 e Y relativamente baixo nos diopsídios.

Com p= aproximadamente 0 e X relativamente baixo nas egirinas.

Com p= aproximadamente 1 nos espodumênios.

Morimoto (1988), apresenta uma fórmula química geral (por unidade de fórmula) para todos os piroxênios baseando-se nas posições M1, M2 e T. Esta fórmula é expressa como:

 $M2M1T_2O_6$ na qual:

M2 refere-se aos cátions que ocupam as posições octaédricas geralmente irregulares.

M1 refere-se aos cátions que ocupam as posições octaédricas geralmente regulares.

T refere-se aos cátions que ocupam a posição tetraédrica.

Classificação e Nomenclatura.

A Comissão de Novos Minerais e Nomes de Minerais da Internatioanal Mineralogical Association - IMA (Morimoto 1988) indica o uso do diagrama Q-J para classificação preliminar de piroxênios. Nesse diagrama são apresentados quatro grupos químicos de piroxênios: Quad que representa os piroxênios de Ca-Mg-Fe; Ca-Na os piroxênios cálcico-sódicos; Na os piroxênios sódicos e outros os demais piroxênios. A classificação dos piroxênios nesse diagrama é feita utilizando o valor total dos cátions específicos na posição M (M1 e M2) com base em 6 oxigênios. Os valores dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e Na^+ da posição M são lançados no diagrama como: Q= Ca+Mg+ Fe^{2+} e J= 2 Na.

A figura 3 mostra a classificação dos clinopiroxênios estudados, segundo o diagrama Q-J. No diagrama A aparecem os dados dos fonólitos afíricos dos grupos I e II e no diagrama B os da matriz dos fonólitos porfiríticos.

Analisando os dois diagramas (A e B) verifica-se que uma das amostras dos fonólitos afíricos destaca-se das demais. Os cristais dessa (89FN66 - Grupo II) representam, entre os clinopiroxênios analisados, os mais evoluídos, pois encontram-se no campo dos piroxênios sódicos, enquanto que os cristais da amostra 89FN47 (fonólito afírico do Grupo I) e os dos fonólitos porfiríticos aparecem no campo dos cálcico-sódicos e dos Ca-Mg-Fe.

Os dados dos feno e microfenocristais de clinopiroxênios dos fonólitos porfiríticos, também foram lançados no diagrama QJ (figura 4). Nessa figura nota-se que os clinopiroxênios analisados restringem-se ao campo dos Ca-Mg-Fe e que existe uma clara distinção quanto ao teor de sódio: menor nos feno e microfenocristais castanhos e maior nas bordas verdes dos mesmos e nos feno e microfenocristais verdes.

Após a classificação preliminar dos dados (diagrama QJ), a *IMA* (Morimoto 1988) propõe que os piroxênios cálcico-sódicos e sódicos sejam lançados no diagrama de classificação e nomenclatura Q-Jd-Ae e que os piroxênios de Ca-Mg-Fe sejam lançados no diagrama Wo-En-Fs.

A figura 5 apresenta a classificação e nomenclatura dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos (amostras 89FN66 - Grupo II e 89FN47 - Grupo I; diagrama A) e da matriz dos fonólitos porfiríticos (91FN89, 91FN89a e 91FN128; diagrama B), segundo o diagrama Q-Jd-Ae. Nessa figura, os clinopiroxênios do fonólito afírico do Grupo II, encontram-se no campo das egirinas, ao passo que os das demais amostras (fonólito afírico do Grupo I e matriz dos fonólitos porfiríticos) aparecem no campo das egirina-augitas.

Os clinopiroxênios de Ca-Mg-Fe (figura 6) do fonólito afírico do Grupo I (amostra 89FN47), da matriz dos fonólitos porfiríticos (91FN89a e 91FN129) e dos feno e



Quad: grupo dos piroxênios do quadrilátero CaMg - CaFe²⁺ - Mg - Fe²⁺ Ca-Na: grupo dos piroxênios cálcico-sódicos Na: grupo dos piroxênios sódicos

A

fonólitos afíricos ∆ Grupo II (am. 89FN66) ∆ Grupo I (am. 89FN47)

В

matriz fonólitos porfiríticos ▲ amostras: FN89, FN89a, 91FN128 e 91FN129

Figura 3: Classificação dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos e porfiríticos (matriz) no diagrama QJ (Morimoto, 1988).





Figura 4: Classificação dos feno e microfenocristais de clinopiroxênios, dos fonólitos porfiríticos, segundo o diagrama QJ (Morimoto, 1988). Para maiores informações ver texto.



Figura 5: Classificação e nomenclatura dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos (A) e porfiríticos (B) no diagrama Q-Jd-Ae (Morimoto, 1988).

∆ fonólito afírico grupo I (am. 89FN47)

▲ matriz fonólitos porfiríticos FN89a e 91FN129	Wo =Ca (auf %)				
	En = Mg (auf %)				
feno e microfenocristais	Fs = Fe ²⁺ +Fe ³⁺ +Mn (auf %)				
núcleos e zonas intermediárias castanhas	1 = salita				
+ bordas verdes	2 = ferrossalita				
verdes (homogêneos)					



Figura 6: Classificação e nomenclatura dos clinopiroxênios dos fonólitos no diagrama Wo-En-Fs (Deer *et al.,* 1978).

microfenocristais dos fonólitos porfiríticos, foram lançados no diagrama Wo-En-Fs de Deer *et al.* (1978). As amostras 89FN47 (fonólito afírico do Grupo I), 91FN89a e 91FN129 (matriz de fonólitos porfiríticos) aparecem no campo da ferrossalita; os feno e microfenocristais verdes nos campos da ferrossalita e da salita; os feno e microfenocristais com núcleo castanhos no campo da salita e as suas bordas verdes nos campos da ferrossalita e da salita; os feno e

Cabe comentar que a escolha do diagrama Wo-En-Fs de Deer *et al.* (1978), ao invés do proposto pela *IMA* (Morimoto 1988), foi feita porque esse caracteriza melhor a relação Mg/Fe nos clinopiroxênios ricos em Ca, mantendo os termos salita e ferrossalita, inexistentes na classificação mais nova. Tal opção também foi considerada no trabalho de Maríngolo (1995), o qual estuda os diques máficos e ultramáficos de Fernando de Noronha.

O *IMA* (Morimoto 1988) recomenda o uso de adjetivos modificadores, junto a nomenclatura dos minerais, para indicar o enriquecimento em determinados elementos. A utilização destes adjetivos nos grupos estudados permitiu identificar os seguintes clinopiroxênios:

- Amostra 89FN66 (fonólito afírico do Grupo II): egirina e egirina com Ti.

- Amostra 89FN47 (fonólito afírico do Grupo I) e matriz dos fonólitos porfiríticos: ferrossalita com Na e egirina-augita.

- Feno e microfenocristais verdes: salita, salita com Na, ferrossalita e ferrossalita com Na.

- Feno e microfenocristais castanhos (núcleos e zonas intermediárias): salita e salita com Ti.

- Bordas verdes dos feno e microfenocristais castanhos: salita com Na e ferrossalita com Na.

Diagramas de Variação

Para mostrar a diversidade química dos clinopiroxênios dos fonólitos estudados, foram construídos diagramas de variação de elementos (proporções atômicas de Si, AI^{IV} , AI^{VI} , Ti, Fe³⁺, Fe²⁺, Mn, Ca e Na, calculadas com base em 6 oxigênios) em função do valor de *mg#* = [Mg/(Mg+Fe²⁺)×100%], figura 7.



Figura 7: Diagramas de variação dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos (grupos I e II) e porfiríticos. Elementos em função de mg#, sendo mg# = [Mg/(Mg+Fe²⁺)x100].

As salitas e salitas com Ti castanhas que apresentam bordas verdes de salita e ferrossalita com Na, mostram enriquecimento em Si, Fe^{2+} e Na e empobrecimento em Al^{IV} e Ti, com decréscimo do *mg*#.

Tal relação também é observada na maior parte das análises dos feno e microfenocristais verdes (salitas, salitas com Na, ferrossalitas e ferrossalitas com Na), da matriz dos fonólitos porfiríticos e do fonólito afírico do Grupo I, amostra 89FN47 (ferrossalitas com Na e egirina-augitas).

Os clinopiroxênios da amostra 89FN66, fonólito afírico do Grupo II, (egirinas e egirinas com Ti), praticamente não apresentam Al^{IV} e são muito mais enriquecidos em Na e Fe³⁺ e empobrecidos em Ca e Fe²⁺, do que os demais. Quando analisados isoladamente, mostram diferenças significativas nos teores de Ti e Al^{VI}.

Com relação ao Mn, apesar de não ter sido determinado em todas as análises, pode se dizer que existe uma correlação linear positiva com o descréscimo do *mg*#, excetuando-se os clinopiroxênios da amostra 89FN66, empobrecidos em Mn quando comparados com os do fonólito afírico do Grupo I e com os da matriz dos fonólitos porfiríticos.

Comparação dos clinopiroxênios estudados com os de outros complexos alcalinos

O trabalho de Macciota *et al.*, (1990), apresenta dados dos piroxênios do complexo alcalino de Fortaleza - Ceará. Através do diagrama Na - Mg - (Fe²⁺+Fe³⁺+Mn-Na), estabelece comparações com outros complexos alcalinos (Uganda, Iron Hill, Piratini).

A comparação dos clinopiroxênios dos fonólitos afíricos e porfiríticos da Formação Remédios de Fernando de Noronha, com as rochas alcalinas destes complexos, foi feita através do uso do diagrama Na - Mg - (Fe²⁺+Fe³⁺+Mn-Na), figura 8. Os clinopiroxênios dos fonólitos de Fernando de Noronha exibem um comportamento parecido com os dos outros complexos alcalinos, porém com uma curva de evolução mais aberta, mostrando nitidamente um enriquecimento em Fe²⁺+Fe³⁺+Mn-Na das salitas, salitas com Ti, salitas com Na e ferrossalitas com Na para as egirina-augitas da matriz. O fonólito afírico do Grupo II, amostra 89FN66, aparece no final desta curva, indicando um forte enriquecimento em Na, representando o clinopiroxênio mais evoluído dentre todos os estudados.



Figura 8: Diagrama Na-Mg-(Fe²⁺+Fe³⁺+Mn-Na) mostrando a composição dos clinopiroxênios dos fonólitos estudados. Linhas cheias representam "trends"de outros complexos alcalinos. 1-Uganda, 2-Iron Hill, 3-Piratini e 4-Fortaleza (Macciota *et al.,* 1990).

FONÓLITOS AFÍRICOS														
						ΜA	TRI	Z	•••	•				
Amostra	89FN47								1	·····	808	NEE		
Grão	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	2	100	5	e
Análise	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	- mətriz	matria	U motrix						
SiO ₂	47,1	46,0	50,1	49,9	49,2	49.2	48.4	48.9	53.1	52.8	51.6	52.8	52 C	<u></u>
TiO ₂	2,01	1,86	0,67	1,27	0,59	0.59	0.91	0.78	1 99	02,0	1 25	105	33,Z ∡00	- 00,0 - 00
AI_2O_3	4,42	4,90	0,56	1,10	5,08	0,98	1.20	1 22	3.22	1.31	0.64	4,00 N 06	4,00	3,00 0.01
Cr_2O_3			~	0,06	0,07		0.03	0.00		0.08	0,0 1	0,00	2,75	0,91
Fe ₂ O ₃	1,91	6,74	10,7	8,78	8,46	9,46	9,50	9,81	20.7	25.3	247	19.9	23.8	20,2
FeO	18,2	13,0	16,4	17,8	14,2	16,3	16,2	16.9	6.29	4 34	3 93	6 57	20,0	20,3
MnO	1,39	1,31	2,11	1,98	1,74	2,17	2.00	2.07	0.73	0.54	0,00	0,51	2,72 0.50	
MgO	3,62	4,62	0,41	0,68	2,20	0,67	1,22	0.99	0.56	0,69	0.88	0,00	0,00 0 50	0,50
CaO	18,9	19,7	13,6	13,7	14,6	13,9	15,2	14.5	2.49	2 78	3 41	2 32	1 16	2.03
Na₂O	1,70	1,91	5,03	4,79	4,49	4,72	4,05	4.28	11.5	11.4	11.0	11 4	13.3	2,2; 11 A
ZrO ₂	0,22	0,33	0,81	0,67	0,31	1,44	0,67	0.37	0.52	0.23	1 30	0.91	0.12	0.02
Total	99,47	100,37	100,39	100,73	100,94	99,43	99,38	99,82	101.10	100.42	99,50	100 51	101 92	100 70
									,	,	,-+	,	101,0L	100,10
FeO*	19,9	19,1	26,1	25,7	21,8	24,8	24,8	25,7	25,0	27,1	26.2	24.5	23.9	25.3
										·	•		,-	,.
mg#	26,2	38,7	4,12	6,32	21,6	6,89	11,9	9,42	13,4	21,9	28,5	16,3	30,6	12.8
												,	1	1 -
0	4 070	4 005				Cáti	ons para (6 Oxigêni	os					
	1,873	1,835	2,005	1,989	1,911	2,000	1,957	1,966	2,006	2,015	2,015	2,022	1,975	2,020
	0,127	0,195	0,000	0,011	0,089	0,000	0,043	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000
	0,081	0,032	0,026	0,040	0,143	0,047	0,015	0,024	0,143	0,059	0,029	0,043	0,094	0,041
11 3+	0,060	0,055	0,020	0,038	0,017	0,018	0,028	0,024	0,056	0,027	0,037	0,117	0,112	0.111
Fe°	0,057	0,199	0,324	0,263	0,247	0,290	0,289	0,297	0,590	0,728	0,727	0,572	0,665	0,579
Fe-	0,605	0,427	0,550	0,593	0,461	0,554	0,548	0,567	0,198	0,139	0,128	0,210	0,075	0,225
Min	0,047	0,044	0,072	0,067	0,057	0,075	0,069	0,070	0,023	0,017	0,026	0,029	0,019	0,029
Mg	0,215	0,270	0,024	0,040	0,127	0,041	0,074	0,059	0,031	0,039	0,051	0,041	0,033	0,033
Ca	0,805	0,829	0,583	0,585	0,607	0,604	0,660	0,626	0,101	0,114	0,143	0,095	0,046	0,092
Na	0,131	0,145	0,391	0,370	0,338	0,372	0,318	0,333	0,846	0,844	0,830	0,849	0,957	0.842

Tabela 5: Análises químicas dos clinopiroxênios dos fonólitos estudados.

FeO* - ferro total determinado pela microssonda $Fe_2O_3 e FeO - valores calculados pelos programas MINFILE e PAPIKE (referências vide texto)$ $<math>mg# = [Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$
∧ ~		-
Continuoroa	do toholo	5
oomininacao.	ua labela	J.

			<u> </u>	οΝό	LITO	S	POR	R F I R	ÍTIC	0 S		
			MAT	RIZ				MIG	CROF	ENOC	RIST	AIS
Amostra		91FN89		91F	N89a	91FN128	91FN129			89FN71		
Grão	1	2	3	1	2	1	1	1	2	3	4	5
Análise	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo
								castanho	castanho	castanho	castanho	verde
SIO ₂	51,5	49,1	51,4	49,3	47,4	47,5	49,3	44,0	44,7	49,1	45,1	44,5
10_2	0,80	0,62	0,60	0,88	1,14	0,71	1,13	4,09	3,67	1,84	2,02	2,96
Al ₂ O ₃	1,16	1,56	1,60	1,28	2,41	0,86	1,77	8,65	8,51	4,99	8,83	7,60
Cr ₂ O ₃				0,08	0,08	0,00	0,08	0,07	0,10	0,00	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	11,6	8,36	13,2	7,46	7,55	9,00	4,27	4,14	4,17	2,68	5,20	4,28
FeO	11,5	14,2	13,0	15,7	14,6	14,2	14,4	4,26	3,89	5,38	5,33	13.0
MnO	1,98	1,98	1,90	nd	nd	2,16	nd	nd	nd	nd	nd	0,68
MgO	3,25	3,67	1,47	3,51	3,88	2,48	6,14	11,4	11,9	12.8	10.3	5.89
CaO	12,2	17,9	10,9	17,4	19,4	16,3	20,0	22,4	22,5	22.7	21.7	20.6
Na ₂ O	5,81	2,95	6,55	3,35	2,38	3,52	1,91	0,68	0.62	0.66	0.89	1 14
ZrO_2	0,25	0,24	0,47	0,01	0,40	1,41	0,20	0,05	0,02	0.06	0.00	0.00
Total	100,05	100,58	101,09	98,97	99,24	98,14	99,20	99,74	100,08	100,21	99,38	100,65
E 01										-	·	,
FeO-	21,9	21,7	24,9	22,4	21,4	22,3	18,3	7,99	7,64	7,79	10,0	16,9
ma#	33.4	31.5	16.7	28.5	32.1	23.7	12.1	97.6	Q A A	00.0	77 5	A A "7
	00, 1	01,0	10,7	20,0	02,1	20,7	40,1	02,0	04,4	00,9	11,5	44,7
				\$		Cátions para	a 6 Oxigêni	n DS				
Si	2,005	1,934	1,999	1,960	1,879	1.951	1.934	1.657	1.672	1 826	1 704	1 721
ai iv	0,000	0,066	0,001	0,040	0,113	0,042	0.066	0.343	0.328	0 174	0.296	0.279
AI VI	0,053	0,007	0,072	0,020	0.000	0,000	0.016	0.041	0.047	0,044	0,098	0.068
Ti	0,023	0,018	0.018	0.026	0.034	0.022	0.033	0,116	0 103	0.051	0.057	0,000
Fe ^{3≁}	0,338	0,248	0.388	0.223	0.225	0.278	0 126	0 117	0 117	0.075	0,007	0,000
Fe ²⁺	0,376	0,468	0.423	0.522	0.485	0 488	0.474	0 134	0,112	0,070	0,140	0,120
Mn	0.065	0.066	0,063	nd	nd	0.075	nd	nd	nd	0,107 nd	0,100 nd	0,421
Mg	0,189	0.215	0.085	0.208	0.229	0 152	0.359	0.637	0 660	0.710	0.582	0,022
Ca	0,508	0,753	0,457	0.740	0.825	0,719	0.843	0,902	0,903	0,110	0,002	0,040
Na	0,438	0,225	0,494	0,258	0,183	0,280	0.145	0.050	0.045	0.048	0.065	0,000

FeO* - ferro total determinado pela microssonda Fe₂O₃ e FeO - valores calculados pelos programas MINFILE e PAPIKE (referências vide texto) mg#= [Mg/(Mg+Fe²⁺)x100%]

Amostra Grão Análise 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 2 2 2 Análise núcleo castanho núcleo				FO	NÓLI	TOS	PO	RFIR	ÍTIC	0.0			
Amostra Grão 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 <th2< th=""> 2 2</th2<>					MICF	ROFE	NOC	RIS		,03			
Grão Análise 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 2 2 2 múcleo castanho núcleo castanho núcleo castanho núcleo castanho núcleo castanho núcleo castanho núcleo castanho núcleo verde	Amostra				89F	N71		<u></u>	1 4 1 3	1			
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Grão	6	7	8	9	10	11	12	10		91FI	N89a	
castanho	Análise	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	nucleo	núcleo	12 Rúcleo	13	7	2	2	2
SiO2 45,7 45,8 48,7 43,3 45,4 45,8 47,4 45,7 45,70 43,4 44,7 45,6 TiO2 3,33 3,00 1,94 4,50 3,69 1,90 0,89 1,99 2,40 3,72 3,45 2,86 Al2O3 7,09 7,59 4,90 9,28 9,24 7,76 5,49 6,35 7,31 8,86 7,60 6,28 Cr2O3 0,03 0,00 0,02 0,06 0,08 0,05 0,11 0,01 0,09 0,02 0,14 Fe2O3 1,87 2,39 2,13 2,11 2,28 1,91 2,93 3,29 5,86 7,36 6,29 5,95 MnO 0,09 0,14 0,28 0,06 0,13 0,66 1,18 1,03 nd nd <t< th=""><th></th><th>castanho</th><th>castanho</th><th>castanho</th><th>castanho</th><th>castanho</th><th>verde</th><th>verdo</th><th>Nacieo</th><th>nucleo</th><th>nucleo</th><th>interm.</th><th>interm.</th></t<>		castanho	castanho	castanho	castanho	castanho	verde	verdo	Nacieo	nucleo	nucleo	interm.	interm.
TiO2 3,33 3,00 1,94 4,50 3,69 1,90 0,89 1,99 2,40 3,72 3,45 2,86 Al2O3 7,09 7,59 4,90 9,28 9,24 7,76 5,49 6,35 7,31 8,86 7,60 6,28 Cr2O3 0,03 0,00 0,02 0,06 0,08 0,05 0,11 0,01 0,09 0,02 0,14 Fe2O3 1,87 2,39 2,13 2,11 2,28 1,91 2,93 3,29 5,86 7,36 6,29 5,95 FeO 5,70 5,81 6,03 6,67 6,17 13,2 15,1 16,6 7,04 2,89 2,72 4,02 MnO 0,09 0,14 0,28 0,06 0,13 0,66 1,18 1,03 nd	SiO ₂	45,7	45,8	48,7	43.3	45.4	45.8		<u>46.7</u>		castanno	castanho	castanho
Al ₂ O ₃ 7,09 7,59 4,90 9,28 9,24 7,76 5,49 6,35 7,31 8,86 7,60 6,28 Cr ₂ O ₃ 0,03 0,00 0,02 0,06 0,08 0,05 0,11 0,01 0,09 0,02 0,14 Fe ₂ O ₃ 1,87 2,39 2,13 2,11 2,28 1,91 2,93 3,29 5,86 7,36 6,29 5,95 FeO 5,70 5,81 6,03 6,67 6,17 13,2 15,1 16,6 7,04 2,89 2,72 4,02 MnO 0,09 0,14 0,28 0,06 0,13 0,66 1,18 1,03 nd nd <td>TiO₂</td> <td>3,33</td> <td>3,00</td> <td>1,94</td> <td>4.50</td> <td>3 69</td> <td>1 90</td> <td>080</td> <td>40,7</td> <td>45,70</td> <td>43,4</td> <td>44,7</td> <td>45,6</td>	TiO ₂	3,33	3,00	1,94	4.50	3 69	1 90	080	40,7	45,70	43,4	44,7	45,6
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	AI_2O_3	7,09	7,59	4,90	9,28	9.24	7 76	5.49	1,99	2,40	3,72	3,45	2,86
Fe2O3 1,87 2,39 2,13 2,11 2,28 1,91 2,93 3,29 5,86 7,36 6,29 5,95 FeO 5,70 5,81 6,03 6,67 6,17 13,2 15,1 16,6 7,04 2,89 2,72 4,02 MnO 0,09 0,14 0,28 0,06 0,13 0,66 1,18 1,03 nd	Cr ₂ O ₃	0,03	0,00	0,02	0.06	0.08	0.05	0,40	0,00	7,31	8,85	7,60	6,28
FeO 5,70 5,81 6,03 6,67 6,17 13,2 15,1 16,6 7,04 2,89 2,72 4,02 MnO 0,09 0,14 0,28 0,06 0,13 0,66 1,18 1,03 nd	Fe ₂ O ₃	1,87	2,39	2,13	2.11	2 28	1 91	2 93	3.20	0,09	0,02	0,14	
MnO 0,09 0,14 0,28 0,06 0,13 0,66 1,18 1,03 nd nd <td>FeO</td> <td>5,70</td> <td>5,81</td> <td>6,03</td> <td>6.67</td> <td>6 17</td> <td>13.2</td> <td>15 1</td> <td>166</td> <td>3,00</td> <td>7,30</td> <td>6,29</td> <td>5,95</td>	FeO	5,70	5,81	6,03	6.67	6 17	13.2	15 1	166	3,00	7,30	6,29	5,95
MgO 11,9 11,7 13,0 10,2 11,3 6,14 5,04 4,11 8,84 11,0 11,9 11,7 CaO 22,7 22,2 22,5 22,3 22,7 20,3 20,7 20,1 22,4 23,0 22,9 23,2 Na ₂ O 0,36 0,50 0,38 0,50 0,43 1,22 1,22 1,21 1,14 0,72 0,70 0,71 Na ₂ O 0,16 0,00 0,00 0,02 0,09 0,29 0,14 0,36 0,16 0,20 0,01 0,08 Total 98,93 99,13 99,88 99,00 101,49 99,23 100,20 100,75 100,94 101,17 100,41 100,40 FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38	MnO	0,09	0,14	0,28	0.06	0.13	0.66	1 1 2	1.02	1 7,04	2,89	2,72	4,02
CaO 22,7 22,2 22,5 22,3 22,7 20,3 20,7 20,1 22,4 23,0 22,9 23,2 Na ₂ O 0,36 0,50 0,38 0,50 0,43 1,22 1,22 1,21 1,14 0,72 0,70 0,71 ZrO ₂ 0,16 0,00 0,00 0,02 0,09 0,29 0,14 0,36 0,16 0,20 0,01 0,08 Total 98,93 99,13 99,88 99,00 101,49 99,23 100,20 100,75 100,94 101,17 100,41 100,40 FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38	MgO	11,9	11,7	13.0	10,2	11.3	6 14	5.04	1,03		na	nd	nd
Na2O 0,36 0,50 0,38 0,50 0,43 1,22 1,22 1,21 1,14 0,72 0,70 0,71 ZrO2 0,16 0,00 0,00 0,02 0,09 0,29 0,14 0,36 0,16 0,20 0,01 0,08 Total 98,93 99,13 99,88 99,00 101,49 99,23 100,20 100,75 100,94 101,17 100,41 100,40 FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38	CaO	22,7	22,2	22.5	22.3	22.7	20.3	20.7	4,11	0,04	11,0	11,9	11,7
ZrO2 0,16 0,00 0,00 0,02 0,09 0,29 0,14 0,36 0,16 0,20 0,01 0,08 Total 98,93 99,13 99,88 99,00 101,49 99,23 100,20 100,75 0,16 0,20 0,01 0,08 FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38	Na ₂ O	0,36	0.50	0.38	0.50	0.43	1.22	20,7	20,1	22,4	23,0	22,9	23,2
Total 98,93 99,13 99,88 99,00 101,49 99,23 100,20 100,75 100,94 101,17 100,41 100,40 FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38	ZrO ₂	0,16	0,00	0.00	0.02	0,10	0.29	0.14	1,21	1,14	0,72	0,70	0,71
FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38	Total	98,93	99,13	99,88	99.00	101 49	99.23	100.20	100.75	0,16	0,20	0,01	0,08
FeO* 7,38 7,97 7,95 8,57 8,22 14,9 17,8 19,6 12,3 9,52 8,38 9,38		-	•	,	,	101,10	00,20	100,20	100,75	100,94	101,17	100,41	100,40
14,5 11,5 15,6 12,5 9,52 8,38 9,38	FeO*	7,38	7,97	7,95	8.57	8 22	14 9	178	10.6	10.0	0.50	0.00	
				,	-,	0,	14,0	17,0	19,0	12,3	9,52	8,38	9,38
mg# 78,7 78,1 79,3 73,2 76,5 45,4 37,6 30,5 60,2 87,2 80,0 80,0	mg#	78,7	78,1	79,3	73.2	76.5	45.4	37.6	30.5	60.2	97.0	00.0	00.0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1				·	,	, _	, 1	0, 0	00,0	09,2	07,2	88,5	83,8
Cátions para 6 Oxigênios						С	átions para	6 Oxidênio	.s				
Si 1,733 1,730 1,821 1,650 1,678 1,784 1,849 1,792 1,726 1,623 1,671 1,742	Si	1,733	1,730	1,821	1,650	1,678	1,784	1.849	1 792	1 726	1 623	1 671	4 740
ALIV 0,267 0,270 0,179 0,350 0,322 0,216 0,151 0,208 0,274 0,377 0,320 0,278	ALIV	0,267	0,270	0,179	0,350	0,322	0.216	0.151	0,208	0.274	0.377	1,071	1,/13
AIVI 0,050 0,068 0,037 0,067 0,081 0,140 0,102 0,085 0,052 0,013 0,005 0,000	AI VI	0,050	0,068	0,037	0,067	0,081	0,140	0.102	0.085	0,277	0,017	0,329	0,278
Ti 0,095 0,085 0,055 0,129 0,103 0,056 0,026 0,059 0,068 0,104 0,007 0,001	Ti	0,095	0,085	0,055	0,129	0,103	0.056	0.026	0.059	0,002	0,013	0,005	0,000
Fe ^{3*} 0,053 0,068 0,060 0,061 0,063 0,056 0,086 0,097 0,167 0,207 0,177 0,081	Fe ³⁺	0,053	0,068	0,060	0,061	0,063	0.056	0,020	0,000	0,000	0,104	0,097	0,081
Fe ²⁺ 0,181 0,184 0,189 0,213 0,191 0,429 0,486 0,546 0,222 0,000 0,025 0,407	Fe ²⁺	0,181	0,184	0,189	0,213	0.191	0 429	0.486	0,546	0,107	0,207	0,177	0,168
Mn 0,003 0,004 0,009 0.002 0.004 0.022 0.039 0.034 pd	Mn	0,003	0,004	0,009	0,002	0.004	0.022	0.039	0,040	0,222 pd	0,090	0,085	0,127
Mg 0,670 0,655 0,723 0,581 0,623 0,356 0,293 0,240 0,498 0,614 0,600 0,677	Mg	0,670	0,655	0,723	0.581	0.623	0.356	0,293	0,004		0.614	nu	na
Ca 0,921 0,899 0,900 0,909 0,902 0,847 0,864 0,846 0,907 0,921 0,657	Ca	0,921	0,899	0,900	0,909	0.902	0.847	0.864	0,240	0,430	0,01		0,657
Na 0,026 0,037 0,028 0,037 0,031 0,092 0,092 0,092 0,084 0,052 0,054 0,055	Na	0,026	0,037	0,028	0,037	0.031	0.092	0,004	0,040	0,007	0,921	0,919	0,934

FeO*: ferro total determinado pela microssonda $Fe_2O_3 = FeO$: valores calculados pelo programa MINFILE e PAPIKE (referências vide texto) $mg#= [Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$

$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$				FΟ	NÓL	ΙΤΟ S	PO	RFIR	ÍTI	COS			
Amostra 91FN128 91FN128 91FN129 1 2 3 4 4 4 4 5 Grão interm. núcleo n			T		MICI	<u>rofe</u>	NOC	RIS	TAIS	5			
Grad Analise 3 1 2 3 1 1 2 3 4 4 4 4 5 Analise interm. castanho núcleo verde núcleo verde	Amostra	91FN89a		91FN128		91FN129				91EN131			
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Grao	3	1	2	3	1	1	2	3	4	Å	A	E
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Análise	interm.	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	4 Rúclao	Q Rúcleo
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		castanho	verde	verde	verde	verde	verde	verde	verde	castanho	castanho	castanho	castanho
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	SIO ₂	45,6	47,7	47,1	49,0	48,1	47,0	50,1	47.8	42.6	44 0	16 1	46 0
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$11O_2$	2,91	1,33	1,47	0,76	0,88	1,07	0.78	0.90	4 44	3.64	3.08	40,2
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Al ₂ O ₃	6,37	5,01	7,81	3,70	4,89	4,12	3.26	3.73	9.81	878	7.14	2,01
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Cr_2O_3	0,09	0,00	0,07	0,00	0,17	0,02	0.00	0,00	0.03	0,70	0.03	0,20
FeO 2,58 8,17 10,6 8,36 6,48 8,15 10,8 9,58 4,34 2,61 2,32 5,75 MgO nd nd <t< td=""><td>Fe₂O₃</td><td>5,85</td><td>4,56</td><td>3,58</td><td>5,77</td><td>7,86</td><td>7,80</td><td>4,59</td><td>7 21</td><td>6.06</td><td>6.92</td><td>5.53</td><td>0,05</td></t<>	Fe ₂ O ₃	5,85	4,56	3,58	5,77	7,86	7,80	4,59	7 21	6.06	6.92	5.53	0,05
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	FeO	2,58	8,17	10,6	8,36	6,48	8,15	10.8	9.58	4 34	2.61	2,00	5,49
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	MnO	nd	0,69	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,01	2,02 nd	5,75 pđ
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	MgO	12,5	8,89	7,53	8,89	8,34	7.70	8.06	7 24	9.77	11 1	13.0	14.0
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	CaO	23,5	20,9	19,4	21,9	21,3	20.6	20.9	20 1	22.8	23.1	13,0	11,0
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Na ₂ O	0,69	1,45	1,87	1,51	2,09	1.92	1.86	2 09	0.85	0.85	20,1	22,0
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ZrO ₂	0,13	0,20	0,00	0,16	0.08	0.01	0.08	0.07	0,00	0,00	0,01	0,77
FeO* 7,84 12,3 13,9 13,6 13,6 15,2 14,9 16,1 9,80 8,84 7,21 8,89 mg# 89,6 66,0 55,8 65,5 69,6 62,7 57,1 57,4 80,0 88,6 91,2 77,8 Si 1,707 1,836 1,799 1,868 1,827 1,832 1,907 1,861 1,601 1,639 1,703 1,724 Al IV 0,281 0,164 0,201 0,132 0,173 0,168 0,093 0,139 0,399 0,361 0,297 0,276 Al VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 F	Total	100,22	98,90	99,43	100,05	100,19	98.39	100 43	98.82		100.82	100.01	0,00
FeO* 7,84 12,3 13,9 13,6 13,6 15,2 14,9 16,1 9,80 8,84 7,21 8,89 mg# 89,6 66,0 55,8 65,5 69,6 62,7 57,1 57,4 80,0 88,6 91,2 77,8 Si 1,707 1,836 1,799 1,868 1,827 1,832 1,907 1,861 1,601 1,639 1,703 1,724 Al IV 0,281 0,164 0,201 0,132 0,173 0,168 0,093 0,139 0,399 0,361 0,297 0,276 Ai VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,225 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,136 0,225 0,229 0,132 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>ſ.</td> <td>- ,</td> <td>,</td> <td>00,02</td> <td>100,10</td> <td>100,02</td> <td>100,91</td> <td>100,41</td>						ſ.	- ,	,	00,02	100,10	100,02	100,91	100,41
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	FeO*	7,84	12,3	13,9	13,6	13,6	15.2	14 9	16 1	9 80	8 84	7.04	8.00
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $						ŕ			10,1	0,00	0,04	1,21	0,09
Si 1,707 1,836 1,799 1,868 1,827 1,832 1,907 1,861 1,601 1,639 1,703 1,724 Al IV 0,281 0,164 0,201 0,132 0,173 0,168 0,093 0,139 0,399 0,361 0,297 0,276 Al VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 Fe ²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd	mg#	89,6	66,0	55,8	65,5	69,6	62.7	57.1	57 4	80.0	88.6	01.2	77 0
Si 1,707 1,836 1,799 1,868 1,827 1,832 1,907 1,861 1,601 1,639 1,703 1,724 Al IV 0,281 0,164 0,201 0,132 0,173 0,168 0,093 0,139 0,399 0,361 0,297 0,276 Al VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 Fe ²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd nd nd							,	;-	 , .	00,0	00,0	J1,2	11,0
Si 1,707 1,836 1,799 1,868 1,827 1,832 1,907 1,861 1,601 1,639 1,703 1,724 Al IV 0,281 0,164 0,201 0,132 0,173 0,168 0,093 0,139 0,399 0,361 0,297 0,276 Al VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 Fe ²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd 0,077	A					Ċ	Cátions para	a 6 Oxigênio	s				
Al IV 0,281 0,164 0,201 0,132 0,173 0,168 0,093 0,139 0,399 0,361 0,297 0,276 Al VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 Fe ²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd	Si	1,707	1,836	1,799	1,868	1,827	1,832	1,907	1.861	1 601	1 639	1 703	1 724
Al VI 0,000 0,063 0,150 0,034 0,046 0,021 0,054 0,033 0,037 0,024 0,014 0,087 Ti 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,086 0,073 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,299 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 Fe ²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd nd <td< td=""><td>ALIV</td><td>0,281</td><td>0,164</td><td>0,201</td><td>0,132</td><td>0,173</td><td>0,168</td><td>0,093</td><td>0.139</td><td>0,399</td><td>0.361</td><td>0.207</td><td>0.276</td></td<>	ALIV	0,281	0,164	0,201	0,132	0,173	0,168	0,093	0.139	0,399	0.361	0.207	0.276
Ii 0,082 0,039 0,042 0,022 0,025 0,031 0,022 0,026 0,126 0,102 0,014 0,007 Fe ³⁺ 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,102 0,086 0,073 Fe ²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd 0,057 Mg 0,700 0,510 0,429 0,505 0,472 0,448 0,457 0,420 0,549 0,073	AIVI	0,000	0,063	0,150	0,034	0,046	0,021	0.054	0.033	0.037	0.024	0.014	0,270
Fe ^{-3*} 0,165 0,132 0,103 0,166 0,225 0,229 0,132 0,211 0,172 0,194 0,154 0,098 Fe ^{-2*} 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd	Ti	0,082	0,039	0,042	0,022	0,025	0,031	0.022	0.026	0.126	0,024	0,014	0,007
Fe ⁻²⁺ 0,081 0,263 0,340 0,266 0,206 0,266 0,344 0,312 0,137 0,081 0,069 0,179 Mn nd 0,023 nd	Fe ³⁺	0,165	0,132	0,103	0,166	0,225	0,229	0.132	0.211	0,120	0 194	0,000	0,073
Mn nd 0,023 nd	Fe 🔭 🏻 🛛	0,081	0,263	0,340	0,266	0,206	0,266	0.344	0.312	0 137	0.081	0,104	0,098
Mg 0.700 0.510 0.429 0.505 0.472 0.448 0.457 0.420 0.540 0.007 0.740	Mn (nd	0,023	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,001 nd	0,003 nd	0,179 pd
	Mg	0,700	0,510	0,429	0,505	0,472	0,448	0.457	0 420	0.548	0.627	0 710	11U 0.627
Ca 0,942 0,862 0,795 0,896 0,866 0,859 0,854 0,839 0,918 0,921 0,014 0,970	Ca	0,942	0,862	0,795	0,896	0,866	0.859	0.854	0,839	0.040	0,027	0,119	0,027
Na 0,050 0,108 0,139 0,112 0,154 0,145 0,137 0,158 0,062 0,061 0,044 0,879	Na	0,050	0,108	0,139	0,112	0.154	0,145	0,137	0.158	0,010	0,521	0.914	0,0/9

FeO*: ferro total determinado pela microssonda $Fe_2O_3 = FeO: valores calculados pelo programa MINFILE e PAPIKE (referências vide texto)$ $<math>mg#= [Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$

<u> </u>	~			_
1 00000	10000	~ ~	tobolo	<u> </u>
		(1)-1		
	~~~~~	~~		υ.

			FONÓ	LIT	0 S	POI	RFIR	ίτις	OS		
	<u> </u>	CRO	FEN	OCRI	STA	1 S	FE	NOC	RIS	TAIS	}
Amostra			91F	N131			91F	N128	T	91FN131	
Grão	6	7	8	9	10	11	1	1	1	2	2
Análise	borda	borda	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo
	verde	verde	castanho	verde	verde	verde	verde	verde	verde	castanho	castanho
SiO ₂	49,3	50,3	45,7	47,0	48,6	47,8	47,7	48,5	46,3	46,2	46.4
TiO ₂	0,89	1,08	3,24	2,11	0,91	1,31	1,10	0,61	1,91	2,71	2.72
$Al_2O_3$	4,04	3,36	9,01	6,47	4,29	5,10	4,81	3,32	7,63	8.07	7.49
$Cr_2O_3$	0,00	0,02	0,02	0,04	0,06	0,07	0,04	0,09	0,03	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	5,90	3,99	5,52	6,44	6,13	5,22	6,08	6,87	5,90	4.33	5.00
FeO	11,3	9,20	1,97	6,82	7,76	8,38	9,51	8,43	7.59	3.01	2.53
MnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MgO	7,02	9,57	12,5	9,33	8,86	8,72	7,64	8,59	8,39	12.9	12.9
CaO	20,5	21,8	22,4	21,9	21,3	21,0	20,4	21,4	21,6	22.8	23.0
Na ₂ O	2,10	1,49	0,99	1,43	1,74	1,63	1,89	1.59	1,48	0.56	0.60
ZrO ₂	0,21	0,15	0,00	0,00	0,05	0,04	0,10	0,10	0,00	0.00	0.00
Total	101,26	100,96	101,35	101,54	99,70	99,27	99,27	99,50	100,83	100,58	100,64
FeO*	16,6	12,8	6,94	12,6	13,3	13,1	15,0	14,6	12,9	6,91	7,03
mg#	52,6	65,0	91,9	70,9	67,0	64,9	58,8	64,5	66,3	88,4	90,1
					Cátion	s para 6 Ox	i iaênios		1		
Si	1,877	1,892	1,675	1,759	1,853	1,831	1.841	1,866	1,746	1 708	1 713
AL IV	0,123	0,108	0,325	0,241	0.147	0,169	0,159	0.134	0.254	0.292	0.287
AI VI	0,058	0,041	0,064	0,044	0,046	0.062	0.059	0.016	0.085	0,060	0.039
Ti	0,025	0,031	0,089	0,059	0,026	0.038	0.032	0.018	0,054	0,075	0.076
Fe ³⁺	0,169	0,113	0,152	0,181	0,176	0,151	0,176	0.199	0.167	0.121	0 139
Fe ²⁺	0,359	0,289	0,060	0,213	0.248	0,269	0.307	0.271	0.239	0 093	0.078
Mn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nđ	nd	nd	nd	nd
Mg	0,398	0,537	0,683	0,520	0,504	0,498	0,439	0,492	0.471	0,708	0.713
Ca	0,835	0,880	0,881	0,878	0,870	0,860	0,844	0.883	0.873	0.902	0.911
Na	0,155	0,109	0,070	0,104	0,129	0,121	0,141	0,119	0.108	0.040	0.043

FeO*: ferro total determinado pela microssonda  $Fe_2O_3 = FeO: valores calculados pelo programa MINFILE e PAPIKE (referências vide texto)$  $<math>mg#=[Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$ 

#### ANFIBÓLIOS

Os anfibólios, como dito no capítulo referente a petrografia, ocorrem predominantemente nos fonólitos porfiríticos, sendo que nas amostras da pedreira representam a fase fenocristalina mais abundante dentre os minerais máficos.

Variam de microfenocristais (<0,5mm) a fenocristais (±1,5mm), com cores castanha ou marrom escura, reabsorvidos, bordejados por pequenos grãos de clinopiroxênio verde, com inclusões de titanita, opacos e apatita. Normalmente apresentam-se aglomerados, como cristais homogêneos e mais raramente como grãos zonados com núcleo castanho e borda marrom.

## Estrutura e Química dos Anfibólios

A principal característica da estrutura dos anfibólios é a presença de tetraedros de (Si,Al)O₄ unidos, formando cadeias de largura dupla, com composição (Si₄O₁₁)_n. Estas cadeias duplas são unidas lateralmente por cátions, (M₁, M₂, M₃, M₄) e por algumas hidroxilas (Deer *et al.*, 1966).

Leake (1978) considera a fórmula geral dos anfibólios como  $A_{0-1}B_2C_5^{VI}T_8^{V}O_{22}$ (OH,F,Cl)₂; onde T corresponde aos cátions da posição tetraédrica (Si, AI, Cr, Fe³⁺, Ti), C aos das posições M₁+M₂+M₃ (AI, Cr, Ti, Fe³⁺, Mg, Fe²⁺, Mn), B aos das posições M₄ (Fe²⁺, Mn, Mg, Ca, Na) e A aos das posições A (Na, K). Para o cálculo da fórmula padrão, recomenda que:

1) O cálculo da fórmula com base em 24(O, OH, F, Cl) deverá ser feito apenas quando os conteúdos de água e halogênios forem bem estabelecidos.

2) Quando o conteúdo de água mais halogênios for incerto, a fórmula deverá ser calculada com base em 23(O).

A microssonda eletrônica não diferencia a valência do Fe, nem analisa as concentrações de OH⁻ das amostras. A determinação da proporção atômica de Fe³⁺ e do teor de Fe₂O₃ dos anfibólios foi feita através do programa PAPIKE. Como esse programa estipula três teores de Fe₂O₃ (máximo, médio e mínimo), considerou-se mais adequado utilizar o valor médio.

Os valores de Fe₂O₃ obtidos foram lançados no Programa MINFILE versão 4.0. Tal programa forneceu uma estimativa estequiométrica do teor de H₂O nas análises, calculando a fórmula dos anfibólios com base em 23 átomos de Oxigênio. Os resultados das análises químicas dos anfibólios dos fonólitos porfiríticos aparecem no final da discussão dos dados, na tabela 6.

## Classificação e Nomenclatura

Com base no número de átomos de (Ca e Na)_B e Na_B os anfibólios podem ser classificados em quatro grupos principais: anfibólios de Fe-Mg-Mn, anfibólios cálcicos, anfibólios sódico-cálcicos e anfibólios alcalinos (Leake 1978).

Para que um anfibólio possa ser considerado membro do grupo dos anfibólios cálcicos, ele deve obedecer as seguintes condições: ter  $(Ca+Na_B) \ge 1,34 a.u.f.$  e Na_B< 0,67 a.u.f.. Os anfibólios estudados atendem a essas exigências pertencendo então ao grupo dos anfibólios cálcicos.

A figura 9 mostra a classificação dos feno e microfenocristais de anfibólios analisados. Na abcissa são lançados os valores de Si e na ordenada a relação Mg/(Mg+Fe²⁺), com base em 23 átomos de oxigênio.

No diagrama A aparecem os anfibólios cálcicos do tipo pargasíticos, com Ti < 0,50, Fe³⁺ < Al^{VI} e Si < 6,25. Neste diagrama os quatro pontos analisados caem dentro do campo da Pargasita com Fe²⁺ (uma variedade de hornblenda com Na e Fe²⁺).

A classificação dos anfibólios cálcicos com Ti  $\ge 0,50$  é apresentada no diagrama B. Nesse, nota-se que existe uma variação dos feno e microfenocristais, com aumento do Fe²⁺, indo de kaersutita (mais abundante) até ferro-kaersutita. Leake (1978) considera o membro final kaersutita, como uma variedade de pargasita/ ferro-pargasita possuindo Ti entre 0,5 a 1,0 átomos por unidade de fórmula.

Como no caso dos clinopiroxênios, aqui também foram utilizados adjetivos modificadores. O uso destes modificadores mostrou que: nos três tipos de anfibólios encontrados (pargasita com Fe²⁺, kaersutita e ferro-kaersutita) observa-se um enriquecimento em K (0,305 a 0,401 a.u.f.); algumas kaersutitas e ferro-kaersutitas apresentam-se empobrecidas em Si (Si < 0,75 a.u.f.) sendo subsilícicas; as pargasitas com Fe²⁺ são enriquecidas também em Ti (0,385 a 0,491 a.u.f.).



 $(\text{Na+K})_{\text{A}} \geq 0,50; \ \text{Ti} < 0,50; \ \text{Fe}^{3+} < \text{Al}^{\text{VI}}$ 

 $Ti \geq 0,50$ 



 $(Ca+Na)_B \ge 1,34$ ;  $Na_B < 0,67$   $finite field for the matrix formula (Ca+Na)_B \ge 1,34$ ;  $Na_B < 0,67$   $field for the matrix formula (Ca+Na)_B \ge 1,34$ ;  $Na_B < 0,67$  $field for the matrix formula (Ca+Na)_B \ge 1,34$ ;  $Na_B < 0,67$ 

*Figura 9:* Classificação dos feno e microfenocristais de anfibólio dos fonólitos porfiríticos, segundo Leake (1978).

#### Diagramas de variação

Para construção dos diagramas de variação, foi utilizado, como nos clinopiroxênios, o valor de mg# = [Mg/(Mg+Fe²⁺)x100%] *versus* as proporções atômicas de Si, Al^{IV}, Al^{VI}, Ti, Fe³⁺, Fe²⁺, Ca, Na e K, com base em 23 átomos de Oxigênio.

Os diagramas de variação aparecem na figura 10. Os anfibólios estudados mostram claramente uma distinção quanto aos valores de mg#. As kaersutitas são os anfibólios que apresentam os maiores e mais variáveis teores de mg# (80<mg#<50), ao contrário das ferro-kaersutitas ( $mg# \pm 50$ ) e das pargasitas com Fe²⁺ (50<mg#≤40).

As ferro-kaersutitas apresentam teores de Al^{VI}, Fe³⁺, Ca e Na semelhante aos das kaersutitas. As duas ánalises que se destacam por apresentar os maiores conteúdos de Al^{IV}, correspondem as análises de borda de um fenocristal cujo núcleo é de kaersutita. Essas ferro-kaersutitas apresentam valores intermediários de Ti (menores que as kaersutitas e maiores que as pargasitas com Fe²⁺) e K (maiores que as kaersutitas e menores que as pargasitas com Fe²⁺).

As pargasitas com Fe²⁺, quando comparadas com as ferro-kaersutitas e kaersutitas, mostram-se empobrecidas em Ti (< 0,5 a.u.f.) e enriquecidas em Al^{VI} (> 0,30 a.u.f) e K (> 0,37 a.u.f.).

## ÓXIDOS DE Fe e Ti

Os óxidos de Fe e Ti aparecem tanto nos fonólitos afíricos quanto nos fonólitos porfiríticos, porém sempre em pequenas quantidades, como acessórios.

Nos fonólitos afíricos ocorrem apenas na matriz, ao passo que nos fonólitos porfiríticos são observados também como microfenocristais. Podem ser vistos com formas euhedrais quadráticas ou anhedrais arredondadas, associados aos agregados de clinopiroxênios, bordejando os feno e microfenocristais de anfibólios ou inclusos nesses dois minerais. Em várias amostras de fonólitos porfiríticos foram observados anfibólios quase que totalmente substituídos por opacos.

Estes óxidos de Fe e Ti fazem parte do grupo dos espinélios. Nesse grupo para cada 24 cátions existem 32 atómos de oxigênio, estando 8 dos cátions em coordenação tetraédrica (posição A) e 16 em coordenação octaédrica (posição B). Dois grupos estruturais diferem na distribuição dos cátions entre as posições A e B: espinélios



*Figura 10:* Diagramas de variação dos anfibólios dos fonólitos porfiríticos. Elementos em função de  $mg# = [Mg/(Mg+Fe^{2+})x100]$ .

				MIC	ROFE	NOC	RIST	AIS				
Amostra			89FN71			91FN89a	91F	N128	91F	N129	91F	N131
Grão	1	2	3	4	5	1	1	2	1	2	1	2
<u>Análise</u>	Núcieo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	- Núcleo	Núcieo	- Núcleo
SiO ₂	40,5	38,9	38,3	38,3	39,3	38,8	37,9	37,7	37.5	38.4	38.7	37.9
TiO ₂	5,20	5,59	3,28	4,57	6,21	6,14	6,24	6,15	5.50	4,90	4.36	6 17
$Al_2O_3$	13,6	14,0	13,7	13,4	13,4	13,7	13,3	13,5	13,6	13,7	13.2	13.6
Fe ₂ O ₃	2,11	2,35	1,15	0,77	0,00	0,22	0,00	0,00	0,86	0.37	0.00	0.00
FeO	7,30	10,19	18,0	17,0	9,80	11,1	12,7	12,6	15,1	15.0	16.6	14.9
MnO	0,15	0,24	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MgO	13,7	11,6	7,05	8,31	13,4	13,0	11,1	11.1	9,93	10.1	9.07	9 77
CaO	12,0	12,0	10,7	11,4	12,2	12,3	11,9	11.8	11.4	11.4	11.4	11.5
Na ₂ O	1,53	1,73	1,78	1,60	2,11	2,07	2,36	2,43	2.55	2.49	2.43	2.45
K₂O	nd	nd	1,95	1,80	1,63	1,76	1,54	1,58	1.55	1.85	1.91	1 78
F	0,07	0,11	0,70	0,00	0,37	0,07	0,21	0,05	0.62	0.49	0.58	0.07
CI	0,00	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.04
H ₂ O*	2,00	1,95	1,58	1,95	1,85	2,00	1.88	1.94	1.68	1 75	1 69	1 94
Total	98,16	98,69	98,22	99,12	100,30	101,17	99,15	98,89	100.29	100.46	99.94	100 12
								,		,	;	,.
Fe0**	9,20	12,3	19,1	17,7	9,80	11,4	12,7	12.6	15.9	153	16.6	14 9
mg#	76,9	67,0	41,0	46,6	70,9	67,5	61.0	61.0	54.0	54.6	49.2	53.9
					•	,	1	,.	,-	,-		00,0
					C	átions para	23 oxigênia	os	•			
Si	5,968	5,803	5,986	5,894	5,792	5,702	5,736	5,726	5,698	5,801	5,912	5,738
AI IV	2,032	2,197	2,014	2,106	2,208	2,298	2,264	2,274	2,302	2,199	2,088	2,262
Al VI	0,319	0,270	0,515	0,324	0,128	0,087	0,114	0,145	0,132	0,244	0,288	0,169
Ti	0,576	0,627	0,385	0,528	0,688	0,679	0,710	0,702	0,629	0,557	0,501	0,701
Fe ^{°⁺}	0,234	0,263	0,136	0,090	0,000	0,024	0,000	0,000	0,098	0,042	0,000	0.000
Fe ²⁺	0,898	1,271	2,360	2,180	1,208	1,372	1,603	1,595	1,918	1,894	2,128	1,882
Mn	0,019	0,030	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mg	3,001	2,578	1,642	1,903	2,948	2,845	2,511	2,499	2,250	2,276	2,065	2,201
Ca	1,898	1,916	1,793	1,877	1,924	1,948	1,930	1,912	1,852	1,845	1.871	1,862
Na	0,437	0,500	0,539	0,477	0,603	0,590	0,693	0,715	0,752	0,730	0,720	0,718
ĸ	nd	nd	0,389	0,353	0,307	0,330	0,297	0,306	0,301	0,357	0,372	0,343

Tabela 6: Análises químicas dos anfibólios dos fonólitos porfiríticos estudados.

 $H_2O^*$  - água calculada pelo programa MINFILE; FeO** - ferro total determinado pela microssonda; Fe₂O₃ e FeO - calculados pelo programa PAPIKE (referências vide texto),  $mg# = [Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$ 

Continu	iacão	da	tabela	6
•••••••••••		44		· • ·

				FE	NOCR	ISTA	15				
Amostra	89FN71	91F	N89a	91F	N128	}	91F	N129		91F	N131
Grão	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
Análise	Núcieo	Núcleo	Borda	Núcleo	Interm.	Núcleo	Borda	Borda	interm.	Núcleo	_ Núcleo
SiO ₂	40,2	39,7	39,8	37,7	38,7	35,9	35,9	37.6	38.3	37.1	37.4
TiO ₂	4,90	5,46	5,58	4,17	4,48	4,86	4,63	4,18	5,15	5.35	3.46
Al ₂ O ₃	13,4	13,7	13,5	13,4	12,6	14,2	14,6	14,5	14,5	14.1	13.5
Fe ₂ O ₃	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,99	0,28	0.00	0.00	0.12
FeO	9,27	10,3	9,77	17,2	17,1	16,3	16,4	17,2	15.4	15.9	19.8
MnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MgO	13,5	13,3	13,8	7,86	8,62	8,80	8,50	8,36	9.82	9.22	7.10
CaO	12,0	12,3	12,3	11,3	<b>11</b> ,1	11,5	11,4	11,5	11.8	11.6	11.4
Na ₂ O	1,60	2,47	2,40	2,17	2,37	2,41	2,31	2.29	2.36	2.35	2 42
K ₂ O	1,62	1,88	1,76	2,01	1,89	1,85	1,87	2,02	1.80	1.83	2.06
F	0,16	0,41	0,13	0,00	0,18	0,42	0,00	0,13	0.34	0.37	0.63
CI	0,04	0,01	0,04	0,04	0,02	0,04	0,05	0,06	0,00	0,03	0.03
H ₂ O*	1,95	1,85	1,98	1,91	1,85	1,72	1,91	1,88	1,84	1.78	1.61
Total	99,62	101,38	101,06	97,76	98,89	98,72	98,56	100,00	101,31	99,61	99,53
E-0#	40.4	40.0	~ ~~						·		,
FeO"	10,1	10,3	9,77	17,2	17,1	17,0	17,3	17,5	15,4	15,9	19,9
mg#	72,2	69,7	71,6	44,9	47,3	48,9	47,9	46,4	53,2	50,8	39,0
		Į			0.415		• • •				
<b>Q</b> i	5 024	E 011	E 940	E 005	Cations	para 23 ox	igenios				
	2,934	0,011	5,619	5,905	5,971	5,596	5,585	5,759	5,735	5,684	5,850
	2,000	2,189	2,181	2,095	2,029	2,404	2,415	2,241	2,265	2,316	2,150
	0,200	0,172	0,157	0,378	0,270	0,199	0,266	0,382	0,302	0,232	0,344
11 F-a ³⁺	0,543	0,602	0,613	0,491	0,520	0,569	0,542	0,482	0,579	0,616	0,407
ге Г. ²⁺	0,109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084	0,116	0,033	0,000	0,000	0,014
re	1,143	1,263	1,193	2,245	2,206	2,129	2,138	2,205	1,925	2,037	2,586
IVIN	na	na	nd	nd	nd	nd	nd	nđ	nd	nd	nd
IVIG	2,970	2,906	3,001	1,833	1,984	2,043	1,971	1,909	2,187	2,104	1,654
	1,891	1,938	1,932	1,890	1,838	1,919	1,908	1,885	1,896	1,909	1,913
Na	0,457	0,702	0,680	0,659	0,710	0,728	0,697	0,680	0,684	0,698	0,734
ĸ	0,305	0,352	0,328	0,401	0,372	0,368	0,371	0,395	0,343	0.357	0.411

 $H_2O^*$  - água calculada pelo programa MINFILE; FeO** - ferro total determinado pela microssonda; Fe₂O₃ e FeO - calculados pelo programa MINFILE (referências vide texto),  $mg# = [Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$ 

66

normais com 8R²⁺ em A, 16R³⁺ em B e espinélios inversos com 8R³⁺ em A, 8R²⁺ + 8R³⁺ em B (Deer *et al.,* 1966).

As análises químicas dos óxidos de Fe e Ti aparecem na tabela 7, cabendo ressaltar que apenas os óxidos dos fonólitos porfiríticos foram deteminados. O cálculo e estimativa do teor de Fe₂O₃ destes minerais foi realizado pelo programa MINFILE.

Para determinação da nomenclatura destes minerais utilizou-se o diagrama FeO-Fe₂O₃-TiO₂ (figura 11). Observando a figura nota-se que todas as análises aparecem entre as séries magnetita-ulvoespinélio e maghemita-ilmenita, próximas ao campo da magnetita, mineral pertencente ao grupo dos espinélios inversos, tendo como composição teórica Fe²⁺Fe₂³⁺O₄.

Estas magnetitas apresentam teores consideráveis de titânio (Ti>1,6 a.u.f.) e quantidades de Fe²⁺ menores do que as estimadas pela fórmula ideal. Tal fato faz com que estes minerais fiquem deslocados da reta magnetita-ulvoespinélio, encontrando-se no campo das maghemitas titaníferas (Haggerty 1976) e não ao longo da reta magnetita-ulvoespinélio.

Deve-se ressaltar que o teor de Fe₂O₃ e FeO dessas análises, foi obtido através de estimativa estequiométrica, podendo portanto estar sujeito a dúvidas. Assim sendo preferiu-se manter o termo magnetita titanífera ou com Ti, ao invés de maghemita titanífera, para todos os óxidos analisados.

## **5.2- MINERAIS FÉLSICOS**

Os minerais félsicos são os componentes principais dos fonólitos, visto que representam mais de 3/4 da composição dessas rochas. Caracterizam-se como feldspatos alcalinos e feldspatóides (nefelina e membros do grupo da sodalita), além de analcimas e zeólitas (produtos de alteração das nefelinas e feldspatos).

## FELDSPATOS ALCALINOS

Os feldspatos alcalinos são os minerais mais abundantes dos fonólitos. Em algumas amostras representam mais de 2/3 da composição da rocha.

		MAI	RIZ		
Amostra	89FN89a	91	FN129a	91	IFN131
Grão	1	1	2	1	2
SiO ₂	0,24	0,40	0,19	0,19	0,15
TiO ₂	9,37	7,44	8,03	7,34	6,54
Al ₂ O ₃	1,36	0,48	0,38	0,64	0,25
Cr ₂ O ₃	0,12	0,00	0,00	0,04	0,00
Fe ₂ O ₃	48,2	51,6	51,1	52,5	51,4
FeO	39,3	34,6	34,4	36,9	35,1
MnO	nd	2,48	2,77	nd	nd
MgO	0,36	0,30	0,19	0,46	0,15
CaO	0,08	0,14	0,05	0,04	0,07
NiO	nd	0,00	0,03	nd	nd
Na ₂ O	0,08	0,19	0,00	0,21	0,00
Total	99,11	97,63	97,14	98,32	93,66
		<ul> <li>1</li> </ul>			
FeO*	82,7	81,1	80,9	84,1	81,3
		Cáti	ons para 32 Oxi	gênios	
Si	0,07	0,12	0.06	0,06	0,05
Ti	2,15	1,74 /	1,88	1,71	1,60
Al	0,49	0,18	0,14	0,23	0,09
Cr	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ³⁺	11,04	12,09	11,98	12,22	12,60
Fe ²⁺	10,03	9,03	9,10	9,54	9,55
Mn	nd	0,65	0,73	nd	nd
Mg	0,17	0,14	0,09	0,21	0,07
Ca	0,03	0,05	0,02	0,01	0,02
Ni	nd	0,00	0,01	nd	nd

Tabela 7: Dados químicos dos espinélios da matriz dos fonólitos porfiríticos.

FeO*= ferro total determinado pela microssonda; nd= não determinado Fe₂O₃ e FeO - calculados pelo Programa MINFILE (referências vide texto)



*Figura 11:* Classificação dos espinélios da matriz dos fonólitos porfiríticos no sistema FeO-Fe₂O₃-TiO₂. Valores expressos em porcentagem atômica.

Esses minerais são encontrados na matriz como ripas, normalmente orientadas, paralelas, subparalelas, inequigranulares. Os feno e microfenocristais, que ocorrem tanto nos fonólitos afíricos quanto nos porfiríticos, aparecem com formas tabulares, fraturados a muito fraturados, algumas vezes zonados, isolados ou formando glomérulos. Comumente esses feno e microfenocristais apresentam sinais de reabsorção nas bordas.

#### Estrutura e Química

As características essenciais da estrutura cristalina dos feldspatos, foram determinadas por Taylor (1933), através do estudo de uma sanidina. A estrutura é tida como a de um silicato com arcabouço tridimensional formado por tetraedros de (Si,Al)O₄. Nesse esqueleto tridimensional ocorrem grandes interstícios ocupados por cátions de potássio, sódio e cálcio (Deer *et al.*, 1966).

Os feldspatos podem ser classificados, quimicamente, em função do sistema ternário NaAlSi₃O₈ (feldspatos de sódio) - KAlSi₃O₈ (feldspatos de potássio) - CaAl₂Si₂O₈ (feldspatos de cálcio). Os termos compreendidos entre NaAlSi₃O₈ e KAlSi₃O₈, que normalmente contém menos de 5% da molécula CaAl₂Si₂O₈, são denominados feldspatos alcalinos. Além do Na, K e Ca outros íons (Ba, Ti, Fe³⁺,Mg e Sr) podem estar presentes em pequenas quantidades (Deer *et al.*, 1966).

#### Classificação e Nomenclatura

As análises químicas dos feldspatos alcalinos dos fonólitos aparecem na tabela 8. As fórmulas estruturais foram calculadas com base em 32 oxigênios, estando as somas catiônicas dos elementos nas posições T (Si, Al, Fe³⁺) próximas a 16. Para discussão desses minerais foram utilizados os valores calculados das moléculas de Ortoclásio (Or), Albita (Ab) e Anortita (An), expressas em mol %.

A figura 12 mostra a nomenclatura (1) e a composição (2) dos feldspatos alcalinos dos fonólitos afíricos e porfiríticos no sistema Ab-Or-An. O diagrama 2A representa a composição da matriz e o diagrama 2B a composição dos feno e microfenocristais dos fonólitos afíricos e porfiríticos.

Os feldspatos alcalinos que compõem a matriz dos fonólitos porfiríticos, são em sua maioria, do tipo sanidina, com moléculas de Ortoclásio, Albita e Anortita, em torno

		F	= ONĆ	LIT	OS /	4 F Í R	ICO	S	·····	
			М	A	Т	R	1	Z		
Amostra			89F	N46			89F	-N47	89	-N66
Grão	1	2	3	4	5	6	1	2	1	2
Analise	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz
SIO ₂	63,9	65,1	66,9	66,1	65,9	66,6	63,4	64,9	66.7	66 5
Al ₂ O ₃	19,9	21,0	19,9	19,7	20,6	19,7	19.5	19.3	19.4	19.7
Fe ₂ O ₃	0,46	0,50	0,28	0,29	1,00	0,42	0.37	0,16	0 10	0.17
CaO	0,23	0,11	0,05	0,06	0,10	0,11	0.00	0.00	0.26	0.15
Na ₂ O	4,61	7,69	7,45	6,44	9,61	5,51	3,49	4.74	8.64	8 43
K ₂ O	10,7	6,41	5,87	7,36	3,99	8,62	12.3	10.2	4 09	4 38
BaO	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0.00	0.00	0,00	0.14	0,00
SrO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	0,14	0,00
Total	99,83	100,65	100,46	99,95	101,20	100,96	99.06	99.34	99.33	0,00
				,			,	00,01	00,00	00,00
				C	látions para	132 Oxiaêni	' OS		ł	
Si	11,690	11,616	11,886	11,873	11.646	11.887	11.726	11 824	11 915	11 877
AL	4,292	4,414	4,155	4,160	4,302	4,143	4,263	4 154	4 080	A 144
Fe ³⁺	0,070	0,073	0,042	0,044	0,147	0.063	0.056	0.025	0.011	0.024
Ca	0,045	0,021	0,009	0,011	0,018	0.021	0,000	0,020	0.048	0,024
Na	1,637	2,657	2,565	2,240	3,288	1,904	1 255	1 714	2 992	2 017
ĸ	2,506	1,457	1,330	1,686	0.898	1,963	2,918	2 4 1 6	0.933	0.007
Ba	0,002	0,000	0,001	0.000	0.000	0 000	0,000	0,000		0,337
Sr	0,000	0,004	0,000	0.000	0.000	0.000	0,000	0,005	0,000	0,000
			-	, -	-,	-1	0,000	0,000	0,000	0,000
Or	61,25	36,60	35,40	44,25	22.37	51.92	71 18	60.05	24.52	26.42
Ab	37,65	62,87	64,34	55,44	77.16	47.52	28.82	39.95	7/ 17	20, <del>4</del> 2 70,80
An	1,10	0,53	0,26	0,31	0.47	0.56	0.00	0,00	1 21	0.76

Tabela 8: Análises químicas dos feldspatos alcalinos dos fonólitos estudados.

	F	FONC	<u> </u>	OS /	A F Í R	1 C O	S	
	F	ENOe	MICR	OFEI	NOCR	ISTA	15	
Amostra			89	FN46			891	FN66
Grão	1	1	1	2	2	3	1	1
Analise	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda
	feno	feno	feno	feno	feno	<i>micr</i> o	micro	micro
SIO ₂	66,2	66,6	66,6	65,2	65,8	66,1	66,1	66.9
Al ₂ O ₃	19,3	19,3	19,1	19,9	20,0	19,2	18.8	19.1
Fe ₂ O ₃	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,09	0.04	0.10
CaO	0,15	0,12	0,13	0,54	0,39	0.13	0.00	0.04
Na ₂ O	4,47	4,62	4,72	4,62	5,48	4,89	6.42	7 40
K ₂ O	9,75	9,34	9,28	9,01	7,80	9.02	7.07	5.96
BaO	0,01	0,00	0,00	0,29	0,24	0,01	0.05	0.05
SrO	0,01	0,03	0,00	0,32	0,22	0.13	0.05	0,00
Total	100,03	100,15	99,96	100,01	100,06	99,57	98,53	99,55
			C	ations para	a 32 Oxiqêni	ios	1	
Si	11,948	11,978	11,998	11,802	11,822	11,954	11,997	11 980
Al	4,099	4,082	4,048	4,247	4,249	4.094	4.019	4 035
Fe°*	0,022	0,022	0,020	0,020	0.020	0.015	0,006	0.015
Ca	0,030	0,023	0,025	0,105	0.076	0.026	0,000	0.007
Na	1,564	1,610	1,647	1,619	1,910	1,714	2,260	2,566
К	2,246	2,141	2,131	2,080	1,789	2.080	1 637	1,359
Ba	0,001	0,000	0,000	0,021	0,016	0.001	0.003	0.003
Sr	0,001	0,003	0,000	0,033	0,023	0,014	0,005	0,000
Or	59,91	58,17	57,47	56,04	49,45	55.91	43 48	35.93
Ab	39,32	41,20	41,86	41,14	49,75	43.41	56 52	63.87
An	0,77	0,63	0,67	2,82	0,80	0.68	0.00	0.20

feno: fenocristais micro: microfenocristais

$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	FONÓLITOS PORFIRÍTICOS													
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$						М	A 1	RI	Z		00			
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Amostra		89FN86		91F	-N89	91FN128			91F	N130			01541424
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Grao	1	2	3	1	2	1	1	2	3	4	5	6	31514131
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Analise	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	mətriz	matria
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	SIO ₂	63,4	64,4	63,9	64,6	63,4	66,2	64,7	64.3	63.0	64 7	63.2	65.2	64.7
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Al ₂ O ₃	18,5	20,7	21,0	20,2	19,5	19,4	19.9	19.7	20.4	196	20.2	20.1	04,7
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Fe ₂ O ₃	2,49	0,66	0,68	0,44	0,62	0,42	0.62	0.68	0.78	0,60	0.81	20,1	20,4
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	CaO	0,45	0,17	0,13	0,06	0,00	0,03	0.10	0.14	0.34	0.29	0.25	0,24	0,19
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Na ₂ O	4,95	5,32	6,34	7,41	6,27	4,63	4,74	4.86	4 67	4 15	473	5.20	0,62
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	K ₂ O	9,52	8,81	8,40	6,03	8,78	9,66	9.57	9.66	9 18	9.75	9.73	3,23	5,25
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	BaO	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0.07	0.02	0.06	0.05	0.06	0,00	7,00
Total         99,35         100,15         100,58         98,80         98,57         100,34         99,81         99,83         98,51         99,25         98,59         99,99         99,86           Si         11,741         11,650         11,544         11,710         11,691         11,919         11,769         11,759         11,623         11,816         11,651         11,774         11,711           Fe ³⁺ 0,384         0,101         0,002         0,067         0,095         0,064         0,094         0,104         0,121         0,092         0,125         0,037         0,029           Na         1,778         1,868         2,224         2,606         2,244         1,615         1,673         1,724         1,670         1,472         1,694         1,852         1,841           Ba         0,000         0,003         0,001         0,000         0,000         0,000         0,005         0,002         0,004         0,004         0,005         0,024         0,003         0,024         0,033           K         2,249         2,035         1,937         1,395         2,068         2,217         2,221         2,254         2,161         2,275         2,172	SrO	0,04	0,05	0,02	0,06	0,00	0,00	0.11	0.07	0,08	0,00	0,00	0,34	0,47
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Total	99,35	100,15	100,58	98,80	98,57	100,34	99,81	99.43	98.51	99.25	0,11	0,40	0,37
Si         11,741         11,650         11,544         11,710         11,691         11,919         11,769         11,759         11,623         11,816         11,651         11,774         11,711           AI         4,042         4,414         4,474         4,319         4,250         4,117         4,262         4,243         4,432         4,225         4,392         4,282         4,342           Ca         0,090         0,032         0,025         0,011         0,000         0,005         0,020         0,027         0,068         0,058         0,049         0,082         0,120           Na         1,778         1,868         2,224         2,606         2,244         1,615         1,673         1,724         1,670         1,472         1,694         1,852         1,841           Ba         0,000         0,003         0,001         0,000         0,000         0,005         0,002         0,004         0,005         0,024         0,003         0,001         0,000         0,000         0,000         0,002         0,004         0,005         0,024         0,033           Sr         0,004         0,005         0,002         0,001         0,000         0,000         0										00,01	00,20	30,03	99,99	99,00
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	<b>*</b> ·						Cátion	s para 32 C	Dxiaênios					1
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Si	11,741	11,650	11,544	11,710	11,691	11,919	11,769	11,759	11 623	11 816	11 651	11 774	1 4 7 4 4
Fe ³ 0,384       0,101       0,102       0,067       0,095       0,064       0,094       0,104       0,121       0,092       0,125       0,037       0,029         Ca       0,090       0,032       0,025       0,011       0,000       0,005       0,020       0,027       0,068       0,058       0,049       0,082       0,120         Na       1,778       1,868       2,224       2,606       2,244       1,615       1,673       1,724       1,670       1,472       1,694       1,852       1,841         K       2,249       2,035       1,937       1,395       2,068       2,217       2,221       2,254       2,161       2,275       2,172       1,844       1,813         Ba       0,000       0,001       0,000       0,000       0,000       0,002       0,004       0,005       0,024       0,033         Sr       0,004       0,005       0,002       0,001       0,000       0,000       0,000       0,007       0,009       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,03	Al	4,042	4,414	4,474	4,319	4,250	4,117	4.262	4,243	4 432	4 225	1302	4 292	
Ca       0,090       0,032       0,025       0,011       0,000       0,005       0,020       0,027       0,068       0,058       0,049       0,082       0,120         Na       1,778       1,868       2,224       2,606       2,244       1,615       1,673       1,724       1,670       1,472       1,694       1,852       1,841         K       2,249       2,035       1,937       1,395       2,068       2,217       2,221       2,254       2,161       2,275       2,172       1,844       1,813         Ba       0,000       0,001       0,000       0,000       0,000       0,000       0,002       0,004       0,005       0,024       0,033         Sr       0,004       0,005       0,002       0,001       0,000       0,000       0,007       0,009       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,012       0,033       0,033         Sr       0,004       0,005       0,002       0,000       0,000       0,000       0,012       0,007       0,009       0,012       0,012 </td <td>Fe</td> <td>0,384</td> <td>0,101</td> <td>0,102</td> <td>0,067</td> <td>0,095</td> <td>0,064</td> <td>0,094</td> <td>0.104</td> <td>0 121</td> <td>0,092</td> <td>0.125</td> <td>4,202</td> <td>4,342</td>	Fe	0,384	0,101	0,102	0,067	0,095	0,064	0,094	0.104	0 121	0,092	0.125	4,202	4,342
Na         1,778         1,868         2,224         2,606         2,244         1,615         1,673         1,724         1,670         1,472         1,694         1,852         1,841           Ba         0,000         0,003         0,001         0,000         0,000         0,005         0,002         0,004         0,005         0,024         0,033         1,841           Sr         0,004         0,005         0,002         0,001         0,000         0,000         0,005         0,002         0,004         0,005         0,024         0,033           Or         56,05         53,16         47,76         36,13         49,44         59,21         58,21         57,72         56,83         61,18         56,93         45,87         49,45           Ab         41,73         45,98         51,62         63,57         50,56         40,64         41,29         41,58         41,40         37,29         41,77         51,73         47,28           An         2,22         0,86         0,62         0,30         0,00         0,15         0,50         0,70         1,77         1,53         41,70         1,77         51,73         47,28	Са	0,090	0,032	0,025	0,011	0,000	0,005	0.020	0 027	0,068	0.058	0,120	0,037	0,029
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Na	1,778	1,868	2,224	2,606	2,244	1,615	1.673	1 724	1 670	1 472	1 604	1 050	
Ba         0,000         0,003         0,001         0,000         0,000         0,000         0,001         0,000         0,000         0,002         0,002         0,001         0,000         0,000         0,002         0,002         0,001         0,000         0,000         0,002         0,002         0,001         0,000         0,000         0,002         0,002         0,004         0,004         0,005         0,024         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,033         0,	K	2,249	2,035	1,937	1,395	2,068	2.217	2.221	2 254	2 161	2 275	2 172	1,002	1,041
Sr         0,004         0,005         0,002         0,001         0,000         0,000         0,007         0,009         0,012         0,003         0,024         0,033         0,039           Or         56,05         53,16         47,76         36,13         49,44         59,21         58,21         57,72         56,83         61,18         56,93         45,87         49,45           Ab         41,73         45,98         51,62         63,57         50,56         40,64         41,29         41,58         41,40         37,29         41,77         51,73         47,28           An         2,22         0,86         0,62         0,30         0,00         0,15         0,50         0,70         1,77         1,53         1,20         240         47,28	Ba	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0.000	0,005	0,002	0.004	0.004	2,172	1,044	1,013
Or       56,05       53,16       47,76       36,13       49,44       59,21       58,21       57,72       56,83       61,18       56,93       45,87       49,45         Ab       41,73       45,98       51,62       63,57       50,56       40,64       41,29       41,58       41,40       37,29       41,77       51,73       47,28         An       2,22       0,86       0,62       0,30       0,00       0,15       0,50       0,70       1,77       1,53       4,20       2,40       2,27	Sr	0,004	0,005	0,002	0,001	0,000	0.000	0.012	0,002	0,004	0,004	0,005	0,024	0,033
Or         56,05         53,16         47,76         36,13         49,44         59,21         58,21         57,72         56,83         61,18         56,93         45,87         49,45           Ab         41,73         45,98         51,62         63,57         50,56         40,64         41,29         41,58         41,40         37,29         41,77         51,73         47,28           An         2,22         0,86         0,62         0,30         0,00         0,15         0,50         0,70         1,77         1,53         4,20         2,40         2,27						•		-,	0,007	0,000	0,012	0,012	0,042	0,039
Ab         41,73         45,98         51,62         63,57         50,56         40,64         41,29         41,58         41,40         37,29         41,77         51,73         47,28           An         2,22         0,86         0,62         0,30         0,00         0,15         0,50         0,70         1,77         1,53         42,00         2,40         2,27	Or	56,05	53,16	47,76	36,13	49,44	59.21	58.21	57 72	56 83	61 18	56 02	AE 07	40.45
<u>An</u> 2,22 0,86 0,62 0,30 0.00 0.15 0.50 0.70 1.77 1.53 1.29 41,77 51,73 47,28	Ab	41,73	45,98	51,62	63,57	50,56	40.64	41.29	41.58	41 40	37.20	11 77	40,07	49,45
	An	2,22	0,86	0,62	0,30	0.00	0.15	0.50	0.70	177	1.52	41,77	01,73	47,28

		F	ΟΝΟ	LITO	DS P	ORF	IRÍ	TICO	2.5		
·····			FEN	O e M I	CROF	ENO	CRIS	TAIS	<u> </u>		
Amostra		89FN71			89	FN86		91	FN89	91F	N128
Grão	1	2	3	1	2	2	2	1	2	1	2
Analise	nucleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda	borda	núcleo	núcleo	пи́сІео	núcleo
010			teno	micro	feno	feno	feno	feno	micro	feno	feno
	66,5	65,0	64,8	63,9	65,9	65,6	65,7	66,0	66,5	64,1	66,3
$A_{12}U_3$	19,5	19,1	19,2	21,0	19,7	19,5	19,7	19,5	19,6	20,6	19.9
Fe ₂ U ₃	0,12	0,07	0,12	0,50	0,12	0,14	0,14	0,17	0,36	0,24	0,12
CaU	0,20	0,21	0,19	0,11	0,24	0,32	0,32	0,00	0,00	0,73	0.23
Na ₂ O	4,06	4,40	4,37	6,23	4,26	3,93	4,40	4,45	4,57	5,10	4.37
K ₂ O	10,4	10,7	10,6	7,89	10,0	10,2	9,55	10,5	10,1	7,97	9.65
BaO	0,00	0,14	0,47	0,00	0,16	0,19	0,22	0,09	0.00	1,07	0.06
SrO	0,03	0,00	0,00	0,06	0,35	0,32	0,35	0,00	0,00	0.71	0.00
lotal	100,81	99,62	99,75	99,69	100,73	100,20	100,38	100,71	101,13	100,52	100,63
					Cátion	s para 32 C	xigênios	ł			
Si	11,926	11,864	11,848	11,584	11,855	11,878	11,853	11,890	11.900	11.623	11 876
_AI	4,127	4,109	4,137	4,485	4,190	4,161	4,195	4,134	4,135	4.396	4 211
Fe	0,018	0,010	0,018	0,076	0,018	0,022	0,022	0,026	0.052	0.036	0.018
Ca	0,039	0,042	0,037	0,022	0,046	0,062	0,062	0,000	0,000	0.142	0.045
Na	1,412	1,558	1,550	2,190	1,484	1,381	1,538	1.555	1.584	1.793	1 517
K	2,384	2,501	2,475	1,823	2,304	2,368	2,197	2,402	2,304	1 842	2 206
Ba	0,000	0,010	0,033	0,000	0,011	0,013	0,016	0,007	0.000	0.076	0,004
Sr	0,001	0,000	0,000	0,006	0,037	0,033	0,036	0,000	0,000	0,075	0,000
Or	63,56	62,39	62,31	46,68	61,46	63,46	59,25	62,14	60.68	50 17	59 94
Ab	35,42	36,59	36,75	52,77	37,31	34,87	39,08	37,86	39.32	45.97	38 86
An	1,02	1,02	0,94	0,55	1,23	1,67	1,67	0,00	0.00	3 86	1 20

feno: fenocristais micro: microfenocristais .

	FONÓLITOS PORFIRÍTICOS													
			FEN	O e M I	CROF	ENO	CRIS	TAIS	<u> </u>					
Amostra		91FN128			91FN129		91F	N130	1	91FN131				
Grão	3	4	5	1	2	3	1	2	1	2	3			
Analise	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo			
			micro	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno	feno			
SIO ₂	64,2	63,1	64.8	65,4	65,6	66,1	65,7	65,6	65,5	64,8	65,6			
Al ₂ O ₃	20,2	20,4	20.2	20,3	20,3	19,3	19,6	20,2	19,8	19,8	19.8			
Fe ₂ O ₃	0,16	0,17	0.21	0,12	0,16	0,30	0,19	0,11	0,18	0.19	0.10			
CaO	0,36	0,52	0.37	0,34	0,35	0,00	0,26	0,61	0,00	0.37	0.00			
Na ₂ O	4,76	4,70	5.02	4,99	4,78	4,67	4,31	4,84	4.37	4.51	4.51			
K ₂ O	9,23	9,12	8.91	8,34	9,11	9,88	9,62	8,36	10,2	9.50	9.70			
BaO	0,23	0,44	0.37	0,34	0,00	0,23	0,20	0,27	0.23	0.65	0,00			
SrO	0,45	0,41	0.35	0,35	0,15	0,00	0,33	0,55	0,04	0.53	0.00			
Total	99,59	98,86	100.23	100,18	100,45	100,48	100,21	100,54	100,32	100,35	99,71			
-					Cátion	s para 32 O	l xigênios							
Si	11,703	11,620	11,722	11,775	11,788	11,923	11,867	11,787	11,844	11.761	11.870			
	4,345	4,421	4,312	4,311	4,290	4,097	4,185	4,277	4.220	4,242	4 216			
Fe	0,025	0,026	0,032	0,018	0,025	0,044	0,029	0,017	0,027	0.029	0.015			
Ca	0,070	0,103	0,072	0,065	0,067	0,000	0,050	0,117	0.000	0.072	0,000			
Na	1,683	1,682	1,758	1,742	1,664	1,634	1,510	1,688	1,532	1.588	1,580			
K	2,148	2,144	2,055	1,915	2,087	2,273	2,218	1,918	2,344	2,199	2,237			
Ba	0,017	0,032	0,026	0,024	0,000	0,016	0,014	0,019	0,016	0.046	0.000			
Sr	0,047	0,044	0,037	0,037	0,016	0,000	0,035	0,058	0,004	0,056	0,000			
Or	56,45	56,00	54,30	52,89	56,06	59,63	60,09	52.90	61.88	58.4	60.03			
Ab	41,7	41,32	43,81	45,3	42,13	40,37	38,55	43.86	38.12	39.69	39.97			
An	1,85	2,68	1,89	1,81	1,81	0,00	1,36	3,24	0.00	1.91	0.00			

feno: fenocristais micro: microfenocristais



*Figura 12:* Nomenclatura (1) e composição (2) dos feldspatos alcalinos dos fonólitos afíricos e porfiríticos no diagrama Ab-An-Or. Valores expressos em mol %.

de Or₆₅₋₃₅Ab₃₅₋₆₅An_{<4}. Já os fonólitos afíricos apresentam uma composição mais variada, com Or₇₀₋₂₀Ab₈₀₋₃₀An_{<3}, enquadrando-se nos campos da sanidina e do anortoclásio (diagramas 1A e 2A).

Com relação aos feno e microfenocristais dos fonólitos afíricos e porfiríticos (diagramas 1B e 2B) pode-se dizer que em sua maioria são do tipo sanidina. A composição concentra-se principalmente no intervalo Or₆₅₋₅₀Ab₃₅₋₅₀An_{<4}, exceção feita à análise da borda de um grão de fonólito afírico.

Comparando os dois diagramas pode-se concluir que:

- nos fonólitos afíricos os feldspatos alcalinos variam de sanidina a anortoclásio, ao passo que na matriz dos fonólitos porfiríticos predomina a sanidina (figura 12);

- os feno e microfenocristais dos fonólitos afíricos e porfiríticos são do tipo sanidina, com composição mais restrita do que os da matriz;

- no geral os feno e microfenocristais zonados não possuem diferenças significativas na composição, exceção feita a um microfenocristal de fonólito afírico que mostra claramente um enriquecimento em sódio do núcleo (sanidina) para borda (anortoclásio).

## FELDSPATÓIDES

Os feldspatóides presentes nos fonólitos afíricos e porfiríticos, pertencem ao grupo da nefelina e ao grupo da sodalita.

Nos fonólitos afíricos são encontradas nefelinas euhedrais a subhedrais, hexagonais ou retangulares, constituindo a matriz ou como microfenocristais e mais raramente como fenocristais. Na matriz, em duas amostras de fonólitos afíricos (89FN46 e 89FN66) pertencentes ao Grupo II, foram encontradas sodalitas subhedrais a anhedrais arredondadas.

Nos fonólitos porfiríticos estão presentes a nefelina, na matriz e como feno e microfenocristais, e a noseana somente como feno e microfenocristais, normalmente aglomerados, ricos em microinclusões de opacos.

# Quimismo das nefelinas, sodalitas e noseanas

A **nefelina** apresenta uma malha do tipo tridimita na qual aproximadamente metade dos átomos de silício foram subsituídos por alumínio. Na estrutura da nefelina o

silício ocupa os vértices dos tetraedros apontados em uma direção segundo o eixo z, enquanto que o alumínio ocupa os vértices que apontam na direção oposta. A presença de átomos de álcalis nas cavidades do esqueleto tridimensional compensam a carga negativa, mantendo assim a neutralidade elêtrica. A relação Si+Al=16 geralmente é de mais do que 8 Si para menos do que 8 Al, o que faz com que a carga negativa da rede tridimensional seja menor que 8 resultando na ocorrência de menos de oito átomos de metais alcalinos na malha. Com isso na maior parte das nefelinas as cavidades da rede tridimensional não estão totalmente ocupadas. A fórmula geral da nefelina, pode ser representada por Na_xK_yCa_z $\Box_{8-(x+y+z)}Al_{(x+y+z)}Si_{16-(x+y+2z)}O_{32}$ , na qual  $\Box$  indica as vacâncias nas posições catiônicas (Deer *et al.*, 1966).

Os resultados das análises químicas das nefelinas dos fonólitos com as proporções catiônicas expressas com base em 32 oxigênios, bem como os valores calculados das moléculas de Nefelina (Ne), Kalsilita (Ks) e Sílica (Qz), aparecem listados nas tabela 9.

O número de átomos de K por unidade de fórmula, em todas análises químicas das nefelinas, é sempre menor que 2 e maior que 0,25, caracterizando nefelinas do tipo médio-potássicas (Deer *et al.*, 1966).

Os valores de Ne, Ks e Qz, apresentados na tabela 9, foram lançados no diagrama Ne-Ks-Qz de Hamilton & Mackenzie (1960) a fim de caracterizar a composição das nefelinas dos fonólitos (figura 13). Nesse diagrama observa-se que as nefelinas da matriz dos fonólitos afíricos e porfiríticos são mais enriquecidas na molécula Qz do que os feno e microfenocristais dos mesmos, concentrando-se acima da linha tracejada que representa o limite da solução sólida da sílica em nefelinas a 700°C.

Os minerais do **grupo da sodalita** possuem um esqueleto tridimensional formado pela ligação de tetraedros de SiO₄ e AlO₄, com relação 1:1, onde cada oxigênio dos vértices é compartilhado por dois tetraedros. Esses minerais possuem unidades cubo-octaédricas do tipo "gaiola", limitadas por seis anéis de quatro tetraedros e oito anéis de seis tetraedros. Os anéis com seis tetraedros definem um conjunto de canais que se intersectam para formar grandes cavidades.

No caso da **sodalita**, estas cavidades são ocupadas por íons de cloro, que estão em coordenação tetraédrica com íons de sódio. No caso da **noseana**, dois dos íons de

	FONÓLITOS AFÍRICOS													
					MA	TR	ΙZ							
Amostra	89FN46		89F	N47				89	=N66			89FN65		
Grão	1	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1		
Analise	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz		
SiO ₂	47,8	44,3	44,1	46,7	48,0	46,5	46,7	46,7	47,5	46,5	48,3	42,7		
Al ₂ O ₃	31,0	33,4	31,4	32,6	31,8	32,7	32,0	32,2	33,1	32,7	31,4	33,1		
FeO*	1,19	0,45	0,66	0,62	0,63	1,38	1,12	1,52	0,83	1,29	1,20	0,45		
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.01	0.03		
Na ₂ O	15,2	16,1	18,0	16,1	16,4	15,8	16,1	15,8	15,7	16,2	16.1	17.8		
K ₂ O	4,07	4,79	3,65	3,43	3,21	4,49	4,36	4,51	4.17	4,40	4.03	4.16		
BaO	0,00	0,05	0,35	0,05	0,00	0,02	0,00	0,08	0.00	0.05	0.24	0.00		
SrO	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0.05	0.00		
CI	nd	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0.00	0.03		
SO₃	nd	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0.02	0.08		
Total	99,26	99,14	98,17	99,50	100,10	100,90	100,34	100,83	101,32	101,14	101.35	98.35		
											<b>,</b>			
_		1			C	átions para	i 32 Oxigêni	ios				•		
Si	9,064	8,495	8,597	8,826	8,997	8,751	8,826	8,790	8,831	8,730	9,007	8,303		
Al	6,936	7,562	7,210	7,258	7,018	7,242	7,130	7,160	7,258	7,231	6,917	7,605		
Fe	0,188	0,069	0,107	0,096	0,096	0,219	0,177	0,239	0,128	0,202	0,187	0,075		
Са	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005		
Na	5,573	5,994	6,810	5,888	5,957	5,749	5,890	5,763	5,648	5,904	5,824	6,714		
K	0,985	1,168	0,907	0,827	0,768	1,077	1,049	1,084	0,987	1,051	0,955	1,035		
Ba	0,000	0,005	0,027	0,005	0,000	0,005	0,000	0,006	0,000	0,005	0,016	0,000		
Sr	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000		
CI	nd	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0.005		
S	nd	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,005	0,010		
Ne	63,43	73,13	78,97	72,18	72,38	64,05	67,12	62,87	67,73	66,36	65,96	80,14		
Ks	15,34	17,10	12,87	12,45	11,44	16,93	16,00	17,11	15,12	12,28	14,70	14,63		
<u>     Qz      </u>	21,23	9,77	8,16	15,37	16,18	19,02	16,88	20,01	17,15	17,36	19,34	5,23		

Tabela 9: Análises químicas das nefelinas dos fonólitos estudados.

	F	ONĆ	LIT	OS /	AFÍR	100	S	
	MI	CR	OFE	NOO	CRI	S T A	<u> </u>	
Amostra			89FN46				89FN47	
Grão	1	1	1	2	2	1	2	2
Análise	núcleo	borda	borda	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda
SiO ₂	44,8	44,4	45,4	45,0	46,3	43,6	44,5	44.7
$Al_2O_3$	33,8	33,1	33,5	33,5	32,9	33.2	34.3	32.4
FeO*	0,39	0,41	0,40	0,38	0,60	0.14	0.34	0.40
CaO	0,05	0,04	0,05	0,02	0,02	1,20	0.02	0.00
Na ₂ O	15,5	15,6	15,5	15,4	15,5	16.3	16,9	16.4
K ₂ O	5,23	5,18	5,09	5,19	4,80	4.51	4.60	5.21
BaO	0,00	0,00	0,00	0,01	0.01	0.05	0.02	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.06	0,00
CI	nd	nd	nd	nd	nd	0.00	0.02	0,00
SO₃	nd	nd	nd	nd	nd	0.05	0.01	0,00
Total	99,77	98,73	99,94	99,50	100,13	99,05	100,77	99,11
			с	átions para	32 Oxidêni	05		
Si	8,538	8,554	8,617	8.588	8.750	8 394	8 405	8 597
AI	7,579	7,512	7,488	7.520	7 323	7 519	7 642	7 354
Fe	0,061	0,066	0,063	0.060	0.095	0.069	0.053	0.064
Ca	0,009	0,008	0.010	0.004	0,004	0.245	0,000	0,000
Na	5,701	5,829	5,689	5.692	5.673	6,080	6 202	6 128
к	1,269	1,273	1,233	1,264	1,157	1,104	1 109	1 274
Ba	0,000	0,000	0,000	0.001	0.001	0,005	0,005	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000	0,005	0,000
CI	nd	nd	nd	nd	nd	0.000	0,005	0,000
S	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	0,005	0,000
Ne	70.75	71.35	70 53	70 49	68 85	78 87	76.21	72 24
Ks	18,63	18.55	18.12	18 52	17 24	16.35	15.00	10,04
Qz	10,62	10,10	11.35	10,99	13.91	4 78	7.80	9.54

-----

.

	F	ΟΝΟ	LIT	OS P	ORF	IRÍT	ICO	S	
	М	ATRI	Ζ		MI	CROF	ENOC	RIST	A 1 S
Amostra	89FN86	1	9FN129			896	N71		ROENRE
Grão	1	1	2	3	1	2	3	A	1
Análise	matriz	matriz	matriz	matriz	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo
SiO ₂	47,6	48,0	48,0	48,2	44,6	45.4	44.1	44.3	45.1
$Al_2O_3$	31,8	33,0	32,2	31,9	34,0	34.1	34.1	32.8	33.8
FeO*	1,09	0,65	1,52	1,44	0,43	0.42	0.51	0,59	0.41
CaO	0,07	0,00	0,05	0,08	0.64	0.62	0.63	0.51	0.23
Na ₂ O	15,2	15,9	16.6	16.4	16.4	15.4	16 1	16.7	16.2
K ₂ O	4,01	3,27	3,27	2,97	4.47	4.47	4 27	4 44	4 16
BaO	0,00	0,05	0,00	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00	
SrO	0,00	0,09	0,00	0,01	0.03	0.00	0,00	0.02	0.04
CI	nd	0,03	0,01	0,01	0.00	0.01	0,00	0.01	nd
SO3	nd	0,00	0,02	0,00	0.02	0,00	0,01	0.01	nd
Total	99,77	100,99	101,67	101.01	100.59	100.42	99 73	99,38	99.95
		-		2			00,10	00,00	00,00
		,		Cátions	s para 32 O	xiaênios			
Si	8,981	8,900	8,906	8,972	8,431	8.549	8.394	8 501	8 538
AI	7,065	7,221	7,043	6,999	7.583	7.573	7 663	7 418	7 551
Fe	0,172	0,101	0,236	0,223	0.069	0.064	0,080	0,096	0,066
Ca	0,015	0,000	0,011	0.016	0.128	0.123	0,000	0,000	0,000
Na	5,545	5,733	5,964	5,927	6.032	5.616	5 952	6 2 2 9	5 953
K	0,964	0,774	0,774	0,703	1.077	1 077	1 040	1 088	1 006
Ba	0,000	0,003	0,000	0,000	0.000	0.000	0,000	0,000	0.001
Sr	0,000	0,009	0,000	0.001	0,005	0.000	0,000	0,005	0.004
CI	nd	0,011	0,002	0.002	0.000	0.005	0,005	0,005	nd
S	nd	0,000	0,002	0.000	0.005	0,000	0,005	0,005	nd
			,	· ·		-,	0,000	0,000	1104
Ne	64,43	74,61	66,62	68,08	75,93	72.03	74.91	75.41	74 51
Ks	15,09	11,40	12,28	11,02	16,05	16,42	15.77	16.03	14,94
Qz	20,48	13,99	21,11	20,90	8,02	11,55	9,32	8,56	10.55

		FO	NÓLI	TOS	PO	RFIR	ÍTIC	205		
			F	ENO	CRI	STAI	S			·····
Amostra	89FN71	89	=N86	91FN89a	T	91F			91F	N131
Grão	1	1	1	1	1	2	3	4	1	2
Análise	núcleo	núcleo	borda	borda	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	- núcleo
SiO ₂	44,0	45,1	45,0	45,6	44,4	44,5	44,3	45.1	44.5	44.3
Al ₂ O ₃	33,1	34,0	33,8	34,4	33,7	33,8	34,3	34.3	34.6	32.3
FeO*	0,54	0,38	0,39	0,64	0,42	0,40	0.38	0.40	0.45	0.33
CaO	0,66	0,05	0,75	0,00	0,17	0,20	0.28	0.50	0,00	0,00
Na ₂ O	15,9	16,2	15,7	16,5	16,3	16,1	16.1	156	16.5	17.6
K ₂ O	4,71	4,08	4,39	4,24	4,37	4,34	4.45	4 29	4 74	4 11
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.02	0.01	0,00	0,00
SrO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0.03	0.01	0,00	0.02
CI	0,01	nd	nd	0,01	nd	nd	nd	nd	0,00	0.01
$SO_3$	0,02	nd	nd	0,03	nd	nd	nd	nd	0.00	0.02
Total	98,95	99,71	100,04	101,42	99,36	100,34	99,86	100.21	100.39	98 69
							,			00,00
<i></i>		I .		C	átions para	32 Oxigênio	os			
SI	8,474	8,533	8,526	8,513	8,488	8,492	8,415	8,509	8,397	8.559
Al	7,519	7,596	7,551	7,572	7,584	7,600	7,693	7,632	7.697	7.347
Fe	0,088	0,060	0,062	0,099	0,067	0,063	0,060	0.063	0.071	0.054
Ca	0,136	0,011	0,153	0,000	0,034	0,041	0,057	0.101	0.000	0.000
Na	5,926	5,953	5,751	5,999	6,026	5,966	5,936	5.703	6,035	6,580
K	1,159	0,986	1,061	1,010	1,067	1,057	1,079	1,031	1,138	1.013
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0.000	0,000
Sr	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0.001	0.000	0.002
CI	0,003	nd	nd	0,002	nd	nd	nd	nd	0 000	0,004
S	0,002	nd	nd	0,004	nd	nd	nd	nd	0.001	0,002
			1					-	-,	-, <b>-</b>
Ne	73,31	74,58	73,65	73,03	74,68	74,48	74,67	73,05	74.16	78 98
Ks	17,40	14,59	16,12	15,10	15,69	15,61	16,05	15,69	16.70	14.21
Qz	9,29	10,83	10,23	11,87	9,62	9,91	9,28	11,26	9,14	6.81



*Figura 13:* Composição das nefelinas dos fonólitos afíricos e porfiríticos no diagrama Ne-Ks-Qz. Linha tracejada representa o limite de solução sólida da sílica em nefelinas a 700°C (Hamilton & Mackenzie, 1960). Valores expressos em porcentagem molecular de Ne, Ks e Qz.

cloro de cada malha são substituídos por íons isolados de (SO₄)²⁻. O mineral sodalita, dentro do grupo da sodalita, é o representante mais rico em sódio, podendo sua fórmula química ser expressa por Na₈Al₆Si₆O₂₄Cl₂. A noseana tem composição Na₈Al₆Si₆O₂₄SO₄ com pequenas quantidades de Ca substituindo o Na, o que permite que haja um aumento de íons de sulfato com relação ao valor ideal por malha unitária (Deer *et al.,* 1966).

Os resultados das análises químicas das sodalitas dos fonólitos afíricos e noseanas dos fonólitos porfiríticos aparecem listadas na tabela 10. Cabe ressaltar que os altos teores de FeO das sodalitas devem-se às minúsculas inclusões de grãos de opacos presentes nos núcleos dos cristais analisados.

## ANALCIMAS E MINERAIS DO GRUPO DAS ZEÓLITAS

As analcimas e zeólitas ocorrem como produto de alteração das nefelinas e feldspatos alcalinos, normalmente como massa intersticial ou como cristais agregados, dispostos nos contatos desses fenocristais ou em meio a fraturas dos mesmos. Em alguns casos são vistos cristais euhedrais quadráticos de analcima junto a nefelinas, compondo a matriz. Também foi determinada uma analcima ocorrendo na borda de um microfenocristal de nefelina, amostra 89FN47 (fonólito afírico do Grupo I).

A analcima é considerada como membro do grupo das zeólitas, apesar de possuir uma temperatura de paragênese mais elevada do que os minerais desse grupo. Possui afinidades com os feldspatóides, especialmente com as nefelinas (Deer *et al.,* 1966; Wilkinson & Hensel 1994).

As zeólitas podem ser definidas como aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos e alcalinos terrosos, tendo a relação molecular  $AI_2O_3$ :(Ca,Sr,Ba,Na₂,K₂)O = 1 e a relação O:(AI+Si) = 2.

Os resultados das análises químicas das analcimas e zeólitas são apresentados na tabela 11. As zeólitas estudadas fazem parte do subgrupo da natrolita, sendo que a homogeneidade das análises químicas pode ser explicada por se tratarem de cristais pertencentes a um mesmo agrupamento, que ocorre na amostra 89FN86.

	F	ONÓLITO	AFÍRICO			F	ONÓLITO I	PORFIRÍTIC	:0
		MAT	RIZ				MICROFEN	<b>IOCRISTAIS</b>	S
Amostra		89FN46		89F	N66	89F	N71	91F	N89
Grão	1	2	3	1	2	1	2	1	2
Analise	Sodalita	Sodalita	Sodalita	Sodalita	Sodalita	Noseana	Noseana	Noseana	Noseana
SiO ₂	39,0	38,9	39,3	38,6	39,9	34,8	36,2	37,9	33,3
$AI_2O_3$	31,4	30,9	30,9	31,3	30,6	30,4	29,7	31,3	30,0
FeO*	2,52	2,21	2,84	1,57	1,70	0,17	0,27	0,26	0,04
CaO	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	3,65	4,54	0,42	0,89
Na ₂ O	24,6	24,5	24,7	24,0	23,0	17,1	14,5	16,3	20,9
K ₂ O	0,24	0,19	0,18	0,40	0,16	0,43	0,65	0,81	0,73
BaO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,06	0,14	0,00	0,12	0,07
SrO	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0.10	0,03
CI	6,54	6,87	6,73	5,97	5,99	1,03	1,01	1,36	1,26
$SO_3$	0,65	0,28	0,17	0,35	0,27	8,46	6,38	7,30	6,77
Total	105,03	103,86	104,85	102,26	101,71	96,26	93,30	95,87	93,99
O=CLS	1 48	1.55	1 52	1 35	1 35	0.23	0.23	0.24	0.00
Total	103 52	102 31	103 33	1,00	100.36	96.03	0,20	0,51	0,20
	100,02	102,01	100,00	100,01	100,00	30,03	33,07	30,00	93,71
				Cátior	ns para 32 (	Dxigênios		I	
Si	7,747	7,837	7,853	7,807	8,053	6,811	7,291	7,358	6,805
AI	7,352	7,339	7,283	7,459	7,296	7,019	7,051	7,176	7,216
Fe	0,418	0,373	0,474	0,265	0,287	0,027	0,043	0,043	0,005
Ca	0,006	0,002	0,004	0,011	0,006	0,768	0,981	0,088	0,192
Na	9,453	9,584	9,57 <b>8</b>	9,416	9,014	6,501	5,664	6,151	8,288
К	0,061	0,049	0,045	0,103	0,042	0,106	0,165	0,200	0,192
Ba	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	0,010	0,000	0.009	0.005
Sr	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,005	0,011	0,005
CI	2,201	2,346	2,279	2,044	2,049	0,341	0,341	0,449	0,437
<u> </u>	0,097	0,042	0,026	0,054	0,041	1,243	0,965	1,065	1,035

Tabela 10: Análises químicas das sodalitas e noseanas dos fonólitos estudados.

FeO* = Ferro total obtido através de Microssonda eletrônica; Os elevados teores de FeO são em parte devido as minúsculas inclusões de minerais opacos.

	FON AFÍI	ÓLITO RICO					F P(	ONÓLITO DRFIRÍTIC	os Os	<u> </u>			
Amostra	89F	N47	89FN71		89F	N86		91FN128		·	91FN130		
Grão Análise	1- an matriz	2- an borda microf.	1- an núcleo microf.	1- an massa interst.	2- ze aglom.	3- ze aglom.	4- ze aglom.	1- an matriz	1- an matriz	2- an matriz	3- an massa Interst.	3- an massa Interst.	3- an massa Interst.
SiO ₂	55,1	50,3	36,5	51,2	39,8	39,5	40,4	49,3	55,6	52,9	53,4	53,4	52,1
Al ₂ O ₃	26,9	26,7	30,8	26,3	30,6	30,3	30,8	22,1	23,7	25,3	24.8	25.5	25.3
FeO*	0,21	0,93	0,33	0,03	0,01	0,00	0,00	0,11	0,33	0,06	0.12	0.09	0.09
CaO	0,07	0,13	0,57	0,68	6,11	6,62	6,33	0,06	0,07	0,29	0.00	0.01	0.05
Na ₂ O	12,9	13,7	19,6	12,9	10,9	10,2	11,1	20,1	10,6	12,4	12,8	11.7	12.9
K ₂ O	0,64	4,64	4,27	0,19	0,00	0,02	0,01	0,31	1,81	0,26	0,21	0.25	0.38
BaO	0,05	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0.00
SrO	0,12	0,02	0,00	0,01	0,05	0,00	0,02	0,10	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00
CI	1,75	0,25	0,01	nd	nd	nd	nd	0,04	nd	nd	nd	nd	nd
SO3	0,08	0,01	0,00	nd	nd	nđ	nd	0,02	nd	nd	nd	nd	nd
Total	97,82	96,68	92,08	91,22	87,50	86,64	88,66	92,14	92,17	91,21	91,36	90,95	90,82
			E .			Cátions	para 32 O	i i xigênios					
Si	10,299	9,749	7,776	10,097	8,449	8,452	8,463	10,008	10,782	10,372	10,469	10,459	10,309
Al	5,931	6,107	7,749	6,114	7,645	7,646	7,600	5,294	5,425	5,859	5,724	5,874	5,893
Fe	0,032	0,149	0,059	0,005	0,002	0,000	0,000	0,019	0,054	0,010	0,019	0,015	0,015
Ca	0,016	0,027	0,128	0,143	1,390	1,518	1,421	0,013	0,014	0,060	0,001	0,001	0,011
Na	4,656	5,136	8,091	4,920	4,476	4,211	4,498	7,900	3,999	4,732	4,856	4,449	4,935
К	0,149	1,147	1,162	0,049	0,000	0,005	0,002	0,079	0,449	0,064	0.052	0.061	0.095
Ba	0,005	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0.000	0.000	0.000	0,000
Sr	0,011	0,005	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,012	0,004	0.000	0,003	0.000	0.000
CI	0,555	0,080	0,005	nd	nd	nd	nd	0,013	nd	nd	nd	nd	nd
<u> </u>	0,010	0,005	0,000	nd	nd	nd	nd	0,003	nd	nd	nd	nd	nd

Tabela 11: Análises químicas das analcimas e zeólitas dos fonólitos estudados.

FeO* = Ferro total obtido através de Microssonda eletrônica

an= analcima; ze= zeólitas; microf. = microfenocristal; massa interst. = massa intersticial; aglom. = aglomerado

#### **5.3- XENOCRISTAIS**

Em amostras de fonólitos porfiritícos, pertencentes à "pedreira" próxima do Morro do Medeira, foram encontrados xenocristais idiomórficos de olivina parcialmente ou totalmente substituídos por diopsídio, magnetita com Ti e flogopita (borda de reação), rodeados por uma coroa externa composta por flogopita, magnetita com Ti, salita e pargasita com Fe²⁺. Foi também determinado um megacristal de clinopiroxênio amarelo, mais enriquecido em  $Cr_2O_3$  e MgO do que os demais, ocorrendo na amostra 91FN128.

As análises químicas apresentadas, pertencem ao clinopiroxênio da amostra 91FN128, e a um relicto de olivina (borda de reação e coroa) da amostra 91FN129a (tabelas 12 a 17).

## CLINOPIROXÊNIO - AMOSTRA 91FN128

O megacristal de clinopiroxênio da amostra 91FN128 apresenta-se muito deformado, fraturado, zonado com núcleo amarelado e borda verde (foto 13 - capítulo 4).

A composição e nomenclatura desse mineral pode ser vista na figura 14, através do diagrama Wo-En-Fs de Deer *et al.*, (1978). As análises do núcleo desse clinopiroxênio aparecem no campo do diopsídio (85<*mg*#<93), ao passo que numa faixa estreita no contato entre núcleo e borda (zona intermediária) o clinopiroxênio tem composição de salita (72<*mg*#<84). A composição da borda, salita-ferrosalita (60<*mg*#<64), coincide com a composição das bordas dos feno e microfenocristais castanhos (salitas e salitas com Ti) dos fonólitos porfiríticos.

## OLIVINA - COROA E BORDA DE REAÇÃO

O relicto de olivina analisado (foto 14 - capítulo 4), possui forma elipsoidal (2,4 mm X 1,2 mm), inclusões de magnetita com Ti, escassas inclusões fluidas e composição semelhante a dos fenocristais dos diques máficos estudados por Maríngolo (1995), com valor de *mg*# de aproximadamente 80. No contato entre a olivina e a borda de reação ocorrem normalmente agregados finos de filossilicatos verdes.

Na *borda de reação* nota-se uma distribuição heterogênea da magnetita com Ti e da flogopita. A magnetita com Ti concentra-se nas proximidades da olivina, como grãos

			Po	-fil 1			1			<i>C'1</i> 11		
Análise	núcleo	núcleo	interm	intorm	borda	hordo	núoloo		Per	TII II 6 1		
	amarelo	amarelo	amarolo	amarolo	vordo	borda	nucleo	nucieo	nucieo	Dorda	borda	borda
SiOa	51.8	51 4	48.5	19.9	48.0	<u>50.2</u>			amareio	verae	verde	verde
TiO	0.82	0.53	161	43,3	40,0	50,Z	51,0	51, I 4 04	50,6	4/,/	48,6	50,3
	3.02	0,00	5.24	1,70	0,92	0,71	0,90	1,01	1,11	1,22	1,11	0,70
	0.49	3,00	5,34	4,35	3,61	2,88	4,57	4,80	4,48	4,18	4,21	3,08
	0,40	0,39	0,14	0,28	0,00	0,00	0,61	0,45	0,48	0,08	0,04	0,14
	0,00	1,71	4,71	1,21	6,34	3,63	3,14	2,12	2,67	6,51	6,53	5,09
FeU	4,87	3,48	7,14	4,86	8,41	10,1	2,28	3,19	2,69	9,04	8,76	9,10
MnO	0,10	0,06	nd	0,07	0,90	0,93	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MgO	15,6	16,2	10,3	14,8	7,99	8,69	16,2	15,9	16,1	7,77	7,93	8,79
CaO	20,9	21,1	22,0	22,4	20,3	20,9	21,7	21,8	21,4	20,4	21.2	21.5
Na ₂ O	0,45	0,54	1,24	0,27	1,88	1,57	0,59	0,56	0.59	1.96	1.95	1.82
$ZrO_2$	0,06	0,00	0,13	0,00	0,07	0,16	0,00	0,00	0.05	0.16	0.13	0.10
Total	99,00	99,29	101,11	99,91	98,42	99.77	100.99	100 93	100 17	99,02	100.46	100.62
				,		,		,	,.,	00,02	100,10	100,02
FeO*	4.87	5.02	11.4	5.95	14.1	13 4	5.12	5 10	5.09	14 9	14.6	137
		•	,	- 1	, .		0,12	0,10	0,00	1-1,0	14,0	10,7
ma#	85.1	89.3	72.1	84.4	62.8	60.5	92.6	89.8	Q1 5	60.5	617	62.2
~	,	- , -	, .	, ,	02,0	00,0	02,0	00,0	51,0	00,0	01,7	00,0
					(	Cátions para	a 6 Oxigênio	s				
Si	1,912	1,891	1,814	1,845	1,868	1,920	1,847	1,854	1.850	1.846	1.851	1 904
AI IV	0,088	0,109	0,186	0,155	0,132	0.080	0.153	0.146	0 150	0 154	0 149	0.096
ALVI	0.082	0,059	0,049	0,035	0.034	0.050	0.042	0.059	0.043	0,037	0,041	0,000
Ti	0.023	0,015	0.045	0.049	0 027	0.020	0.025	0,000	0.031	0,001	0,041	0,0-71
Fe ³⁺	0.000	0.047	0.132	0.034	0 186	0,105	0.086	0.058	0.073	0,000	0,032	0,020
Fe ²⁺	0.150	0,107	0,223	0 150	0,274	0,100	0.070	0,000	0,070	0,100	0,107	0,140
Min	0.003	0.002	nd	0,002	0,030	0,024	0,070	0,0 <i>31</i>	0,002 nd	0,293	0,219	0,200
Ma	0.859	0.889	0.576	0,002	0,000	0,000			114		na	na
Ca	0,826	0.831	0,821	0,014	0,403	0,490	0,070	0,857	0,879	0,448	0,450	0,496
Na	0,020	0,001	0,001	0,009	0,040	0,000	0,841	0,849	0,836	0,847	0,866	0,872
ina	0,052	0,039	0,090	0,019	0,142	U,117	0,041	0.039	0.042	0.147	0.144	0 134

)	(	E	Ν	0	С	R	1	S	Т	Α	L	-	CI	. 1	Ν	0	Ρ	1	R	0	X	Ê	Ν	1	0

Tabela 12: Dados químicos do clinopiroxênio xenocristalino da amostra 91FN128.

FeO*: ferro total determinado pela microssonda  $Fe_2O_3 e FeO:$  valores calculados pelo programa MINFILE e PAPIKE (referências vide texto)  $mg#=[Mg/(Mg+Fe^{2^+})x100\%]$ 



*Figura 14:* Classificação do xenocristal de clinopiroxênio da amostra 91FN128 no diagrama Wo-En-Fs. Nomenclatura segundo Deer *et al.* (1978).

·····			0	LIVIN	I A		
Grão	1	1	1	1	1	1	1
Análise	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda	borda
SiO ₂	39,3	39,1	39,5	38,3	38,3	39,0	38,7
TiO ₂	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	0,07	0,07	0,06	0,10	0,08	0,05	0,08
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
FeO	18,5	18,4	18,2	18,1	18,8	18,7	19,2
MnO	0,23	0,32	0,27	0,29	0,14	0,46	0,98
MgO	41,3	42,6	42,1	42,97	42,3	40,7	40,7
CaO	0,15	0,13	0,11	0,18	0,14	0,18	0,18
Na₂O	nd	nd	nd	0,05	0,04	nd	0,04
NiO	0,11	0,12	0,11	0,07	0,01	0,08	0,06
Total	99,56	100,44	100,35	100,07	99,69	99,19	100,16
mg # *	0,798	0,805	0,803	0,809	0,800	0,796	0,791
			Cátion	s para 4 Ox	igênios		
Si	1,010	0,990	1,000	0,979	0,981	1,010	0,996
AI IV	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
AI VI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Fe ⁺³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺²	0,400	0,390	0,390	0,386	0,404	0,400	0,413
Mn	0,010	0,010	0,010	0,006	0,003	0,010	0,021
Mg	1,580	1,610	1,590	1,636	1,617	1,560	1,562
Ca	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,000	0,005
Na	nd	nd	nd	0,002	0,002	nd	0,002

Tabela 13: Análises químicas da olivina da amostra 91FN129a (fonólito porfirítico).

_____

**mg*# = Mg/(Mg+Fe⁺²)

CLINOPIROXÊNIO													
Grão	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
Análise	borda	borda	borda	borda	borda	borda	borda	coroa	coroa	coroa	coroa	coroa	coroa
SiO ₂	54,5	54,4	55,0	54,2	54,6	53,1	52,5	50,2	47,2	47,7	47,1	47,2	48,0
TiO ₂	0,08	0,07	0,05	0,10	0,00	0,27	0,23	1,22	1,20	1,26	1,73	1,72	1,24
$Al_2O_3$	0,31	0,40	0,24	0,25	0,25	0,56	0,42	2,00	4,60	4,50	5.57	4,80	4,97
Cr ₂ O ₃	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,16	0,05	0,00	0,09	0,00	0,08	0,03	0,00
FeO	5,20	4,93	4,43	4,41	4,79	5,80	4,67	12,0	13,8	12,5	12,9	11,3	11,58
MnO	nd	nd	nd	0,37	0,38	0,52	0,39	0,88	0,74	0,65	0,67	0,55	0,70
MgO	16,4	16,0	16,4	16,4	15,7	16,0	16,6	9,81	8,16	8,68	9,06	10,2	9,83
CaO	23,8	24,0	24,1	24,1	23,9	23,8	23,4	20,2	20,8	21,0	21,3	22,6	21,5
Na ₂ O	0,61	0,62	0,50	0,51	0,54	0,57	0,51	2,07	1,71	1,68	1,49	1,33	1,64
ZrO₂	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	nd	nd	0,00	nd	nd	nd	nd	nd
Total	100,95	100,42	100,85	100,38	100,16	100,88	98,80	98,38	98,63	98,00	99,90	99,73	99,46
Fe ₂ O ₃ *	1,85	2,08	1,31	1,46	1,00	1,64	1,46	4,23	6,07	5,14	6,74	7,48	7,12
FeO *	3,54	3,05	3,25	3,09	3,89	4,33	3,36	8,23	8,36	7,91	6,85	4,59	5 <u>.</u> 18
mg #**	0,892	0,903	0,899	0,905	0,878	0,868	0,898	0,680	0,635	0,661	0,702	0,799	0,771
	1 077	4 000	(			Cations	s para 6 Ox	igênios					
Si	1,977	1,982	1,993	1,979	2,004	1,947	1,954	1,935	1,834	1,849	1,784	1,782	1,813
ALIV	0,013	0,017	0,007	0,011	0,000	0,024	0,018	0,065	0,166	0,151	0,216	0,214	0,187
	0,000	0,000	0,004	0,000	0,011	0,000	0,000	0,025	0,045	0,054	0,033	0,000	0,034
Ti 3+	0,002	0,002	0,001	0,003	0,000	0,007	0,006	0,035	0,035	0,037	0,049	0,049	0,035
Fe	0,050	0,057	0,036	0,040	0,028	0,045	0,041	0,123	0,177	0,150	0,192	0,212	0,202
Fe ^{**}	0,107	0,093	0,099	0,094	0,119	0,133	0,104	0,265	0,272	0,257	0,217	0,145	0,164
Mn	nd	nd	nd	0,011	0,012	0,016	0,012	0,029	0,024	0,021	0,021	0,018	0,022
Mg	0,889	0,871	0,888	0,891	0,858	0,877	0,920	0,563	0,473	0,502	0,511	0,575	0,553
Ca	0,926	0,935	0,938	0,944	0,938	0,934	0,933	0,834	0,867	0,874	0,866	0,912	0,868
Na	0,043	0,044	0,035	0,036	0,038	0,041	0,037	0,154	0,129	0,126	0,109	0,097	0,120

Tabela 14: Análises químicas dos clinopiroxênios da borda de reação e coroa da olivina.

* Ferro calculado pelo Programa PAPIKE ***mg#* = Mg/(Mg+Fe²⁺)

	ANFIBÓLIO								
Grão	1	1	2	3	4				
Análise	inclusão	coroa	coroa	coroa	coroa				
SiO ₂	40,3	36,8	37,7	38,5	37,6				
TiO ₂	4,67	3,43	3,46	3,35	3,19				
Al ₂ O ₃	12,7	12,4	12,4	12,1	11,7				
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,11	nd	nd				
FeO	8,31	17,4	18,9	17,9	18,3				
MnO	0,08	0,56	0,66	0,73	0,60				
MgO	15,3	8,70	8,05	8,16	8,61				
CaO	11,8	11,2	11,1	11,0	10,9				
Na₂O	3,13	2,44	2,32	2,70	2,62				
K₂O	0,66	1,88	1,99	1,87	1,89				
F	nd	nd	nd	nd	nd				
CI	nd	nd	nd	nd	nd				
H₂O	2,03	1,88	1,91	1,92	1,90				
Total	99,02	96,70	98,62	98,13	96,41				
Fe ₂ O ₂ *	0.89	1.08	1 42	0.23	1 //				
FeO *	7.51	16.4	17 7	17 7	17 N				
ma# **	0.78	0.49	0.45	0.45	0.47				
	-,	Cátions	para 23 O	3 Oxiaênios					
Si	5.931	5.846	5.896	6 029	5 950				
AI IV	2,069	2,154	2,104	1,971	2,050				
AI VI	0,129	0,174	0.192	0,269	0,136				
Ti	0,517	0,410	0,407	0,394	0.379				
Fe ³⁺	0,099	0,130	0.167	0.027	0.172				
Fe ²⁺	0,924	2,185	2,317	2,319	2.254				
Mn	0,010	0,075	0,087	0,097	0.080				
Mg	3,349	2,063	1,877	1,903	2,028				
Ca	1,866	1,911	1,868	1,839	1,851				
Na	0,893	0,752	0,704	0,819	0,803				
ĸ	0,124	0,382	0,397	0,373	0,381				

Tabela 15: Análises químicas dos anfibólios da inclusão da olivina e coroa.

* Ferro calculado pelo Programa PAPIKE ** mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺)
|                                  |       |       |                |        | E           | SP     | NÉ                           | LIO       | S      |        |        |             |        |       |
|----------------------------------|-------|-------|----------------|--------|-------------|--------|------------------------------|-----------|--------|--------|--------|-------------|--------|-------|
| Grão                             | 1     | 2     | 3              | 1      | 2           | 3      | 4                            | 5         | 1      | 2      | 1      | 2           | 3      | 4     |
| Análise                          | inc.  | Inc.  | Inc.           | Borda  | Borda       | Borda  | Borda                        | Borda     | Borda  | Borda  | Coroa  | Coroa       | Coroa  | Coroa |
|                                  |       |       |                |        |             |        |                              |           | Coroa  | Coroa  |        |             |        |       |
| SiO ₂                 | 0,34  | 0,28  | 0,14           | 0,28   | 0,26        | 0,33   | 0,26                         | 0,13      | 0,56   | 0,23   | 0,68   | 0,26        | 0,25   | 0,10  |
| TiO₂                             | 12,2  | 12,0  | 11,9           | 3,66   | 4,90        | 4,58   | 3,84                         | 4,74      | 4,09   | 4,84   | 11,8   | 11,6        | 11,5   | 12,8  |
| $AI_2O_3$                        | 7,54  | 7,48  | 7,12           | 1,07   | 0,85        | 0,86   | 0,77                         | 1,13      | 0,52   | 0,87   | 0,42   | 0,59        | 0,69   | 0,51  |
| Cr ₂ O ₃   | 1,97  | 1,81  | 1,73           | 1,78   | 1,84        | 0,08   | 0,00                         | 0,04      | 0,15   | 1,64   | 0,10   | 0,04        | 0,00   | 0,07  |
| FeO                              | 67,1  | 65,7  | 66,3           | 80,8   | 81,8        | 79,7   | 82,1                         | 83,1      | 81,0   | 80,7   | 76,5   | 76,2        | 75,0   | 80,7  |
| MnO                              | nd    | 0,30  | 0,27           | 1,06   | nd          | 1,21   | 0,91                         | 1,28      | 0,94   | 1,32   | 2,52   | 2,36        | 2,48   | 2,47  |
| MgO                              | 5,54  | 5,88  | 5,57           | 2,98   | 1,74        | 2,61   | 2,41                         | 2,27      | 2,51   | 1,77   | 1,99   | 2,32        | 2,09   | 1,72  |
| CaO                              | 0,07  | 0,04  | 0,01           | 0,14   | 0,18        | 0,25   | 0,23                         | 0,39      | 0,43   | 0,18   | 0,32   | 0,10        | 0,11   | 0,18  |
| NiO                              | nd    | 0,08  | 0,08           | 0,20   | nd          | 0,18   | 0,13                         | 0,16      | 0,61   | 0,06   | nd     | nd          | 0,02   | 0,06  |
| Na ₂ O                | 0,00  | 0,10  | 0,04           | 0,03   | 0,15        | 0,05   | 0,00                         | 0,00      | 0,08   | 0,22   | 0,28   | 0,16        | 0,00   | 0,09  |
| Total                            | 94,76 | 93,67 | 93,16          | 91,90  | 91,72       | 91,95  | 90,65                        | 93,24     | 90,59  | 91,83  | 94,61  | 93,63       | 92,14  | 98,70 |
|                                  |       |       |                |        |             |        |                              |           |        |        |        |             |        |       |
| Fe ₂ O ₃ * | 35,6  | 35,7  | 36,4           | 58,4   | 55,0        | 56,6   | 59,0                         | 58,8      | 58,1   | 55,5   | 44,4   | 45,2        | 44,1   | 42,7  |
| FeO *                            | 35,1  | 33,6  | 33,6           | 28,3   | 32,3        | 28,8   | 29,0                         | 30,1      | 28,7   | 30,8   | 36,5   | 35,5        | 35,3   | 37,0  |
|                                  |       |       |                |        |             |        |                              |           |        |        |        |             |        |       |
|                                  |       |       |                | 1      |             | Cát    | ions para                    | 32 Oxigêr | nios   |        | ł      |             |        |       |
| Si                               | 0 100 | 0.080 | 0.040          | 0 090  | 0.080       | 0.010  | 0 080                        | 0.040     | 0 170  | 0 070  | 0.210  | 0 080       | 0 080  | 0.030 |
| ті                               | 2 610 | 2 590 | 2,590          | 0.840  | 1 140       | 1 080  | 0,900                        | 1 080     | 0,950  | 1 120  | 2 670  | 2 640       | 2 670  | 2,950 |
| Δ1                               | 2 530 | 2,530 | 2,000          | 0,380  | 0.310       | 0.320  | 0,280                        | 0 400     | 0 190  | 0.320  | 0 1 50 | 0,210       | 0.250  | 0,180 |
| Cr                               | 0.440 | 0.410 | 0 400          | 0.430  | 0,010       | 0.020  | 0,000                        | 0,010     | 0.040  | 0,400  | 0.020  | 0,010       | 0,000  | 0,100 |
| Εο ³⁺                 | 7 610 | 7 710 | 7 920          | 13 350 | 12 800      | 13,310 | 13 770                       | 13,960    | 13 530 | 12 890 | 10.080 | 10,340      | 10 250 | 9,850 |
| Fe ²⁺                 | 8.340 | 8 060 | 8 140          | 7 200  | 8.360       | 7 510  | 7 510                        | 7 600     | 7 430  | 7 960  | 9 200  | 9 020       | 9 100  | 9.480 |
| Mn                               | nd    | 0.070 | 0,7,10         | 0.270  | nd          | 0.320  | 0.240                        | 0,330     | 0.250  | 0.350  | 0.640  | 0.610       | 0,650  | 0.640 |
| Ma                               | 2 350 | 2 510 | 2 400          | 1 350  | 0.800       | 1 210  | 0,2- <del>3</del> 0<br>1 111 | 1 020     | 1 160  | 0.810  | 0,040  | 1 050       | 0.960  | 0,0,0 |
| my<br>Ca                         | 0.020 | 0.010 | 2,700<br>0.000 | 0.050  | 0,000       | 0 080  | 0.080                        | 0 130     | 0.140  | 0,010  |        | 0.020       | 0,000  | 0,100 |
| Na                               | 0,020 | 0.061 | 0,000          | 0,000  | 0,000<br>nd | 0,000  | 0,000                        | 0,100     |        | 0,000  |        | 0,000<br>nd |        | 0,000 |
| Ind                              | nu    | 0,001 | 0,020          | 0,024  | 114         | 0,040  | 0,000                        | 0,000     | 0,000  | 0,100  |        | nu          | 0,000  | 0,000 |

Tabela 16: Análises químicas dos espinélios: inclusão da olivina, borda de reação e coroa.

* Ferro calculado pelo Programa MINFILE inc. - inclusão da olivina

				М	1	С	A	S					
Grão	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Análise	Borda	Borda	Borda	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa	Coroa
SiO ₂	39,3	39,6	40,6	36,0	37,8	35,2	36,4	36,2	35,1	36,7	36,9	36,5	36,9
TiO ₂	1,60	1,26	1,78	3,56	4,05	3,68	3,17	3,52	3,19	3,34	3,67	3,00	3,64
$AI_2O_3$	12,6	12,2	12,0	14,4	12,5	14,6	14,1	13,6	12,7	13,6	14,1	14,2	14,5
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,06	0,05	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01
FeO	9,12	8,17	9,29	13,4	10,3	13,5	12,7	13,4	12,3	13,1	12,8	12,3	13,2
MnO	0,11	0,14	0,32	0,45	0,41	0,49	0,42	0,44	0,32	0,40	0,00	0,00	0,00
MgO	21,5	21,5	20,8	16,9	18,6	16,3	17,7	16,5	16,8	17,5	16,9	17,4	16,9
CaO	0,31	0,00	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Na₂O	0,67	0,65	0,59	0,69	0,72	0,77	0,64	0,81	0,75	0,70	0,78	0,77	0,74
K₂O	9,33	9,50	9,18	9,16	9,43	9,46	9,44	9,46	9,13	9,43	9,46	9,29	9,28
BaO	0,00	0,00	0,04	0,18	0,00	0,04	0,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,49	1,89	2,15
CI	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	0,02	0,02
H ₂ O	4,14	4,17	4,14	4,04	4,10	4,02	4,05	4,03	4,02	4,04	2,82	3,11	2,99
Total	98,68	97,19	100,38	98,83	97,94	98,06	98,81	97,97	96,02	98,91	100,02	98,48	100,33
mg#*	0,807	0,825	0,800	0,692	0,763	0,682	0,717	0,687	0,708	0,705	0,700	0,715	0,696
						Cátions	nara 24 ((						
Si	5,760	5.870	5.860	5 420	5 650	5 360	5 460	5 490	5 460	5 510	5 520	5 520	5 490
ALIV	2,190	2,130	2,050	2,560	2 190	2 620	2 500	2 440	2 330	2 400	2 480	2 480	2,510
AI VI	0.000	0.010	0,000	0.000	0,000	0.000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0.040	0.040
Tì	0,180	0.140	0.200	0.400	0.460	0.420	0.360	0.400	0,370	0,380	0,430	0,360	0 430
Cr	0,000	0,000	0,010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000
Fe ²⁺	1.120	1,010	1,120	1,680	1,290	1,720	1,590	1,700	1,600	1.640	1.610	1,560	1 640
Mn	0,010	0,020	0,040	0,060	0,050	0,060	0,050	0.060	0.040	0.050	0.000	0.000	0,000
Mg	4,690	4,750	4,490	3,780	4,150	3,690	3,960	3,740	3,890	3,920	3,760	3,920	3,750
Ca	0,050	0,000	0,210	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,280	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0,190	0,190	0,170	0,200	0,210	0,230	0,190	0,240	0,230	0.200	0,230	0,230	0.210
K	1,750	1,800	1,690	1,760	1,800	1,840	1,810	1,830	1,810	1,810	1,800	1,790	1,760

Tabela 17: Análises químicas das micas da borda de reação e coroa da olivina.

*  $mg# = Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 

subhedrais, passando a apresentar intercrescimento simplectítico com diopsídio (textura vermicular) em direção a parte mais externa da borda. Na metade mais externa da borda, a magnetita com Ti torna-se mais escassa, prevalecendo a flogopita (placas finas) acompanhando o diopsídio. No contato entre a borda de reação e a coroa podem aparecer agrupamentos de magnetita com Ti.

O início da *coroa* é marcado pelo aparecimento de flogopita castanha escura (placas espessas) e pargasita com Fe²⁺. Em direção à matriz aparecem associados a esses dois minerais, salita de tonalidade esverdeada e magnetita com Ti.

As diferenças químicas entre os minerais da borda de reação e os da coroa podem ser observadas através dos diagramas de variação de elementos em função de *mg*# = Mg/(Mg+Fe²⁺) ou de MgO (magnetitas com Ti). Com intuito de estabelecer comparações com a composição da rocha, também foram lançados nesses diagramas dados de feno e microfenocristais e da matriz do fonólito hospedeiro.

Os *clinopiroxênios da borda de reação e coroa* (figura 15), são respectivamente diopsídio e salita. O diopsídio possui valor de *mg*# relativamente constante próximo a 90, é rico em Ca e empobrecido em Al_{total}. Ti e Mn. A salita tem valor de *mg*# menor, entre 80 e 65, é mais pobre em Ca e Si, mais rica em Na, Ti e Al_{total}, tendo composição semelhante à dos fenocristais de clinopiroxênio dos fonólitos porfiríticos.

A flogopita da borda de reação possui valor de mg# e Si maior do que os da flogopita da coroa e teores de Al_{total}, Ti e Mn menores do que os da coroa (figura 16).

A magnetita com Ti da borda de reação é mais empobrecida em TiO₂ e MnO e enriquecida em  $Al_2O_3$  e MgO do que a da *coroa*. Os minerais opacos da matriz do fonólito, quando comparados com os da coroa mostram teores semelhantes de  $Al_2O_3$  e MnO, valores mais baixos de MgO e teores de FeO e TiO₂ intermediários entre os da borda de reação e da coroa (figura 17).

Os anfibólios (figura 18), pargasitas com Fe²⁺, ocorrem exclusivamente na coroa de reação. Ao serem comparados com os anfibólios fenocristalinos da rocha, mostram um comportamento parecido quanto aos teores de Ti, Ca e Na, sendo mais enriquecidos no valor de mg# e Mn e mais empobrecidos em K e Al^{VI}.











Óxidos: porcentagem em peso; FeOt: Ferro total como FeO

*Figura 17:* Nomenclatura (1) e diagramas de variação (2) dos espinélios da inclusão, coroa e borda de reação da olivina, em função de MgO. A título de comparação foi lançada a composição média dos espinélios da matriz da rocha.



*Figura 18:* Diagramas de variação dos elementos dos anfibólios da coroa da olivina. Elementos em função de *mg*# = Mg/Mg+Fe²⁺. A título de comparação foi lançado um dado de fenocristal da rocha.

### 6- QUÍMICA DAS ROCHAS

As análises petrográficas e de química mineral mostraram haver diferenças significativas entre os fonólitos estudados.

A fim de complementar a caracterização dessas rochas, serão discutidos também os resultados das análises químicas (elementos maiores, menores e traços) de fonólitos afíricos (FN6a, FN6c, 89FN46, 89FN47, 89FN64, 89FN65 e 89FN66) e porfiríticos (89FN71, 89FN85, 89FN87, 89FN88 e 91FN127).

As análises químicas de elementos maiores, menores e traços desses fonólitos foram realizadas na Itália por E. Ruberti (informações adicionais em Ulbrich *et al.*, 1994a), enquanto que as de terras raras das amostras 89FN64 (fonólito afírico do Grupo II), 91FN127 (fonólito porfirítico da pedreira) e WFN10 (dique de tefrifonólito) foram efetuadas no "ACTLABS - Activation Laboratories Ltd", em Ontario, Canada.

Os resultados das análises químicas dos fonólitos estudados, bem como as normas CIPW aparecem na tabela 18. Na tabela 19 são apresentados os dados dos elementos terras raras. Para o tratamento dos mesmos foram utilizados diagramas de variação (óxidos e elementos traços), diagramas de distribuição química de elementos menores e traços e de terras raras e diagrama Nefelina-Kalsilita-Sílica.

#### 6.1- DIAGRAMA NEFELINA-KALSILITA-SÍLICA

#### Cálculo das proporções normativas

Os valores projetados no diagrama da figura 19 foram calculados a partir dos valores normativos de albita (NaAlSi₃O₈), ortoclásio (KAlSi₃O₈) e nefelina (NaAlSiO₄) apresentados na tabela de normas CIPW.

As fórmulas da Ab e Or foram desmembradas em:

NaAlSi₃O₈ (Ab) = NaAlSiO₄ (Ne) + 2 SiO₂ 262,22g = 142,05g + 120,17g (peso das fórmulas) Ab = 54,17% de Ne + 45,83% de Qz (1)

TZ427 2.2

	FONÓLITOS AFÍRICOS								FONÓLITOS PORFIRÍTICOS				
Amostra	FN6a	FN6c	89FN46	89FN47	89FN64	89FN65	89FN66	89FN71	89FN85	89FN87	89FN88	91FN127	
SiO ₂	58,56	57,69	57,94	56,10	55,04	56,08	58,85	55.71	57.36	56.08	55.97	55.85	
TiO ₂	0,17	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,18	0,29	0,21	0.21	0.19	0.51	
Al ₂ O ₃	20,87	20,82	20,99	21,02	20,75	20,68	20,27	22,38	21,96	21,49	21,28	21,28	
Fe ₂ O ₃	1,92	1,78	1,68	2,10	2,04	2,05	1,87	1,44	2,29	1,32	1,39	1,65	
FeO	0,31	0,41	0,46	0,52	0,22	0,16	0,49	0,75	0,51	0,68	0,58	1,16	
MnO	0,21	0,21	0,17	0,14	0,23	0,24	0,25	0,11	0,15	0,12	0,12	0,13	
MgO	0,04	0,06	0,07	0,04	0,78	0,73	0,32	0,41	0,63	0,22	0,05	0,80	
CaO	0,58	0,55	0,65	0,88	0,59	0,61	0,71	1,23	1,79	1,25	1,12	2,12	
Na ₂ O	10,72	10,79	10,75	9,96	9,26	9,84	10,03	6,32	7,68	10,05	11,05	8,35	
K ₂ O	5,16	5,07	5,34	5,98	4,51	4,43	4,70	5,81	6,20	5,79	5,66	5,87	
P ₂ O ₅	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0,10	
LOI (PF)	0,99	2,03	1,55	3,25	5,42	4,12	1,52	2,75	0,06	2,32	2,48	1,68	
$H_2O^+$	0,46	0,39	0,22	0,38	0,97	0,87	0,79	2,76	1,70	0,43	0,27	0,50	
Total	100,00	100,00	100,01	100,57	99,99	100,00	99,99	100,00	100,57	99,99	100,19	100,00	
Ba	19	21	32	26	26	19	9	221	144	186	154	417	
Sr	0	0	0	33	165	180	28	356	378	398	321	736	
Rb	322	323	295	240	332	346	364	182	228	208	218	199	
Y	22	26	20	16	33	32	37	11	15	13	15	18	
Zr	1560	1549	1195	848	1714	1687	1764	754	559	745	778	737	
Nb	149	148	127	93	185	187	191	82	82	76	78	110	
Zn	181	178	150	114	229	225	227	96	131	100	109	101	
Pb	32	25	24	24	37	35	40	13	23	13	16	14	
Ce	123	120	96	93	155	156	166	80	101	78	78	100	
V	13	11	11	15	10	9	10	29	22	23	24	47	
La	150	149	123	95	176	174	170	94	102	99	86	93	

Tabela 18: Análises químicas dos fonólitos afíricos (Grupo I am. 89FN47 e Grupo II demais amostras) e porfiríticos.

. .

	FONÓLITOS AFÍRICOS								FONÓLITOS PORFIRÍTICOS				
Amostra	FN6a	FN6c	89FN46	89FN47	89FN64	89FN65	89FN66	89FN71	89FN85	89FN87	89FN88	91FN127	
Qz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
С	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	
Or	30,49	29,96	31,55	35,34	26,65	26,18	27,77	34,33	36,64	34,21	33,45	34,69	
Ab	35,51	34,37	32,85	24,50	39,57	39,74	40,33	40,14	32,06	25,28	24,93	28,58	
An	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	5,84	7,14	0,00	0,00	3,25	
Lc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ne	23,35	24,10	24,59	27,26	21,01	22,73	20,45	7,22	17,83	28,72	28,72	22,79	
Ac	5,55	5,15	4,86	6,08	0,00	1,37	5,41	0,00	0,00	3,82	4,02	0,00	
Ns	1,35	1,53	1,68	0,59	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,56	2,56	0,00	
Di	0,21	0,32	0,38	0,21	0,82	2,25	1,33	0,00	1,20	1,18	0,27	4,30	
Ed	1,28	1,59	1,65	1,73	0,00	0,00	1,56	0,00	0,00	2,12	1,83	0,31	
Di	1,49	1,91	2,03	1,94	0,89	2,25	2,89	0,00	1,20	3,30	2,10	4,61	
Wo	0,46	0,17	0,32	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	1,24	0,31	
En	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ну	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fo	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,54	0,13	0,72	0,71	0,00	0,00	0,00	
Fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,54	0,31	0,72	0,71	0,00	0,00	0,00	
Cs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,81	0,00	1,94	1,52	0,00	0,00	2,39	
11	0,32	0,34	0,32	0,34	0,32	0,32	0,34	0,55	0,40	0,40	0,36	0,97	
Hm	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	1,02	0,00	0,11	1,24	0,00	0,00	0,00	
Ар	0,02	0,05	0,05	0,05	0,02	0,05	0,02	0,09	0,07	0,07	0,07	0,24	

Continuação da tabela 18. Normas CIPW

Qz= quartzo; C= corindon; Or= ortoclásio; Ab= albita; An= anortita; Lc= leucita; Ne= nefelina; Ac= acmita; Ns= metassilicato de sódio; Di= diopsídio; Wo= wollastonita; En= enstatita; Hy= hiperstênio; Fo= forsterita; Fa= faialita; Mt= magnetita; II= ilmenita; Hm= hematita; Ap= apatita.

A seguir os valores de Ab e Or de (1) e (2) foram substituídos pelos da tabela de normas, para obtenção das concentrações de Ks, Qz e Ne. No caso da Ne foi ainda somado o valor de Ne da norma. Por fim os valores obtidos de Ne, Ks e Qz foram recalculados para 100% para obtenção das porcentagens normativas.

#### Composição química

A composição dos fonólitos estudados, no sistema Nefelina (Ne) - Kalsilita (Ks) -Sílica (Qz) à pressão de 1 atm (segundo Shairer 1957; Fudali 1963 *in Cox et al., 1979*), aparece na figura 19.

Nessa figura, nota-se que os fonólitos afíricos do Grupo II apresentam uma composição homogênea situando-se próximos ao ponto m, o qual representa o ponto mínimo (T=1010⁰ C) para a composição de líquidos fonolíticos; enquanto que o fonólito afírico do Grupo I situa-se no limite entre os campos da nefelina e da leucita, mostrando um comportamento muito semelhante ao dos fonólitos porfiríticos.

Os fonólitos porfiríticos, ao contrário dos afíricos do Grupo II, apresentam uma composição mais variável, mais enriquecida em potássio, ocorrendo à direita do ponto m do diagrama, no campo da leucita ou próximos ao limite dos campos do feldspato alcalino e da leucita.

#### 6.2- DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO

As rochas estudadas, exibem uma clara distinção do contéudo de K₂O (maior nos fonólitos porfiríticos e menor nos afíricos do Grupo II). Ulbrich (1994a) e Marsh (1987) relacionam o fato de rochas fonolíticas mais evoluídas apresentarem menores quantidades de potássio ao "efeito do ortoclásio" sugerido por Bailey & Schairer (1964) o qual indica que os fenocristais de feldspato alcalino são sempre mais ricos em K do



*Figura 19:* Composição dos fonólitos afíricos e porfiríticos no sistema Nefelina-Kalsilita-Sílica à pressão de 1 atm (Schairer 1957; Fudali 1963 *in* Cox et al., 1979). O ponto *m* representa o ponto mínimo à 1010°C e a composição dos líquidos fonolíticos. Os campos I, II e III - correspondem respectivamente aos campos de estabilidade do feldspato alcalino, nefelina e leucita. que a composição da rocha, de maneira que os menores teores deste elemento estão nas rochas mais evoluídas.

Assim, os diagramas de variação dos óxidos e elementos traços, dos fonólitos afíricos (grupos I e II) e porfiríticos, foram elaborados em função do teor de K₂O (figuras 20 e 21).

Nos diagramas de variação dos óxidos (figura 20) é possível observar que o fonólito afírico do Grupo I (amostra 89FN47) apresenta um comportamento semelhante aos dos fonólitos porfiríticos. Já os afíricos do Grupo II diferem dos demais, por serem mais enriquecidos em MnO e empobrecidos em Al₂O₃, FeO, CaO e K₂O.

A amostra 91FN127 (o único fonólito porfirítico representante da pedreira) destaca-se dos demais fonólitos porfiríticos por apresentar teores de  $TiO_2$  e FeO mais elevados. Tal fato pode ser explicado por se tratar de um fonólito rico em feno e microfenocristais de minerais máficos, principalmente de anfibólios (*vide* tabela 4 do capítulo da petrografia).

Nos diagramas de variação dos elementos traços (figura 21) também é possível notar a semelhança química entre o fonólito afírico do Grupo I com os fonólitos porfiríticos. A distinção quanto aos teores de Ba e de Sr, superiores nos fonólitos porfiríticos, pode ser explicada pela maior quantidade de fenocristais de feldspato alcalino presentes nessas rochas. Os fonólitos afíricos do Grupo II apresentam-se enriquecidos em quase todos os elementos incompatíveis (Rb, Y, Zr, Nb, Zn, Pb, Ce e La).

# 6.3- DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS MENORES E TRAÇOS E DE TERRAS RARAS

Para construção do diagrama de distribuição de elementos menores e traços foram utilizados dois fonólitos: um representando o grupo dos porfiríticos de granulação mais grossa enriquecido em fenocristais de minerais máficos (amostra 91FN127) e o outro representando o grupo II dos fonólitos afíricos mais empobrecidos em potássio (amostra 89FN64). Os dados foram lançados no programa MINPET, versão 2.02 e normalizados pelo manto primitivo de Sun & McDonough (1989).

104



*Figura 20:* Diagramas de variação de óxidos (%) em função do K₂O (%). Em azul claro fonólito afírico do Grupo I (amostra 89FN47), em preto fonólitos afíricos do Grupo II e em vermelho fonólitos porfiríticos.



*Figura 21:* Diagramas de variação de elementos traços (ppm) em função do K₂O (%). Em azul claro fonólito afírico do Grupo I (amostra 89FN47), em preto fonólitos afíricos do Grupo II e em vermelho fonólitos porfiríticos.

O fonólito afírico do Grupo II é mais enriquecido em Cs, Rb, Th, U, Nb, La, Hf, Zr, Y e Yb e mais empobrecido em Sm e Eu do que o fonólito porfirítico. Este fonólito afírico apresenta anomalias fortemente negativas de Ba, Sr, P e Ti, que poderiam estar relacionadas ao fracionamento de felspatos (Ba e Sr), apatitas (P), titanitas (Ti), magnetitas titaníferas (Ti) e, provavelmente, anfibólios (Ti) durante processos de evolução magmática (figura 22).

As mesmas amostras foram utilizadas para análise dos elementos terras raras (tabela 19). Como no caso do diagrama anterior, os dados foram também lançados no programa MINPET e normalizados pelo condrito de Sun & McDonough, 1989 (tabela 19).

Na figura 23 são apresentados três diagramas de distribuição de elementos terras raras (A, B e C).

Nos diagramas A e B os elementos terras raras de fonólitos de Fernando de Noronha são comparados com os de um fonólito peralcalino de Fortaleza e um fonólito porfirítico de Trindade, respectivamente. Nesses dois diagramas é possível observar a semelhança do fonólito porfirítico de Fernando de Noronha com o das outras duas ocorrências, principalmente com o da Ilha de Trindade. No tocante ao fonólito afírico do Grupo II de Fernando de Noronha observa-se claramente o empobrecimento das terras raras médias em relação às leves e pesadas, fazendo com que os dados dessa exibam um perfil côncavo.

No diagrama C foram lançados, conjuntamente com os dados dos fonólitos estudados, os dados de elementos terras raras de um dique de tefrifonólito da Formação Remédios (amostra WFN10 de Maríngolo, 1995). Os tefrifonólitos são mais enriquecidos nas terras raras médias do que os fonólitos. Minerais como apatita e titanita, mais abundantes nos tefrifonólitos, seriam os maiores responsáveis pelo fracionamento das terras raras médias, durante o processo de cristalização fracionada. Em vista disso, o fonólito afírico do Grupo II, mais empobrecido em elementos terras raras médias, deve ser considerado como o produto mais diferenciado desse processo.

**Tabela 19:** Análises químicas dos elementos traços e terras raras das amostras 89FN64 (fonólito afírico do Grupo II) e 91FN127 (fonólito porfirítico). Valores em ppm.

AMOSTRA	FONÓLITO AFÍRICO - II 89FN64	FONÓLITO PORFIRÍTICO 91FN127
Cs	3,5	7,0
Hf	10,0	21,2
Rb	16,3	nd
Sc	nd	0,3
Та	4,1	3,2
Th	24,9	61,7
U	9,3	15,9
La	97,8	152
Ce	129	143
Nd	37	23
Sm	8,01	2,71
Eu	1,9	0,89
Tb	<0,5	<0,5
Yb	1,50	3,21
Lu	0,29	0,62

nd = não determinado



*Figura* 22: Padrão de abundância de elementos menores e traços de amostras representativas de fonólitos, normalizados pelo manto primitivo. Quadrados: fonólito porfirítico (am. 91FN127); círculos: fonólito afírico do grupo II (am. 89FN64). Normalização: Sun & McDonough (1989).



*Figura 23*: Padrão de abundância de elementos terras raras de fonólitos de Fernando de Noronha em comparação com tefrifonólito (am. WFN10, dique descrito em Maríngolo, 1995) do mesmo arquipélago (C), fonólito de Trindade (B) e fonólito de Fortaleza (A). Valores normalizados pelo condrito de Sun & McDonough (1989). Fontes dos dados: fonólito de Trindade - Ulbrich; Marques; Ruberti; Alves, *comunicação pessoal*; fonólito de Fortaleza - Macciota *et al.* (1990).

## 7- GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

Gerlach *et al.* (1987), utilizando como ferramentas, análises isotópicas Rb-Sr, Sm-Nd e U-Pb, teceram algumas considerações sobre a petrogênese do arquipélago de Fernando de Noronha.

No presente estudo foram utilizados os métodos Rb-Sr e Sm-Nd, para determinação das razões isotópicas iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, as quais serão discutidas e comparadas com os dados apresentados na literatura, mais especificamente os de Gerlach (*op. cit*).

#### 7.1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr são utilizadas, comumente, como indicadores petrogenéticos.

A razão ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr no manto varia de 0,699 a 0,704, de 4,5 Ga até hoje. Razões iniciais ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr maiores que 0,705 indicam a possibilidade da fonte ser de origem crustal, ao passo que menores que 0,703 da fonte ser de origem mantélica. Já para valores entre o intervalo de 0,703 e 0,705, torna-se duvidosa a origem da fonte, devido a problemas de heterogeneidade do manto ou mesmo mistura de produtos de fontes distintas. Assim, para maior segurança, na identificação da origem do magma, deve-se recorrer a outros parâmetros isotópicos petrogenéticos, como por exemplo o  $\varepsilon_{Nd}$  (Sato *et al.*, 1995).

O parâmetro  $\varepsilon_{Nd}$  é determinado através da comparação da razão ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd da amostra, com um reservatório condrítico uniforme padrão (CHUR), representativo da Terra Global. Quando o magma progenitor tiver uma razão ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd maior que a do condrito, o  $\varepsilon_{Nd}$  será positivo, significando uma fonte mantélica. Quanto maior for esse valor, mais empobrecido geoquimicamente será o manto.

### 7.2- RESULTADOS OBTIDOS

# RAZÕES INICIAIS 87 Sr/86 Sr

As razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr foram determinadas em cinco amostras da Formação Remédios (mais antiga) e em uma amostra da Formação Quixaba (ankaratrito), utilizando o padrão internacional NBS-987 (carbonato de estrôncio).

O cálculo das razões iniciais foi realizado através do Programa PISOG, vs 1.0, ano de 1991. Tal programa faz parte do conjunto de programas do sistema ALARI (arquivo local de análises de rochas ígneas) desenvolvido no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Para esse cálculo foram utilizadas as idades K-Ar determinadas por Cordani (1970), sendo de 9 Ma para as amostras da Formação Remédios e de 3 Ma para o ankaratrito da Formação Quixaba. Os resultados obtidos aparecem listados na tabela 20. Nas amostras da Formação Remédios (dois fonólitos, basanito, lamprófiro e tefrito) as razões iniciais ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr variam de 0,703923 (basanito) a 0,704953 (lamprófiro). O ankaratrito da Formação Quixaba representa a amostra com menor razão inicial ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (0,703644).

**Tabela 20:** Dados análiticos Rb-Sr das rochas de Fernando de Noronha. Concentrações de Rb e Sr determinadas por Fluorescência de Raios-X; razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr por espectrômetro de massas. Razões iniciais ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_o calculadas para 3 Ma (ankaratrito) e 9 Ma (demais amostras).

AMOSTRA	Sr (ppm)	Erro (%)	Rb (ppm)	Erro (%)	Rb/Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _o
Ankaratrito 91FN110	970	± 0,24	50	± 1,68	0,15	0,70365 ± 0,00011	0,703644
Fonólito 89FN47	42	± 0,41	231	± 4,08	15,71	0,70607 ± 0,00010	0,704052
Basanito WFN29	1223	± 0,27	57	± 2,79	0,13	0,70394 ± 0,00007	0,703923
Fonólito 89FN66	35	± 1,43	342	± 3,78	28,60	0,70802 ± 0,00010	0,704383
Lamprófiro WFN42	1385	± 0,47	67	± 5,19	0,14	0,70497 ± 0,00011	0,704953
Tefrito WFN1	1165	± 0,11	52	± 3,81	0,12	0,70497 ± 0,00026	0,704485

Dados ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr normalizados pela razão ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0,1194; Padrão NBS 987

# RAZÕES INICIAIS ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd e $\epsilon_{Nd}$

Para análise das razões ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd foram selecionadas as amostras 89FN47 (fonólito) e WFN29 (basanito) da Formação Remédios e a amostra 91FN110 (ankaratrito) da Formação Quixaba. O Padrão utilizado foi o La Jolla com ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0,511847.

As razões iniciais ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd foram determinadas da mesma forma que as ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ou seja através do programa PISOG usando as idades K-Ar de Cordani (1970).

O cálculo do  $\varepsilon_{Nd}$  foi realizado através da seguinte fórmula (1):

ε_{Nd} = (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd) amostra - (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd) CHUR x 10000 (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd) CHUR na qual (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd) CHUR = 0,512638

Os resultados obtidos aparecem na tabela 21.

**Tabela 21:** Dados analíticos Sm-Nd de rochas de Fernando de Noronha. Concentrações de Sm e Nd determinadas por diluição isotópica; razões ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd por espectrômetro de massas. Razões iniciais ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_o e  $\varepsilon_o$ , calculados para idades de 3 Ma (ankaratrito) e 9 Ma (fonólito e basanito).

AMOSTRA	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	ε	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _o	٤ <mark>0</mark>
Ankaratrito 91FN110	15,178 ± 0,004	63,659 ± 0,023	0, <b>14</b> 5075 ± 0,000063	0,512904 ± 0,000020	5,19	0,512901	5,13
Fonólito 89FN47	1,309 ± 0,001	12, <b>463</b> ± 0,006	0,063927 ± 0,000043	0,512938 ± 0,000024	5,85	0,512934	5,77
Basanito WFN29	13,035 ± 0,003	70,606 ± 0,026	0,112333 ±0,000050	0,513060 ± 0,000021	8,23	0,513053	8,09

Dados  143 Nd/ 144 Nd normalizados pela razão 146 Nd/ 144 Nd = 0,7219; Padrão La Jolla  143 Nd/ 144 Nd = 0,511847 ± 0,000022

### 7.3- DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS DADOS

Gerlach *et al.* (1987) realizaram análises isotópicas Sm-Nd, Rb-Sr e U-Pb em amostras de Fernando de Noronha. Determinaram as razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd em amostras das formações Remédios e Quixaba.

Tais autores consideraram os fonólitos como um grupo único, não distinguindo os tipos afíricos dos porfiríticos. Além disso, não forneceram a localização das amostras estudadas, exceto as que coincidiram com as analisadas por Cordani (1970).

Assim tornou-se difícil comparar amostras da mesma procedência. Em conseqüência disto foram escolhidas amostras de ankaratrito, fonólito e basanito com teores de Rb, Sr, Sm e Nd, próximos aos das rochas estudadas nesse trabalho. As amostras selecionadas com os respectivos dados aparecem na tabela abaixo.

*Tabela 22:* Dados analíticos Rb-Sr e Sm-Nd de rochas de Fernando de Noronha, extraídos do trabalho de Gerlach *et al.* (1987). Razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd medidas.

AMOSTRA	Sr (ppm)	Rb (ppm)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	8 _{Nd}
33 Ankaratrito	960	52,6	0,70378	11,1	58,8	0,512897	5,05
99 Fonólito	25,4	337	0,70873	2,71	23,9	0,512845	4,04
32 Fonólito	35,8	258	0,70685	1,13	11,1	0,512848	4,09
104 Basanito	1350	142	0,70399	10,7	65,2	0,512828	3,71

Padrões: E&A razão ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0,70800; BCR-1 razão ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0,51263

As razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd atuais, determinadas por Gerlach *et al.* (1987) foram recalculadas, através do programa PISOG, para as idades de 3 e 9 Ma. Posteriormente foram recalculados os  $\varepsilon_{Nd}$  iniciais (ver fórmula 1). As razões, bem como o  $\varepsilon_{Nd}$  iniciais foram de:

AMOSTRA 33 Ankaratrito	ldade (M.a.) 3	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _{inicial} 0,703773	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _{inicial} 0,512895	⁸ Nd inicial 5,01
99 Fonolito	9	0,703824	0,512841	3,96
32 Fonolito	9	0,704185	0,512844	4,02
104 Basanito	9	0,703951	0,512822	3.59

Comparando os dados da Formação Remédios, do presente trabalho com os de Gerlach *et al.* (1987), nota-se que amostras de um mesmo litotipo, aparentemente com composições semelhantes, possuem diferentes assinaturas isotópicas.

Na figura 24 aparecem projetados os dados de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd das tabelas 20, 21 e 22. A título de comparação, foram lançados também dados de outras ilhas oceânicas. Neste diagrama é possível observar a semelhança isotópica das rochas de Fernando de Noronha com as das Ilhas do Hawai e de Açores (São Miguel).

Com relação aos reservatório mantélicos de Zindler & Hart (1986) pode-se dizer que as rochas de Fernando de Noronha possuem afinidades isotópicas com os reservatórios do tipo HIMU (enriquecido em U e Th em comparação com o Pb) e do tipo PREMA (manto predominante).

Gerlach *et al.* (1987) propõem a participação de vários componentes mantélicos para explicar as variações isotópicas encontradas nas rochas do arquipélago, principalmente no que diz respeito às rochas das séries sódica e potássica da Formação Remédios.

Em linhas gerais as razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr das rochas das formações Remédios e Quixaba sugerem uma natureza mantélica condicionada a ambientes de ilhas ocêanicas (Figueiredo Filho *et al.*, 1991).

Além disso os valores de  $\varepsilon_{Nd}$  determinados são compatíveis com os sugeridos por DePaolo (1988) para ambientes de ilhas intraplaca ("hot spots") ou para montanhas de fundo do mar de pequeno volume ("off-ridge").



*Figura 24:* Diagrama de correlação isotópica ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd vs ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ilustrando dados de Fernando de Noronha em comparação com os de outras ilhas oceânicas. Símbolos cheios representam os dados do presente trabalho e símbolos vazios os de Gerlach *et al.* (1987). Ankaratritos: losangos azuis, fonólitos: triângulos verdes e basanitos: quadrados vermelhos. Os campos que representam Santa Helena, Ilhas Hawaianas, Ilhas Sociedade e Tristão da Cunha foram obtidos através do trabalho de Gerlach *et al.* (1987) e o campo que representa a Ilha de São Miguel (Açores) através do trabalho de Hawkesworth *et al.* (1979).

### 8- CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os fonólitos de Fernando de Noronha ocorrem predominantemente como domos independentes afíricos ou porfiríticos e, subordinadamente, como digues.
- Os estudos macro e microscópicos mostraram que: 1) os fonólitos porfiríticos apresentam textura porfirítica a glomeroporfirítica com fenocristais de feldspato alcalino, nefelina, noseana, clinopiroxênio, anfibólio (com inclusões de apatita), grãos opacos e titanita, em matriz traquítica de feldspato alcalino, nefelina e prismas curtos de clinopiroxênio. O teor de feno e microfenocristais dessas rochas é muito variável (de ± 12 até ±40%, vide tabela 4) inclusive em amostras do mesmo corpo. Os tipos de granulação mais grossa (amostras da "pedreira") são também os mais enriquecidos em minerais máficos (principalmente anfibólios); nessas rochas foram encontrados xenocristais de clinopiroxênio e de olivina; 2) os fonólitos afíricos por exibirem diferenças texturais e mineralógicas entre si foram divididos em dois grupos. Os do Grupo I apresentam noseana e, em linhas gerais têm mineralogia semelhante à da matriz dos fonólitos porfiríticos, enquanto que os do Grupo II (sem noseana) apresentam sodalita e agrupamentos de prismas longos de clinopiroxênio formando textura em feltro.
- Os fenocristais de clinopiroxênios dos fonólitos porfiríticos (*mg#* = 90-50) variam de salita e/ou salita com Ti (± 3% de TiO₂) até salita com Na (± 1,5% de Na₂O) e ferrossalita. Já na matriz dessas rochas os clinopiroxênios vão de ferrossalita com Na (± 2,5% de Na₂O) a egirina-augita (± 4,5% de Na₂O). Os piroxênios dos fonólitos afíricos do Grupo I (mg# < 40) são semelhantes aos da matriz dos porfiríticos. Nos fonólitos afíricos do Grupo II (mg# < 30), os pequenos prismas apresentam núcleos de egirina com Ti (± 4% de TiO₂, 11,5 % de Na₂O) variando até egirina nas bordas.

A composição dos piroxênios dos fonólitos de Fernando de Noronha é semelhante à dos fonólitos do distrito alcalino de Fortaleza. Por outro lado, comparações das tendências de variação ("trends") com piroxênios desse e de outros complexos alcalinos (Uganda, Iron Hill e Piratini) indicam que nas rochas de Fernando de Noronha, a evolução do mineral se processa através de um enriquecimento maior em

ferro, caracterizado pelas composições dos piroxênios dos fonólitos porfiríticos e afíricos do Grupo I (Figura 8).

- Os feno e microfenocristais de anfibólio (mg# = 80-40) ocorrem nos fonólitos porfiríticos (*vide* tabela 4); são anfibólios cálcicos que variam de pargasitas com Fe²⁺, kaersutitas até ferro-kaersutitas. Os óxidos de Fe e Ti da matriz dos fonólitos porfiríticos são magnetitas com Ti (± 7,5% de TiO₂)
- Os feldspatos alcalinos têm menos que 0,7% de CaO. Os feno e microfenocristais dos fonólitos porfiríticos possuem Or₆₅₋₅₀Ab₃₅₋₅₀An_{<4}, composição esta, mais restrita que a das ripas da matriz. Nos fonólitos afíricos esses minerais exibem teores variáveis de Or (Or₇₀₋₂₀), sendo que a maioria dos cristais analisados possuem em torno de Or₄₈Ab₄₈An_{<2}.
- A nefelina, médio-potássica, é o principal feldspatóide das rochas. A composição dos feno e microfenocristais concentra-se nas proximidades da linha tracejada que representa o limite da solução sólida da sílica em nefelinas a 700° C (diagrama de Hamilton & Mackenzie, 1961). Os dados químicos das nefelinas da matriz das rochas porfiríticas e dos fonólitos afíricos aparecem espalhados no diagrama, com a maioria dos pontos situando-se acima dessa linha (principalmente os dados dos fonólitos afíricos). Variações na composição das nefelinas em termos de Ne-Ks-Qz em rochas fonolíticas parecem ser feição comum, tal como mencionado por Wilkinson & Hensel (1994) com referência a rochas tinguaíticas da Austrália e Nova Zelândia. As noseanas, que constituim até ± 5% dos fonólitos porfiríticos e ± 1% dos afíricos do grupo I, possuem teores variáveis de CaO (de 0,4 a 4,5%) e entre 6 e 8,5% de SO₃. A sodalita, o feldspatóide mais rico em Na₂O (± 24 %) possue ± 6,5 % de Cl.
- Os xenocristais de clinopiroxênio (diopsídio com borda de salita) e de olivina dos fonólitos porfiríticos da "pedreira" apresentam composição semelhante à dos fenocristais de diques máficos da região (Maríngolo, 1995). A olivina aparece marginalmente substituída por diopsídio, magnetita com titânio e flogopita; já no contato com a matriz do fonólito desenvolve-se uma coroa composta sucessivamente

por flogopita, magnetita titanífera, pargasita com Fe²⁺ e salita. O zoneamento mineralógico e químico sugere que os processos de reação entre a olivina e o líquido fonolítico ocorreram durante a cristalização dos fenocristais da rocha.

- Os resultados dos estudos petrográficos das rochas e dos dados guímicos dos ٠ minerais, principalmente dos minerais máficos, resumidos nos pontos precedentes, mostram por um lado a semelhança entre os fonólitos porfiríticos e afíricos do Grupo I e por outro a individualidade dos afíricos do Grupo II, portadores de egirina. Os dados químicos de rocha total (elementos maiores, menores e traços) apontam claramente os fonólitos afíricos do Grupo II como os mais evoluídos do conjunto, localizando-se no vale termal insaturado do diagrama residual da petrogênese, próximos ao ponto m (Figura 19). Esses fonólitos são empobrecidos em  $Al_2O_3$ , FeO, CaO, Sr, Ba, P, Ti e enriquecidos em elementos incompatíveis (Cs, Rb, Th, Y, Zr, Hf, Nb, La, Ce), caracterizando possível fracionamento de feldspato, apatita, titanita e magnetita com titânio. Os teores menores de potássio dos fonólitos afíricos do Grupo II confirmam a sugestão de Bailey & Schairer (1964) e as observações de outros autores (Marsh, 1987) de que os líquidos fonolíticos tornam-se empobrecidos em K com o avanço da diferenciação devido ao ingresso seletivo do elemento nos primeiros fenocristais de feldspato formados.
- Em linhas gerais, os fonólitos pertencem a uma série petrográfica de caráter sódico composta por basanitos, tefritos, essexitos, tefrifonólitos e fonólitos definida para o arquipélago em trabalho anterior (Ulbrich, 1993). Os fonólitos apresentam-se como os termos mais evoluídos da série e, a princípio, resultariam da atuação de algum processo de diferenciação a partir de magmas parentais de composição tefrítica ou basanítica (Ulbrich *et al.*, 1994a). Os **padrões de elementos terras raras** dos fonólitos e de um dique de tefrifonólito são semelhantes, exceto no teor de terras raras médias que se mostram gradualmente empobrecidas desde o tefrifonólito até o fonólito afírico do grupo II caracterizando o fracionamento de minerais acessórios como apatita e titanita (figura 23).

- Apesar de ter sido utilizado nesse trabalho um grupo limitado de amostras de fonólitos, há certas características que merecem ser ressaltadas: 1) os fonólitos porfiríticos apresentam composições mineralógicas e químicas que variam nos diferentes domos, destacando-se do conjunto os da "pedreira" que possuem uma maior quantidade de minerais máficos e, em particular, de anfibólio, sugerindo a existência de reservatórios magmáticos distintos, 2) os fonólitos afíricos dos grupos I e II ocorrem juntos num mesmo domo e poderiam representar pulsos de líquidos fonolíticos menos e mais diferenciados.
- Os resultados das análises de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd das amostras das formações Remédios (basanito e fonólito) e Quixaba (ankaratrito) de Fernando de Noronha mostraram a semelhança isotópica dessas rochas com as das Ilhas do Hawai e de Açores (São Miguel). As razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr das duas formações estudadas, bem como os ε_{Nd} confirmam a natureza mantélica, compatível com ambientes de ilhas intraplaca ("hot spots") ou de montanhas de fundo de mar de pequeno volume ("off-ridge").

# 9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. (1955) Geologia e petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. DNPM, Divisão de Geol. Mineral., Monografia 13, 181p.
- ALMEIDA, F. F. M. (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas da região meridional da plataforma sul-americana. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 13, n. 3, p 139-158.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C.D.R.; MACHADO JR, D.L.; DEHIRA, L.R. (1988) Magmatismo pós-Paleozóico no nordeste oriental do Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 18, n. 4, p 451-462.
- BERNAT, M.; CORDANI, U.; KINOSHITA, H. (1977) Datation par la Méthode ³⁹Ar/⁴⁰Ar de Roches volcaniques des iles Brésiliennes de Fernando de Noronha et Trindade. O.R.S.T.O.M. Sir. Geol., v. IX ½, p 45-48.
- BORLEY, G.D. (1974) Oceanic islands. In: SORENSEN, H. (ed.) The alkaline rocks. John Wiley and Sons, p. 311-330.
- CAMERON, M.; PAPIKE, J.J. (1981) Structural and chemical variations in pyroxenes. *Amer. Miner.*, v. 66, p 1-50.
- CORDANI, U. G. (1970) Idade do Vulcanismo no Oceano Atlântico Sul. Bol. IGA, n. 1, p 9-75.
- COX, K.G.; BELL, J.D.; PANKHURST, R.J. (1995) *The interpretation of igneous rocks.* 3.ed. Chapman and Hall, London, 450p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1966) An introduction to the rock-forming minerals. Longman, London, 528p.

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1978) *Rock-forming minerals*. v. 2A. Single chain silicates. 2.ed. Longman, London, 668p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1981) *Minerais constituintes das rochas uma introdução.* Tradução: CONDE, L.E.N., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 558p.
- DE PAOLO, D.J. (1988) *Neodymium isotope geochemistry An introduction*. Springer Verlag. Minerals and Rocks, v. 20, 187p.
- FIGUEIREDO FILHO, O.A.; SCHWAB, R.G.; KAWASHITA, K. (1991) Datações Rb/Sr em rochas vulcânicas de Fernando de Noronha (Pe). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14, Recife, 1991. Atas, Recife, SBG, núcleo Nordeste, 1991, p 341-344.
- GERLACH, D.C.; STORMER, J.C.; MUELLER, P.A. (1987) Isotopic geochemistry of Fernando de Noronha. *Earth Planet. Sci.Lett.*, v. 85, p 129-144.
- GUIMARÃES, I.P. (1982) Petrologia e Geoquímica da Província Alcalina Terciária de Fortaleza, Ce. Recife, 165p. (Dissertação - Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco.
- GUNN, B.M.; WATKINS, N.D. (1976) Geochemistry of the Cape Verde Islands and Fernando de Noronha. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 87, p 1089-1100.
- HAMILTON, D.L.; MACKENZIE, W.S. (1960) Nepheline solid solution in the system NaAlSiO₄-KAlSiO₂. *J. Petr.*, v.1, p 56-72.
- HAGGERTY, S.E.; BAKER, I. (1967) The alteration of olivine in basaltic and associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 16, p 233-257.

- HAGGERTY, S.E. (1976) Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. In: RUMBLE, D. (ed.) Oxide Minerals. Mineral. Soc. Am. Short Course Notes, v. 3, capítulo 8, p 101-277
- HAWKESWORTH, C.J.; NORRY, M.J.; RODDICK, J.C.; VOLLMER, R. (1979) ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd and ⁸⁷SR/⁸⁶Sr ratios from the Azores and their significance in LIL element enriched mantle. *Nature*, v. 280, n. 5, p 28-31.
- LEAKE, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. Can. Mineral., v. 16, p 501-520.
- LOPES, R.P.; ULBRICH, M.N.C. (1997) Petrografia e química mineral de fonólitos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pe. *Anais Acad. Bras. Cienc. in prelo.*
- MACCIOTTA, G.; ALMEIDA, A.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; COLTORTI, M.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIENA, F.; TRAVERSA, G. (1990) Petrology of the tephrite-phonolite suite and cognate xenoliths of the Fortaleza district (Ceará, Brazil). *Eur. J. Mineral.*, v. 2, p 687-709.
- MARÍNGOLO, V. (1995) Estudo petrográfico e químico de diques ultramáficos e máficos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pe. São Paulo, 145p. (Dissertação Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MARÍNGOLO, V.; ULBRICH, M.N.C. (1997) Registros da evolução de diques máficos do Arquipélago de Fernando de Noronha na química dos clinopiroxênios e anfibólios. *IV Cong. Geoquim. dos Países de língua portuguesa*. Lisboa, Portugual. Actas, p 83-85.
- MARSH, J. (1987) Evolution of a strongly differentiated suite of phonolites from the klinghardt Mountains, Namibia. *Lithos*, v. 20, p 41-58.
- MORIMOTO, N. (1988) Nomenclature of Pyroxenes. Mineral. Petrol., v. 39, p 55-76.

- PAPIKE, J.J.; CAMERON, K.L.; BALDWIN, K. (1974) Amphiboles and pyroxenes: characterization of other than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. *Geol. Soc. Amer. Abstracts with Programs*, v. 6, p1035-1050.
- PEARCE, T. H. 1993 Analcime phenocrysts in igneous rocks: Primary or secondary Discussion. *Amer. Miner.*, v. 78, p 225-229.
- SATO, K.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K.; PETRONILHO, L. (1995) O método geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas aplicações. *Anais Anais Acad. Bras. Cienc.*, v. 67, n. 3, p 313-336.
- SIAL, A.N. (1970) *Estudo petroquímico de alguns vulcanitos do Nordeste do Brasil.* Relatório para o Conselho Nacional de Pesquisa, 84p.
- STORMER JR, J. C. (1978) Fourchite to phonolite: the origen of phonolite on Fernando de Noronha. *Trans. Am. Geophys. Union*, v. 59, n. 4, p 410.
- SUN, S.-s; McDONOUGH, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: SAUDERS, A.D.; NORRY, M.F. (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Special Publ., v. 42, p 313-345.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; SIG, O. (1978) Interpretação geocronológica da folha SA-24 Fortaleza. Natal, Projeto RADAM Brasil, 18p.
- ULBRICH, M.N.C.; RUBERTI, E. (1992) Nova ocorrência de rochas basaníticas no Arquipélago de Fernando de Noronha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Bol. Resumos Expandidos*, SBG, v.2, p 83-84.
- ULBRICH, M.N.C. (1993) Petrography of alkaline volcanic-subvolcanic rocks from the Brazilian Fernando de Noronha Archipelago, Southern Atlantic Ocean. *Bol. IG-USP*, *Série Cient.*, v. 24, p 77-94.

- ULBRICH, M.N.C.; MARÍNGOLO, V.; RUBERTI, E. (1994a) The Geochemistry of alkaline volcanic-subvolcanic rocks from the Brazilian Fernando de Noronha Archipelago, Southern Atlantic Ocean. *Geochim. Brasil.*, v. 8, n. 1, p 21-39.
- ULBRICH, M.N.C.; MARINGOLO, V.; VLACH, S.R.F. (1994b) Xenocrysts in mafic dikes from the Fernando de Noronha Archipelago. International Symp. on the Physics and Chemistry of the Upper Mantle, ISUM, São Paulo, 1994. *Extended Abstracts*, São Paulo, p 36-38.
- ULBRICH, M.N.C.; LOPES, R.P. (1996) Xenocristais de olivina com coroas e bordas de reação, em fonólito porfirítico de Fernando de Noronha, Pe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. Anais. Salvador, SBG, v. 3, p 43-45.
- VANDOROS, P.; OLIVEIRA, M.A.F. (1968) Sobre o fonolito de Messejana, Ceara. Anais Acad. Bras. Cienc., v. 40, p 203-206.
- VASCONCELLOS, E.M.G. (1995) Petrologia e geoquímica de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos estados do Paraná e São Paulo. São Paulo, 202p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- WEAVER, B.L.; WOOD, D.A.; TARNEY, J.; JORAN, J.L. (1987) Geochemistry of ocean island basalts from the South Atlantic: Ascension, Bouvet, Santa Helena, Gough and Tristan da Cunha. In: FITTON, J.G.; UPTON, B.G.J. (eds.) *Alkaline igneous rocks*. Geol. Soc. Special Publication, v. 30, p 253-267.
- WEAVER, B.L. (1990) Geochemistry of highly-undersaturated ocean island basalt suites from the South Atlantic Ocean: Fernando de Noronha and Trindade islands. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 105, p 502-515.
- WILKINSON, J.F.G.; HENSEL, H.D. (1994) Nephelines and analcimes in some alkaline igneous rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 118, p 79-91.

- WILSON, M. (1989) *Igneous Petrogenesis A global tectonic approach*. London, Unwin Hyman 466p.
- ZINDLER, A.; HART, S.R. (1986) Chemical geodynamics. *Annual Rev. of Earth Planet. Sci.,* v. 14, p 493-571.

1