

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO COMPLEXO
CARBONATÍTICO DE ANGICO DOS DIAS,
ESTADO DA BAHIA**

Eduardo Yamamoto

Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

Co-Orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2001/16)

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO COMPLEXO
CARBONATÍTICO DE ANGICO DOS DIAS, ESTADO DA BAHIA**

EDUARDO YAMAMOTO



DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

Prof. Dr. Francisco Rubens Alves

Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900009433

**PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO
COMPLEXO CARBONATÍTICO DE ANGICO DOS DIAS,
ESTADO DA BAHIA**

Eduardo Yamamoto

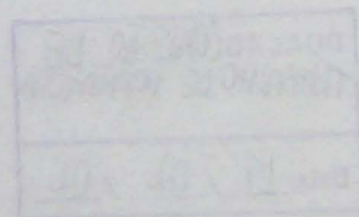


Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

Co-orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
TF 2001/16

São Paulo
2001



TF
Y19
E.p

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

COMPLEXO CARBONATADO DE ANISIO DOS REIS
PETROLOGIA E GEOLÓGICA DO
ESTADO DA BAHIA



Eduardo Yamamoto

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos de Barros Gomes
Orientador: Prof. Dr. Expedito Ribeiro

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
1º SEMESTRE

São Paulo
2001

DOAÇÃO COMISSÃO DE
TRABALHO DE FORMATURA

Data: 15 / 02 / 02

ÍNDICE

Agradecimentos	3
Resumo	4
1. Introdução	5
2. Objetivos	7
3. Localização e Acessos	8
4. Características Fisiográficas	8
5. Geologia Regional.....	9
5.1 Contexto Local.....	13
6. Materiais e Métodos	17
7. Petrografia	19
8. Química Mineral	23
8.1 Carbonatos	23
8.2 Apatitas	30
8.3 Micas	45
8.4 Olivinas.....	50
8.5 Piroxênios.....	52
8.6 Magnetitas	54
8.7 Anfibólios	56
9. Geoquímica.....	59
10. Conclusões	64
11. Referências Bibliográficas	66

Índice de Figuras

Figura 1 – Localização do Complexo de Angico dos Dias e o Cráton São Francisco.	13
Figura 2 – Mapa geológico do Complexo de Angico dos Dias.....	16
Figura 3 – Diagramas ternários CaO-MgO-FeO* e CaO-BaO-SrO para carbonatos	25
Figura 4 – Diagramas MgO-CaO, MgO-BaO e MgO-SrO, bem como BaO-CaO e SrO-CaO para carbonatos	26
Figura 5 – Diagramas SrO, F e Cl vs. CaO e F e Cl vs. P ₂ O ₅ para apatitas.....	33
Figura 6 – Diagramas de classificação das micas.....	46
Figura 7 – Diagramas BaO vs. MgO, TiO ₂ vs. MgO e BaO vs. FeO/(FeO+MgO) para micas	47
Figura 8 – Diagrama de classificação das olivinas.	50
Figura 9 - Diagrama Di-Hd-En-Fs de classificação dos piroxênios.	52
Figura 9 – Diagrama de classificação dos anfibólios.	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Composição química dos carbonatos	27
Tabela 2a – Composição química das apatitas (2 ^a . etapa).....	34
Tabela 2b – Composição química das apatitas (1 ^a etapa).....	40
Tabela 3 – Composição química das micas	48
Tabela 4 – Composição química das olivinas.....	51
Tabela 5 – Composição química dos piroxênios	53
Tabela 6 – Composição química das magnetitas	55
Tabela 7 – Composição química dos anfibólios.....	57
Tabela 8 – Composição química total dos carbonatitos.....	61
Tabela 9 – Dados isotópicos de C, O, Sr e Nd.	63

Índice de Fotomicrografias

Fotomicrografia 1 – Porfiroblasto de calcita em matriz carbonática.....	20
Fotomicrografia 2 – Porfiroblasto de apatita em matriz carbonática.....	20
Fotomicrografia 3 – Porfiroblastos de flogopita em matriz carbonática.....	21
Fotomicrografia 4 – Porfiroblastos de apatita e flogopita em matriz carbonática	21
Fotomicrografia 5 – Porfiroblastos de apatita, anfibólio e micas orientadas segundo a foliação principal.....	22
Fotomicrografia 6 – Inclusões de calcita em porfiroblasto de apatita.....	22

Agradecimentos

Muitas pessoas contribuíram para que esse trabalho pudesse ser concluído. Entre elas gostaria de agradecer primeiramente à Karena, pela companhia e pelo tempo dispensado na formatação do texto, meus pais, Yassue e Setsuo e às minhas irmãs Cláudia e Silvia, pelo apoio e incentivo. Gostaria também expressar a minha gratidão aos orientadores Prof. Dr. Celso de Barros Gomes e Prof. Dr. Excelso Ruberti pela paciência e dedicação durante a realização dessa pesquisa.

Gostaria também de agradecer Marcos de Souza Mansueto, pelo apoio técnico no Laboratório de Microsonda Eletrônica, a Roseane Damião da Silva e aos funcionários do setor de laminação do IG-USP pela preparação das amostras, aos professores. Paolo Antonini e Piero Comin-Charamonti, da Universidade de Trieste, pela contribuição com dados geoquímicos.

Não poderia deixar de citar também estas pessoas que foram importantes, durante toda graduação. Assim, agradeço à Janaína F. da Silva, Carlos H. G. de Carvalho, Luciana Pascarelli, Diego Romano, Sabrina Macluf, Carlos Frederico dos Santos, Leonardo Garcez, Ângela Canil, Kleber Salviati, Caroline T. Martinho, Eduardo Patrício, Eva Kaiser Mori, Alexandre L. Ferreira, Marisa Kakazu, André Stern, Crístinis A. Ladan, Fabiana Fernandes, Nickie Unonius, Fernando Valladares, Cláudio Lemos, Carolina Cotrim, Pablo S. Yoshikawa, Luciana Callegari, Paulo Marcondes, Sibebe Ezaki, Fernando Moya, Cristiano Chiessi, Renata Rocha, Marcos Mondim, Marcos Ferrari, Ana Cristina Januário, Edson Kagohara, Ana Flávia Velloso, Sergio Williams, Lúcia B. Guarnieri, Rogério Dudas, Alaine S. da Cunha, Douglas Pascoal, Thiago Bonás, Fernando Roos, Marina Midori, Deise Bentz, Rodrigo Salveti e Alessandra G. de Oliveira.

Resumo

O presente trabalho focaliza a geoquímica dos carbonatitos do Complexo de Angico dos Dias, uma associação precambriana consistindo também em rochas silicáticas (sienitos e, subordinadamente, mica piroxenitos, dioritos alcalinos e lamprófios), localizada na divisa dos Estados da Bahia e Piauí. Maior atenção foi dispensada à química mineral dos carbonatitos, uma vez que esta era inteiramente desconhecida.

Dentre os principais litotipos aqui analisados estão os apatita carbonatitos, olivina carbonatitos e mica carbonatitos.

A programação analítica envolveu principalmente a técnica da dispersão de comprimento de onda (WDS) para fins de quantificação dos dados de química mineral e a de dispersão de energia (EDS) nos trabalhos preliminares de identificação das fases.

Os carbonatos são essencialmente calcíticos com altos teores de Sr. Apatitas são enriquecidas em F, Sr e ETR leves. As micas são em sua maioria bário-flogopitas com ocorrência também de fase intermediária e secundária com alto teor de BaO. As olivinas são forsteríticas e as magnetitas exibem lamelas de exsolução titaníferas. Piroxênios são diopsídios e os anfibólios pertencem à série tremolita-actinolita.

Adicionalmente, contou-se com dados químicos (elementos maiores, traços e terras raras) e isotópicos (elementos radiogênicos, Sr e Nd; estáveis, C e O) dos carbonatitos, com vistas a uma melhor caracterização geoquímica da ocorrência.

Essas rochas são enriquecidas em elementos incompatíveis e terras raras, sobretudo os leves. O padrão de fracionamento para esses elementos é similar ao de outras ocorrências. Os carbonatitos possuem altas concentrações de Ba, Pb, Sr e Y e baixos teores de Rb, U, Ta e Nb. Idades modelo ϵNd revelaram valores de 2,2 e 2,4 Ga.

1. Introdução

Rochas alcalinas são encontradas em diferentes pontos do território brasileiro, ainda que mais concentradas junto à região sudeste, além de distribuídas principalmente ao longo das bordas da Bacia do Paraná. Das dezenas de ocorrências conhecidas, revisadas por Ulbrich & Gomes *et al.* (1981) e Morbidelli *et al.* (1995), 22 delas mostram-se portadoras de carbonatitos, sendo ainda que, entre essas últimas, algumas se encontram no momento em processo de exploração comercial como fontes efetivas de nióbio, fosfato e vermiculita, visando ao abastecimento do mercado interno e externo. Aqui se incluem as ocorrências de Araxá e Tapira (MG), Catalão I e II (GO) e a de Jacupiranga (SP). Contudo, no passado, outras tantas foram pesquisadas ou mesmo trabalhadas para idênticos propósitos, caso, por exemplo, de Salitre e Serra Negra (MG), Juquiá (SP) e Anitápolis (SC), além do próprio Angico dos Dias (BA).

A quase totalidade desses carbonatitos é de idade mesozóica, formando, no entanto, dois grupos distintos. O mais antigo, do Cretáceo Inferior (~130 Ma), engloba as ocorrências de Anitápolis e as associadas tectonicamente ao Arco de Ponta Grossa, todas localizadas no Estado de São Paulo, como Jacupiranga, Juquiá, Ipanema e Itanhaém. O grupo mais novo, do Cretáceo Superior, e cobrindo maior intervalo de idades (90-70 Ma), é o mais numeroso e reúne ocorrências que se estendem da região sul a centro-oeste do país. A mais meridional delas corresponde a Lages, em Santa Catarina, onde as rochas alcalinas silicáticas associadas (principalmente fonolitos) vêm sendo lavradas para aproveitamento na construção civil. Na divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, no chamado Vale do Ribeira, encontram-se os corpos de Barra do Itapirapuã, Itapirapuã e Mato Preto, igualmente condicionados tectonicamente ao Arco de Ponta Grossa. Já em Goiás, além do complexo de Catalão I-II e dos demais citados acima, presentes no Estado de Minas Gerais, e relacionados ao Arco do Alto Paranaíba, outra relevante feição estrutural de orientação NW, ocorrem ainda os de Santo

Antônio da Barra, Caiapó e Morro do Engenho, todos alinhados para NNW e associados (cf. Almeida, 1983) ao Arco Bom Jardim de Goiás, apresentando características de "rift" tectônico. Aparentemente também pertencendo ao período cretácico é o complexo de Seis Lagos, localizado no interior do cráton amazônico, cujo conhecimento geológico ainda se mantém precário.

Já do Precambriano são as ocorrências de Maicuru e Mutum, no interior da região amazônica, e a de Angico dos Dias, no nordeste do país, esta última investigada do ponto de vista geológico, petrográfico e geocronológico por Silva *et al.* (1988), revelando idade Transamazônica.

As características gerais das rochas carbonatíticas brasileiras podem ser encontradas nos trabalhos de Rodrigues & Lima (1984), Berbert (1984) e Gomes *et al.* (1990), sendo ainda que o artigo de revisão de Morbidelli *et al.* (1995), tratando do magmatismo alcalino no território continental brasileiro, focaliza também os principais aspectos mineralógicos, petrológicos e geoquímicos das associações alcalino-carbonatíticas.

O estudo de carbonatitos acha-se inserido numa linha de pesquisa mais abrangente que vem se ocupando da caracterização petrológica e geoquímica de rochas alcalinas (Projeto Temático da Fapesp 97/01210-4). Devido às facilidades de acesso e de amostragem, os trabalhos têm, até então, focalizado preferencialmente as ocorrências situadas nas bordas da Bacia do Paraná, mas o objetivo sempre presente é o de integrar os dados provenientes de todas as ocorrências, inclusive as associadas a outros ambientes tectônicos.

Portanto, é necessário contar com informações, sobretudo de natureza química (minerais e rochas), que justifiquem e possibilitem os trabalhos de correlação que irão subsidiar as interpretações de natureza petrogenética.

Assim, sabe-se, por exemplo, que os carbonatitos mesozóicos (Cretáceo Inferior) da Bacia do Paraná presentes no Brasil e no Paraguai, ainda que composicionalmente similares aos congêneres africanos (Angola), apresentam características isotópicas muito

diversas, a indicar que eles foram gerados a partir de fontes mantélicas diferentes, como sugerido no diagrama ϵNd vs. ϵSr de Alberti *et al.* (1999). Nesse cenário, torna-se importante conhecer o comportamento de rochas mais antigas, aqui representadas pelas de Angico dos Dias.

2. Objetivos

No artigo de Silva *et al.* (1988), única fonte de informação disponível sobre a geologia do Complexo de Angico dos Dias, são feitas considerações sobre a área e descritos os principais litotipos ali existentes. Dados químicos (elementos maiores, traços e terras raras) são também fornecidos para algumas amostras dos diferentes tipos de rochas (piroxenitos e dioritos alcalinos, sienitos, lamprófiros e carbonatitos). Apesar de ser de cunho geral, e voltado principalmente ao propósito de caracterização petrográfica e geoquímica da ocorrência, o trabalho se constitui em valioso ponto de apoio para futuras investigações sobre a origem e evolução dessas rochas, notadamente os carbonatitos.

Assim, no presente trabalho, é dado ênfase à mineralogia dos carbonatitos, buscando-se obter, com o auxílio da microsonda eletrônica, dados quantitativos sobre o quimismo dos constituintes mais importantes (carbonatos, fosfatos, micas e olivinas) e de outras fases (piroxênios, anfibólios e magnetita).

A programação laboratorial envolveu ainda a aquisição de novos dados analíticos (elementos maiores, traços e terras raras), além de isotópicos para os elementos radiogênicos (Sr, Nd) e estáveis (C, O), para as rochas carbonatíticas, sempre voltada para a mesma preocupação definida acima.

3. Localização e Acessos

A área de estudo localiza-se no vilarejo de Angico dos Dias, município de Campo Alegre de Lourdes, extremo noroeste do estado da Bahia, próxima à divisa com o estado do Piauí. Dista aproximadamente 390 km a oeste da cidade de Petrolina (PE), situada à margem do rio São Francisco nas divisas de Pernambuco e Bahia.

O acesso principal a Angico dos Dias, partindo de Salvador, pode ser feito pela rodovia BR-324 até a cidade de Capim Grosso (BA), seguindo-se então para Petrolina (PE) pela BR-407. A partir daí utiliza-se a rodovia BA-235 até a cidade de Remanso (BA) e depois a estrada vicinal BA-340 até o município de Campo Alegre de Lourdes, de onde Angico dos Dias está interligado através de estradas de terra secundárias. Esse percurso de Salvador a Campo Alegre de Lourdes totaliza aproximadamente 820 km.

4. Características Fisiográficas

O município de Campo Alegre de Lourdes, onde se localiza a ocorrência de Angico dos Dias, está contida na bacia hidrográfica do rio São Francisco, próximo ao seu limite com a bacia do Parnaíba. Os rios que drenam a região são intermitentes, sazonais e com leitos rasos. Destacam-se também na região as lagoas, formadas em períodos chuvosos, sobre as extensas planícies. O padrão de drenagem é dendrítico, mas também controlado por falhas e fraturas (Leite, 1997).

Domina a região um clima quente, semi-árido, com estação chuvosa no verão e longos períodos de estiagem, e caracterizado por forte evaporação devido às altas temperaturas. No mês mais frio, a temperatura é sempre superior a 18°C (Conti, 1995). A vegetação predominante é a caatinga arbórea densa ou esparsa, onde podem ser encontradas a aroeira, o angico e o pau d'arco.

O modelado do relevo é composto por extensas superfícies planas pontilhadas por morros residuais do tipo inselbergues (Ab'Sáber, 1956), o que é típico da Depressão Periférica do Médio São Francisco, na qual está inserida a área de estudo.

5. Geologia Regional

O Complexo de Angico dos Dias está situado entre as Faixas Móveis Brasileiras Rio Preto e Riacho do Pontal, próximo à borda noroeste do Cráton São Francisco (Fig. 1). Segundo Leite (1997), o empilhamento estratigráfico da região foi baseado principalmente nas correlações entre o plutonismo alcalino e os mica xistos que formam as estruturas das megadobras regionais e que correspondem ao pacote de rochas supracrustais mais expressivo da região (Unidade Serra da Boa Esperança).

A idade atribuída ao carbonatito de Angico dos Dias é de 2.011 ± 6 Ma, obtida através do método U/Pb em zircão e baddeleíta (Silva *et al.*, 1988). Desse modo, Leite (1997) atribui idade paleoproterozóica aos Complexos Máfico-Ultramáficos do Peixe e de Campo Alegre de Lourdes e aos Corpos Máfico-Ultramáficos Diversos, e idade paleoproterozóica ou mesoproterozóica inferior à Suíte Alcalina Serra do Meio. A Unidade Serra da Boa Esperança apresenta posicionamento estratigráfico duvidoso e pode ser apenas considerada como pré-Brasileira, porém esse autor interpreta-a como de idade paleoproterozóica a mesoproterozóica inferior, já que se encontra intrudida por granitos alcalinos. Assim, o empilhamento estratigráfico, das unidades mais antigas para as mais novas, é por ele descrito como segue:

O embasamento na região é composto pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico. Corresponde a uma associação de rochas gnáissicas e migmatíticas bandadas de composição granítica, com assinatura geoquímica semelhante à das associações TTG (tonalito-trondhjemitogranodiorítico) e idade provavelmente arqueana.

Sobre o embasamento arqueano, coloca-se a Unidade Serra da Boa Esperança, consistindo principalmente em metassedimentos psamíticos a pelíticos e xistos carbonáticos, intercalados por lentes de metacalcário. Em alguns locais, ela se encontra intrudida por rochas alcalinas de afinidade metaluminosa, equivalente às da Suíte Alcalina Serra do Meio.

Os maciços ígneos toleítico-alcalinos ocorrem encaixados no embasamento e eventualmente nas rochas supracrustais mais antigas. Correspondem aos complexos de Angico dos Dias, do Peixe e de Campo Alegre de Lourdes, aos Corpos Máfico-Ultramáficos Diversos e à Suíte Alcalina Serra do Meio.

O Complexo Carbonatítico de Angico dos Dias contém rochas silicáticas variadas e carbonatitos associados (Silva *et al.*, 1988).

O Complexo Máfico-Ultramáfico do Peixe é delimitado a partir de anomalias magnéticas e tem aproximadamente 12 km por 4,5 km. Os seus principais litotipos são metagabros, metapiroxenitos, ilmenita magnetititos, leucogabros, tremolititos e gabronoritos. Estas rochas exibem invariavelmente texturas cumuláticas ou mesmo acamadadas.

O Complexo Máfico-Ultramáfico de Campo Alegre de Lourdes se estende por 13 km de comprimento e por 7 km de largura, com seus principais litotipos reunidos em três conjuntos: rochas cumuláticas (piroxenitos, gabros, leucogabros/anortositos, ilmenita magnetititos e variedades ricas em apatita), diabásios e rochas derivadas da milonitização dos tipos anteriores (Couto, 1989, *apud* Leite, 1997). Apesar de não contarem com dados geocronológicos, levantamentos geofísicos indicaram a mesma orientação dos dipolos magnéticos para esse Complexo e o de Angico dos Dias, sugerindo, assim, magnetização para as duas ocorrências no Paleoproterozóico (Leite, 1997).

Os Corpos Máfico-Ultramáfico Diversos representam um agrupamento de ocorrências sem um posicionamento estratigráfico definido, reunindo sobretudo piroxenitos, gabros e xistos ultramáficos (Leite, 1997).

A Suíte Alcalina Serra do Meio corresponde a uma expressiva ocorrência de granitos alcalinos supersaturados, incluídos geoquimicamente em três séries distintas: peraluminosa, metaluminosa e peralcalina. São rochas caracterizadas por alta concentração em SiO_2 , álcalis e elementos incompatíveis (Leite, 1997).

Os maciços ígneos de afinidade toleítico-alcalina presentes na região mostram aspectos distintos do ponto de vista textural e estrutural, que sugerem a colocação e cristalização de seus magmas em épocas anteriores aos cisalhamentos transcorrentes regionais. As assinaturas geoquímicas desses corpos apontam para intrusões em ambiente continental anorogênico a partir de rifteamento ou domeamento crustal posterior à instalação de hot-spots mantélicos (Leite, 1997).

Sobre o embasamento gnáissico-migmatítico, a sul e distante do contexto local de Angico dos Dias, afloram principalmente quartzitos e muscovita-quartzo xistos como extensão do Corredor Paramirim e atribuídos às seqüências setentrionais do Supergrupo Espinhaço (Grupo São Onofre).

A norte e a noroeste do Complexo de Angico dos Dias, afloram os sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba, representados por rochas dos Grupos Serra Grande e Canindé, formando um relevo de chapada com escarpas abruptas dispostas sobre o embasamento precambriano.

Por último, mencione-se a ocorrência de extensas coberturas sedimentares terciárias-quaternárias constituídas principalmente por areias eólicas e formações detríticas inconsolidadas areno-siltosas, que podem conter níveis conglomeráticos, crostas lateríticas e depósitos aluvionares.

A área de estudo no seu contexto regional, por estar inserida no arcabouço tectônico proterozóico da borda noroeste do Cráton São Francisco, mais precisamente na extensão norte do Corredor Paramirim e entre as Faixas Móveis Riacho do Pontal e Rio Preto, é caracterizada estruturalmente por dobras, cavalgamentos e transcorrências que afetaram,

durante o ciclo Brasileiro, desde o embasamento arqueano até as supracrustais, inclusive os complexos alcalinos e máfico-ultramáficos. Estes maciços intrusivos são decorrentes de um ou mais períodos de distensão crustal que possibilitaram a ascensão de magmas de partes profundas da litosfera, assim como a instalação de bacias sedimentares durante o Paleoproterozóico, e são referência geocronológica e estratigráfica para o estabelecimento de um modelo de evolução tectônica para a região (Leite, 1997).

Além desse evento distensivo, a região experimentou outros mais, como o registrado pela sedimentação do Supergrupo Espinhaço durante a fase rifte e correspondente à sinéclise do Parnaíba, já no Fanerozóico.

Com exceção do embasamento gnáissico-migmatítico, que possui registros de deformações provavelmente transamazônicas, os outros domínios estruturais nas faixas dobradas da região são marcados por deformações atribuídas ao ciclo Brasileiro, associadas a transcorrências tangenciais aos limites do cráton, e zonas de cavalgamento com vergência para NW, ou seja, em direção contrária ao do Cráton São Francisco. Além disso, dados gravimétricos apresentam um forte gradiente lateral ascendente para norte, o que indica uma tectônica colisional, que, segundo Leite (1997), está impressa tanto nos metassedimentos do Grupo São Onofre quanto nos da Unidade Serra da Boa Esperança e nos maciços alcalinos e máfico-ultramáficos.

Se for atribuída a mesma idade do Complexo Angico dos Dias aos maciços máfico-ultramáficos, as deformações da região de Campo Alegre de Lourdes são, pelo menos em parte, de idade pré-brasiliana, enquanto aquelas com vergência para NW são seguramente brasileiras, o mesmo sucedendo com os da Faixa Rio Preto.

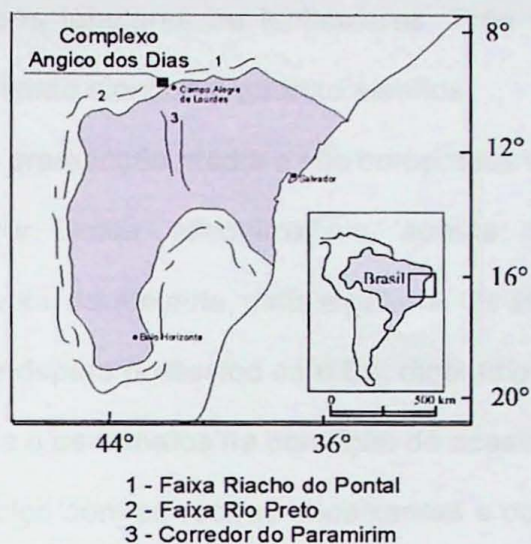


Figura 1 – Localização do Complexo de Angico dos Dias e o Cráton São Francisco.

5.1 Contexto Local

Segundo Silva *et al.* (1988), o Complexo de Angico dos Dias possui dimensões de 2,25 km de comprimento por 1,25 km de largura e orientação geral N20E. Está encaixado no embasamento arqueano composto principalmente por gnaisses e migmatitos, ambos miloníticos, leucocráticos e de composição granítica. Arenitos e conglomerados do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba são encontrados a norte e a noroeste (Fig. 2).

Os principais litotipos constituintes do complexo são sienitos, dioritos alcalinos, piroxenitos, carbonatitos (olivina-apatita sövitos, biotita-apatita sövitos e magnetita-olivina-apatita sövitos) e lamprófiros, além de crostas fosfáticas residuais (Silva *et al.*, 1988). São assim descritos por esses autores:

Os sienitos ocupam uma faixa alongada, de direção N30E, dentro do complexo. Representam exposições de dezenas de metros de largura ou então estão alojados sobre o embasamento na forma de corpos tabulares ou lenticulares. Três tipos petrográficos foram reconhecidos: albititos, álcali feldspato sienitos e quartzo sienitos.

Os albititos exibem granulação média e são compostos essencialmente por albita. Como acessórios podem ocorrer biotita, clinopiroxênio, apatita, zircão, calcita, feldspato potássico, titanita, monazita, ilmenita, baddeleiíta, pirita e galena. Os álcali feldspato sienitos são constituídos principalmente por feldspato potássico com Ba, diopsídio, titanita e apatita, ao lado de albita, anfibólio cálcico, ilmenita e carbonatos na condição de acessórios. Os quartzo sienitos estão restritos ao contato do maciço com as rochas encaixantes e consistem em grande parte por albita, quartzo e biotita. Em geral, esses sienitos possuem excesso de Al_2O_3 sobre álcalis e CaO, o que os caracteriza como do tipo peraluminoso a metaluminoso.

Os dioritos alcalinos são foliados, com bandamento caracterizado pela presença de grandes cristais de cúmulos de plagioclásio com preenchimento de grãos irregulares de piroxênio e magnetita.

Os piroxenitos, de ocorrência mais rara, são especificamente diopsiditos. Exibem granulação média a grossa, textura hipidiomórfica e contêm principalmente diopsídio, barkevikita e biotita; como acessórios estão presentes tremolita, epídoto e carbonatos. Apresentam conteúdo relativamente alto de CO_2 e de F e um padrão de fracionamento dos elementos terras raras muito semelhante ao dos carbonatitos, porém, com menores concentrações. Quando comparados aos carbonatitos, os teores de Sc, V, Co e Cu são similares, ainda que os de Cl, F, Zn e Pb bem menores.

Os carbonatitos estão representados por dois corpos principais orientados segundo N20E e com mergulho de até 45° para NW. O primeiro tem espessura máxima de 50 m, estreitando-se em direção a SW; já o segundo é lenticular e mostra espessura máxima de 100 m. Ambos estão posicionados no interior dos sienitos e no seu contato com o

embasamento. Um aspecto importante observado é que no contato dos carbonatitos com as encaixantes não foram encontradas evidências de fenitização. Por outro lado, deve-se lembrar a possibilidade desse contato ser de natureza tectônica.

De modo geral, os carbonatitos exibem granulação média a grossa e contêm carbonatos como fase dominante ao lado de apatita, micas, magnetita e olivina serpentinizada. Outras fases incluem são tremolita, monazita, baddeleiíta, zircão, antofilita e sulfetos. Apresentam altas concentrações de Ba, Pb, Sr e Y, baixos teores de Rb, U, Ta e Nb, sendo também enriquecidos em elementos terras raras (Gomes *et al.*, 2001). O padrão de distribuição dos ETR, à exceção da ausência de anomalia para o Eu, é semelhante ao dos demais litotipos do complexo (Silva *et al.*, 1988).

Lamprófiros ocorrem por toda extensão do complexo na forma de diques, com a espessura dos corpos variando desde centimétrica a métrica. Podem ser porfíricos ou não com a sua granulação se mostrando afanítica a fanerítica fina. Do ponto de vista mineralógico, quando contêm feldspato, este é um plagioclásio com bordas mais ricas em Na. Essas rochas contêm ainda biotita, actinolita e clorita, sendo as últimas fases formadas a partir da alteração dos piroxênios. São também reconhecidos ilmenita, titanita, apatita, cobaltita e sulfetos. Já o tipo sem feldspato é composto predominantemente por fenocristais de biotita em matriz de biotita, anfibólio cálcico, calcita e clorita. No geral, os lamprófiros têm conteúdos elevados de TiO_2 , P_2O_5 , CO_2 e álcalis.

Quando vistas no conjunto, Silva *et al.* (1988) consideram que as rochas do complexo são semelhantes geoquimicamente, sobretudo no tocante ao padrão de fracionamento dos ETR, o que leva à interpretação de que sofreram uma evolução conjunta.

Com base no mapa geológico fornecido por esses autores, tem-se que o complexo apresenta estruturas de dobras assimétricas formando uma sinforma de flanco longo a SE e de flanco curto para NW, a partir da qual fecha uma antiforma a NW seguida por um flanco longo. Desse modo, os planos axiais dessas dobras estariam mergulhando para NW.

Quanto ao grau metamórfico das rochas, os dados indicam que o metamorfismo acompanhou a tectônica regional, sugerindo temperaturas compatíveis com a fácies dos xistos verdes, como apontado pela alteração de diopsídio para biotita, tremolita e calcita nos piroxenitos, e de diopsídio para actinolita-tremolita nos sienitos.

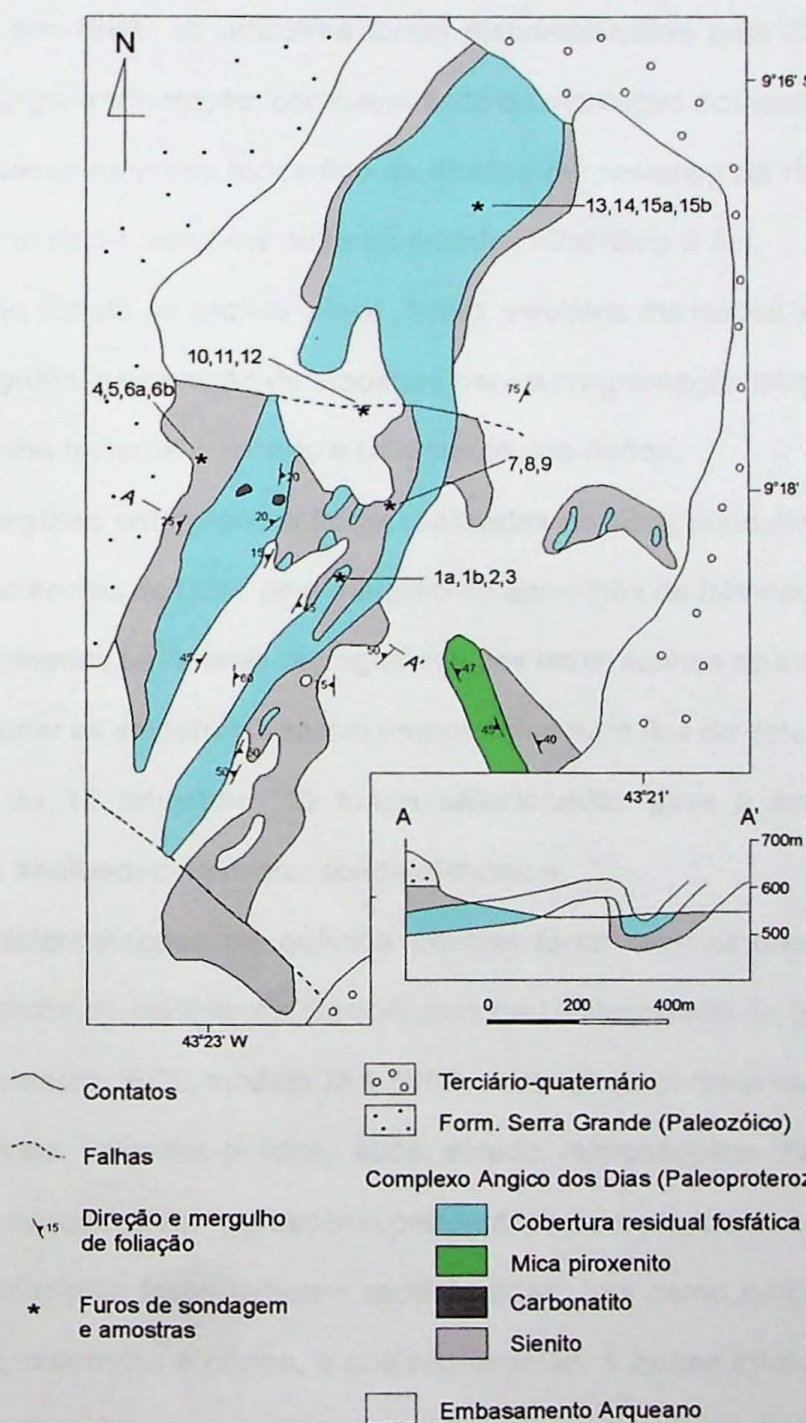


Figura 2 – Mapa geológico do Complexo de Angico dos Dias, modificado de Silva *et al.* (1988).

6. Materiais e Métodos

Na presente pesquisa foram trabalhadas apenas amostras de testemunhos provenientes de programa de sondagem efetuado na área pela Geosol – Geologia e Sondagens Ltda., em 1986. As amostras foram disponibilizadas pela CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, como resultado da mediação dos geólogos A. Issa Filho e B.F. Riffel, antes dessa empresa ter cedido os direitos de pesquisa na região e transferido o acervo de dados e material para uma outra companhia (Galvânia S.A.).

Como consta no projeto inicial, foram previstas atividades envolvendo pesquisa bibliográfica, petrografia, preparação de amostras para a programação laboratorial, obtenção de análises químicas dos minerais e rochas e tratamento dos dados.

As análises petrográficas foram realizadas no laboratório didático de microscopia do Instituto de Geociências da USP, com o auxílio de aparelhos de fabricação Olympus, modelo BX 40. Foram examinadas as lâminas petrográficas dos testemunhos de sondagem disponíveis, no intuito de selecionar as amostras a serem empregadas para fins de determinação da química mineral. Do total de 15 amostras, 10 foram selecionadas para a confecção de lâminas delgadas/polidas e analisadas na microsonda eletrônica.

As determinações de química mineral foram executadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, utilizando um instrumental de marca JEOL, modelo JXA-8600, equipado com cinco espectrômetros e EDS acoplado. As lâminas delgadas-polidas, após estudo microscópico, tiveram os locais de interesse analítico marcados em microscópio petrográfico com platina de contagem de pontos.

As principais fases minerais reconhecidas, tais como carbonato, apatita, mica, anfibólio, piroxênio, magnetita e olivina, e que representam a quase totalidade da composição modal dos carbonatitos, foram submetidas a análises químicas quantitativas pelo método da dispersão de comprimento de onda (WDS). Já as fases que não puderam ser reconhecidas

através da petrografia, assim como os opacos, foram investigadas apenas por dispersão de energia (EDS).

Durante a primeira etapa de atividades, na qual foram analisadas apatitas, micas, anfibólios, piroxênios, olivinas e magnetitas, os parâmetros empregados na microsonda foram os seguintes: potencial de aceleração de 15 kV, corrente de amostra de 20 nA e diâmetro do feixe de elétrons de 5 μm . Especificamente para os carbonatos, foram: tensão de 15 kV, corrente de 10 nA e diâmetro do feixe eletrônico de 10 μm . Na segunda etapa, que previa por ocasião das análises das apatitas, a inclusão de mais elementos da série das terras raras, as condições analíticas foram: tensão de 20 kV e corrente de 50 nA. Em todos os casos, o tempo de contagem para cada análise foi de 20 s para os elementos maiores e 30 s para os menores.

O conjunto de análises alcançou o número de 192 pontos, sendo 50 referentes aos carbonatos, 41 e 51 às apatitas, respectivamente, na primeira e segunda fase, 14 às micas, 6 às olivinas, 2 aos piroxênios, 15 às magnetitas e 12 aos anfibólios, com os dados obtidos integrando as Tabelas 1 a 7.

O tratamento dos resultados se deu com o concurso do programa Minpet, versão 2.02. Esta ferramenta é utilizada para o cálculo da proporção catiônica de cada mineral analisado, sua classificação e projeção dos dados em diagramas e gráficos.

As análises químicas de rochas para os elementos maiores e traços foram executadas no Departamento de Engenharia Química, do Ambiente e de Matérias Primas da Universidade de Trieste, Itália, empregando-se a técnica da fluorescência de raios X e equipamento de fabricação Philips, modelo PW-1400, e duplicadas por ICP e ICP-MS no Centro de Pesquisas Petrográficas e Geoquímicas em Vandoeuvere, França. Os procedimentos analíticos adotados são fornecidos no trabalho de Bellieni et al. (1983). Já os isótopos estáveis foram analisados através de espectrômetro de massa Finnigan Mat Delta E no Instituto de Mineralogia e Geoquímica da Universidade de Palermo, Itália, seguindo metodologia descrita em Castorina *et al.* (1996).

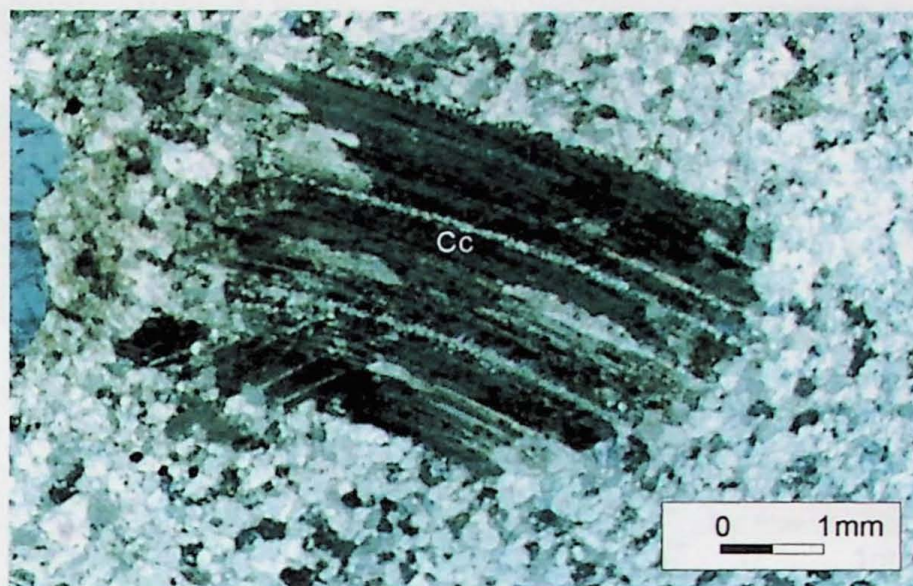
7. Petrografia

Os carbonatitos mostram-se heterogêneos quanto à textura e mineralogia. São reconhecidos tipos mais micáceos, mais silicáticos com maior riqueza de olivina, piroxênio e anfibólio e tipos essencialmente carbonáticos constituídos sobretudo por calcita, apatita e olivina subordinada. As porções silicáticas e micáceas apresentam maior conteúdo de minerais ferromagnesianos (piroxênio e anfibólio) e mica, porém ainda contam com grande quantidade de carbonatos e são comuns em algumas das amostras analisadas.

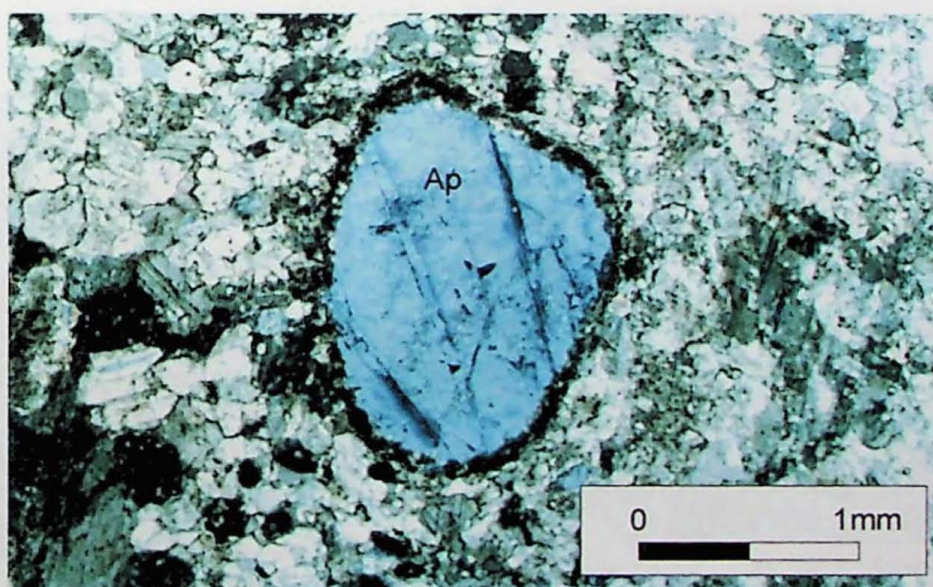
Macroscopicamente, apresentam textura granoblástica de granulação fina a média, passando localmente a porfiroblástica como resultado do maior desenvolvimento dos cristais de calcita e apatita e mica (Fotomicrografias 1 - 4). Em algumas amostras, é possível observar-se xistosidade incipiente, com fraca orientação dos minerais, principalmente das micas (Fotomicrografia 5). Os principais constituintes minerais identificados, além dos três citados, são magnetita, olivina e sulfetos.

Essas rochas possuem composição e coloração variadas. Quando constituídas predominantemente por carbonatos, exibem cor branca a cinza claro. Já em amostras contendo minerais máficos, a coloração varia de verde claro a verde escuro.

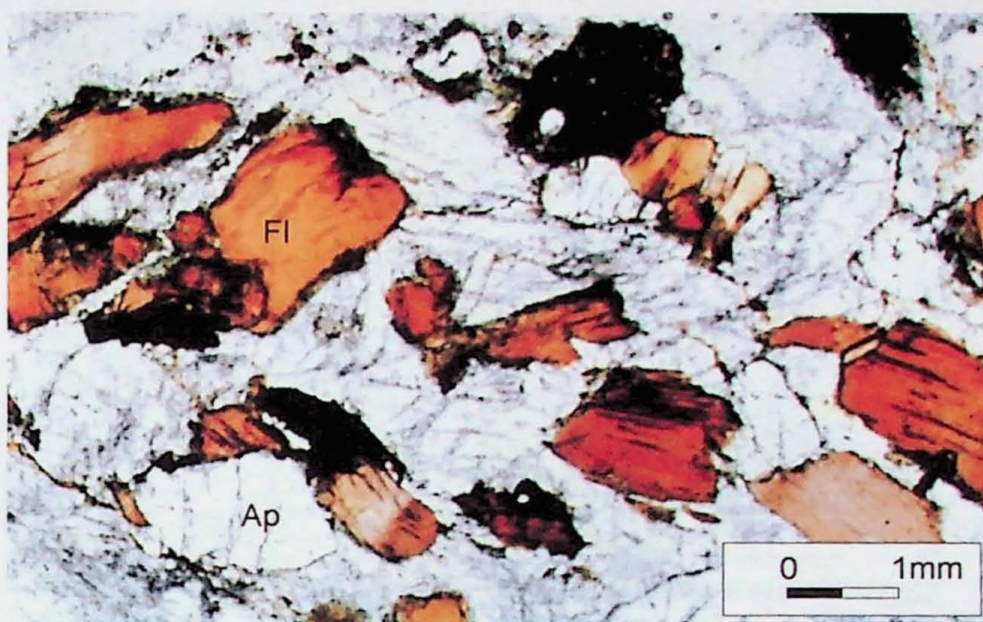
Ao microscópio, nota-se que os carbonatitos consistem principalmente em calcita, apatita, flogopita, anfibólio, olivina serpentinizada (raramente preservada), piroxênio e opacos. (magnetita e sulfetos). Como acessórios estão presentes titanita, monazita e zircão e como produtos de alteração, clorita e talco. Com a técnica do EDS foram analisadas algumas fases não devidamente caracterizadas por meio de suas características ópticas, com os resultados indicando a presença de ilmenita, esfalerita, carbonatos de terras raras e silicato de titânio e terras raras.



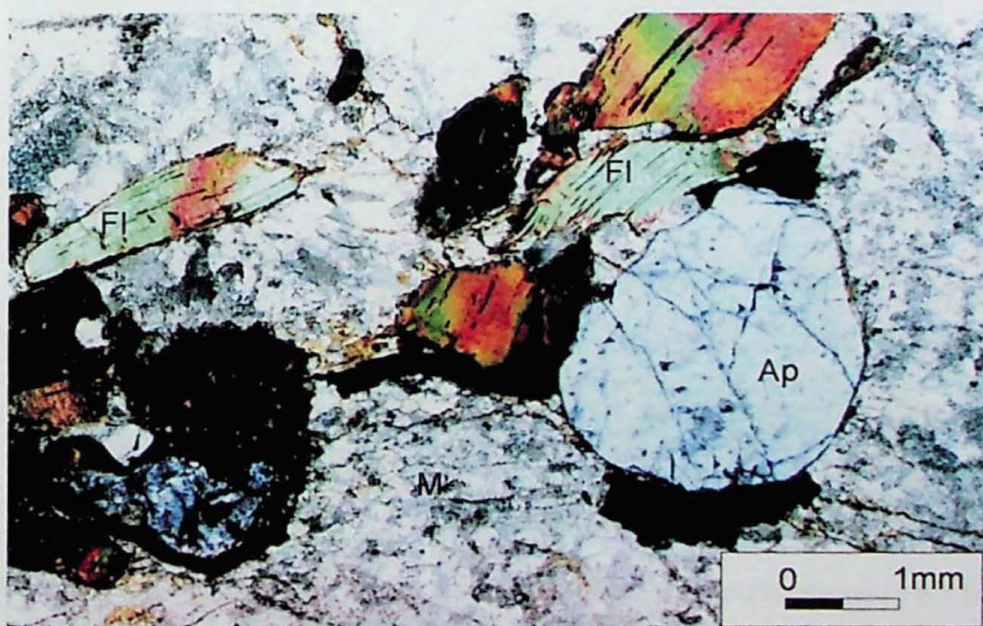
Fotomicrografia 1 – Porfiroblasto de calcita em matriz carbonática, amostra 9-6950, polarizadores cruzados.



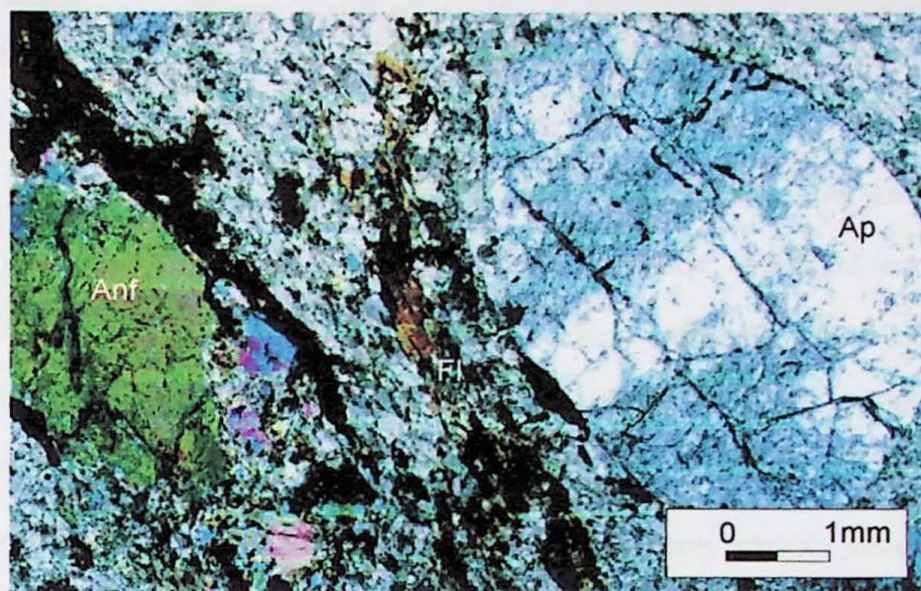
Fotomicrografia 2 – Porfiroblasto de apatita e auréola consistindo em monazita microcristalina em matriz carbonática, amostra 9-6950, polarizadores cruzados.



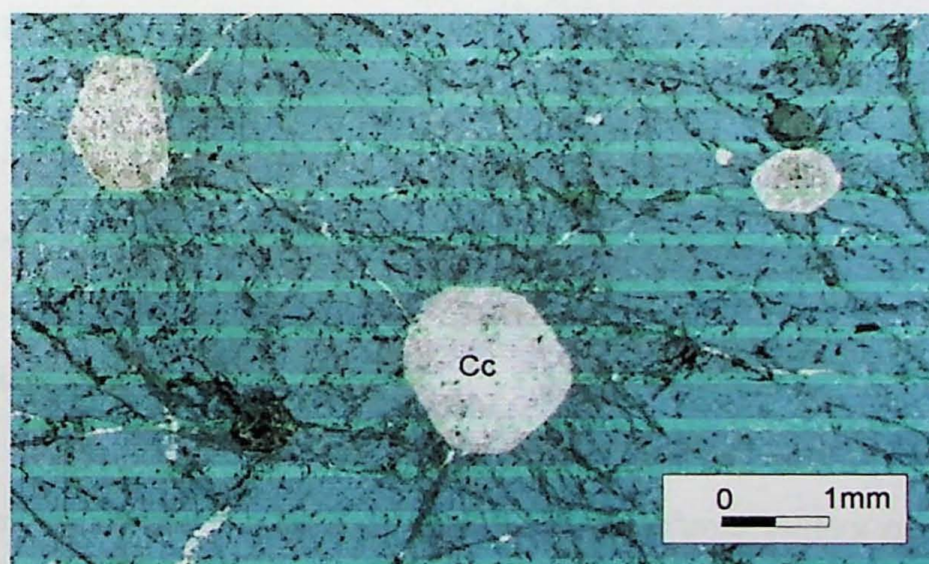
Fotomicrografia 3 - Porfiroblastos de flogopita em matriz carbonática, amostra 13-2620, polarizadores paralelos.



Fotomicrografia 4 – Porfiroblastos de apatita e flogopita em matriz carbonática, amostra 1A-5400, polarizadores cruzados.



Fotomicrografia 5 – Porfiroblastos de apatita, anfibólio e flogopita orientados segundo a foliação principal, amostra 1A-5400, polarizadores cruzados.



Fotomicrografia 6 – Inclusões de calcita em porfiroblasto de apatita, amostra 5-11490, polarizadores cruzados.

8. Química Mineral

8.1 Carbonatos

Os carbonatos nos carbonatitos de Angico dos Dias pertencem a três gerações distintas. A primeira é representada por pequenas inclusões de calcita em cristais maiores de apatita (Fotomicrografia 6). A segunda corresponde a porfiroblastos de calcita, de forma ovalada com aproximadamente 4 mm de comprimento em seu eixo maior e portadoras de lamelas de exsolução finas e alongadas (Fotomicrografia 1). A terceira constitui uma matriz fina carbonática, às vezes apresentando junção tríplice a 120° dos grãos, com granulação de aproximadamente 0,1 a 0,3 mm. Os carbonatos podem ocorrer ainda preenchendo fraturas em outros minerais, principalmente nos porfiroblastos de apatita.

As análises foram conduzidas na primeira etapa da programação e incluíram os seguintes elementos: Fe, Mn, Mg, Ca, Sr, Ba, Pb e Si. Todos os pontos analisados situaram-se na área central dos grãos.

Os dados listados na Tabela 1 indicam que os carbonatos são essencialmente calcíticos (Fig. 3). Com exceção das lamelas de exsolução, na maioria dos casos de natureza mais magnesianas, somente alguns grãos de dolomita foram encontrados junto à matriz carbonática. Subordinadamente, podem ainda estar presentes nas bordas de reação das olivinas pseudomórficas.

O teor de MgO na calcita é na maioria das vezes baixo, raramente ultrapassando 3%. O mesmo ocorre com o conteúdo de FeO, que, no entanto, mostra valores mais elevados nos termos mais magnesianos. O BaO também está presente em baixa concentração, podendo variar de 0 a 0,7% (Fig. 3, Tabela 1).

O teor de SrO é bastante variado, podendo ser de 0,5 a 0,7% nas inclusões de calcita em apatita, por volta de 1 a 2% em porfiroblastos de calcita e em dolomita de lamelas de exsolução, ou mesmo atingir valores de 3 a 4% na matriz fina carbonática (Fig. 1, Tabela 1).

Apesar da presença de altos valores de SrO em quase todas as amostras, essa característica ocorre de modo sistemático apenas nos porfiroblastos e na matriz carbonática dos carbonatitos mais micáceos (amostra 6A-11620), com teores sempre entre 3 e 4%. Nota-se ainda uma tendência do decréscimo de SrO com o incremento de MgO e FeO.

A análise conjunta de todas as amostras não permitiu uma interpretação muito clara da relação existente entre o quimismo e as diferentes gerações do mineral. O que fica evidente é que, em alguns casos, as lamelas de exsolução são mais magnesianas e que podem ocorrer grãos desse tipo também na matriz.

Nos diagramas binários (Fig. 4) estão relacionados os teores de MgO, CaO, BaO e SrO. Observa-se que os valores mais elevados de BaO estão presentes nos porfiroblastos e os de SrO na matriz, enquanto que as inclusões sempre apresentam teores baixos de SrO. Nota-se também a maior riqueza em SrO e FeO dos termos mais calcíticos. Quanto à concentração em CaO, verifica-se a existência de três grupos, um com valores em torno de 50%, reunindo o maior contingente das análises, um com menos de 30% e um terceiro com conteúdo intermediário (40%). Os porfiroblastos e os carbonatos da matriz são predominantemente calcíticos, salvo raras exceções. Nos demais aspectos, para os termos mais calcíticos as análises das relações entre matriz, inclusões e porfiroblastos não são tão conclusivas.

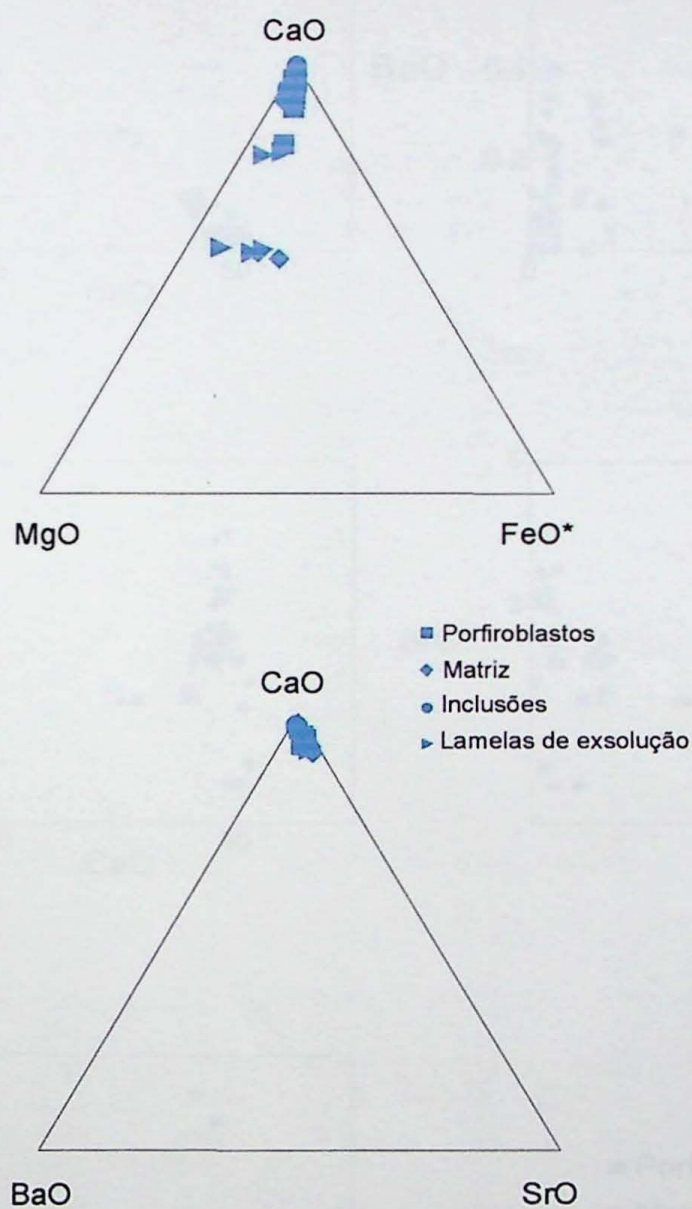


Figura 3 – Diagramas ternários CaO-MgO-FeO* e CaO-BaO-SrO para os carbonatos dos carbonatitos de Angico dos Dias. Teores em % em peso calculados para 100%. *, FeO+MnO.

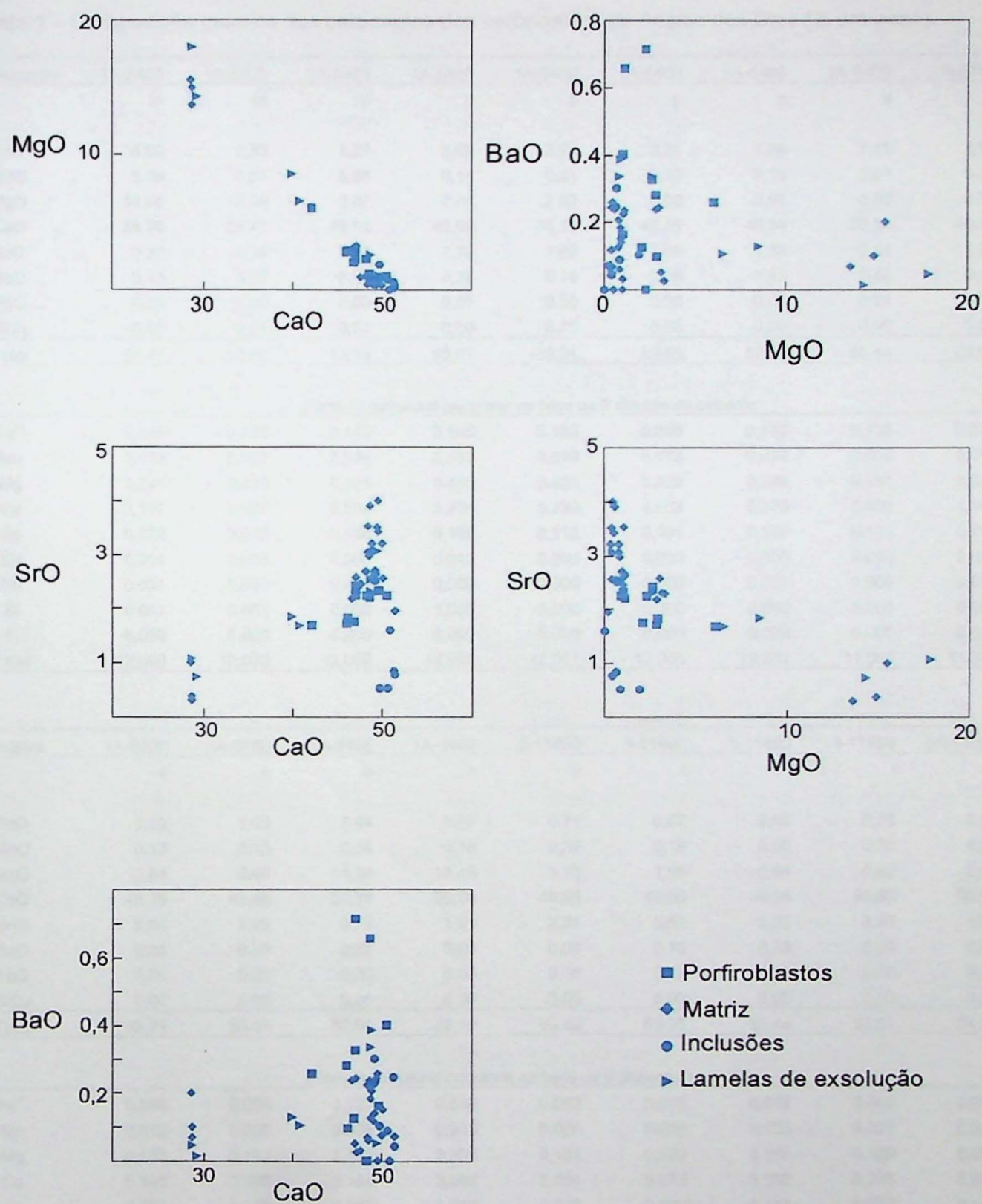


Figura 4 – Diagramas MgO-CaO, MgO-BaO e MgO-SrO, bem como BaO-CaO e SrO-CaO para os carbonatos dos carbonatitos de Angico dos Dias.

Tabela 1 – Composição química dos carbonatos dos carbonatitos de Angico dos Dias (% em peso).

Amostra	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400
	m	m	m	p	p	p	p	p	e
FeO	6,99	9,33	1,27	2,08	2,07	3,31	1,89	1,19	3,68
MnO	0,39	0,67	0,08	0,15	0,21	0,13	0,13	0,07	0,20
MgO	14,88	13,59	0,82	2,84	2,87	6,03	2,05	0,98	6,52
CaO	28,70	28,71	48,51	45,99	46,14	42,15	46,84	50,54	40,82
SrO	0,37	0,30	2,98	1,72	1,82	1,69	1,76	2,24	1,70
BaO	0,10	0,07	0,06	0,28	0,10	0,26	0,13	0,40	0,11
PbO	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
SiO ₂	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	51,47	52,68	53,76	53,07	53,21	53,56	52,83	55,44	53,02

Fórmula estrutural calculada na base de 6 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,591	0,786	0,113	0,185	0,183	0,286	0,170	0,103	0,320
Mn	0,033	0,057	0,008	0,013	0,019	0,012	0,012	0,006	0,018
Mg	2,241	2,039	0,131	0,450	0,453	0,928	0,328	0,151	1,010
Ca	3,107	3,096	5,559	5,234	5,230	4,663	5,376	5,589	4,545
Sr	0,022	0,018	0,185	0,106	0,112	0,101	0,109	0,134	0,102
Ba	0,004	0,003	0,003	0,012	0,004	0,010	0,005	0,016	0,004
Pb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Si	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Total	12,000	12,000	12,000	12,000	12,001	12,000	12,001	11,999	11,999

Amostra	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	5-11490	5-11490	5-11490	5-11490	6A-11620
	e	e	e	e	p	i	i	i	m
FeO	1,10	1,06	7,44	6,57	0,71	0,87	0,66	0,78	0,34
MnO	0,13	0,10	0,34	0,18	0,07	0,18	0,06	0,30	0,28
MgO	0,84	0,90	14,30	15,49	1,13	1,88	0,64	0,82	0,35
CaO	48,76	48,83	29,23	28,61	48,66	49,68	49,18	50,60	50,00
SrO	2,54	2,25	0,73	1,01	2,21	0,52	2,52	0,53	3,21
BaO	0,34	0,39	0,01	0,20	0,66	0,10	0,30	0,09	0,07
PbO	0,01	0,03	0,00	0,05	0,06	0,12	0,10	0,10	0,01
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	53,71	53,56	52,05	52,10	53,49	53,35	53,44	53,21	54,27

Fórmula estrutural calculada na base de 6 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,098	0,095	0,627	0,549	0,063	0,076	0,059	0,069	0,030
Mn	0,012	0,009	0,029	0,015	0,006	0,016	0,005	0,027	0,025
Mg	0,133	0,143	2,147	2,306	0,181	0,293	0,102	0,129	0,056
Ca	5,585	5,596	3,154	3,062	5,584	5,575	5,662	5,736	5,688
Sr	0,157	0,140	0,043	0,059	0,137	0,032	0,157	0,032	0,198
Ba	0,014	0,016	0,001	0,008	0,028	0,004	0,013	0,004	0,003
Pb	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,000
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Total	11,999	12,000	12,001	12,000	12,001	11,999	12,001	12,000	12,000

Abreviações: m, matriz; p, porfiroblastos; e, lamelas de exsolução; i, inclusões.

Tabela 1 – (Cont.)

Amostra	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620
	m	m	m	m	m	m	m	m	m
FeO	0,31	0,27	0,17	0,26	0,26	0,35	0,36	0,35	0,28
MnO	0,29	0,32	0,34	0,19	0,39	0,31	0,38	0,28	0,24
MgO	0,49	0,57	0,45	0,14	0,45	0,76	0,76	0,40	0,42
CaO	49,48	48,56	49,53	51,45	48,35	48,79	48,76	49,00	49,40
SrO	3,43	3,90	4,00	1,95	3,05	3,20	3,06	2,57	3,07
BaO	0,00	0,24	0,26	0,07	0,07	0,21	0,13	0,12	0,05
PbO	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	54,00	53,90	54,75	54,07	52,59	53,62	53,46	52,72	53,48

Fórmula estrutural calculada na base de 6 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,028	0,025	0,015	0,023	0,024	0,031	0,033	0,031	0,025
Mn	0,026	0,029	0,030	0,017	0,036	0,028	0,035	0,026	0,022
Mg	0,079	0,092	0,071	0,022	0,074	0,122	0,121	0,064	0,067
Ca	5,656	5,600	5,626	5,816	5,669	5,611	5,615	5,711	5,692
Sr	0,212	0,243	0,246	0,119	0,194	0,199	0,191	0,162	0,191
Ba	0,000	0,010	0,011	0,003	0,003	0,009	0,005	0,005	0,002
Pb	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Total	12,001	12,000	11,999	12,000	12,000	12,000	12,000	11,999	12,000

Amostra	6A-11620	9-6950	9-6950	9-6950	9-6950	9-6950	13-2620	13-2620	13-2620
	m	m	m	p	i	i	m	m	m
FeO	0,26	0,54	0,58	0,83	0,00	0,44	0,97	0,56	0,28
MnO	0,31	0,07	0,13	0,03	0,00	0,20	0,15	0,18	0,24
MgO	0,39	1,02	0,91	2,26	0,00	0,36	3,13	3,03	1,10
CaO	49,33	49,17	48,76	47,02	50,88	51,43	46,93	47,00	49,29
SrO	3,51	2,66	2,57	2,25	1,59	0,78	2,31	2,57	2,64
BaO	0,25	0,23	0,18	0,71	0,00	0,04	0,05	0,24	0,24
PbO	0,01	0,09	0,05	0,05	0,01	0,02	0,04	0,00	0,02
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	54,06	53,78	53,17	53,15	52,65	53,26	53,57	53,57	53,79

Fórmula estrutural calculada na base de 6 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,023	0,048	0,052	0,074	0,000	0,039	0,085	0,049	0,025
Mn	0,028	0,006	0,012	0,003	0,000	0,018	0,013	0,016	0,021
Mg	0,062	0,162	0,146	0,360	0,000	0,056	0,489	0,474	0,173
Ca	5,658	5,607	5,622	5,391	5,863	5,837	5,269	5,294	5,608
Sr	0,218	0,164	0,160	0,140	0,099	0,048	0,140	0,157	0,163
Ba	0,010	0,010	0,008	0,030	0,000	0,002	0,002	0,010	0,010
Pb	0,000	0,003	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000
O	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Total	11,999	12,000	12,002	11,999	11,981	12,000	11,999	12,000	12,000

Tabela 1 – (Cont.)

Amostra	13-2620	13-2620	13-2620	13-2620	13-2620	13-2620	15A-3350	15A-3350	15A-3350
	m	m	p	p	e	e	m	m	m
FeO	0,96	0,81	0,79	0,94	0,80	1,79	0,56	0,56	0,48
MnO	0,16	0,09	0,16	0,06	0,12	0,17	0,10	0,08	0,10
MgO	2,82	3,26	2,27	2,63	2,61	8,50	0,95	1,04	0,99
CaO	46,61	47,18	48,29	46,99	48,75	39,85	49,19	48,33	48,15
SrO	2,20	2,30	2,25	2,41	2,31	1,85	2,71	3,53	2,70
BaO	0,24	0,03	0,00	0,33	0,34	0,13	0,14	0,22	0,00
PbO	0,01	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,03	0,03
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	52,99	53,73	53,76	53,36	54,97	52,29	53,67	53,80	52,45

Fórmula estrutural calculada na base de 6 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,085	0,071	0,069	0,083	0,069	0,154	0,050	0,050	0,044
Mn	0,014	0,008	0,014	0,005	0,011	0,015	0,009	0,007	0,009
Mg	0,446	0,507	0,355	0,416	0,400	1,308	0,151	0,166	0,161
Ca	5,309	5,272	5,424	5,334	5,368	4,407	5,617	5,547	5,615
Sr	0,135	0,139	0,136	0,148	0,138	0,111	0,168	0,219	0,170
Ba	0,010	0,001	0,000	0,014	0,014	0,005	0,006	0,009	0,000
Pb	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Total	11,999	12,000	11,998	12,000	12,001	12,000	12,002	11,999	12,000

Amostra	15A-3350	15A-3350	15A-3350	15A-3350	15A-3350
	m	m	p	e	i
FeO	0,65	0,52	0,40	3,08	0,32
MnO	0,11	0,06	0,16	0,24	0,06
MgO	0,98	0,91	0,97	17,89	0,60
CaO	47,64	50,04	49,67	28,65	51,23
SrO	2,46	2,56	2,34	1,07	0,85
BaO	0,03	0,15	0,16	0,05	0,25
PbO	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00
SiO ₂	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total	51,87	54,24	53,76	50,97	53,32

Fórmula estrutural calculada na base de 6 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,060	0,046	0,035	0,254	0,029
Mn	0,010	0,005	0,014	0,020	0,006
Mg	0,160	0,143	0,153	2,632	0,095
Ca	5,610	5,644	5,644	3,031	5,807
Sr	0,157	0,156	0,144	0,061	0,052
Ba	0,001	0,006	0,007	0,002	0,010
Pb	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Si	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
O	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Total	11,999	12,000	11,999	12,000	12,000

8.2 Apatitas

Ocorrem em sua maioria como porfiroblastos de forma ovalada (Fotomicrografia 2), com aproximadamente 5 mm de comprimento em seu eixo maior, e estão raramente presentes na matriz. Cristais de dimensões centimétricas podem ser também encontrados. De modo geral, possuem inclusões e fraturas preenchidas principalmente por calcita (Fotomicrografia 6) e borda microcristalina de monazita (Santos, 2001, Fotomicrografia 2). Macroscopicamente, exibem cor verde clara.

Em estudo realizado por Santos (2001), utilizando critérios como características morfológicas, associação mineralógica e composição química, foram reconhecidos sete tipos de apatita associados aos carbonatitos de Angico dos Dias:

Tipo A – Grãos ovóides fraturados de dimensões milimétricas a centimétricas, podendo conter bordas preenchidas por monazita. Ocorrem no carbonatito não silicificado nem micáceo e não alterado com uma matriz calcítica. Olivina serpentizada, biotita e opacos são comuns na associação.

Tipo B – Grãos ovóides fraturados no carbonatito silicificado e não alterado. São muito semelhantes à do tipo A, mas com a matriz calcítica substituída por quartzo.

Tipo C – Grãos ovóides fraturados no carbonatito micáceo e não alterado. Também é muito similar à do tipo A, mas com uma associação mais micácea.

Tipo D – Grãos residuais ovóides em amostras alteradas. Possuem granulometria e associação mineralógica como a encontrada no Tipo A.

Tipo E – São fragmentos angulosos residuais numa matriz ferruginosa. São apatitas que representam a evolução do perfil de alteração sobre o carbonatito.

Tipo F – Ocorre nas bordas e fraturas de grãos hexagonais em amostras alteradas.

Tipo G – Apatita supérgena fibrorradiada e idiomórfica.

Dentre os tipos citados acima, a autora reúne os tipos A, B, C, D e E entre as apatitas magmáticas primárias (sendo a D e E alteradas), o que equivale no presente trabalho aos porfiroblastos ovóides desse mineral. Os tipos restantes seriam resultado da alteração secundária. Quimicamente, os tipos A, B e C são mais semelhantes entre si e apresentam diferenças expressivas em relação aos demais, que são alterados e/ou secundários.

A programação analítica quantitativa na microsonda eletrônica reuniu na primeira etapa os elementos Fe, Mn, Mg, Ca, Sr, Na, P, F, Cl, Y, Ce e La (Tabela 2). Como foram notados teores expressivos de Ce e La, optou-se pela realização de uma segunda etapa, esta incluindo mais elementos da série dos ETR. Desse modo, as apatitas foram analisadas para aqueles primeiros elementos e mais Si, Al, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy e Yb (Tabela 2b).

O fechamento dos totais foi plenamente satisfatório, observando-se o mesmo comportamento para as proporções dos elementos maiores em ambas as etapas. Todas as análises foram feitas na região central dos grãos, onde se acredita que eles poderiam estar menos alterados, não havendo assim a preocupação em se determinar o quimismo ao longo de perfis borda-centro. Com referência à classificação de Santos (2001), os grãos aqui analisados seriam somente de fases primárias, correspondentes aos tipos A, B e C.

As apatitas analisadas são essencialmente flúor-apatitas, com teores de F variando comumente entre 3 e 5% (Tabela 2a, b) e conteúdos muito baixos de Cl, menores que 0,1% (Tabela 2b), como também mostrado na Fig. 5. Quanto aos ETR foram constatados altos teores sobretudo para o La, Ce e Nd, com valores máximos, respectivamente de 0,46, 0,94 e 0,47%. O conteúdo total dos ETR nas apatitas varia de 1,02 a 1,85% com os teores mais altos, com raras exceções, presentes nas amostras do carbonatito mais micáceo.

Ainda no tocante aos ETR, Santos (2001) analisou as apatitas por ICP-MS com ablação a laser e constatou um padrão de distribuição compatível com o comportamento dos ETR nas rochas carbonatíticas.

As proporções de SrO são também significativas, sempre acima de 1% e chegando até 2%. Com base na concentração desse elemento, é possível distinguir-se a presença de dois grupos. O primeiro, que corresponde a maior parte das análises, possui conteúdos que oscilam de 1,2 a 1,7%, e o segundo reúne poucos grãos da amostra 6-11620, apresentando concentração ao redor dos 2%, como evidenciado nos diagramas CaO/SrO e P_2O_5 /SrO (Fig. 5). Esse segundo grupo de apatitas com maior conteúdo de Sr pertence a uma mesma amostra, esta de carbonatito micáceo. Comportamento semelhante foi freqüentemente observado por Santos (2001) nas análises das apatitas do Tipo C (carbonatito micáceo) em relação aos demais tipos primários, porém nesse caso com teores ligeiramente superiores, com uma média de 2,67%, esta muito acima dos dados aqui obtidos.

Vistos no conjunto, os dados químicos coligidos demonstram que as apatitas investigadas possuem composição bastante homogênea, em particular no tocante aos componentes maiores CaO e P_2O_5 , que se acham confinados, respectivamente, aos intervalos de 53 e 54% e 41 e 42% (Fig. 5, Tabela 2a, b).

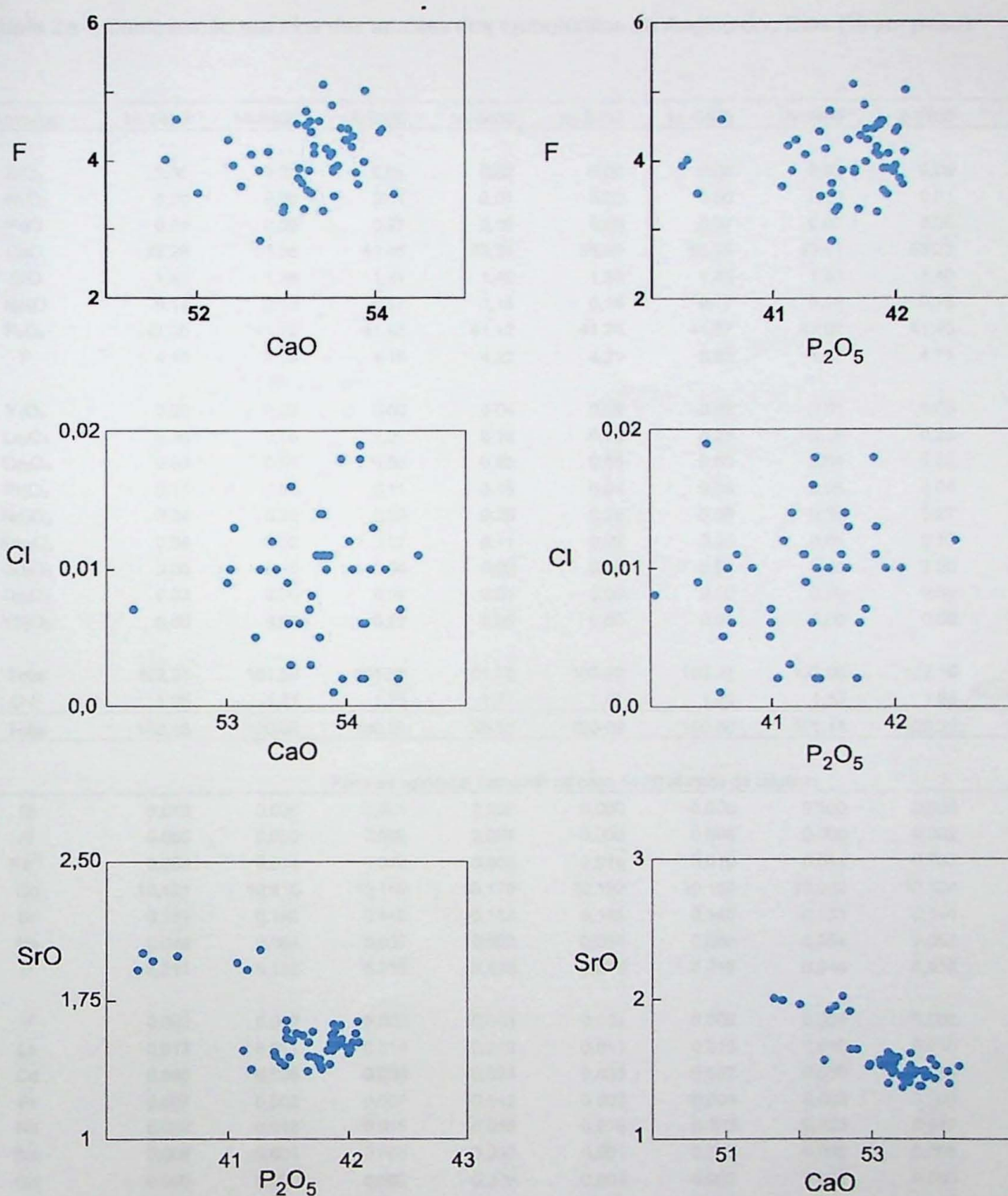


Figura 5 – Diagramas SrO, F e Cl vs. CaO e F e Cl vs. P₂O₅ para as apatitas dos carbonatitos de Angico dos Dias. Teores em % em peso.

Tabela 2a – (Cont.)

Amostra	15A-3350	15A-3350	15B-3350	15B-3350	15B-3350	15B-3350
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
FeO	0,03	0,07	0,04	0,05	0,04	0,02
CaO	52,79	52,35	53,12	52,96	53,37	53,26
SrO	1,64	1,56	1,56	1,52	1,58	1,57
Na ₂ O	0,30	0,38	0,23	0,25	0,21	0,25
P ₂ O ₅	42,08	41,62	41,86	41,85	41,89	41,57
F	4,13	4,29	4,52	3,25	4,56	3,86
Y ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,03	0,01	0,03
La ₂ O ₃	0,33	0,31	0,23	0,28	0,22	0,21
Ce ₂ O ₃	0,68	0,75	0,54	0,60	0,62	0,65
Pr ₂ O ₃	0,08	0,13	0,01	0,09	0,10	0,07
Nd ₂ O ₃	0,45	0,47	0,26	0,38	0,20	0,27
Sm ₂ O ₃	0,10	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
Gd ₂ O ₃	0,08	0,02	0,00	0,03	0,06	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,05	0,05	0,04	0,11	0,03
Yb ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
STotal	102,69	102,07	102,47	101,38	103,01	101,86
O-F	1,74	1,81	1,90	1,37	1,92	1,62
Total	100,95	100,26	100,57	100,01	101,09	100,24

Fórmula estrutural calculada na base de 26 átomos de oxigênio

Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,004	0,010	0,006	0,007	0,006	0,003
Ca	9,949	9,955	10,046	10,014	10,064	10,096
Sr	0,167	0,160	0,160	0,155	0,161	0,161
Na	0,103	0,130	0,079	0,086	0,070	0,085
P	6,265	6,254	6,256	6,253	6,242	6,227
Y	0,000	0,003	0,000	0,003	0,001	0,003
La	0,021	0,020	0,015	0,018	0,014	0,014
Ce	0,044	0,048	0,035	0,039	0,040	0,042
Pr	0,005	0,008	0,000	0,006	0,006	0,005
Nd	0,028	0,030	0,016	0,024	0,012	0,017
Sm	0,006	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003
Gd	0,004	0,001	0,000	0,002	0,003	0,000
Dy	0,000	0,003	0,003	0,002	0,006	0,002
Yb	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
ΣCátions	16,597	16,626	16,619	16,614	16,629	16,659
F	4,589	4,818	5,043	3,622	5,079	4,316
O	26,000	26,000	26,000	26,000	26,000	26,000

Tabela 2b – (Cont.)

Amostra	15A-3350	15A-3350	15A-3350	15B-3350	15B-3350
FeO	0,00	0,05	0,07	0,04	0,04
MnO	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00
MgO	0,06	0,06	0,07	0,03	0,04
CaO	53,06	53,39	53,00	53,54	53,69
SrO	1,40	1,64	1,50	1,56	1,44
Na ₂ O	0,26	0,25	0,32	0,16	0,18
P ₂ O ₅	41,86	42,51	41,28	41,35	40,65
F	3,65	3,55	3,35	3,56	3,05
Cl	0,06	0,05	0,04	0,07	0,03
Y ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
Ce ₂ O ₃	0,47	0,81	0,69	0,46	0,65
La ₂ O ₃	0,20	0,43	0,28	0,28	0,24
Total	101,06	102,75	100,60	101,06	100,03
O-F-Cl	1,55	1,51	1,42	1,51	1,29
Total	99,51	101,24	99,18	99,55	98,74

Fórmula estrutural calculada na base de 26 átomos de oxigênio

Fe ²⁺	0,000	0,007	0,010	0,005	0,006
Mn	0,006	0,000	0,000	0,004	0,000
Mg	0,016	0,015	0,018	0,008	0,012
Ca	10,055	9,969	10,111	10,185	10,303
Sr	0,143	0,166	0,154	0,161	0,150
Na	0,090	0,085	0,109	0,054	0,063
P	6,268	6,272	6,223	6,215	6,164
Y	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001
Ce	0,030	0,051	0,045	0,030	0,042
La	0,013	0,028	0,019	0,019	0,016
ΣCátions	16,621	16,595	16,689	16,681	16,757
F	4,081	3,913	3,777	3,994	3,457
Cl	0,034	0,032	0,023	0,042	0,018
O	26,000	26,000	26,000	26,000	26,000

8.3 Micas

As micas dos carbonatitos podem ocorrer como porfiroblastos de até 5 mm de comprimento ou ocasionalmente como grãos menores orientados segundo a foliação principal das rochas metamórficas da área (Fotomicrografia 3 e 5). Em ambos os casos, aparecem deformadas quando vistas ao microscópio óptico e sempre apresentando cores variáveis de bege até marrom escuro.

Foram analisadas somente três amostras, uma de carbonatito micáceo, uma de apatita carbonatito e outra com micas aparentemente secundárias (metamórficas), totalizando 14 pontos. Os elementos incluídos foram: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ba, Ca, Na, K F e Cl.

Na maioria dos casos, elas se aproximam quimicamente do membro final flogopita (Fig. 6), ainda que sejam encontrados cristais de composição intermediária. Podem ser caracterizadas como bário-flogopitas, uma vez que os teores desse elemento chegam a alcançar até 8% (Tabela 3).

É possível reconhecer a presença de três gerações de mica, uma mais magnesiânica, com teores de MgO ao redor de 22-23% e valores mais baixos de BaO (fase silicática e micácea), uma com proporções médias de MgO e BaO respectivamente em torno de 22% e 5,7% (13-2620, Fotomicrografia 3), e finalmente outra mais rica em ferro, com MgO em torno de 16-17% e alto BaO, que pode chegar até 8% (Fig. 6, Tabela 3). Este último grupo corresponde a uma única amostra, a 1-5400, na qual essas micas ocorrem sempre como pequenos grãos e orientados segundo a foliação principal. Devido a estas características químicas e texturais, foram interpretadas como sendo de origem metamórfica.

Quando comparados aos carbonatitos cretácicos de Jacupiranga (Gaspar & Wyllie, 1987), onde os teores de MgO oscilam de 22,5 a 28,2% e os de BaO alcançam até 10,3%, verifica-se que o comportamento desses elementos nas rochas de Angico dos Dias é muito semelhante. O mesmo não acontecendo, no entanto, com as proporções de TiO_2 e Na_2O

que aqui alcançam valores máximos, respectivamente, de 1,99% e 0,49%; em Jacupiranga, elas chegam, respectivamente, a 0,44% e 2,77%. A razão $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg}$ é também mais alta, de 0,130 a 0,370, enquanto que em Jacupiranga varia de 0,065 a 0,12.

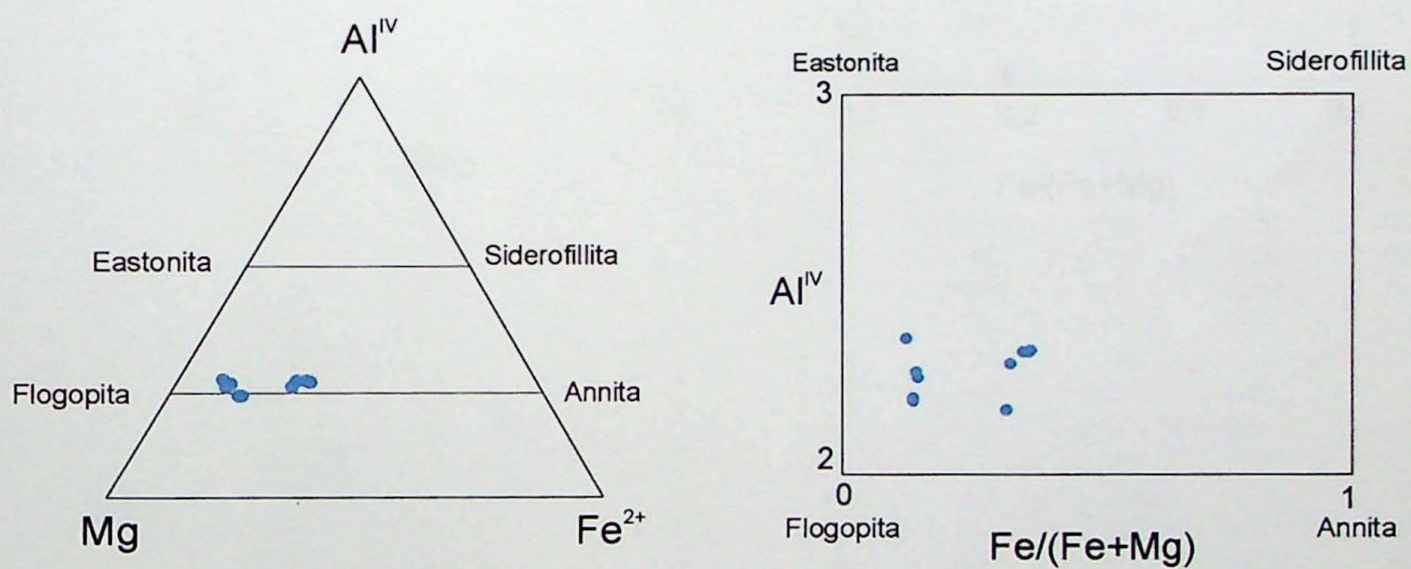


Figura 6 – Diagramas de classificação das micas dos carbonatitos de Angico dos Dias.

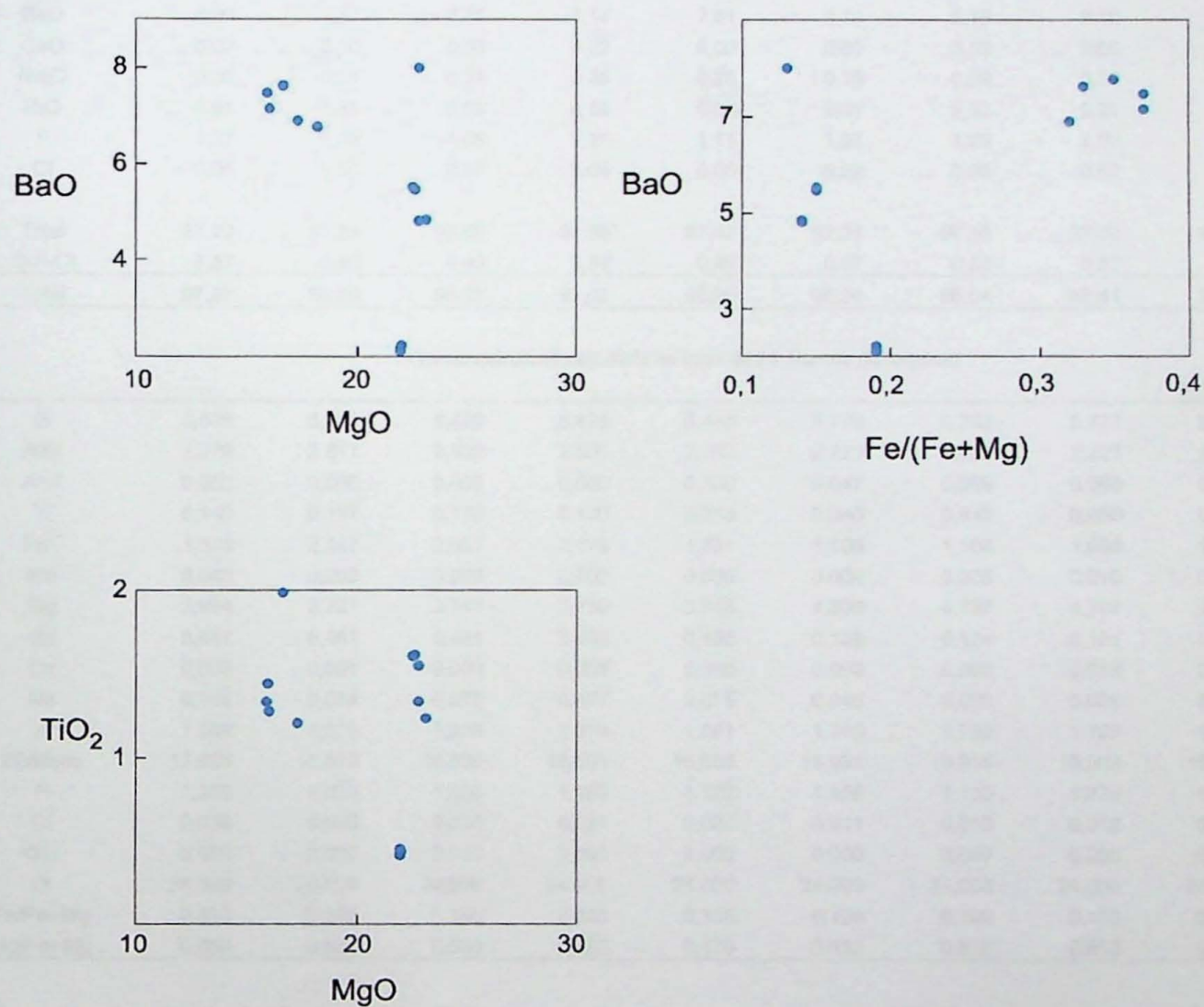


Figura 7 – Diagramas BaO vs. MgO, TiO₂ vs. MgO e BaO vs. FeO/(FeO+MgO) para as micas dos carbonatitos de Angico dos Dias.

Tabela 3 – Composição química das micas dos carbonatitos de Angico dos Dias (% em peso).

Amostra	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	1A-5400	6A-11620	6A-11620	6A-11620	6A-11620
SiO ₂	36,15	34,52	34,32	34,57	35,05	39,38	39,39	39,36	39,39
TiO ₂	1,21	1,33	1,44	1,27	1,99	0,42	0,45	0,45	0,44
Al ₂ O ₃	13,09	13,56	13,59	13,56	13,37	13,12	13,40	13,24	13,34
FeO	14,52	16,32	15,58	16,58	14,52	9,04	9,06	8,91	9,24
MnO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06	0,08	0,03
MgO	17,24	15,86	15,89	15,98	16,57	21,97	21,95	21,93	22,02
BaO	6,90	7,47	7,77	7,14	7,61	2,14	2,16	2,10	2,23
CaO	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,08	0,03
Na ₂ O	0,36	0,24	0,24	0,25	0,25	0,16	0,09	0,10	0,11
K ₂ O	6,91	6,86	6,63	6,89	6,95	9,31	9,32	9,21	9,28
F	1,32	1,04	1,06	1,27	1,14	1,57	1,23	1,59	1,57
Cl	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02
Total	97,79	97,25	96,59	97,56	97,47	97,21	97,16	97,08	97,68
O-F-Cl	0,57	0,45	0,46	0,54	0,49	0,67	0,52	0,67	0,66
Total	97,22	96,80	96,13	97,02	96,98	96,54	96,64	96,41	97,02

Fórmula estrutural calculada na base de 24 átomos de oxigênio

Si	5,578	5,431	5,429	5,425	5,460	5,779	5,762	5,777	5,758
AlIV	2,378	2,511	2,532	2,506	2,452	2,221	2,238	2,223	2,242
AlVI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047	0,069	0,066	0,053
Ti	0,140	0,157	0,172	0,150	0,233	0,046	0,049	0,050	0,048
Fe ²⁺	1,873	2,147	2,061	2,176	1,891	1,109	1,108	1,094	1,129
Mn	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,008	0,010	0,003
Mg	3,964	3,721	3,747	3,739	3,848	4,806	4,787	4,797	4,797
Ba	0,417	0,461	0,481	0,439	0,465	0,123	0,124	0,121	0,128
Ca	0,003	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,005	0,013	0,005
Na	0,108	0,074	0,075	0,077	0,075	0,046	0,026	0,029	0,031
K	1,359	1,376	1,338	1,379	1,381	1,743	1,739	1,723	1,731
ΣCátions	15,823	15,879	15,835	15,894	15,805	15,931	15,915	15,903	15,925
F	1,292	1,035	1,063	1,259	1,122	1,458	1,135	1,474	1,448
Cl	0,026	0,030	0,036	0,021	0,024	0,011	0,013	0,012	0,008
OH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
Fe/Fe+Mg	0,320	0,370	0,350	0,370	0,330	0,190	0,190	0,190	0,190
Mg/Fe+Mg	0,680	0,630	0,650	0,630	0,670	0,810	0,810	0,810	0,810

Tabela 3 (Cont.)

Amostra	13-2620	13-2620	13-2620	13-2620	13-2620
SiO ₂	36,16	37,50	37,74	36,96	37,61
TiO ₂	1,55	1,60	1,23	1,62	1,33
Al ₂ O ₃	14,56	14,48	13,86	14,19	14,04
FeO	5,82	7,00	6,68	6,86	6,59
MnO	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03
MgO	22,81	22,53	23,11	22,60	22,77
BaO	8,00	5,51	4,83	5,46	4,80
CaO	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00
Na ₂ O	0,32	0,45	0,47	0,46	0,49
K ₂ O	7,27	7,97	8,28	7,71	8,27
F	1,23	1,14	1,05	0,94	1,05
Cl	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01
Total	97,82	98,20	97,26	96,82	96,99
O-F-Cl	0,52	0,48	0,44	0,40	0,45
Total	97,30	97,72	96,82	96,42	96,54

Fórmula estrutural calculada na base de 24 átomos de oxigênio

Si	5,395	5,495	5,553	5,480	5,547
AlIV	2,558	2,498	2,402	2,477	2,439
AlVI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,174	0,177	0,137	0,180	0,148
Fe ²⁺	0,726	0,858	0,822	0,851	0,812
Mn	0,002	0,002	0,000	0,001	0,004
Mg	5,075	4,921	5,070	4,996	5,006
Ba	0,468	0,316	0,279	0,317	0,277
Ca	0,012	0,000	0,000	0,002	0,000
Na	0,093	0,128	0,135	0,131	0,139
K	1,383	1,489	1,554	1,457	1,557
ΣCátions	15,886	15,884	15,952	15,892	15,929
F	1,162	1,056	0,974	0,880	0,982
Cl	0,006	0,000	0,008	0,003	0,007
OH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
Fe/Fe+Mg	0,130	0,150	0,140	0,150	0,140
Mg/Fe+Mg	0,870	0,850	0,860	0,850	0,860

8.4 Olivinas

As olivinas estão representadas por pequenos grãos de formato oval, com dimensões de até 1,5 mm ou por vezes menores de 1 mm de comprimento. Raramente estão preservadas, mostrando-se na maioria dos casos completamente transformadas em serpentina pseudomórfica e clorita, com a alteração se dando sempre das bordas para o centro dos grãos. Ocorrem sempre associadas aos piroxênios e anfibólios nas amostras mais silicáticas entre os carbonatitos.

Alguns poucos grãos remanescentes possibilitaram a determinação do seu quimismo para os elementos Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na e K (Tabela 4).

Quanto à composição, são olivinas forsteríticas, com teores de Fo em torno de 73-74% (Fig. 8) e concentrações muito baixas de CaO e MnO, que atingem, respectivamente, até 0,03 e 0,38%.

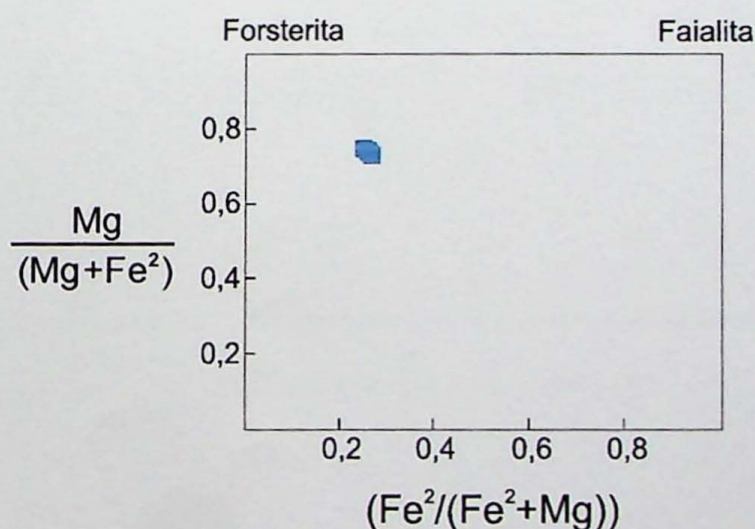


Figura 8 – Diagrama de classificação das olivinas dos carbonatitos de Angico dos Dias.

Tabela 4 – Composição química das olivinas dos carbonatitos de Angico dos Dias (% em peso).

Amostra	15B-3350	15B-3350	15B-3350	15B-3350	15B-3350	15B-3350
SiO ₂	37,48	37,93	37,98	37,93	37,38	37,07
TiO ₂	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
FeO	23,96	24,10	24,57	23,97	24,12	23,72
MnO	0,32	0,36	0,37	0,36	0,38	0,35
MgO	38,27	37,49	37,06	37,66	37,39	37,59
CaO	0,02	0,01	0,03	0,00	0,03	0,03
Na ₂ O	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Total	100,08	99,94	100,03	99,94	99,30	98,74

Fórmula estrutural calculada na base de 4 átomos de oxigênio

Si	0,974	0,996	0,999	0,996	0,990	0,986
Al	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,521	0,529	0,540	0,526	0,534	0,528
Mn	0,007	0,008	0,008	0,008	0,009	0,008
Mg	1,522	1,468	1,453	1,474	1,476	1,491
Ca	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Na	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
ΣCátions	3,024	3,003	3,001	3,005	3,010	3,014
Fe/Fe+Mg	0,260	0,260	0,270	0,260	0,270	0,260
Mg/Fe+Mg	0,740	0,740	0,730	0,740	0,730	0,740

8.5 Piroxênios

Os piroxênios são de ocorrência rara em Angico dos Dias. Aparecem sempre como restos preservados de cristais alterados e comumente associados às olivinas, com a sua composição caindo no campo do diopsídio.

Foram analisados apenas três pontos, indicando composição homogênea, com teores de CaO e FeO, respectivamente, ao redor de 23% e 16% e concentração de Na₂O inferior a 0,5% (Tabela 5).



Figura 9 - Diagrama Di-Hd-En-Fs de classificação dos piroxênios (segundo Morimoto, 1989) dos carbonatitos de Angico dos Dias.

Tabela 5 – Composição química dos piroxênios dos carbonatitos de Angico dos Dias (% em peso).

Amostra	15B-3350	15B-3350
SiO ₂	54,08	54,30
TiO ₂	0,06	0,03
Al ₂ O ₃	0,41	0,39
FeO	4,51	4,97
MnO	0,15	0,20
MgO	15,69	15,80
CaO	23,47	23,73
Na ₂ O	0,45	0,47
Total	98,83	99,89
Fórmula estrutural calculada na base de 23 átomos de oxigênio		
TSi	2,004	1,993
TAI	0,000	0,007
TFe ³⁺	0,000	0,000
ΣT	2,004	2,000
M1Al	0,018	0,010
M1Ti	0,002	0,001
M1Fe ³⁺	0,000	0,000
M1Fe ²⁺	0,113	0,125
M1Cr	0,000	0,000
M1Mg	0,867	0,864
M1Ni	0,000	0,000
M2Mg	0,000	0,000
M2Fe ²	0,027	0,027
M2Mn	0,005	0,006
M2Ca	0,932	0,933
M2Na	0,032	0,034
M2K	0,000	0,000
ΣM	1,996	2,000
WO	47,956	47,708
EN	44,610	44,180
FS	7,434	8,112

8.6 Magnetitas

Ao lado dos sulfetos, as magnetitas são os minerais opacos mais abundantes do complexo. Ocorrem na maioria dos casos sem hábito definido, com os grãos raramente idiomórficos, e de aproximadamente 8 mm de comprimento.

Foram analisados 15 pontos em duas amostras para os elementos Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Zn, Ca, Ni e Nb (Tabela 6). A maioria das análises corresponde a magnetitas quase puras, com algumas tendendo a magnetitas titaníferas. Exsoluções muito pequenas de ilmenita foram também observadas, porém, como essas lamelas apresentam tamanho muito reduzido, os dados obtidos indicaram a presença de magnetitas com titânio.

Tabela 6 – Composição química das magnetitas dos carbonatitos de Angico dos Dias (% em peso).

Fe calculado como FeO

	11-5330	11-5330	11-5330	11-5330	11-5330	11-5330
SiO ₂	0,00	0,02	0,02	0,03	0,05	0,00
TiO ₂	5,73	0,17	0,29	16,14	0,26	15,82
Al ₂ O ₃	0,05	0,01	0,05	0,03	0,06	0,03
Cr ₂ O ₃	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
FeO	86,17	90,41	90,48	75,85	90,94	77,27
MnO	0,16	0,01	0,00	0,57	0,01	0,53
MgO	0,10	0,03	0,02	0,14	0,01	0,18
ZnO	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
CaO	0,09	0,31	0,25	0,16	0,20	0,16
NiO	0,04	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01
Nb ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	92,45	90,99	91,15	92,96	91,53	94,07

Fórmula estrutural calculada na base de 32 átomos de oxigênio

Si	0,000	0,007	0,010	0,009	0,021	0,000
Ti	1,698	0,054	0,090	4,378	0,081	4,258
Al	0,020	0,000	0,030	0,010	0,030	0,010
Cr	0,009	0,009	0,008	0,000	0,001	0,000
Fe*	28,371	31,694	31,621	22,881	31,653	23,124
Mn	0,054	0,004	0,000	0,173	0,002	0,159
Mg	0,059	0,017	0,012	0,076	0,006	0,095
Zn	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
Ca	0,038	0,141	0,110	0,063	0,087	0,061
Ni	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	30,279	31,926	31,891	27,600	31,881	27,727

8.7 Anfibólios

Os anfibólios apresentam-se sem hábito definido ou então na forma fibrorradial. Os cristais têm dimensões de 0,1 a 1,0 mm e ocorrem por vezes associados com pseudomorfos de olivina. São anfibólios cálcicos (Fig. 9), de coloração verde clara, que variam composicionalmente de tremolita a actinolita.

Foram analisados 12 pontos para os seguintes elementos: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, F e Cl. Os teores de MgO variam de 17,9 a 20,9%, os de CaO de 11,4 a 13,2% e os de FeO de 6,6 a 11,2%. Exceção feita a uma amostra (1A-5400, Tabela 7) as concentrações de Na₂O situam-se abaixo de 0,5%. TiO₂ é praticamente ausente.

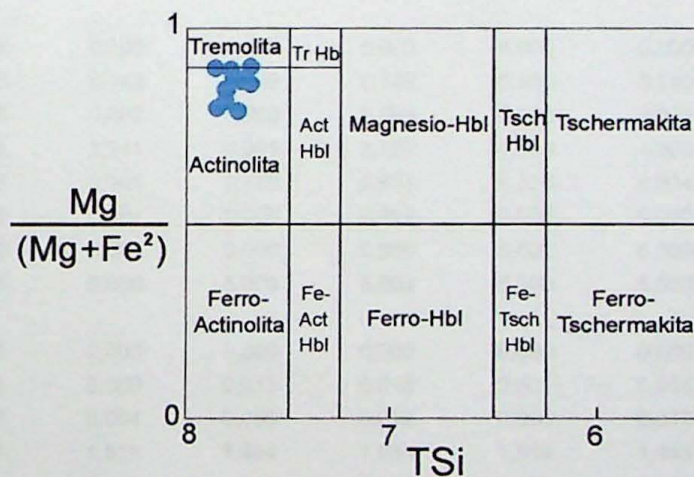


Figura 9 – Diagrama de classificação dos anfibólios (segundo Leake, 1978) dos carbonatitos de Angico dos Dias.

Tabela 7 – (Cont.)

Amostra	2-11620	5-11490	5-11490
SiO ₂	55,13	55,25	55,97
TiO ₂	0,00	0,03	0,00
Al ₂ O ₃	0,92	0,20	0,20
FeO	7,49	10,41	10,00
MnO	0,15	0,12	0,09
MgO	20,44	18,55	19,26
CaO	13,24	12,52	12,37
Na ₂ O	0,23	0,18	0,17
K ₂ O	0,06	0,19	0,05
O-F	0,15	0,11	0,06
O-Cl	0,00	0,00	0,00
F	0,35	0,26	0,15
Cl	0,02	0,01	0,00
Total	97,80	97,55	98,16
Fórmula estrutural calculada na base de 23 átomos de oxigênio			
TSi	7,705	7,837	7,834
TAI	0,151	0,033	0,033
TFe ³⁺	0,145	0,130	0,133
TTi	0,000	0,000	0,000
ΣT	8,000	8,000	8,000
CAI	0,000	0,000	0,000
CFe ³⁺	0,242	0,177	0,267
CTi	0,000	0,003	0,000
CMg	4,260	3,924	4,020
CFe ²⁺	0,489	0,889	0,708
CMn	0,009	0,007	0,005
CCa	0,000	0,000	0,000
ΣC	5,000	5,000	5,000
BMg	0,000	0,000	0,000
BFe ²⁺	0,000	0,038	0,063
BMn	0,008	0,007	0,005
BCa	1,982	1,902	1,854
BNa	0,010	0,025	0,023
ΣB	2,000	1,973	1,945
ACa	0,000	0,000	0,000
ANa	0,052	0,025	0,023
AK	0,011	0,034	0,009
ΣA	0,063	0,059	0,032
Σ Cátions	15,063	15,032	14,977
Cl	0,005	0,003	0,000
F	0,153	0,116	0,066
OH			
ΣO	23,000	23,000	23,000

9. Geoquímica

As amostras de Angico dos Dias foram investigadas para os elementos maiores, traços, terras raras e para os isótopos de Sr, Nd, C e O. Os dados fornecidos por Antonini *et al.* (em preparação) integram as Tabelas 8 e 9.

Com base na composição dos elementos maiores, essas rochas, à exceção das amostras 6A e 6B, podem ser classificadas, segundo Wooley & Kempe (1989), como cálcio-carbonatitos. Três litotipos principais são descritos: apatita carbonatitos, olivina carbonatitos e mica carbonatitos.

Os olivina carbonatitos e os apatita carbonatitos são caracterizados por baixas concentrações de Rb, U, K, Ta e Nb, e altos teores de La, Ce, Sr, P, Nd, Sm e Y. Para o Zr, observam-se conteúdos variáveis entre 2 e 601 ppm. Já os mica carbonatitos possuem altos teores de Rb, Ba, U, K, Ta e Nb e baixas proporções de La, Ce, Sr, Nd, Sm e Y.

Especificamente, os olivina carbonatitos contêm altas concentrações de Hf e Zr e baixas de Ba e Pb. As proporções de Rb e Nb são ligeiramente maiores se comparadas às dos apatita carbonatitos, enquanto que os teores de Sr e Y são similares aos dos mica carbonatitos.

Todas as amostras mostram-se enriquecidas em elementos terras raras, particularmente nos leves (La-408-1106 ppm). Já as fases mais micáceas (amostra 6) são menos ricas, com teores de La entre 408 e 478 ppm.

Os padrões de fracionamento dos ETR são muito similares aos dos demais carbonatitos precambrianos e muito diferenciados em relação às rochas carbonáticas e escarníticas precambrianas, o que leva à interpretação de que se tratam de carbonatitos verdadeiros e associados a outras rochas alcalinas (Antonini *et al.*, em preparação).

Ainda segundo esses autores, as análises de carbonatos indicam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre $-5,70$ e $-6,84$ ‰ (PDB) e de $\delta^{18}\text{O}$ entre $13,77$ e $15,82$ ‰ (V-SMOW). Por outro lado, as apatitas da amostra 15B contêm baixos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, respectivamente, $-7,09$ e $11,92$

‰, enquanto que as da amostra 12 apresentam teores de -6,51 e 14,05 ‰. No geral, são valores próximos dos obtidos para rocha total. Os altos índices de $\delta^{18}\text{O}$ nesses carbonatitos são ligeiramente diferenciados em relação aos carbonatitos primários de Taylor et al. (1967) e podem estar refletindo processos pós-magmáticos como metamorfismo e/ou hidrotermalismo. No diagrama $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$, nota-se que essas rochas não apresentam a assinatura magmática preservada.

As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram determinadas em dez amostras de carbonatitos, sendo que em algumas delas a primeira foi medida tanto na rocha total quanto nos carbonatos. Para as amostras 5 e 6 não foi registrada diferença na razão inicial de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, o que implica dizer-se que o sistema Rb-Sr dessas rochas poderia ter sido reaberto depois da cristalização do magma. Para a amostra 6, a interceptação das curvas dessa razão para rocha total e para carbonatos foi obtida em 1250 Ma, o que sugere um reajuste do sistema Rb-Sr durante a evolução do aulacógeno Espinhaço-Paramirim entre 1750-1000 Ma (Inda & Barbosa, 1978, *apud* Antonini *et al.*, em preparação). Os valores de ϵSr^T são sempre positivos e variam entre 12,2 e 24,9, com os índices mais altos obtidos nos olivina carbonatitos e os mais baixos nas fases micáceas.

A razão inicial de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e os valores de ϵNd^T (0,7 a -4,5) indicam enriquecimento em ^{144}Nd em relação ao CHUR (Chondritic Uniform Reserve). Três amostras apresentam valores de ϵNd^T próximos ao CHUR e são provenientes da parte norte do complexo. As idades modelo ϵNd calculadas para uma curva fonte-empobrecida produziram valores entre 2,2 e 2,5 Ga, sendo as idades mais novas correspondentes às amostras (13, 15A e 15B), da porção setentrional da ocorrência. As idades T^{DM} calculadas são mais antigas, porém se aproximam das idades modelo relativas ao CHUR, fato também observado em outros carbonatitos precambrianos (Antonini *et al.*, em preparação). Com exceção das três amostras citadas, esses carbonatitos têm razão inicial de Sr e Nd muito próxima à dos sienitos paleoproterozóicos da região leste do estado da Bahia e da província sienítica do Núcleo

Serrinha (Rosa *et al.*, 1999, *apud* Antonini *et al.*, em preparação), a sugerir uma fonte comum para os carbonatitos e parte das rochas alcalinas do cráton São Francisco.

Tabela 8 – Composição química total dos carbonatitos de Angico dos Dias.

Amostra	1A	1B	2	3	4	5	6A	6B	7
% em peso									
SiO ₂	1,21	2,83	2,78	2,43	2,72	2,28	30,41	31,11	0,97
TiO ₂	0,04	0,08	0,30	0,31	0,05	0,01	0,20	0,26	0,08
Al ₂ O ₃	0,17	0,26	0,36	0,28	0,11	0,05	5,81	8,29	0,16
Fe ₂ O ₃	2,04	2,79	4,15	5,97	3,49	1,39	6,75	7,41	2,79
MnO	0,11	0,12	0,14	0,16	0,16	0,12	0,13	0,13	0,11
MgO	2,19	3,11	4,36	4,49	3,91	2,74	13,64	15,56	2,35
CaO	48,45	47,55	46,08	44,22	45,77	48,77	21,51	15,99	47,85
Na ₂ O	0,07	0,11	0,07	0,04	0,07	0,10	0,16	0,12	0,10
K ₂ O	0,02	0,09	0,06	0,00	0,00	0,01	3,94	5,86	0,03
P ₂ O ₅	5,44	5,64	6,97	6,40	7,07	10,67	5,22	1,99	6,57
L.O.I.	33,95	32,45	30,13	30,06	30,63	27,34	8,23	9,36	32,19
Total	93,69	95,03	95,40	94,36	93,98	93,48	96,00	96,08	93,20
ppm									
Rb	1,81	3,77	2,25	1,02	1,13	1,12	99,03	145,66	0,68
Ba	1668,00	2171,00	1061,00	143,04	583,81	679,71	7102,07	11310,00	1609,00
Th	9,96	10,26	15,07	12,97	17,82	29,41	59,68	23,64	16,33
U	1,08	1,19	1,12	1,22	1,93	2,03	7,24	2,68	0,93
Nb	0,31	0,69	1,26	1,15	0,86	0,21	17,24	25,10	0,67
Ta	0,32	0,38	0,45	0,40	0,57	0,74	1,60	1,59	0,98
Sr	13580,00	14200,00	13420,00	11140,00	11690,00	12490,00	5859,76	4977,84	15270,00
Pb	65,08	67,33	85,68	11,98	19,47	25,69	21,21	21,99	57,79
Hf	0,10	1,99	9,21	6,03	2,16	0,18	3,84	2,71	3,50
Zr	3,88	136,49	601,16	395,74	181,58	10,21	306,97	236,27	283,39
Y	95,82	95,78	89,21	86,48	87,22	111,28	69,36	44,80	103,44
La	733,00	782,95	743,00	632,04	704,00	927,00	478,00	407,92	896,00
Ce	1604,23	1684,00	1621,00	1407,00	1544,00	2076,00	1089,00	870,00	1923,00
Pr	195,86	194,95	176,10	170,26	184,00	259,00	127,72	95,73	198,57
Nd	766,00	778,00	812,00	742,49	752,00	1049,35	541,74	388,91	928,00
Sm	116,13	119,80	116,39	117,80	114,10	165,81	87,33	56,51	136,57
Eu	30,17	29,67	28,05	25,61	27,49	39,73	22,71	16,02	34,43
Gd	81,66	82,57	71,42	67,13	68,94	99,61	52,27	32,64	81,07
Tb	7,60	7,71	7,41	7,04	7,09	9,79	5,49	3,37	8,29
Dy	29,66	28,90	28,73	26,91	27,92	37,63	21,65	13,69	32,52
Ho	3,61	3,61	3,33	3,00	3,10	4,01	2,41	1,50	3,88
Er	8,87	8,47	8,14	7,76	8,25	10,63	6,19	4,10	9,19
Tm	0,73	0,74	0,65	0,54	0,65	0,74	0,50	0,30	0,74
Yb	3,96	4,23	3,52	3,24	3,67	4,21	2,68	1,85	4,22
Lu	0,41	0,46	0,41	0,42	0,45	0,52	0,35	0,22	0,46

Tabela 8 – (Cont.)

Amostra	8	9	10	11	12	13	14	15A	15B
% em peso									
SiO ₂	0,44	0,16	2,42	15,50	3,15	3,96	3,04	0,25	1,53
TiO ₂	0,03	0,01	0,07	1,29	0,30	0,15	0,05	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	0,13	0,04	0,15	1,78	0,42	0,84	0,33	0,03	0,06
Fe ₂ O ₃	1,66	1,04	2,55	23,74	6,16	4,24	2,89	0,92	2,49
MnO	0,11	0,11	0,16	0,19	0,16	0,13	0,14	0,10	0,08
MgO	2,49	2,47	4,06	13,76	5,39	4,71	5,24	2,59	2,64
CaO	49,18	49,76	47,31	20,49	43,29	43,42	44,73	49,64	48,54
Na ₂ O	0,08	0,08	0,06	0,02	0,04	0,09	0,06	0,08	0,12
K ₂ O	0,05	0,00	0,00	0,08	0,00	0,37	0,09	0,00	0,00
P ₂ O ₅	6,04	5,09	6,76	3,50	1,41	5,80	3,67	5,29	16,38
L.O.I.	33,84	35,53	31,36	16,70	35,34	30,21	34,57	34,76	21,18
Total	94,05	94,29	94,90	97,05	95,66	93,92	94,81	93,67	93,03
ppm									
Rb	1,86	0,60	0,45	4,79	0,67	9,57	2,76	0,45	0,79
Ba	1990,91	1607,77	450,00	109,12	1132,00	4615,00	1934,00	1928,00	1445,00
Th	12,55	12,46	20,49	8,68	8,00	14,50	10,98	16,50	38,27
U	0,90	0,87	1,16	1,02	0,33	1,09	0,82	0,96	2,88
Nb	0,38	0,11	0,40	6,51	1,18	2,95	0,57	0,01	0,10
Ta	0,65	0,55	0,43	0,95	0,36	0,58	0,38	0,26	0,46
Sr	15590,00	14630,00	13250,00	5182,77	15420,00	14350,00	14420,00	16740,00	13760,00
Pb	60,07	30,20	30,15	9,80	40,52	51,05	36,24	52,62	113,93
Hf	0,12	0,08	0,29	24,52	6,27	4,42	1,76	0,11	0,47
Zr	6,70	3,99	20,52	1253,72	386,25	322,24	126,20	1,71	37,39
Y	111,58	100,63	104,20	68,45	83,51	92,50	86,29	103,93	120,09
La	987,00	849,00	941,00	547,00	896,00	742,00	737,00	934,00	1106,00
Ce	2055,00	1806,00	2041,00	1212,00	1847,00	1560,00	1564,00	1974,00	2499,00
Pr	219,03	195,13	222,00	136,21	197,04	174,98	163,39	202,04	257,16
Nd	980,00	857,85	972,00	573,00	846,00	847,00	812,00	1061,00	1408,00
Sm	147,51	131,22	140,28	89,33	119,27	118,23	110,22	139,56	189,19
Eu	35,16	31,48	35,31	19,11	28,94	29,38	26,61	33,98	44,95
Gd	89,30	81,59	85,53	55,51	71,81	73,48	69,67	87,98	119,86
Tb	8,81	8,13	8,73	5,61	6,95	7,35	7,12	9,05	11,96
Dy	34,50	31,50	35,45	21,55	27,51	28,60	27,27	33,32	43,14
Ho	3,82	3,30	3,87	2,32	3,07	3,13	2,99	3,55	4,43
Er	10,14	9,14	9,66	6,23	8,35	8,41	8,08	10,21	12,55
Tm	0,77	0,68	0,76	0,43	0,63	0,65	0,60	0,71	0,83
Yb	4,26	3,84	4,15	2,40	3,26	3,58	3,31	4,16	4,63
Lu	0,49	0,50	0,48	0,27	0,39	0,46	0,44	0,52	0,57

Tabela 9 – Dados isotópicos de C, O, Sr e Nd.

Amostra		carbonatos (c), apatitas (ap)			rocha total (rt), carbonatos (c)				
		$\delta^{18}\text{O}_{\text{(V-SMOW)}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{(PDB)}}$		Rb	Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\text{l})$	ϵSr^T
1A	c	15,02	-5,70	c	1,33	14280	0.703640 (8)	0,70363	21,3
				rt	1,81	13580	0.703615 (6)	0,70360	20,9
1B	c	14,95	-6,22						
2	c	13,77	-6,67						
3	c	14,41	-5,94	c	0,66	11526	0.703689 (5)	0,70368	22,0
				rt	1,02	11140	0.703725 (5)	0,70372	22,5
4	c	14,47	-6,22						
5	c	15,48	-6,81	c	1,15	13528	0.703320 (11)	0,70331	16,8
				rt	1,12	12490	0.703659 (6)	0,70365	21,6
6A	c	14,18	-6,84						
6B	c	15,09	-6,00	c	17,92	4835	0.704131 (5)	0,70382	24,0
				rt	145,66	4978	0.705444 (6)	0,70299	12,2
7	c	14,87	-6,13						
8	c	15,54	-6,61						
9	c	15,82	-6,69	c	0,6	15700	0.703621 (14)	0,70362	21,1
				rt	0,60	14630	0.703579 (6)	0,70357	20,5
10	c	14,36	-6,21						
11	c	14,48	-6,09	rt	4,79	5183	0.703963 (5)	0,70389	24,9
12	c	15,26	-6,62	rt	0,67	15420	0.703611 (4)	0,70361	21,0
	ap	14,05	-6,51						
13	c	15,09	-6,80	rt	9,57	14350	0.703682 (4)	0,70363	21,2
14	c	15,18	-6,67						
15A	c	14,78	-6,66	rt	0,45	16740	0.703500 (12)	0,70350	19,4
15B	c	15,58	-6,60	rt	0,79	13760	0.703564 (10)	0,70356	20,3
	ap	11,92	-7,09						

Amostra		Sm	Nd	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\text{l})$	ϵNd^T	T^{CHUR} (Ma)	T^{DM} (Ma)
1A	rt	116,13	766,00	0.511086 (9)	0,50987	-3,2	2241	2437
3	rt	117,80	742,49	0.511125 (5)	0,50986	-3,5	2277	2475
5	rt	165,81	1049,35	0.511169 (13)	0,50990	-2,5	2203	2409
6B	rt	56,51	388,91	0.511060 (4)	0,50990	-2,7	2199	2393
9	rt	131,22	857,85	0.511125 (7)	0,50990	-2,6	2202	2404
11	rt	89,33	573,00	0.511054 (9)	0,50981	-4,5	2344	2532
12	rt	119,27	846,00	0.511046 (5)	0,50992	-2,3	2167	2361
12								
13	rt	118,23	847,00	0.511124 (9)	0,51001	-0,5	2046	2252
15A	rt	139,56	1061,00	0.511084 (7)	0,51003	-0,1	2013	2215
15B	rt	189,19	1408,00	0.511147 (9)	0,51007	0,7	1960	2171

10. Conclusões

As rochas carbonatíticas estudadas possuem composição mineralógica heterogênea, porém, exceção feita às amostras mais silicáticas (6A e 6B), se mostram quimicamente muito semelhantes, situando-se no diagrama de Wooley & Kempe (1989) no campo dos cálcio-carbonatitos.

Apesar de precambrianos, e ter sido submetidos a eventos deformacionais, principalmente durante o ciclo Brasileiro, os carbonatitos de Angico dos Dias apresentam características químicas e mineralógicas comuns aos carbonatitos cretácicos brasileiros.

São rochas enriquecidas em elementos incompatíveis e terras raras, principalmente nos leves, e exibem padrão de fracionamento similar ao dos demais carbonatitos precambrianos. Destacam-se sobretudo pelas altas concentrações de Ba, Pb, Sr e Y e baixos teores de Rb, U, Ta e Nb.

A sua associação mineralógica é típica de carbonatitos, com os principais constituintes representados por carbonatos, apatita, micas, olivinas e magnetitas. Ainda ocorrem piroxênios, anfibólios, titanita, sulfetos e monazita, entre outros.

Os carbonatos possuem composição homogênea e são essencialmente calcíticos. A presença de termos mais magnesianos é rara e, de modo geral, limitada às lamelas de exsolução em porfiroblastos de calcita. As apatitas são ricas em F e SrO e contêm baixos teores de BaO e Cl.

As micas podem ser reunidas em três grupos principais, e interpretadas como pertencentes a duas gerações de origem primária, todas classificadas como bário-flogopitas, e uma outra secundária, que se mostra enriquecida em Fe e com altos teores de Ba. A exemplo das rochas de Jacupiranga, exibem altos teores de BaO.

As olivinas são de natureza forsterítica e as magnetitas têm composição quase pura, à exceção de algumas amostras onde ocorrem lamelas de exsolução. Os piroxênios são

raros e situam-se no campo do diopsídio. Aparecem associados às olivinas e nos carbonatitos apresentando maior riqueza em fases silicáticas estão quase sempre transformados em anfibólios da série tremolita-actinolita.

Os dados para os isótopos de O são muito diferenciados em relação a outros carbonatitos, o que é interpretado como influência de processos pós-magmáticos. Para o reajuste do sistema Rb-Sr (idade de 1250 Ma, cf. Antonini *et al.*, em preparação), é admitido um evento durante a evolução do aulacógeno Espinhaço-Paramirim. Já a idade mais recente obtida por Silva *et al.* (1988), determinada em 336 ± 16 Ma, é interpretada como a época do último evento termal afetando toda a área, o que indica que o complexo sofreu pelo menos dois eventos termo-tectônicos durante a sua história geológica.

Os dados isotópicos de Nd demonstram que os carbonatitos investigados, excluídos três amostras, originaram-se a partir de uma fonte enriquecida, a exemplo de outras ocorrências de rochas alcalinas proterozóicas relacionadas com o Cráton São Francisco.

11. Referências Bibliográficas

Ab'Sáber, A.N. (1956) Depressões periféricas e depressões semi-áridas no nordeste do Brasil. Bol. Paulista Geog., 22.

Alberti, A.; **Castorina**, F.; **Censi**, P.; **Comin-Chiaramonti**, P.; **Gomes**, C.B. (1999) Geochemical characteristics of Cretaceous carbonatites from Angola. J. African Earth Sci., 29:735-759.

Almeida, F.F.M. (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. Rev. Bras. Geoc., 13:139-158.

Antonini, P.; **Castorina**, F.; **Comin-Chiaramonti**, P.; **Gomes**, C.B.; **Riffel**, B.F.; **Ruberti**, E.; **Yamamoto**, E. (em preparação) Angico dos Dias (Bahia State, Brazil): an Early Proterozoic carbonatite?

Bellieni, G.; **Brotzu**, P.; **Comin-Chiaramonti**, P.; **Ernesto**, M.; **Melfi**, A.J.; **Pacca**, I.G.; **Piccirillo**, E.M.; **Stolfa**, D. (1983) Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalt to rhyolitic sequence of the southern Paraná, Brazil. An. Acad. brasil. Ciênc., 55:355-383.

Berbert, C.O. (1984) Carbonatites and associated mineral deposits in Brazil. Geol. Surv. Japan, Report 263:269-290.

Castorina, F.; **Censi**, P.; **Barbieri**, M.; **Comin-Chiaramonti**, P.; **Cundari**, A.; **Gomes**, C.B., **Pardini**, G. (1996) Carbonatites from Eastern Paraguay: a comparison with coeval carbonatites from Brazil and Angola. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds.) Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil. Edusp/Fapesp, São Paulo, p231-248.

Conti, J. B. (1995) Desertificação nos trópicos - Proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste brasileiro. Tese de Livre Docência, FFLCH-USP, São Paulo.

Gaspar, J.C. & **Wyllie**, P.J. (1987) The phlogopites from the Jacupiranga carbonatite intrusions. Mineral. Petrol., 36:121-134.

Gomes, C.B.; Ruberti, E.; Morbidelli, L. (1990) Carbonatite complexes from Brazil. *J. South Amer. Earth Sci.*, **3**:51-63.

Gomes, C.B.; Antonini, P.; Castorina, F.; Comin-Chiaramonti, P.; Yamamoto, E. (2001) A associação alcalino-carbonatítica precambriana de Angico dos Dias: características geoquímicas. In: VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/ XVII Semana de Geoquímica, Faro, Portugal, Anais, p. 96-97.

Leake, B. E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Amer. Mineral.*, **63**:1023-1052.

Leite, C.M.M., org. (1997) Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Folhas Campo Alegre de Lourdes (SC.23-X-D-IV) e Peixe (SC.23-X-D-I), CPRM, Brasília.

Morbidelli, L.; Gomes, C.B.; Beccaluva, L.; Brotzu, P.; Conte, A.M.; Ruberti, E.; Traversa, G. (1995) Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil. *Earth-Sci. Rev.*, **39**:135-168.

Morimoto, N. (1989) Nomenclature of pyroxenes. *Mineral J.* **14**(5):198-221.

Rodrigues, C.S. & Lima, P.R.A.S. (1984) Complexos carbonatíticos do Brasil: geologia. Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, Araxá, 44p.

Santos, C.N. (2001) Micromorfologia, geoquímica e aspectos tecnológicos da apatita da associação alcalino-carbonatítica pré-cambriana de Angico dos Dias (BA). Dissertação de Mestrado, IG-USP, p131.

Silva, A.B.; Liberal, G.S.; Grossi-Sad, J.H.; Issa Filho, A.; Rodrigues, C.S.; Riffel, B.F. (1988) Geologia e petrologia do Complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil): uma associação carbonatítica precambriana. *Geochim. Bras.*, **2**:81-108.

Taylor, H.P.; Frechen, J.; Degens, E.T. (1967) Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from Laacher See district, West Germany and Alno district, Sweden. *Geoch. Cosmochem. Acta*, **31**:407-430.

Ulbrich, H.H.G.J. & Gomes, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth-Sci. Rev.*, **17**:135-154.

Wooley, A.R. & Kempe, D.R.C. (1989) Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. In: Bell, K. (ed.) *Carbonatites: genesis and evolution*. Unwin Hyman, London, p 1-14.

