UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DAS SUÍTES
CARBONATÍICAS DE MATO PRETO (PR) E DA
BARRA DE ITAPIRAPUÃ (PR-SP)**

Excelso Ruberti

Tese apresentada ao concurso para
obtenção do Título de Livre-Docente
junto ao Departamento de Mineralogia
e Petrologia do Instituto de Geociências
da Universidade de São Paulo.

Área de Conhecimento: Petrologia das
Rochas Ígneas

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005484

SÃO PAULO
1998

AGRADECIMENTOS

A consecução deste projeto de pesquisa em toda sua extensão tornou-se exequível graças à inestimável cooperação de instituições e pessoas, prestadas na forma de auxílios financeiros e de serviços.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo—FAPESP (Proc. 84/1920 e Proc. 97/01210-4) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico—CNPq (Proc. 304425/77-0), agradeço a assistência financeira que possibilitou a concretização desta tese.

À Companhia “Minerais do Paraná S.A. – MINEROPAR”, na pessoa do geólogo Donaldo Cordeiro da Silva, sou grato pelo acesso aos testemunhos de sondagem da Barra de Itapirapuã, pelo apoio logístico e pela valiosa colaboração dispensada nos trabalhos de campo.

Meu reconhecimento vai também ao Tecnólogo João Batista de Sousa pela disposição e eficiência em realizar os trabalhos de digitalização de imagens e pelo auxílio nos problemas relacionados à informática; à Sra. Marta José da Silva pela paciência, dedicação e grande contribuição na elaboração do Memorial; ao Geólogo e Mestre em Petrologia Vagner Maríngolo pelas sugestões advindas com a leitura e revisão do texto; ao Sr. Tadeu Caggiano pela valiosa colaboração com os trabalhos de informática; às Srtas. Roseane Damião da Silva e Angélica Dolores de Mello Morente e Sr. Claudio Hopp pela confecção das secções delgadas; aos Srs. Edmir de Oliveira e Claudionor Barbosa da Seção Gráfica pela impressão do texto.

Ao Professor Doutor Lucio Morbidelli, agradeço o inestimável apoio no desenvolvimento do programa analítico, tendo viabilizado o acesso aos laboratórios do “Dipartimento di Scienze della Terra” da Universidade de Roma (Università Degli Studi Di Roma “La Sapienza”) e de outras entidades universitárias italianas.

Meus agradecimentos dirigem-se igualmente ao Professor Doutor Pietro Brotzu, por possibilitar a preparação das amostras e a realização das análises de elementos menores e de terras raras (FRX e ICP) no “Dipartimento di Scienze della Terra” da Universidade de Cagliari, Itália; ao Professor Doutor Carlo Garbarino por viabilizar o programa de microsonda eletrônica no laboratório do “Istituto di Giacimenti Minerari” da Universidade de Cagliari, Itália; ao Professor Doutor Gianbosco Traversa” pela colaboração prestada na realização das análises de elementos maiores (FRX) no “Dipartimento di Scienze della Terra” da Universidade de Perugia, Itália e ao Professor Doutor Piero Comin-Chiaramonti da Universidade de Trieste, Itália, pela execução das análises isotópicas O-C.

Aos colegas do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de São Paulo, em particular ao Professor Doutor Sílvio R. F. Vlach, expresso meu obrigado pela solidariedade empenhada para a conclusão deste trabalho.

E finalmente, meu especial agradecimento dirijo ao Professor Doutor Celso de Barros Gomes pelo inestimável incentivo e contribuição ao andamento das várias fases de desenvolvimento desse projeto na Itália.

ÍNDICE

RESUMO.....	x
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II – METODOLOGIA.....	5
<i>Trabalhos de campo</i>	5
<i>Petrografia</i>	6
<i>Química mineral</i>	6
<i>Química das rochas</i>	7
<i>Química isotópica</i>	8
CAPÍTULO III – GEOLOGIA.....	10
<i>Mato Preto</i>	12
<i>Barra de Itapirapuã</i>	15
CAPÍTULO IV – PETROGRAFIA.....	19
<i>Introdução</i>	19
<i>Processos de fenitização</i>	20
<i>Mato Preto</i>	21
<i>Carbonatitos</i>	22
<i>Calciocarbonatitos</i>	22
<i>Ferrocronatitos</i>	25
<i>Carbonatitos com veios tardimagmáticos</i>	28
<i>Fenitos e rochas fenitizadas</i>	30
<i>Barra de Itapirapuã</i>	32
<i>Carbonatitos</i>	34
<i>Carbonatitos de granulação média-grossa</i>	34
<i>Magnesiocarbonatitos</i>	34
<i>Ferrocronatitos</i>	38
<i>Carbonatitos de granulação fina a muito fina</i>	40
<i>Calciocarbonatitos finos</i>	40
<i>Magnesiocarbonatitos finos</i>	45
<i>Ferrocronatitos finos</i>	48
<i>Carbonatitos com venulações tardias</i>	50
<i>Fenitos e rochas fenitizadas</i>	53
<i>Características petrográficas</i>	55
CAPÍTULO V – QUÍMICA MINERAL.....	62
<i>Mato Preto</i>	63
<i>Carbonatitos</i>	63
<i>Carbonatos</i>	63
<i>Barra de Itapirapuã</i>	67

Carbonatitos	67
<i>Carbonatos</i>	68
<i>Apatita</i>	72
<i>Fluorcarbonatos de terras raras</i>	74
Fenitos	77
<i>Feldspatos</i>	77
<i>Piroxênios</i>	80
<i>Anfibólios</i>	83
<i>Biotita</i>	85
CAPÍTULO VI – GEOQUÍMICA	87
Mato Preto	88
Carbonatitos	88
<i>Elementos maiores e menores</i>	88
<i>Espectros dos elementos incompatíveis e terras raras</i>	92
Fenitos e rochas fenitizadas	95
Barra de Itapirapuã	98
Carbonatitos	98
<i>Elementos maiores e menores</i>	98
<i>Espectros de elementos incompatíveis e terras raras</i>	106
Fenitos e rochas fenitizadas	111
CAPÍTULO VII – ISÓTOPOS RADIOGÊNICOS	115
CAPÍTULO VIII – CONSIDERAÇÕES PETROLÓGICAS	118
Condicionamento tectônico	119
Desenvolvimento magmático	121
<i>Geologia e petrografia</i>	121
<i>Mato Preto</i>	121
<i>Barra Itapirapuã</i>	124
<i>Geoquímica</i>	128
<i>Mato Preto</i>	129
<i>Barra Itapirapuã</i>	132
<i>Geoquímica isotópica</i>	136
CAPÍTULO IX – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICE – Análises Químicas	150

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1 – Mapa esquemático de localização e acesso às áreas investigadas.....	2
Figura 2 – Esboço geológico da região do médio-vale do Rio Ribeira de Iguape (Estados de São Paulo e Paraná) e o posicionamento dos complexos alcalino-carbonatítico de Mato Preto e carbonatítico da Barra de Itapirapuã.....	11
Figura 3 – Esboço geológico do complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto, PR.....	13
Figura 4 – Esboço geológico do complexo carbonatítico da Barra de Itapirapuã, SP-PR e intrusivas alcalinas vizinhas.....	16
Figura 5 – Diagrama $\text{Ca-Fe}^{2+}+\text{Mn-Mg}$ para carbonatos de carbonatitos de Mato Preto.....	64
Figura 6 – Diagramas (linear-log) de variação usando elementos menores vs. CaO para calcitas de calciocarbonatitos com e sem venulações tardias de Mato Preto, PR.....	65
Figura 7 – Diagrama $\text{Ca-Fe}^{2+}+\text{Mn-Mg}$ para carbonatos da suíte carbonatítica da Barra de Itapirapuã.....	69
Figura 8 – Diagramas de variação composicional dos carbonatos ferromagnesianos da suíte carbonatítica da Barra de Itapirapuã.....	71
Figura 9 – Diagramas de variação composicional de apatitas de carbonatitos da Barra de Itapirapuã.....	73
Figura 10 – Diagramas de variação composicional de fluorcarbonatos de carbonatitos da Barra de Itapirapuã.....	76
Figura 11 – Variação composicional dos feldspatos das rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	79
Figura 12 – Distribuição dos piroxênios das rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã no diagrama Jd-WEF-Ae (Morimoto, 1989).....	81
Figura 13 - Diagramas de variação composicional de piroxênios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	82
Figura 14 - Diagrama CaO vs. MgO (% peso) para piroxênios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	83
Figura 15 - Distribuição dos anfibólios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã nos diagramas de classificação de Leake (1978).....	84
Figura 16 - Diagrama $\text{Mg-Ca-(Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+}+\text{Mn)}$ para anfibólios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	84
Figura 17 - Diagramas $\text{Mg-(Al}^{\text{IV}}+\text{Al}^{\text{VI}}\text{)-Fe}$ e $\text{(Al}^{\text{IV}}+\text{Ti)-Mg-(Fe}^{2+}+\text{Mn)}$ para biotitas de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã....	86
Figura 18 – Distribuição dos carbonatitos de Mato Preto no diagrama triangular: (a), $\text{(MgO+FeO)-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)-CaO}$; (b), $\text{(SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3\text{)-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)-CaO}$	89
Figura 19 – Projeção dos carbonatitos de Mato Preto no diagrama $\text{CaO-MgO-(FeO}_t+\text{MnO)}$ de Woolley & Kempe (1989).....	89

Figura 20 – Diagramas bivariantes para as rochas carbonatíticas de Mato Preto: FeO vs. MgO, Sr vs. Ba, Σ TR vs. Y e Ta vs. Nb.....	92
Figura 21 – Diagrama multi-elementos para os elementos incompatíveis para as rochas carbonatíticas de Mato Preto. Elementos normalizados em relação ao manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).....	93
Figura 22 – Diagrama multi-elementos para os elementos de terras raras para as rochas carbonatíticas de Mato Preto. Elementos normalizados segundo os condritos (C1) de Sun & McDonough (1989).....	94
Figura 23 – Diagramas sílica vs. álcalis totais (Irvine & Baragar, 1971) e sílica vs. K ₂ O (Le Maitre, 1989) para as rochas fenitizadas e fenitos de Mato Preto.....	96
Figura 24 – Diagrama Na ₂ O vs. K ₂ O para as rochas graníticas fenitizadas e fenitos de Mato Preto.....	96
Figura 25 – Projeção das rochas graníticas fenitizadas e fenitos de Mato Preto nos diagramas: (a), K ₂ O-SiO ₂ -Na ₂ O; (b), K ₂ O-Al ₂ O ₃ -Na ₂ O.....	97
Figura 26 – Projeção da suíte carbonatítica da Barra de Itapirapuã no diagrama CaO-MgO-(FeO _t +MnO) de Woolley & Kempe (1989).....	99
Figura 27 – Diagramas bivariantes FeO vs. MnO e MnO vs. Sr para a suíte de rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã.....	100
Figura 28 – Distribuição dos carbonatitos da Barra de Itapirapuã nos diagramas: (a), (SiO ₂ +Al ₂ O ₃)-(Na ₂ O+K ₂ O)-CaO; (b), (MgO+FeO)-(Na ₂ O+K ₂ O)-CaO.....	101
Figura 29 – Diagramas bivariantes para a suíte de rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã: SiO ₂ vs. P ₂ O ₅ , Ba vs. Sr, Sr vs. Σ TR e Ba vs. Σ TR.....	104
Figura 30 – Diagramas bivariantes para a suíte de rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã: MgO vs. Nb, Ta vs. Nb, MgO vs. Y, Σ TR vs. Y.....	106
Figura 31 – Diagramas multielementares para os elementos incompatíveis para as rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã. Elementos normalizados em relação ao manto primitivo de Sun & McDonough (1989).....	107
Figura 32 – Diagramas multielementares para os elementos de terras raras para as rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã.....	110
Figura 33 – Diagramas sílica vs. álcalis totais (Irvine & Baragar, 1971) e sílica vs. K ₂ O (Le Maitre, 1989) para as rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	111
Figura 34 – Diagrama Na ₂ O vs. K ₂ O para rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	112
Figura 35 – Projeção das rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã nos diagramas: (a) K ₂ O-SiO ₂ -Na ₂ O; (b), K ₂ O-Al ₂ O ₃ -Na ₂ O; (c), K ₂ O-CaO-Na ₂ O	113
Figura 36 – Diagramas MgO vs. K ₂ O e (FeO+Fe ₂ O ₃) vs. K ₂ O para as rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.....	114
Figura 37 – Composição isotópica do oxigênio e carbono de carbonatitos de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã e sua relação com profundidade...	116

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1a – Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto.....	151
Tabela 1b – Composição química de calcitas de calciocarbonatitos com venulações tardias de Mato Preto.....	159
Tabela 2 – Composição química de ankeritas e dolomitas de ferrocarbonatitos de Mato Preto.....	161
Tabela 3a – Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de granulação fina da Barra de Itapirapuã.....	162
Tabela 3b – Composição química de dolomitas de magnesiocarbonatitos de granulação fina da Barra de Itapirapuã.....	163
Tabela 4 – Composição química de dolomitas e ankeritas de magnesiocarbonatitos de granulação grossa da Barra de Itapirapuã.....	164
Tabela 5 – Composição química de ankeritas, dolomitas e calcitas de ferrocarbonatitos de granulação grossa, com e sem venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.....	170
Tabela 6 – Composição química de dolomitas e ankeritas de magnesiocarbonatitos de granulação grossa, com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.....	174
Tabela 7 – Composição química de apatitas de magnesiocarbonatitos fino (am. BIT5/90,40) e grosso sem venulações (ams. BIT6/141,6 e 170,7) e ferrocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias (ams. BIT5/130,0 e 210,7; BIT2/115,0; BIT6/6,80) da Barra de Itapirapuã.....	177
Tabela 8 – Composição química de fluorcarbonatos de terras raras de magnesiocarbonatitos (am. BIT5/61,2) e ferrocarbonatitos (am. BIT5/130,0) de granulação grossa com venulações tardias da Barra de Itapirapuã.....	181
Tabela 9 – Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.....	182
Tabela 10 – Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.....	190
Tabela 11 – Composição química de anfibólios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.....	197
Tabela 12 – Composição química de biotitas de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.....	199
Tabela 13 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de calciocarbonatitos de Mato Preto. (exceto am. mpdd/77, ferrocarbonatito)..	200
Tabela 14 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de calciocarbonatitos com venulações tardias de Mato Preto.....	201
Tabela 15 – Composição química (óxidos, % em peso) de fenitos e rochas graníticas fenitizadas de Mato Preto.....	202
Tabela 16 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de carbonatitos de granulação fina da Barra de Itapirapuã: calciocarbonatitos (ams. BIT3/35,7 e 44,7); magnésiocarbonatitos (ams. BIT5/87,3 e 90,4; BIT6/20,0 e 30,0); ferrocarbonatito (am. BIT5/172,0).....	203

Tabela 17 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de magnesiocarbonatitos de granulação grossa sem venulações tardias da Barra de Itapirapuã.....	204
Tabela 18 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de magnesiocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias da Barra de Itapirapuã.....	206
Tabela 19 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de ferrocarbonatitos de granulação grossa sem venulações tardias da Barra de Itapirapuã.....	207
Tabela 20 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de ferrocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias da Barra de Itapirapuã.....	208
Tabela 21 – Composição química (óxidos, % em peso) de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.....	209
Tabela 22 – Composição isotópica O – C de carbonatitos de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã.....	210

ÍNDICE DAS FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 - Cálcio-carbonatito com venulação tardia, Mato Preto (mpdd/70,0). Textura orientada, com os grãos alongados justapostos segundo seu eixo.....	24
Fotomicrografia 2 – Cálcio-carbonatito de Mato Preto (MPex-32). Cristal de calcita apresentando feições de deformação reticular e de recristalização, com extinção setorial irregularmente definida, dando aspecto de “remendos” justapostos do mineral.....	24
Fotomicrografia 3 – Cálcio-carbonatito, Mato Preto (MPdd/70,0). Pirocloro idiomórfico colorido de castanho-escuro a quase preto.....	24
Fotomicrografia 4 - Cálcio-carbonatito com venulação tardia de Mato Preto (MPdd/70,0). Feixes de diminutos cristais aciculares ou fibrosos, em forma de plumas ou ramos arranjados paralelamente ou em “leques”.....	27
Fotomicrografia 5 – Ferrocarbonatito, Mato Preto (MPex-21). Veio micrométrico de ferrocarbonatito em calcio-carbonatito com venulação tardia.....	27
Fotomicrografia 6 – Ferrocarbonatito, Mato Preto (MPdd/62,2). Carbonatos ankeríticos idiomórficos fortemente alterados com exsolução de óxidos hidratados de ferro nas bordas e nas partes internas.....	27
Fotomicrografia 7 – Ferrocarbonatito, Mato Preto (MPdd/60,0). Detalhe de carbonato ankerítico muito turvo com deposição de óxido hidratado de ferro concentrando-se ao longo das clivagens.....	31
Fotomicrografia 8 – Rocha granítica fenitizada de Mato Preto (MPex-5). Veios milimétricos preenchidos por anfibólio verde-azulado em agregado de pequenos prismas.	31
Fotomicrografia 9 – Fenito <i>l.s.</i> , Mato Preto (MPdd/50,0). Efeito de processos de carbonatização em fenito com feldspato alcalino límpido de geração metassomática.....	31
Fotomicrografia 10 – Rocha granítica fenitizada, Mato Preto (MPex-6). Efeito de esforços rúpteis com microfraturamento de quartzo, feldspato e plagioclásio.....	33
Fotomicrografia 11 – Rocha granítica fenitizada, Mato Preto. Detalhe da heterogeneidade dos processos de fenitização da amostra MPex-6.....	33
Fotomicrografia 12 – Rocha granítica fenitizada (MPex-5). Efeitos iniciais de fenitização com deformação dúctil de quartzo e rúptil de feldspatos e intensa infiltração de pequenos veios nas fraturas, envolvendo os minerais de origem granítica.....	33
Fotomicrografia 13 – Magnesio-carbonatito de granulação média/grossa, Barra de Itapirapuã (BIT2/72,40). Textura xenomórfica, inequigranular seriada, na forma de mosaico.....	37
Fotomicrografia 14 – Magnesio-carbonatito de granulação grossa, Barra de Itapirapuã (BIT5/256,0). Textura hipidiomórfica orientada, definida pelo arranjo de carbonatos dolomíticos alongados.....	37
Fotomicrografia 15 – Magnesio-carbonatito de granulação média/grossa, Barra de Itapirapuã (BIT1/100,72). Pirocloro idiomórfico de coloração castanho-escura.....	37

Fotomicrografia 16 – Magnesiocarbonatito de granulação grossa, Barra de Itapirapuã (BIT6/78,80). Cristais de carbonato dolomítico envolvidos por massa de fluorita (preta).	41
Fotomicrografia 17 – Ferrocarnatito de granulação média/grossa, Barra de Itapirapuã (BIT2/43,28). Franja ferruginosa desenvolvida nas vizinhanças do contato de carbonato ankerítico com bolsões e venulações de minerais residuais ou tardios.....	41
Fotomicrografia 18 – Calciocarbonatito de granulação fina-média, Barra de Itapirapuã (BIT3/35,73). Textura hipidiomórfica a xenomórfica orientada por fluxo, definida pelo alinhamento de cristais de flogopita prismática e de carbonatos calcíticos alongados.....	41
Fotomicrografia 19 – Calciocarbonatito de granulação fina-média, Barra de Itapirapuã (BIT3/35,73). Detalhe da textura anterior nas áreas de granularidade mais desenvolvida, com destaque para os grãos de calcita, imbricados ou justapostos em contato serrilhado.....	44
Fotomicrografia 20 – Calciocarbonatito de granulação fina-média, Barra de Itapirapuã (BIT3/44,68). Xenocristal de escapolita exibindo uma auréola de reação envolvente.....	44
Fotomicrografia 21 – Magnesiocarbonatito de granulação fina, Barra de Itapirapuã (BIT6/20,00). Textura xenomórfica, inequigranular seriada, na forma de mosaico.....	44
Fotomicrografia 22 – Magnesiocarbonatito de granulação fina, Barra de Itapirapuã (BIT5/87,35). Textura levemente porfirítica com fenocristais xenomórficos de carbonato em matriz fina de carbonato dolomítico ripiforme de contornos irregulares.....	47
Fotomicrografia 23 – Magnesiocarbonatito de granulação fina, Barra de Itapirapuã (BIT5/87,35). Detalhe da matriz fina da amostra anterior, que constitui de carbonato dolomítico em agregados de ripas dispostas aleatoriamente e radialmente.....	47
Fotomicrografia 24 – Magnesiocarbonatito de granulação fina, Barra de Itapirapuã (BIT5/90,40). Fenocristal idiomórfico de apatita em matriz de carbonato dolomítico xenomórfico.....	47
Fotomicrografia 25 – Ferrocarnatito de granulação fina, Barra de Itapirapuã (BIT5/172,0). Pirocloro idiomórfico de coloração levemente castanho-amarelado incluso em carbonato ankerítico.....	52
Fotomicrografia 26 – Ferrocarnatito de granulação fina, Barra de Itapirapuã (BIT5/172,0). Flogopita inclusa em carbonato ankerítico exibindo na borda textura de assimilação.....	52
Fotomicrografia 27 – Ferrocarnatito de granulação média/grossa com venulação tardia, Barra de Itapirapuã (BIT6/6,80). Vênula preenchida por apatita exibindo núcleos turvos levemente alterados.....	52
Fotomicrografia 28 – Ferrocarnatito de granulação média/grossa com venulação tardia, Barra de Itapirapuã (BIT6/6,80). Veio preenchido por quartzo e apatita límpida exibindo zoneamento concêntrico em bandamento rítmico fino, com alternância de bandas branca e acinzentada.....	54

Fotomicrografia 29 – Ferrocarbonatito de granulação média/grossa com venulação tardia, Barra de Itapirapuã (BIT2/75,65). Veio preenchido por quartzo e abundante fluorcarbonato de terras raras, este geralmente impregnado por óxidos hidratados de ferro.....	54
Fotomicrografia 30 – Magnesiocarbonatito de granulação média/grossa com venulação tardia da Barra de Itapirapuã (BIT5/150,0). Veio preenchido por quartzo, fluorita idiomórfica (preta) e fluorcarbonato de terras raras.....	54
Fotomicrografia 31 – Magnesiocarbonatito de granulação média/grossa com venulação tardia, Barra de Itapirapuã (BIT5/150,0). Detalhe do fluorcarbonato de terras raras da fotomicrografia anterior.....	56
Fotomicrografia 32 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT5/30,0). Feldspato alcalino granítico turvo entre agregado muito fino de feldspatos neoformados límpidos.....	56
Fotomicrografia 33 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/8,50). Venulações diminutas preenchidas por agregado muito fino de feldspato alcalino corta megacristal de feldspato alcalino granítico.....	56
Fotomicrografia 34 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/8,50). Agregado de feldspato alcalino neoformado, límpido e geminado segundo a lei albita, associado a feldspato granítico turvo.....	58
Fotomicrografia 35 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/6,40). Plagioclásio intensamente fraturado e deformado exibindo nas bordas agregado feldspático fino parcialmente transformado.....	58
Fotomicrografia 36 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/8,50). Plagioclásio granítico com setores turvos ou nebulosos, parcialmente transformado, envolvido em parte por agregado fino de feldspato alcalino límpido.....	58
Fotomicrografia 37 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT3/85,0). Relíctos de plagioclásio turvo, sericitizado e carbonatizado, envolvidos parcialmente por feldspato alcalino límpido neoformado.....	59
Fotomicrografia 38 – Fenito <i>l.s.</i> Barra de Itapirapuã (BIT2/44,50). Piroxênios prismáticos com terminações agudas substituindo cristais de quartzo.....	59
Fotomicrografia 39 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/6,40). Venulações finas preenchidas por piroxênio alcalino bastante oxidado cortam um grão de quartzo.....	59
Fotomicrografia 40 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/9,50). Rocha em estágio avançado de transformação, com elevada concentração de feldspato alcalino neoformado (límpido e geminado) e de piroxênio alcalino bem desenvolvido.....	61
Fotomicrografia 41 – Fenito <i>l.s.</i> Barra de Itapirapuã (BIT2/44,50). Piroxênio alcalino prismático em vênulas e entre cristais de agregado de Feldspato alcalino neoformado.....	61
Fotomicrografia 42 – Fenito <i>l.s.</i> , Barra de Itapirapuã (BIT2/26,78). Anfibólio (cor de interferência anômala) substitui piroxênio alcalino.....	61
Fotomicrografia 43 – Venulações tardias em carbonatitos, Barra de Itapirapuã. Fluorcarbonatos de terras raras em feixes de fibras orientadas de modo radiado. Imagem de elétrons secundários.....	75

R E S U M O

As intrusões carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã estão localizadas na região do médio-vale do Rio Ribeira, nos limites dos Estados de São Paulo e Paraná.

Os carbonatitos do *complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto* (município de Cerro Azul, PR) afloram na forma de brechas, veios, diques e plugs. O *complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã*, a 2km da associação alcalina de Itapirapuã, município de Ribeira, PR-SP, constitui-se de um plug subcircular e pequenas chaminés laterais intrusivos nas rochas fenitizadas do granito Três Córregos.

Os carbonatitos de Mato Preto compõem-se de calcita, carbonatos da série ankerita, opacos, apatita e pirocloro, além de minerais tardimagmáticos presentes em veios milimétricos que se infiltram não somente nessas rochas como também nas encaixantes graníticas fenitizadas. Apresentam, em geral, cores claras e textura granular média e xenomórfica. Os carbonatitos da Barra do Itapirapuã têm coloração clara e granulação média e grossa, sendo comuns também variedades finas com texturas de fluxo e por vezes porfiríticas. Compõem-se de dolomita e/ou ankerita e, em menor quantidade, de opacos, apatita, pirocloro e calcita.

Quimicamente, Mato Preto é representado por calciocarbonatitos e restritos ferrocarbonatitos, apresentando Rb, Sr, Ba, Y e Nb inferiores às concentrações médias dos carbonatitos do mundo, e razão Sr/Ba entre 7,9 e 13,3. Já na Barra do Itapirapuã, as rochas são, na maioria, magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos, estando os calciocarbonatitos restritos a algumas das rochas finas.

Os calciocarbonatitos de Mato Preto são mais ou menos enriquecidos em ETR e Nb e, com freqüência, portam pirocloro idiomórfico. O padrão de distribuição de elementos de terras raras é típico de rochas carbonatíticas, com forte enriquecimento dos leves e razões La/Yb sempre altas. Os teores de ETR são bastante variáveis dentro dos calciocarbonatitos, crescendo até os ferrocarbonatitos e alcançando os valores mais altos nos carbonatitos com infiltrações tardias.

As rochas dos dois grupos texturais (média-grossa e fina-muito fina) da Barra do Itapirapuã mostram fortes variações composicionais. As variedades de granulação média-grossa apresentam mudanças contínuas nos teores de Mg e totais de FeO e MnO, com pequenas oscilações de CaO. Já nas finas-muito finas essas mudanças

estão mais restritas aos teores de CaO e totais de FeO e MnO, com gradações entre os magnesiocarbonatitos e os calciocarbonatitos. Esse grupo textural exhibe teores de SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O e TiO₂ em geral maiores do que o anterior em razão da maior abundância de minerais silicáticos presentes (flogopita, piroxênio/anfibólio), além de possíveis xenocristais de feldspato ou veios de quartzo.

Os teores de P₂O₅, Rb, Sr, Ba, Y e Nb oscilam em ambos os grupos texturais da Barra do Itapirapuã. Os calciocarbonatitos apresentam os mais baixos conteúdos de Nb, Ba, Sr e ETR da suíte, indicando uma fonte já exaurida nesses elementos, possivelmente tardia. Os magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação média/grossa são, ao microscópio, similares, salvo pelo carbonato mais ferruginoso e pela maior frequência de minerais acessórios nos ferrocarbonatitos. A composição dos carbonatos é muito ampla, com variações nos conteúdos de MgO, FeO, MnO, CaO e SrO devidas à coexistência freqüente de dolomita com ankerita, além de zoneamentos químicos.

O desenvolvimento magmático de Mato Preto ocorreu com pequena precipitação de apatita e opacos, concentrando nas fases finais F, ETR, Sr, Ba, U, Th etc., tendo-se processado, ainda na fase tardia, o refluxo de soluções de baixa temperatura responsáveis pela alteração das rochas e precipitação de quartzo, fluorita, barita e minerais de terras raras. Os carbonatos de Mato Preto são calcitas quase puras, com teores de SrO oscilando desde valores baixos (<0,02%) até bastante elevados (2,5%), feições essas compatíveis com magmas cristalizados entre os estágios I (final) e/ou II (inicial) de Hogarth. Os ferrocarbonatitos pertencem ao estágio III.

Os carbonatitos da Barra do Itapirapuã representam magmas carbonatíticos evoluídos comparáveis aos dos estágios II (final) e III de Hogarth (1989). O padrão de distribuição de elementos de terras raras indica forte enriquecimento nos leves, crescendo a partir das rochas finas (Ca<Mg<Fe-carbonatitos) para as de granulação média/grossa (Mg<Fe-carbonatitos) até atingir valores máximos nas rochas tardiamente venuladas e razões La/Yb geralmente altas. A atividade carbonatítica concentrou nos estágios finais principalmente F (além de outros voláteis) e ETR leves, em virtude da precipitação inexpressiva de apatita durante a evolução magmática. O estágio tardio foi marcado pela precipitação generalizada de fluorita, fluorcarbonatos de terras raras, apatita, barita e quartzo, além de outros minerais menos expressivos. Nesse estágio, parte das rochas magmáticas sofreram

transformações texturais de baixa temperatura e enriquecimento em elementos incompatíveis.

Segundo os dados isotópicos, apenas 15% das amostras de Mato Preto mostram composição primária, com $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 8 e 10 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre -7,5 e -4,5; tendo as demais sido reequilibradas em condições hidrotermais ou intempéricas, com $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 10 e 16 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre -4,5 e +2. Já os dados isotópicos O-C na Barra do Itapirapuã confirmam que mais de 80% das amostras de carbonatitos têm composição isotópica de cristalização primária, sob temperaturas entre 650°C e 500°C, com valores de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 8 e 10 e de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre -7,5 e -4,5. O restante mostra composição compatível com o campo de reequilíbrio hidrotermal (T entre 375°C e 80°C) ou intempérico, com $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 12 e 19 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre +2 e -2.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As intrusões carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã estão localizadas na região do médio-vale do Rio Ribeira, nos limites dos Estados de São Paulo e Paraná. Mato Preto localiza-se no município de Cerro Azul, Estado do Paraná, correspondendo aproximadamente às coordenadas geográficas 24°45' de latitude sul e 49°12' de longitude oeste. Barra de Itapirapuã situa-se no município de Ribeira, Estado de São Paulo (em parte Estado do Paraná), à margem esquerda do Rio Itapirapuã, junto à sua confluência com o Rio Ribeira do Iguape tendo as coordenadas 24°41'30"S e 49°13'00"W.

O acesso às áreas de ocorrência é feito pelas rodovias principais PR092 e BR476 que ligam Curitiba a Cerro Azul e a Ribeira/Adrianópolis, respectivamente, tomando as estradas vicinais Cerro Azul–Mato Preto e Adrianópolis–Barra do Rio Itapirapuã (Figura 1).

O reconhecimento geológico dessas associações carbonatíticas deu-se em decorrência do programa de levantamentos aerogamaespectrométrico e aeromagnetométrico sistemáticos da região desenvolvido em 1976 pela Nuclebrás e subsequente mapeamento de detalhe nas áreas onde apresentaram anomalias radiogeológicas (Loureiro & Tavares, 1983). Até então, já se tinha conhecimento da ocorrência de diversas estruturas de rochas alcalinas intrusivas na área sob formas e dimensões variadas, desde pequenos filões e diques até *stocks* tais como Tunas, Mato Preto (registro apenas de rochas fonolíticas), Itapirapuã, Banhadão, Barra do Teixeira, Foz do Rio Ponta Grossa e Médio Rio Sete Quedas. Além disso, sabia-se que todas estas intrusões estavam alinhadas ao longo do eixo Tunas–Varzeão, com direção N45W.

Em trabalhos de revisão sobre ocorrências alcalinas brasileiras, Ulbrich e Gomes (1981) definiram nove províncias geográficas, petrográficas e geocronológicas. As ocorrências das regiões vizinhas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã foram enquadradas na província de Tuna. Almeida (1983) incluiu essas ocorrências na província do Arco de Ponta Grossa enquanto Berbert (1984) na subprovíncia Sul São Paulo–Paraná.

Figura 1 – Mapa esquemático de localização e acesso às áreas investigadas.

Toyoda et al. (1994) ao estudarem isótopos em carbonatitos brasileiros, reúnem-nos em dois grupos: os do norte (Alto Paranaíba) e os do sul (Arco de Ponta Grossa). O grupo sul refere-se a Jacupiranga e Anitápolis, tendo concluído que essas associações resultaram da passagem pelo “Tristan da Cunha Dupal hotspot” há cerca de 130Ma. Já Huang et al. (1995) interpretaram razões isotópicas das rochas de Jacupiranga como resultado da herança de uma fonte mantélica associada com magmatismo incipiente de “Tristan da Cunha hotspot” e a abertura do Atlântico Sul.

A região do médio-vale do Rio Ribeira é, sem dúvida, um dos mais densos focos alcalinos do sul do Brasil e já conta com grande parte dos corpos mapeados ou registrados em mapas. Alguns deles foram objeto de estudos petrológicos de detalhe que contribuíram substancialmente para um melhor nível de entendimento de sua evolução. É o caso das ocorrências de Itapirapuã (Gomes, 1970), Tunas (Fuck, 1972; Gomes et al., 1987), Banhadão (Ruberti, 1984) e de diques e plugs da região do Vale do Ribeira (Vasconcellos, 1995).

O conhecimento petrológico das suítes carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã é, no entanto, muito restrito, mesmo considerando estudos pormenorizados voltados a aspectos de caráter metalogenético.

Santos (1988) apresentou um estudo detalhado sobre a geologia e a geoquímica do depósito de fluorita associado ao complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto. Esse trabalho enfatiza a caracterização geoquímica do minério e sua relação com as rochas encaixantes utilizando-se de dados petrográficos, geoquímicos, isotópicos e inclusões fluidas.

Loureiro & Tavares (1983) apresentaram um esboço geológico na escala 1:50000 delimitando os principais corpos da associação alcalina e carbonatítica de Mato Preto e das rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã e suas principais características geológicas, petrográficas e geoquímicas. Ruberti et al. (1997 a,b,c) forneceram as primeiras interpretações petrológicas de caráter preliminar a partir de dados químicos de minerais e rochas e isotópicos (O – C).

Os trabalhos desenvolvidos tiveram como principal objetivo a caracterização mineralógica, petrológica e geoquímica pormenorizada das suítes carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã e das rochas fenitizadas e fenitos encaixantes relacionados. O estudo detalhado da petrografia, do quimismo das rochas e de seus

minerais e das relações isotópicas do oxigênio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) e do carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) constituiu o enfoque primordial desta tese.

Em sua essência, esta pesquisa procurou reunir ordenadamente informações químicas de minerais e rochas pertencentes às diversas fases petrológicas da seqüência evolutiva dessas suítes e das rochas fenitizadas correlatas para maior entendimento da natureza dos múltiplos fenômenos magmáticos, seus produtos derivados e o quadro evolutivo das rochas bem como para melhor compreensão dos processos metassomáticos e as várias etapas de seu desenvolvimento que precederam e seguiram à intrusão carbonatítica.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA

Os trabalhos desenvolvidos tiveram como alvo o estudo petrológico das suítes de carbonatito e dos fenitos e rochas fenitizadas correlacionados pertencentes às intrusões de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã.

Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram executados em três etapas. A *primeira* constou de todo levantamento de campo na área de Mato Preto percorrendo a superfície através de caminhos, drenagens e perfis transversais às principais áreas aflorantes. Para a programação de campo contaram-se com fotografias aéreas na escala 1:25000 (AEROSUL S.A., 1980) e folhas topográficas (Serviço Geográfico do Exército) na escala 1:50000. Além disso, foi examinado e amostrado testemunho de sondagem de uma perfuração (Furo - dd) na estrutura circular situada na porção N com profundidade de cerca de 120m.

A coleta de amostras obedeceu a critérios geoquímicos para estudo evolutivo de magmas e se deu nos afloramentos mais isentos da ação intempérica. Esses trabalhos visaram obter-se uma amostragem representativa não apenas das variedades carbonatíticas como também dos fenitos e granitos fenitizados e das rochas carbonatizadas na zona de transição entre estas últimas e os carbonatitos intrusivos.

Nas duas últimas etapas contou-se com o apoio logístico da MINEROPAR e o auxílio da equipe de campo desta Instituição coordenada pelo geólogo Donaldo Cordeiro da Silva.

A *segunda* etapa foi direcionada à área da Barra de Itapirapuã, seguindo para tanto os mesmos critérios metodológicos utilizados em Mato Preto. A escassez de afloramentos mais adequados para coleta de amostras inalteradas de fases diversas da evolução magmática e metassomática dessa ocorrência mudou o rumo da pesquisa de campo para os estudos de testemunho de sondagem. As poucas amostras de superfície coletadas foram descartadas em virtude do forte grau de alteração intempérica ou metassomática de carbonatização.

Na *terceira* etapa foram investigados mais de 1000m de testemunho de sondagem procedentes de cinco perfurações (BIT 1, BIT 2, BIT 3, BIT 5 e BIT 6) executadas

pela MINEROPAR-*Minerais do Paraná S. A.* nas áreas de ocorrência das *chaminés* laterais ao *plug* principal da Barra de Itapirapuã (Estado de São Paulo) à margem direita do Rio Ribeira do Iguape (Estado do Paraná).

Desse modo, ressalta-se que toda a abordagem desenvolvida sobre os carbonatitos e fenitos *l.s.* da Barra de Itapirapuã tem por base os dados obtidos em amostras dessas sondagens face à total falta de amostragens superficiais na área do *plug* principal.

Petrografia

Com base nos estudos petrográficos de mais de 120 seções delgadas, foram selecionadas 99 amostras de carbonatitos e fenitos *l.s.* inalteradas e com venulações tardias representativas das diferentes variedades petrográficas assim distribuídas: 15 de carbonatitos (11 inalterados e quatro venulados) e seis de fenitos *l.s.* procedentes de Mato Preto; 43 de carbonatitos (30 inalterados e 13 com venulações) e 23 fenitos *l.s.* oriundas da Barra de Itapirapuã.

O exame microscópico das rochas processou-se em um microscópio marca Zeiss, modelo AXIOPLAN, com campo visual entre 10 e 0,49mm e aumento máximo de 400x. As feições mineralógicas e texturais principais foram fotomicrografadas no microscópio equipado com um conjunto fotográfico marca Zeiss, modelo M35W, filme Kodak de 100 ASA e exposição automática (fotocélula MC 63A).

Química mineral

O programa de análise química das principais fases minerais da suíte carbonatítica e fenitos da Barra de Itapirapuã foi executado no Laboratório de microsonda da Universidade de Cagliari, Itália, e os carbonatos de carbonatitos de Mato Preto no Laboratório de microsonda do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da USP.

Em Cagliari foram analisados carbonatos, apatita e fluorcarbonatos de terras raras nos carbonatitos e feldspatos, piroxênios, anfibólios e biotitas nos fenitos *l.s.* empregando-se um equipamento ARL (Applied Research Laboratories) modelo SEMQ (1982), automático, equipado com cinco espectômetros dispersivos (1, PET; 2, LiF; 3, LiF; 4, TAP; 5, PET). As correções para os fatores de flutuação, radiação de fundo, absorção de massa, número atômico e fluorescência secundária, processaram através do programa MAGIC IV de uso interno do laboratório.

As condições de operação foram as seguintes: potencial de aceleração 20kV; corrente de amostra ao redor de 20nA; tempo de integração das contagens de pulsos nos contadores 20" para feldspatos, piroxênios e carbonatos (Ca-Mg-Fe), 40" para apatita e fluorcarbonatos de terras raras; e diâmetro do feixe aproximadamente 3µm. Como padrões analíticos foram empregados: microclínio USNM-14396, anortoclásio USNM-133868, Olivina Fo₉₀ Usnm-111312/444, Anortita USNM-137041, Ilmenita USNM-96189, Cromita USNM-117075, Olivina Fa USNM-85276, Dolomita USNM-10057, Siderita USNM-104021 e vidros com terras raras REE-2 e REE-3.

No IGc-USP foram analisados apenas os carbonatos utilizando-se instrumental de fabricação JEOL modelo JXA-8600S equipado com cinco espectrômetros (configuração similar à do anterior) e automatizado com um sistema TRACOR. As correções para os fatores de efeito de matriz processaram através do sistema TRACOR de automação da microsonda. O procedimento analítico adotado foi o de rotina desse laboratório. As condições analíticas utilizadas foram: 15kV para potencial de aceleração; 10nA para corrente do feixe eletrônico; e diâmetro do feixe 10µm. Os tempos máximos de integração das contagens de pulsos nos contadores foram de 10" para Ca e Si, 20" para Mg, 30" para Fe e Mn, e 50" para Ba e Sr. Os padrões empregados foram: wollastonita (Si), fluoreto de bário (Ba), celestita (Sr), calcita (Ca), hematita (Fe), rodocrosita (Mn) e periclásio (Mg).

Como rotina de trabalho foram feitas leituras nas porções centrais e nas bordas dos cristais, de conformidade com suas dimensões. No caso de veios de granulação fina, os grãos foram analisados apenas em seu núcleo.

Os dados são apresentados como porcentagem em peso dos óxidos. O tratamento desses dados foi realizado pelo programa MINPET (Richard, 1995) que inclui cálculos diversos como determinação das proporções catiônicas da unidade mineral (a.f.u.), fórmulas estruturais, componentes moleculares e diagramações.

Química das rochas

O programa de análise química em rocha total de elementos maiores e alguns traços selecionados foi executado nos laboratórios das Universidades de Roma e de Perugia empregando-se técnicas analíticas diversas. SiO₂, TiO₂, FeO_t, MnO, CaO, P₂O₅ e os traços Rb, Sr, Y, Nb e Ba foram analisados por fluorescência de raios X empregando-se um equipamento Phillips, modelo PW 1400. Na₂O, K₂O e MgO foram determinados por absorção atômica com um equipamento de fabricação

PERKINS ELMER. A perda ao fogo (CO_2 , S^{--} , H_2O^+ etc.) foi determinada por calcinação até atingir peso constante sob temperaturas entre 900 e 1000°C durante 90 minutos para as rochas silicáticas e 1100°C durante 2 horas para os carbonatitos.

Os elementos terras raras foram determinados apenas nas amostras de carbonatitos, tanto de Mato Preto como da Barra de Itapirapuã. As análises foram executadas na Universidade de Cagliari, Itália, empregando-se a técnica I.C.P. (Inductively Coupled Plasma) com um instrumento de fabricação INSTRUMENTATION LABORATORY, modelo Plasma 100 Spectrometer. As determinações foram efetuadas em soluções concentradas de elementos terras raras, obtidas por filtração através de resinas de "trocas iônicas" artificiais (ion exchange resins). A partir dessas soluções (100ml de 6.6NHCl) obtiveram-se os teores (ppm) de toda a série das terras raras desde La até Lu.

Ressalta-se que esses elementos foram reanalisados visando um controle de qualidade maior, considerando que o limite de sensibilidade do equipamento utilizado é alto e muito próximo dos valores então determinados para os elementos pesados e com teores muito baixos. As análises foram realizadas na Universidade de Palermo, Itália, através de um equipamento ICP/MS e os resultados dos elementos terras raras mais concentrados são bastante coincidentes com aqueles obtidos anteriormente enquanto que os de pequenos teores apresentaram valores mais altos. Esses dados foram normalizados segundo os condritos C1 (Sun & McDonough, 1989) e ilustrados em diagramas multi-elementares.

A programação analítica consistiu da análise química de rochas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã, incluindo 58 amostras das suítes carbonatíticas, além de nove fonolíticas e três lamprofíricas não discutidas neste trabalho para todos os elementos mencionados, e 29 amostras de rochas com modificações metassomáticas (fenitos *l.s.*) para os elementos maiores.

Química isotópica

Foram determinadas as relações entre os isótopos do carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e oxigênio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) para 43 amostras de carbonatitos de sondagem das cinco perfurações (BIT1, BIT 2, BIT 3, BIT 5 e BIT 6) da Barra de Itapirapuã e 15 amostras de carbonatitos de Mato Preto, sendo seis de testemunho de sondagem (furo dd) e nove de superfície.

As análises dos isótopos de carbono e oxigênio foram realizadas na Universidade de Palermo, Itália. Conforme metodologia utilizada, as análises foram executadas por solubilização duplicada de carbonatos em H_3PO_4 (100%) sob temperatura de 25°C durante 3 dias (1 dia para calcita e 3 dias para dolomita) e determinadas com auxílio de um espectrômetro de massa *Finnigan Mat Delta S*. Os padrões utilizados para isótopos de carbono e oxigênio foram PDB-1 e V-SMOW, respectivamente.

CAPÍTULO III

GEOLOGIA

Na região do vale do Ribeira, nos limites dos Estados de São Paulo e Paraná, ocorrem diversas ocorrências de rochas alcalinas com ou sem carbonatitos que se apresentam sob formas e dimensões as mais variadas, desde pequenas estruturas filonianas até *stocks* de maior porte (Figura 2). Cite-se como exemplo as ocorrências de Tunas, Banhadão, Itapirapuã etc., além das que compõem o objeto do presente trabalho. A área em que afloram as rochas alcalinas é formada, em sua grande parte, de rochas granitóides do Complexo Três Córregos e unidades metassedimentares e metavulcanosedimentares pertencentes ao Grupo Açungüi *latu sensu*.

O Complexo Granítico Três Córregos compõe-se de quatro conjuntos litológicos (Gimenez Filho, 1995): granitóides de anatexia/migmatitos, granitóides orientados, suíte porfiróide e o granito Lageado. No geral predominam granitóides porfiróides a orientados. As rochas granitóides são constituídas predominantemente de hornblenda-biotita granitóides porfiróides e granitos leucocráticos microporfiríticos a equigranulares, além de granitóides orientados que apresentam composições similares aos demais. Comumente ocorrem enclaves de quartzo monzo-diorito e quartzo diorito. Associa-se também lentes de calcário presentes no seu interior e interpretadas como *roof pendants*. O complexo é considerado um exemplo de plutonismo granitóide formado no Neoproterozóico com idades ao redor de 650 Ma.

A seqüência de rochas epimetamórficas do Grupo Açungüi acha-se representada na área principalmente por filitos e muscovita xistos com transições para quartzitos e calcários mais ou menos magnesianos, passando a calcoxistos. O grau de metamorfismo dessas rochas corresponde ao do fácies xistos verdes. O metamorfismo aumenta, no entanto, progressivamente de oeste para leste, desaparecendo os termos carbonáticos e tendo lugar à transformação gradual de epimetamórficos de natureza pelítica em gnaisses e migmatitos (Melfi et al., 1965). Diques de diabásio de pequeno porte aparecem na região cortando os vários tipos litológicos.

Figura 2 – Esboço geológico da região do médio-vale do Rio Ribeira de Iguape (Estados de São Paulo e Paraná) e o posicionamento dos complexos alcalino-carbonatítico de Mato Preto e carbonatítico da Barra de Itapirapuã.

Nessas unidades geológicas, as estruturas alcalinas com ou sem carbonatitos dispõem-se segundo alinhamentos preferenciais e têm sua origem ligada a importante episódio magmático atuante durante o mesozóico. Dentre estas estruturas mencione-se as de Itapirapuã, Mato Preto, Cerro Azul e Tunas que acham-se alinhadas segundo direção N45W e apresentam associações petrográficas diversas.

Nesse sentido, vários são os trabalhos que registram o posicionamento tectônico regional e as características estruturais das ocorrências dessa região correlacionando-as com os processos responsáveis por essas disposições. Mencionem-se, entre outros, os trabalhos de Almeida (1971), Algarte (1972), Ferreira (1982), Almeida (1983), Góis et al. (1985), Ronchi et al. (1993), Fiori (1985).

Mato Preto

O complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto compõe-se de várias estruturas aproximadamente circulares ou mesmo irregulares, circundadas por rochas fenitizadas e fenitos do Granito Três Córregos e dos metassedimentos do Grupo Açungüi (Figura 3). Estas estruturas se agrupam em duas áreas bem distintas separadas pelo ribeirão homônimo, denominadas de Mato Preto I a sul e Mato Preto II a norte (Loureiro & Tavares, 1983).

Em Mato Preto I predominam fonólitos porfiríticos e brechas explosivas de conduto com matriz calcítica e clastos de fonolito, granito fenitizado e fenito sienítico.

Em Mato Preto II dominam os carbonatitos calcíticos, brechas explosivas de conduto com matriz ankerítica e clastos predominantemente de fonolito, de granito fenitizado ou de sienito fenito, bem como micronefelina sienitos (e proporções menores de "ijolitos" e "melteigitos") e diques fonolíticos, além de tufos e aglomerados fonolíticos já fora da área (Jenkins, 1987). As brechas são todas subvulcânicas de conduto e de natureza explosiva intrusiva ou não (Santos, 1988).

Além dessas rochas ocorrem ainda auréola de fenitização muito extensa que se desenvolvem nos granitos encaixantes abrangendo as duas áreas referidas.

Em Mato Preto toda estrutura alcalino-carbonatítica intrusiva delimitada em mapa acha-se encaixada em rochas feldspáticas heterogêneas denominadas coletivamente de "rochas alcalinas indiferenciadas" (Loureiro & Tavares, 1983). Aparentemente todas estas rochas e aquelas de xenólitos são de natureza quartzo

sienítica a sienítica e podem ser consideradas fenito *lato sensu* formadas pela ação do metassomatismo alcalino sobre os granitos regionais circundantes. Veios milimétricos tardios preenchidos por quartzo, fluorita (incolor e roxa), barita e minerais de terras raras se infiltram nas rochas tanto carbonatíticas como em suas encaixantes. Os produtos de alteração mais frequentes são hematita, óxidos hidratados de ferro e argilominerais.

Figura 3 – Esboço geológico do complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto, PR, segundo Loureiro & Tavares (1983). No mapa encontra-se a localização das amostras de superfície estudadas e do furo de sondagem amostrado.

As determinações radiométricas K/Ar de fonolitos em rocha total situam o complexo no Cretáceo superior com idades de 70,2Ma e 71,7Ma (Cordani & Hasui, 1968; Sonoki & Garda, 1984).

Na área de Mato Preto, a escassez de afloramentos em superfície bem como o modo filoniano de ocorrência e a heterogeneidade das rochas presa a alterações tardias e intempéricas superimpostas são os fatores limitantes que impedem a elaboração de um mapa geológico de detalhe. Os estudos dos carbonatitos apresentados fundamentam-se em observações de campo e dados laboratoriais de amostras de superfície e de testemunho de sondagem; estas últimas procedentes de apenas uma perfuração na estrutura circular situada na região N do complexo com profundidade de aproximadamente 120m.

As principais áreas aflorantes das rochas carbonatíticas deste complexo situam-se em Mato Preto II. As estruturas são geradas por infiltrações carbonatíticas através de uma rede entrelaçada de diques e filões milimétricos a centimétricos e de massas de volume bem maior constituindo corpos irregulares sempre em contato com granitos fenitizados e fenitos sieníticos.

Em geral, essas estruturas filonianas mostram feições texturais que indicam reações de carbonatização nas paredes das encaixantes como também remobilização e transporte de fragmentos de rochas silicáticas e cristais. A passagem dos carbonatitos para os fenitos *l.s.* é, assim, freqüentemente gradacional, originando uma zona de sílico-carbonatito separando os dois litotipos com variações inversas nas concentrações modais de minerais carbonáticos e feldspáticos.

Em alguns locais onde a microtectônica tensional foi mais intensa, as infiltrações venulares de carbonatitos e os processos de carbonatização chegam a originar estrutura de brechas feldspáticas carbonatíticas. Diques de possança maior apresentam xenólitos de fenitos *l.s.* geralmente orientados segundo o fluxo magmático paralelo às paredes de contato. Xenocristais de feldspato alcalino são também de ocorrência praticamente constante nos carbonatitos observados ao microscópio e apresentam formas arredondadas com textura de assimilação nas bordas.

Os carbonatitos apresentam cores claras, por vezes castanho-escuras, indicando a presença de fases magmáticas mais enriquecidas em ferro. A textura mais comum é granular média registrando-se também variedades mais finas com aspecto sacaróide de cristalização mais superficial.

Com base na petrografia e na química global, os carbonatitos de Mato Preto são divididos em dois litotipos bem definidos: calciocarbonatitos e ferrocarbonatitos. Os

primeiros são, de longe, o tipo litológico dominante e geneticamente mais antigo. São rochas praticamente uniminerálicas compondo-se de mais de 95% de calcita quase pura e subordinadamente de opacos, pirocloro e apatita, além dos minerais tardimagmáticos presentes nos veios.

Os ferrocarbonatitos são de geração mais tardia e ocupam área geográfica de menor expressão. Em geral, acham-se restritos à matriz de brechas carbonatíticas e às venulações milimétricas a centimétricas que recortam os diques e veios de calciocarbonatitos e os fenitos *l.s.* em Mato Preto II ou recortando as brechas explosivas com matriz calcítica em Mato Preto I. A rocha compõe-se de carbonatos ankeríticos contendo geralmente exsolução de óxidos de ferro ao longo de clivagens, dando um aspecto mais acastanhado; e subordinadamente de opacos e pirocloro. Além desses minerais ocorrem também xenocristais de feldspato alcalino transportado.

Barra do Itapirapuã

O complexo carbonatítico da Barra de Itapirapuã compõe-se de um “plug” elipsoidal a subcircular ocupando área aproximada de 2km² (Estado de São Paulo) e de pequenas chaminés laterais emergindo ao lado de sua porção SE na margem direita do Rio Ribeira do Iguape, agora no Estado do Paraná (Figura 4). Em toda sua extensão acha-se circundado por rochas graníticas do complexo Três Córregos de idade pré-cambriana. O corpo situa-se no alinhamento NW definido pelo eixo do alongamento do maciço alcalino de Itapirapuã que se encontra localizado a cerca de 2km a NW da Barra de Itapirapuã e condicionado por falhas a NE e S.

Informações geológicas sobre o maciço têm por base os trabalhos de levantamento de campo realizado na área de ocorrência dessas rochas e principalmente os estudos de testemunho de sondagem, em virtude da falta de afloramentos de carbonatitos em estrutura mais desenvolvida. No presente trabalho foram investigados mais de 1000m de sondagem procedentes de cinco perfurações executadas pela MINEROPAR nas áreas de ocorrência das chaminés laterais (Figura 4, detalhe) e algumas poucas amostras de superfície coletadas no *plug* principal, as quais foram excluídas em função do estado de alteração. Ressalte-se a falta absoluta de informações geológicas e petrológicas de níveis subsuperficiais das rochas do *plug* principal. Toda a abordagem aqui desenvolvida fundamenta-se em dados obtidos nos testemunhos de sondagem até profundidade de 256m.

Figura 4 – Esboço geológico do complexo carbonatítico da Barra de Itapirapuã, SP-PR e intrusivas alcalinas vizinhas, segundo D'Elboux et al. (1982). No detalhe, esboço geológico da área dos pipes carbonatíticos laterais (lado direito do Rio Ribeira), onde encontra-se a localização dos furos de sondagem (BIT 1, 2, 3, 5 e 6) amostrados e as coordenadas geográficas aproximadas em UTM, segundo a MINEROPAR S.A.

As evidências obtidas no campo e nessas sondagens mostram que essas estruturas são originadas por infiltrações carbonatíticas que se deram através de um sistema de filões milimétricos a centimétricos formando um verdadeiro *stockwork* nos níveis superficiais, e através de diques e venulações decimétricas a métricas nas porções mais profundas.

Além de rochas carbonatíticas e brechas sílico-carbonatíticas ocorrem no complexo raras brechas lamprofíricas carbonáticas e auréola de fenitização muito bem desenvolvida nos granitos encaixantes que mostram, em parte, modificações por processos de carbonatização originando brechas feldspato carbonáticas e rochas sílico-carbonatíticas; estas últimas correspondem, em geral, à transição entre os fenitos e carbonatitos. Veios tardi-magmáticos e/ou hidrotermais portadores de quartzo, fluorita (incolor e roxa), apatita rica em terras raras, minerais de terras raras (principalmente fluorcarbonatos), barita e estroncianita percolam os carbonatitos e os fenitos encaixantes.

Os fenitos e rochas fenitizadas ocupam toda a região superficial da estrutura intrusiva, cobrindo tanto o *plug* principal como também as chaminés laterais e os diversos níveis de profundidade até ao menos 256m.

Os carbonatitos em geral são cinza-esbranquiçados a brancos, freqüentemente pigmentados de rosa em virtude das concentrações elevadas de minerais de terras raras tardios. Exibem granulação média-grossa sendo comuns, contudo, as variedades finas a muito finas com aspecto sacaróide intercalando-se ou mesmo gradando para as primeiras. Compõem-se predominantemente de carbonatos (muito superior a 50% modal) e quantidades menores de apatita, pirocloro, fluorcarbonatos de terras raras, óxido hidratado de ferro e quartzo. Os dados químicos de fases carbonatos e rocha total obtidos neste trabalho indicam forte heterogeneidade química: os carbonatos são dolomitas enriquecidas em ferro, ankeritas diversas e não raramente calcita, enquanto as rochas apresentam certa homogeneidade no teor de cálcio e fortes variações de magnésio e ferro definindo, assim, os tipos magnesiocarbonatito e ferrocarnatito nas variedades média-grossa e calciocarbonatito, magnesiocarbonatito e ferrocarnatito nas finas a muito finas.

Entre as variedades texturais média-grossas, os magnesiocarbonatitos constituem o litotipo mais abundante presentes nos testemunhos de sondagem. Predominam largamente nos furos BIT 1, BIT 6 e possivelmente no BIT 3 mas competem com

aparente inferioridade com os ferrocarbonatitos nos furos BIT 5 e BIT 2, representando cerca de 64% do total das amostras.

As variedades de granulação fina a muito fina correspondem a um conjunto de pequenos diques e venulações centimétricas que cortam tanto os carbonatitos de granulação média-grossa como as rochas fenitizadas e fenitos encaixantes. Os calciocarbonatitos foram encontrados no furo de sondagem BIT 3 em profundidade entre 35 e 45 metros. Ocorrem sob a forma de pequenos veios associados a fraturamento que atravessam os fenitos *l.s.*; não tendo sido observados em associação com carbonatitos de granulação grossa.

Os magnesiocarbonatitos têm distribuição espacial relativamente ampla ainda que volumetricamente essas rochas sejam pouco expressivas. São descritos nos furos BIT 5 (intervalo entre 85 e 95m) e BIT 6 (de 18 a 30m e de 135 a 145m) nos quais testemunhos de sondagem dos litotipos diversos se apresentam freqüentemente com mineralizações de terras raras, fluorita e galena. Formam veios de possança geralmente centimétrica que atravessam principalmente os carbonatitos de textura média-grossa. Não raramente essas rochas são portadoras de pequenas cavidades arredondadas parcialmente revestidas de minerais secundários com até 3mm de diâmetro.

Os ferrocarbonatitos finos, por sua vez, têm pequena representatividade na Barra de Itapirapuã, ocorrendo aparentemente apenas no furo BIT 5 em estruturas venulares localizadas em profundidades compreendidas entre os intervalos de 170 a 180m e de 200 a 210m. Formam venulação de possança variável que atravessam os ferrocarbonatitos de textura grossa e fenitos.

Salienta-se que o complexo carbonatítico da Barra de Itapirapuã é exemplo de uma grande massa de rochas carbonatíticas pouco exposta, não associada, ao menos em superfície, diretamente a rochas alcalinas silicáticas primárias e tampouco a rochas básicas ou ultrabásicas, com exceção de brechas lamprofíricas carbonatizadas de filiação petrogenética desconhecida (Gomes et al., 1990).

CAPÍTULO IV

PETROGRAFIA

Introdução

A partir de um conjunto de mais de 120 seções delgadas de amostras de rochas pertencentes não apenas às associações carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã como também às suas respectivas encaixantes regionais, fez-se um estudo petrográfico minucioso no tocante às suas variações texturais, identificações das fases mineralógicas principais e, sobretudo, mecanismos e grau de alteração dos minerais, a fim de estabelecer os processos de desenvolvimento magmático bem como a história petrológica de cada um desses dois complexos.

Cuidado especial foi tomado no sentido de caracterizar opticamente a existência de processos de fenitização junto às encaixantes regionais, especialmente as rochas graníticas do Complexo Três Córregos predominantes que envolvem parcialmente o complexo de Mato Preto (este, em parte, circundado pelos metassedimentos do Grupo Açungui) e totalmente o da Barra do Itapirapuã.

A nomenclatura adotada neste trabalho para classificação petrográfica das rochas, com base na composição mineralógica, segue as recomendações dadas pela "Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks da IUGS - International Union of Geological Sciences" (Le Maitre, 1989). O termo "carbonatito", como definido por Streckeisen (1978 e 1979), foi considerado somente para rochas contendo mais de 50% de minerais carbonatos modais. Para os carbonatitos calcíticos, optou-se pelo uso dos termos calciocarbonatito às rochas de granulação média-grossa e às de granulação média a fina. Para os carbonatitos dolomíticos, optou-se pelo termo magnesiocarbonatito; e para aqueles formados essencialmente por carbonatos ricos em ferro, ferrocarbonatitos (Woolley & Kempe, 1989). Já para os carbonatitos tardios, não considerados pela IUGS, utilizaram-se os termos sugeridos por Kapustin (1980). Para as rochas que resultaram de transformações metassomáticas alcalinas, com ou sem trocas substanciais de materiais, ocorridas por processos de fenitização, foram adotados os termos fenito e rocha fenitizada, respectivamente, em conformidade com o significado estabelecido por Brögger (1921, in Heinrich, 1980) e von Eckermann (1948).

O estudo microscópico detalhado das amostras, baseado em aspectos mineralógicos e texturais, permitiu confirmar as observações de campo de que em ambos os complexos coexistem rochas derivadas a partir de diversas manifestações magmáticas geoquimicamente distintas.

O complexo de Mato Preto consiste de litologias exclusivamente insaturadas, incluindo desde rochas leucocráticas até melanocráticas, de granulação grossa até afanítica, representadas por fonolitos e nefelina microssienitos, "ijolitos" e carbonatitos, estes últimos podendo conter importantes concentrações modais de minerais de terras raras, fosfatos e sulfetos.

O complexo da Barra de Itapirapuã exhibe uma associação litológica, talvez única no Brasil, muito distinta daquela de Mato Preto. Compõe-se essencialmente de rochas carbonatíticas, sendo as variedades dolomíticas e ankeríticas os tipos litológicos dominantes. Rochas silicáticas de natureza lamprofíricas são pouco expressivas. Uma feição digna de destaque é a presença de rochas carbonatíticas porfiríticas de matriz muito fina. Consistem de uma matriz essencialmente carbonática, orientada, incluindo fenocristais de carbonatos e apatita. Ao que parece, são rochas formadas em condições de resfriamento muito rápido ("quench"). Outra feição distinta e que desperta prontamente a atenção é a intensidade de uma atividade tardimagmática e/ou hidrotermal, responsável por fortes modificações não somente da textura como também da mineralogia dessas rochas, e pelo enriquecimento em minerais como fluorcarbonatos de terras raras, fluorita e apatita, além de barita, estroncianita e galena.

Além das rochas magmáticas observadas, são encontradas ainda tanto no complexo de Mato Preto quanto no da Barra do Itapirapuã, rochas de natureza alcalina originadas por processos de fenitização em consequência da interação de fluidos metassomáticos geneticamente associados a manifestações magmáticas de caráter alcalino e/ou carbonatítico.

Processos de fenitização

Uma das feições mineralógicas e texturais mais facinantes observadas, tanto no complexo alcalino carbonatítico de Mato Preto como no da Barra de Itapirapuã, indubitavelmente ligada ao magmatismo carbonatítico, prende-se aos efeitos

metassomáticos (fenitização) produzidos ao seu redor, junto às rochas encaixantes regionais.

As rochas encaixantes são granitóides do Complexo Três Córregos, constituídos predominantemente por hornblenda-biotita granitóides porfiróides e granitos leucocráticos microporfiríticos a equigranulares (Gimenez Filho et al., 1995). Praticamente todas as seções examinadas dessas rochas apresentam modificações, em maior ou menor grau.

Essas alterações metassomáticas, certamente provocadas por soluções emanadas dos focos alcalinos/carbonatíticos durante a formação desses complexos, chegam, por vezes, a afetar intensamente essas rochas, impondo-lhes novas texturas e associações mineralógicas, acarretando profundas mudanças na composição global original. Ao que tudo leva a crer, são fluidos sódicos e/ou potássicos que se infiltram na rocha em veios milimétricos densamente entrelaçados segundo as mais variadas direções, e cristalizam geralmente como uma massa feldspática criptocristalina juntamente com piroxênio e/ou anfibólio sódico acicular, provocando intensa feldspatização da rocha. Comumente observa-se também feldspatos metassomáticos crescendo ao redor de núcleos xenomórficos de feldspatos ígneos alcalino ou plagioclásio remanescentes, seguindo a mesma orientação óptica do cristal original.

Quartzo aparece em teores modais variáveis de acordo com a intensidade do processo, chegando, em casos extremos, a desaparecer por completo. Além disso, grãos xenomórficos de quartzo acham-se freqüentemente envolvidos por uma coroa consistindo essencialmente de cristais de piroxênio sódico neoformados, geralmente aciculares, alongados na direção do centro do cristal hospedeiro.

Mato Preto

No complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto, as rochas configuram várias estruturas aproximadamente circulares ou mesmo irregulares que se agrupam em duas áreas bem distintas: Mato Preto I, onde predominam fonólitos porfiríticos e brechas vulcânicas com matriz carbonatítica e Mato Preto II, com carbonatitos calcíticos e brechas, micro-nefelina sienitos (e proporções menores de "ijolitos" e "melteigitos", Loureiro e Tavares (1983)), diques de fonólitos e tinguaítos.

Carbonatitos

Essas rochas encontram-se preferencialmente distribuídas na área de Mato Preto II, geralmente na forma de diques atravessando fenitos e rochas graníticas pré-cambrianas fenitizadas, e na forma de brechas diversas.

Foram estudadas cerca de 20 amostras de superfície e de testemunhos de sondagem de uma perfuração na estrutura circular, situada na região N do complexo, com profundidade de até 120m.

Os carbonatitos apresentam cor clara, branca a levemente acinzentada e, por vezes, castanha escura, sugerindo a presença de fases magmáticas mais enriquecidas em ferro. A textura mais comum é granular média, xenomórfica, sendo também reconhecidas variedades finas, isótropas, de aspecto sacaróide, intercalando-se, ou mesmo gradando, para as primeiras.

Compõem-se essas rochas quase que exclusivamente de carbonatos, sendo comuns também variedades enriquecidas em outros minerais, principalmente óxido de ferro. Os principais minerais reconhecidos são calcita, carbonatos da série ankerita, minerais opacos, apatita e pirocloro. Veios milimétricos tardios preenchidos por quartzo, fluorita (incolor e roxa), barita e minerais de terras raras se infiltram tanto nas rochas carbonatíticas como em suas encaixantes. Os produtos de alteração mais freqüentes são hematita, óxidos hidratados de ferro e argilominerais.

Análises químicas de rocha indicam dois litotipos bem definidos: os calciocarbonatitos, apresentando as variedades texturais grossa e fina; e os ferrocarbonatitos.

Calciocarbonatitos (caC)

Os calciocarbonatitos são, de longe, o tipo litológico dominante. Exibem textura granular xenomórfica, fina a média/grossa, caracterizada por cristais equidimensionais ou alongados, com dimensões muito variáveis de submilimétricas a milimétricas, às vezes até centimétricas. Em geral, nota-se grande variação textural, desde equigranular até inequigranular seriada; maciça, com arranjo muitas vezes em mosaico; ou orientada, com os grãos alongados justapostos segundo seu eixo (Fotomicrografia 1).

Essas rochas são extremamente homogêneas e praticamente uniminerálicas, compondo-se de mais de 95% de calcita quase pura. Subordinadamente, ocorrem opacos, pirocloro, apatita e, de forma esporádica, minerais de terras raras intersticiais, além dos minerais tardimagmáticos presentes nos veios.

Calcita forma cristais irregulares, límpidos e normalmente sem geminação nem estruturas de exsolução. As dimensões dos cristais variam ao redor de 1,2mm nas rochas equigranulares, e entre <0,2 e 15mm de alongamento nas inequigranulares. Os grãos mais desenvolvidos freqüentemente apresentam sinais visíveis de deformações reticulares e de recristalização, com feições de extinção ondulante ou desenvolvimento de bandas nas partes mais externas dos cristais de granulação mais fina. Por vezes, nota-se num mesmo grão descontinuidade cristalina, com extinção setorial irregularmente definida, dando aspecto de "remendos" justapostos do mineral (Fotomicrografia 2).

Minerais opacos acham-se presentes em quantidades apreciáveis na maioria das amostras, sendo representados por magnetita e, mais raramente, por sulfetos. Ocorrem disseminados nos carbonatos, inclusos ou intersticiais, como grãos subidiomórficos a xenomórficos, às vezes idiomórficos, com dimensões compreendidas entre <0.05 e 1,2mm. Em muitos casos, mostram-se fortemente alterados e substituídos, na sua periferia ou em todo o cristal, por agregado criptocristalino de óxidos de ferro vermelho-sangue a amarelo-alaranjados, como hematita, goethita etc.

Pirocloro é um constituinte acessório comum e presente em muitas amostras. Ocorre como cristais pequenos, subidiomórficos a idiomórficos, com dimensões compreendidas entre <0,05 e 0,3mm. É colorido de castanho-escuro a quase preto. Os cristais apresentam freqüentemente forma dodecaédrica regular (Fotomicrografia 3).

Fluorcarbonatos de terras raras são também comuns em quase todas as amostras examinadas, ainda que a sua concentração seja bem inferior à dos outros minerais acessórios. Apresentam-se como constituintes isolados ou associados a outras fases residuais, preenchendo os espaços intergranulares e fraturas. Via de regra, o mineral ocorre como aglomerados de feixes de diminutos cristais micrométricos aciculares ou fibrosos, em forma de plumas ou ramos arranjados paralelamente ou

Fotomicrografia 1

Calciocarbonatito com venulação tardia de Mato Preto (MPdd/70,0). Textura orientada, com os grãos alongados justapostos segundo seu eixo. Observar vênula e bolsão tardios no lado direito. 2,5 X. Lado maior 5,5mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 2

Calciocarbonatito de Mato Preto (MPex-32). Cristal de calcita apresentando feições de deformação reticular e de recristalização, com extinção setorial irregularmente definida, dando aspecto de "remendos" justapostos. 5X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 3

Calciocarbonatito de Mato Preto (MPdd/70,0). Pirocloro idiomórfico colorido de castanho-escuro a quase preto. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

em leques (Fotomicrografia 4). São incolores a levemente amarelos, de birrefringência alta e extinção reta. Embora possam apresentar-se límpidos, os fluorcarbonatos de terras raras acham-se fortemente impregnados de óxidos de ferro (provavelmente hematita ou goethita), depositados irregularmente na superfície dos cristais e nos espaços entre eles.

Apatita aparece em algumas amostras na forma de prismas curtos arredondados✓ inclusos nos carbonatos ou intersticiais.

Quartzo tem desenvolvimento poiquilítico preenchendo os espaços intergranulares e incluindo apatita, fluorcarbonatos de terras raras, barita e carbonatos. Forma cristais grandes ou agregado fino pavimentoso. Barita foi reconhecida em poucas amostras como cristais subidiomórficos a xenomórficos, isolados ou constituindo aglomerado fino intersticial. Fluorita é um constituinte acessório raro, incolor e intersticial.

Xenocristais de feldspato alcalino são muito comuns nessas rochas. Apresentam freqüentemente formas arredondadas e texturas de reabsorção e carbonatização nas bordas. Mais internamente, apresentam texturas de ligeira recristalização e reequilíbrio químico. Em geral, esses feldspatos são praticamente idênticos aos reconhecidos nos fenitos e rochas graníticas fenitizadas encaixantes. Ocorrem ora como grãos límpidos e praticamente destituídos de inclusões e geminação, ora mostrando-se turvos ou muito escuros nas partes centrais, com bordas límpidas aparentemente mais sódicas.

Ferrocarbonatitos (FeC)

Geograficamente, os ferrocarbonatitos ocupam áreas de menor expressão. Ocorrem em Mato Preto I sob a forma de venulações centimétricas recortando brechas carbonatíticas explosivas polimíticas com matriz calcítica, e em Mato Preto II, como pequenos diques que atravessam não somente os fenitos e rochas fenitizadas pré-cambrianas mas também os carbonatitos calcíticos predominantes (Fotomicrografia 5) e ainda como constituinte da matriz de brechas carbonatíticas explosivas. Ressalte-se que os afloramentos encontram-se, de forma generalizada, em estado avançado de alteração, formando óxido de ferro e manganês.

Em amostra de testemunho de sondagem, de aproximadamente 62,25m de profundidade, os ferrocarbonatitos de um dique exibem granulação média e

coloração creme a levemente acinzentada, com manchas ferruginosas devidas principalmente à concentração de óxido de ferro.

Ao microscópio, essas rochas apresentam textura inequigranular, média a fina, xenomórfica a hipidiomórfica, em arranjo pavimentoso. Compõem-se de carbonatos ankeríticos, em geral contendo exsolução de óxido de ferro, e subordinadamente de opacos, pirocloro e minerais tardimagmáticos presentes nos veios. Além desses minerais, ocorrem também xenocristais de feldspato alcalino transportados, com características similares às reconhecidas nos dos fenitos e rochas graníticas fenitizadas encaixantes

Os carbonatos compõem a parte essencial dos ferrocarbonatitos, ocupando mais de 95% do volume da rocha. O mineral cristaliza-se como grãos xenomórficos a subidiomórficos de granulometria muito variável. Os maiores são freqüentemente alongados, irregulares, com dimensões de até 2,8mm de comprimento; os menores são equidimensionais, subidiomórficos, às vezes idiomórficos, com dimensões entre <0,1 e 1,2mm. Apresentam-se geralmente bastante turvos em virtude da deposição de óxido de ferro (magnetita, hematita, goethita ou limonita) exsolvido. Em muitos casos, essa deposição concentra-se ao longo de clivagens e nas bordas dos grãos, restando apenas núcleos carbonáticos envolvidos por romboedros ferruginosos perfeitos (Fotomicrografia 6 e 7). Por outro lado, alguns cristais isentos de exsolução de óxido de ferro são turvos em sua parte central, tornando-se gradativamente mais límpidos nas bordas, indicando uma zonação composicional concêntrica.

O pirocloro é o mineral mais freqüente entre os constituintes menores, apresentando-se, via de regra, como cristais idiomórficos a subidiomórficos, cujas dimensões não excedem 0,2mm. É uma variedade castanho-escura a quase preta que se encontra disseminada na rocha, inclusa nos carbonatos ou intersticial, e associada sobretudo às partes de granulação menor.

Os opacos são abundantes, ocorrendo como cristais subidiomórficos a idiomórficos de até 1,2mm dispersos regularmente na rocha. Alguns dos cristais foram fortemente alterados e substituídos parcial ou totalmente por agregados de óxidos de ferro.

Fotomicrografia 4

Calciocarbonatito com
venulação tardia de Mato
Preto (MPdd/70,0). Feixes de
diminutos cristais aciculares
ou fibrosos, em forma de
plumas ou ramos arranjados
paralelamente ou em
"leques". 10X. Lado maior
1,39mm, filtro azul,
polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 5

Ferrocarnatito de Mato
Preto (MPex-21). Veio
micrométrico de
ferrocarnatito em
calciocarbonatito com
venulação tardia. Observar
cristais de carbonatos
ankeríticos idiomórficos com
exsolução de óxidos
hidratados de ferro nas
bordas e nas clivagens. 5 X.
Lado maior 2,80mm, filtro
azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 6

Ferrocarnatito de Mato
Preto (MPdd/62,2).
Carbonatos ankeríticos
idiomórficos fortemente
alterados com exsolução de
óxidos hidratados de ferro
nas bordas e nas partes
internas. 10X. Lado maior
1,39mm, filtro azul,
polarizadores cruzados.

Entre os produtos de cristalização tardia preenchendo espaços intergranulares e fraturas destacam-se a barita, o fluorcarbonato de terras raras, o quartzo e a fluorita. Barita aparece em quantidades apreciáveis ora integrando uma massa irregular de até 0,6mm de comprimento, ora como agregado fino associado ao quartzo. Fluorcarbonato de terras raras é bastante comum e aparece também com as mesmas características ópticas e texturais daquele mineral descrito anteriormente nos calciocarbonatitos. Já o quartzo e fluorita são raros.

Carbonatitos com veios tardimagmáticos

A mineralogia original de carbonatitos de Mato Preto foi, em parte, modificada e enriquecida geoquimicamente por processos de uma atividade tardimagmática.

Em diversos pontos da área amostrada, os carbonatitos são cortados por pequenos veios com espessuras submilimétricas a centimétricas, cuja composição é variável, podendo ser enriquecida em quartzo, fluorita ou outros minerais.

As rochas mais densamente venuladas possuem coloração esbranquiçada, cinzenta ou caramelo, às vezes com pigmentação ocre ferruginosa. Sua granulação varia de fina a média e freqüentemente apresenta bandamento em virtude da presença de infiltrações múltiplas de veios tardios segundo direções paralelas.

Ao microscópio, essas rochas são muito heterogêneas e apresentam variações mineralógicas e texturais acentuadas, caracterizando assim nas seções delgadas ao menos duas áreas petrograficamente distintas. Numa delas, composta basicamente do carbonatito hospedeiro parcialmente reequilibrado, os carbonatos acham-se freqüentemente recristalizados na forma de grânulos xenomórficos, com dimensões micrométricas a milimétricas. Via de regra, são incolores e límpidos, principalmente os de granulação fina, evidenciando o caráter essencialmente cálcico de sua composição original. A outra área petrográfica corresponde a veios de minerais de granulação média a fina, exibindo geralmente textura hipidiomórfica poiquilítica. Compõe-se de quartzo, fluorita, apatita, barita, fluorcarbonato de terras raras e óxidos de ferro. Entre um veio e outro, no entanto, notam-se amplas variações nas proporções modais desses minerais.

Quartzo tem desenvolvimento poiquilítico, sendo apatita, fluorcarbonato de terras raras e barita as inclusões mais comuns. Forma uma massa opticamente contínua ou agregado fino pavimentoso e ocorre ora como um componente quase

uniminerálico do veio, ora como um componente menor, ora ausente. Ressalte-se sua pequena importância nas amostras estudadas.

A fluorita foi reconhecida em diversas amostras, embora em teores bem menores que o quartzo. Aparece na forma de massa isótropa irregular, incolor e límpida; sua clivagem perfeita pode ser freqüentemente observada. Ressalte-se a existência em Mato Preto de extensas mineralizações de fluorita economicamente em exploração.

A apatita é um constituinte freqüente nesses veios, cujas proporções modais variam de um veio para outro desde praticamente ausente a mais de 90%. Os cristais são incolores e límpidos, porém muitas vezes exibem em sua parte central pequenas inclusões. Apresentam-se em formas idiomórficas e subidiomórficas, com dimensões de até 0,35mm de comprimento, às vezes atingindo 1,0mm. Em alguns casos, os cristais concentram-se em veios finos, justapostos num arranjo em mosaico.

A barita foi reconhecida muitas vezes, geralmente em teores apreciáveis. Ocorre como cristais incolores, de até 0,6mm de comprimento, subidiomórficos, de hábito lamelar, e ainda como um agregado granular fino sempre associado ao quartzo.

Ao lado dos constituintes acima aparecem ainda fluorcarbonatos de terras raras de ocorrência bem mais restrita, quase sempre associados à fluorita ou ao quartzo. Apresentam-se, via de regra, como finíssimos feixes de fibras em arranjo paralelo ou radiado, de dimensões micrométricas. Têm coloração levemente amarelada, relevo e birrefringência moderados a altos e extinção reta. Quase todos os feixes desse mineral exibem em sua parte superficial ou nos espaços intersticiais deposição de óxido de ferro vermelho-escuro ou amarelado.

Os óxidos de ferro ocorrem disseminados nos veios como agregado criptocristalino que se concentra nos interstícios dos minerais ou na sua superfície. São de coloração amarelo-alaranjada, vermelho-sangue e marrom, correspondendo a um conjunto de fases entre as quais provavelmente se incluem a hematita, a goethita e outros derivados da alteração de opacos.

Fenitos e rochas fenitizadas

Em Mato Preto, toda estrutura alcalino-carbonatítica intrusiva, delimitada em mapa, acha-se encaixada em rochas feldspáticas heterogêneas, denominadas coletivamente de "rochas alcalinas indiferenciadas" (Loureiro & Tavares, 1983). Essas rochas representam em planta uma extensão do corpo granítico Três Córregos que adentra metassedimentos pré-cambrianos do Grupo Açungui, modificando em diferentes intensidades sua mineralogia e textura originais.

Todas as seções delgadas examinadas de amostras de superfície e de testemunhos de sondagem (em profundidades de 50,0m, 60,0m, 100,60m e 107,40m) apresentam-se em menor ou maior grau com modificações físicas e químicas. Essas transformações nas rochas graníticas são evidenciadas pela intensa deformação e brechação dos minerais, e conseqüentemente das rochas, e pela ação metassomática de caráter sódico/potássico sobre os minerais traduzida na forma de feldspatização generalizada e cristalização de piroxênio e anfibólio sódicos (Fotomicrografia 8).

As variações petrográficas observadas, no entanto, são completamente irregulares e mudam de intensidade em fração de centímetros, mantendo parte das feições originais ou eliminando-as totalmente. Esse comportamento foi também notado nos fenitos da Barra do Itapirapuã. Mencione-se, entretanto, que em Mato Preto os fenitos e rochas fenitizadas encontram-se em estado avançado de alteração causada tanto por processos endógenos de carbonatização (Fotomicrografia 9) como por processos supérgenos de intemperismo.

Em Mato Preto, algumas das feições mineralógicas e texturais que resultaram dos processos de fenitização foram registradas com todas as suas características. Na parte superficial da área e nos níveis de profundidade ao redor de 107 metros, encontram-se ainda muitos granitos originais deformados em intensidade variada, refletindo ora esforços dúcteis pelas perturbações reticulares dos minerais como, por exemplo, a forte extinção ondulante no quartzo e encurvamento de cristais de plagioclásio geminados e biotitas, ora esforços rúpteis evidenciados pelo microfraturamento generalizado do quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, pela presença de texturas "mortar" em grãos de quartzo ou até mesmo por texturas cataclásticas (Fotomicrografia 10). Nesse caso, nota-se já uma densa rede de veios

Fotomicrografia 7

Ferrocronatito de Mato Preto (MPdd/60,0). Detalhe de carbonato ankerítico muito turvo com deposição de óxido hidratado de ferro concentrando-se ao longo das clivagens. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 8

Rocha granítica fenitizada de Mato Preto (MPex-5). Veios milimétricos preenchidos por anfibólio verde-azulado em agregado de pequenos prismas. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores descruzados.

Fotomicrografia 9

Fenito /s. de Mato Preto (MPdd/50,0). Efeito de processos de carbonatização em fenito com feldspato alcalino límpido de geração metassomática. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

milimétricos de anfibólio e piroxênio que se infiltram ao longo de fraturas e ao redor dos minerais (Fotomicrografia 11 e 12).

Em muitas amostras, os feldspatos originais acham-se alterados e recristalizados em graus diversos. Foram observados relictos de feldspatos de cristalização primária sempre turvos e muito escuros, principalmente nas partes centrais, exibindo abundantes inclusões de minerais de alteração secundária. Geralmente, a geminação e as estruturas pertíticas são pouco nítidas ou desaparecem por completo. As porções remanescentes desse mineral são muitas vezes envolvidas por uma auréola de feldspatos neoformados que se desenvolve em continuidade cristalina com o cristal hospedeiro ou como agregado fino de cristais submilimétricos subidiomórficos a idiomórficos. Ressalte-se que os feldspatos neoformados são, via de regra, límpidos e destituídos de exsolução.

Em alguns casos, os feldspatos aparecem em pequenos veios milimétricos percolando os grãos dos minerais de cristalização primária e mesmo os dos minerais transformados. O quartzo está presente em quantidades variáveis, desde abundante nos granitos menos fenitizados até quase exaurido. Entretanto, não foram notadas rochas metassomáticas completamente transformadas ou mesmo apresentando nefelina em sua composição.

Além dos processos físicos atuantes, as feições texturais e mineralógicas encontradas indicam claramente a ação externa de soluções alcalinas fenitizantes, introduzidas em um sistema granítico aberto por esforços dinâmicos.

Barra do Itapirapuã

Na Barra do Itapirapuã, os carbonatitos formam um sistema de densa rede de filões milimétricos a centimétricos, gerando um verdadeiro stockwork nos níveis superficiais e venulações decimétricas a métricas nas porções mais profundas. Além de rochas carbonatíticas e brechas silicocarbonatíticas, ocorrem no complexo raras brechas lamprofíricas carbonáticas e auréola de fenitização muito bem desenvolvida nos granitos encaixantes, em parte modificada por processos de carbonatização.

Fotomicrografia 10

Rocha granítica fenitizada de Mato Preto (MPex-6). Efeito de esforços rúpteis com microfraturamento de quartzo, feldspato e plagioclásio. Observar veios milimétricos preenchidos por óxidos hidratados de ferro, anfibólio e piroxênio alcalinos. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 11

Rocha granítica fenitizada de Mato Preto. Detalhe da heterogeneidade dos processos de fenitização da amostra MPex-6. Observar texturas cataclásticas e a ação metassomática ao longo de fraturas e entre os grãos minerais microfraturados. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 12

Rocha granítica fenitizada (MPex-5). Efeitos iniciais de fenitização com deformação dúctil de quartzo e rúptil de feldspatos e intensa infiltração de pequenos veios nas fraturas, envolvendo os minerais de origem granítica.

Observar deformação do quartzo setorialmente extinto (extinção ondulante). 10 X.

Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Carbonatitos

Os carbonatitos são de coloração clara e encontram-se freqüentemente pigmentados de rosa em virtude da presença de concentrações elevadas de minerais de terras raras tardios. Exibem granulação média a grossa, sendo, contudo, comuns as variedades finas/médias a muito finas, com aspecto sacaróide, intercalando-se ou mesmo gradando para as primeiras. Veios milimétricos tardios portadores de quartzo, fluorita, apatita rica em terras raras (principalmente synchisita-parisita), barita e estroncianita percolam os carbonatitos e os fenitos encaixantes. Os produtos de alteração mais comuns são hematita e óxidos hidratados de ferro.

Carbonatito de granulação média-grossa

Os carbonatitos que apresentam texturas médias a grossas compõem-se essencialmente de carbonatos dolomíticos e/ou ankeríticos, sendo, assim, denominados magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos, respectivamente.

Ao microscópio, os dois litotipos são similares salvo pelo carbonato bem mais ferruginoso pertencente ao grupo da ankerita e pela maior freqüência de minerais acessórios no segundo. Ambos apresentam textura equigranular a inequigranular (1 a 8mm), xenomórfica a hipidiomórfica, na forma de mosaico ou orientada pelo arranjo de grãos alongados. Compõem-se, via de regra, de dolomita e/ou ankerita e, em menor quantidade, de opacos, apatita, pirocloro e calcita. Os carbonatos são xenomórficos e exibem, com maior freqüência nos ferrocarbonatitos, exsolução de óxido de ferro nas clivagens e bordas dos grãos.

Magnesiocarbonatitos

Os magnesiocarbonatitos constituem o litotipo mais abundante dos testemunhos de sondagem amostrados e procedentes dos diversos alvos perfurados até a profundidade de 256 metros. Predominam largamente nos furos BIT 1, BIT 6 e possivelmente no BIT 3, mas competem, com aparente inferioridade, nos furos BIT 5 e BIT 2, representando cerca de 64% do total das amostras estudadas.

São rochas maciças, de coloração clara, desde branca à acinzentada. Via de regra, apresentam granulação média a grossa, com passagem para níveis mais finos em consequência da presença de intrusões mais rasas cortando os carbonatitos mais

grossos ou, então, em virtude da atividade tardia responsável pela mineralização e mudanças texturais dessas rochas.

Ao microscópio, apresentam textura inequigranular muitas vezes seriada, grossa a média ou média a fina, xenomórfica a hipidiomórfica, na forma de mosaico (Fotomicrografia 13) ou orientada pelo arranjo de carbonatos alongados (Fotomicrografia 14). Compõem-se de dolomita e, em menor quantidade, de ankerita, opacos, pirocloro, apatita, carbonatos de terras raras, quartzo e barita. Em um único caso constatou-se a presença de flogopita.

Os carbonatos dolomíticos ocorrem como cristais xenomórficos e subidiomórficos, equidimensionais e alongados, de até 15mm de diâmetro e alcançando 8mm de comprimento e 3mm de largura. Exibem freqüentemente formas romboédricas e, às vezes, óxido hidratado de ferro exsolvidos ao longo de suas clivagens, indicando ser o ferro um componente químico importante do mineral. Feições de recristalização estão presentes nas partes de granulação mais grossa, acentuando-se nas vizinhanças de infiltrações venulares, seja de material carbonatítico muito fino, seja residual silicático. Ankerita é outro carbonato presente em pequena quantidade como cristais geralmente turvos devido à presença de impregnação de óxido de ferro liberado por alterações diversas.

A flogopita acha-se presente em quantidades significativas apenas em uma amostra (BIT 6 - 170,73). Ocorre disseminada nos carbonatos como cristais ripiformes, com dimensões de até 0,25mm de comprimento. Os cristais são incolores e freqüentemente apresentam sinais de reação magmática nas bordas, com substituições por carbonatos formando auréola de granulação mais fina.

Os minerais opacos ocorrem quase sempre em quantidades pequenas e são representados por magnetita e por sulfetos como pirita, pirrotita etc. Constituem predominantemente grânulos ao redor de 3mm, subidiomórficos a idiomórficos exibindo formas cúbicas. No entanto, acham-se freqüentemente transformados em óxidos hidratados de ferro, como goethita, hematita etc. que se desenvolvem ao redor do cristal hospedeiro em forma de agregados criptocristalinos de coloração vermelho-sangue a amarelada.

A apatita acha-se presente em quantidade variável nessas rochas, sendo escassa quando se dispõe nos interstícios dos grãos ou poiquiliticamente como inclusões

nos carbonatos, e abundante quando relacionada com o quartzo de cristalização residual ou tardia. No primeiro caso, ocorre como pequenos cristais subidiomórficos a xenomórficos, incolores, muitas vezes apresentando as bordas parcialmente assimiladas ou substituídas por carbonatos. No segundo, a apatita aparece como cristais idiomórficos, límpidos, incolores a levemente amarelados, muitas vezes exibindo em sua parte central numerosas inclusões orientadas segundo o alongamento do cristal. Formam prismas curtos de até 0,15mm nas seções basais e 0,4mm nas prismáticas. Em muitos casos, este mineral apresenta zoneamento concêntrico, conferindo aos grãos um bandamento rítmico fino, com alternância de bandas de coloração branca e acinzentada.

O pirocloro foi identificado em apenas algumas lâminas, individualizado ou como inclusões em carbonatos. Em geral, o mineral se apresenta como cristais idiomórficos a subidiomórficos, às vezes na forma cúbica octaédrica perfeita, com dimensões de até 0,25mm. Representa uma variedade de coloração castanho-clara a muito escura e freqüentemente apresenta as bordas em parte corroídas e substituídas por fases carbonáticas (Fotomicrografia 15).

Os fluorcarbonatos de terras raras são constituintes acessórios comuns na maioria das amostras, surgindo como diminutos cristais subidiomórficos (dimensões <0,2mm), de hábito prismático fino e longo, via de regra, fibroso, constituindo feixes de agregados radiados junto aos interstícios dos grãos de carbonatos e geralmente associados ao quartzo e/ou fluorita intersticial. Possuem coloração levemente amarelada, elongação negativa e birrefringência alta, mas apresentam-se quase sempre impregnados por óxidos de ferro como, por exemplo, hematita. As relações texturais indicam claramente que os fluorcarbonatos de terras raras são um produto de cristalização tardia. Mencione-se também que este mineral aparece em concentrações muito elevadas em associações pós-magmáticas, em venulações de origem hidrotermal.

Fluorita, ainda que em pequena quantidade, foi reconhecida em muitas amostras. Aparece preenchendo espaços intergranulares (Fotomicrografia 16), algumas fraturas ou, mais raramente, como cristais isolados. É límpida, incolor, às vezes com manchas fortemente coloridas passando de azul-escuro a levemente lilás.

Fotomicrografia 13

Magnesiocarbonatito de granulação média/grossa da Barra de Itapirapuã (BIT2/72,40). Textura xenomórfica, inequigranular seriada, na forma de mosaico. 2,5 X. Lado maior 5,5mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 14

Magnesiocarbonatito de granulação grossa da Barra de Itapirapuã (BIT 5/256,0). Textura hipidiomórfica orientada, definida pelo arranjo de carbonatos dolomíticos alongados. 2,5 X. Lado maior 5,5mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 15

Magnesiocarbonatito de granulação média/grossa da Barra de Itapirapuã (BIT1/100,72). Pirocloro idiomórfico de coloração castanho-escura. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores descruzados.

O quartzo residual ocorre na grande maioria das amostras preenchendo os espaços vazios intergranulares dos carbonatos e fraturas. É límpido, incolor e forma massa de cristalinidade contínua e cristais grandes, irregulares, incluindo poiquiliticamente fluorcarbonatos de terras raras, hematita, apatita, barita etc., ou forma aglomerado de grãos finos, equidimensionais, xenomórficos em arranjo pavimentoso.

A barita acha-se presente com menor frequência, cristalizando-se como grãos límpidos, xenomórficos a subidiomórficos, com dimensões de até 2,5 mm de comprimento.

Ferrocarbonatitos

Os ferrocarbonatitos aparecem com menor frequência que os magnesiocarbonatitos, representando cerca de 31% do total das amostras de testemunho de sondagem estudadas. São escassos nos furos BIT 1, BIT 3 e BIT 6 mas predominam nos furos BIT 2 e BIT 5.

São rochas maciças, de coloração cinzenta a acastanhada, às vezes com tonalidades róseas, de granulação média com variações a granulação mais fina e sacaróide, cujos grãos de carbonatos variam desde idiomórficos a xenomórficos.

Ao microscópio, observa-se que os ferrocarbonatitos têm textura inequigranular seriada de grossa a fina, xenomórfica a hipidiomórfica, orientada em consequência do arranjo de carbonatos alongados, do alinhamento de minerais opacos e feldspatos, bem como da colocação de venulações finas segundo uma direção preferencial. Consistem essencialmente de ankerita e quantidades menores de dolomita, opacos, pirocloro, apatita, fluorcarbonatos de terras raras, fluorita, barita, além de freqüentes xenocristais de feldspato e produtos de alteração tais como hematita, óxidos hidratados de ferro e argilominerais. Flogopita pode estar presente casualmente.

O carbonato ankerítico é a fase mais abundante dessas rochas, aparecendo como cristais xenomórficos a subidiomórficos, às vezes com seções romboédricas regulares. Forma desde cristais grandes tanto equidimensionais de até 8mm de diâmetro como também alongados com até 15mm de comprimento e 4mm de largura, até cristais pequenos de tamanho inferior a 0,2mm. Estes apresentam-se freqüentemente justapostos uns aos outros de acordo com o alongamento e as dimensões dos grãos, gerando textura orientada, às vezes bandada pela variação

granular em bandas repetidas, ou levemente porfirítica pela concentração aleatória dos cristais menores. Em geral os grãos têm aspecto turvo em função da presença de impregnação de óxidos de ferro, por vezes concentrando-se em quantidade elevada nas clivagens e nas bordas dos cristais, formando assim uma textura em romboedros perfeitos. Já nas vizinhanças do contato com bolsões e venulações de minerais residuais ou tardios observa-se, em algumas amostras, grande quantidade de inclusões de óxido de ferro (hematita/goethita) nas bordas do carbonato, formando verdadeira franja ferruginosa acompanhando a estrutura (Fotomicrografia 17).

O pirocloro é um constituinte acessório abundante em algumas amostras, surgindo como cristais subidiomórficos a idiomórficos com dimensões de até 0,3mm. O mineral exibe coloração predominantemente castanho-escura e evidências de reação de substituição nas bordas e nas fraturas por uma fase carbonática. Em alguns casos, nota-se também a presença de "capas" de tonalidade castanha, quase preta, envolvendo núcleos mais claros desse mineral, indicando provavelmente duas fases de cristalização de composições distintas.

Os opacos estão geralmente presentes em proporções diminutas, na forma de grãos xenomórficos a subidiomórficos incluídos nos carbonatos ou intersticiais. Esses cristais possuem tamanho variável de <0,2mm a 3mm. Pirita e outros sulfetos foram reconhecidos em algumas amostras como grãos com formas regulares, às vezes idiomórficas, e dimensões sempre as mais altas.

A flogopita está presente em raras amostras, aparecendo inclusive em carbonatos e no quartzo residual. O mineral é incolor e forma pequenas lamelas submilimétricas.

A apatita é o mineral mais freqüente entre os constituintes menores, ocorrendo na forma de inclusões em carbonatos e ainda como agregados poligonais nos espaços intersticiais dos minerais. Entre os produtos tipicamente de cristalização residual, ainda que em quantidades restritas, têm-se sobretudo os fluorcarbonatos de terras raras, a hematita, o quartzo, a barita e a fluorita. As características ópticas e texturais desses minerais são idênticas às daqueles descritos nos magnesiocarbonatitos.

Carbonatitos de granulação fina a muito fina

As variedades texturais de granulação fina correspondem a um conjunto de pequenos diques e venulações centimétricas que cortam tanto os carbonatitos de granularidade mais grossa como os diversos fenitos sieníticos encaixantes. A sua composição mineralógica essencial é variável, podendo apresentar predomínio de calcita, dolomita ou ankerita, definindo, assim, os litotipos calciocarbonatitos (caCf), magnesiocarbonatitos (mgCf) e ferrocarbonatitos (feCf), respectivamente.

Calciocarbonatitos finos

Os calciocarbonatitos finos foram encontrados no furo de sondagem BIT 3, em profundidade compreendida entre 35 e 45 metros. Nos testemunhos de sondagem essas rochas ocorrem sob a forma de pequenos veios associados a fraturamentos que atravessam as diversas variedades de granitóides fenitizados e fenitos sieníticos. Somente não foram encontradas em associação com carbonatitos de granulação grossa.

São rochas faneríticas de granulação fina, equigranulares, com aspecto sacaróide e portadoras de cristais de carbonatos, flogopitas e outros minerais máficos de cor esverdeada, provavelmente piroxênio e/ou anfibólio. Têm cor cinzenta, às vezes com tonalidade esbranquiçada, e evidente brilho micáceo devido à concentração apreciável de flogopita.

Ao microscópio, observa-se que os calciocarbonatitos finos apresentam textura equigranular a levemente porfirítica, xenomórfica, na forma de mosaicos poligonais ou de fluxo, esta última definida sobretudo pelo alinhamento de cristais de flogopita prismática e de carbonatos alongados (Fotomicrografia 18). Consistem essencialmente de calcita, quantidades menores de flogopita, piroxênio, anfibólio, titanita, opacos, clorita e fluorita, além de freqüentes xenocristais de escapolita e feldspatos, via de regra apresentando bordas de reação.

O carbonato romboédrico é a fase mais abundante dessa rocha, aparecendo como cristais xenomórficos a subidiomórficos, geralmente equidimensionais, de dimensões variáveis de <0,2 a 0,8mm, com predomínio de valores em torno de 0,3mm. Em geral reúnem-se, algo seletivamente pelo seu tamanho, em agregados de grãos imbricados ou justapostos em contato serrilhado (Fotomicrografia 19), formando bolsões ou pequenas bandas de granularidade mais ou menos distinta.

Fotomicrografia 16

Magnesiocarbonatito de granulação grossa da Barra de Itapirapuã (BIT 6/78,80).

Cristais de carbonato dolomítico envolvidos por massa de fluorita (preta). 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 17

Ferrocarnatito de granulação média/grossa da Barra de Itapirapuã (BIT2/43,28). Franja ferruginosa desenvolvida nas vizinhanças do contato de grãos de carbonato ankerítico com bolsões e venulações de minerais residuais ou tardios. 2,5 X. Lado maior 5,5mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 18

Calciocarbonatito de granulação fina-média da Barra de Itapirapuã (BIT3/35,73). Textura hipidiomórfica a xenomórfica orientada por fluxo, definida pelo alinhamento de cristais de flogopita prismática e de calcitas alongados. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Por vezes, grãos de calcita com dimensões maiores exibem indícios de deformação e recristalização. Assim, cristais bem individualizados, às vezes geminados, se apresentam em parte com extinção ondulante e planos de geminação encurvados e, em parte, como agregados do carbonato finamente cristalizado.

A flogopita constitui o principal mineral máfico dessas rochas, aparecendo como cristais idiomórficos a subidiomórficos de coloração levemente amarelada, com X incolor, Y amarelo pálido e Z amarelo-acastanhado ($X < Y \leq Z$). Em geral, o mineral é abundante sobretudo nos bolsões ou bandas de grãos menores onde predominam indivíduos isolados, perfeitamente orientados, em prismas bem alongados com até 0,20mm de comprimento (Fotomicrografia 18). Nas partes de granularidade mais desenvolvida, a flogopita está presente como pequenas inclusões em calcitas (<0,3mm) ou ainda individualizadas, quando então exibem as maiores dimensões, de até 0,6mm (Fotomicrografia 19).

O piroxênio acha-se representado por uma variedade incolor, ocorrendo como cristais subidiomórficos a xenomórficos de contornos arredondados, com dimensões variáveis entre 0,05 a 0,35mm. Frequentemente apresentam sinais visíveis de reações de carbonatização nas bordas dos grãos e ao longo de fraturas, com a formação de agregado carbonático muito fino. Os valores determinados para $Z\Lambda c$ situam-se ao redor de 33° , e $2V_Z$ foi estimado em torno de 60° . As características ópticas indicam tratar-se de uma variedade diopsídica.

O anfibólio é um componente freqüente, surgindo como cristais subidiomórficos a xenomórficos isolados, ou ainda crescendo junto às bordas de piroxênio, às vezes ocupando quase todo o cristal, restando dele apenas pequenos relictos circundados pelo mineral neoformado. Em geral, os cristais são incolores e límpidos, com dimensões ao redor de 0,2mm. As propriedades ópticas ($Z\Lambda c \sim 16^\circ$; birregringência em torno de 0,02; e $2V_X \sim 80^\circ$) se aproximam de Na-tremolita-richterita.

A titanita é um constituinte acessório abundante, aparecendo como cristais dispersos isoladamente na rocha. O mineral é incolor ou colorido em tonalidades castanho-claras a algo amarelo-esverdeadas, subidiomórfico a idiomórfico, com dimensões de até 0,2mm.

Os opacos são comuns, ocorrendo como grãos isolados, subidiomórficos, com dimensões variando entre 0,03 a 0,4mm.

Como produto secundário, provavelmente de origem deutérica, tem-se sobretudo a clorita, aparecendo subordinadamente a fluorita. A clorita ocorre geralmente como aglomerados de pequenos cristais subidiomórficos a xenomórficos, incolores a levemente esverdeados, preenchendo os espaços intergranulares. A fluorita é pouco freqüente nessas rochas, surgindo como um componente isolado, preenchendo fraturas e espaços intergranulares. É incolor, às vezes com tonalidade levemente lilás.

Ao lado dos constituintes acima, ocorrem ainda alguns minerais que são estranhos à composição dessas rochas, e que parecem constituir xenocristais antes que uma fase de cristalização primária pertencente à própria paragênese do carbonatito. Trata-se das escapolitas e dos feldspatos alcalino e plagioclásio.

Os xenocristais de escapolitas estão distribuídos irregularmente e em quantidades muito variadas nas lâminas observadas, exibindo dimensões compreendidas entre 0,2 e 0,9mm. Os cristais são subidiomórficos a xenomórficos e, via de regra, apresentam sinais visíveis de reação magmática nas bordas, freqüentemente com uma auréola envolvente na qual é possível distinguir-se mineralogicamente duas bandas: uma interna, que se desenvolveu com a recristalização parcial da própria escapolita, nas partes mais periféricas, em outro mineral de relevo e birrefringência bem mais baixos que mantém a continuidade cristalina do mineral; e outra banda mais externa que reúne agregados criptocristalinos nos quais se podem reconhecer sobretudo carbonato e, às vezes, epidoto (Fotomicrografia 20).

Os xenocristais de feldspatos alcalino e plagioclásio são também comuns, ainda que a sua concentração seja inferior à dos descritos acima. Em geral, esses feldspatos são praticamente idênticos aos encontrados nos granitóides fenitizados e fenitos da zona de contato com os carbonatitos. Os xenocristais de plagioclásio apresentam evidências de reabsorção e carbonatização em suas bordas corroídas, e ligeira recristalização com modificação da composição mais internamente. Assim, núcleos de plagioclásio sódico-cálcico (andesina, An_{~38}), polissinteticamente geminados, subidiomórficos a xenomórficos e pouco alterados, são freqüentemente contornados por bordas límpidas, mais sódicas, neoformadas (albita?), com auréola de granulação muito fina composta principalmente de carbonatos. Já os xenocristais de feldspatos alcalinos são límpidos e geralmente destituídos de inclusões e de

Fotomicrografia 19

Calciocarbonatito de granulação fina-média da Barra de Itapirapuã (BIT3/35,73). Detalhe da textura anterior nas áreas de granularidade mais desenvolvida, com destaque para os grãos de calcita, imbricados ou justapostos em contato serrilhado. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 20

Calciocarbonatito de granulação fina-média da Barra de Itapirapuã (BIT 3/44,68). Xenocristal de escapolita exibindo uma auréola envolvente onde é possível distinguir-se duas bandas: uma interna, que se desenvolveu com recristalização parcial do mineral em continuidade cristalina; outra mais externa, que reúne agregado criptocristalino de carbonatos, epídoto e possivelmente outros minerais. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 21

Magnesiocarbonatito de granulação fina da Barra de Itapirapuã (BIT 6/20,00). Textura xenomórfica, inequigranular seriada, na forma de mosaico. Observar os grãos imbricados em contato serrilhado. 2,5 X. Lado maior 5,5mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

geminação. Os indivíduos apresentam formas angulosas e texturas de reequilíbrio e de reação magmática nas bordas, porém comumente com desenvolvimento de uma auréola muito pouco pronunciada.

Magnesiocarbonatitos finos

Os magnesiocarbonatitos finos têm uma distribuição espacial relativamente ampla, ainda que volumetricamente sejam pouco expressivos. São descritos nos furos BIT5 (intervalo entre 85 e 95m) e BIT 6 (entre 18 e 30m; 135 e 145m), cujos testemunhos de sondagem de litotipos diversos se apresentam freqüentemente com mineralizações de terras raras, fluorita e galena. Formam veios de possança diversa, geralmente centimétrica, que atravessam principalmente os carbonatitos de textura média-grossa e composição também dolomítica.

Macroscopicamente, apresentam coloração cinzenta, branca ou creme, aspecto cristalino maciço de granulação média a muito fina e textura sacaróide. Não raro, as variedades muito finas são portadoras de pequenas cavidades arredondadas parcialmente revestidas de minerais secundários, com até 3 mm de diâmetro.

Microscopicamente, os magnesiocarbonatitos finos são rochas de texturas xenomórficas a subidiomórficas, que variam desde equigranulares, com granulação muito fina a fina (dimensões entre $<0,02$ e $0,3\text{mm}$), passando a texturas francamente porfíricas até inequigranulares com granulação seriada desde fina a média (dimensões variáveis de $0,2$ a $1,3\text{mm}$), às vezes formando bandamento granular (Fotomicrografia 21). Compõem-se essencialmente de dolomita, tendo como acessórios abundantes quantidades de apatita, pseudomorfos de titanita (?) e raros opacos, além de fluorita e quartzo.

Dolomita é o carbonato de dominância quase absoluta nestas rochas, associando-se, quando muito, a pequenas proporções de variedades ankeríticas ou estroncianitas de estágio tardio. Em geral, ocorre como cristais xenomórficos a subidiomórficos, eqüidimensionais, de granulometria submilimétrica, justapostos em arranjo pavimentoso, ou então alongados e orientados definindo, juntamente com o bandamento granular, uma estrutura de fluxo. No entanto, em rochas porfíricas, a dolomita exhibe feições texturais bem distintas e aparece tanto na forma de fenocristais como na matriz (Fotomicrografia 22). Os fenocristais de dolomita são subidiomórficos a xenomórficos, muitas vezes arredondados, com dimensões de até

0,3mm. Na matriz, os cristais do carbonato são prismas muito longos e finos, tipicamente ripiformes, porém de contornos irregulares, dispostos aleatoriamente ou formando agregados radiais (Fotomicrografia 23). Suas dimensões são muito variadas, com valores compreendidos entre 0,01 e 0,05mm de largura e 0,05 e 1,0mm de comprimento.

Apatita constitui o acessório mais importante dessas rochas, às vezes presente em quantidades expressivas. Aparece em todas as amostras, seja como indivíduo isolado compondo a massa granular das rochas, seja como fenocristal e constituinte da matriz de rochas porfiríticas, ou ainda como agregados em veios e bolsões de fluorita. Em geral, ocorre nas rochas como cristais subidiomórficos a idiomórficos de dimensões variáveis ($<0,1\text{mm}$), na forma de inclusões em carbonatos e de cristais dispersos isoladamente. Nas rochas porfiríticas, os fenocristais de apatita são muito bem desenvolvidos, surgindo como cristais geralmente idiomórficos em secções hexagonais ou prismáticas, com dimensões entre 0,4 e 1,0mm de comprimento, alcançando até 1,5mm (Fotomicrografia 24). Na matriz, os cristais desse mineral são bem menores, idiomórficos a subidiomórficos, com dimensões de até 0,07mm de diâmetro na secção basal. Por outro lado, apatita é também descrita como aglomerado de cristais prismáticos idiomórficos a subidiomórficos dispostos em arranjo paralelo ou em leque, ocorrendo normalmente associado à fluorita e de forma subordinada, à hematita.

Opacos ocorrem subordinadamente nessas rochas, geralmente disseminados como grãos xenomórficos pequenos de até 0,3mm. Em geral, encontram-se pseudomorfizados para hidróxidos diversos. Por outro lado, titanita está praticamente ausente, exceto por alguns pseudomorfos do cristal totalmente substituído por outro mineral.

Quartzo aparece em todas as amostras, sendo muito abundante nas rochas porfiríticas. Em geral, ocorre como veios milimétricos que se infiltram nos demais minerais ou integram uma massa irregular, moldando cristais de carbonato e sobretudo apatita, freqüentemente ocasionando recristalização nas bordas desses minerais. Por vezes esses veios apresentam bordas de reação e deformações reticulares, quando em contato com fluorita.

Fotomicrografia 22

Magnesiocarbonatito de granulação fina da Barra de Itapirapuã (BIT 5/87,35). Textura levemente porfirítica com fenocristais xenomórficos de carbonato em matriz fina de carbonato dolomítico nitidamente ripiforme de contornos irregulares. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 23

Magnesiocarbonatito de granulação fina da Barra de Itapirapuã (BIT 5/87,35). Detalhe da matriz fina da mesma amostra anterior, que constitui essencialmente de carbonato dolomítico formando agregados de ripas dispostas aleatoriamente e radialmente. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 24

Magnesiocarbonatito de granulação fina da Barra de Itapirapuã (BIT 5/90,40). Fenocristal idiomórfico de apatita em matriz de carbonato dolomítico xenomórfico. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fluorita é muito freqüente nas rochas inequigranulares seriadas, surgindo como venulações finas ou preenchendo os espaços intergranulares. Via de regra é incolor, salvo por pequenas manchas de cor azul escura a lilás.

Outro constituinte importante dessas rochas, de origem indubitavelmente tardia, associado às infiltrações de quartzo, é um mineral que aparece como pequenos cristais de dimensões ao redor de 0,01mm, idiomórficos, em seções quadradas a bipiramidais com pinacóide basal, incolores a levemente amarelados, de birrefringência baixa ($\sim 0,010$).

Ferrocarbonatitos finos

Os ferrocarbonatitos finos têm pequena representatividade na Barra do Itapirapuã, ocorrendo aparentemente somente no furo BIT 5 em estruturas venulares localizadas em profundidades compreendidas entre os intervalos de 170 a 180m e 200 a 210m. Formam venulações de possança variável, de espessura aparente desde centimétrica até métrica, que atravessam os ferrocarbonatitos de textura grossa ou fenitos encaixantes.

Essas rochas têm cor branca, tendendo a tonalidades acinzentadas ou creme. A textura é granular, média a fina, maciça, com cristais de carbonatos geralmente anedrais arranjados de forma a conferir-lhes aspecto sacaróide.

Ao microscópio, apresentam textura xenomórfica inequigranular, caracterizada por cristais de carbonatos dispostos em mosaicos poligonais. Compõem-se de uma associação mineralógica formada de carbonato ankerítico e, subordinadamente, de pirocloro, flogopita, apatita, opacos, além de minerais tardimagmáticos como hematita, fluorita e fluorcarbonatos de terras raras, e xenocristais de feldspatos.

Ankerita é o carbonato mais importante formador dos ferrocarbonatitos. Ocorrem geralmente como cristais xenomórficos, equidimensionais, de granulometria variando entre 0,3 a 0,9mm, com valor mais freqüente em torno de 0,8mm, podendo, em alguns casos, alcançar 1,5 mm.

Pirocloro é o constituinte acessório mais abundante; ocorre na forma de inclusões em carbonato ou como pequenos cristais isolados, dispersos na rocha. Os cristais são incolores a levemente castanho-amarelados, subidiomórficos a idiomórficos, de hábito octaédrico, com dimensões em torno de 0,05mm (Fotomicrografia 25). Em

alguns casos, exibem sinais visíveis de substituições nas bordas, com uma auréola parcial envolvente em continuidade cristalina, de caráter óptico similar a carbonatos. Às vezes pseudomorfos de pirocloro são também observados completamente substituídos por carbonatos.

Flogopita é outro acessório importante dessas rochas. Os cristais são subidiomórficos a idiomórficos em seções prismáticas, com dimensões máximas de 0,05mm de largura e 0,2mm de comprimento. Em geral aparece como grãos inclusos em carbonatos, isolados ou, mais raramente, em aglomerados de cristais muito finos e aciculares. Representa uma variedade geralmente incolor ou fracamente pleocróica, com tonalidades levemente esverdeadas, e birrefringência sempre elevada. Em alguns casos, os cristais maiores apresentam texturas de reações magmáticas nas bordas, com uma auréola envolvente de granulação muito fina e aproximadamente 0,015mm de largura (Fotomicrografia 26).

Minerais opacos, provavelmente magnetita e sulfetos, além de apatita, são os outros constituintes acessórios dessas rochas.

Como produto de atividade tardimagmática tem-se ainda a presença de fluorita preenchendo fraturas e espaços intergranulares. Fluorcarbonatos de terras raras são também encontrados em feixes de agregados de plumas ou fibras muito finas dispostas em paralelo ou de forma radiada nos interstícios minerais. Apresentam-se comumente manchados com pigmentação de óxido de ferro. Hematita aparece disseminada na lâmina como manchas ou como agregados irregulares, constituindo provavelmente pseudomorfos de opacos.

Xenocristais de feldspato alcalino ocorrem com freqüência nessas rochas. Aparecem como cristais irregulares de até 1,5mm. Em geral os grãos são turvos em sua parte central e contêm inclusões de carbonatos e argilominerais, possuindo bordas límpidas mais sódicas e neoformadas, recristalizadas em continuidade cristalina com o núcleo ou em agregado de granulação muito fina envolvendo o cristal.

Carbonatitos com venulações tardias

Uma das feições mais distintas e que prontamente desperta a atenção é a intensidade de uma atividade tardimagmática e/ou hidrotermal, responsável por fortes modificações não somente da textura das rochas como também da mineralogia, com enriquecimento em minerais como quartzo, fluorcarbonatos de terras raras ("synchisita – parisita"), fluorita, barita, apatita e galena.

No geral, os carbonatitos formados durante o evento magmático da Barra de Itapirapuã sofreram, em intensidades variáveis, a ação de fluidos de baixa temperatura que se manifestaram por meio de infiltrações em pequenos veios milimétricos, principalmente ao longo de fraturas ou entre os grãos minerais segundo as mais variadas direções. As rochas mais atingidas por esses fenômenos exibem coloração cinza-rósea a cinza-azulada com pigmentação ferruginosa, textura inequigranular e densa venulação de material fino e de espessura e direção diversas.

O estudo microscópico desse material evidencia variações texturais e mineralógicas acentuadas, com passagem gradativa de bandas mais grossas para mais finas decorrentes de processos de recristalização de minerais carbonatos originais, principalmente nas vizinhanças dos veios enriquecidos em quartzo, fluorita e minerais de terras raras.

São os carbonatos os minerais mais importantes dessa rocha. Apresentam-se na forma de grânulos xenomórficos, coexistindo desde megacristais mostrando clivagens romboédricas até uma massa fina carbonática de cristais neoformados. Os megacristais constituem grânulos límpidos com dimensões entre 2 e 5mm, exibindo, contudo, ao longo de suas clivagens, hidróxidos de ferro exsolvidos formando uma textura em grade perfeitamente romboédrica ou então uma densa massa interdigitada com o carbonato. Já os carbonatos de granulação mais fina exibem dimensões ao redor de 0,07mm, clivagens bem menos desenvolvidas e enorme quantidade de hidróxido de ferro envolvendo os grãos, constituindo uma verdadeira moldura ferruginosa sobre esse mineral.

Os opacos ocorrem em pequena quantidade tendo em vista que a maioria deles sofreu transformação para hematita, goethita e óxidos hidratados de ferro. A hematita é o principal produto de transformação e constitui um agregado

criptocristalino que se desenvolve ao redor dos opacos ou então, como no caso mais geral, substitui inteiramente o hospedeiro, mantendo, no entanto, a forma original do cristal. Sua coloração é vermelho-sangue escura a vermelho-amarelada, exibindo fraco pleocroísmo. Em geral, não se trata de um agregado homogêneo de hematita mas sim de uma mistura desse mineral com goethita e possivelmente outros minerais.

O quartzo tem desenvolvimento poiquilítico, sendo apatita, fluorita e fluorcarbonatos de terras raras as inclusões mais comuns. Forma cristais grandes, irregulares e ocorre em quantidades modais variáveis, ora como um componente mineralógico principal (mais de 60% do veio) ora como um componente menor (inferior a 10%).

A fluorita é um mineral comum que se espalha como material de enchimento, às vezes ocupando a maior parte do veio. Cristais isolados são raros e, quando ocorre, suas dimensões não ultrapassam 0,1mm. São incolores e límpidos; contudo; principalmente nas vizinhanças de minerais de terras raras, freqüentemente exibem coloração violácea com tonalidades desde claras até muito escuras. Sua clivagem perfeita geralmente pode ser observada.

A apatita ocorre em quantidades variáveis disseminadas ao longo dos veios. São incolores e apresentam ocasionalmente núcleos turvos levemente alterados. Constituem, na maior parte, formas idiomórficas e subidiomórficas com dimensões ao redor de 0,32mm de altura nas seções prismáticas, e de 0,08mm de diâmetro nas basais. Por vezes, cristais de apatita acham-se concentrados em quantidades elevadas em finos veios e justapostos, formando verdadeiro mosaico (Fotomicrografia 27). Em muitos casos, este mineral apresenta zoneamento perfeitamente concêntrico, conferindo aos grãos um bandamento rítmico fino, com alternância de bandas de coloração branca e acinzentada (Fotomicrografia 28). O mineral tem birrefringência baixa, porém alguns exemplos mostraram valores mais elevados. Nesse caso, esse comportamento é atribuído a altas concentrações de elementos terras raras presentes no mineral, detectadas em análises por microsonda eletrônica.

Os fluorcarbonatos de terras raras ocorrem em quantidades apreciáveis e constituem o mineral mais notável desses veios. Apresentam-se, na maioria das vezes, na forma de fibras alongadas e plumas de certa forma isorientadas que se

Fotomicrografia 25

Ferrocarnatito de granulação fina da Barra de Itapirapuã (BIT 5/172,0). Pirocloro idiomórfico de coloração levemente castanho-amarelado incluso em carbonato ankerítico. 40 X. Lado maior 0,345mm, filtro azul, polarizadores descruzados.

Fotomicrografia 26

Ferrocarnatito de granulação fina da Barra de Itapirapuã (BIT 5/172,0). Flogopita inclusa em carbonato ankerítico exibindo na borda textura de assimilação. 40 X. Lado maior 0,345mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 27

Ferrocarnatito de granulação média/grossa com venulação tardia da Barra de Itapirapuã (BIT 6/6,80). Vênula preenchida por apatita exibindo núcleos turvos levemente alterados. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

concentram em feixes de agregado de fibras, orientadas de modo paralelo ou radiado (Fotomicrografias 29 e 30). Suas dimensões variam de acordo com a forma em que se apresentam. Os agregados reúnem fibras da ordem de 0,13mm, com o conjunto ocupando áreas de até 0,30mm de comprimento e 0,06mm de largura (Fotomicrografia 31); já as fibras isoladas, com diâmetro ao redor de 0,04mm, chegam a atingir comprimento de até 0,40mm. Os cristais são límpidos, incolores com tonalidades amareladas e apresentam relevo e birrefringência altos, próximos aos dos carbonatos. Têm extinção reta e elongação negativa. Essas características ópticas e a composição química do mineral obtida por microsonda eletrônica correspondem à fluorcarbonato do tipo synchisita e parisita. A fotomicrografia 43 (imagem de elétrons secundários, no capítulo química mineral) mostra com nitidez a presença dessas duas fases intercrescidas em "fingerprint", uma cinza-escura e outra esbranquiçada.

A barita é um mineral que se faz presente em quantidades menores que os demais tardios. Mostra-se geralmente na forma lamelar como cristais de dimensões não superiores a 0,1mm, e, por vezes, como agregado granular reunindo grânulos com diâmetros variando ao redor de 0,03mm.

Fenitos e rochas fenitizadas

Na Barra do Itapirapuã, a fenitização ocorrida junto aos granitóides encaixantes pode ser registrada em seus diferentes estágios de desenvolvimento, desde incipiente até avançado, com presença de rochas como granito alcalino fenitizado (am. BIT 1/205,45; BIT 3/20,80), quartzo sienito (BIT 1/116,80) e variedades quase inteiramente transformadas, os sienitos alcalinos (BIT 1/202,45). No entanto, não se consegue delimitar geograficamente essas variações petrográficas na superfície e nem mesmo em profundidade. As transformações mineralógicas e texturais são muito irregulares e mudam espacialmente de lugar em frações de centímetros, ora mantendo as feições da rocha original ora eliminando-as quase integralmente. Essas variações provavelmente são devidas à geologia do complexo, o qual aflora como "stockworks" de filões e filonetes de carbonatitos de composição diversa, antes que numa massa carbonatítica contínua, de grande porte. Além disso, as evidências parecem indicar que os processos de fenitização atuaram de forma similar em níveis diversos, mantendo assim o mesmo padrão de variação com a

Fotomicrografia 28

Ferrocarnatito de granulação média/grossa com venulação tardia da Barra de Itapirapuã (BIT 6/6,80). Veio preenchido por quartzo e apatita límpida exibindo zoneamento perfeitamente concêntrico em bandamento rítmico fino, com alternância de bandas branca e acinzentada. Observar franja ferruginosa no contato do veio com o carbonato ankerítico. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 29

Ferrocarnatito de granulação média/grossa com venulação tardia da Barra de Itapirapuã (BIT 2/75,65). Veio preenchido por quartzo e abundante fluorcarbonato de terras raras; este na forma de fibras alongadas e concentradas em feixes, geralmente impregnados por óxidos hidratados de ferro. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 30

Magnesiocarnatito de granulação média/grossa com venulação tardia da Barra de Itapirapuã (BIT 5/150,0). Veio preenchido por quartzo, fluorita idiomórfica (preta) e fluorcarbonato de terras raras. Observar o arranjo fibro-radiado deste último mineral. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

profundidade, conforme observado em testemunhos de sondagem de cinco perfurações, profundos até 200 metros.

Características petrográficas

Os fenitos e rochas fenitizadas ocupam toda a região superficial da estrutura intrusiva, cobrindo tanto o plug carbonatítico principal como também as chaminés laterais e os diversos níveis de profundidade até ao menos 200 metros. Eles possuem granulação variável de grossa a média ou mais fina, e coloração predominantemente rosa com áreas esbranquiçadas. A sua cor acha-se em parte condicionada à intensidade dos processos de fenitização e à frequência de infiltrações de delgados veios carbonatíticos ao longo de fraturas.

Ao microscópio, os fenitos e rochas fenitizadas apresentam textura xenomórfica equigranular a inequigranular e uma associação mineralógica essencial formada de feldspatos alcalinos, plagioclásio e quartzo, em proporções diversas, podendo variar de termos graníticos, ricos em quartzo, passando por quartzo sienitos, a termos sieníticos muito pobres neste mineral. Em quantidades subordinadas ocorrem, em ordem decrescente de abundância, piroxênio egirínico, anfibólio (hornblenda e variedades cálcico-sódicas), biotita, opacos, titanita, apatita e allanita.

Os feldspatos alcalinos são os constituintes mais abundantes dessas rochas, aparecendo nas variedades petrográficas como cristais xenomórficos de dimensões muito variáveis. Em geral acham-se mais ou menos alterados em sua parte central e com pronunciada recristalização nas bordas. Assim, as porções remanescentes dos cristais de geração primitiva são turvas e exibem nuvens de inclusões de minerais de alteração secundária, além de geminação e estruturas pertíticas pouco distintas (Fotomicrografia 32). Já os feldspatos alcalinos neoformados formam agregados associados a relictos feldspáticos primitivos, quer ocupando as suas bordas corroídas quer crescendo ao longo de fraturas (Fotomicrografia 33). Os cristais são geralmente pequenos, com fração de milímetro, subidiomórficos a idiomórficos, de extrema limpidez e desprovidos de exsolução. Em geral encontram-se geminados segundo a lei da albita ou de Carlsbad (Fotomicrografia 34).

O plagioclásio está presente em quantidades muito variadas, desde abundante nos granitóides menos fenitizados até como mineral traço ou mesmo exaurido nos sienitos fenitos. Nas amostras em que aparece em maiores quantidades, o

Fotomicrografia 31

Magnesiocarbonatito de granulação média/grossa com venulação tardia da Barra de Itapirapuã (BIT 5/150,0). Detalhe do fluorcarbonato de terras raras da fotomicrografia anterior. Observar forma de fibras bem desenvolvidas, algo prismáticas concentradas em arranjo radiado como "leque". 40 X. Lado maior 0,345mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 32

Fenito l.s. da Barra de Itapirapuã (BIT 5/30,0). Feldspato alcalino granítico turvo entre agregado muito fino de feldspatos neoformados límpidos. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 33

Fenito l.s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/8,50). Venulações diminutas preenchidas por agregado muito fino de feldspato alcalino corta megacristal de feldspato alcalino granítico. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

plagioclásio ocorre como grãos subidiomórficos mais ou menos alongados (tabulares), geminados polissinteticamente e praticamente sem zonação. Em alguns casos, os indivíduos estão fraturados e deformados, exibindo microfraturas que atravessam o mineral (Fotomicrografia 35). As composições verificadas ao microscópio apontam para a presença de oligoclásio. São cristais de cristalização primária, geralmente sericitizados em grau diverso e turvos (Fotomicrografias 36 e 37). Nas demais, quando se acha presente em concentrações menores, o plagioclásio está em sua periferia fortemente substituído por feldspato alcalino límpido, de origem metassomática. Os cristais do plagioclásio primário constituem relictos irregulares, intensamente sericitizados, inclusos em feldspatos alcalinos neoformados. Geralmente são muito turvos, impedindo, assim, a distinção de feições ópticas do mineral, como, por exemplo, geminação. Já os feldspatos alcalinos neoformados, de granulação fina, são límpidos e às vezes geminados segundo a lei Albita.

O quartzo acha-se presente em muitas das amostras examinadas, embora a sua frequência seja progressivamente reduzida até seu desaparecimento em alguns sienitos. Em geral o quartzo exibe comportamento heterogêneo em diferentes amostras, mostrando-se praticamente "inalterado", exceto pela forte extinção ondulante em algumas delas, e parcialmente transformado em agregado de piroxênio alcalino em outras rochas fenitizadas mais intensamente (Fotomicrografias 38 e 39).

O piroxênio egirínico ocorre invariavelmente em todas as amostras examinadas e geralmente possui concentrações apreciáveis. Via de regra esse mineral ocorre segundo formas distintas, ora como agregado isorientado de cristais prismáticos preenchendo pequenos veios milimétricos que se infiltram nos demais minerais segundo direções as mais variadas (Fotomicrografia 40) ora como pequenos cristais fibrosos ou prismáticos com terminações agudas substituindo o quartzo nas suas bordas corroídas (Fotomicrografia 38), ou então, menos comumente, como cristais idiomórficos a subidiomórficos intersticiais (Fotomicrografia 41). Em geral, o piroxênio tem características ópticas de egirina-augita; sua cor é variável, passando de verde-pálido a amarelo-esverdeado, e o pleocroísmo é fraco. Estruturas zonadas são pouco comuns e, quando presentes, exibem manchas mais claras no interior dos cristais.

Fotomicrografia 34

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/8,50).
Agregado de feldspato alcalino neoformado, límpido e geminado segundo a lei albita, encontra-se associado a feldspato granítico turvo. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 35

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/6,40).
Plagioclásio intensamente fraturado e deformado exibindo nas bordas agregado feldspático fino parcialmente transformado. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 36

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/8,50).
Plagioclásio granítico com setores turvos ou nebulosos parcialmente transformado envolvido em parte por agregado fino de feldspato alcalino límpido. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 37

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 3/85,0). Relíctos de plagioclásio turvo, sericitizado e carbonatizado, envolvidos parcialmente por feldspato alcalino límpido neoformado. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 38

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/44,50). Piroxênios prismáticos com terminações agudas substituindo cristais de quartzo. Observar as extremidades dos cristais fortemente oxidadas. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores descruzados.

Fotomicrografia 39

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/6,40). Venulações finas preenchidas por piroxênio alcalino bastante oxidado cortam um grão de quartzo. 10 X. Lado maior 1,39 mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

O anfibólio é um componente geralmente restrito, aparecendo em algumas amostras na forma de pequenos prismas individuais ou substituindo parcialmente o piroxênio egirínico (Fotomicrografia 42). É uma variedade de cor verde-clara a verde-azulada, às vezes apresentando cor de interferência anômala (azul-anil), provavelmente pertencente ao grupo de anfibólio quando muito cálcico-sódico.

A biotita ocorre com maior frequência nos granitóides fenitizados. É fortemente colorida, passando de amarelo-palha a castanho-escuro, e apresenta-se como pequenos cristais subidiomórficos a xenomórficos.

Os opacos aparecem como grãos xenomórficos a subidiomórficos quase sempre parcial ou inteiramente alterados. Assim, devido à alteração por processos de hidratação, esses minerais imprimem à rocha cores amareladas ou pardacentas. Os produtos de alteração resultantes correspondem a uma massa criptocristalina em que se pode reconhecer sobretudo hematita e goethita.

Além desses minerais, em algumas amostras ocorrem carbonatos que se apresentam como constituintes isolados, preenchendo fraturas e espaços intergranulares, ou ainda como massa irregular. Nos contatos entre esses veios e massas de carbonatos, ocorrem sempre transformações mineralógicas como carbonatação de piroxênios e feldspatos e hidratação de opacos.

Fotomicrografia 40

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/9,50).
 Estágio avançado de transformação. Concentração elevada de feldspato alcalino neoformado (límpido e geminado) e de piroxênio alcalino bem desenvolvido. Observar plagioclásio granítico parcialmente turvo transformado. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 41

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/44,50).
 Piroxênio alcalino prismático e bem desenvolvido se cristaliza em vênulas e entre cristais de agregado de Feldspato alcalino neoformado. 5 X. Lado maior 2,80mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

Fotomicrografia 42

Fenito /s. da Barra de Itapirapuã (BIT 2/26,78).
 Anfibólio (cor de interferência anômala) substitui cristais de piroxênio alcalino dispostos entre grãos de Feldspato alcalino neoformado e plagioclásio granítico turvo parcialmente transformado. 10 X. Lado maior 1,39mm, filtro azul, polarizadores cruzados.

CAPÍTULO V

QUÍMICA MINERAL

As principais características composicionais dos minerais que compõem os carbonatitos e os fenitos l.s. de Mato Preto e da Barra do Itapirapuã são discutidas à luz de informações químicas obtidas com base em análises de microsonda eletrônica.

Cabe mencionar que os estudos sobre a química mineral foram concentrados mais nas rochas da associação carbonatítica da Barra do Itapirapuã cujas amostras encontram-se em condições bem mais favoráveis para os estudos microanalíticos do que aquelas de Mato Preto. Conforme mencionado em capítulos anteriores, as rochas dos locais acessíveis para amostragem (afloramentos e perfuração) em Mato Preto são fortemente alteradas pela ação intempérica da região, além dos fenitos (l.s.) terem sido afetadas por processos de carbonatização durante a intrusão dos carbonatitos.

As poucas amostras de fenitos (l.s.) e de carbonatitos com venulações tardias mais adequadas para esse fim eram restritas em tamanho e apresentaram problemas de ordem textural, dificultando ou mesmo impossibilitando os trabalhos analíticos, como, por exemplo, a ocorrência dos fluorcarbonatos de terras raras nos veios tardios com dimensões finíssimas (aciculares) imersos poiquiliticamente no quartzo ou na fluorita. Desse modo, os estudos da química mineral dos fenitos e de venulações tardias de Mato Preto foram excluídos deste capítulo, sendo aqui apresentados apenas os resultados pormenorizados dos carbonatos dos calciocarbonatitos e ferrocarbonatitos.

Foram investigados os carbonatos, apatitas e fluorcarbonatos de terras raras de carbonatitos com e sem venulações, bem como os feldspatos, piroxênios, anfibólios e biotitas de fenitos (l.s.) encaixantes. Nos casos em que os cristais de uma fase mineral apresentaram relativa homogeneidade química, os resultados listados nas tabelas mostram um número reduzido de análises, enquanto que dos minerais que exibiram zoneamentos composicionais, têm-se uma quantidade muito maior. Os resultados são sempre endereçados segundo a variedade petrográfica, a amostra, o mineral e o setor do grão analisado, central e periférico.

Mato Preto

Carbonatitos

Os carbonatitos de Mato Preto apresentam cores claras, por vezes castanho-escuras, sugerindo a presença de fases magmáticas mais enriquecidas em ferro. A textura mais comum é granular média, xenomórfica, reconhecendo-se também variedades finas, de cristalização mais superficial. Veios milimétricos tardios preenchidos por quartzo, fluorita (incolor e roxa), barita e minerais de terras raras se infiltram tanto nas rochas carbonatíticas como em suas encaixantes. Os produtos de alteração mais freqüentes são hematita, óxidos hidratados de ferro e argilominerais.

As informações químicas de rocha indicam dois tipos bem definidos, os calciocarbonatitos que constituem a maior parte dos afloramentos e testemunhos de sondagem, e os ferrocarbonatitos.

Foram analisados com auxílio da microsonda eletrônica os carbonatos de cerca de 20 amostras de calciocarbonatitos e veios de ferrocarbonatito de superfície e de sondagem.

Carbonatos

Os carbonatos romboédricos constituem a fase mineral mais importante de todos os carbonatitos estudados, ocupando mais de 95% do volume modal das rochas. Ocorrem na forma de cristais xenomórficos a subidiomórficos, com granulação muito variável de submilimétrica milimétrica, por vezes centimétrica. Os cristais maiores freqüentemente apresentam evidências de deformações reticulares e recristalização. São geralmente límpidos, sem geminação e totalmente desprovidos de feições de exsolução. Em alguns casos apresentam-se bastante turvos em virtude da presença de exsolução de óxido de ferro ao longo das clivagens e nas bordas dos grãos.

As análises químicas dos elementos maiores e alguns menores (SrO e BaO) são apresentadas nas tabelas (1a, 1b e 2), nas quais constam também as fórmulas estruturais calculadas na base de dois cátions e a razão Mg/Fe^{2+} , esta última para ankeritas. Os dados químicos foram tratados em diagramas de fase triangular e de variação (binários simples) representados nas Figuras (5 e 6).

A nomenclatura adotada para os carbonatos ferromagnesianos segue a sugestão dada por Deer et al. (1992), que limita o campo da ankerita em $Mg/Fe \geq 4,0$ e o da dolomita em $Mg/Fe < 4,0$.

A Figura (5) apresenta a tendência composicional dos carbonatos romboédricos das rochas carbonatíticas de Mato Preto. A grande maioria dos carbonatos se concentra junto ao vértice de Ca correspondendo a carbonatos essencialmente cálcicos, de composição homogênea e muito restrita. Uma parcela menor deles distribui-se segundo uma pequena curva inclinada para o vértice $\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}$ que corresponde a carbonatos ferromagnesianos que possuem variações composicionais relativamente amplas não somente nos conteúdos de Ca como também nas razões Mg/Fe^{2+} . Apenas dois casos situaram-se próximos à linha Ca - Mg.

Figura 5 – Diagrama Ca- $\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}$ -Mg para carbonatos de carbonatitos de Mato Preto. Simbologia das amostras analisadas: *carbonatitos sem venulações tardias* - MP28A,B,C,C1 ▲ , MP22 e 22A △, MP11A,A1 □ , MP16 ■ , MP18 + , MP30A,D1,D2,E ◆ , MP27A × ; *carbonatitos com venulações tardias* – MP29C,D ● , MP21 ●.

Os carbonatos cálcicos constituem a parte essencial da grande maioria dos carbonatitos de Mato Preto. São calcitas de composição quase pura apresentando, contudo, variações sensíveis nos teores dos elementos menores (Tabelas 1a e 1b). Essas variações podem ser também visualizadas nos diagrama da Figura 6. Os teores de SrO possuem uma discreta correlação negativa com os de CaO (53 a 49%), oscilando regularmente desde valores extremamente baixos (<0,02%) até bastante elevados (2,5%). Já as concentrações em BaO são bem mais baixas, com variações entre 0,01 e <0,6%. Os teores de (FeO + MnO) e MgO mantêm-se muitas vezes elevados, porém variam de 0 a 3% e de 0 a 1%, respectivamente.

Figura 6 – Diagramas (linear-log) de variação usando elementos menores vs. CaO para calcitas de calciocarbonatitos com e sem venulações tardias de Mato Preto, PR. Símbolos como na Figura 5.

No geral, verifica-se que existem variações composicionais tanto entre as distintas amostras como também numa mesma amostra, entre grãos diferenciados ou ainda dentro de um mesmo grão. Em alguns casos essas variações foram registradas entre grãos de tamanhos distintos em rocha inequigranular seriada, exibindo bandamento granular. Cite-se como exemplo a amostra MP28C onde os carbonatos romboédricos possuem concentrações de SrO baixas na banda grossa e elevada na

fina, com valores de 0,44 a 0,65 (an. 25n a 30b) e de 0,71 a 1,73 (an. 31n a 39n), respectivamente. FeO e MgO seguem a mesma tendência de aumentar nos carbonatos da banda fina e MnO a de diminuir, enquanto CaO oscila em função das variações dos elementos mencionados.

Zoneamento composicional está freqüentemente presente nas calcitas da grande maioria das amostras estudadas, ainda que muitas vezes de maneira discreta. Em geral a variação segue uma tendência definida pela diminuição em SrO e pelo aumento em FeO, MnO e MgO do núcleo para a borda do cristal. Como notável exemplo mencione-se uma fase exibindo variações do centro para a borda de 5,1 a 0,2% em SrO, 0,33 a 0,42% em MnO, 0,9 a 1,64% em FeO, 0,6 a 1,04% em MgO e de 47 a 51% em CaO (MP28B, 33n e 34b). O zoneamento pode, no entanto, apresentar tendências químicas contrárias à esta descrita ou até mesmo aleatórias com relação aos elementos envolvidos. Casos como estes podem ser reconhecidos em grão de calcita com o centro possuindo teores de SrO, MnO, FeO e MgO mais elevados do que os da periferia (MP30D1, 88n e 89b), ou então variando, no mesmo sentido, exatamente ao contrário (MP30D2, 6n e 7b). Ressalte-se que, em quaisquer casos, a concentração de CaO pode aumentar ou diminuir do centro para a periferia conforme as variações totais dos demais óxidos na estrutura mineral.

O comportamento dos elementos analisados na estrutura da calcita evidencia claramente que diversos elementos, como Sr, Ba, Fe^{2+} , Mn e Mg, podem substituir Ca em porcentagens limitadas, conforme preconizado em Deer et al. (1992).

Os carbonatos ferromagnesianos analisados constituem o componente mineral essencial de venulações milimétricas de ferrocarbonatitos (e possivelmente magnesiocarbonatitos) de granulação fina que se infiltram nos calciocarbonatitos segundo direções diversas. Formam dois grupos composicionais bem distintos, tendo em vista a razão Mg/Fe^{2+} como parâmetro de distinção entre os membros ferruginosos e magnesianos: o grupo da ankerita e o da dolomita (Tabelas 2).

As ankeritas apresentam variações composicionais bastante amplas (Fig. 5). São caracterizadas por um pronunciado enriquecimento em FeO (10,4 a 20,5%), MnO (1,1 a 4,2%) e mais discretamente em MgO (6,93 a 11,1%), em detrimento dos teores de CaO (27,9 a 32,7%). Os teores em SrO e BaO são, via de regra, baixos, com os valores compreendidos nos intervalos de 0,18 a 0,48% e de 0 a 0,16%, respectivamente (Tab. 2). Zoneamento composicional também está presente nos

cristais de ankerita, sendo definido, do núcleo para a borda, pela diminuição dos teores em SrO, MgO e CaO e pelo aumento em MnO e FeO (ex. MP21: 49n e 50b). Em alguns casos os cristais estão modificados por processos tardios e apresentam forte deposição de exsolução de óxido de ferro ao longo das clivagens, restando núcleos de carbonato moldados por espessa malha ferruginosa com forma romboédrica perfeita. Cite-se como exemplo a amostra MP18 (36n a 47n, Tabela 1a) na qual os núcleos carbonáticos possuem composições calcíticas caracterizadas por concentrações muito baixas de SrO (< 0,1%), BaO (< 0,15%), MnO (< 0,35) e MgO (< 0,7%) e fortes variações nas de FeO (0,6 a 7,5%).

A dolomita, por sua vez, foi detectada em um finíssimo veio cortando variedade de calciocarbonatito, tendo sido consideradas tão somente duas análises (MP22: 34n e 39n, Tabela 2). Esse carbonato possui aparentemente composição bastante restrita, caracterizada por concentrações muito baixas em SrO (< 0,11%) e BaO (< 0,1%) e relativamente elevadas em MnO (0,96 e 0,49%) e FeO (2,47 e 2,17%), além de MgO (16,9 e 17,9%) e CaO (32,7 e 32,2%).

Barra do Itapirapuã

Carbonatitos

Os carbonatitos da Barra do Itapirapuã são de coloração clara e freqüentemente pigmentados de rosa devido à presença de concentrações elevadas de minerais de terras raras tardios. Exibem granulação média a grossa, sendo contudo comuns as variedades finas/médias a muito finas, com aspecto sacaróide intercalando-se ou mesmo gradando para as primeiras.

Veios milimétricos tardios, portadores de quartzo, fluorita, apatita rica em terras raras, minerais (principalmente fluorcarbonatos) de terras raras, barita e estroncianita percolam os carbonatitos e os fenitos encaixantes. Os produtos de alteração mais comuns são hematita e óxidos hidratados de ferro.

As rochas de granulação média a grossa são quimicamente magnesiocarbonatitos (MgCm) e ferrocarbonatitos (FeCm). As rochas de granulação fina a muito fina são, por sua vez, quimicamente calciocarbonatitos (CaCf), magnesiocarbonatitos (MgCf) e ferrocarbonatitos (FeCf). Com exceção dos ferrocarbonatitos de granulação fina, foram analisados não somente os carbonatos de praticamente todas as variedades

petrográficas, como também as apatitas e os fluorcarbonatos de terras raras dos veios tardimagmáticos.

Carbonatos

Os carbonatos constituem a parte essencial de todas as variedades petrográficas dos carbonatitos estudados. Nas variedades de granulação grossa ocorrem como cristais xenomórficos e subidiomórficos, equidimensionais e alongados, exibindo freqüentemente formas romboédricas regulares e às vezes óxido hidratado de ferro exsolvidos ao longo de suas clivagens. São límpidos nas fases minerais mais magnesianas e turvos nas ankeríticas em função da presença de impregnação de óxido de ferro liberado por alteração intempérica ou tardia.

Nas variedades finas, os carbonatos são representados por microfenocristais e cristais constituintes da matriz e geralmente aparecem na forma granular xenomórfica algo arredondada e subidiomórfica, salvo aqueles na matriz de alguns magnesiocarbonatitos que exibem formas prismáticas longas e tipicamente ripiformes, em arranjo desde irregular a levemente radiado. Em nenhum caso foram observadas estruturas de exsolução de dolomita em hospede de calcita.

As análises por microsonda eletrônica representativas dos carbonatos estão representadas nas Tabelas 3 a 6, nas quais constam também as fórmulas estruturais calculadas na base de dois cátions e as razões Mg/Fe. Os dados químicos dos carbonatos foram locados no diagrama de fase triangular Ca-Mg-Fe₁+Mn da Figura 7 cujos extremos representam os membros finais dos principais minerais estudados, e em outros diagramas de variação binários simples representados na Figura 8.

No diagrama da Figura 7, os pontos representativos dos carbonatos dos diversos litotipos estudados se distribuem predominantemente em um "trend" paralelo ao lado Mg – (Fe²⁺+Mn) enquanto uma porção reduzida se concentra junto ao vértice do Ca. Os primeiros são carbonatos ferromagnesianos exibindo teores de Ca bastante constantes e variações contínuas e muito amplas na razão Mg/Fe. Os segundos são carbonatos cálcicos extremamente homogêneos e de composição bastante restrita.

Os carbonatos ferromagnesianos podem ser subdivididos em dois grupos composicionais, tomando-se a razão Mg/Fe como parâmetro de distinção (Deer et al., 1992): o das dolomititas e o das ankeritas (Tabelas 3 a 6; Figura 8). Essa distinção é feita, em verdade, sobretudo por conveniência de se separar um intervalo composicional muito extenso de toda uma "série mineral contínua" que se estende,

devido à substituição do Mg por Fe, desde uma composição $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, passando pela ankerita $(\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2)$, até $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$.

Figura 7 – Diagrama Ca- $\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}$ -Mg para carbonatos da suíte carbonatítica da Barra de Itapirapuã. Simbologia das diferentes litologias: *rochas de textura grossa* – magnésiocarbonatito sem venulações ▲ e com venulações tardias ●, ferrocarbonatitos sem venulações ◆, com venulações tardias ◐; *rochas de granulação fina* – cálcioarbonatitos □, magnésiocarbonatitos △.

A notável extensão composicional desses minerais na Barra do Itapirapuã torna-se evidenciada no diagrama Mg/Fe vs. CaO (Figura 8(a)), no qual se observa uma tendência evolutiva no sentido das rochas mais diferenciadas (ferruginosas), de um pronunciado e gradativo enriquecimento em Fe_t em detrimento dos teores de Mg, e

oscilações quase imperceptíveis de CaO, sem que apresente qualquer hiato (*gap*) composicional.

No geral, praticamente todas as variedades petrográficas de magnesiocarbonatitos e de ferrocarbonatitos são constituídas pelos dois termos minerais em proporções relativas variáveis, com incremento gradativo em ankerita e um decréscimo na quantidade de dolomita a qual vai, por sua vez, se tornando quimicamente mais enriquecida em FeO_t . Os magnesiocarbonatitos de granulação fina foram as únicas variedades que apresentaram apenas uma fase carbonática ferromagnesiana ainda que representando uma dolomita de composição bastante ampla, com Mg/Fe^{2+} variando de termos extremamente magnesianos (100 a 10) até aqueles próximos à ankerita (10 a 4,5).

Os conteúdos em MnO nos carbonatos variam bastante, apresentando correlação nitidamente negativa com Mg/Fe^{2+} (Figura 8(b)). Os teores mais elevados são os das dolomitas e ankeritas dos ferrocarbonatitos diversos (MnO entre 1 e 7%), seguindo-se os magnesiocarbonatitos de granulação grossa com e sem venulações tardias (MnO < 1 a 4%). Os teores mais baixos são os das dolomitas dos magnesiocarbonatitos de granulação fina (MnO < 0,1 a 1,8%).

Ressaltam-se também os teores relativamente elevados de até 2,3% de SrO presentes nestes carbonatos, à exceção de um grão de dolomita ($\text{Mg}/\text{Fe}^{2+} = 7,7$) em ferrocarbonatito sem venulações tardias com 7,3% desse elemento (Tabela 5). Nos diagramas da Figura 8(c) há forte correlação positiva do SrO com Mg/Fe^{2+} em dolomitas e ankeritas de todas as variedades dos magnesiocarbonatitos de granulação grossa e nas dos ferrocarbonatitos com venulações tardias; enquanto os ferrocarbonatitos sem veios tardimagmáticos e os magnesiocarbonatitos de granulação fina não evidenciam quaisquer correspondência entre esses elementos. Mencione-se que neste último litotipo, as dolomitas de uma das amostra (BIT 5/90,4) possuem os mais baixos teores de estrôncio (SrO entre <0,1 e 0,25%) entre os carbonatos ferromagnesianos estudados, exceto daquelas da BIT 6/30,0 com valores bem mais elevados (SrO entre 1,0 e 2,0%) e comparáveis aos dos demais da série.

Figura 8 – Diagramas de variação composicional dos carbonatos ferromagnesianos da suíte carbonatítica da Barra de Itapirapuã. Símbolos como na Figura 7.

Os diversos litotipos estudados apresentam freqüentemente carbonatos ferromagnesianos zonados (Tabelas 3 a 6). Via de regra são zoneamentos composicionais “normais”, com incremento nos conteúdos de FeO_t , MnO e CaO e diminuição nos de MgO e SrO dos núcleos para as bordas dos cristais, como por exemplo, as variações registradas em um grão de dolomita (BIT 2/110,6: an. 11, núcleo e 12, borda) de um magnesiocarbonatito de granulação grossa. O zoneamento dos carbonatos pode apresentar tendências químicas invertidas, com enriquecimento desses elementos nas bordas dos cristais, como ilustrado pelas análises em perfil em um cristal de dolomita (BIT 5/90,4: an. de 14 a 17) de um magnesiocarbonatito de textura fina. Ressalte-se que CaO acompanhou FeO e MnO no primeiro caso e MgO e SrO, no segundo. Nestes dois casos, SrO mostra-se aparentemente enriquecido em relação a CaO. Essas variações sugerem a existência de dois tipos de substituições que envolvem os elementos, de acordo com o seguinte esquema: $CaMg \leftrightarrow FeMn$ e $Ca \leftrightarrow Sr$.

Os carbonatos cálcicos ocorrem tão somente nos calciocarbonatitos de granulação fina, constituindo uma fase mineral de dominância absoluta nestas rochas. São

calcitas de composição extremamente homogênea e restrita (Tabela 3a), caracterizadas pelos conteúdos elevados de CaO (54 a 58%) e muito baixos de MgO (<0,6%), FeO_t (<0,3%), MnO (<0,1%) e SrO (<0,22%). Ressalte-se que estes carbonatos são os que possuem as concentrações mais baixas de SrO em relação às demais variedades carbonáticas de quaisquer outros litotipos estudados, encontrando paralelo apenas em dolomitas do magnesiocarbonatito de granulação fina mencionado acima (BIT 5/90,4). Feições de exsolução de dolomita em calcita não foram registradas em quaisquer cristais das amostras examinadas.

Carbonatos de Ca, Sr e Ba (?), provavelmente estroncianita - alstonita, foram encontrados como pequenas inclusões em dolomitas de magnésio e ferrocarbonatitos de granulação grossa sem venulações tardias (am. BIT 3/72,2 e BIT 5/190,0), com teores de SrO de 33,4% (CaO de 16,14%) e de 26,0% (CaO de 29,1%), respectivamente.

Apatita

A apatita está presente em quantidade variável nos diversos carbonatitos estudados, sendo escassa quando se dispõe nos interstícios dos grãos dos minerais ou poiquiliticamente como inclusões nos carbonatos, e abundante em alguns magnesiocarbonatitos finos nos quais ocorre compondo a massa granular ou como fenocristais, microfenocristais e membros da matriz e relacionada ao quartzo de cristalização residual ou tardia.

No primeiro caso, ocorre como pequenos grãos subidiomórficos a xenomórficos, límpidos e com as bordas parcialmente substituídas por carbonatos. Nos demais casos a apatita ocorre preferencialmente como cristais idiomórficos a subidiomórficos, límpidos ou levemente turvos nas partes centrais e setorialmente nas bordas, muitas vezes exibindo numerosas inclusões orientadas segundo o alongamento do cristal. Em geral formam prismas curtos de faces laterais angulosas, raramente paralelas. Em muitos casos, o mineral apresenta zoneamento perfeitamente concêntrico conferindo aos grãos um bandamento rítmico fino, com alternância de bandas claras e acinzentadas.

Com vistas à caracterização química desse mineral e a uma melhor compreensão do comportamento geoquímico dos elementos nas rochas, procedeu-se à análise não só dos elementos principais como também de alguns elementos terras raras (La, Ce, Nd e Sm) em cerca de 40 cristais de apatita de magnesiocarbonatito de granulação

grossa e fina e de ferrocarbonatitos com venulações tardias, perfazendo assim mais de 100 determinações. As análises químicas encontram-se dispostas na Tabela 7 bem como as fórmulas estruturais calculadas com base de dez cátions obtidas com auxílio do programa MINPET.

As apatitas dos carbonatitos da Barra de Itapirapuã apresentam uma variação química muito importante entre as distintas variedades petrográficas como também entre os diversos cristais de um mesmo litotipo (Figura 9(a)). São apatitas com flúor (F de 0,9 a 1,35%) e flúor-apatitas (F de 2,2 a 3,4%).

As apatitas com flúor ocorrem nos magnesiocarbonatitos de granulação fina e grossa sem venulações tardias e caracterizam-se principalmente pelos teores relativamente baixos de SrO (0,25 a 0,5%) e de totais de elementos terras raras (La + Ce + Nd + Sm) variando de 0,36 a 0,68% (Figura 9(b)). Ressalte-se que nos magnesiocarbonatitos finos as apatitas com flúor apresentam as concentrações de ETR um tanto mais elevadas do que as das demais variedades petrográficas.

Figura 9 – Diagramas de variação composicional de apatitas de carbonatitos da Barra de Itapirapuã. Simbologia das diferentes amostras: *magnesiocarbonatito fino* - BIT5/90,4 + ; *magnesiocarbonatito médio/grosso* - BIT6/141,6 ▲ , BIT6/170,7 ◆ ; *ferrocarbonatito médio/grosso com venulações tardias*, BIT5/130,0 ● , BIT5/210 ▼ , BIT2/115,0 ■ e BIT6/6,80 ■ .

As flúor-apatitas estão presentes nos ferrocarbonatitos com venulações tardias e em um magnesiocarbonatito de granulação grossa inalterado (BIT 6/170,7). São caracterizadas por grandes variações nos teores de SrO e nos totais de elementos terras raras, com valores quase sempre elevados, oscilando de 0,7 a 2,6% e de 0,4 a 2,2%, respectivamente (Figura 9(b)). Ressalte-se que as concentrações mais

elevadas foram registradas exclusivamente em flúor-apatitas de alguns dos ferrocarbonatitos estudados.

As zonações composicionais correspondem muitas vezes a um aumento das concentrações em SrO, La₂O₃, Ce₂O₃, Nd₂O₃ e Sm₂O₃ associado a uma diminuição em CaO do núcleo para as bordas dos cristais. As maiores variações nos teores são registradas em flúor-apatitas zonadas de ferrocarbonatitos com venulações tardias (ex. BIT 5/130,0: 11b, 12b e 13n), enquanto as menores e mais discretas são em apatitas com flúor de magnesiocarbonatitos (ex. BIT 6/170,7: 5n e 5b). O zoneamento das apatitas podem, no entanto, apresentar tendências químicas inversas à descrita, como verificado em alguns cristais zonados de flúor-apatita de ferrocarbonatitos venulados (ex. BIT 5/210,7: 8b e 9n), com diminuição dos teores de SrO e ETR e aumento de CaO do núcleo para as bordas. Mencione-se que neste caso as variações são aparentemente mais suaves.

Nota-se, portanto, que as principais variações registradas envolvem trocas catiônicas entre Sr, ETR, Ca e certamente P, além de outros elementos não analisados neste estudo. Segundo Hogarth et al. (1985), o equilíbrio das cargas iônicas na estrutura de apatitas pode ser mantido pelos seguintes esquemas de substituição:

Nas apatitas dos carbonatitos da Barra do Itapirapuã Sr e ETR substituem Ca e P em proporções distintas, aumentando dos magnesiocarbonatitos de granulação grossa aos de granulação fina, até os ferrocarbonatitos com venulações tardias.

As concentrações em SrO e elementos terras raras nessas apatitas são bem mais elevadas do que aquelas obtidas para Anitápolis (Furtado, 1989) e Jacupiranga (Gaspar, 1989) e mais baixas relativamente às de Gatineau (Hogarth et al., 1985).

Fluorcarbonatos de terras raras

Os fluorcarbonatos de terras raras são acessórios comuns na maioria dos carbonatitos estudados, aparecendo predominantemente como cristais subidiomórficos de hábito prismático fino e longo, via de regra fibroso, que se concentram em feixes de fibras orientadas de modo paralelo ou radiado junto aos interstícios dos grãos de carbonatos.

Nos veios tardimagmáticos ocorrem em quantidades apreciáveis e constituem a fase mineral mais notável tanto pelo seu hábito como pelas dimensões bem desenvolvidas, geralmente associada ao quartzo e/ou fluorita. São lípidos, incolores a levemente amarelados, encontrando-se, contudo, freqüentemente impregnados por óxidos de ferro, como a hematita.

As imagens de elétrons secundários obtidas com auxílio de microsonda eletrônica (microscopia de varredura) evidenciam pelo menos duas fases quimicamente distintas e aparentemente intercrescidas, uma cinza escura e outra esbranquiçada (Fotomicrografia 43).

Fotomicrografia 43

Fluorcarbonatos de terras raras em feixes de agregados de fibras orientadas de modo radiado. Imagem de elétrons secundários mostrando duas fases minerais intercrescidas.

Com o objetivo de caracterizar quimicamente essas fases minerais, foram executadas análises com microsonda em pontos dispersos localizados nos cristais maiores de três amostras de carbonatitos fortemente venulados, apresentando quantidades elevadas desses minerais. Os dados químicos encontram-se dispostos na Tabela 8.

Os resultados analíticos revelam grandes variações nos teores em CaO (1 a 21%) e F (7,5 a 2,9%) entre os cristais distintos dos agregados e dentro de uma mesma amostra. As Figuras 10 (a,b,c,d) mostram as variações de F, SrO e totais de elementos terras raras (ΣTR_2O_3) em função de CaO nos diversos cristais. Há uma forte correlação negativa entre F, SrO e ΣTR_2O_3 com CaO (Figura 10(a,b,d)), enquanto SrO e ΣTR_2O_3 exibem correlação positiva (Figura 10(c)). As fases minerais mais pobres em CaO, por exemplo, apresentam os teores mais altos de ΣTR_2O_3 (50 a 70%), SrO (até 2,5%) e F (5 a 7,5%). Notam-se, no entanto, hiatos na

seqüência entre os termos extremos quanto aos teores de CaO e F. Em verdade, a existência desses hiatos poderia ser interpretada como resultado do pequeno número de análises efetuadas antes que de um *gap* composicional.

As tendências químicas desses elementos parecem sugerir uma série mineral com substituições contínuas envolvendo aqueles elementos e certamente outros não analisados.

Esses fluorcarbonatos de terras raras devem provavelmente se tratar de synchisita – parisita, dependendo de estudo de difratometria de raios X para uma confirmação precisa. Os termos apresentando CaO intermediário são composicionalmente comparáveis à synchisita – parisita descrita nos carbonatitos de Gatineau (Hogarth et al., 1985).

Figura 10 – Diagramas de variação composicional de fluorcarbonatos de terras raras de carbonatitos da Barra de Itapirapuã. Simbologia das diferentes amostras: magnésiocarbonatito com venulações - BIT5/61,20 $\diamond$; ferrocarbonatitos com venulações tardias - BIT5/130,0 $\bullet$, BIT3/142,0 $\odot$.

Fenitos

Os fenitos e rochas fenitizadas da Barra de Itapirapuã são representados por granitos fenitizados e sienitos com mais e menos quartzo. Cinco amostras dessas rochas foram selecionadas como representativas de diferentes intensidades de fenitização para análise de seus principais minerais: feldspatos e piroxênios, além de, em proporções bem inferiores, anfibólios e biotitas.

Feldspatos

Os feldspatos são os constituintes mais abundantes de todo o conjunto de fenitos e rochas fenitizadas (fenitos l.s.) estudado na Barra do Itapirapuã. Em todas as amostras acham-se representados por feldspato alcalino, estando os plagioclásios ($An_{>5}$) praticamente ausentes. Via de regra, distinguem-se duas gerações: a primeira, representada por cristais parcialmente alterados, turvos, exibindo geminação e estrutura pertítica pouco nítida; e a segunda geração, por feldspatos neoformados, límpidos, homogêneos, às vezes geminados e de granulação fina.

As análises químicas dos feldspatos acham-se reunidas na Tabela 9, nas quais constam também as proporções catiônicas calculadas na base de 32 átomos de oxigênio e as proporções moleculares dos componentes ortoclásio (Or), anortita (An) e albita (Ab). Os resultados obtidos foram representados no diagrama clássico Ab – An – Or da Figura 11.

Os feldspatos dos fenitos l.s. apresentam geralmente composições bastante definidas e variáveis dentro de intervalos mais ou menos restritos (Figura 11). São praticamente todos feldspatos alcalinos da série potássica e sódica correspondendo às fases ortoclásio/microclínio e albita, à exceção de alguns poucos cristais encontrados em uma variedade fenito sienítica (BIT 2/62,7) que possuem An entre 21 e 23% e correspondem a um oligoclásio da série plagioclásio (Tabela 9).

Os feldspatos da série potássica de primeira geração apresentam, via de regra, estruturas pertíticas bem desenvolvidas e pobres em Na_2O , com a parte hospedeira geralmente de composição $Or_{>90}$ enquanto o hóspede representa uma albita quase pura com $Ab_{>95}$.

Entre os feldspatos potássicos neoformados distinguem-se duas formas texturais de ocorrência e de composição aparentemente distintas. Numa delas, esse mineral aparece tipicamente como auréola límpida que se desenvolve em continuidade

cristalina ao redor de grãos de feldspatos pertíticos primários, fortemente alterados e turvos, a qual possui composição bem mais albítica, como por exemplo pertita turva com $Or_{93-96}An_0Ab_{7-4}$ exibindo borda límpida neoformada com $Or_{80}An_2Ab_{18}$ (am. BIT2/62,7: análises 19 e 20, área turva; 8 e 9, borda límpida). Na outra forma textural, o feldspato neoformado constitui agregado de pequenos cristais extremamente límpidos que se concentram entre os grãos maiores de feldspatos turvos primários, em fraturas e em massas irregulares, de composição homogênea e alto conteúdo de K_2O , como, por exemplo, os diminutos cristais com variações ao redor de $Or_{98}Ab_2$ da amostra BIT 2/8,50 (análises 36 a 38).

Os feldspatos da série sódica de primeira geração aparecem como cristais individualizados entre os demais feldspatos, geminados segundo Albita e fortemente alterados. São albitas que se caracterizam por apresentar teores muito baixos em CaO ($An < 5\%$), com $Or_{<15}Ab_{>85}$. A albita neoformada, por sua vez, quer em auréola límpida ao redor de núcleos turvos de grão primário quer na forma de pequenos cristais individuais de agregados concentrados em fraturas ou massa irregular, tem composição extremamente sódica, como, por exemplo, centro turvo com $Or_{6,2}An_{2,8}Ab_{91}$ e borda límpida com $Or_{0,8}An_{1,7}Ab_{97,4}$ (Am. BIT 2/62,7; análises 31 e 30, respectivamente). Em alguns casos foram também registrados relictos turvos de feldspato potássico com $Or_{93,7}An_0Ab_{6,3}$ envolvidos por auréolas límpidas de albita com $Or_{1,0}An_{0,2}Ab_{98,8}$ (am. BIT 2/95,5; an. 13 e 14, respectivamente).

Os resultados químicos acima expostos evidenciam claramente dois tipos de transformações metassomáticas alcalinas. Um deles deve-se à maior participação do sódio no processo de fenitização resultando na albitização generalizada de feldspatos potássicos como também na recristalização dos próprios feldspatos sódicos. Como esperado, esse processo foi observado naqueles fenitos I.s. com razão $K_2O:Na_2O < 1,0$. O metassomatismo potássico, por sua vez, desenvolveu-se amplamente nas rochas resultando essencialmente na feldspatização potássica de feldspatos pertíticos como também nas albita/oligoclásios e pode ser melhor observado naquelas rochas cuja razão $K_2O:Na_2O$ é maior que a unidade. Ressalte-se que tanto o sódio como o potássio, de alguma forma, teve importante participação nos dois processos registrados.

Figura 11 – Variação composicional dos feldspatos das rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Simbologia das amostras analisadas: BIT2/8,50 ▲ ; BIT2/9,50 △; BIT2/26,8 ●; BIT2/62,7 + ; BIT2/95,5 ▼; BIT3/85,0 ×.

Piroxênios

As análises químicas mais representativas de elementos maiores e menores dos piroxênios são fornecidas na Tabela 10. Delas constam também as fórmulas estruturais calculadas com base de seis átomos de oxigênio e quatro cátions e a porcentagem dos componentes moleculares obtidas com o auxílio do programa MINPET (Richard, 1995).

As determinações das proporções de Fe^{2+} e Fe^{3+} foram feitas com base na equação de balanço de carga (Papike et al., 1974). Para o cálculo das concentrações dos componentes moleculares foi considerado o método de Cawthorn and Collerson (1974).

A nomenclatura adotada para os piroxênios e os procedimentos considerados para a distribuição catiônica segundo posições estruturais seguem as recomendações da Subcomissão de Piroxênios da International Mineralogical Association – IMA (Morimoto, 1989). A fórmula estrutural geral dos piroxênios pode ser expressa como $\text{M2M1T}_2\text{O}_6$, onde **M2** corresponde aos cátions em coordenação octaédrica com arranjo irregular, **M1** aos cátions em coordenação octaédrica regular e **T** aos cátions em coordenação tetraédrica.

A Figura 12 destaca a variação composicional relativamente restrita desses minerais que se distribuem junto à faixa Jd $\ll 10\%$ no intervalo abrangendo apenas os domínios dos piroxênios sódicos e cálcico-sódicos. São todos egirinas e egirina-augitas, estes porém sempre com alto teores de sódio (Na_2O de 7,6 a 11,4%). Os egirinas são encontrados predominantemente junto aos fenitos l.s. com razões $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ alta (2,5 – am. BIT 2/8,50) e baixa (0,12 – am. BIT 2/26,8), enquanto os egirina-augitas associam-se principalmente aos demais que apresentam razões em torno da unidade.

Observam-se também variações sensíveis nos teores dos elementos tanto de amostra para amostra como dentro de uma mesma amostra, sobretudo dos correspondentes aos componentes dos vértices Ae (Na e Fe^{3+}) e WEF (Ca, Mg e Fe^{2+}) com desenvolvimento das duas fases minerais. As mudanças iônicas são regulares e compreendem toda a extensão do campo de variação da egirina e parte do campo pertencente à egirina-augita. A transição dos termos mais cálcicos de egirina-augita até alcançar as variedades de egirina praticamente pura é marcada por sucessivas trocas iônicas, com declínio em MgO e CaO sucedido de aumento

em Na_2O e Fe_2O_3 (Tabela 10). Ressalte-se que o TiO_2 acompanha em razão direta o Na_2O enquanto o MnO o faz de maneira inversa. O SiO_2 mantém-se alto e praticamente constante em toda a seqüência mineral, enquanto o Al_2O_3 exibe teores muito baixos nos termos enriquecidos em CaO e praticamente desprezíveis nos egirínicos.

Figura 12 – Distribuição dos piroxênios das rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã no diagrama Jd-WEF-Ae (Morimoto, 1989). Simbologia como na Figura 11.

Quanto às variações iônicas junto às posições estruturais desses minerais (Tabela 10), o Si mostra invariavelmente teores altos, ainda alguns dos dados analíticos sejam considerados um tanto sobrelevados. Os sítios tetraédricos T são ocupados apenas por Si na grande maioria dos casos; muito raramente $^{\text{IV}}\text{Al}$ compensa deficiências estruturais, porém sempre irrelevantes. Assim, todo Ti, Mg, Fe^{2+} , Fe^{3+} e Al estão alocados nos sítios octaédricos **M1** enquanto que Ca, Mn e Na ocupam a posição **M2**.

Nas Figuras 13 (a,b,c) o total de Ti, Na e Fe^{3+} apresenta perfeita correlação negativa com total de Mg e Ca nas egrina-augitas e com $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ nas egrinas e egrina-augitas mais sódicas; nestes últimos o Ti exibe correlação positiva com o Na (Figura 13(b)). As evidências sugerem que a substituição de Ca, Mg e Fe^{2+} é compensada, ao menos em parte, pela entrada de Fe^{3+} e Ti na posição **M1** e de Na na posição **M2**.

Figura 13- Diagramas de variação composicional de piroxênios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Simbologia como na Figura 11.

Nos termos mais cálcicos predominam as substituições $\text{Ca}(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) \Leftrightarrow \text{Na}+\text{Fe}^{3+}$, com maior participação do Ca do que de Mg (razão de declínio $\text{CaO}:\text{MgO} \approx 2,5:1$; Figura 14). Já nos mais sódicos tem-se preferencialmente $(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) \Leftrightarrow \text{Na}+\text{Fe}^{3+}$ e $(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) \Leftrightarrow \text{Na}+\text{Ti}$.

As trocas iônicas se fazem de maneira contínua, partindo-se de composições bem mais complexas que se tornam cada vez mais simples nos termos finais mais sódicos da série, quando o Na praticamente sozinho ocupa a posição **M2**, enquanto o Fe^{3+} e Ti ocupam a posição **M1**. Nessa seqüência, o componente molecular teórico egrina está sempre presente e aumenta progressivamente no sentido dos termos mais sódicos, compensando os componentes de Ca, Mg e Fe^{2+} até praticamente sua

exaustão. No entanto Na é, via de regra, superior a Fe^{3+} , sugerindo a presença do componente $\text{NaTiSi}_2\text{O}_6$ (Prewitt et al., 1972; Larsen, 1976), já que o componente jadeíta é invariavelmente muito baixo devido à escassez de Al_{total} .

Figura 14- Diagrama CaO vs. MgO (% peso) para piroxênios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Simbologia como na Figura 11.

Anfibólios

Os anfibólios são constituintes bastante restritos, aparecendo em algumas poucas amostras de fenitos l.s., rochas com texturas muito heterogêneas e razões $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ ao redor da unidade. Ocorrem na forma de pequenos cristais subidiomórficos a xenomórficos, freqüentemente substituídos nas bordas por piroxênio tipicamente alcalino, neoformado. O presente estudo é baseado em análises químicas representativas dos anfibólios da amostra BIT 2/62,7.

Os resultados analíticos e os dados referentes à fórmula estrutural, calculada na base anidra de 23 átomos de oxigênio, acham-se reunidos na Tabela 11. Os cálculos foram conduzidos com o auxílio do programa MINPET (Richard, 1995) segundo os procedimentos preconizados em Richard & Clarke (1990). As determinações das proporções de Fe^{2+} e Fe^{3+} foram feitas com base no método de balanço de carga (Robinson et al., 1981).

A fórmula estrutural padrão dos anfibólios, segundo a International Mineralogical Association – IMA (Leake, 1978), é expressa como $\text{A}_{0-1}\text{B}_2^{\text{VI}}\text{C}_5^{\text{IV}}\text{T}_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F},\text{C})_2$, em que **A** corresponde às posições com número de coordenação 12 (Na e K), **B** às posições com número de coordenação 6, **C** às ocupadas por Al, Cr, Ti, Fe^{3+} , Mg, Fe^{2+} e Mn, e **T** às posições tetraédricas.

A observação conjunta dos dados químicos (Tabela 11) evidencia o comportamento relativamente homogêneo dos anfibólios em termos de CaO e álcalis. Segundo a classificação de Leake (1978), todos os cristais são anfibólios cálcicos pois

apresentam $(Ca+Na)_B \geq 1,34$ para $Ca_B > 1,34$ e $Na_B < 0,67$. No diagrama mg ($Mg/(Mg+Fe^{2+})$) vs. Si (Figura 15), os anfíbólios com $(Na+K)_A < 0,50$ e $Ti < 0,50$ distribuem-se no campo magnésio-hornblenda enquanto os anfíbólios com $(Na+K)_A \geq 0,50$, $Ti < 0,50$ e $Fe^{3+} > Al^{VI}$ ocupam os domínios da edenita e hornblenda edenítica. Os sítios tetraédricos são ocupados essencialmente por Si e Al, restando ainda Al para ocupar posições octaédricas.

Figura 15- Distribuição dos anfíbólios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã nos diagrama de classificação de Leake (1978). Simbologia como na Figura 11.

A Figura 16 mostra também a variação composicional restrita desses anfíbólios, refletindo os teores praticamente constantes dos componentes Ca, Mg e Fe_{total} e a homogeneidade química dos cristais. São anfíbólios com baixos teores de Fe_2O_3 em relação a FeO , TiO_2 e álcalis, comparáveis àqueles estudados em associações graníticas comuns.

Figura 16- Diagrama $Mg-Ca-Fe^{3+}+Fe^{2+}+Mn$ para anfíbólios de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Simbologia como na Figura 11.

Gimenez Filho et al. (1995) ao estudar os granitos da porção nordeste do Complexo Três Córregos também relata a presença de hornblendas como único anfibólio, sempre em pequenas proporções modais. Assim, a homogeneidade química desses minerais ao lado de sensíveis variações composicionais dos piroxênios coexistentes sugerem que os anfibólios dessas rochas são remanescentes de uma paragênese granítica parcialmente modificada por processos de fenitização.

Biotita

As biotitas estão presentes em diversas amostras de fenitos l.s., na maioria dos casos como uma fase subordinada, sendo quantitativamente importante na amostra BIT 2/62,7 na qual foi analisada com microsonda eletrônica. Nesse caso, ocorrem como um produto de reação em substituição aos anfibólios, vez por outra associada com grãos de plagioclásio. Esses produtos de transformação dispõem-se nas bordas corroídas sobretudo dos anfibólios e ao longo de fraturas e clivagens, ocupando muitas vezes a maior parte do cristal.

Na Tabela 12 constam as análises químicas das biotitas, reunindo elementos principais e menores bem como os dados referentes às fórmulas estruturais calculadas com auxílio do programa MINPET (Richard, 1995) na base anidra de 22 átomos de oxigênio e 16 cátions. Da tabela constam também os valores de mg (Mg/Mg+Fe).

Os resultados mostram que todos os cristais do mineral analisado correspondem quimicamente à biotita, posto que invariavelmente apresentam a razão Mg:Fe inferior a 2,0 em relação ao limite estabelecido por Heinrich et al. (1953, in Deer et al., 1992), que separa esta variedade da flogopita. Si mostra teores relativamente baixos, com valores compreendidos entre 5,6 e 5,8 afu. O sítio tetraédrico é sempre ocupado por Si e Al^{IV} , indicando a inexistência do componente molecular teórico tetraferroflogopita nesse mineral. A parte restante do Al (Al^{VI}), ainda que em pequenas quantidades (0,21 a 0,48 afu), acha-se alocada junto à posição octaédrica.

No diagrama da Figura 17(b), elaborado segundo Foster (1960), todas as micas analisadas são magnésio-biotitas, de composição extremamente homogênea. As proporções de Mg, Fe^{2+} e R^{3+} são praticamente constantes, ainda que se considerem as pequenas oscilações nas quantidades dos dois primeiros elementos. Essa homogeneidade química é também registrada no diagrama dos membros finais

Al-Fe-Mg (Figura 17(a)) de Rock (1982) no qual todas as análises se concentram em pequena área acima do limite flogopita – annita.

Os resultados possibilitam também verificar que as magnésio-biotitas estudadas possuem teores em Ti compreendidos entre 0,19 e 0,25 afu, o que as caracteriza mais precisamente, segundo classificação de Rock (1982), como uma variedade magnésio-biotita-titanífera.

Figura 17 - Diagramas $Mg-(Al^{IV}+Al^{VI})-Fe$ e $(Al^{IV}+Ti)-Mg-(Fe^{2+}+Mn)$ para biotitas de rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã.

Simbologia: BIT 2/62,7 ○.

CAPÍTULO VI

GEOQUÍMICA

O estudo geoquímico do magmatismo carbonatítico de Mato Preto (MP) e da Barra do Itapirapuã (BIT) é problemático em consequência da sua ocorrência em "stockworks"; da dependência de amostras de testemunho de sondagem como resultado da escassez de afloramentos; da grande similaridade petrográfica entre os vários litotipos presentes e da existência de freqüentes modificações em menor ou maior grau na mineralogia e/ou na textura originais das rochas por uma atividade tardia de baixa temperatura.

Nesse sentido, e com base nos estudos petrográficos, foram selecionadas 99 amostras inalteradas ou com venulações tardias de carbonatitos e de fenitos representativas das diferentes variedades petrográficas, distribuídas da seguinte forma: 15 de carbonatitos (11 inalterados, quatro venulados) e seis de fenitos procedentes de Mato Preto; 43 de carbonatitos (30 inalterados, 13 venulados) e 23 de fenitos oriundas da Barra de Itapirapuã.

Cabe salientar que o número reduzido de análise para Mato Preto aqui apresentado é consequência da dificuldade de se coletar amostras frescas na região, tanto em superfície quanto em sondagem.

As amostras foram analisadas para os elementos maiores, alguns traços e, com exceção dos fenitos, para elementos terras raras (ETR). Os resultados obtidos assim como os teores normativos aproximados de calcita, dolomita e ankerita para os carbonatitos e alguns parâmetros geoquímicos estão agrupados nas Tabelas 13 a 15 para Mato Preto e 16 a 21 para Barra do Itapirapuã. A tabela 21 fornece ainda dados referentes à composição média para os elementos principais dos granitos Três Córregos encaixantes e cinco análises desses mesmos granitos, porém das cercanias distantes 10 a 20km das ocorrências carbonatíticas estudadas por Gomes et al. (1975a,b).

A classificação química das rochas carbonatíticas foi determinada com base no diagrama $MgO-CaO-FeO_t+MnO$ (Figuras 19, MP; 26, BIT) segundo divisão proposta por Woolley & Kempe (1989). Além disso, os dados químicos foram também locados em diagramas de variação binários simples considerando-se a porcentagem de FeO

e de alguns traços como fatores discriminantes e alguns diagramas mais específicos que exploram as características geoquímicas das rochas e o comportamento dos elementos no processo de evolução magmática (Figuras 18 a 22, MP; 26 a 32, BIT). Os dados referentes aos fenitos foram também tratados em diagramas diversos para verificar a influência da fenitização na mobilidade dos elementos (Figuras 23 a 25, MP; 33 a 36, BIT).

Mato Preto

Carbonatitos

Elementos maiores e menores

Os dados químicos dos carbonatitos de Mato Preto (Tabelas 13 e 14) são claramente distintos daqueles da série carbonatítica da Barra de Itapirapuã.

No geral, os carbonatitos de Mato Preto possuem teores extremamente baixos de SiO_2 (<3,2%), Al_2O_3 , MgO , FeO , K_2O e Na_2O , teores elevados de CaO (53 a 55,7%, exceto raros valores pouco menores) e alta perda ao fogo (CO_2 , F, Cl, S, H_2O), traduzindo diretamente a mineralogia homogênea e monótona dessas rochas, cuja paragênese primária compõe-se quase integralmente de carbonato calcítico com subordinados óxidos, fosfatos e sulfetos, sem a participação praticamente de quaisquer silicatos, sobretudo os ferromagnesianos (Figura 18(a,b)). Apenas em raros casos notam-se variações mais acentuadas nesses elementos (FeO , 4,5 a 10 %; MgO , 1,4 a 6,5%; CaO , 39 a 49,8%), sem que denotem, contudo, a presença de uma assembléia mineral muito diversa das demais percebidas no complexo.

O caráter essencialmente calcítico dessas rochas pode ser melhor ilustrado no diagrama da Figura 19. Observa-se que praticamente todas as amostras acham-se distribuídas no campo dos calciocarbonatitos, concentradas preferencialmente próximo ao vértice CaO , independente da textura, procedência (amostra de superfície ou testemunho de sondagem) ou de infiltrações venulares. Apenas uma amostra encontra-se locada no campo dos ferrocarbonatitos, ressaltando ainda mais a pequena importância do magnésio e do ferro no contexto petrológico da associação. Mencione-se que, embora represente geologicamente uma fase magmática de pequena expressão, algumas amostras deste litotipo foram excluídas do programa analítico devido à forte alteração supergênica.

Figura 18 – Distribuição dos carbonatitos de Mato Preto no diagrama triangular: (a), $(\text{MgO}+\text{FeO})-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{CaO}$; (b), $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{CaO}$. Símbolos: ferrocarbonatito $\blacktriangle$; calciocarbonatitos sem venulações tardias de superfície $\blacklozenge$, de sondagem médio-fino $\times$, de sondagem grosso $\blacklozenge$; calciocarbonatitos com venulações de sondagem grosso $\bullet$, sondagem média-fina $+$ e superfície $\bullet$.

Figura 19 – Projeção dos carbonatitos de Mato Preto no diagrama $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}+\text{MnO}$ (conforme Woolley & Kempe, 1989). Símbolos como na Figura 18.

Na Figura 18(a) verifica-se que os carbonatitos apresentam uma leve tendência composicional que se inicia no vértice CaO e se dirige diretamente para os domínios dos carbonatitos magnésio-ferruginosos, sugerindo uma evolução no sentido de assembléias cada vez mais dolomíticas até ankeríticas, conforme preconizado por Heinrich (1966).

Para os demais óxidos os dados químicos mostram-se variáveis, porém quase sempre situados nos intervalos das baixas concentrações. O óxido de titânio TiO_2 é muito baixo para todas as amostras (<0,11%), às vezes até abaixo do limite de detecção analítica, como resultado da pequena importância ou ausência de fases titanadas.

O MnO (0,07 a 0,73%) aparece em teor mais elevado no ferrocarbonatito, apresentando, contudo, significativa correlação positiva com o FeO para todas as amostras (Figura 20).

Os conteúdos de P_2O_5 (0,14 a 0,72%) são sempre baixos e inferiores às concentrações médias dos carbonatitos do mundo (Woolley & Kempe, 1989), com exceção de uma variedade fortemente venulada com valores de 1,67% em função da presença de quantidades apreciáveis de apatita precipitada nos estágios pós-magmáticos.

A Figura 20 ilustra a grande variação nos teores de bário e estrôncio nessas rochas, tanto nas inalteradas como nas venuladas, embora raramente excedam a abundância média mundial dos carbonatitos (Woolley & Kempe, 1989). Os teores de Ba oscilam entre 175 e 3798 ppm, exceto para um ferrocarbonatito com 8378 ppm, enquanto os teores de Sr variam entre 1015 e 9095 ppm. A relação Ba:Sr varia entre 0,02 e 2,26, sendo os valores mais elevados principalmente os do ferrocarbonatito e dos calciocarbonatitos tardiamente venulados, sugerindo um forte enriquecimento de Ba nessas rochas. O bário forma mineral próprio, a barita, que é um acessório comum intersticial ou de preenchimento de vênulos. O Sr, por sua vez, encontra-se alojado na estrutura dos carbonatos substituindo o Ca.

Nióbio aparece geralmente em quantidades pequenas porém variáveis de 6,9 a 384 ppm. As concentrações maiores ocorrem no ferrocarbonatito e em calciocarbonatitos sem venulações tardias. Na Figura 20 nota-se que há uma correlação positiva entre

Nb e Ta, cuja razão Nb:Ta é sempre alta, com valores entre 5,5 e 28,6. No geral, as rochas apresentam pirocloro modal subordinado em quantidade condizente com as concentrações de nióbio nas amostras. Certamente Nb e Ta alojam-se predominantemente na estrutura deste mineral.

As concentrações de Zr e Hf nos carbonatitos de Mato Preto passam de 2,89 a 193,8 ppm e de 0,18 a 7,67 ppm, respectivamente. Os maiores valores desses dois elementos, provavelmente ligados à presença de pirocloro no qual podem estar contidos, são registrados no ferrocarbonatito e em alguns dos calciocarbonatitos de testemunho de sondagem e de superfície inalterados e dos enriquecidos em infiltrações tardias.

Tório e urânio acham-se presentes em concentrações muito amplas, variando na faixa de 6,16 a 1178 ppm e 1,56 a 122,3 ppm, respectivamente. A maioria dos calciocarbonatitos inalterados apresentam os teores mais baixos desses elementos enquanto o ferrocarbonatito e praticamente todos os calciocarbonatitos venulados possuem os valores mais altos, geralmente superior à abundância mundial dos carbonatitos. Isso sugere que esses elementos concentram-se preferencialmente nas frações residuais dos estágios tardios nos quais precipitam quantidades apreciáveis de minerais de elementos terras raras e fluorita. Nota-se, sobretudo no ferrocarbonatito e nas rochas com infiltrações tardias, correlação positiva de Th e U com os ETR, evidenciando possível substituição destes últimos pelos primeiros nesses minerais.

Os teores de Rb para quase todas variedades petrográficas são pouco significativos, variando entre 0,7 e 10,2 ppm, exceto para uma amostra de calciocarbonatito venulado com cerca de 190 ppm que apresenta acentuada discordância textural e mineralógica em relação às demais. Nela ocorre grande volume de infiltrações venulares preenchidas por feldspatos alcalinos, além de apatita e quartzo.

O Y apresenta nessas rochas concentrações variáveis de 50 a 267 ppm, à exceção de uma amostra de calciocarbonatito venulado com 673 ppm. Via de regra a sua distribuição acompanha a dos ETR (Figura 20), concentrando-se predominantemente nos litotipos enriquecidos nestes últimos elementos como o ferrocarbonatito, alguns calciocarbonatitos inalterados de sondagem e de superfície e nos venulados.

Figura 20 – Diagramas bivariantes para as rochas carbonatíticas de Mato Preto: FeO vs. MgO, Sr vs. Ba, Nb vs. Ta e Σ TR vs. Y. Símbolos como na Figura 18.

Espectros dos elementos incompatíveis e terras raras

Os padrões de distribuição dos elementos incompatíveis e dos elementos terras raras para as variedades petrográficas de carbonatitos de Mato Preto estudadas estão representados nos diagramas multielementares (diagramas “spiders”) das Figuras 21 e 22, respectivamente. A Figura 21 representa as concentrações dos elementos incompatíveis (incluindo La, Ce, Nd e Sm) normalizadas em relação ao manto primitivo e a Figura 22, as dos elementos terras raras normalizadas segundo os condritos (condrito C1). Os valores empregados para a normalização desses elementos são aqueles preconizados em Sun & McDonough (1989).

Os padrões dos elementos incompatíveis definidos pelos calciocarbonatitos sem alterações venulares e pelo ferrocarbonatito são caracterizados pelas anomalias positivas de Th e Sm (e mais fraca de Hf), anomalias negativas de Rb, K, P e Ti, e mais suaves de Zr (Figura 21). Os diagramas dessas rochas ressaltam a grande abundância de Ba, Sr, Nb, Ta, Th e ETR, com destaque para o ferrocarbonatito com as concentrações mais elevadas. As concentrações extremamente baixas de Ti, K,

Rb e P nas distintas variedades petrográficas traduzem a paragênese carbonática monótona destituída de feldspatos, óxidos de Fe-Ti, flogopita, apatita etc. Por outro lado, o forte enriquecimento relativo em Th provavelmente prende-se à presença de pirocloro e minerais de terras raras.

Figura 21 – Diagrama multi-elementos para os elementos incompatíveis para as rochas carbonáticas de Mato Preto. Elementos normalizados em relação ao manto primitivo (Sun & McDonough, 1989). Símbolos como na Figura 18.

Os calciocarbonatitos que possuem quantidades maiores ou menores de infiltrações tardias apresentam padrões de distribuição similares, entre os quais se destacam sobretudo os fortes enriquecimentos em Th, ETR, Y e P. Notam-se também as mesmas anomalias positivas e negativas registradas nas rochas acima citadas.

No geral, os espectros multielementares dos elementos incompatíveis normalizados evidenciam variações gradativas de enriquecimento, desde os calciocarbonatitos inalterados de superfície e de sondagem ao ferrocarbonatito, até os calciocarbonatitos tardiamente venulados. Além disso, ilustram o comportamento geoquímico mais ou menos homogêneo de todos os elementos estudados, sugerindo assim uma filiação magmática comum na qual participam todos os litotipos citados até as frações tardias de baixa temperatura presentes nos veios.

Os padrões de distribuição nos carbonatitos de Mato Preto são comparáveis àqueles definidos para rochas congêneres de Jacupiranga e das ocorrências do Alto

Paranaíba (Toyoda et al., 1994), estas diferindo-se apenas por apresentarem anomalias ora positivas ora negativas de P e concentrações extremamente baixas de Th que não constituem qualquer forma de anomalia.

Os espectros de elementos terras raras obtidos para os carbonatitos de Mato Preto (Figura 22) realçam novamente o enriquecimento crescente nas concentrações absolutas dos ETR leves e pesados desde os calciocarbonatitos ao ferrocarbonatitos, até os carbonatitos tardiamente venulados. Nota-se que os teores de La e Yb registrados nas rochas variam em relação aos condritos de 700 a 1800 vezes e de 18 a 80 vezes, respectivamente, nos calciocarbonatitos inalterados de sondagem e superfície, 3500 vezes e 70 vezes, respectivamente, no ferrocarbonatito, e de 2200 a 18000 vezes e 70 a 250 vezes, respectivamente, nas variedades venuladas.

Figura 22 – Diagrama multi-elementos para os elementos de terras raras para as rochas carbonatíticas de Mato Preto. Elementos normalizados segundo os condritos (C1) de Sun & McDonough (1989). Símbolos como na Figura 18.

Os perfis dos espectros das variedades petrográficas são relativamente paralelos e bastante inclinados, indicando importante fracionamento entre ETR leves e ETR pesados, com valores para a razão $(La:Yb)_N$ sempre elevados, compreendidos no intervalo de 26 a 50 nas variedades inalteradas e de 30 a 120 nas venuladas. Nenhuma anomalia evidente foi observada nesses diagramas. No seu todo, os

padrões de enriquecimento dos ETR nas rochas estudadas são similares àqueles definidos para as diversas ocorrências congêneres brasileiras (Toyoda et al., 1994; Huang et al., 1995).

Fenitos e rochas fenitizadas

Conforme descrito anteriormente, as rochas do complexo granítico Três Córregos apresentam-se, em menor ou maior intensidade, afetadas ao redor das intrusivas estudadas por processos metassomáticos de fenitização provocados por soluções emanadas dos focos magmáticos durante a evolução da associação carbonatítica de Mato Preto bem como da Barra de Itapirapuã. Nestas rochas, a textura e a mineralogia foram preservadas em parte ou quase totalmente transformadas.

Com a finalidade de se obter informação sobre a influência dos processos fenitizantes na mobilidade dos elementos, foram elaborados os diagramas das Figuras 23 a 25 utilizando-se os dados das amostras de "fenitos" (Tabela 15) com os valores mais baixos de perda ao fogo (devido à freqüente presença de efeitos de carbonatização nestas rochas) bem como os dados da composição média do granito regional e de cinco amostras da região vizinha às ocorrências carbonatíticas estudadas tomadas como referência (Tabela 21).

Na Figura 23 observam-se dois agrupamentos geoquímicos, um subalcalino e outro alcalino. O primeiro refere-se às amostras de granitos praticamente preservados durante o metassomatismo e à composição média regional dos granitos. A média das cinco amostras circunvizinhas acha-se, no entanto, mais no campo das rochas alcalinas (ver Figura 33), porém logo acima dos limites estabelecidos para os dois grupos (Irvine & Baragar, 1971). O grupo alcalino inclui os fenitos l.s., rochas feldspáticas transformadas tanto na mineralogia como na textura e fortemente enriquecidas em álcalis.

O caráter alcalino das rochas graníticas fenitizadas em Mato Preto pode ser observado no diagrama de Le Maitre (1989) que relaciona os valores K_2O com os de SiO_2 (Figura 23). Neste diagrama todos os pontos representativos das variedades estudadas situam-se no campo relativo ao alto-K, com os das subalcalinas locados próximos ao limite de médio-K e os das alcalinas muito distantes dele, indicando forte enriquecimento em potássio e empobrecimento em sílica.

Figura 23 – Diagramas sílica vs. álcalis totais (Irvine & Baragar, 1971) e sílica vs. K_2O (Le Maitre, 1989) para as rochas fenitizadas e fenitos de Mato Preto. Símbolos: fenitos /s. +.

Gimenez Filho et al. (1995) analisaram mais de 20 amostras dos granitos Três Córregos que ocorrem na região nordeste do corpo granítico, acima de Mato Preto e Barra de Itapirapuã. Os resultados concordam com aqueles de todo o corpo obtidos por Gomes et al. (1975a,b). As rochas foram predominantemente classificadas em subalcalinas e de alto-K, contudo com valores de K_2O raramente excedendo 5%.

O caráter potássico das rochas fenitizadas também pode ser demonstrado na Figura 24. Nota-se que os granitos em geral se distribuem na região em torno da linha na qual as proporções de potássio e sódio são muito próximas, enquanto os fenitos (s.l.) se concentram no setor dominado pelo K_2O . As razões $K_2O:Na_2O$ são baixas nos granitos preservados e nos regionais (entre 0,81 e 1,06) e bastante alta nos fenitos ($>4,0$).

Figura 24 – Diagrama Na_2O vs. K_2O para as rochas graníticas fenitizadas e fenitos de Mato Preto. Símbolos como na Figura 23.

A saturação em sílica, alumina e álcalis torna-se evidenciada nas Figuras 25 (a, b), verificando-se a dispersão dos pontos sempre em direção ao vértice K_2O , com empobrecimento sobretudo em SiO_2 e Na_2O . Nas rochas mais intensamente fenitizadas o empobrecimento se dá sobretudo em Al_2O_3 .

Figura 25 – Projeção das rochas graníticas fenitizadas e fenitos de Mato Preto nos diagramas (a), $K_2O - SiO_2 - Na_2O$; (b), $K_2O - Al_2O_3 - Na_2O$. Símbolos como na Figura 23.

Os teores de CaO são variáveis de 0,4% nos granitos (0,53% é a média regional dos granitos de Gomes et al., 1975a,b) a 14,7% nos fenitos. Essa grande dispersão dos valores deve-se, em grande parte, à presença de carbonato essencialmente cálcico nas infiltrações venulares e como mineral de substituição (carbonatização).

O MgO é muito baixo para os granitos (<0,4%), enquanto os fenitos apresentam valores bastante variáveis (0,4 até 7,6%).

Existe uma grande dispersão nos valores de FeO_t , MnO e TiO_2 em função da intensidade diversa do metassomatismo e da heterogeneidade mineralógica, com variações de 2,2 a 16,5%, 0,06 a 0,25% e 0,46 a 2,32%, respectivamente. Destaca-se que os teores mais elevados desses elementos são sempre registrados nas rochas fenitizadas. Da mesma forma que esses últimos elementos, o P_2O_5 apresenta-se em quantidades maiores nos fenitos (0,39 a 1,93%) do que nos granitos (<0,22%) devido à presença de maior concentração de apatita. Ressalta-se que os valores anômalos apresentados por alguns desses elementos, sobretudo

FeO_t e P_2O_5 , são, em parte, resultantes de uma atividade tardia de baixa temperatura que afetou todas as rochas, seja carbonatítica seja encaixante.

Barra do Itapirapuã

Carbonatitos

Elementos maiores e menores

O exame dos resultados analíticos (Tabelas 16 a 20) mostra prontamente que a grande maioria das amostras apresentam teores baixos de Al_2O_3 e bastante variáveis de CaO , MgO , FeO e MnO , com valores altos de perda ao fogo (CO_2 , F, Cl, S, H_2O) evidenciando o caráter essencialmente carbonático dessas rochas e sua natureza química fortemente diversificada.

No diagrama MgO-CaO-FeO+MnO (Figura 26) observa-se que a quase totalidade das amostras dos carbonatitos da Barra do Itapirapuã, tanto as variedades de granulação grossa quanto as de granulação fina, acha-se distribuída nos campos dos magnesiocarbonatitos (Mgcb) e ferrocarbonatitos (Fecb). No seu todo, apenas duas amostras da variedade fina encontram-se posicionadas no campo dos calciocarbonatitos.

Nesse diagrama pode-se constatar que os carbonatitos da Barra de Itapirapuã apresentam variações composicionais que podem ou não ser regulares, conforme sua natureza e história petrológica. Para os carbonatitos de granulação grossa e sem alterações tardias, as mudanças composicionais consistem essencialmente de pequena oscilação em CaO ao lado de uma variação expressiva na relação MgO/FeO (Tabelas 17 e 19). Além disso, a distribuição dos pontos parece indicativa de que essas modificações mineralógicas se processaram de forma mais ou menos regular e contínua, passando gradativamente de um termo petrográfico a outro.

O CaO define variações pouco significativas do teor entre os dois tipos petrográficos existentes (28,68 a 32,06% nos magnesiocarbonatitos; 29,83 a 33,35% nos ferrocarbonatitos). Por sua vez, o MgO tem sempre um comportamento inverso ao FeO , achando-se a razão MgO:FeO compreendida entre 3,27 e 1,33 nos magnesiocarbonatitos e entre 0,99 e 0,80 nos ferrocarbonatitos. Essas variações químicas se traduzem na sensível diminuição normativa de dolomita ao lado do

aumento concomitante de ankerita e algo de calcita, sugerindo variações gradativas de composição ao longo de toda uma série carbonatítica, partindo dos carbonatitos mais magnesianos (Mgcb) e primitivos na ordem de cristalização até os carbonatitos mais ferruginosos (Fecb) e finais desta sequência.

Figura 26 – Projeção da suíte carbonatítica da Barra de Itapirapuã no diagrama CaO-MgO-FeO_t+MnO (cf. Woolley & Kempe, 1989). Símbolos: *carbonatitos médios-grossos* – magnesiocarbonatitos sem venulações tardias ○, com venulações ●; ferrocarbonatito sem venulações tardias △, com venulações ▲. *Carbonatitos finos* – calciocarbonatito □; magnesiocarbonatito +; ferrocarbonatito ×. Fenito ●.

Para os carbonatitos de granulação grossa apresentando venulações tardias observa-se que o comportamento de CaO, MgO e FeO não obedece a qualquer tendência definida, sendo marcado por grande dispersão dos pontos, tanto dos magnesiocarbonatitos quanto dos ferrocarbonatitos. Assim, a presença de

infiltrações tardias de baixa temperatura nessas rochas deve ser o fator responsável pelo caráter irregular e heterogêneo desses elementos.

As amostras de carbonatitos de granulação fina classificadas como calciocarbonatitos e magnesiocarbonatitos distribuem-se, por outro lado, predominantemente na linha CaO-MgO. Nesse caso, as variações químicas (Tabela 16) acham-se refletidas principalmente nos teores de CaO (51,56 a 27,64%) e MgO (2,64 a 18,12%) e, em escala muito menor, FeO (1,36 a 6,10%). A razão MgO/FeO mantém-se sempre alta nesses litotipos, com valores no intervalo compreendido entre 1,83 e 1,94% no Cacb, e 2,55 e 3,61% no Mgcb. Estes últimos são comparados apenas àqueles tipos de granulação grossa mais magnesianos contendo as quantidades mais elevadas de dolomita normativa. Já a amostra classificada como ferrocarbonatito acha-se locada junto às variedades congêneres de granulação grossa, sendo quimicamente comparável àquelas mais diferenciadas que apresentam as razões mais baixas de MgO/FeO.

Figura 27 – Diagramas bivariantes FeO vs. MnO e MnO vs. Sr para a suíte de rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã. Símbolos como na Figura 26.

No tocante ao MnO, o diagrama que correlaciona MnO *versus* FeO (Figura 27) coloca em evidência a correlação positiva entre esses elementos para todas as variedades petrográficas dos carbonatitos descritos. Dessa maneira, os tipos mais cálcicos (calciocarbonatitos finos) contêm os mais baixos teores (0,08%). Os carbonatitos que tendem para composições magnesianas (magnesiocarbonatitos grossos e finos) mostram-se mais enriquecidos, porém com concentrações variáveis de 0,30 a 1,22%. Já aqueles pendendo para composições mais ferruginosas (ferrocarbonatitos grossos e finos) acham-se ainda mais enriquecidos nesse elemento, com teores entre 1,16 e 1,42%, podendo atingir valores de até 1,91%

naqueles contendo venulações tardias. No diagrama MnO vs. Sr (Figura 27) nota-se uma correlação positiva entre esses dois elementos nos magnesiocarbonatitos finos e ferrocarbonatitos e magnesiocarbonatitos grossos com infiltrações tardias; e algo negativa para parte das amostras sem venulações.

Em linhas gerais, SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Na_2O possuem variações pouco significativas (Figura 28 (a, b)), apresentando freqüentemente concentrações extremamente baixas, com exceção de alguns poucos casos de magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação grossa e da maioria dos carbonatitos de granulação fina e dos carbonatitos grossos com venulações tardias que possuem teores bem mais altos ora generalizadamente para todos esses elementos considerados ora para a sílica (Tabelas 16 a 20). Este sensível aumento nos litotipos citados se deve principalmente a fatores mineralógicos distintos como a presença de pequenas quantidades de quartzo intersticial, de xenocristais feldspáticos transportados ou, mais raramente, de flogopita nos magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação grossa (sobretudo SiO_2 variáveis de 1,4 a 6,3%); de elevada porcentagem de flogopita, piroxênios e anfibólios modais assim como de freqüentes xenocristais de feldspato alcalino, plagioclásio e escapolita assimilados das encaixantes nas variedades de granulação fina (SiO_2 , 4 a 21%; Al_2O_3 , 0,91 a 6%; K_2O , 0,01 a 1,5%; e Na_2O , 0,03 a 1,29%) e de volumosas infiltrações venulares preenchidas por quartzo, apatita, fluorita etc. nos magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação grossa (particularmente SiO_2 entre 1,0 e 15,0%).

Figura 28 – Distribuição dos carbonatitos da Barra de Itapirapuã nos diagramas: (a), $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{CaO}$ e (b), $(\text{MgO} + \text{FeO}) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{CaO}$. Símbolos como na Figura 26.

Os conteúdos de TiO_2 (0,0 a 0,10%) nos carbonatitos são praticamente desprezíveis para quase todas as variedades petrográficas, exceto para aquelas de granulação fina, os calciocarbonatitos devido à presença de flogopita, piroxênio e anfibólio, e duas amostras de magnesiocarbonatitos devido aos agregados de opacos e provavelmente titanita bastante alterados (Tabela 16).

O P_2O_5 (0,01 a 1,83%) é baixo para a grande maioria dos litotipos destituídos das alterações tardimagmáticas (Tabelas 16, 17 e 19), sendo os valores sempre inferiores à concentração média de elementos dos carbonatitos do mundo, (Woolley & Kempe, 1989). Em apenas duas amostras de magnesiocarbonatitos de granulação fina esse elemento ocorre em teores mais elevados (2,1 e 3,5%), justamente as que contêm quantidades apreciáveis de apatita precipitada na rocha como fenocristais e integrando a matriz. Para as variedades venuladas, algumas amostras de ferrocarbonatitos de granulação grossa possuem os mais altos teores de P_2O_5 (6,2 a 12,6%) em função da presença de enorme quantidade de apatita cristalizada nos veios pós-magmáticos (Tabelas 18 e 20). Nestas amostras, no entanto, o SiO_2 ocorre em pequenas concentrações (<3,5%), à exceção de uma amostra com valor de 9,27%. No diagrama SiO_2 vs. P_2O_5 (Figura 29) não se constata qualquer correlação significativa entre esses dois elementos nas diversas variedades litológicas.

Bário e Sr oscilam fortemente nas distintas variedades carbonatíticas, porém geralmente os dois elementos têm um comportamento independente (Figura 29). Nos magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação grossa e desprovidos de venulações tardias, o Ba se mantém com teores relativamente constantes (geralmente entre 223 e 700 ppm, esporadicamente com até 2078 ppm), enquanto o Sr exibe variação muito grande, estendendo-se na maioria das vezes desde <1000 até cerca de 5500 ppm. Já nas variedades de granulação fina, os calciocarbonatitos possuem os mais baixos conteúdos desses elementos (Ba, 145 a 270 ppm; Sr, 782 a 908 ppm) enquanto os magnesiocarbonatitos desta vez mostram grande variação nos dois elementos (Ba, 391 a 1828 ppm; Sr, 164 a 3199 ppm, à exceção de uma amostra com 8213 ppm).

De modo geral pode-se dizer que todas as variedades petrográficas descritas, principalmente os calciocarbonatitos e a maioria dos magnesiocarbonatitos, possuem razões Ba:Sr muito baixas (geralmente entre 0,07 e 0,6, raramente >1,0)

evidenciando a grande abundância de Sr nessas rochas e o enriquecimento relativo de Ba nos ferrocarbonatitos. Esta abundância de Sr e a forte variação dos seus teores são consequência da predominância de uma fase dolomítica mais ou menos enriquecida em ferro e com ampla variação composicional. O Sr ocorre substituindo Ca na estrutura desse carbonato enquanto Ba forma seu próprio mineral, a barita. A barita torna-se mais freqüente com o enriquecimento progressivo em ferro, tanto para magnesiocarbonatitos como ferrocarbonatitos.

Nos carbonatitos tardiamente venulados, por outro lado, o Ba além do grande enriquecimento relativo apresenta ainda correlação nitidamente positiva com o Sr (Figura 29). A presença de quantidades apreciáveis de barita entre os minerais de veios parece ser o único fator responsável pelo aumento do conteúdo de Ba. Estas rochas possuem razão Ba:Sr bem mais elevada que as demais da associação, geralmente com variações tendendo, às vezes inclusive superando, a unidade (de 0,17 a 2,31).

A Figura 29 relaciona a variação dos teores de Ba e Sr com as quantidades totais de elementos terras raras (Σ TR) nos diversos carbonatitos da associação. Bário e Σ TR têm comportamento geoquímico bastante similar e apresentam correlação positiva nos vários tipos petrográficos, com aumento progressivo das concentrações desde os calciocarbonatitos e alguns magnesiocarbonatitos de granulação fina e grossa (Σ TR < 200 ppm; Ba < 350 ppm), seguindo destes últimos até os ferrocarbonatitos (Σ TR $\pm$ 2000 ppm; Ba $\pm$ 800 ppm), culminando com os magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos com venulações tardias (Σ TR, entre 3000 e 8000 ppm; Ba, entre 700 e 4000 ppm).

A tendência à concentração de ETR nos carbonatitos mais diferenciados e nos estágios finais deve-se essencialmente à mineralogia das rochas. Nas rochas mais primitivas (razões MgO:FeO elevadas) os ETR estão distribuídos nas estruturas dos carbonatos, da apatita e do pirocloro, enquanto nas variedades intermediárias e mais evoluídas esses elementos já formam minerais próprios (fluorcarbonatos de terras raras) que cristalizam nos interstícios dos carbonatos. Já na Figura 29 Σ TR e Sr não mostram correlação definida, sugerindo um comportamento independente devido a razões idênticas às comentadas anteriormente.

Figura 29 – Diagramas bivariantes para a suíte de rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã: SiO_2 vs. P_2O_5 , Ba vs. Sr, Sr vs. ΣTR e Ba vs. ΣTR . Símbolos como na Figura 26.

O Nb acha-se presente em quantidades relativamente baixas e inferiores à abundância média de elementos dos carbonatitos do mundo (Woolley & Kempe, 1989). As concentrações obtidas para os diversos carbonatitos, com ou sem venulações tardias, são variáveis de 1,5 a 721 ppm, com exceção de duas amostras com teores abaixo do limite de detecção. O elemento concentra-se preferencialmente nos ferrocarbonatitos finos e em alguns de granulação grossa e moderadamente em poucos magnesiocarbonatitos de granulação fina e grossa isentos da ação tardia, sem que exiba variações lineares na associação quimicamente diferenciada (Figura 30). Nestas rochas foi constatada a presença de pirocloro em teores modais bastante variáveis. A coerência geoquímica entre Nb e Ta nos carbonatitos estudados é vista na Figura 30. Nesse diagrama nota-se que Nb e Ta apresentam perfeita correlação positiva para todas as variedades petrográficas estudadas, nas quais os dois elementos provavelmente coexistem na estrutura do pirocloro. A razão Nb:Ta é sempre muito alta, com valores compreendidos entre 4,6 e 32.

A concentração de Zr e Hf é quase sempre muito pequena, colocando-se nos intervalos de 1,28 a 212 ppm e de 0,06 a 15,1 ppm, respectivamente. Os valores mais altos desses elementos são encontrados nos magnesiocarbonatitos de granulação fina e alguns de granulação grossa venulados.

O Th e U estão presentes nos diversos litotipos em concentrações muito amplas, com variações de 3,8 a 4164 ppm e de 0,20 a 223,4 ppm, respectivamente (Tabelas 16 a 20). Entretanto, para um grande número de amostras, incluindo não apenas magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação grossa e fina inalterados como também quase todos os tardiamente venulados, esses valores são superiores às concentrações médias de elementos dos carbonatitos do mundo. Os calciocarbonatitos situam-se entre as variedades petrográficas com os mais baixos teores desses elementos (Tabela 16). Por outro lado, os teores mais elevados de Th e U foram medidos em duas amostras de magnesiocarbonatitos de granulação grossa, uma fortemente venulada contendo grande quantidade de agregado de fluorcarbonatos de terras raras e óxidos hidratados de ferro, e outra sem infiltrações tardias, portadora de concentrações elevadas de flogopita, pirocloro e apatita com forte zoneamento composicional (Tabelas 17 e 18).

Os conteúdos de Rb nessas rochas oscilam no intervalo compreendido entre 1,1 e 123 ppm. As concentrações mais elevadas desse elemento foram observadas nos calciocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação fina e num magnesiocarbonatito de granulação grossa, e acham-se provavelmente associadas à presença de quantidades apreciáveis de flogopita.

A Figura 30 mostram o comportamento do Y nas diversas variedades petrográficas, nas quais os teores se estendem de 4,28 a 922,8 ppm. Nesses diagramas observa-se que o Y apresenta uma correlação positiva significativa com a concentração total dos elementos terras raras nas rochas e algo negativa com o MgO. Os valores mais baixos do elemento ($Y < 30$ ppm) são encontrados em grande parte dos magnesiocarbonatitos de granulação grossa e nos inalterados, que são os mais magnesianos e empobrecidos em elementos terras raras ($MgO > 15\%$, $\Sigma TR < 1000$ ppm), além de alguns poucos representantes dos diversos tipos litológicos possuindo quantidades menores de magnésio.

Por outro lado, o Y acompanha de modo geral os elementos terras raras, concentrando-se progressivamente nas variedades petrográficas que apresentam teores mais elevados desses elementos (Σ ETR entre 1000 e 8000 ppm; Y, entre 30 e 922,8;), ou seja, os magnesiocarbonatitos de granulação fina, os magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação grossa, incluindo alguns sem venulação e todos os tardiamente venulados. Mencione-se que os mais altos teores de Y e Σ TR registrados são encontrados exclusivamente nos ferrocarbonatitos com venulações tardias. Este aumento significativo ocorrido nestas rochas venuladas se deve certamente à presença de enormes quantidades de fluorcarbonatos de terras raras, fluorita e apatita nos veios.

Figura 30 – Diagramas bivariantes para a suíte de rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã: MgO vs. Nb, Ta vs. Nb, MgO vs. Y, Σ TR vs. Y. Símbolos como na Figura 26.

Espectros dos elementos incompatíveis e terras raras

Os padrões de distribuição dos elementos incompatíveis e dos elementos terras raras para todos os litotipos de carbonatitos da Barra do Itapirapuã acham-se ilustrados em diagramas “spiders” (espectros multielementares). A Figura 31

representa as concentrações dos elementos incompatíveis normalizadas em relação ao manto primitivo e a Figura 32, as dos elementos terras raras normalizadas segundo os condritos (condrito C1). Os respectivos valores empregados para a normalização desses elementos são aqueles preconizados em Sun & McDonough (1989).

Na Figura 31 observa-se grande similaridade entre os vários espectros dos elementos incompatíveis obtidos para as distintas variedades petrográficas dos carbonatitos (com exceção dos calciocarbonatitos), mesmo considerando os espectros das variedades intensamente venuladas no estágio tardio.

Figura 31 – Diagramas multielementares para os elementos incompatíveis para as rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã. Elementos normalizados em relação ao manto primitivo de Sun & McDonough (1989). Símbolos: perfurações BIT1 ▼, BIT2 ■, BIT3 △, BIT5 +, BIT6 ◆; carbonatitos finos, calciocarbonatito ●, magnésiocarbonatito ×, ferrocarbonatito ▲.

A análise desses espectros ressalta prontamente a abundância em Ba, Sr, Nb, Th e ETR, as concentrações variáveis de Ta e P e os baixos teores de Rb, K, Ti, Zr, Hf, Y e Yb. As rochas são marcadas por fortes anomalias positivas para Th (e mais suaves para Hf) e negativas para Ti, K e Rb, e menos ou mais intensas, ou mesmo às vezes até inexistentes para P e Zr. A exaustão do Ti, K, Rb e P em quase todas as amostras reflete as concentrações modais extremamente baixas ou mesmo ausentes de minerais como óxido de Fe-Ti, flogopita e apatita.

Anomalias fortemente negativas são geralmente interpretadas como feições de estágios magmáticos mais avançados resultantes de processos de cristalização fracionada. As concentrações relativamente elevadas de Rb, K e P verificadas entre amostras de algumas das variedades de rocha, refletindo nos diagramas como anomalias mais suaves ou quase invertidas (positivas), devem-se, no caso de Rb e K, à presença ocasional de quantidades apreciáveis de flogopita, e no caso de P, de apatita. Já o forte enriquecimento de Th nessas rochas certamente se relaciona à freqüente presença de pirocloro e fluorcarbonatos de terras raras, nos quais este elemento se encontra provavelmente alojado na estrutura cristalina (Kapustin, 1980).

As maiores diferenças encontradas entre os vários tipos petrográficos residem no enriquecimento progressivo desses elementos desde as rochas inalteradas menos diferenciadas, os magnesiocarbonatitos, que evoluem quimicamente crescendo e sobrepondo-se em grande parte aos ferrocarbonatitos, até aquelas que possuem os maiores volumes de infiltrações tardias, sem ter, contudo, perdido a assinatura geoquímica da fonte que lhes deu origem. Os espectros multielementares dos calciocarbonatitos seguem, por sua vez, um traçado que obedece mais ou menos ao padrão geral; as anomalias são pouco significativas ou até mesmo inexistentes quando comparadas às das demais rochas, distinguindo-se por apresentar os mais baixos teores de Ba, Nb, Sr, Th e TR da associação.

De maneira geral, os diagramas "spiders" de todas as variedades estudadas são comparáveis aos de carbonatitos de diversas ocorrências brasileiras, como Catalão, Araxá, Tapira, Jacupiranga e Anitápolis (Toyoda et al., 1994; Huang et al., 1995). As anomalias registradas são quase sempre dos mesmos elementos e com intensidades similares. As coincidências tornam-se ainda mais evidentes se confrontadas com os padrões de todas aquelas ocorrências com os de alguns

magnesiocarbonatitos inalterados de granulação grossa, os mais magnesianos, e os de magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos de granulação fina da Barra de Itapirapuã.

Na Figura 32 encontram-se as curvas de normalização dos elementos terras raras das variedades petrográficas estudadas dos carbonatitos da Barra do Itapirapuã. As curvas evidenciam um aumento progressivo nos teores absolutos dos ETR leves e pesados que evoluem seguindo a mesma seqüência registrada junto aos demais elementos incompatíveis (Figura 31). Observa-se que as concentrações mais baixas como, por exemplo, de La e Yb registradas para cada um dos litotipos, variam desde 150 e 15 vezes, respectivamente, as dos condritos nos calciocarbonatitos, 200 e 9 vezes nos magnesiocarbonatitos de granulação grossa, cerca de 300 e 20 vezes nos magnesiocarbonatitos de granulação fina, 800 e 20 vezes nos ferrocarbonatitos de granulação grossa, cerca de 1200 e 25 vezes nos ferrocarbonatitos de granulação fina, até 2500 e aproximadamente 40 vezes nos magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos tardiamente venulados. Nestes últimos, os teores desses elementos chegam a atingir valores de 10000 e 1000 vezes em razão sobretudo da presença de concentrações maiores de fluorcarbonato de terras raras, apatita e fluorita.

Ressalte-se que o intervalo de variação dos conteúdos de ETR é muito amplo para cada uma das variedades petrográficas, sendo que, quimicamente, a passagem de uma variedade a outra se faz com grande recobrimento composicional e nunca de forma gradativa.

O padrão de distribuição dos ETR indica, por outro lado, forte enriquecimento nos elementos terras raras leves (ETRL) em comparação aos pesados (ETRP), e razões La/Yb geralmente altas, com variação muito grande para alguns litotipos, os valores mais baixos correspondendo aos calciocarbonatitos (duas amostras: 7,9 e 11,8) e magnesiocarbonatitos finos (18,7 a 25,4, exceto por um valor de 7,65); os intermediários, aos ferrocarbonatitos de granulação grossa e fina (28,5 a 73,9); e os mais altos, muito variáveis, aos magnesiocarbonatitos de granulação grossa (16,7 a 154, com exceção de um valor de 3,9) e às rochas venuladas, os magnesiocarbonatitos (50 a 664) e os ferrocarbonatitos (dois intervalos: 8,2 a 16,9 e 105 a 111,8). Nestes últimos, alguns dos espectros obtidos mostram padrão anômalo (Figura 32, ferrocarbonatitos com venulação tardia) que traduz um forte

enriquecimento relativo em ETRP, refletindo, assim, no intervalo de baixas razões La:Yb; essas mesmas amostras apresentaram também os mais elevados conteúdos de Y de toda a associação. As variações de grande amplitude na razão La:Yb refletem transporte de ETR por meio de voláteis, possivelmente como complexos carbonáticos (Mitchell et al., 1975).

Figura 32 – Diagramas multielementares para os elementos de terras raras para as rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã. Símbolos como na Figura 31.

Em linhas gerais, os padrões de distribuição dos elementos terras raras nas rochas estudadas são característicos de carbonatitos e similares àqueles definidos para diversas ocorrências brasileiras em Toyoda et al. (1994) e Huang et al. (1995). No entanto, os altos teores absolutos e relativos desses elementos registrados em grande parte dos magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos, com ou sem venulações

tardias, somente são comparáveis aos dos carbonatitos da Fazenda Varela (Scheibe & Formoso, 1982) e aos dos carbonatitos tardios de Anitápolis (Furtado, 1989).

Fenitos e rochas fenitizadas

Assim como as rochas fenitizadas de Mato Preto, os fenitos *l.s.* da Barra do Itapirapuã foram analisados para elementos maiores e alguns traços, sendo os resultados agrupados na Tabela 21. Das Tabelas constam também, para fins comparativos, a composição média do corpo granítico Três Córregos e de cinco amostras de granitos circunvizinhos à região onde ocorrem os carbonatitos estudados (extraído de Gomes et al., 1975a,b). Os diagramas das Figuras (33 a 35) são semelhantes aos empregados no estudo dos fenitos *l.s.* de Mato Preto.

A Figura 33 mostra a existência de um grande intervalo de SiO_2 (52 a 76%) e correlação algo negativa com o total de álcalis, indicando uma tendência crescente de concentração destes últimos elementos com a intensidade do processo de fenitização. Apenas quatro amostras de rochas graníticas fenitizadas, as com sílica elevada (>63%), encontram-se localizadas no campo subalcalino, além do ponto representativo da média dos granitos. A grande maioria das amostras acham-se distribuídas, no entanto, no campo alcalino, desde próximos aos limites que separam esses dois campos, no qual também se situa o ponto relativo à média dos granitos circundantes, até o setor de álcalis elevado (diversas amostras apresentaram total de álcalis superior a 10%).

Figura 33 – Diagramas sílica vs. álcalis totais (Irvine & Baragar, 1971) e sílica vs. K_2O (Le Maitre, 1989) para as rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Símbolos: fenitos *l.s.* ○ ; média de elementos do granito Três Córregos ◆ e média de elementos de cinco amostras de granitos circunvizinhos às ocorrências Itapirapuã/Barra de Itapirapuã ●, de Gomes et al. (1975a,b).

Já no diagrama discriminante SiO_2 vs. K_2O (Figura 33) que separa as rochas menos ou mais potássicas, os granitos e quase todos os fenitos l.s. da Barra de Itapirapuã situam-se no campo relativo ao alto-K de Le Maitre (1989), à exceção de uma amostra rica em sódio locada no campo de médio-K. Destaca-se que parte das rochas fenitizadas e as médias dos granitos regional e circunvizinhos às intrusivas apresentam teores de K_2O inferior a 5% enquanto as demais mostram forte dispersão e correlação nitidamente negativa com SiO_2 ; os valores de K_2O estendendo-se até 11,7%.

O caráter predominantemente potássico do metassomatismo alcalino nos granitos encaixantes fica melhor evidenciado no diagrama K_2O vs. Na_2O (Figura 34). Observa-se que parte dos fenitos s.l. se concentram na faixa de K_2O entre 3 e 5% e próximos à linha cuja razão $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ é igual à unidade (0,76 a 1,4). Os demais distribuem-se linearmente no setor de altos teores de potássio, correlacionando-se negativamente com o sódio ($\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ de 0,9 a 41). Destaca-se que apenas uma amostra de fenito l.s. apresentou concentração elevada em Na_2O (7,2%) e baixa em K_2O (0,88%), com razão $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ de 0,12.

Figura 34 – Diagrama Na_2O vs. K_2O para rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Símbolos como na Figura 33.

As Figuras 35 (a, b,c) ilustram as variações em sílica, alumina e álcalis de granitos e fenitos l.s. Observa-se que os granitos e rochas menos fenitizadas concentram-se em torno dos pontos representando as concentrações média dos granitos (regional e circunvizinhos), no setor no qual as proporções de potássio e sódio são similares, enquanto as demais rochas apresentam forte dispersão dos pontos no sentido do vértice K_2O evidenciando com a intensidade do metassomatismo uma redução de SiO_2 , Na_2O e Al_2O_3 . Dentre essas rochas, apenas um fenito l.s. encontra-se deslocado junto à linha sílica-sódio em função do incremento de Na_2O .

Os teores de CaO nessas rochas oscilam entre 0,42 e 7,7%, tendo os valores mais elevados sido registrados indistintamente nas variedades mais e menos fenitizadas. A Figura 35(c) mostra, no entanto, que a grande maioria dessas rochas apresentam valores mais elevados de CaO relativamente à média dos granitos (regional e circundantes). Nota-se também que existe uma leve tendência de diminuição na concentração desse elemento com o aumento da fenitização, com exceção da amostra de fenito l.s. com sódio elevado que apresenta o teor mais alto em CaO. Ressalta-se a influência de processos de carbonatização na composição dessas rochas em consequência da presença de carbonatos ferromagnesianos nos veios e como mineral de substituição.

Figura 35 – Projeção das rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã nos diagramas: (a), K_2O - SiO_2 - Na_2O ; (b), K_2O - Al_2O_3 - Na_2O ; (c), K_2O - CaO - Na_2O . Símbolos como na Figura 33.

Existe uma grande dispersão dos valores de MgO e FeO_t nas rochas graníticas fenitizadas (Figura 36), em virtude da carbonatização ferromagnesiana acima

apontada, traduzindo os altos valores de perda ao fogo registrados em muitas amostras. O maior espalhamento nos valores desses elementos ocorre, no entanto, nas amostras que apresentam teores de K_2O <5% e de MgO e FeO_t superiores às concentrações médias regionais dos granitos. As amostras de fenitos *l.s.* com potássio alto (K_2O >5%) apresentam os teores mais baixos de MgO e FeO_t , atingindo, quando muito, valores próximos aos da concentração média dos granitos regional ou circundantes.

Figura 36 – Diagramas MgO vs. K_2O e $(FeO+Fe_2O_3)$ vs. K_2O para as rochas graníticas fenitizadas e fenitos da Barra de Itapirapuã. Símbolos como na Figura 33.

Os conteúdos de MnO acham-se restritos ao intervalo entre 0,04 e 0,25%. Já os teores de TiO_2 apresentam oscilações compreendidas entre <0,1 e 1,3% sem contudo mostrar uma relação clara com a fenitização. Os valores quase sempre são superiores à concentração média dos granitos. Semelhantemente, os teores de P_2O_5 nas rochas graníticas encaixantes e fenitos *l.s.* (<0,1 a 0,8%) são mais elevados que a concentração média dos granitos (0,06%), devido provavelmente, em parte, a processos de carbonatização ou mesmo à atividade tardia de baixa temperatura.

CAPÍTULO VII

ISÓTOPOS RADIOGÊNICOS

Foram determinadas as relações entre os isótopos estáveis do carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e oxigênio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) para 43 amostras de carbonatitos de testemunhos de sondagem procedentes de cinco furos: BIT 1, BIT 2, BIT 3, BIT 5 e BIT 6 da Barra de Itapirapuã e 15 amostras de carbonatitos de Mato Preto, sendo seis de testemunhos de sondagem (furo dd) e nove de superfície. Além desses dados, incluem-se também, para fins de comparação, inúmeros dados isotópicos extraídos de Santos & Clayton (1995) obtidos anteriormente para os carbonatitos de Mato Preto.

As análises dos isótopos de carbono e oxigênio foram realizadas por solubilização duplicada de carbonatos em H_3PO_4 (100%) sob temperatura de 25°C durante três dias (um dia para calcita e três para dolomita). As análises foram determinadas com um espectrômetro de massa *Finnigan Mat Delta S*. Os padrões de referência utilizados para a dosagem da composição isotópica C e O foram PDB-1 e V-SMOW, respectivamente.

Os resultados analíticos são fornecidos em termos do parâmetro $\delta\%$ usual e acham-se dispostos nas Tabelas 22(a, Mato Preto; b, Barra de Itapirapuã). Delas constam também a porcentagem em peso dos componentes normativos calcita, dolomita e ankerita, recalculados em função da composição química global da rocha. A Figura 37 ilustra a variação de $\delta^{18}\text{O}\%$ em função de $\delta^{13}\text{C}\%$ e das composições isotópicas em função da profundidade.

Observa-se prontamente a grande dispersão dos valores de $\delta^{18}\text{O}\%$ e $\delta^{13}\text{C}\%$ de muitas das amostras, tanto de superfície como de sondagem, dos carbonatitos da Barra de Itapirapuã e sobretudo de Mato Preto. Contudo, não há sinais evidentes de uma correlação entre a composição isotópica e o nível de profundidade dessas rochas, sugerindo assim condições físicas globais similares nos diversos níveis de amostragem alcançados neste estudo.

Os dados são em parte comparáveis aos dos carbonatitos de Jacupiranga, de natureza reconhecidamente primária (Huang et al., 1995). Em seu conjunto, distribuem-se num campo de variação composicional similar ao dos carbonatitos de

Figura 37 – Composição isotópica do oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e carbono ($\delta^{13}\text{C}$) da suíte carbonatítica de Mato Preto e da Barra de Itaipapuã e sua relação com a profundidade das amostras analisadas e com o campo de cristalização primária de Taylor et al. (1967). A: comparação dos dados isotópicos O-C de carbonatos deste estudo com dados de carbonatitos de outras ocorrências do Brasil e Paraguai (Comin-Chiaramonti et al., 1996) - 1, Jacupiranga; 2, Jujuí; 3, Lages; 4, Barra de Itaipapuã; 5, Mato Preto; 6, Alto do Paranaíba; 7, carbonatitos do Paraguai oriental. PRIC, carbonatitos primitivos (Taylor et al., 1967). B: projeção $\Delta^{13}\text{C}$ - $\Delta^{18}\text{O}$ dos pares coexistentes calcita-dolomita/ankerita; linha de equilíbrio de Sheppard & Schwarcz (1970).

Chiriguelo, na região leste do Paraguai (Alcover Neto et al., 1997; Figura 37- detalhe A).

Ressalte-se que 43% das amostras de carbonatitos da Barra de Itapirapuã e apenas 7% das de Mato Preto (Figura 37) situam-se dentro do campo definido para os carbonatitos primários, os quais apresentam características isotópicas compatíveis com uma origem no manto superior (Taylor et al., 1967). Nota-se também que o conjunto de pontos correspondentes às amostras dessas duas ocorrências definem uma reta (regressão linear) com inclinação 1,15 e $r = 0,93$. A aplicação do geotermômetro que utiliza o par dolomita – calcita (Sheppard & Schwarcz, 1970) forneceu temperaturas inferiores a 500°C e substancial desequilíbrio entre O e C das fases escalenoédricas e romboédricas, particularmente no carbonatito de Mato Preto.

O modelo de fracionamento isotópico compatível com cristalização primária (Bottiga, 1968; O'Neil, 1986) restringe $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ ao intervalo de 8 a 10 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ ao de -7,5 a -4,5, para temperaturas entre 650 e 500°C e razões $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ entre 0,09 e 0,65. Nesse sentido verifica-se (Tabela 22, Figura 37) que cerca de 80% das amostras dos carbonatitos da Barra de Itapirapuã e 15% das de Mato Preto possuem, surpreendentemente, composição isotópica compreendida dentro desses intervalos enquanto que todas as demais apresentam variações composicionais muito amplas e compatíveis com reequilíbrio em condições hidrotermais (T entre 375 e 80°C) ou mesmo intempéricas (Jacobson & Langmuir, 1974; Ohmoto, H., 1986; Zheng & Hoefs, 1993).

De maneira geral, os dados sustentam a hipótese de que os carbonatos dos carbonatitos de Mato Preto e da Barra do Itapirapuã atingiram sua composição de equilíbrio isotópico durante o estágio magmático, em parte modificada por processos hidrotermais subseqüentes.

CAPÍTULO VIII

CONSIDERAÇÕES PETROLÓGICAS

O magmatismo alcalino dominante no território brasileiro é de idade mesozóica, com a maioria das ocorrências concentrando-se na porção meridional do país, ao longo do arco em torno dos limites leste e nordeste da Bacia do Paraná e da faixa litorânea dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Os carbonatitos estão geralmente associados aos complexos alcalinos potássicos do tipo centrado do Cretáceo inferior ao superior, nos quais ocorrem como intrusões elípticas centrais ou como veios com espessura diversas retalhando internamente as rochas silicáticas alcalinas encaixantes. Vários são os trabalhos que registram essas ocorrências, resumindo suas principais feições geológicas, caracterizando as possíveis associações litológicas, agrupando-as em províncias alcalinas definidas segundo conceituações diversas e, ainda, elaborando interpretações petrogenéticas.

Informações sobre as manifestações de rochas alcalinas com e sem carbonatitos são encontradas em Ulbrich & Gomes (1981), Berbert (1984), Rodrigues & Lima (1984), Woolley (1987), Gomes et al. (1990), Morbidelli et al., 1995; Comin-Chiaramonti & Gomes (1996), Gomes et al. (1996) e Ruberti & Ulbrich (submetido). Além desses trabalhos, mencionem-se, entre outros, os de Algarte (1972) e Almeida (1971, 1976 e 1983) que focalizam os ambientes tectônicos que condicionaram o magmatismo alcalino mesozóico no sul do Brasil, e o de Amaral et al. (1967) que contém as primeiras determinações de idades pelo método K/Ar, posteriormente recalculadas por Sonoki & Garda (1988), utilizando as constantes recomendadas por Steiger & Jäger (1978).

As pesquisas realizadas até o momento nas ocorrências de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã, apresentadas nos capítulos anteriores, mostram resultados inéditos pormenorizados sobre a petrografia; a composição química global incluindo elementos maiores, menores e traços e a distribuição de elementos terras raras nas rochas e, de certa forma, nos minerais; a composição química dos minerais principais; as razões isotópicas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$; e a geologia dos carbonatitos intrusivos, com vistas a estabelecer a natureza e os processos evolutivos que resultaram as características dessas rochas, bem como compará-las a outras ocorrências congêneres do país.

Condicionamento tectônico

Em um contexto geológico regional, os carbonatitos de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã encontram-se situados no interior de uma área de influência de atividade magmática alcalina reunindo inúmeros centros intrusivos dispostos nos rebordos da Bacia do Paraná. Esse importante cinturão define nos limites NE do Estado do Paraná e SW do Estado de São Paulo dois conjuntos petrográficos principais, um formado por estruturas alcalino-carbonatíticas (Mato Preto, Itapirapuã e Barra de Itapirapuã) e outro constituído por intrusões alcalinas (Tunas, Barra do Ponta Grossa, Sete Quedas, Barra do Teixeira e Banhadão), além de diversos outros corpos menores aflorando nas áreas de Cerro Azul e de Itapirapuã.

Nessa região, esse conjunto de estruturas alcalinas distribui-se dentro de uma área de aproximadamente 400km². Esses focos intrusivos acham-se invariavelmente arranjados segundo alinhamentos preferenciais e apresentam associações petrográficas diversas.

O condicionamento geotectônico dos complexos alcalinos brasileiros tem sido discutido por diversos pesquisadores. Freitas (1944) relacionou as rochas alcalinas da região litorânea São Paulo–Rio de Janeiro a fenômenos tectônicos tensionais solidários aos movimentos do escudo brasileiro, concluindo pela “estreita relação de causa e efeito entre a atividade tectônica, começada no jurássico e operada por movimentos de tensão, e os magmas alcalinos e basálticos”.

Almeida (1969) relacionou à segunda fase da reativação da plataforma brasileira “muitas das intrusões alcalinas ligadas às zonas de arqueamentos e falhas das serras do Mar e Mantiqueira” e, mais ainda, “quase três dezenas de centros de intrusão e vulcanismo de rochas alcalinas, cuja composição varia de saturada a subsaturada, ultrabásica a moderadamente ácida e sódica a potássica, ocorrem em áreas que foram tectonicamente soerguidas, às bordas da bacia do Paraná no Brasil e Paraguai, e nas serras do Mar e da Mantiqueira”.

Almeida (1971) considerou que o magmatismo alcalino do Sul do Brasil (incluindo o do Paraguai oriental) foi condicionado por estruturas tectônicas locais em “decorrência da ativação tectonomagmática mesozóica da Plataforma Sul Americana”. A atenção dedicada ao fenômeno permitiu ao autor enquadrar os inúmeros centros alcalinos até então conhecidos em oito grupos distintos, assim

como relacionar cada um deles segundo as feições estruturais dos locais onde se encontram esses focos como, por exemplo, arqueamentos (Ponta Grossa, Rio grande do Sul), "rift valley" (Paraíba do Sul), domos (Lages) etc. Para Almeida (1971) "as intrusões estão ausentes das áreas internas das grandes bacias sedimentares como do interior estável dos escudos, mas realizaram-se nas faixas então tectonicamente ativas que separam tais províncias em flexuras falhadas, elevações dômicas, arqueamentos alongados em grandes sistemas de falhas, em distância não superior a 150km das bordas das bacias". Nesse mesmo trabalho, relacionou o vulcanismo alcalino no Estado do Paraná, área da presente pesquisa, ao arqueamento de Ponta Grossa.

Algarte (1972) acentuou a importância do alinhamento N45W de várias intrusões com direção paralela ao eixo Ponta Grossa e concluiu que "a distribuição regular dos maciços alcalinos ao longo das bordas das sinéclises deverá ter relação com falhamentos de tensão ligados a fenômenos circum-plataformais, aliando-se a este fenômeno um segundo elemento condicionador, representado pelos arqueamentos cratônicos". De modo semelhante, Asmus (1978) propõe que o magmatismo alcalino da região sul-sudeste do Brasil esteja relacionado a processos de arqueamento litosférico.

Na área em que ocorrem os carbonatitos estudados no presente trabalho, Ferreira & Algarte (1979) verificaram que há um domínio das estruturas na direção leste-oeste, ao longo do alinhamento dos maciços Banhadão-Barra do Itapirapuã, onde provavelmente houve manifestações do magmatismo alcalino. No entanto, segundo esses mesmos autores, mapas aerofísicos confirmaram o condicionamento estrutural dos maciços de Tunas, Barra de Ponta Grossa, Mato Preto, Barra de Itapirapuã e Itapirapuã, através do posicionamento de diversas zonas de alívio de tensão naquela região, algumas em profundidade.

Ruberti (1984), ao estudar o maciço alcalino do Banhadão, admitiu que o condicionamento geotectônico desse corpo e dos demais a ele relacionados, bem como as características petrológicas e geocronológicas de cada centro intrusivo, traduzem um processo de atividade magmática comum a todas as manifestações alcalinas dessa área, em condições variáveis de pressão inicial de CO₂; resultando associações de rocha muito diversificadas, que diferem entre si pela ausência ou

presença de carbonatitos, de rochas insaturadas e de rochas básicas contendo plagioclásio.

Gomes et al. (1987), com base em dados geoquímicos e isotópicos de rochas do maciço alcalino de Tunas, propõem para essa associação uma derivação mantélica com alguma contaminação crustal junto aos tipos petrográficos menos representativos.

Desenvolvimento magmático

Com base nas informações geológicas, petrográficas, geoquímicas de rocha e mineral, e isotópicas levantadas para as associações carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã, apresenta-se aqui uma seqüência de desenvolvimento magmático no decorrer da evolução dessas séries de rochas carbonatíticas estudadas.

Geologia e petrografia

Nas ocorrências de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã a escassez de afloramentos em superfície, bem como o modo de ocorrência e a heterogeneidade textural e mineralógica das rochas, aliada a alterações pós-magmáticas e tardias, impede qualquer tentativa de elaboração de um mapa geológico de detalhe, ainda que objetivando apenas delinear as áreas de maior freqüência das principais variedades petrográficas.

Complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto - as rochas configuram várias estruturas aproximadamente circulares ou mesmo irregulares circundadas por rochas graníticas fenitizadas ($p\epsilon$) que se agrupam em duas áreas bem distintas: Mato Preto I, onde predominam fonólitos porfiríticos e brechas explosivas de conduto com matriz carbonática e clastos de fonólito, granito fenitizado e fenito sienítico; Mato Preto II, com carbonatitos calcíticos, brechas explosivas de conduto com matriz carbonática e clastos predominantemente de fonólito, de granito fenitizado ou de sienito fenito, bem como micro-nefelina sienitos (e proporções menores de "ijolitos" e "melteigitos") e diques fonolíticos.

As rochas graníticas encaixantes das intrusivas alcalino-carbonatíticas de Mato Preto apresentam modificações texturais e mineralógicas em grau maior ou menor. Essas transformações são evidenciadas pela intensa deformação e brechação dos minerais e rochas e pela ação metassomática de caráter sódico/potássico sobre os

minerais, traduzida na forma de feldspatização generalizada e cristalização de piroxênio e anfíbólio alcalinos. As feições texturais e mineralógicas indicam claramente a ação externa de soluções alcalinas fenitizantes emanadas dos focos carbonatíticos por ocasião de sua intrusão e introduzidas em um sistema granítico quando aberto por esforços dinâmicos. As relações texturais e mineralógicas indicam que todo o desenvolvimento do processo precedeu a atividade carbonatítica da área.

Os carbonatitos afloram na forma de pequenos diques, veios e brechas diversos sempre em contato com granito fenitizado e fenito sienítico. No geral, constituem uma rede entrelaçada muito fina de filonetes carbonatíticos mostrando texturas que indicam reações de carbonatização nas paredes encaixantes como também remobilizações com transporte de fragmentos de rocha silicática e cristais. A passagem dos carbonatitos para as rochas de borda é muitas vezes gradacional levando à formação de uma faixa sílico-carbonatítica com diminuição de carbonato e aumento de minerais feldspáticos.

Alguns diques de possança maior apresentam xenólitos de fenitos l.s. orientados segundo suas paredes de contato. Xenocristais de feldspato alcalino são também de ocorrência praticamente constante nos carbonatitos examinados nas seções delgadas e apresentam formas arredondadas e reações de carbonatização nas bordas. São similares aos reconhecidos nos granitos fenitizados e nos fenitos sieníticos, sendo límpidos e destituídos de inclusões e geminação ou turvos nas partes centrais dos grãos e límpidos nas bordas neoformadas em consequência de processos iniciais de fenitização.

As manifestações tardias relacionadas à intrusão acham-se representadas por veios milimétricos preenchidos por quartzo, fluorita incolor e roxa, barita e fluorcarbonatos de terras raras que se infiltram nas rochas tanto carbonatíticas como em suas encaixantes. Os produtos de alteração mais freqüentes são hematita, óxidos hidratados de ferro e argilominerais, que podem representar transformações nos estágios hidrotermais ou intempéricos.

Com base na petrografia e na química global, os carbonatitos são subdivididos em dois litotipos bem definidos: calciocarbonatitos e ferrocarbonatitos. Os primeiros são o tipo litológico de dominância quase absoluta e geneticamente mais antigo. Exibem cores claras e textura inequigranular xenomórfica fina a média/grossa em arranjo em

mosaico ou com os grãos alongados e mais ou menos orientados segundo seu eixo. Contêm calcita de composição uniforme e, subordinadamente, opacos, apatita idiomórfica, pirocloro e esporádicos minerais de terras raras intersticiais.

Já os ferrocarbonatitos são de geração mais tardia e restritos a pequenas venulações (diques, veios e brechas de matriz calcítica) que recortam os calciocarbonatitos, ou à matriz de brecha explosiva. A rocha possui cor castanha escura e textura inequigranular fina a média, xenomórfica a hipidiomórfica, e aspecto sacaróide. Essas feições sugerem cristalização em regime de resfriamento relativamente rápido. Compõem-se de carbonatos ankeríticos que apresentam geralmente exsoluções de óxidos de ferro indicando reequilíbrio em condições pós-magmáticas, e subordinadamente de opacos, pirocloro idiomórfico (este mais abundante que no caso anterior), apatita e minerais tardimagmáticos presentes nos espaços intersticiais e nos veios.

As evidências petrográficas e de campo são indicativas de que a atividade magmática alcalino-carbonatítica de Mato Preto tem caráter tipicamente subvulcânico raso e representam provavelmente níveis elevados de uma intrusão maior e profunda encoberta por espesso pacote de granitóides e metassedimentos do embasamento cristalino. Nos níveis supracustais onde afloram essas rochas, o magmatismo alcalino e carbonatítico foi muito intenso, dando origem a inúmeras intrusões de pequeno porte que se distribuem cortando os granitos encaixantes dentro de uma área aproximada de 6km².

A presença de texturas inequigranulares seriadas e, por vezes, orientadas, com banda de granulação grossa exibindo deformações reticulares e recristalização, parece apontar no sentido de uma cristalização em regime de fluxo magmático por injeção de fusões num estado plástico (magma/cristais) e longe da viscosidade extremamente baixa dos magmas carbonatíticos. Xenólitos e xenocristais orientados são de ocorrência freqüente nessas rochas, podendo atestar a natureza plástica e móvel da sua colocação. Em líquidos com a viscosidade de magmas carbonatíticos seria difícil explicar o transporte e orientação dessas estruturas xenolíticas.

Outras feições petrográficas observadas como, por exemplo, as reações de carbonatização nas bordas de xenocristais de feldspato, de caráter similar ao descrito no fenito l.s., constituem evidências condizentes com uma história de alteração metassomática que precede à intrusão carbonatítica no granito encaixante.

A participação de concentrações elevadas de voláteis (sobretudo CO_2 , F, Cl etc.) no decorrer da atividade carbonatítica de Mato Preto é constatada pela presença freqüente de brechas explosivas com matriz carbonatítica (calcítica e ankerítica) e pela abundância de venulações tardias enriquecidas em fluorita e fluorcarbonatos de terras raras cortando todas as variedades petrográficas dos carbonatitos e as rochas encaixantes.

Complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã - as rochas configuram um plug elipsoidal a subcircular principal de aproximadamente 2km^2 e pequenas chaminés laterais intrusivos nos granitos Três Córregos. As evidências obtidas no campo e em testemunhos de sondagem (profundidade de até 250m) mostram que essas estruturas são originadas por infiltrações carbonatíticas através de um sistema complicado de densa rede de filões milimétricos a centimétricos formando um verdadeiro "stockwork" nos níveis superficiais e de diques e venulações decimétricas a métricas nas porções mais profundas. Além de rochas carbonatíticas e brechas silicocarbonatíticas, ocorrem no complexo raras brechas lamprofíricas de matriz carbonática e "auréola" de fenitização muito bem desenvolvida nos granitos encaixantes, em parte modificada por processos de carbonatização.

Este complexo exhibe uma associação litológica muito distinta daquela de Mato Preto e talvez única no Brasil por apresentar rochas de natureza exclusivamente carbonatítica e, quando não, de rochas silicáticas alcalinas geradas de protolito granitóide transformado em consequência da interação de fluidos metassomáticos geneticamente associados à atividade carbonatítica.

As rochas fenitizadas e fenitos na Barra de Itapirapuã ocupam toda a região superficial da estrutura intrusiva, cobrindo tanto o plug carbonatítico principal como também as chaminés laterais e os diversos níveis de profundidade até ao menos 250 metros. São protolitos graníticos com modificações físico-químicas caracterizadas seja por deformação reticular dos cristais e fraturamento das rochas seja pela ação metassomática sódico/potássica sobre os minerais, causando feldspatização intensa e cristalização de piroxênio e anfibólio sódicos.

As transformações mineralógicas e texturais registradas são de intensidade muito irregular, com variação espacial em frações milimétricas ora desprezível, mantendo as feições do granito original, ora intensa, eliminando-as quase integralmente. Interpretam-se essas variações como consequência de uma tectônica tensional de

microfraturamento muito denso que dá lugar a um sistema de "stockworks" preenchido por carbonatitos de composição diversa, antes que uma massa carbonatítica contínua de grande porte provocando variações mais regulares e contínuas. Além disso, os efeitos da fenitização podem também ser correlacionados com a natureza química dos carbonatitos envolvidos no sistema, sendo mais intensos quando em contato com as variedades magnesianas (e calcíticas?) e mínimos com as ferruginosas ankeríticas.

Os carbonatitos da Barra de Itapirapuã possuem cor cinza esbranquiçada a branca e são freqüentemente pigmentados de rosa em função da presença de concentrações elevadas de minerais de terras raras tardios. Exibem granulação média a grossa, sendo comum, no entanto, as variedades finas a muito finas com aspecto sacaróide intercalando-se ou mesmo gradando para as primeiras.

As rochas de granulação média a grossa correspondem quimicamente a magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos. O primeiro é o litotipo mais abundante nos testemunhos de sondagem examinados e geneticamente o mais antigo. O ferrocarbonatito corresponde a estágios magmáticos mais tardios. Em geral, ambos apresentam textura equigranular a inequigranular, muitas vezes seriada, xenomórfica a hipidiomórfica, na forma de mosaico ou orientada conforme arranjo de carbonatos alongados e alinhamento de minerais opacos e de venulações tardias. Compõem-se de dolomita e/ou ankerita e, em menor quantidade, de opacos, apatita, pirocloro e calcita.

As relações de contato entre esses carbonatitos e os fenitos são marcadas por limites mais ou menos definidos ou por reações de substituição e carbonatização dos silicatos, dependendo sobretudo da natureza química da rocha intrusiva. Os magnesiocarbonatitos são os mais reativos e apresentam contato transicional com os fenitos I.s, dos quais se separam por uma faixa de silicocarbonatito diminuindo progressivamente o teor de carbonato e aumentando o de feldspatos e minerais ferromagnesianos. Essas faixas tornam-se mais espessas nos diques e veios de maior porte. Mencione-se que nestas rochas poucas vezes foram observados xenocristais de feldspato alcalino. Os ferrocarbonatitos, por outro lado, são menos reativos e geralmente apresentam contato mais definido com os fenitos I.s.

As variedades de granulação fina a muito fina correspondem quimicamente a calciocarbonatitos, magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos e correspondem a

pequenos diques e venulações que cortam tanto carbonatitos de granulação grossa como os fenitos l.s. encaixantes. Exibem textura xenomórfica a subidiomórfica variável de equigranular a francamente porfírica (fenocristais de carbonato, apatita etc.) até inequigranular seriada (às vezes em bandamento granular) na forma de mosaicos poligonais ou de fluxo definido pelo alinhamento de cristais prismáticos (flogopita), de carbonatos alongados e de xenocristais de feldspatos transportados.

A composição mineral essencial dessas rochas é variável, podendo apresentar predomínio de calcita, dolomita ou ankerita conforme o litotipo definido; podem apresentar subordinadamente flogopita, apatita, opacos, pirocloro, piroxênio, anfibólio, além de xenocristais de feldspato e minerais tardios como fluorita, quartzo e fluorcarbonatos de terras raras. Xenocristais de escapolitas e de feldspatos idênticos aos registrados nos fenitos l.s. são comuns nos calciocarbonatitos finos e apresentam texturas de reabsorção e carbonatização nas bordas corroídas, indicando assim o caráter reativo destes magmas. Estas rochas apresentam textura levemente porfírica e de fluxo sugerindo cristalização em estágios de crescente resfriamento. Xenocristais de feldspato alcalino de fenitos l.s. são também comuns nos ferrocarbonatitos finos e exibem contatos bem definidos e sem indícios de assimilação ou carbonatização nas bordas. Essas feições somadas à textura inequigranular em mosaico evidenciam o caráter pouco reativo dos magmas que deram origem a essas rochas e cristalização rápida em fusões inicialmente enriquecidas em voláteis.

Já magnesiocarbonatitos formam veios de possança diversa que atravessam principalmente a variedade grossa de magnesiocarbonatito, provocando recristalização nos contatos destas últimas e formação de uma faixa de granulação intermediária entre as duas rochas. Ressalte-se alguns desses veios nos quais essas rochas apresentam textura muito fina com pequenas cavidades arredondadas revestidas de minerais secundários, ou textura porfírica com matriz de carbonato perfeitamente ripiforme.

Veios milimétricos tardios portadores de quartzo, fluorita, apatita rica em terras raras, minerais de terras raras (principalmente fluorcarbonatos), barita e estroncianita percolam os carbonatitos e os fenitos encaixantes. Os produtos de alteração mais comuns são hematita e óxidos hidratados de ferro.

De acordo com o exposto e com base nas relações de campo e de contato entre carbonatitos diversos e fenitos l.s. registradas em testemunhos de sondagem e nas descrições petrográficas de centenas de seções delgadas dessas rochas, é possível admitir-se que no complexo carbonatítico da Barra de Itapirapuã coexistem rochas derivadas a partir de pelo menos duas manifestações magmáticas.

A primeira é representada pelos carbonatitos de granulação média a grossa cuja variação textural sugere cristalização em regime físico-químico diverso seja de resfriamento inicial lento seguido de queda mais rápida da temperatura seja de pressão de vapor variável. A pressão de vapor parece explicar melhor a coexistência de litotipos texturalmente similares derivados de estágios evolutivos distintos como, por exemplo, os magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos grossos. Além disso, poderia também explicar as mudanças composicionais dos carbonatos que passam gradativamente de variedades dolomíticas para ferrodolomíticas até ankeríticas.

A segunda manifestação magmática inclui todas as rochas de textura fina a muito fina representadas por calciocarbonatito, magnesiocarbonatito e ferrocarbonatito. As feições texturais dessas rochas aliadas à presença de xenocristais feldspáticos e de pequenas cavidades com minerais secundários são indicativas de cristalização em condições de resfriamento rápido e sob regime de fluxo, ainda que em alguns casos indiquem um estágio inicial de resfriamento lento, como traduzido pela presença de fenocristais.

O estágio tardimagmático foi marcado pela precipitação generalizada de fluorita, fluorcarbonatos de terras raras, apatita, barita e quartzo, além de outros minerais menos expressivos. Nesse estágio, parte das rochas tanto carbonatíticas como feníticas sofreu transformações texturais de baixa temperatura e enriquecimento em minerais geralmente de ocorrência menor. As relações texturais refletidas na presença de veios milimétricos que se infiltram cortando as rochas em direções as mais variadas, sugerem que as fases minerais precipitadas representam frações residuais da atividade magmática carbonatítica fortemente enriquecidas em voláteis (sobretudo F, Cl, S, CO₂ etc.). A participação de concentração elevada de voláteis durante a evolução dessas rochas é também traduzida na presença de brechas de matriz carbonática.

Os resultados até aqui coligidos indicam que a atividade magmática carbonatítica da Barra de Itapirapuã tem caráter tipicamente subvulcânico de profundidade pequena

senão praticamente superficial. A temperatura elevada do corpo intrusivo em relação à da encaixante e a sua natureza química reativa causou carbonatização ao longo dos contatos. A estruturação geológica do complexo formando corpos milimétricos na superfície e até métrico nas partes mais profundas, podem indicar a existência de uma centro magmático intrusivo maior e complexo situado em profundidade muito abaixo da atingida pelas sondagens. As rochas estudadas representariam os estágios evolutivos finais desse centro desenvolvido nos níveis crustais ainda pouco erodidos.

Geoquímica

As atividades carbonatíticas em Mato Preto e Barra de Itapirapuã acham-se caracterizadas na presença de rochas diferenciadas em distintos estágios de cristalização que se desenvolveram em superfície como veios, diques e brechas.

A análise da geologia e petrografia feita no item anterior do presente Capítulo permite concluir que as associações estudadas são representantes de magmas carbonatíticos evoluídos e comparáveis principalmente aos estágios mais iniciais (Mato Preto) e intermediários a finais (Barra de Itapirapuã) de inúmeras ocorrências congêneres descritas no mundo (Kapustin, 1980; Sokolov, 1985; Hogarth, 1989).

O estudo da evolução geoquímica dessas duas associações torna-se muito difícil em virtude da escassez de afloramentos *in situ* para se estabelecer a seqüência cronológica intrusiva e da inacessibilidade a possíveis litotipos primitivos tão comuns no desenvolvimento de suítes carbonatíticas (sövitos enriquecidos em óxidos, fosfatos e silicatos, e seus diferenciados como foscóritos, beforsitos) que poderiam imprimir nas margens arrefecidas a assinatura do magma inicial.

Além dos aspectos geológicos, existem fatores intrínsecos ao processo magmático que dificultam ou até impedem a caracterização dos magmas iniciais e da linha de tendência evolutiva de uma associação carbonatítica. Estes fatores prendem-se às propriedades físico-químicas peculiares dos magmas carbonatíticos que possibilitam modificações constantes em sua composição no decorrer do desenvolvimento magmático.

Os magmas carbonatíticos se distinguem por conterem concentrações as mais elevadas em fluidos e por serem extremamente reativos. A viscosidade é muito baixa, próxima à de líquidos como a água ou óleo com $\eta = 5 \times 10^{-2}$ poise (Treiman & Schedl, 1983, Treiman, 1989) sendo, de longe, inferior à de basaltos ($\eta = 5 \times 10^2$

poise) e de riolitos (cerca de $\eta = 10^8$ poise). A alta fluidez desses magmas permite rápida sedimentação magmática de cristais, ainda que sua densidade seja pouco contrastante com a desses líquidos ($\rho = 2,2 \text{ g/cm}^{-3}$, Treiman & Schedl, 1983). Como resultado desse processo podem ocorrer segregações cumuláticas (Wyllie & Tuttle, 1960; Wyllie, 1966).

Durante todo desenvolvimento magmático pode ocorrer perda de grande volume da fase volátil enriquecida em metais que se traduz através do metassomatismo alcalino e das atividades pós-magmática e hidrotermal presentes desde a fase que precede a intrusão do corpo até os estágios tardios. Adicione-se ainda modificações de causa externa por assimilação das encaixantes e reações de trocas iônicas durante os processos metassomáticos.

As feições geoquímicas gerais fornecidas aqui pelas associações carbonatíticas de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã devem, assim, ser tomadas não como de seguimentos petrológicos contínuos dos estágios evolutivos definidos na sequência de rochas, mas possivelmente de frações interrompidas desses seguimentos petrológicos.

Complexo carbonatítico de Mato Preto - as concentrações muito baixas de SiO_2 e Al_2O_3 da paragênese essencialmente carbonática das rochas evidenciam a possível exaustão desses elementos retidos pela cristalização de minerais silicáticos nas rochas mais primitivas, bem como a acumulação de fluidos tardimagmáticos e hidrotermais na fração residual durante o desenvolvimento magmático e a participação inexpressiva de processos de assimilação de encaixantes silicáticas nesses estágios da evolução.

Os teores baixos de K_2O e Na_2O dos carbonatitos não traduzem a composição do magma original. São interpretados como resultado da perda de grande volume desses elementos por volatilização e por transferência principalmente às encaixantes graníticas regionais através de processo de fenitização. Segundo Twyman & Gittins (1987), o magma parental mais comum que gera a diversidade de carbonatito é um olivina sóvito com total de K_2O e Na_2O de até 8%. Os granitos fenitizados e fenitos sieníticos da área estudada apresentaram enriquecimento em K_2O relativamente à média regional dos granitos. Em alguns casos, as rochas intensamente fenitizadas apresentaram razões $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O} > 4$ enquanto nos granitos regionais chegam, quando muito, à unidade (1,06).

As concentrações de MgO nos carbonatitos são quase sempre muito baixas. As pequenas quantidades medidas nas calcitas e a ausência de dolomita exsolvida neste mineral constituem evidências condizentes com um magma caracteristicamente enriquecido em CaO por ocasião da formação dessas rochas.

Rochas de composição magnesiocarbonatítica não foram encontradas, exceto raras venulações microscópicas contendo dolomita. Em fusões carbonatíticas MgCO_3 dissocia-se mais facilmente do que CaCO_3 para formar silicatos magnesianos (Koster van Groos, 1975). Não foram registradas, no entanto, rochas metassomáticas com quantidades elevadas de minerais magnesianos, eliminando-se, assim, qualquer hipótese de transferência do magnésio para as encaixantes regionais. A fração maior de MgO encontra-se concentrada em carbonatos ankeríticos de ferrocarbonatitos.

É possível que existam litotipos magnesianos em profundidades maiores, caso o magma parental tenha as características geoquímicas propostas por Twyman & Gittins (1987) com teores de MgO de aproximadamente 3,5%.

Teores muito baixos de TiO_2 e as anomalias negativas de Rb e Ti definidas em todas as variedades petrográficas dos carbonatitos poderiam ser interpretadas como resultado de possível precipitação de titanomagnetita e flogopita durante os estágios iniciais de cristalização de magmas de composição mais primitiva. Essas rochas, contudo, não foram registradas em nenhum afloramento e tampouco em testemunho de sondagem. A maior parte de FeO encontra-se concentrada nos carbonatos ankeríticos de ferrocarbonatitos. A freqüente ocorrência de minerais de sulfetos como, por exemplo, pirita, associada aos carbonatitos estudados, indica cristalização em condições de baixa fugacidade de oxigênio, principalmente nos estágios mais tardios.

Nióbio (Ta) e Zr concentram-se preferencialmente no ferrocarbonatito e nos calciocarbonatitos com venulações tardias e, mais raramente, nos inalterados, nos quais ocorrem as maiores quantidades de pirocloro. Esse fato pode ser considerado uma clara evidência de que as frações residuais e as fases voláteis dessa associação foram enriquecidas nestes elementos. Os calciocarbonatitos representariam, em parte, magmas de estágios mais evoluídos e comparáveis aos de ferrocarbonatitos. De modo similar, o Th e U concentram-se nas frações voláteis

até os estágios tardios e pós-magmáticos em que precipitam os minerais de terras raras e fluorita.

Bário, Sr e Elementos Terras Raras (ETR) apresentam concentrações muito variáveis tanto nas rochas inalteradas pelas infiltrações tardias como nas venuladas. Os dados químicos evidenciam claramente, no entanto, o enriquecimento crescente nas concentrações absolutas destes elementos desde os calciocarbonatitos aos ferrocarbonatitos, até os carbonatitos tardiamente venulados. A relação Ba:Sr nesta seqüência é muito variável (0,02 a 2,26); os valores mais elevados residem principalmente nas duas últimas variedades, indicando um forte enriquecimento de Ba em relação a Sr. O padrão de distribuição de ETR normalizados para os condritos para os vários litotipos evidencia, por sua vez, comportamento geral típico de rochas carbonatíticas, com importante fracionamento entre ETR leves e ETR pesados e razões $(La:Yb)_N$ sempre elevadas, compreendidas no intervalo de 26 a 50 nas variedades inalteradas, e no intervalo de 30 a 120 nas venuladas.

Os estudos geoquímicos executados em muitos complexos carbonatíticos do mundo têm evidenciado sistematicamente um enriquecimento progressivo nos teores de sobretudo ETR e outros elementos incompatíveis (Sr, Ba, Zr etc.) desde as rochas mais primitivas da série de olivina sövitos até as mais evoluídas da série ferrocarbonatitos, atingindo seu máximo nos carbonatitos tardios. O enriquecimento nesses elementos durante a evolução magmática é controlado pela partição dos elementos que durante a cristalização se dirigem preferencialmente às fases sólidas ou às voláteis.

O Mn (raio iônico $<1,1$) tem partição preferencial na estrutura da calcita em relação a elementos com raios maiores como, por exemplo, o Sr (Veizer, 1983). Isso implica que os ETR médios e pesados com raios menores (entre 0,9 e 1,1) são incorporados mais facilmente nos carbonatos do que os ETR leves, Sr e Ba com raios maiores ($>1,1$), o que sugere que a evolução dos magmas carbonatíticos é controlada principalmente pela cristalização de carbonatos, com enriquecimento absoluto desses elementos e aumento das razões ETR leves/pesados.

Os ETR leves, Sr e Ba têm, por outro lado, partição voltada à fase volátil nos magmas carbonatíticos (Wendtlandt & Harrinson, 1979) e apresentam enriquecimento correlativo às concentrações de Cl (F) nas fusões silicáticas (Flynn & Burnham, 1978). Em Mato Preto, a partição de ETR, Sr e Ba na fase volátil é

demonstrada pelas elevadas concentrações desses elementos no ferrocarbonatito e principalmente nas rochas com venulações tardias nas quais ocorre grande precipitação de fluorita, fluorcarbonatos de terras raras, barita etc. Ressalte-se a grande participação da fase volátil nas fusões carbonatíticas nos estágios intermediários e finais, que se traduz pela presença de brechas explosivas (matriz ora ferrocarbonatítica ora calcítica) e de infiltrações venulares enriquecidas de minerais de F, Cl, CO₂, S etc., tanto nas rochas carbonatíticas como também nos fenitos l.s. encaixantes.

A julgar pelas suas características geoquímicas e mineralógicas, os carbonatitos de Mato Preto são compatíveis com magmas de um estágio mais precoce que os da Barra de Itapirapuã e representariam estágios distintos de cristalização, alguns mais iniciais, outros bastante diferenciados.

Os calciocarbonatitos são mais ou menos enriquecidos em ETR e Nb e com frequência portam pirocloro idiomórfico. Este mineral, segundo Hogarth (1989), precipita entre os estágios I e III. Os carbonatos são calcitas quase puras, com teores de SrO oscilando desde valores extremamente baixos (<0,02%) até bastante elevados (2,5%). As feições gerais dessas rochas parecem compatíveis com magmas cristalizados entre os estágios I (final) e/ou II (inicial).

Os ferrocarbonatitos com certeza pertencem ao estágio III. O desenvolvimento magmático ocorreu com pequena precipitação de apatita e opacos, entre outros, provocando concentração nas fases voláteis finais de F, ETR, Sr, Ba etc. e, ainda na fase tardia, o refluxo de soluções de baixa temperatura responsáveis pela alteração das rochas. Os padrões de enriquecimento dos ETR nas rochas estudadas são similares àqueles definidos para as diversas ocorrências congêneres brasileiras (Toyoda et al., 1994; Huang et al., 1995).

Complexo carbonatítico da Barra de Itapirapuã - as concentrações de SiO₂, Al₂O₃, K₂O e Na₂O são pouco significativas na grande maioria das rochas. No entanto, os carbonatitos de granulação fina e os de granulação grossa (magnesiocarbonatito e ferrocarbonatito) tardiamente venulados, além de alguns inalterados, possuem teores sensivelmente mais elevados ora de forma generalizada para todos os elementos considerados ora dirigidos para a sílica.

Com base nos resultados geológicos, petrográficos e geoquímicos, essas oscilações composicionais são interpretadas principalmente como o resultado de processos

desenvolvidos pela assimilação de encaixantes graníticas (reações de carbonatização nos contatos, incorporação de xenocristais e xenólitos etc.) durante a intrusão dos magmas carbonatíticos e pela atividade de baixa temperatura dada pelo refluxo de soluções tardi e pós-magmáticas enriquecidas principalmente em sílica, F, P e ETR.

Em algumas das variedades finas, essas oscilações poderiam traduzir muito discretamente a composição do magma que lhes deram origem. Nessas rochas estariam impressos os traços da composição original de magmas possivelmente menos evoluídos do que os demais, retidos por um sistema resfriado mais rapidamente. A participação de elevadas concentrações sobretudo de K_2O e Na_2O no curso da evolução das rochas carbonatíticas da Barra de Itapirapuã é constatada pelos efeitos metassomáticos produzidos ao seu redor junto aos granitos, em consequência da fenitização.

Os magnesiocarbonatitos aparecem com muito maior frequência do que os ferrocarbonatitos, representando cerca de 64% contra 31%, respectivamente, do total das amostras de sondagem estudadas. Nelas, CaO mantém-se praticamente constante enquanto MgO tem sempre um comportamento inverso ao de FeO . A razão $MgO:FeO$ é variável e compreendem os intervalos de 3,61 a 2,55 nos magnesiocarbonatitos de granulação fina; de 3,27 a 1,33 nos de granulação grossa e de 0,99 a 0,80 nos ferrocarbonatitos de granulação grossa e fina. Essas variações refletem mudanças gradativas de composição segundo uma linha evolutiva que se inicia na ordem de cristalização nos carbonatitos magnesianos mais primitivos até os mais ferruginosos e finais desta seqüência. Os magnesiocarbonatitos finos e alguns de granulação grossa mais magnesianos podem representar os magmas mais primitivos da associação intrusiva nos níveis amostrados, enquanto os mais ferruginosos, os mais evoluídos. Entretanto, as concentrações de MgO registradas nessas rochas e nas variedades menos magnesianas não traduzem exatamente a composição do magma original. Parte dela provavelmente foi perdida nas reações de carbonatização entre o magma e as rochas encaixantes formando as rochas sílico-carbonatíticas.

O TiO_2 é comparativamente alto apenas para os calciocarbonatitos e magnesiocarbonatitos de granulação fina e resulta da presença de flogopita, piroxênio e anfibólio no primeiro litotipo e de opacos no segundo. A presença

ocasional de minerais com Ti provavelmente como óxidos de Ti-Fe (opacos) nos magnesiocarbonatitos finos, sugere a existência de uma fase magmática precoce enriquecida neste elemento em cuja evolução precipitaram-se inicialmente minerais titaníferos (titanomagnetita) produzindo fortes anomalias negativas de Ti. Ressalte-se que essas rochas não foram encontradas nos níveis de profundidade estudados. A grande parte de FeO encontra-se concentrada nos carbonatos dolomíticos e ankeríticos, nos óxidos e sulfetos. A ocorrência generalizada de carbonatos ankeríticos e a ocorrência freqüente de sulfetos indica cristalização em condições de baixa fugacidade de oxigênio no desenvolvimento evolutivo de grande parte da associação estudada.

Nióbio (Ta), Zr, Hf, Th e U concentram-se preferencialmente na fase residual das fusões carbonatíticas e/ou volátil, evidenciando um enriquecimento bastante variável mas com tendências progressivas desde os magnesiocarbonatitos até as rochas mais evoluídas da série dos ferrocarbonatitos (Nb (Ta), Zr e Hf), atingindo seu máximo geralmente nas rochas fortemente venuladas (Zr, Th e U). Em muitos casos observam-se ao microscópio xenocristais de fenitos com abundante pirocloro e fluorcarbonatos ETR. Isto significa que os elementos considerados são concentrados e transportados pela fase volátil, ocasionalmente separados das fusões e mobilizados para as encaixantes em frações diversas no curso de evolução das rochas, traduzindo, assim, as oscilações tão discrepantes nos seus teores dentro de cada litotipo.

Em outros casos, foram registradas concentrações elevadas de Nb, Zr e Hf nos carbonatitos de granulação fina menos evoluídos e de U e Th nos de granulação grossa inalterados. Neles, os conteúdos elevados refletem principalmente as condições de cristalização seja em níveis bem mais rasos e uma história de resfriamento rápido (primeiros litotipos) seja em sistemas fechados com muito voláteis (segundos litotipos).

Bário e Sr têm comportamentos independentes entre si. Nos carbonatitos de granulação grossa, Ba mantém teores relativamente constantes enquanto Sr exhibe variações amplas. Já nos de granulação fina, os dois elementos possuem as mais baixas concentrações nos calciocarbonatitos e grande variação nos magnesiocarbonatitos. As razões Ba:Sr são quase sempre muito baixas (entre 0,07 e 0,6; raramente >1,00), evidenciando a grande abundância de Sr nessas rochas e o

enriquecimento em Ba nos ferrocarbonatitos. Esta abundância e a forte variação dos teores de Sr traduzem a predominância de uma fase dolomítica mais ou menos enriquecida em ferro (este mostrando sempre correlação direta com manganês). O SrO tem correlação positiva com a razão Mg:Fe (Mn) nas dolomitas e ankeritas de magnesiocarbonatitos de granulação grossa; já nos de granulação fina, nenhuma correspondência é verificada nesses minerais. Nos cristais zonados de carbonatos SrO e MgO variam na razão inversa com FeO, MnO e CaO. Em geral, verifica-se que o comportamento geoquímico de Sr nas rochas de granulação grossa foi indubitavelmente controlado pelo Mn, conforme preconizado em Veizer (1983), enquanto que nas variedades finas, seu comportamento parece mais relacionado com a história de resfriamento rápido.

Bário e ETR têm, por outro lado, comportamentos geoquímicos similares com correlação positiva entre si. As concentrações aumentam desde calciocarbonatitos e alguns magnesiocarbonatitos de granulação fina e grossa aos ferrocarbonatitos, culminando nas rochas mais enriquecidas em venulações tardias nas quais os elementos considerados formam juntamente com fluorita, quartzo, apatita etc. seus próprios minerais, tais como barita e fluorcarbonatos de ETR.

Esse enriquecimento no sentido das rochas mais evoluídas acha-se, provavelmente, relacionado com a tendência química desses elementos de se concentrarem na fase volátil da fusão (Wendtlandt & Harrinson, 1979; Flynn & Burnham, 1978) e com a presença de pequenas quantidades de apatita sobretudo nas rochas menos evoluídas. A participação de elevadas concentrações de voláteis no desenvolvimento magmático é destacada pela abundância de fases contendo F, S, C etc. nos diversos litotipos estudados. Mencione-se também que, nestas rochas, flúor-apatitas possuem geralmente teores elevados de ETR e muitas vezes exibem zonações composicionais, nas quais os núcleos encontram-se geralmente mais enriquecidos nestes elementos. Esses minerais ganham maior expressão, contudo, nas frações residuais dos ferrocarbonatitos e nas infiltrações tardias. O padrão de distribuição dos ETR indica forte enriquecimento nos ETR leves e razões La:Yb geralmente altas, com os valores mais baixos nos calciocarbonatitos e magnesiocarbonatitos finos e os mais altos nos carbonatitos venulados.

As feições químicas dessas rochas e de seus minerais principais sugerem uma evolução seqüencial com aumento gradativo de Mg, Fe e Mn e diminuição de Ca,

dada pela precipitação de calcita e/ou dolomita e ankerita diversas ($\text{Fe} + \text{Mn}$ variável), originando em transição contínua rochas carbonáticas da série $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg} + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe} + \text{Mn}$ – carbonatitos.

Na Barra de Itapirapuã essa associação encontra-se bem representada por magnesiocarbonatitos e ferrocarbonatitos. No entanto, a presença de calciocarbonatito não reflete a existência de uma fase primitiva de desenvolvimento magmático. As calcitas dessas rochas possuem sistematicamente baixo teor de SrO , ao contrário das calcitas do primeiro estágio de cristalização contendo considerável SrO (Sokolov, 1985). Além disso, essas rochas apresentam os mais baixos conteúdos de Nb, Ba, Sr e ETR da suíte, indicando uma fonte já exaurida nesses elementos, possivelmente mais evoluída. Por outro lado, a existência de magnesiocarbonatitos finos com dolomita dominante (alto SrO) e baixos teores de ETR, bem como de variedades de granulação média/grossa contendo alguma calcita e por vezes estroncianita, sugere que, além de mais enriquecidos em ETR, os carbonatitos da Barra do Itapirapuã são representantes de magmas carbonatíticos evoluídos e comparáveis aos dos estágios II e III de Hogarth (1989). É possível que magmas do estágio I estejam representados em rochas de maiores profundidades.

A atividade carbonatítica concentrou, nos estágios finais, principalmente F (além de outros voláteis), P e ETR leves em consequência da precipitação inexpressiva de apatita durante a evolução magmática. O estágio tardio foi marcado pela precipitação generalizada de fluorita, fluorcarbonatos de ETR, apatita, barita e quartzo, além de outros minerais menos expressivos. Nesse estágio, parte das rochas magmáticas sofreu transformações texturais de baixa temperatura e enriquecimento em elementos incompatíveis.

Geoquímica isotópica

Os estudos prévios de isótopos estáveis em carbonatitos da porção intracratônica da Bacia do Paraná, com a composição isotópica de oxigênio e carbono de carbonatos, mostram que a maioria deles encontra-se no intervalo de “carbonatitos primários” em termos de $\delta^{18}\text{O}\%$ vs. $\delta^{13}\text{C}\%$ (Scheibe & Formoso, 1982; Nelson et al., 1988; Censi et al., 1989; Morikiyo et al., 1990; Toyoda et al., 1994; Santos & Clayton, 1995; Walter et al., 1995; Catorina et al., 1996). Algumas variações observadas foram relacionadas à heterogeneidade da fonte mantélica (Nelson et al., 1988), à contaminação pela rocha hospedeira (Santos & Clayton, 1995) e à evolução magmática aliada à

hidrotermal de carbonatitos em níveis rasos (Censi et al., 1989). Três sucessivos estágios de cristalização (magmático, magmático tardio e hidrotermal) foram distinguidos por Walter et al. (1995) no carbonatito de Juquiá (Arco de Ponta Grossa, 127 Ma), em que o primeiro estágio corresponde à cristalização de ferrodolomita magmático.

Os estudos isotópicos $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ apresentados no presente trabalho sustentam a hipótese de que os carbonatos dos carbonatitos de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã atingiram sua composição de equilíbrio isotópico durante o estágio magmático, sendo, em parte, modificada por processos hidrotermais subsequentes.

Complexo carbonatítico de Mato Preto - os dados isotópicos comprovam que apenas 15% das amostras estudadas mostram composição de cristalização primária (T 650–500°C), com $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ restritos entre 8 e 10 e -7,5 e -4,5, respectivamente. As demais foram reequilibradas em condições hidrotermais (T entre 375 e 80°C) ou intempéricas (<80°C), com $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 10 e 16 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre -4,5 e +2,0. Os valores isotópicos elevados tanto de O como de C apresentado pela maioria das amostras dessa ocorrência são atribuídos basicamente a efeitos hidrotermais (Ruberti et al., 1987) e não a contaminação crustal por rochas calcárias, conforme sugerido por Santos & Clayton (1995).

Complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã - os dados confirmam que mais de 80% das amostras de carbonatitos têm composição isotópica de cristalização primária, sob temperaturas entre 650 e 500°C, com valores de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 8 e 10 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre -7,5 e -4,5. A parte restante mostra composição compatível com o campo de reequilíbrio hidrotermal ou intempérico, com $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ entre 12 e 19 e $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ entre +2 e -2.

Os magmas que deram origem aos carbonatitos podem ser de natureza primária, ascendendo diretamente do manto (Cooper et al., 1975; Koster van Groos, 1975; Treiman & Essene, 1983), ou derivados de um magma silicato-carbonático por imiscibilidade líquida (Koster van Groos & Wyllie, 1966, 1968 e 1973; Ferguson & Curie, 1971; Freestone & Hamilton, 1980).

Nas associações pesquisadas, tudo leva a crer que tiveram sua origem a partir de um magma silicato-carbonático. Mato Preto apresenta carbonatitos em coexistência com rochas silicáticas portadoras de feldspatóides (fonolitos). Já Barra de Itapirapuã

consiste em uma associação única no Brasil, formando uma estrutura aparentemente sem rochas magmáticas silicáticas cogenéticas. Situa-se, entretanto, numa área de intensa atividade alcalina miasquítica, distante 2km do complexo alcalino de Itapirapuã, com numerosos veios de carbonatitos, e a cerca de 10km de Mato Preto. É provável que esteja relacionada geneticamente com Itapirapuã ou que coexista em profundidades maiores com rochas magmáticas silicáticas.

CAPÍTULO IX

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOVER NETO, A., CASTORINA, F., CENSI, P., RIBEIRO DE ALMEIDA, T. I., SPEZIALE, S., TOLEDO, M.C.M., GOMES, C.B., COMIN-CHIARAMONTI, P., 1997. Geochemistry of carbonatitic rock-types from Eastern-Paraguay. J. South Am. Earth Sci., no prelo.
- ALGARTE, J.P., 1972. A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento da alcalinas nos estados de São Paulo e Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 26, Belém, 1972. Anais...Belém, SBG, Vol.1, p. 65-69.
- ALMEIDA, F.F.M., 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: Congr. Bras. Geol., 1, Salvador, 1969. Anais...Salvador, SBG, Vol.1, p. 29-46.
- ALMEIDA, F.F.M., 1971. Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do sul do Brasil e Paraguai oriental. An. Acad. bras. Ciên., 43: 835-836.
- ALMEIDA, F.F.M., 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. An. Acad. bras. Ciên., 48(supl.): 15-26.
- ALMEIDA, F.F.M., 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. Rev. Bras. Geoc., 13: 139-158.
- AMARAL, G., BUSHEE, J., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. & REYNOLDS, J.H., 1967. Potassium-argon ages of alkalines rocks from southern Brazil. Geochim. Cosmochim. Acta, 31: 117-142.
- ASMUS, H.E., 1978. Hipóteses sobre a origem de zonas de fratura oceânica/alinhamentos continentais que ocorrem nas regiões sudeste e sul do Brasil. Comunicação técnica REMAC-004/78.
- BERBERT, C.O., 1984. Carbonatites and associated mineral deposits in Brazil. Geol. Surv. Jpn, Rep. 263: 269-290.
- BOTTINGA, Y., 1968. Calculation of fractionation factors from carbon and oxygen isotopic exchange in system calcite-carbon dioxide-water. J. Phys. Chem., 72: 800-808.

- 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. Relationship with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/Fapesp, São Paulo, Brazil, p. 231 – 248.
- CAWTHORN, R.G. & COLLERSON, K.D., 1974. The recalculation of pyroxene end-member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analyses. *Am. Mineral.*, 59: 1203-1208.
- CENSI, P., COMIN-CHIARAMONTI, P., DEMARCHI, G., LONGINELLI, A., ORUÉ, D., 1989. Geochemistry and C-O isotopes of the Chiriguelo carbonatite, northeastern Paraguay. *J. South Am. Earth Sci.*, 3: 295-303.
- COMININ-CHIARAMONTI, P. & GOMES, C.B., EDS., 1996. *Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationship with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/FAPESP, São Paulo, Brazil, 464 p.
- COOPER, A.F., GITTINS, J. & TUTTLE, O.F., 1975. The system $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{K}_2\text{CO}_3 - \text{CaCO}_3$ at 1 kilobar and its significance in carbonatite petrogenesis. *Am. J. Sci.*, 275: 534-560.
- CORDANI, U.G. & HASUI, Y., 1968. Idades K-Ar de rochas alcalinas do primeiro planalto do Estado do Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 22, Ouro Preto, 1968, Anais...Ouro Preto, SBG, p.149-153.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J., 1992. *Na Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Longman Scientific & Technical, London, 696p.
- D'ELBOUX, C.V.; TAVARES, J.R.P. & PAIVA, I.B., 1982. Proposição de modelo mineralizador básico-alcalino para pesquisa mineral na região meridional do Escudo Pré-cambriano brasileiro. In: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador, 1982. Anais...Salvador, SBG, Vol.3, p. 1061 –1072.
- FERGUSON, J. & CURRIE, K.L., 1971. Evidence of liquid immiscibility in alkaline ultrabasic dykes at Callander Bay, Ontario. *J. Petrol.*, 12: 561-586.
- FERREIRA & ALGARTE, 1979. O comportamento aeromagnetométrico-aerocintilométrico das principais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e

- Paraná. In: Simp. Reg. Geol., 2, Rio Claro, 1979. Atas...Rio Claro, SBG, Vol.2, p. 195-208.
- FERREIRA, F.J.F., 1982. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 170p.
- FIORI, A.P., 1985. As falhas da Lancinha e de Morro Agudo e estruturas secundárias associadas. In: Simp. Sul – Bras. Geol., 2, Florianópolis, 1985. Anais... Florianópolis, SBG, p. 146-158.
- FLYNN, R.T. & BURNHAM, C.W., 1978. An experimental determination of rare earth partition coefficients between a chloride containing vapour phase and silicate melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42: 685-701.
- FOSTER, M.D., 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper, 354-B: 11-49.
- FREESTONE, I.C. & HAMILTON, 1980. The role of liquid immiscibility in the genesis of carbonatites – An experimental study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73: 105-117.
- FREITAS, R.O., 1944. Jazimento de rochas alcalinas no Brasil meridional. *Eng. Min. E Met.*, 8: 45-48.
- FUCK, R.A., 1972. Geologia do maciço alcalino de Tunas, Paraná, Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 82p.
- FURTADO, S.M.A., 1989. Petrologia do maciço alcalino de Anitápolis, SC. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 245p.
- GASPAR, J.C., 1989. Géologie et Minéralogie Du Complexe Carbonatitique de Jacupiranga, Brésil. Tese de Doutorado. Université D'Orleans, U.E.R. de Sciences Fondamentales Et Appliquees, 343p.
- GIMENEZ FILHO, A., TEIXEIRA, W., FIGUEIREDO, M.C.H. & TREVIZOLI JÚNIOR, L.E., 1995. Geologia, Petrografia e Litogeoquímica do Complexo Granítico Três Córregos na Região de Barra do Chapéu e Ribeirão Branco, SP. *Rev. Bras. Geocienc.*, 25:92-106.
- GIMENEZ FILHO, A., TEIXEIRA, W., FIGUEIREDO, M.C.H. & TREVIZOLI JR., L.E., 1995. Geologia, petrografia e litogeoquímica do Complexo Granítico Três

- Córregos na região da Barra do Chapéu e Ribeirão Branco, SP. Rev. Bras. Geocienc., 25: 92-106.
- GÓIS, J.R., SALAMUNI, E. & FIORI, A.P., 1985. Lineamentos e compartimentos tectônicos do Pré-Cambriano Paranaense. . In: Simp. Sul – Bras. Geol., 2, Florianópolis, 1985. Anais... Florianópolis, SBG, p. 159-171.
- GOMES, C.B., 1970. Petrologia do maciço alcalino de Itapirapuã, São Paulo. Bol. IGA., USP, 1: 77-197.
- GOMES, C.B., ARRUDA, J.R., BERENHOLC, M. & HYPÓLITO, R., 1975b. Parte 2. Geoquímica de maciços graníticos da região do Ribeira. Parte 2. Elementos traços. An. Acad. bras. Ciên., 47: 459-476.
- GOMES, C.B., BARBIERI, M., BECCALUVA, L., BROTZU, P., CONTE, A., GARBARINO, C., MACCIOTTA, G., MELLUSO, L., MORBIDELLI, L., RUBERTI, E., SCHEIBE, L.F., TAMURA, R.M. & TRAVERSA, G., 1987. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from Continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. Geochim. Brasil., 1: 201-234.
- GOMES, C.B., BARBIERI, M., BECCALUVA, L., BROTZU, P., CONTE, A., GARBARINO, C., MACCIOTTA, G., MELLUSO, L., MORBIDELLI, L., RUBERTI, E., SCHEIBE, L.F., TAMURA, R.M., TRAVERSA, G., 1987. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. Geochim. Brasil., 1: 201-234.
- GOMES, C.B., BERENHOLC, M., HYPÓLITO, R. & ARRUDA, J.R., 1975a. Geoquímica de maciços graníticos da região do Ribeira. Parte 1. Elementos principais. An. Acad. bras. Ciên., 47: 113-130.
- GOMES, C.B., MORBIDELLI, L., RUBERTI, E., COMIN-CHIARAMONTI, P., 1996. Comparative aspects between post-palaeozoic alkaline rocks from the western and eastern margins of the Paraná Basin. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds.) *Alkaline magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationship with coeval magmatism in Brazil*. Edusp/FAPESP, São Paulo, Brazil, p. 249-274, 1996.
- GOMES, C.B., RUBERTI, E. & MORBIDELLI, L., 1990. Carbonatite complexes from Brazil: A review. J. South Am. Earth Sci., 3: 51-63.

- GOMES, C.B., RUBERTI, E. & MORBIDELLI, L., 1990. Carbonatite complexes from Brazil: A review. *J. South Am. Earth Sci.*, 3: 51-63.
- HEINRICH, E. W., 1980. *The Geology of Carbonatites*. Huntington: Robert E. Drieger Publishing Company. 585p.
- HOGARTH, D.D. & JOHN LOOP, R.H., 1985. Rare-earth element minerals in four carbonatites near Gatineau, Quebec. *Am. Mineral.*, 70: 1135-1142.
- HOGARTH, D.D., 1989. Pyrochlore, apatite and amphibole: Distinctive minerals in carbonatite. In: Bell, K. (ed.) *Carbonatites: Genesis and Evolution*. Unwin Hyman, London, p. 105-148.
- HUANG, Y.-M., HAWKESWORTH, C.J., van CALSTEREN, P., McDERMOTT, F., 1995. Geochemical characteristics and origin of the Jacupiranga carbonatites, Brazil. *Chem. Geol.*, 119: 79-99.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.B., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian J. Earth Sci.*, 8: 523-548.
- JACOBSON, R.L. & LANGMUIR, D., 1974. Dissociation constantes of calcite and CaHCO_3^+ from 0 to 50°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38: 301-312.
- JENKINS, R.E., 1987. Geology of the Clugger-fluorite deposit, Mato Preto, Paraná, Brazil. *Rev. Bras. Geocien.*, 17: 288-294.
- KAPUSTIN, Yu. L., 1980. *Mineralogy of Carbonatites*. New Delhi, Amerind Publishing Co. Pvt Ltd., 259p.
- KAPUSTIN, Yu.L., 1980. *Mineralogy of Carbonatites*. New Delhi: Amerind Publishing Company, 259p.
- KOSTER van GROOS, A.F. & WYLLIE, P.J., 1966. Liquid immiscibility in the system $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CO}_2$ at pressures up to 1 kilobar. *Am. J. Sci.*, 264: 234-255.
- KOSTER van GROOS, A.F. & WYLLIE, P.J., 1968. Liquid immiscibility in the join $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ and its bearing on the genesis of carbonatites. *Am. J. Sci.*, 266: 932-967.
- KOSTER van GROOS, A.F. & WYLLIE, P.J., 1973. Liquid immiscibility in the join $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAlSi}_2\text{O}_8 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2$. *Am. J. Sci.*, 273: 465-487.

- KOSTER van GROOS, A.F., 1975. The effect of high CO₂ pressure on alkalic rocks and its bearing on the formation of alkalic ultrabasic rocks and the associated carbonatites. *Am. J. Sci.*, 275: 163-185.
- LARSEN, L.M., 1976. Clinopyroxenes and coexisting mafic minerals from the alkaline Ilímaussaq intrusion, South Greenland. *J. Petrol.*, 17: 258-290.
- LE MAITRE, 1989. A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford, Blackwell, 193p.
- LEAKE, B.E., 1978. Nomenclature of amphiboles. *Can. Mineral.*, 16: 501-520.
- LOUREIRO, F. E. L. & TAVARES, J.R., 1983. Duas novas ocorrências de carbonatitos: Mato Preto e Barra do Rio Itapirapuã. *Rev. Bras. Geocien.*, 13: 7-11.
- MELFI, A.J., BITTENCOURT, I. & CORDANI, U.G., 1965. Reconhecimento fotogeológico de parte do Grupo Açungüi. *Gragantia*, 24: 447-474.
- MITCHELL, R.H. & BRUNFELT, A.O., 1975. Rare Earth Element Geochemistry of the Fen Alkaline Complex, Norway. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 52: 247-259.
- 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.*, 30: 135-168.
- MORIKIYO, T., HIRANO, H., MATSUSHITA, Y., 1990. Carbon and oxygen isotopic composition of the carbonatites from Jacupiranga and Catalão I carbonatite complexes, Brazil. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 41: 619-626.
- MORIMOTO, N., 1989. Nomenclature of Pyroxenes. *Mineral. J.*, 14: 198-221.
- NELSON, D.R., CHIVAS, A.R., CHAPPELL, B.W., McCULLOCH, M.T., 1988. Geochemical and isotopic systematics in carbonatites and implications for the evolution of ocean-island sources. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 1-17.
- O'NEIL, J.R., 1986. In: *Valley, J.W., Taylor, H.P. & O'Neil, J.R. (eds.) – Stable isotopes in high temperature geological processes*. *Rev. Mineral.*, 16: 1-40.
- OHMOTO, H., 1986. In: *Valley, J.W., Taylor, H.P. & O'Neil, J.R. (eds.) – Stable isotopes in high temperature geological processes*. *Rev. Mineral.* 16: 1491-1560.

- PREWITT, C.T., SHANNON, R.D. & WHITE, E.B., 1972. Synthesis of a pyroxene containing trivalent titanium. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 35: 77-82
- RICHARD, L.R. & CLARKE, D.B., 1990. AMPHIBOL: A program for calculating structural formulae and for classifying and plotting analyses of amphiboles. *Am. Mineral.*, 75: 421-423.
- RICHARD, L.R., 1995. MINPET: The ultimate mineralogical and petrological data processing system for windows. Québec, Canada, 263p.
- ROBINSON, P., SPEAR, F.S., SCHUMACHER, J.C., LAIRD, J., KLEIN, C., EVANS, B.W., DOOLAN, B.L., 1981. Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrence and theory. *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, 9B: 1-228.
- ROCK, N.M.S., 1982. Chemical mineralogy of the Monchique alkaline complex, southern Portugal. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 81: 64-78.
- RODRIGUES, C.L. & SANTOS LIMA, P.R.A., 1984. Carbonatitic complexes of Brazil. *Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração*, São Paulo, 44 p.
- RONCHI, L.H., TOURAY, J.C., MICHARD, A. & DARDENNE, M.A., 1993. The Ribeira fluorite district, southern Brazil. *Mineral Deposita*, 28: 1-14.
- RUBERTI, E. & ULBRICH, M.N.C., 1998. Magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico no Estado de São Paulo. In: C. Riccomini (ed.). *O fanerozóico pós-gondwânico do Estado de São Paulo*. 50 pp., submetido.
- RUBERTI, E., 1984. Petrologia do maciço alcalino do Banhadão, PR. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 248p.
- RUBERTI, E., 1984. Petrologia do maciço alcalino do Banhadão, PR. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 248p.
- RUBERTI, E., CASTORINA, F., CENSI, P., GOMES, C.B., SPEZIALE, S., COMIN-CHIARAMONTI, P., 1997. REE-O-C-Sr-Nd systematics in carbonatites from Barra do Itapirapuã and Mato Preto (Southern Brazil). *South-American Symposium on Isotope Geology (SSAGI)*, Campos de Jordão, Brazil. Extended abstract, p. 271-275.

- RUBERTI, E., CASTORINA, R., CENSI, P., GOMES, C.B., SPEZIALE, S., COMIN-CHIARAMONTI, P., 1997a. REE-O-C-Sr-Nd Systematics in carbonatite from Barra do Itapirapuã and Mato Preto (Southern Brazil). South-American Symposium on Isotope Geology, Campos de Jordão, SP, Brazil. Extended Abstracts, p. 271-275.
- RUBERTI, E., GOMES, C.B., BROTZU, P., COMIN-CHIARAMONTI, P., GARBARINO, C., MORBIDELLI, L., 1987b. Aspectos geoquímicos dos carbonatitos de Mato Preto, PR. . In: Cong. Bras. Geoq., 6, Salvador, 1997. Anais...Salvador, SBGq, p. 676-679.
- RUBERTI, E., GOMES, C.B., BROTZU, P., COMIN-CHIARAMONTI, P., GARBARINO, C., MORBIDELLI, L., 1987c. Estudo geoquímicos dos carbonatitos da Barra de Itapirapuã, SP-PR. In: Cong. Bras. Geoq., 6, Salvador, 1997. Anais...Salvador, SBGq, p. 730-733.
- SANTOS, R.V. & CLAYTON, R.N., 1995. Variations of oxygen and carbon isotopes in carbonatites: A study of Brazilian alkaline complexes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 1339-1352.
- SANTOS, R.V., 1988. Geologia e geoquímica do depósito de fluorita do complexo carbonatítico de Mato Preto, Paraná, Brasil. Dissertação de Mestrado. IE – Departamento de Geociências, Universidade de Brasília, 144p.
- SCHEIBE, L.F. & FORMOSO, M.L.L., 1982. Contribuição da geoquímica das terras raras à caracterização dos carbonatitos da fazenda Varela, Lages, SC. *Rev. Bras. Geocien.*, 12: 553-561.
- SHEPPARD, S.M.F. & SCHWARTZ, H.P., 1970. Fractionation of carbon and oxygen isotopes and magnesium between coexisting metamorphic calcite and dolomite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 26: 161-198.
- SOKOLOV, S.V., 1985. Carbonates in ultramafic alkali-rock, and carbonatite intrusions. *Geochemistry International*, 22: 150-166.
- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M., 1988. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil meridional e Paraguai oriental: Compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Bol. IG-USP, Série Cient.*, 19: 63-85.

- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M., 1988. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil meridional e Paraguai oriental: Compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. Bol. IG-USP, Série Cient., 19: 63-85.
- STEIGER, R.H. & JÄGER, E., 1978. Subcomission on Geochronology: Conventions on the Use of Decay Constants in Geochronology and Cosmochronology – Contributions to the Geologic Time Scale. Amer. Association Petroleum Geologists, Studies in Geology 6: 67-71.
- STRECKEISEN, A., 1978. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. Recommendations and Suggestions. IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Neues Jahrbuch für Mineralogie. Stuttgart. Abhandlungen, 134:1-14.
- STRECKEISEN, A., 1979. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks: Recommendations and Suggestions of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Geology. Geol. Soc. Am. Boulder. Vol.7, p.331-335.
- SUN, S.S. & McDONOUGH, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. & Norry M.J. (Eds.), "Magmatism in the Ocean Basins". Geol. Soc. London, Spec. Publ., 42: 313-345.
- SUN, S.S. and McDONOUGH, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A. D. Saunders and M. J. Norry (Editors), Magmatism in the Ocean Basin. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 42: 313-345.
- TAYLOR, H.P. JR., FRECHEN, J. & DEGENS, E.T., 1967. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from Laacher See district, West Germany and Alnø district, Sweden. Geochim. Cosmochim. Acta, 31: 407-430.
- TOYODA, K., HORIUCHI, H., TOKONAMI, M., 1994. Dupal anomaly of Brazilian carbonatites: Geochemical correlations with hotspots in the South Atlantic and implications for the mantle source. Earth and Planetary Science Letters, 126: 315-331.
- TREIMAN, A.H. & ESSENE, E.J., 1983. Mantle eclogite and carbonate: a possible source of sodic carbonatites and alkaline magmas. Nature, 302: 700-704.

- TREIMAN, A.H. & SCHEDL, A., 1983. Properties of carbonatite magma and processes in carbonatite magma chambers. *Journal of Geology*, 91: 437-447.
- TREIMAN, A.H., 1989. Carbonatite magma: properties and processes. In: Bell, K. (ed.) *Carbonatites: Genesis and Evolution*. Unwin Hyman, London, p. 89-104.
- TWYMAN, J.D. & GITTINS, J., 1987. Alkalic carbonatite magmas: parental ou derivative? In: FITTON, J.G. & UPTON, G.J. (eds.) *Alkaline Igneous Rocks*. Geological Society Special Publications, 30: 85-94.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B., 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sci. Rev.*, 17: 135-154.
- 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. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 202p.
- VEIZER, J., 1983. Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates. *Reviews in Mineralogy*, 11: 265-299
- von ECKERMANN, H., 1948. The alkaline district of Alnö Island. *Sveriges Geologiska Undersökning Ser. Ca.*, N°36.
- WALTER, A.V., FLICOTEAUX, R., PARRON, C., LOUBET, M., NAHON, D., 1995. Rare-earth and isotopes (Sr, Nd, O, C) in minerals from the Juquiá carbonatite (Brazil): tracers of a multistage evolution. *Chem. Geol.*, 120: 27-44.
- WENDLANDT, R.F. & HARRISON, W.J., 1979. Rare earth partitioning between immiscible carbonate and silicate liquids and CO₂ vapor: results and implications for the formation of light rare earth-enriched rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69: 409-419.
- WOOLLEY, 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, 1-14.
- WOOLLEY, A.R., 1987. Alkaline rocks and carbonatites of the world, part 1: North and South America. London, British Museum, Natural History, 216p.
- WYLLIE, P.J. & TUTTLE, O.F., 1960. The system CaO – CO₂ – H₂O and origin of carbonatites. *J. Petrol.*, 1: 1-46.

- WYLLIE, P.J., 1966. Experimental studies of carbonatite problems: The origin and differentiation of carbonatite magmas. In: TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. (eds.) *Carbonatites*. Interscience, New York, p. 311-352.
- ZHENG, Y.F. & HOEFS, J., 1993. Carbon and oxygen isotopic covariations in hydrothermal calcites. Theoretical modeling on mixing processes and application to Pb-Zn deposits in the Harz Mountains, Germany. *Mineralium Deposita*, 28: 79-89.

A P Ê N D I C E

ANÁLISES QUÍMICAS

PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DAS SUÍTES CARBONATÍTIAS DE MATO PRETO (PR) E DA BARRA DE ITAPIRAPUÃ (PR-SP)

Excelso Ruberti

1998

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A
Análise	56n	57n	58n	59n	60n	61n	62n	63n	64n	65n	66b	67n
Descrição	gf1	gf2	gf3	gf4	gf5	gf6	gf7	gf8	gf9	gm1	gm1	gm2
SiO ₂	-	0,1	-	-	-	0,04	0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,02
BaO	0,01	-	-	-	-	0,08	0,07	0,11	0,03	-	0,15	-
SrO	0,05	0,21	0,15	0,13	0,14	0,11	0,09	0,11	0,16	0,26	0,13	0,15
MnO	0,08	-	0,01	0,01	0,06	0,08	0,05	0,02	0,01	0,05	0,15	0,02
FeO	0,27	0,17	0,22	0,19	0,21	0,21	0,23	0,17	0,18	0,18	0,16	0,17
MgO	0,11	0,05	0,06	0,07	0,04	0,07	0,06	0,13	0,09	0,06	0,02	0,04
CaO	53,95	53,97	54,55	54,27	55,02	54,81	53,73	54,99	54,64	53,91	54,71	54,61
Total	54,47	54,5	54,99	54,67	55,47	55,4	54,24	55,55	55,16	54,51	55,33	55,01
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions												
Si	-	0,003	-	-	-	0,001	-	0,001	0,002	0,002	-	0,001
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Mn	0,002	-	-	-	0,002	0,002	0,001	0,001	-	0,001	0,004	0,001
Fe ₂	0,008	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Mg	0,006	0,003	0,003	0,004	0,002	0,004	0,003	0,007	0,005	0,003	0,001	0,002
Ca	1,983	1,982	1,987	1,988	1,988	1,982	1,985	1,983	1,983	1,982	1,985	1,988
Cations	1,999	1,993	1,996	1,997	1,998	1,995	1,996	1,997	1,995	2,003	1,995	1,997

Amostra	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A	MP11A
Análise	68b	69n	70b	71n	72n	73n	74b	75n	76n	77n	78n	79n
Descrição	gm2	gm3	gm3	vg1	vg2	vg3	vg4	vg5	vg6	vg7	vg8	vg9
SiO ₂	0,03	0,03	0,05	-	-	0,04	0,03	-	0,02	-	0,02	-
BaO	0,17	-	0,16	-	-	-	0,21	0,02	0,06	-	-	-
SrO	0,08	0,16	0,02	0,17	0,15	0,07	0,1	0,18	0,17	0,25	0,28	0,17
MnO	0,12	0,03	0,16	0,05	0,07	0,13	0,25	0,1	0,05	0,08	0,06	0,06
FeO	0,19	0,15	0,22	0,17	0,28	0,27	0,38	0,17	0,23	0,24	0,07	0,15
MgO	0,09	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,09	0,07	0,04	0,03	0,05
CaO	53,97	54,94	53,91	55,04	54,56	53,51	53,98	54,47	54,34	54,61	53,7	54,48
Total	54,65	55,34	54,55	55,48	55,11	54,08	55	55,03	54,94	55,22	54,16	54,91
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions												
Si	0,001	0,001	0,002	-	-	0,001	0,001	-	0,001	-	0,001	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-
Mn	0,003	0,001	0,005	0,001	0,002	0,004	0,007	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002
Fe ₂	0,005	0,004	0,006	0,005	0,008	0,008	0,011	0,005	0,007	0,007	0,002	0,004
Mg	0,005	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,005	0,004	0,002	0,002	0,003
Ca	1,981	1,988	1,982	1,988	1,985	1,981	1,973	1,984	1,983	1,984	1,988	1,988
Cations	1,995	1,996	1,997	1,997	1,998	1,997	1,995	1,997	1,996	1,995	2,005	1,997

Amostra	MP11A	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP11A1
Análise	80n	1n	2n	3n	4n	5n	6n	7n	8n	9n	10n	11n
Descrição	vg10	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	g9	g10	g11
SiO ₂	-	0,11	0,08	0,1	0,01	0,09	0,12	-	0,02	0,04	-	-
BaO	0,06	-	0,19	0,29	0,1	-	-	-	-	0,49	0,03	-
SrO	0,13	-	0,15	0,15	-	0,08	0,02	0,05	0,1	0,03	0,23	0,17
MnO	0,05	0,15	0,08	0,02	0,13	-	0,53	0,22	0,13	1,85	-	0,04
FeO	0,28	0,21	0,17	-	0,31	0,19	0,83	0,27	0,34	0,28	0,24	0,21
MgO	0,07	0,07	0,03	0,12	0,07	0,03	0,23	0,05	0,06	0,12	-	0,09
CaO	55,16	54,91	54,92	54,82	53,58	55,43	52,69	53,36	53,69	52,14	55,05	54,46
Total	55,8	55,45	55,62	55,5	54,2	55,82	54,42	53,95	54,34	54,95	55,55	54,97
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions												
Si	0,002	0,004	0,003	0,003	-	0,003	0,004	-	0,001	0,001	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,001	0,004	0,002	0,001	0,004	-	0,015	0,006	0,004	0,054	-	0,001
Fe ₂	0,008	0,006	0,005	-	0,009	0,005	0,024	0,008	0,01	0,008	0,007	0,006
Mg	0,003	0,004	0,002	0,006	0,004	0,001	0,012	0,003	0,003	0,006	-	0,005
Ca	1,981	1,979	1,981	1,98	1,982	1,986	1,94	1,982	1,98	1,922	1,988	1,985
Cations	1,995	1,997	1,993	1,99	1,999	1,995	1,995	1,999	1,998	2,001	1,995	1,997

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão;
n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP11A1	MP11A1	MP11A1	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16	MP16
Análise	12b	13n	14b	1n	2b	3n	4b	5n	6b	7n	8b	9n	10b	11n	12n
Descrição	g12	g13	g14	vg6	vg7	vg8	vg8	gm2	gm2	gm3	gm3	gm4	gm1	vg1	vg2
SiO ₂	0,07	0,07	0,05	0,05	0,01	-	0,01	-	-	0,01	-	0,03	-	0,01	0,01
BaO	-	-	-	-	-	0,15	-	0,09	-	-	0,1	0,12	0,26	0,02	0,04
SrO	0,15	0,13	-	0,14	0,17	0,18	0,18	0,06	0,11	0,22	0,17	0,18	0,11	-	0,06
MnO	0,02	0,03	0,02	0,26	0,16	0,23	0,22	0,21	0,22	0,22	0,24	0,25	0,3	0,06	0,04
FeO	0,19	0,11	0,42	0,5	0,28	0,46	0,38	0,33	0,35	0,39	0,42	0,53	0,4	-	0,03
MgO	0,08	0,14	0,12	0,03	0,08	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	-	0,05	0,09
CaO	54,6	54,84	52,91	53,11	53,52	52,31	53,5	53,53	53,39	53,08	53,55	53,14	53,23	55,38	55,27
Total	55,11	55,32	53,52	54,09	54,22	53,34	54,31	54,25	54,12	53,96	54,52	54,27	54,3	55,52	55,54

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,001	0,001	0,001	0,008	0,005	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,009	0,002	0,001
Fe ₂	0,005	0,003	0,012	0,014	0,008	0,014	0,011	0,01	0,01	0,011	0,012	0,015	0,012	-	0,001
Mg	0,004	0,007	0,006	0,002	0,004	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	-	0,003	0,005
Ca	1,982	1,982	1,977	1,97	1,979	1,973	1,977	1,98	1,979	1,975	1,974	1,969	1,974	1,995	1,991
Cations	1,994	1,995	1,998	1,996	1,996	1,995	1,995	1,998	1,998	1,994	1,995	1,993	1,995	2	1,998

Amostra	MP16	MP16	MP16	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18	MP18
Análise	13n	14n	15n	35n	36n	37n	38n	39n	40n	41n	42n	43n	44n	45n	46n
Descrição	vg3	vg4	vg5	gf1	gf2	gf3	gf4	gf5	gf6	gf7	gf8	gf9	gf10	gf11	gf12
SiO ₂	0,85	0,06	-	0,01	0,56	0,19	-	0,13	0,16	0,06	0,29	0,13	0,21	0,33	0,59
BaO	0,19	-	0,03	-	0,06	0,11	-	0,13	0,07	-	0,14	-	-	-	0,1
SrO	-	0,13	0,12	-	0,01	0,02	-	0,06	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04
MnO	0,29	0,2	0,3	0,02	0,33	0,29	0,02	0,05	0,04	0,21	0,08	0,04	0,23	0,18	0,13
FeO	16,07	0,36	0,43	0,06	1,21	1,3	0,95	1,61	1,29	0,72	0,67	1,3	2,71	3,65	7,52
MgO	0,18	0,02	0,02	0,37	0,44	0,23	0,42	0,67	0,45	0,33	0,4	0,37	0,26	0,58	0,49
CaO	37,04	53,03	53,65	54,66	53,34	53,38	54,02	52,66	52,24	53,07	53,5	54,15	52,94	51,48	47,99
Total	54,62	53,8	54,55	55,12	55,95	55,52	55,41	55,31	54,27	54,41	55,09	56,01	56,39	56,29	56,86

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,031	0,002	-	-	0,019	0,006	-	0	0,006	0	0,01	0,004	0,007	0,011	0,02
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,009	0,006	0,009	0,001	0,009	0,008	0,001	0,001	0,001	0,006	0,002	0,001	0,006	0,005	0,004
Fe ₂	0,485	0,01	0,012	0,002	0,034	0,037	0,027	0,046	0,037	0,021	0,019	0,036	0,076	0,102	0,21
Mg	0,01	0,001	0,001	0,019	0,022	0,012	0,021	0,034	0,023	0,017	0,02	0,018	0,013	0,029	0,024
Ca	1,432	1,976	1,975	1,978	1,897	1,929	1,952	1,908	1,926	1,952	1,937	1,935	1,89	1,841	1,72
Cations	1,967	1,995	1,997	2	1,981	1,992	2,001	1,993	1,993	1,998	1,988	1,994	1,992	1,988	1,978

Amostra	MP18	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22	MP22
Análise	47n	35n	36n	37n	38n	40n	41n	42n	43n	44n	45n	46n	47b	48b	49R
Descrição	gf13	vg1	vg2	vg3	vg4	vg5	vg6	vg7	vg8	vg9	M1	M1	M1	M1	M1
SiO ₂	0,18	0,04	0,03	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	-	0,05	-	-	-	-
SrO	0,01	0,2	0,12	0,18	0,17	0,12	0,17	0,1	0,17	0,08	0,14	0,23	0,08	0,1	0,15
MnO	0,07	0,05	0,14	-	0,07	0,06	0,02	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,09	-	0,07
FeO	1,65	0,23	0,27	0,16	0,16	0,19	0,25	0,15	0,22	0,25	0,2	0,09	0,18	0,16	0,2
MgO	0,17	0,02	0,05	0,05	0,01	0,04	0,01	0,08	0,05	0,06	0,02	-	0,05	0,05	0,03
CaO	53,44	53,94	54,2	54,48	54,03	53,99	54,69	54,09	54,09	53,4	54,48	54,43	54,55	54,01	54,94
Total	55,52	54,48	54,81	54,87	54,44	54,4	55,15	54,5	54,71	53,84	54,93	54,78	54,95	54,33	55,4

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,006	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,002	0,001	0,004	-	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	-	0,002
Fe ₂	0,047	0,007	0,008	0,005	0,005	0,005	0,007	0,004	0,006	0,007	0,006	0,003	0,005	0,005	0,006
Mg	0,009	0,001	0,003	0,003	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	-	0,003	0,003	0,002
Ca	1,931	1,984	1,981	1,989	1,989	1,988	1,988	1,987	1,984	1,987	1,989	1,992	1,988	1,99	1,987
Cations	1,995	1,994	1,997	1,997	1,997	1,997	1,997	1,997	1,995	1,998	1,997	1,996	1,999	1,998	1,997

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP22	MP22	MP22	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A
Análise	50R	51R	52R	14n	15n	16n	17n	18n	19n	20n	21b	22b	23	24
Descrição	M1	M1	M1	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g7	g7	inc	inc
SiO ₂	-	-	-	0,04	0,02	-	-	0,01	0,04	0,05	-	0,04	-	-
BaO	0,03	-	-	-	-	0,06	-	-	0,14	0,13	-	0,02	0,03	-
SrO	0,15	0,17	0,13	0,14	0,06	0,18	0,08	0,09	0,15	0,11	0,25	0,09	0,15	0,15
MnO	0,07	0,02	0,04	0,1	0,26	0,04	-	0,24	0,02	0,01	-	0,11	0,1	0,03
FeO	0,16	0,11	0,11	0,14	0,21	0,1	0,17	0,16	0,17	0,09	0,18	0,28	0,16	0,16
MgO	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,07	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04
CaO	54,9	54,46	53,68	54,82	53,47	53,73	54,11	54,62	54,54	54,47	55,09	54,96	51,56	54,06
Total	55,35	54,8	53,98	55,26	54,07	54,18	54,39	55,16	55,09	54,91	55,57	55,57	52,04	54,44

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	-	-	0,001	0,001	-	-	-	0,001	0,002	-	0,001	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,002	0,001	0,001	0,003	0,008	0,001	-	0,007	0,001	-	-	0,003	0,003	0,001
Fe ₂	0,005	0,003	0,003	0,004	0,006	0,003	0,005	0,005	0,005	0,003	0,005	0,008	0,005	0,005
Mg	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002
Ca	1,988	1,991	1,992	1,987	1,981	1,988	1,992	1,984	1,986	1,987	1,988	1,981	1,986	1,989
Cations	1,997	1,997	1,997	1,996	1,999	1,996	1,999	1,998	1,995	1,995	1,996	1,997	1,996	1,997

Amostra	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP22A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A
Análise	25n	26n	27n	28n	29n	30n	31n	32n	33n	34n	35n	36n	37n	38n
Descrição	g8	g9	g10	g11	g12	g13	g14	g15	gf1	gf2	gf3	gf4	gf5	gf6
SiO ₂	-	0,02	-	-	-	0,03	-	0,05	0,02	-	0,01	-	0,01	0,01
BaO	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,08	0,05	0,04	0,11
SrO	0,19	0,26	0,16	0,08	0,05	0,11	0,03	0,13	0,11	0,08	0,12	0,05	0,1	0,14
MnO	0,09	0,06	0,2	0,21	0,58	0,07	0,28	0,08	0,19	0,07	0,11	0,2	0,08	0,18
FeO	0,28	0,16	0,26	0,2	0,25	0,21	0,23	0,3	0,29	0,24	0,32	0,42	0,23	0,34
MgO	0,07	0,02	0,05	0,06	0,09	0,05	0,12	0,1	0,02	0,08	0,08	0,06	-	0,04
CaO	54,08	53,78	54,16	54,12	53,42	54,34	53,96	54,3	53,36	53,86	54,17	53,97	54,01	54,85
Total	54,71	54,3	54,83	54,67	54,44	54,81	54,62	54,96	53,99	54,33	54,89	54,75	54,47	55,67

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	0,001	-	-	-	0,001	-	0,002	0,001	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,003	0,002	0,006	0,006	0,017	0,002	0,008	0,002	0,006	0,002	0,003	0,006	0,002	0,005
Fe ₂	0,008	0,005	0,007	0,006	0,007	0,006	0,007	0,009	0,008	0,007	0,009	0,012	0,007	0,01
Mg	0,004	0,001	0,003	0,003	0,005	0,003	0,006	0,005	0,001	0,004	0,004	0,003	-	0,002
Ca	1,982	1,986	1,981	1,984	1,97	1,985	1,979	1,978	1,981	1,985	1,98	1,977	1,988	1,978
Cations	1,997	2,005	1,997	1,999	1,999	1,997	2	1,996	1,997	1,998	1,996	1,998	1,997	1,995

Amostra	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A	MP27A
Análise	39n	40n	41n	42b	43n	44b	45n	46b	47n	48b	49n	50b	51n	52b
Descrição	gm1	gm2	gm3	gm3	gm4	gm4	gm5	gm5	gm6	gm6	gm7	gm7	gm8	gm8
SiO ₂	0,03	-	-	-	-	0,03	-	0,03	0,01	-	0,34	0,2	-	-
BaO	-	0,14	0,04	-	0,05	-	-	-	-	-	-	0,13	-	-
SrO	0,25	0,25	0,15	0,3	0,24	0,14	0,13	0,04	0,11	0,23	0,82	0,92	0,38	0,16
MnO	0,25	0,3	0,23	0,25	0,26	0,2	0,18	0,21	0,14	0,09	0,04	0,03	0,23	0,24
FeO	0,24	0,3	0,36	0,35	0,37	0,27	0,45	0,29	0,53	0,51	-	0,13	0,61	0,42
MgO	0,07	0,08	0,09	0,11	0,07	0,02	0,07	0,07	0,07	0,06	-	0,01	0,35	0,08
CaO	53,43	53,49	53,07	53,5	54,02	53,15	53,63	54,65	53,12	53,13	54,38	53	52,24	53,35
Total	54,27	54,56	53,94	54,51	55,01	53,81	54,46	55,29	53,98	54,02	55,58	54,42	53,81	54,25

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,001	-	-	-	-	0,001	-	0,001	-	-	0,011	0,007	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,01	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,01	-
Mn	0,007	0,009	0,007	0,007	0,008	0,006	0,005	0,006	0,004	0,003	0,001	0,001	0,007	0,007
Fe ₂	0,007	0,009	0,01	0,01	0,011	0,008	0,013	0,008	0,015	0,015	-	0,004	0,018	0,012
Mg	0,004	0,004	0,005	0,006	0,004	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003	-	0,001	0,018	0,004
Ca	1,975	1,972	1,975	1,971	1,973	1,98	1,976	1,979	1,974	1,975	1,96	1,961	1,95	1,974
Cations	2,004	1,994	1,997	2,004	1,996	1,996	1,998	1,998	1,997	1,996	1,992	1,994	2,003	1,997

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão;
n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.
Análise	1n	2n	3inc	4b	5b	6n	7b	8n	9b	10n	11bs	12ns	13bs
Descrição	g1	g1	g1	g1	g1	g1	g2	g3	g3	g4	g4	g5	g5
SiO ₂	-	0,06	0,01	0,02	-	0,01	-	-	-	-	-	0,04	-
BaO	-	0,05	0,06	-	0,07	0,01	0,11	0,06	-	-	-	-	0,11
SrO	0,39	0,26	0,38	0,27	0,15	0,72	0,74	0,53	0,42	0,5	0,42	0,41	0,67
MnO	0,53	0,38	1,17	0,33	0,46	0,48	0,48	0,48	0,56	0,49	0,4	0,4	0,61
FeO	0,72	0,48	7,14	0,46	0,29	0,76	0,72	0,64	0,74	0,81	0,67	0,42	0,61
MgO	0,21	0,13	8,49	0,04	0,04	0,21	0,21	0,18	0,21	0,2	0,2	0,05	0,1
CaO	52,57	53,13	37,29	53,64	53,02	51,67	52,06	52,54	51,95	52,13	52,91	52,72	52,51
Total	54,42	54,49	54,54	54,76	54,03	53,86	54,32	54,43	53,88	54,13	54,6	54,04	54,61

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	0,002	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mn	0,016	0,011	0,033	0,01	0,014	0,014	0,014	0,014	0,017	0,014	0,012	0,012	0,018
Fe ₂	0,021	0,014	0,2	0,013	0,008	0,022	0,021	0,019	0,022	0,024	0,019	0,012	0,018
Mg	0,011	0,007	0,423	0,002	0,002	0,011	0,011	0,009	0,011	0,01	0,01	0,003	0,005
Ca	1,945	1,958	1,335	1,968	1,972	1,937	1,938	1,947	1,942	1,942	1,95	1,962	1,944
Cations	2,003	2,002	2,001	2,004	1,996	1,994	1,994	1,999	2,002	2	2,001	2	1,995

Amostra	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28A.	MP28B	MP28B	MP28B	MP28B	MP28B	MP28B	MP28B
Análise	14ns	15bs	16n	18n	19n	21n	25n	26n	27b	28b	29n	30b	31n
Descrição	g6	g6	vg7	vg8	vg9	vg10	m1	m1	mm1	m1	g2	g2	g3
SiO ₂	0,04	-	0,03	0,06	-	0,01	-	0,02	0,01	-	-	0,03	-
BaO	0,08	-	0,11	0,05	-	-	-	0,02	-	-	-	0,15	-
SrO	0,3	0,27	0,24	0,25	0,25	0,29	1,59	0,57	0,8	1,41	0,19	0,13	0,28
MnO	0,41	0,46	0,37	0,45	0,46	0,45	0,28	0,29	0,37	0,37	0,37	0,31	0,39
FeO	0,57	0,65	0,35	1	0,45	0,51	0,64	0,52	0,61	0,83	0,36	0,51	0,56
MgO	0,12	0,15	0,08	0,3	0,08	0,08	0,26	0,09	0,25	0,49	0,04	0,03	0,11
CaO	53,27	52,89	53,64	52,71	52,93	53,02	50,02	52,08	51,88	50,43	53,11	52,71	52,96
Total	54,79	54,42	54,82	54,82	54,17	54,36	52,79	53,59	53,92	53,53	54,07	53,87	54,3

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,001	-	0,001	0,002	-	-	-	0,001	-	-	-	0,001	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	-	-	0,01
Mn	0,012	0,013	0,011	0,013	0,013	0,013	0,009	0,009	0,011	0,011	0,011	0,009	0,011
Fe ₂	0,016	0,019	0,01	0,029	0,013	0,015	0,019	0,015	0,018	0,025	0,01	0,015	0,016
Mg	0,006	0,008	0,004	0,015	0,004	0,004	0,014	0,005	0,013	0,026	0,002	0,002	0,006
Ca	1,956	1,955	1,967	1,933	1,964	1,961	1,925	1,958	1,941	1,91	1,973	1,968	1,961
Cations	2,001	2,005	1,993	1,992	2,004	2,003	1,997	1,998	2,003	2,002	1,996	1,995	2,004

Amostra	MP28B	MP28B	MP28B	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C
Análise	32b	33n	34b	25n	26n	27n	28b	29b	30b	31n	32n	33n	34n
Descrição	g3	g4	g4	m1	m1	m1	m1	m1	m1	gf1	gf2	gf3	gf4
SiO ₂	0,04	-	0,04	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	0,57	-	0,04	-	0,01	0,02	0,1	-	0,03	0,09	0,04	0,26
SrO	0,25	5,07	0,2	0,44	0,55	0,55	0,65	0,45	0,53	0,72	1,67	1,02	1,73
MnO	0,35	0,33	0,42	0,41	0,41	0,43	0,38	0,45	0,44	0,27	0,42	0,4	0,35
FeO	0,43	0,91	1,64	0,74	0,6	0,8	0,64	0,96	0,49	0,88	1,28	0,9	0,67
MgO	0,04	0,62	1,04	0,23	0,17	0,32	0,21	0,42	0,1	0,41	0,41	0,28	0,63
CaO	52,67	47,4	51,06	52,31	52,68	52,11	52,3	52,29	52,89	52,37	50,74	52,16	51,23
Total	53,78	54,9	54,4	54,18	54,41	54,22	54,2	54,67	54,45	54,68	54,61	54,8	54,87

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,001	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,01	0,11	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03
Mn	0,01	0,01	0,012	0,012	0,012	0,013	0,011	0,013	0,013	0,008	0,012	0,012	0,01
Fe ₂	0,013	0,027	0,047	0,021	0,017	0,023	0,019	0,028	0,014	0,025	0,037	0,026	0,019
Mg	0,002	0,033	0,053	0,012	0,009	0,017	0,011	0,022	0,005	0,021	0,021	0,014	0,033
Ca	1,967	1,817	1,881	1,944	1,951	1,936	1,946	1,927	1,957	1,931	1,894	1,927	1,9
Cations	2,003	2,007	1,994	1,999	1,999	1,999	1,997	2	1,999	1,995	1,994	1,999	1,992

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C
Análise	35n	36n	37n	38n	39n	40R	41R	42R	43R	44R	45R	46R
Descrição	gf5	gf6	gf7	gf8	gf9	gf10	M2	M2	M2	M2	M2	M2
SiO ₂	-	-	-	-	0,01	-	-	-	0,02	0,01	-	0,03
BaO	0,02	-	0,02	-	0,22	-	0,17	0,12	0,3	0,04	0,16	0,03
SrO	1,29	0,71	1,23	1,3	0,84	0,34	1,09	2,01	1,37	1,21	0,86	0,46
MnO	0,35	0,39	0,32	0,33	0,4	0,3	0,36	0,44	0,31	0,45	0,36	0,41
FeO	0,88	1	0,8	1,2	0,78	0,62	1,03	1,57	0,81	1,48	1,61	1,08
MgO	0,55	0,32	0,5	0,5	0,25	0,1	0,61	0,71	0,48	0,79	0,66	0,49
CaO	50,94	52,02	51,36	51,2	52	52,72	50,96	49,85	50,82	50,69	50,89	51,95
Total	54,03	54,44	54,23	54,53	54,5	54,08	54,22	54,7	54,11	54,67	54,54	54,45

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-	-	0,001
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Mn	0,01	0,011	0,009	0,01	0,012	0,009	0,011	0,013	0,009	0,013	0,011	0,012
Fe ₂	0,026	0,029	0,023	0,035	0,023	0,018	0,03	0,046	0,024	0,043	0,047	0,031
Mg	0,029	0,017	0,026	0,026	0,013	0,005	0,032	0,037	0,025	0,041	0,034	0,025
Ca	1,909	1,929	1,916	1,903	1,932	1,961	1,903	1,862	1,909	1,878	1,889	1,92
Cations	2,004	1,996	1,994	2,004	2	2,003	1,996	1,998	1,998	1,995	2,001	1,999

Amostra	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C	MP28C1	MP28C1	MP28C1
Análise	47R	48R	49R	50R	51R	52R	53R	54R	55R		29R	30n	31n
Descrição	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2		M1	M1	M1
SiO ₂	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,01	0,09
BaO	0,11	-	0,1	0,17	0,09	0,14	-	0,2	-	-	-	0,07	0,19
SrO	1,27	0,79	0,81	1,15	1,44	0,76	1,04	1,33	1,21	0,39	0,68	0,68	0,69
MnO	0,48	0,4	0,41	0,49	0,38	0,38	0,41	0,27	0,37	0,24	0,27	0,3	0,3
FeO	1,15	1,06	1,06	1,05	1,2	1,19	0,87	1,11	1,21	0,28	0,55	0,57	0,57
MgO	0,42	0,36	0,54	0,44	0,54	0,3	0,34	0,46	0,46	0,08	0,11	0,19	0,19
CaO	51,37	51,29	51,79	50,77	51,36	51,56	51,58	51,41	50,66	52,27	52,59	52,24	52,24
Total	54,8	53,9	54,73	54,07	55,01	54,33	54,24	54,78	53,91	53,35	54,28	54,27	54,27

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	-	0,001	-	-	-	-	-	-	0,003	-	-	0,003
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Mn	0,014	0,012	0,012	0,015	0,011	0,011	0,012	0,008	0,011	0,007	0,008	0,009	0,009
Fe ₂	0,033	0,031	0,031	0,031	0,035	0,035	0,025	0,032	0,036	0,008	0,016	0,017	0,017
Mg	0,022	0,019	0,028	0,023	0,028	0,016	0,018	0,024	0,024	0,004	0,006	0,01	0,01
Ca	1,904	1,922	1,911	1,906	1,897	1,921	1,924	1,907	1,905	1,966	1,955	1,942	1,942
Cations	2,003	2,004	2,003	1,995	2,001	2,003	1,999	2,001	1,996	1,998	1,995	1,991	1,991

Amostra	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1	MP28C1
Análise	32b	33b	34n	35n	36n	37n	38n	39R	40R	41R	42R	43R
Descrição	M1	M1	gf1	gf2	gf3	gf4	gf5	M2	M2	M2	M2	M2
SiO ₂	-	0,06	0,07	-	-	0,03	0,02	0,02	0,06	0,11	0,01	0,07
BaO	-	-	-	0,06	0,03	0,1	0,48	0,33	0,1	-	0,29	0,1
SrO	0,46	1,32	1,56	1,38	1,43	1,49	1,49	0,64	1,66	0,33	0,5	0,13
MnO	0,38	0,36	0,45	0,32	0,33	0,2	0,36	0,4	0,32	0,25	0,23	0,29
FeO	0,66	0,58	0,98	1,05	0,96	1,03	0,86	0,78	0,6	0,56	0,59	0,48
MgO	0,18	0,31	0,5	0,56	0,56	0,56	0,54	0,46	0,28	0,13	0,11	0,04
CaO	51,86	51,18	50,36	51,04	51,06	50,47	51,48	51,92	52,25	52,67	52,84	52,91
Total	53,54	53,81	53,92	54,41	54,37	53,88	55,23	54,55	55,27	54,05	54,57	54,02

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	0,002	0,002	-	-	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	-	0,002
Ba	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Sr	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	-
Mn	0,011	0,011	0,013	0,009	0,01	0,006	0,011	0,012	0,009	0,007	0,007	0,009
Fe ₂	0,019	0,017	0,029	0,031	0,028	0,03	0,025	0,023	0,017	0,016	0,017	0,014
Mg	0,009	0,016	0,026	0,029	0,029	0,029	0,028	0,024	0,014	0,007	0,006	0,002
Ca	1,951	1,925	1,895	1,902	1,904	1,901	1,899	1,923	1,921	1,955	1,956	1,967
Cations	2	2,001	1,995	2,001	2,001	1,997	2,004	1,993	1,993	1,999	1,996	1,994

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão;
n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A	MP30A
Análise	53n	54n	55n	56b	57n	58b	59n	60b	61n	62b	63n	64n
Descrição	g1	g2	g3	g3	g4	g4	g5	g5	g6	g6	vg1	vg2
SiO ₂	-	0,04	-	-	-	-	0,02	-	-	0,03	0,03	0,02
BaO	0,13	0,04	0,01	0,02	-	-	-	-	0,07	0,08	0,23	-
SrO	0,12	0,08	0,16	0,15	0,16	0,08	0,15	0,21	0,08	0,18	0,17	0,2
MnO	0,16	-	0,14	0,04	0,01	0,08	0,05	0,13	0,02	0,13	0,18	0,06
FeO	0,24	0,16	0,17	0,19	0,13	0,24	0,11	0,15	0,25	0,15	0,27	0,17
MgO	0,04	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,03	0,02	0,05	0,01	0,06
CaO	53,87	54,22	53,53	54,51	54,24	54	54,06	54,17	54,92	54,6	53,92	54,7
Total	54,56	54,56	54,05	54,96	54,6	54,46	54,46	54,69	55,36	55,22	54,81	55,21

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	0,001	-	-	-	-	0,001	-	-	0,001	0,001	0,001
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,005	-	0,004	0,001	-	0,002	0,001	0,004	0,001	0,004	0,005	0,002
Fe ₂	0,007	0,005	0,005	0,005	0,004	0,007	0,003	0,004	0,007	0,004	0,008	0,005
Mg	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,002	0,001	0,003	0,001	0,003
Ca	1,982	1,99	1,986	1,988	1,99	1,986	1,987	1,986	1,989	1,983	1,978	1,985
Cations	1,996	1,997	1,997	1,997	1,997	1,998	1,996	1,996	1,998	1,995	1,993	1,996

Amostra	MP30A	MP30A	MP30A	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1
Análise	65n	66n	67n	81n	82n	83n	84n	85n	86n	87n	88n	89b
Descrição	barita	vg3	vg4	gf1	gf2	gf3	gm1	gm2	gm3	gm4	gm5	gm6
SiO ₂	-	-	0,03	0,05	-	-	-	-	-	0,04	-	0,02
BaO	66,19	-	0,15	-	0,1	0,04	0,28	0,07	-	-	0,01	-
SrO	0,73	0,11	0,13	1,25	2,02	1,23	1,84	1,55	1,29	1,13	1,41	0,96
MnO	-	0,03	0,03	1,06	1,15	1,25	1,31	1,18	1,26	1,13	1,22	0,81
FeO	0,04	0,21	0,14	0,98	1,08	1,02	1,1	1,05	1,11	1,09	1,07	0,9
MgO	0,01	0,02	0,07	0,43	0,46	0,49	0,49	0,45	0,48	0,3	0,4	0,3
CaO	0,01	55,03	54,42	50,94	49,83	50,62	49,39	49,82	50,68	50,67	50,47	51,52
Total	66,98	55,4	54,97	54,71	54,64	54,65	54,41	54,12	54,82	54,36	54,58	54,51

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	-	0,001	0,002	-	-	-	-	-	0,001	-	0,001
Ba	1,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,03	-	-	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02
Mn	-	0,001	0,001	0,031	0,034	0,037	0,039	0,035	0,037	0,033	0,036	0,024
Fe ₂	0,003	0,006	0,004	0,028	0,032	0,03	0,032	0,031	0,032	0,032	0,031	0,026
Mg	0,001	0,001	0,004	0,022	0,024	0,025	0,026	0,024	0,025	0,016	0,021	0,016
Ca	0,001	1,99	1,985	1,89	1,868	1,883	1,862	1,878	1,88	1,894	1,883	1,914
Cations	1,995	1,998	1,995	2,003	1,998	1,995	1,999	1,998	2,004	1,996	2,001	2,001

Amostra	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D1	MP30D2	MP30D2
Análise	90R	91R	92R	93R	94R	95R	96R	97R	98n	99b	1n	2b
Descrição	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M2	M2	gm2	gm2
SiO ₂	0,03	0,01	0,06	0,01	-	-	-	-	-	-	0,01	0,05
BaO	0,25	0,07	-	-	-	-	0,12	0,08	0,05	0,08	0,03	0,08
SrO	1,21	1,01	1,22	0,82	1,4	1,23	1,12	0,97	1,24	1,04	1,51	1,05
MnO	1,16	1,13	1,13	1,19	1,1	1,12	1,04	0,82	1,16	1,24	1,11	1,16
FeO	1,08	0,68	1,02	0,91	0,96	1,02	0,98	0,72	1,17	1,04	1,07	0,93
MgO	0,42	0,43	0,44	0,41	0,41	0,42	0,4	0,36	0,4	0,44	0,38	0,42
CaO	49,96	50,82	50,24	51,48	50,05	50,81	50,62	51,31	50,07	50,57	50,7	50,51
Total	54,11	54,15	54,11	54,82	53,92	54,6	54,28	54,26	54,09	54,41	54,81	54,2

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,001	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
Mn	0,035	0,033	0,034	0,035	0,033	0,033	0,031	0,024	0,035	0,037	0,033	0,034
Fe ₂	0,032	0,02	0,03	0,026	0,028	0,03	0,029	0,021	0,034	0,03	0,031	0,027
Mg	0,022	0,022	0,023	0,021	0,022	0,022	0,021	0,019	0,021	0,023	0,02	0,022
Ca	1,881	1,902	1,885	1,901	1,889	1,891	1,895	1,915	1,884	1,888	1,885	1,891
Cations	1,991	1,997	1,994	2,003	2,002	1,996	1,996	1,999	2,004	1,998	1,999	1,996

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão;
n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2
Análise	3n	4n	5n	6n	7b	8n	9b	10R	11R	12R	13R	14R
Descrição	gf1	gf2	gf3	gf7	gf7	M3	M3	M3	M3	M3	M3	M3
SiO ₂	0,03	-	0,05	0,01	0,04	-	-	0,05	0,02	-	-	0,02
BaO	0,15	0,16	-	-	0,03	0,08	-	0,09	-	-	-	0,16
SrO	1,95	1,02	0,31	1,15	1,37	1,33	1,18	1,1	1,64	1,19	0,98	1,24
MnO	1,24	1	1,19	1,18	1,21	0,91	0,91	0,89	0,97	0,81	1,06	0,97
FeO	1,44	1,19	0,69	0,97	1,06	1,02	0,9	1,01	1	0,91	0,95	1,23
MgO	0,64	0,41	0,2	0,39	0,41	0,43	0,36	0,36	0,41	0,45	0,18	0,4
CaO	49,19	50,1	51,55	50,44	49,86	50,44	51	50,74	51,2	50,96	51,85	50,86
Total	54,64	53,88	53,99	54,14	53,98	54,21	54,35	54,24	55,24	54,32	55,02	54,88

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0,001	-	0,002	-	0,001	-	-	0,002	0,001	-	-	0,001
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Mn	0,037	0,03	0,035	0,035	0,036	0,027	0,027	0,026	0,028	0,024	0,031	0,028
Fe ₂	0,042	0,035	0,02	0,028	0,031	0,03	0,026	0,029	0,029	0,027	0,027	0,036
Mg	0,033	0,022	0,01	0,02	0,022	0,022	0,019	0,019	0,021	0,023	0,009	0,021
Ca	1,844	1,891	1,925	1,892	1,88	1,893	1,904	1,898	1,888	1,902	1,913	1,887
Cations	1,997	1,998	2,002	1,995	2	2,002	1,996	1,994	1,997	1,996	2	1,993

Amostra	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30D2	MP30E	MP30E
Análise	15R	16R	17R	18R	19n	20b	21n	22b	23n	24b	16n	17n
Descrição	M3	M3	M3	M3	gm4	gm4	gm5	gm5	gm6	gm6	gf1	gf2
SiO ₂	-	-	-	-	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-
BaO	0,11	0,05	0,07	0,17	-	-	-	0,05	0,01	-	0,1	0,19
SrO	1,56	1,31	1,3	1,01	0,4	1,11	1,16	1,12	0,96	0,73	1,05	1,26
MnO	0,9	0,99	0,91	0,7	0,97	1,07	1,22	1,2	1,15	1,08	1,19	0,78
FeO	1	0,95	1,06	0,75	0,5	0,71	0,93	1,05	0,74	1,04	0,77	1,27
MgO	0,37	0,37	0,39	0,38	0,18	0,3	0,42	0,38	0,25	0,53	0,27	0,35
CaO	50,65	50,64	50,19	51,35	51,44	50,53	50,57	50,39	51,12	50,84	51,38	50,23
Total	54,59	54,31	53,92	54,36	53,53	53,76	54,3	54,19	54,23	54,22	54,76	54,08

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	-	-	-	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Mn	0,027	0,029	0,027	0,021	0,029	0,032	0,036	0,036	0,034	0,032	0,035	0,023
Fe ₂	0,029	0,028	0,031	0,022	0,015	0,021	0,027	0,031	0,022	0,03	0,022	0,037
Mg	0,019	0,019	0,02	0,02	0,009	0,016	0,022	0,02	0,013	0,027	0,014	0,018
Ca	1,892	1,896	1,894	1,915	1,936	1,906	1,891	1,89	1,912	1,896	1,906	1,893
Cations	1,997	2,002	2,002	1,998	2	1,996	1,996	1,997	2,001	1,995	1,997	2,001

Amostra	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E
Análise	18n	19n	20n	21n	22n	23n	24n	25n	26n	27n	28n	29n
Descrição	gf3	gf4	gf5	gf6	gf7	gf8	gf9	gf10	gf11	gf12	gf13	gf14
SiO ₂	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0,11	0,01	0,23	0,06	0,34	-	-	0,08	0,07	0,12	-	-
SrO	1,08	1,31	1,3	1,15	1,69	0,11	-	0,28	0,2	0,22	0,35	0,16
MnO	1,17	1,16	1,03	0,99	0,96	1,23	1,15	0,84	0,78	0,88	0,93	0,89
FeO	1,1	1	1,05	0,94	1,15	1,01	0,97	0,65	0,38	0,59	0,59	0,41
MgO	0,43	0,5	0,38	0,39	0,41	0,9	0,89	0,06	0,02	0,05	0,08	0,08
CaO	50,52	49,85	50,77	50,56	49,95	0,38	0,38	51,69	52,29	52,09	51,67	52,04
Total	54,41	53,83	54,76	54,15	54,5	50,26	50,66	53,6	53,74	53,95	53,62	53,58

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	-	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	-	-	0,01	-
Mn	0,035	0,035	0,03	0,029	0,029	0,03	0,029	0,025	0,023	0,026	0,028	0,026
Fe ₂	0,032	0,029	0,031	0,027	0,034	0,027	0,026	0,019	0,011	0,017	0,017	0,012
Mg	0,022	0,026	0,02	0,02	0,021	0,02	0,02	0,003	0,001	0,003	0,004	0,004
Ca	1,888	1,883	1,89	1,895	1,877	1,897	1,902	1,946	1,96	1,948	1,944	1,954
Cations	1,997	2,003	2,001	1,993	1,991	2,004	1,997	2,003	1,995	1,994	2,003	1,996

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão;
n, núcleo - b, borda; M, megacrystal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1a - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP30E	MP30E	MP30E	MP30E
Análise	30n	31n	32b	33b
Descrição	gm1	gm2	gm3	gm4
SiO ₂	-	-	-	-
BaO	0,14	-	0,08	-
SrO	1,44	1,04	1,32	1,22
MnO	0,95	1,12	1,03	1,07
FeO	0,86	1,19	1	1,05
MgO	0,35	0,3	0,33	0,44
CaO	50,08	50,09	50,54	50,92
Total	53,82	53,74	54,3	54,7
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions				
Si	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-
Sr	0,03	0,02	0,03	0,02
Mn	0,028	0,033	0,031	0,031
Fe ²⁺	0,025	0,035	0,029	0,03
Mg	0,018	0,016	0,017	0,023
Ca	1,896	1,894	1,895	1,891
Cations	1,997	1,998	2,002	1,995

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gf1, grão fino nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; M, megacristal; R, textura "remendo"; vg1, veio fino grão nº 1; v, veio fino.

Tabela 1b - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos com venulações tardias de Mato Preto, PR.

Amostras	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21
Análise	45n	46b	47n	48b	51n	52n	53n	55n	56n	58n
Descrição	gm1	gm1	gm2	gm2	vg1	vg2	vg3	inc	vg4	vg5
SiO ₂	.08	.09	.12	.12	.06	.07	.02	.00	.05	.07
BaO	.00	.0	.0	.00	.0	.09	.01	.00	.0	.06
SrO	.03	.06	.05	.08	.0	.0	.0	.00	.0	.17
MnO	.26	.23	.22	.23	.18	.25	.15	.59	.17	.32
FeO	.28	.14	.26	.06	.32	.38	.17	4.78	.44	.28
MgO	.08	.0	.06	.06	.07	.10	.05	6.04	.07	.09
CaO	54.33	54.19	53.49	54.14	54.38	53.42	54.02	42.94	53.40	52.92
Total	55.06	54.71	54.20	54.69	55.01	54.31	54.42	54.35	54.13	53.91

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0.003	0.003	0.004	0.004	0.002	0.002	0.001	0.000	0.002	0.002
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.007	0.007	0.006	0.007	0.005	0.007	0.004	0.017	0.005	0.009
Fe ₂	0.008	0.004	0.007	0.002	0.009	0.011	0.005	0.134	0.013	0.008
Mg	0.004	0.000	0.003	0.003	0.004	0.005	0.003	0.303	0.004	0.005
Ca	1.975	1.982	1.974	1.979	1.978	1.971	1.987	1.546	1.975	1.969
Cations	1.997	1.996	1.994	1.995	1.998	1.996	2.000	2.000	1.999	1.993

Amostras	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C
Análise	15n	16b	17n	18b	19n	20b	21n	22b	23n	24b
Descrição	gm1	gm1	gm2	gm2	gm3	gm3	gm4	gm4	gm5	gm5
SiO ₂	.00	.17	.06	.09	.00	.0	.12	.04	.07	.04
BaO	.10	.29	.11	.0	.29	.0	.0	.0	.0	.12
SrO	1.32	1.28	1.36	1.36	1.35	.98	1.36	1.07	1.38	1.20
MnO	.27	.36	.31	.13	.10	.31	.23	.30	.20	.24
FeO	.21	.30	.38	.38	.44	.50	.36	.36	.40	.41
MgO	.19	.12	.14	.20	.16	.10	.11	.13	.13	.10
CaO	52.12	52.44	52.42	51.97	52.54	52.54	52.91	52.90	53.13	52.52
Total	54.21	54.96	54.78	54.13	54.88	54.43	55.09	54.80	55.31	54.63

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0.000	0.006	0.002	0.003	0.000	0.000	0.004	0.001	0.002	0.001
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
Mn	0.008	0.010	0.009	0.004	0.003	0.009	0.007	0.009	0.006	0.007
Fe ₂	0.006	0.009	0.011	0.011	0.013	0.014	0.010	0.010	0.011	0.012
Mg	0.010	0.006	0.007	0.010	0.008	0.005	0.006	0.007	0.007	0.005
Ca	1.948	1.934	1.940	1.941	1.945	1.952	1.942	1.950	1.944	1.947
Cations	2.002	1.995	1.999	1.999	1.999	2.000	1.999	1.997	2.000	1.992

Amostras	MP29C	MP29C	MP29C	MP29C	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D
Análise	25n	26b	27n	28b	54n	55b	56n	57b	58n	59b
Descrição	gm6	gm6	gm7	gm7	gm1	gm1	gm2	gm2	gm3	gm3
SiO ₂	.03	.07	.06	.04	.00	.00	.01	.00	.00	.00
BaO	.0	.0	.0	.0	.03	.05	.09	.07	.13	.07
SrO	1.44	.85	1.28	1.27	2.41	.19	.10	.09	.09	.16
MnO	.17	.30	.30	.20	.34	.41	.27	.30	.47	.42
FeO	.23	.38	.34	.32	.35	.37	.34	.37	.38	.43
MgO	.09	.10	.06	.09	.05	.10	.05	.06	.10	.06
CaO	52.29	53.44	53.42	53.04	51.63	52.56	54.40	53.67	53.55	53.22
Total	54.25	55.14	55.46	54.96	54.81	53.68	55.26	54.56	54.72	54.36

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Si	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.005	0.009	0.009	0.006	0.010	0.012	0.008	0.009	0.014	0.012
Fe ₂	0.007	0.011	0.010	0.009	0.010	0.011	0.010	0.011	0.011	0.012
Mg	0.005	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.003	0.005	0.003
Ca	1.952	1.954	1.949	1.952	1.928	1.967	1.976	1.975	1.967	1.968
Cations	2.000	2.001	2.003	2.003	2.001	1.995	1.997	1.998	1.997	1.995

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; R, textura "remendo"; v, veio fino.

Tabela 1b - Composição química de calcitas de calciocarbonatitos com venulações tardias de Mato Preto, PR.

Amostras	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D	MP29D
Análise	62n	63n	64n	65b	66b	67R	69R	70R
Descrição	gm4	gm4	gm5	gm5	gm6	gm6	gm6	gm6
SiO ₂	.00	.00	.00	.04	.00	.02	1.86	.11
BaO	.11	.11	.00	.00	.00	.00	.00	.02
SrO	1.26	1.42	1.36	1.69	.73	.20	.80	.32
MnO	.22	.24	.20	.23	.27	.39	.34	.40
FeO	.19	.19	.19	.19	.33	.44	.40	.34
MgO	.09	.09	.08	.08	.10	.10	.09	.05
CaO	52.42	52.17	52.42	52.29	52.58	52.84	51.84	52.09
Total	54.29	54.22	54.25	54.52	54.01	53.99	55.33	53.33
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions								
Si	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.062	0.004
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.02	0.01
Mn	0.006	0.007	0.006	0.007	0.008	0.011	0.010	0.012
Fe ²⁺	0.006	0.006	0.006	0.006	0.010	0.013	0.011	0.010
Mg	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.003
Ca	1.956	1.952	1.957	1.947	1.962	1.965	1.837	1.961
Cations	2.003	2.000	2.003	1.995	1.995	1.995	1.944	2.000

Legenda: MP, Mato Preto (superfície); g1, grão nº 1; gm1, grão médio nº 1; inc, inclusão;
n, núcleo - b, borda; R, textura "remendo"; v, veio fino.

Tabela 2 - Composição química de ankeritas e dolomitas de ferrocarbonatitos de Mato Preto, PR.

Amostra	MP21	MP21	MP21	MP21	MP21	MP22	MP22	MP27A	MP28A	MP28B	MP28B	MP28B
Análise	44n	49n	50b	54n	57n	34n	39n	53n	20n	22n	23n	24n
Descrição	Vank	Vank1	Vank1	Vank2	Vank3	Vdol1	Vdol2	Vank1	Vank1	Vank1	Vank2	Vank3
SiO ₂	0,05	0,08	0,14	0,12	0,12	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	-	-
BaO	0,07	-	0,09	-	-	0,01	-	-	-	-	0,16	-
SrO	-	0,48	0,27	0,23	0,13	0,11	0,04	0,11	0,36	0,2	0,18	0,2
MnO	1,13	3,82	4,12	0,9	1,18	0,96	0,49	0,61	1,62	1,38	1,17	1,13
FeO	11,52	14,15	15,3	10,4	11,7	2,47	2,17	14,81	14,47	19,89	19,54	20,52
MgO	9,27	9,72	8,33	11,08	11,15	16,95	17,93	10,17	8,8	7,42	7,91	6,93
CaO	32,73	28,41	27,96	32,77	31,16	32,7	32,22	28,57	30,67	28,09	27,9	28,32
Total	54,77	56,66	56,21	55,5	55,44	53,23	52,86	54,29	55,93	56,99	56,86	57,1
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions												
Si	0,002	0,003	0,005	0,004	0,004	0,001	-	0,001	-	-	-	-
Ba	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-
Mn	0,032	0,107	0,118	0,025	0,033	0,026	0,013	0,018	0,046	0,04	0,033	0,032
Fe ²⁺	0,322	0,392	0,433	0,283	0,32	0,065	0,057	0,421	0,406	0,563	0,552	0,583
Mg	0,462	0,48	0,42	0,537	0,544	0,798	0,842	0,516	0,44	0,374	0,398	0,351
Ca	1,171	1,007	1,013	1,143	1,093	1,107	1,087	1,042	1,101	1,019	1,01	1,03
Cations	1,999	1,999	1,999	1,992	1,994	1,997	1,999	1,998	2,003	1,996	1,993	1,996
Mg/Fe ²⁺	1,43478	1,22449	0,96998	1,89753	1,7	12,2769	14,7719	1,22565	1,08374	0,6643	0,72101	0,60206

Legenda: MP, Mato Preto; n, núcleo - b, borda; Vank1, veio fino de ankerita grão 1; Vdol1, veio fino de dolomita grão 1.

Tabela 3a - Composição Química de calcitas de calciocarbonatitos de granulação fina da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7	BIT3/35.7
Análise	1n	2b	3b	4n	5n	6n	7n	9b	10b	14b	17b
Descrição	g1	g1	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g6	g7	g7
CaO	57,18	57,12	55,14	55,05	56,64	56,81	56,72	54,29	56,64	58,08	58,05
MgO	0,48	0,43	0,37	0,56	0,44	0,54	0,55	0,37	0,35	0,19	0,2
FeO	0,2	0,21	0,15	0,24	0,19	0,24	0,26	0,14	0,14	0,11	0,1
MnO	0,09	0,07	0,09	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,09
SrO	0,15	0,11	0,08	0,09	0,1	0,1	0,13	0,12	0,14	0,09	0,13
Total	58,1	57,94	55,83	56,02	57,42	57,77	57,74	55	57,35	58,52	58,57

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1,966	1,97	1,973	1,962	1,97	1,964	1,962	1,973	1,974	1,985	1,983
Mg	0,023	0,021	0,018	0,028	0,021	0,026	0,026	0,019	0,017	0,009	0,01
Fe ²⁺	0,005	0,006	0,004	0,007	0,005	0,006	0,007	0,004	0,004	0,003	0,003
Mn	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cations	1,996	1,999	1,998	1,999	1,997	1,998	1,997	1,998	1,997	1,998	1,998
Mg/Fe ²⁺	4,6	3,5	4,5	4	4,2	4,33	3,71	4,75	4,25	3	3,33

Amostra	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7	BIT3/44.7
Análise	2n	3n	4n	5n	6n	7n	8n	9n	10n	10alt,n
Descrição	g1	g2	3	g4	g5	g6	g7	g8	g9	g9
CaO	57,11	55,94	57,85	56,77	57,13	57,3	57,98	57,19	57,37	56,71
MgO	0,23	0,09	0,1	0,09	0,11	0,11	0,13	0,1	0,13	0,14
FeO	0,17	0,07	0,12	0,09	0,1	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1
MnO	0,05	0,05	0,03	0,07	0,04	0,07	0,04	0,05	0,07	0,06
SrO	0,16	0,19	0,19	0,15	0,14	0,14	0,12	0,14	0,22	0,12
Total	57,72	56,34	58,29	57,17	57,52	57,71	58,36	57,58	57,88	57,13

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1,98	1,989	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,985	1,987
Mg	0,011	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005	0,006	0,007
Fe ²⁺	0,005	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
Mn	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cations	1,997	1,996	1,997	1,996	1,997	1,997	1,997	1,997	1,995	1,999
Mg/Fe ²⁺	2,2	2	1,67	2	1,67	2,5	3	1,67	3	2,33

Legenda: BIT3/35.7, Barra de Itapirapuã perfuração nº 3 / profundidade 35,7m; g1, grão nº 1; n, núcleo; b, borda.

Tabela 3b - Composição química de dolomitas de magnesiocarbonatos de granulção fina da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4
Análises	1n	3n	4n	4n	6b	8b	8n	9n	9Ab	12n	14pfil,b
Descrição	g1	g2	g3	g4	g4	g5	g5	g6	g6	g7	g8
CaO	30.27	30.62	29.95	30.42	30.60	30.52	30.97	30.96	55.44	31.20	31.75
MgO	18.38	20.04	17.08	18.06	18.51	18.76	21.02	21.15	.15	20.03	21.07
FeO	5.84	3.37	6.47	5.93	5.15	4.99	1.92	1.99	.17	3.09	.87
MnO	.68	.37	.71	.68	.56	.55	.23	.21	.04	.36	.08
SrO	.03	.07	.03	.02	.06	.07	.06	.09	.32	.07	.20
Total	55.20	54.47	54.24	55.11	54.88	54.89	54.20	54.40	56.12	54.75	53.97
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions											
Ca	0.993	0.996	1.009	1.002	1.006	1.001	1.000	0.996	1.980	1.010	1.026
Mg	0.839	0.907	0.801	0.828	0.847	0.856	0.945	0.947	0.007	0.902	0.947
Fe ²⁺	0.150	0.086	0.170	0.152	0.132	0.128	0.048	0.050	0.005	0.078	0.022
Mn	0.018	0.010	0.019	0.018	0.015	0.014	0.006	0.005	0.001	0.009	0.002
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Cations	2.000	1.999	1.999	2.000	2.000	1.999	1.999	1.998	2.003	1.999	1.997
Mg/Fe ²⁺	5.59	10.55	4.71	5.45	6.42	6.69	19.69	18.94	1.40	11.56	43.05

Amostras	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT5/90.4	BIT6/30.0	BIT6/30.0	BIT6/30.0
Análise	15pfil,b	16pfil,n	17pfil,b	18b	19n	20b	21b	22n	1n	2n	2Ab
Descrição	g8	g8	g8	g9	g9	g9	g10	g10	g1	g2	g2
CaO	30.98	30.59	32.54	30.31	29.79	30.36	30.51	30.26	28.65	28.40	28.99
MgO	20.32	18.20	21.21	16.73	18.12	18.46	19.42	18.13	19.15	19.15	19.11
FeO	2.70	5.46	.37	6.54	5.95	5.01	4.37	5.77	3.65	3.54	3.79
MnO	.29	.65	.02	.84	.71	.53	.45	.70	1.38	1.33	1.28
SrO	.09	.05	.24	.08	.03	.01	.02	.02	1.62	1.93	1.01
Total	54.38	54.95	54.38	54.50	54.60	54.37	54.77	54.88	54.45	54.35	54.18
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions											
Ca	1.005	1.008	1.042	1.021	0.989	1.006	0.995	0.999	0.953	0.948	0.965
Mg	0.917	0.834	0.945	0.784	0.837	0.851	0.881	0.833	0.887	0.890	0.885
Fe ²⁺	0.068	0.140	0.009	0.172	0.154	0.130	0.111	0.149	0.095	0.092	0.098
Mn	0.007	0.017	0.001	0.022	0.019	0.014	0.012	0.018	0.036	0.035	0.034
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02
Cations	1.997	1.999	1.997	1.999	1.999	2.001	1.999	1.999	2.001	1.995	2.002
Mg/Fe ²⁺	13.49	5.96	105.00	4.56	5.44	6.55	7.94	5.59	9.34	9.67	9.03

Amostras	BIT6/30.0	BIT6/30.0	BIT6/30.0	BIT6/30.0	BIT6/30.0	BIT6/30.0	BIT6/30.0
Análise	4n	5n	6n	7b	8b	9n	10b
Descrição	g3	g4	g5	g5	g5	g6	g6
CaO	28.79	28.83	28.57	28.65	28.73	29.32	29.38
MgO	19.47	19.12	19.23	19.27	19.34	18.24	18.70
FeO	3.43	3.54	3.51	3.54	3.49	4.73	3.95
MnO	1.25	1.38	1.38	1.37	1.31	1.75	1.72
SrO	1.43	1.77	1.84	1.89	1.65	1.12	1.34
Total	54.37	54.64	54.53	54.72	54.52	55.16	55.09
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions							
Ca	0.955	0.957	0.950	0.950	0.953	0.971	0.970
Mg	0.898	0.883	0.890	0.889	0.893	0.841	0.859
Fe ²⁺	0.089	0.092	0.091	0.092	0.090	0.122	0.102
Mn	0.033	0.036	0.036	0.036	0.034	0.046	0.045
Sr	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Cations	2.005	1.998	1.997	1.997	2.000	2.000	1.996
Mg/Fe ²⁺	10.09	9.60	9.78	9.66	9.92	6.89	8.42

Legenda: BIT5/90.4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 5 / profundidade 90.4m; g1, grão nº 1; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 4 - Composição química de dolomitas e ankeritas de magnésiocarbonatitos de granulção grossa da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4	BIT1/87.4
Análises	1n	2n	3b	4b	6n	7n	8b	9b	10b
Descrição	g1	g1	g1	g1	g2	g2	g2	g2	g2
CaO	29.71	29.04	29.08	29.11	29.4	29.08	29.11	29.36	29.51
MgO	17.35	19.92	19.75	19.73	11.99	19.21	18.29	12.22	17.58
FeO	5.59	3.26	3.00	3.27	13.79	3.75	4.62	13.03	5.25
MnO	2.27	1.16	1.12	1.12	1.62	1.35	1.64	2.21	2.03
SrO	.48	1.25	1.43	1.19	.19	1.28	1.15	.27	.64
Total	55.40	54.63	54.38	54.42	56.99	54.67	54.81	57.09	55.01

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.986	0.954	0.960	0.960	1.010	0.961	0.969	1.005	0.983
Mg	0.801	0.910	0.908	0.905	0.573	0.884	0.847	0.582	0.815
Fe ²⁺	0.145	0.084	0.077	0.084	0.370	0.097	0.120	0.348	0.137
Mn	0.060	0.030	0.029	0.029	0.044	0.035	0.043	0.060	0.053
Sr	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01
Cations	2.002	1.998	2.004	1.998	1.997	1.997	1.999	2.005	1.998
Mg/Fe ²⁺	5.52	10.83	11.79	10.77	1.55	9.11	7.06	1.67	5.95

Amostras	BIT1/87.4	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7
Análises	11b	1n	2b	3b	4n	5b	6b	7n	8n
Descrição	g2	g1	g1	g1	g2	g2	g2	g3	g3
CaO	29.55	28.32	28.65	29.43	28.39	28.45	28.38	28.37	28.82
MgO	15.35	19.02	18.78	18.94	18.95	19.12	18.88	18.88	19.11
FeO	9.16	3.53	3.53	3.78	3.45	3.56	3.48	3.52	3.53
MnO	1.84	1.45	1.45	1.76	1.49	1.37	1.44	1.41	1.36
SrO	.58	1.88	2.11	.25	1.87	1.73	2.02	1.93	1.63
Total	56.48	54.20	54.52	54.16	54.15	54.23	54.20	54.11	54.45

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.988	0.949	0.958	0.977	0.952	0.951	0.952	0.953	0.959
Mg	0.714	0.887	0.874	0.875	0.884	0.889	0.882	0.882	0.885
Fe ²⁺	0.239	0.092	0.092	0.098	0.090	0.093	0.091		0.092
Mn	0.049	0.038	0.038	0.046	0.040	0.036	0.038	0.037	0.036
Sr	0.01	0.03	0.04	0.00	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
Cations	2.000	1.996	2.002	1.996	1.996	1.999	2.003	2.004	2.002
Mg/Fe ²⁺	2.99	9.64	9.50	8.93	9.82	9.56	9.69	9.59	9.62

Amostras	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7	BIT1/128.7
Análises	9n	10n	12n	13n	15n	16b	16A,b	17b	18b
Descrição	g4	g5	g6	g7	g8	g8	g8	g8	g8
CaO	28.39	28.49	28.60	28.81	28.77	28.80	29.03	29.37	28.47
MgO	18.99	18.99	18.22	18.81	18.10	18.53	18.41	17.94	18.84
FeO	3.46	3.49	4.40	3.75	4.48	4.44	4.49	5.17	3.87
MnO	1.49	1.43	1.81	1.44	1.79	1.54	1.67	2.11	1.49
SrO	1.91	1.78	1.55	1.39	1.50	1.46	1.22	.51	1.77
Total	54.24	54.18	54.58	54.20	54.64	54.77	54.82	55.10	54.44

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.951	0.954	0.959	0.964	0.964	0.959	0.966	0.974	0.952
Mg	0.885	0.885	0.850	0.875	0.844	0.859	0.852	0.828	0.876
Fe ²⁺	0.090	0.091	0.115	0.098	0.117	0.115	0.117	0.134	0.101
Mn	0.039	0.038	0.048	0.038	0.047	0.041	0.044	0.055	0.039
Sr	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03
Cations	1.995	1.998	2.002	2.005	2.002	2.004	1.999	2.001	1.998
Mg/Fe ²⁺	9.83	9.73	7.39	8.93	7.21	7.47	7.28	6.18	8.67

Legenda: BIT1/87.4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 87,4m; g1, grão nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 4 - Composição química de dolomitas e ankeritas de magnésiocarbonatitos de granulação grossa da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6
Análises	6	7	12	13	13A	14	15	16	17
Descrição	alt								
CaO	29.23	29.07	29.50	29.02	29.22	29.21	29.46	29.11	28.9
MgO	18.29	17.97	17.36	18.11	17.98	17.56	17.40	18.16	18.24
FeO	4.92	4.96	6.03	4.98	5.08	5.68	5.83	4.75	4.75
MnO	1.90	1.91	2.20	1.88	2.01	2.31	2.27	1.81	1.82
SrO	1.05	1.22	.62	1.35	1.18	.93	.73	1.31	1.39
Total	55.39	55.13	55.71	55.34	55.47	55.69	55.69	55.14	55.10
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.965	0.967	0.976	0.962	0.967	0.967	0.975	0.967	0.960
Mg	0.840	0.832	0.799	0.835	0.828	0.809	0.802	0.839	0.843
Fe ²⁺	0.127	0.129	0.156	0.129	0.131	0.147	0.151	0.123	0.123
Mn	0.050	0.050	0.058	0.049	0.053	0.060	0.059	0.048	0.048
Sr	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03
Cations	2.002	1.998	1.999	1.995	1.999	2.003	1.997	1.997	2.004
Mg/Fe ²⁺	6.61	6.45	5.12	6.47	6.32	5.50	5.31	6.82	6.85

Amostras	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6
Análises	1	2	3	4	8	9	11	11A	18
Descrição									
CaO	29.40	29.64	29.34	29.05	29.14	29.18	28.97	29.54	29.13
MgO	17.30	17.18	17.23	18.53	18.31	18.26	18.51	17.96	18.46
FeO	6.02	6.04	5.95	4.78	4.85	4.91	4.86	5.20	4.70
MnO	2.35	2.29	2.39	1.79	1.84	1.91	1.78	2.03	1.91
SrO	.73	.52	.80	1.31	1.38	1.40	1.37	.89	1.16
Total	55.80	55.67	55.71	55.46	55.52	55.66	55.49	55.62	55.36
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.973	0.982	0.973	0.957	0.962	0.962	0.955	0.974	0.961
Mg	0.797	0.792	0.795	0.850	0.841	0.837	0.849	0.824	0.847
Fe ²⁺	0.156	0.156	0.154	0.123	0.125	0.126	0.125	0.134	0.121
Mn	0.061	0.060	0.063	0.047	0.048	0.050	0.046	0.053	0.050
Sr	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cations	1.997	2.000	1.995	1.997	1.996	1.995	1.995	2.005	1.999
Mg/Fe ²⁺	5.11	5.08	5.16	6.91	6.73	6.64	6.79	6.15	7.00

Amostras	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6
Análises	19	21	22	22A	22C	25	26	27	27A
Descrição									
CaO	29.19	29.51	29.17	29.40	29.70	29.73	29.14	29.03	29.35
MgO	18.21	17.65	17.93	17.87	17.38	17.54	17.78	17.76	17.17
FeO	4.77	5.51	5.29	5.38	6.07	5.94	5.06	5.12	5.92
MnO	1.87	2.11	2.18	2.03	2.24	2.24	2.31	2.09	2.39
SrO	1.23	.66	1.01	.89	.40	.57	1.45	1.44	.89
Total	55.27	55.44	55.58	55.57	55.79	56.02	55.74	55.44	55.72
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.967	0.977	0.964	0.971	0.980	0.977	0.964	0.965	0.975
Mg	0.839	0.813	0.824	0.821	0.798	0.802	0.819	0.821	0.793
Fe ²⁺	0.123	0.142	0.136	0.139	0.156	0.152	0.131	0.133	0.153
Mn	0.049	0.055	0.057	0.053	0.058	0.058	0.060	0.055	0.063
Sr	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02
Cations	1.998	1.997	2.001	2.004	2.002	1.999	2.004	2.004	2.004
Mg/Fe ²⁺	6.82	5.73	6.06	5.91	5.12	5.28	6.25	6.17	5.18

Legenda: BIT1/87.4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 87,4m; g1, grão nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 4 - Composição química de dolomitas e ankeritas de magnésiocarbonatitos de granulação grossa da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT1/188.6	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4
Análises	28	28INC	29	1b	2b	3n	4b	5b	6n
Descrição				g1	g1	g1	g1	g1	g1
CaO	29.12	28.67	29.12	28.82	28.95	28.97	28.96	29.04	29.00
MgO	18.38	18.07	19.76	19.91	19.85	18.91	19.99	19.34	19.47
FeO	4.72	4.58	3.47	2.97	3.02	4.08	2.95	3.73	3.83
MnO	1.89	1.82	1.26	1.15	1.23	1.49	1.11	1.32	1.38
SrO	1.17	1.79	1.39	1.40	1.41	1.06	1.36	1.42	1.39
Total	55.28	54.93	55.00	54.25	54.46	54.51	54.37	54.85	55.07

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.953	0.959	0.954	0.953	0.954	0.962	0.954	0.957	0.952
Mg	0.845	0.841	0.900	0.916	0.911	0.874	0.917	0.887	0.889
Fe ²⁺	0.122	0.120	0.089	0.077	0.078	0.106	0.076	0.096	0.098
Mn	0.049	0.048	0.033	0.030	0.032	0.039	0.029	0.034	0.036
Sr	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
Cations	1.999	1.998	1.996	2.006	2.005	2.001	1.996	2.004	1.995
Mg/Fe ²⁺	6.93	7.01	10.11	11.90	11.68	8.25	12.07	9.24	9.07

Amostras	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/72.4	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6
Análises	7n	8n	9n	10b	11n	1n	2n	3b	4b
Descrição	g2	g3	g4	g5	g5	g1	g1	g1	g1
CaO	29.08	28.85	29.09	28.74	28.74	28.68	28.84	28.72	28.69
MgO	19.25	19.27	18.72	18.76	18.17	19.80	19.90	20.05	19.90
FeO	3.75	3.78	4.52	4.34	4.87	3.16	3.01	3.01	3.09
MnO	1.36	1.40	1.73	1.61	1.93	1.21	1.17	1.11	1.18
SrO	1.31	1.53	1.24	1.59	1.61	1.50	1.49	1.40	1.69
Total	54.75	54.83	55.30	55.04	55.32	54.35	54.41	54.29	54.55

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.960	0.953	0.958	0.952	0.955	0.949	0.952	0.948	0.946
Mg	0.884	0.886	0.858	0.865	0.840	0.911	0.914	0.921	0.913
Fe ²⁺	0.097	0.097	0.116	0.112	0.126	0.082	0.078	0.078	0.080
Mn	0.035	0.037	0.045	0.042	0.051	0.032	0.031	0.029	0.031
Sr	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Cations	1.996	2.003	1.997	2.001	2.002	2.004	2.005	2.006	2.000
Mg/Fe ²⁺	9.11	9.13	7.40	7.72	6.67	11.11	11.72	11.81	11.41

Amostras	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT2/110.6
Análises	5b	6b	10b	11n	12b	13n	14n	15n	16n
Descrição	g1	g1	g1	g2	g2	g3	g4	g5	g6
CaO	29.22	29.50	28.97	28.77	29.42	29.39	29.36	29.16	28.74
MgO	18.01	16.61	17.95	19.84	17.56	17.89	17.44	17.53	19.86
FeO	4.82	7.15	4.82	3.02	5.45	4.93	5.47	5.54	3.06
MnO	2.01	1.90	2.03	1.13	2.14	1.91	2.16	2.19	1.10
SrO	.91	.06	.99	1.40	.53	.37	.37	.75	1.30
Total	54.97	55.22	54.76	54.16	55.10	54.49	54.80	55.17	54.06

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.972	0.988	0.968	0.953	0.979	0.982	0.982	0.972	0.953
Mg	0.834	0.774	0.835	0.914	0.813	0.832	0.812	0.813	0.916
Fe ²⁺	0.125	0.187	0.126	0.078	0.142	0.129	0.143	0.144	0.079
Mn	0.053	0.050	0.054	0.030	0.056	0.050	0.057	0.058	0.029
Sr	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Cations	2.004	1.999	2.003	2.005	2.000	2.003	2.004	1.997	1.997
Mg/Fe ²⁺	6.67	4.14	6.63	11.72	5.73	6.45	5.68	5.65	11.59

Legenda: BIT1/87.4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 87,4m; g1, grão nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 4 - Composição química de dolomitas e ankeritas de magnésiocarbonatitos de granulação grossa da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/110.6	BIT2/110.6	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2
Análises	17n	18b	1pfil,n	2pfil,n	3pfil,b	5pfil,b	6pfil,b	9n	9inc
Descrição	g6	g6	g1	g1	g1	g1	g1	g2	g2
CaO	28.54	28.81	28.96	28.95	29.01	28.81	29.00	28.88	16.14
MgO	19.39	19.92	18.23	17.76	17.86	18.36	18.05	17.81	1.51
FeO	3.71	3.01	4.65	5.25	5.06	4.61	4.57	5.17	.75
MnO	1.20	1.06	1.80	1.99	1.95	1.71	1.73	1.90	.27
SrO	1.68	1.32	1.54	1.07	1.21	1.63	1.65	1.35	33.42
Total	54.52	54.12	55.18	55.02	55.09	55.12	55.00	55.11	52.09

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.947	0.954	0.962	0.966	0.967	0.957	0.968	0.964	0.869
Mg	0.895	0.917	0.843	0.825	0.828	0.849	0.838	0.827	0.113
Fe ²⁺	0.096	0.078	0.121	0.137	0.132	0.120	0.119	0.135	0.032
Mn	0.031	0.028	0.047	0.053	0.051	0.045	0.046	0.050	0.011
Sr	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.97
Cations	1.999	1.997	2.003	2.001	1.998	2.001	2.001	1.996	1.995
Mg/Fe ²⁺	9.32	11.76	6.97	6.02	6.27	7.08	7.04	6.13	3.53

Amostras	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2	BIT3/72.2
Análises	10n	11n	13n	15n	16n	17n	18n	20n	21b
Descrição	g3	g3	g3	g4	g5	g6	g7	g8	g8
CaO	28.90	29.12	28.85	28.98	29.02	29.17	29.03	28.81	28.92
MgO	17.78	18.33	17.91	17.78	17.99	18.04	17.89	18.26	18.27
FeO	5.15	4.87	5.05	5.18	5.06	4.98	5.19	4.74	4.78
MnO	1.98	1.90	1.85	1.97	1.86	1.90	1.85	1.79	1.79
SrO	1.11	1.03	1.16	1.23	1.11	.99	1.17	1.26	1.05
Total	54.92	55.25	54.82	55.14	55.04	55.08	55.13	54.86	54.81

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.966	0.963	0.965	0.966	0.966	0.969	0.967	0.960	0.963
Mg	0.827	0.843	0.833	0.825	0.833	0.834	0.829	0.847	0.847
Fe ²⁺	0.134	0.126	0.132	0.135	0.131	0.129	0.135	0.123	0.124
Mn	0.052	0.050	0.049	0.052	0.049	0.050	0.049	0.047	0.047
Sr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cations	1.999	2.002	1.999	1.998	1.999	2.002	2.000	1.997	2.001
Mg/Fe ²⁺	6.17	6.69	6.31	6.11	6.36	6.47	6.14	6.89	6.83

Amostras	BIT3/72.2	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0
Análises	22b	1n	2b	3n	4n	9n	10b	12n	12A,b
Descrição	g8	g1	g1	g2	g3	g4	g4	g5	g5
CaO	28.96	29.04	28.79	28.97	29.13	29.15	29.71	29.20	29.75
MgO	18.29	19.87	19.63	19.15	19.06	20.04	16.14	19.48	15.59
FeO	4.81	3.20	3.16	3.67	4.26	3.02	8.05	3.64	9.24
MnO	1.79	1.27	1.26	1.36	1.36	1.16	1.91	1.19	1.72
SrO	1.02	1.61	2.06	1.74	1.26	1.25	.29	1.39	.44
Total	54.87	54.99	54.90	54.89	55.07	54.62	56.10	54.90	56.74

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.963	0.951	0.949	0.958	0.959	0.956	0.988	0.960	0.988
Mg	0.846	0.906	0.900	0.881	0.873	0.914	0.747	0.891	0.720
Fe ²⁺	0.125	0.082	0.081	0.095	0.110	0.077	0.209	0.093	0.239
Mn	0.047	0.033	0.033	0.036	0.035	0.030	0.050	0.031	0.045
Sr	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
Cations	2.001	2.002	2.003	2.000	1.997	1.997	2.004	1.995	2.002
Mg/Fe ²⁺	6.77	11.05	11.11	9.27	7.94	11.87	3.57	9.58	3.01

Legenda: BIT1/87.4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 87,4m; g1, grão nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 4 - Composição química de dolomitas e ankeritas de magnésiocarbonatitos de granulação grossa da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/95.0
Análises	14n	15n	16	17b	17n	18b	19b	20b	22b
Descrição	g6	g7	g8	g8	g8	g9	g9	g9	g10
CaO	28.79	29.09	29.07	29.61	28.96	29.19	29.86	28.81	29.80
MgO	20.00	19.10	19.96	16.96	19.94	19.00	15.58	19.82	18.15
FeO	2.89	4.11	2.92	6.17	2.99	4.08	8.93	3.20	5.39
MnO	1.12	1.42	1.15	2.10	1.20	1.53	2.00	1.24	1.64
SrO	1.76	1.05	1.59	.41	1.26	1.16	.22	1.77	.53
Total	54.56	54.77	54.69	55.25	54.35	54.96	56.59	54.84	55.51
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.948	0.961	0.955	0.989	0.955	0.963	0.992	0.947	0.980
Mg	0.917	0.878	0.912	0.788	0.915	0.872	0.720	0.907	0.830
Fe ²⁺	0.074	0.106	0.075	0.161	0.077	0.105	0.232	0.082	0.138
Mn	0.029	0.037	0.030	0.055	0.031	0.040	0.053	0.032	0.043
Sr	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0.01
Cations	1.998	2.002	2.002	2.003	1.998	2.000	1.997	1.998	2.001
Mg/Fe ²⁺	12.39	8.28	12.16	4.89	11.88	8.30	3.10	11.06	6.01

Amostras	BIT6/95.0	BIT6/95.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0
Análises	23n	25b	1	2	3	4	5	6	7
Descrição	g10	g10							
CaO	29.36	29.05	29.60	29.06	29.60	29.24	28.80	29.23	29.36
MgO	19.53	20.00	13.79	18.31	19.73	13.82	19.88	13.58	13.35
FeO	3.68	3.05	11.02	5.07	3.32	10.74	3.19	10.90	10.83
MnO	1.23	1.11	2.33	1.23	1.04	2.48	1.17	2.47	2.94
SrO	1.14	1.37	.24	1.48	.54	.42	1.48	.20	.29
Total	54.94	54.58	56.98	55.15	54.23	56.70	54.52	56.38	56.77
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.963	0.954	0.997	0.964	0.974	0.991	0.949	0.996	0.997
Mg	0.891	0.914	0.646	0.845	0.904	0.651	0.912	0.644	0.631
Fe ²⁺	0.094	0.078	0.290	0.131	0.085	0.284	0.082	0.290	0.287
Mn	0.032	0.029	0.062	0.032	0.027	0.066	0.030	0.067	0.079
Sr	0.02	0.02	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01
Cations	2.000	1.995	1.995	2.002	2.000	2.002	2.003	1.997	2.004
Mg/Fe ²⁺	9.48	11.72	2.23	6.45	10.64	2.29	11.12	2.22	2.20

Amostras	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/110.0	BIT6/170.7
Análises	8	9	11	12	13	14	15	15A	2n
Descrição									g1
CaO	28.93	28.98	29.42	29.01	29.36	29.25	29.16	29.43	29.02
MgO	19.00	19.60	15.28	19.87	13.69	11.81	18.92	12.28	10.38
FeO	4.07	3.37	8.64	3.21	11.36	14.02	4.04	12.74	15.42
MnO	1.37	1.17	2.41	1.03	2.27	2.26	1.40	2.78	2.66
SrO	1.46	1.34	.42	1.50	.31	.21	1.52	.16	.15
Total	54.83	54.46	56.17	54.62	56.99	57.55	55.04	57.39	57.63
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.958	0.958	0.988	0.954	0.991	1.000	0.963	1.002	1.006
Mg	0.875	0.901	0.714	0.910	0.643	0.562	0.869	0.582	0.501
Fe ²⁺	0.105	0.087	0.226	0.082	0.299	0.374	0.104	0.339	0.417
Mn	0.036	0.031	0.064	0.027	0.061	0.061	0.037	0.075	0.073
Sr	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00
Cations	2.004	1.997	2.002	2.003	2.004	1.997	2.003	1.998	1.997
Mg/Fe ²⁺	8.33	10.36	3.16	11.10	2.15	1.50	8.36	1.72	1.20

Legenda: BIT1/87,4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 87,4m; g1, grão nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 4 - Composição química de dolomitas e ankeritas de magnésiocarbonatitos de granulção grossa da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7
Análises	3n	4b	5n	6n	7n	8b	9b	10b	11b
Descrição	g1	g2	g3	g4	g4	g4	g4	g4	g4
CaO	29.06	29.49	28.97	29.34	29.54	29.29	30.10	29.59	27.80
MgO	10.37	12.20	11.15	14.07	19.40	19.0	16.72	11.12	12.12
FeO	15.41	13.20	13.86	10.42	3.35	4.09	7.26	14.46	11.18
MnO	2.63	2.02	2.67	1.90	1.29	1.40	1.61	2.56	2.15
SrO	.13	.21	.30	.23	.74	1.03	.24	.25	.24
Total	57.60	57.12	56.95	55.96	54.32	54.81	55.93	57.98	53.49
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	1.008	1.009	1.006	1.000	0.975	0.967	0.996	1.011	1.007
Mg	0.500	0.581	0.539	0.667	0.891	0.873	0.770	0.529	0.611
Fe ²⁺	0.417	0.352	0.376	0.277	0.086	0.105	0.188	0.386	0.316
Mn	0.072	0.055	0.073	0.051	0.034	0.037	0.042	0.069	0.062
Sr	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
Cations	1.997	1.997	2.004	1.995	1.996	2.002	1.996	1.995	1.996
Mg/Fe ²⁺	1.20	1.65	1.43	2.41	10.36	8.31	4.10	1.37	1.93

Amostras	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7	BIT6/170.7
Análises	12inc	13n	14n	15n	16b	18n	19n
Descrição	g4	g5	g6	g7	g7	g8	g9
CaO	29.07	29.37	29.50	29.42	28.98	29.21	29.28
MgO	19.44	12.17	13.08	10.96	11.10	11.50	18.49
FeO	3.55	11.72	11.83	14.20	14.47	13.27	4.35
MnO	1.17	3.06	2.12	2.43	2.51	2.66	1.72
SrO	1.43	.26	.18	.26	.20	.43	.89
Total	54.66	56.58	56.71	57.27	57.26	57.07	54.73
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions							
Ca	0.960	1.013	1.005	1.018	1.003	1.009	0.972
Mg	0.893	0.584	0.620	0.528	0.534	0.553	0.854
Fe ²⁺	0.091	0.315	0.315	0.383	0.391	0.358	0.113
Mn	0.031	0.083	0.057	0.066	0.069	0.073	0.045
Sr	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Cations	2.005	1.995	1.997	1.995	1.997	2.003	2.004
Mg/Fe ²⁺	9.81	1.85	1.97	1.38	1.37	1.54	7.56

Legenda: BIT1/87.4, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 87,4m; g1, grão nº 1; inc, inclusão; n, núcleo - b, borda; pfil, perfil.

Tabela 5 - Composição química de ankeritas, dolomitas e calcitas de ferrocarbonatitos de granulação grossa, sem e com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/75.65
Análises	1n	2b	3inc	5n	6n	7n	8b	9b	12n	13b
Descrição	g1	g1	g2	g2	g2	g2	g2	g3	g3	g4
CaO	28.97	28.99	29.19	28.97	29.01	29.01	29.19	29.91	28.59	28.96
MgO	9.04	8.99	9.66	9.33	9.06	9.26	9.57	15.35	8.33	9.17
FeO	15.07	15.21	14.89	14.94	15.40	15.42	14.91	8.55	16.27	13.89
MnO	5.25	4.79	4.20	4.70	4.58	4.42	4.28	1.10	4.69	6.07
SrO	.15	.13	.18	.12	.22	.23	.12	.08	.24	.13
Total	58.48	58.11	58.12	58.06	58.27	58.34	58.07	54.99	58.12	58.22
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions										
Ca	1.007	1.013	1.012	1.010	1.011	1.008	1.014	1.016	1.008	1.009
Mg	0.437	0.437	0.466	0.452	0.439	0.448	0.462	0.726	0.409	0.444
Fe ²⁺	0.409	0.415	0.403	0.406	0.419	0.418	0.404	0.227	0.448	0.378
Mn	0.144	0.132	0.115	0.129	0.126	0.121	0.118	0.030	0.131	0.167
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cations	1.997	1.997	1.996	1.997	1.995	1.995	1.998	1.999	1.996	1.998
Mg/Fe ²⁺	1.07	1.05	1.16	1.11	1.05	1.07	1.14	3.20	0.91	1.17

Amostras	BIT2/75.65	BIT2/75.65	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115
Análises	14b	15n	2b	3b	4b	5b	6n	7n	8n	9b
Descrição	g4	g4	g1	g1	g1	g1	g1	g2	g3	g3
CaO	28.87	28.96	53.79	29.51	29.36	29.17	29.18	29.39	52.49	51.87
MgO	8.62	8.76	.00	12.23	11.80	19.92	19.19	9.95	.0	.00
FeO	15.27	15.51	.00	10.961	11.64	3.13	4.15	15.63	.0	.04
MnO	5.44	4.86	.00	4.36	4.56	1.17	1.42	3.14	.01	.01
SrO	.12	.17	1.16	.14	.10	1.29	1.38	.10	2.28	2.47
Total	58.32	58.26	54.95	57.20	57.46	54.68	55.32	58.21	54.78	54.39
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions										
Ca	1.010	1.013	1.977	1.007	1.003	0.957	0.957	1.014	1.954	1.948
Mg	0.420	0.426	0.000	0.581	0.561	0.909	0.876	0.478	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.417	0.423	0.000	0.292	0.310	0.080	0.106	0.421	0.000	0.001
Mn	0.151	0.134	0.000	0.118	0.123	0.030	0.037	0.086	0.000	0.000
Sr	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.05	0.05
Cations	1.998	1.996	1.997	1.998	1.997	1.996	1.996	1.999	2.004	1.999
Mg/Fe ²⁺	1.01	1.01	0.00	1.99	1.81	11.36	8.26	1.14	0.00	0.00

Amostras	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT2/115	BIT3/142	BIT3/142
Análises	10n	11n	12b	13b	14n	15n	16n	17n	4n	5b
Descrição	g4	g5	g5	g6	g6	g7	g8	g9	g1	g1
CaO	53.08	29.02	53.71	54.69	54.12	53.48	55.28	29.66	28.83	.01
MgO	.00	10.42	.0	.0	.00	.0	.00	11.44	9.80	.0
FeO	.04	14.64	.0	.0	.00	.21	.03	13.24	13.87	.02
MnO	.01	3.22	.0	.02	.02	.05	.02	3.25	4.42	.0
SrO	2.10	.20	1.00	.81	1.17	2.12	1.64	.14	.16	.0
Total	55.23	57.50	54.71	55.52	55.31	55.86	56.97	57.73	57.08	0.03
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions										
Ca	1.957	1.008	1.980	1.984	1.976	1.951	1.967	1.013	1.014	0.781
Mg	0.000	0.503	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.544	0.480	0.000
Fe ²⁺	0.001	0.397	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001	0.353	0.381	1.219
Mn	0.000	0.088	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.088	0.123	0.000
Sr	0.04	0.00	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
Cations	1.998	1.996	2.000	2.005	1.997	1.998	1.999	1.998	1.998	2.000
Mg/Fe ²⁺	0.00	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	1.26	0.00

Legenda: BIT2/75.65, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2 / profundidade 75.65m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; pfil, perfil.

Tabela 5 - Composição química de ankeritas, dolomitas e calcitas de ferrocarbonatitos de granulação grossa, sem e com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT3/142	BIT3/142	BIT3/142	BIT3/142	BIT3/142	BIT3/142	BIT3/142	BIT3/142	BIT5/130	BIT5/130
Análises	6b	7b	8n	9b	10n	4n	13b	14	1n	2b
Descrição	g1	g2	g2	g3	g3	g4	g5		g1	g1
CaO	29.01	29.35	29.14	29.05	29.23	29.53	29.35	29.27	29.35	29.33
MgO	9.51	14.60	19.86	19.68	19.78	19.59	19.89	13.94	11.23	11.24
FeO	14.16	9.53	3.19	3.06	2.94	3.39	3.29	10.41	15.05	13.53
MnO	4.76	2.47	1.12	1.09	1.07	1.22	1.11	2.72	1.90	3.09
SrO	.21	.48	1.40	1.36	1.44	.55	1.26	.43	.07	.10
Total	57.65	56.43	54.71	54.24	54.46	54.28	54.90	56.77	57.60	57.29

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1.015	0.990	0.957	0.962	0.964	0.973	0.960	0.989	1.008	1.011
Mg	0.463	0.685	0.907	0.906	0.907	0.898	0.905	0.656	0.536	0.539
Fe ²⁺	0.387	0.251	0.082	0.079	0.076	0.087	0.084	0.275	0.403	0.364
Mn	0.132	0.066	0.029	0.029	0.028	0.032	0.029	0.073	0.052	0.084
Sr	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00
Cations	1.997	2.002	1.995	1.996	2.005	2.000	1.998	2.003	1.999	1.998
Mg/Fe ²⁺	1.20	2.73	11.06	11.47	11.93	10.32	10.77	2.39	1.33	1.48

Amostras	BIT5/130	BIT5/130	BIT5/130	BIT5/130	BIT5/130	BIT5/130	BIT5/130	BIT5/190	BIT5/190	IT5/190
Análises	3n	4b	5n	6n	7n	8b	9b		1n	1b
Descrição	g2	g2	g3	g4	g4	g4	g4		g1	g1
CaO	29.36	29.18	28.55	29.16	29.27	29.25	29.35	29.06	29.11	29.14
MgO	10.47	11.65	7.89	10.85	11.10	11.06	11.12	13.82	18.52	12.85
FeO	15.60	12.82	19.20	15.06	13.98	14.35	14.34	3.22	4.19	11.50
MnO	2.22	3.34	2.78	2.40	3.06	2.86	2.71	1.09	1.41	2.77
SrO	.18	.14	.23	.10	.14	.21	.10	7.31	.48	.24
Total	57.83	57.13	58.65	57.57	57.55	57.73	57.62	54.50	53.71	56.50

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1.013	1.004	1.005	1.006	1.007	1.005	1.008	1.045	0.978	0.999
Mg	0.503	0.558	0.386	0.521	0.531	0.529	0.532	0.691	0.866	0.613
Fe ²⁺	0.420	0.344	0.527	0.406	0.375	0.385	0.385	0.090	0.110	0.308
Mn	0.061	0.091	0.077	0.065	0.083	0.078	0.074	0.031	0.037	0.075
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.01	0.00
Cations	1.997	1.997	1.995	1.998	1.996	1.997	1.999	1.997	2.001	1.995
Mg/Fe ²⁺	1.20	1.62	0.73	1.28	1.42	1.37	1.38	7.68	7.87	1.99

Amostras	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	IT5/190
Análises	3b	4n	5n	6b	7b	8n	9n	10n	11n	12n
Descrição	g2	g2	g3	g3	g3	g4	g5	g6	g7	g8
CaO	29.28	29.28	29.09	29.28	29.24	29.10	29.41	29.81	29.74	29.66
MgO	17.75	18.59	18.81	14.77	18.27	17.94	18.35	18.68	18.19	18.65
FeO	5.15	4.31	4.09	9.37	4.76	4.96	4.79	4.28	4.54	4.10
MnO	1.92	1.70	1.47	2.41	1.70	1.69	1.56	1.55	1.66	1.42
SrO	1.06	.76	.74	.42	.72	1.14	.46	.30	.82	.62
Total	55.16	54.64	54.20	56.25	54.69	54.83	54.57	54.62	54.95	54.45

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.975	0.972	0.969	0.988	0.973	0.972	0.978	0.985	0.986	0.984
Mg	0.822	0.858	0.872	0.693	0.846	0.834	0.849	0.859	0.839	0.861
Fe ²⁺	0.134	0.112	0.106	0.247	0.124	0.129	0.124	0.110	0.117	0.106
Mn	0.051	0.045	0.039	0.064	0.045	0.045	0.041	0.040	0.043	0.037
Sr	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Cations	2.002	1.997	1.996	2.002	1.998	2.000	2.002	2.004	1.995	1.998
Mg/Fe ²⁺	6.13	7.66	8.23	2.81	6.82	6.47	6.85	7.81	7.17	8.12

Legenda: BIT2/75,65, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2 / profundidade 75.65m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; pfil, perfil.

Tabela 5 - Composição química de ankeritas, dolomitas e calcitas de ferrocarbonatitos de granulação grossa, sem e com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/190	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7
Análises	12A,b	13n	15n	1n	2b	3b	4b	5n	6n	7n
Descrição	g8	g9	g10	g1	g1	g1	g2	g2	g3	g4
CaO	22.51	29.69	29.76	28.67	28.96	28.37	29.09	29.02	29.40	29.04
MgO	1.55	18.42	18.39	9.16	10.45	6.81	10.85	10.13	10.88	13.47
FeO	.53	4.16	4.70	17.15	15.82	20.65	15.16	16.28	15.17	8.79
MnO	.17	1.48	1.55	2.50	2.12	2.52	1.89	1.98	1.79	3.75
SrO	26.0	.65	.24	.20	.12	.13	.10	.05	.19	.11
Total	50.76	54.40	54.64	57.68	57.47	58.48	57.09	57.46	57.43	55.16

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1.146	0.988	0.986	1.008	1.006	1.013	1.011	1.011	1.016	1.007
Mg	0.110	0.853	0.848	0.448	0.505	0.338	0.524	0.491	0.523	0.650
Fe ²⁺	0.021	0.108	0.122	0.471	0.429	0.575	0.411	0.443	0.409	0.238
Mn	0.007	0.039	0.041	0.069	0.058	0.071	0.052	0.055	0.049	0.103
Sr	0.72	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cations	2.004	1.998	1.997	1.996	1.998	1.997	1.998	2.000	1.997	1.998
Mg/Fe ²⁺	5.24	7.90	6.95	0.95	1.18	0.59	1.27	1.11	1.28	2.73

Amostras	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7	BIT5/210.7
Análises	8n	9b	10b	11b	12b	13n	14n	15n	16n	18n
Descrição	g5	g5	g5	g5	g6	g6	g7	g8	g9	g10
CaO	28.70	29.71	29.15	29.07	29.16	29.23	29.64	29.58	29.33	29.41
MgO	10.29	12.24	10.59	10.30	10.47	10.63	11.02	14.06	13.81	13.66
FeO	16.31	14.21	16.37	15.82	15.44	15.19	14.96	8.41	8.92	9.40
MnO	1.34	1.23	1.36	1.76	2.28	2.39	2.24	3.74	3.90	3.29
SrO	.11	.12	.05	.07	.17	.16	.22	.08	.18	.09
Total	56.75	57.51	57.52	57.02	57.52	57.60	58.08	55.87	56.14	55.85

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1.009	1.009	1.009	1.017	1.011	1.010	1.013	1.008	1.000	1.007
Mg	0.504	0.579	0.510	0.501	0.505	0.511	0.524	0.666	0.655	0.651
Fe ²⁺	0.448	0.377	0.442	0.432	0.418	0.410	0.399	0.224	0.237	0.251
Mn	0.037	0.033	0.037	0.049	0.063	0.065	0.060	0.101	0.105	0.089
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cations	1.998	1.998	1.998	1.999	1.997	1.996	1.996	1.999	1.997	1.998
Mg/Fe ²⁺	1.13	1.54	1.15	1.16	1.21	1.25	1.31	2.97	2.76	2.59

Amostras	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80
Análises	1n	2n	3n	4inc	5inc	6pfil,n	7pfil,b	8pfil,b	9n	10b
Descrição	g1	g1	g1	g2	g2	g3	g3	g3	g4	g4
CaO	28.77	28.62	28.91	28.71	28.66	28.76	29.12	29.13	29.02	28.83
MgO	18.93	18.80	18.52	18.89	19.13	8.54	12.19	11.31	9.72	8.63
FeO	4.07	4.27	4.53	4.25	3.85	16.51	12.14	12.07	14.66	16.32
MnO	1.29	1.35	1.44	1.32	1.39	4.24	3.26	4.50	4.04	4.11
SrO	1.57	1.84	1.44	1.72	1.67	.17	.50	.26	.27	.18
Total	54.63	54.88	54.84	54.89	54.70	58.22	57.21	57.27	57.71	58.07

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.957	0.951	0.962	0.952	0.951	1.010	0.997	1.005	1.012	1.013
Mg	0.876	0.869	0.857	0.872	0.883	0.417	0.581	0.543	0.472	0.422
Fe ²⁺	0.106	0.111	0.118	0.110	0.100	0.452	0.324	0.325	0.399	0.448
Mn	0.034	0.035	0.038	0.035	0.036	0.118	0.088	0.123	0.111	0.114
Sr	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Cations	2.003	1.996	2.005	1.999	2.000	1.997	2.000	1.996	2.004	1.997
Mg/Fe ²⁺	8.26	7.83	7.26	7.93	8.83	0.92	1.79	1.67	1.18	0.94

Legenda: BIT2/75.65, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2 / profundidade 75.65m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; pfil, perfil.

Tabela 5 - Composição química de ankeritas, dolomitas e calcitas de ferrocarbonatitos de granulação grossa, sem e com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80	BIT6/6.80
Análises	11n	11rem	12n	15n	16n	17b	17n	18n	veio
Descrição	g5		g6	g7	g8	g9	g9	g10	
CaO	29.14	28.72	28.95	29.04	29.29	28.98	29.07	29.25	29.02
MgO	16.99	8.11	8.98	10.33	16.11	9.33	9.49	13.95	10.22
FeO	6.24	17.97	16.80	14.31	7.30	15.49	15.42	10.59	14.20
MnO	1.94	3.29	3.14	3.67	2.34	3.97	3.93	2.79	3.83
SrO	1.03	.16	.20	.13	.92	.22	.18	.56	.32
Total	55.34	58.25	58.07	57.48	55.96	57.99	58.09	57.14	57.59
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions									
Ca	0.976	1.013	1.013	1.009	0.980	1.011	1.011	0.984	1.009
Mg	0.791	0.398	0.437	0.499	0.750	0.453	0.459	0.653	0.494
Fe ²⁺	0.163	0.495	0.459	0.388	0.191	0.422	0.419	0.278	0.385
Mn	0.051	0.092	0.087	0.101	0.062	0.110	0.108	0.074	0.105
Sr	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
Cations	2.001	1.998	1.996	1.997	2.003	1.996	1.997	1.999	2.003
Mg/Fe ²⁺	4.85	0.80	0.95	1.29	3.93	1.07	1.10	2.35	1.28

Legenda: BIT2/75,65, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2 / profundidade 75.65m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; pfil, perfil.

Tabela 6 - Composição química de dolomitas e ankeritas magnesiocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias da Barra de Itapirapua.

Amostras	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5
Análises	1n	2n	3b	4b	5b	6n	7inc	8n	9b	12n
Descrição	g1	g1	g1	g1	g1	g2	g2	g3	g3	g4
CaO	28.85	29.08	29.21	28.96	29.74	29.27	29.36	29.09	29.28	29.16
MgO	20.05	19.99	20.07	11.84	13.37	20.00	19.61	10.12	10.81	9.57
FeO	2.95	3.01	3.03	12.77	11.26	3.00	3.58	15.99	14.00	16.20
MnO	1.06	1.02	1.03	3.53	2.02	1.03	1.17	2.65	3.52	2.85
SrO	1.51	1.41	.94	.21	.14	1.52	1.04	.12	.10	.09
Total	54.42	54.51	54.28	57.31	56.53	54.82	54.76	57.97	57.71	57.87
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions										
Ca	0.950	0.956	0.960	0.993	1.011	0.958	0.964	1.006	1.008	1.016
Mg	0.919	0.915	0.918	0.565	0.633	0.911	0.896	0.487	0.518	0.464
Fe ²⁺	0.076	0.077	0.078	0.342	0.299	0.077	0.092	0.432	0.376	0.440
Mn	0.028	0.027	0.027	0.096	0.054	0.027	0.030	0.072	0.096	0.078
Sr	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
Cations	2.003	2.005	2.003	1.996	1.997	2.003	2.002	1.997	1.998	1.998
Mg/Fe ²⁺	12.09	11.88	11.77	1.65	2.12	11.83	9.74	1.13	1.38	1.05

Amostras	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT1/32.5	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183
Análises	13n	15n	16n	18n	20n	1n	2n	2A,n	3n	4n
Descrição	g5	g6	g7	g8	g9	g1	g2	g2	g3	g4
CaO	29.87	30.00	29.37	26.44	25.05	29.25	29.52	29.01	28.82	29.37
MgO	14.87	16.81	19.38	10.90	8.81	19.61	17.02	18.15	19.62	20.09
FeO	9.92	6.85	3.82	11.92	13.95	3.32	6.83	4.87	3.21	2.97
MnO	1.91	2.32	1.34	2.40	2.26	1.14	1.88	1.51	1.27	.99
SrO	.19	.17	.96	.12	.05	1.45	.74	1.14	1.34	1.34
Total	56.76	56.15	54.87	51.78	50.12	54.77	55.99	54.68	54.26	54.76
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions										
Ca	0.997	0.989	0.965	1.000	1.002	0.962	0.977	0.969	0.955	0.961
Mg	0.691	0.771	0.886	0.574	0.490	0.897	0.784	0.844	0.905	0.914
Fe ²⁺	0.258	0.176	0.098	0.352	0.435	0.085	0.176	0.127	0.083	0.076
Mn	0.050	0.060	0.035	0.072	0.071	0.030	0.049	0.040	0.033	0.026
Sr	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
Cations	1.996	1.996	2.004	1.998	1.998	2.004	1.996	2.000	1.996	1.997
Mg/Fe ²⁺	2.68	4.38	9.04	1.63	1.13	10.55	4.45	6.65	10.90	12.03

Amostras	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183	BIT3/183
Análises	4A,b	5n	5A,b	7n	8n	9n	9A,b	10n	10A,b	11n
Descrição	g4	g5	g5	g6	g7	g8	g8	g9	g9	g10
CaO	29.65	29.25	28.90	28.99	28.83	28.91	28.88	28.74	28.85	29.13
MgO	16.91	18.76	19.32	16.68	19.10	12.08	12.46	11.80	12.34	11.88
FeO	6.87	4.53	3.89	6.74	3.28	12.12	12.06	12.19	12.01	12.26
MnO	1.99	1.46	1.20	1.85	1.16	3.74	3.83	3.68	3.57	3.81
SrO	.54	.90	1.09	.85	1.34	.45	.48	.44	.51	.55
Total	55.96	54.90	54.40	55.11	53.71	57.30	57.71	56.85	57.28	57.63
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions										
Ca	0.982	0.966	0.958	0.976	0.967	0.990	0.980	0.994	0.986	0.995
Mg	0.779	0.862	0.891	0.782	0.892	0.576	0.589	0.568	0.587	0.565
Fe ²⁺	0.178	0.117	0.101	0.177	0.086	0.324	0.320	0.329	0.321	0.327
Mn	0.052	0.038	0.031	0.049	0.031	0.101	0.103	0.101	0.097	0.103
Sr	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cations	2.001	2.003	2.001	2.004	1.996	2.001	2.002	2.002	2.001	2.000
Mg/Fe ²⁺	4.38	7.37	8.82	4.42	10.37	1.78	1.84	1.73	1.83	1.73

Legenda: BIT1/32.5, Barra de Itapirapua perfuração nº 1/profundidade 32,5m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; MTZ, massa fina.

Tabela 6 - Composição química de dolomitas e ankeritas magnesiocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT3/183	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2
Análises	10inc	1n	2b	3b	4b	5b	5INC	6b	7b	7A,b
Descrição	g10	g1	g1	g1	g1	g1	g1	g1	g1	g1
CaO	27.95	29.39	29.45	29.54	29.29	29.43	29.37	29.25	29.32	29.38
MgO	9.97	17.27	16.77	16.93	17.07	17.54	17.39	17.84	17.51	17.05
FeO	15.88	6.12	6.86	6.61	6.26	5.68	5.91	5.65	5.83	6.48
MnO	1.96	2.10	2.11	2.14	1.95	1.85	2.11	1.72	2.00	2.12
SrO	.20	.82	.79	.82	1.12	1.03	1.03	.87	.94	.78
Total	55.96	55.70	55.98	56.04	55.69	55.53	55.81	55.33	55.60	55.81

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	1.000	0.975	0.978	0.978	0.975	0.976	0.972	0.970	0.972	0.975
Mg	0.497	0.797	0.775	0.780	0.791	0.810	0.801	0.823	0.808	0.787
Fe ²⁺	0.444	0.158	0.178	0.171	0.163	0.147	0.153	0.146	0.151	0.168
Mn	0.055	0.055	0.055	0.056	0.051	0.049	0.055	0.045	0.052	0.056
Sr	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Cations	1.996	1.995	1.996	1.995	2.000	2.002	2.001	2.004	2.003	1.996
Mg/Fe ²⁺	1.12	5.04	4.35	4.56	4.85	5.51	5.24	5.64	5.35	4.68

Amostras	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2
Análises	8n	10n	11n	12n	13n	14n	15n	16n	17n	17inc
Descrição	g2	g3	g4	g4	g4	g5	g6	g7	g8	g8
CaO	29.47	29.43	29.30	29.27	29.75	29.62	29.43	29.45	29.40	29.56
MgO	17.31	16.82	17.34	17.51	17.68	15.93	17.37	17.23	16.79	16.80
FeO	6.27	6.73	6.22	5.80	5.65	7.72	6.17	6.43	6.64	6.78
MnO	1.90	2.18	1.96	2.05	1.97	2.35	1.89	1.96	2.15	2.11
SrO	.85	.76	.89	1.21	.72	.64	1.02	.91	1.02	.52
Total	55.80	55.92	55.71	55.84	55.77	56.26	55.88	55.98	56.00	55.77

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.976	0.977	0.972	0.969	0.980	0.987	0.974	0.974	0.977	0.982
Mg	0.797	0.777	0.800	0.806	0.810	0.739	0.799	0.793	0.776	0.777
Fe ²⁺	0.162	0.174	0.161	0.150	0.145	0.201	0.159	0.166	0.172	0.176
Mn	0.050	0.057	0.051	0.054	0.051	0.062	0.049	0.051	0.056	0.055
Sr	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Cations	2.005	1.995	2.004	1.999	1.996	1.999	2.001	2.004	2.001	2.000
Mg/Fe ²⁺	4.92	4.47	4.97	5.37	5.59	3.68	5.03	4.78	4.51	4.41

Amostras	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT5/61.2	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141
Análises	18n	19n	20n	1n	1X,inc	2n	3b	3inc	4n	5n
Descrição	g9	g10	g11	g1	g2	g3	g3	g3	g4	g5
CaO	29.61	29.47	29.80	29.86	54.70	29.89	29.89	29.94	31.15	32.05
MgO	16.29	17.49	15.06	14.68	.20	15.08	14.03	14.40	18.86	22.22
FeO	7.52	5.94	8.82	11.03	.22	10.59	11.57	11.18	4.58	.14
MnO	2.17	2.02	2.57	.70	.03	.65	.77	.71	.31	.0
SrO	.72	.76	.62	.00	.29	.03	.05	.03	.09	.18
Total	56.31	55.68	56.87	56.27	55.44	56.24	56.31	56.26	54.99	54.59

Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions

Ca	0.983	0.975	0.993	1.005	1.977	1.002	1.012	1.010	1.017	1.015
Mg	0.752	0.805	0.698	0.687	0.010	0.703	0.661	0.676	0.857	0.979
Fe ²⁺	0.195	0.153	0.229	0.290	0.006	0.277	0.306	0.294	0.117	0.003
Mn	0.057	0.053	0.068	0.019	0.001	0.017	0.021	0.019	0.008	0.000
Sr	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cations	1.997	1.996	1.998	2.001	2.004	1.999	2.000	1.999	1.999	1.997
Mg/Fe ²⁺	3.86	5.26	3.05	2.37	1.67	2.54	2.16	2.30	7.32	326.33

Legenda: BIT1/32,5, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 32,5m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; MTZ, massa fina.

Tabela 6 - Composição química de dolomitas e ankeritas magnesiocarbonatitos de granulação grossa, com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141	BIT6/141
Análises	5A,b	7X,inc	9k,n	MTZ	MTZ	MTZ	MTZ
Descrição	g5	g6	g7	g1	g2	g3	g4
CaO	54.79	54.44	31.35	31.77	30.00	30.43	30.40
MgO	.19	.22	22.45	22.17	14.98	17.50	18.38
FeO	.24	.22	.16	.28	10.15	7.20	5.56
MnO	.06	.04	.0	.00	.65	.44	.37
SrO	.33	.33	.13	.12	.05	.05	.07
Total	55.61	55.25	54.09	54.34	55.83	55.62	54.78
Fórmula estrutural calculada na base de 2 cátions							
Ca	1.976	1.975	0.999	1.010	1.012	1.001	1.003
Mg	0.010	0.011	0.995	0.981	0.703	0.801	0.843
Fe ²⁺	0.007	0.006	0.004	0.007	0.267	0.185	0.143
Mn	0.002	0.001	0.000	0.000	0.017	0.011	0.010
Sr	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cations	2.005	2.003	1.998	1.998	1.999	1.998	1.999
Mg/Fe ²⁺	1.43	1.83	248.75	140.14	2.63	4.33	5.90

Legenda: BIT1/32,5, Barra de Itapirapuã perfuração nº 1/profundidade 32,5m; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; inc, inclusão; MTZ, massa fina.

Tabela 7 - Composição química de apatitas de magnesiocarbonatitos fino (am.BIT5/90,40) e grosso sem venulações (ams.BIT6/141,6 e 170,7) e ferrocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias (ams.BIT5/130,0 e 210,7; BIT2/115,0; BIT6/6,80) da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT2/115,06	BIT5/130,0	BIT5/130,0
Análise	g1P1	g1P2	g1P3	g2P4	g3P5	g3P6	g3P7	g3P8		g1P10A
Descrição	Bprismlimp	Nprismnero	Bprismlim	prismlimp	Bperfnero	Bperflim	Bperfnero	Bperfner		Blimp
SrO	1,2	1,84	2,06	2,09	2,59	1,91	1,59	0,92	1,04	0,98
P2O5	40,96	38,15	39,51	40,45	40,27	40,8	41,41	41,59	41,81	41,75
CaO	52,15	47,44	49,88	52,17	52	52,57	53,2	52,3	53,94	54,05
F	2,8	2,87	2,91	2,34	2,81	2,76	2,87	2,89	2,94	3,05
La2O3	0,06	0,11	0,12	0,11	0,27	0,09	0,04	0,29	0,42	0,44
Ce2O3	0,2	0,4	0,29	0,37	0,63	0,28	0,23	0,73	0,73	0,83
Nd2O3	0,24	0,35	0,23	0,4	0,45	0,28	0,27	0,44	0,34	0,37
Sm2O3	0,15	0,14	0,11	0,17	0,13	0,11	0,14	0,21	0,08	0,09
Total	97,76	91,3	95,11	98,1	99,15	98,8	99,75	99,37	101,3	101,56
O - F	1,18	1,21	1,23	0,99	1,19	1,16	1,21	1,22	1,24	1,28
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,122	0,205	0,218	0,211	0,26	0,192	0,159	0,093	0,102	0,096
P	6,104	6,197	6,097	5,973	5,909	5,99	6,027	6,159	6,011	5,994
Ca	9,835	9,752	9,74	9,748	9,657	9,767	9,799	9,801	9,814	9,821
La	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0	0,02	0,03	0,03
Ce	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,05	0,05	0,05
Nd	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Sm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,01
F	1,559	1,741	1,677	1,291	1,54	1,514	1,56	1,599	1,579	1,636

Amostra	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	IT5V130	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0
Análise	g2P11A	g2P12A	g2P13A	g3P14A	g3P15A	g3P16A	g4P17A	g4P17A	g4P18A	g4P19A1
Descrição	Blimp	Blimp	Nnero	Bprismlim	Blimp	Nprismlimp	Bbaslimp	Bbaszon	Bbaszon	Bbaszon
SrO	1,17	1,05	1,71	0,96	1,51	2,1	2,1	0,94	1,01	1,25
P2O5	41,32	41,06	41,33	40,01	41,45	41,06	41,06	41,37	41,36	41,44
CaO	53,94	54,05	55,12	51,15	53,97	54,13	54,13	53,6	53,86	50,71
F	2,75	2,75	2,86	3,1	3,07	2,88	2,88	2,94	2,98	2,83
La2O3	0,57	0,45	0,13	0,06	0,04	0,16	0,16	0,3	0,37	0,41
Ce2O3	1,05	0,86	0,32	0,24	0,19	0,45	0,45	0,75	0,63	1,06
Nd2O3	0,49	0,46	0,24	0,21	0,23	0,32	0,32	0,44	0,36	0,42
Sm2O3	0,07	0,1	0,07	0,12	0,11	0,04	0,04	0,12	0,09	0,11
Total	101,36	100,78	101,78	95,85	100,57	101,14	101,14	100,46	100,66	98,23
O - F	1,16	1,16	1,2	1,31	1,29	1,21	1,21	1,24	1,25	1,19
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,115	0,103	0,164	0,1	0,149	0,205	0,205	0,093	0,1	0,13
P	5,909	5,879	5,804	6,092	5,953	5,846	5,846	5,991	5,957	6,305
Ca	9,762	9,794	9,796	9,856	9,809	9,753	9,753	9,822	9,817	9,763
La	0,04	0,03	0,01	0	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Ce	0,06	0,05	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,05	0,04	0,07
Nd	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
Sm	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01
F	1,469	1,471	1,5	1,763	1,647	1,532	1,532	1,59	1,603	1,608

Amostra	BIT5/130,0	BIT5/130,0	IT5/130	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0
Análise	g4P19A2	g4P22A	g4P22A	g4P22A	g4P23A	g5P1A	g5P2A	g5P3A	g6P4A	g6P5A
Descrição	Bbaszon	baslimp	baszon	Nbasnero	Nbasnero	PerfN	BPerf	Bperf	N	N
SrO	1,4	0,76	1,8	2,3	1,99	1,69	1	1,1	1,66	1,67
P2O5	41,61	41,15	40,71	41,02	41,28	41,51	42,32	41,08	42,75	42,68
CaO	54,37	53,58	54,07	54,8	54,64	55,16	55,95	52,98	55,56	54,95
F	3,02	2,87	2,87	2,85	2,88	2,87	2,91	3,1	3,35	3,36
La2O3	0,19	0,18	0,15	0,14	0,12	0,16	0,08	0,42	0,02	0,05
Ce2O3	0,39	0,48	0,4	0,23	0,3	0,31	0,18	0,95	0,11	0,19
Nd2O3	0,28	0,34	0,24	0,13	0,18	0,18	0,17	0,41	0,17	0,14
Sm2O3	0,06	0,07	0,06	0,03	0,02	0	0,05	0,16	0,12	0,06
Total	101,32	99,43	100,3	101,5	101,41	101,88	102,66	100,2	103,74	103,1
O - F	1,27	1,21	1,21	1,2	1,21	1,21	1,23	1,3	1,41	1,41
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,137	0,076	0,176	0,222	0,192	0,162	0,096	0,11	0,159	0,161
P	5,927	5,985	5,821	5,771	5,83	5,826	5,908	5,995	5,984	6,026
Ca	9,801	9,862	9,784	9,757	9,766	9,798	9,885	9,784	9,843	9,818
La	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,03	0	0
Ce	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,06	0,01	0,01
Nd	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
Sm	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0
F	1,607	1,559	1,533	1,498	1,519	1,505	1,517	1,69	1,752	1,772

Legenda: BIT2/115,06, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/profundidade 115,06m; B, borda; baslimp, basal límpido; basnero, basal turvo; baszon, basal zonado; Bprismlimp, borda de cristal prismático límpido; g1P1, grão nº 1 ponto de análise nº 1; inc, inclusão; limp, límpido; N, núcleo; nero, turvo; Nprismnero, núcleo de cristal prismático turvo; perf, perfil; prism, prismático; zon, zonado.

Tabela 7 - Composição química de apatitas de magnesiocarbonatitos fino (am.BIT5/90,40) e grosso sem venulações (ams.BIT6/141,6 e 170,7) e ferrocarbonatitos de granulização grossa com venulações tardias (ams.BIT5/130,0 e 210,7; BIT2/115,0; BIT6/6,80) da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7
Análise	g7P24	g7P25A	g8P7A	g9P8A	g9P9A	g10X	g10X	g1P10AC	g1P11AC	g1P12AC
Descrição	baszon	baszon	Nlimp	Prismzon	Nprism	Blimp	N	Blimp	Nbasnero	Blimp
SrO	1,59	1,69	1,16	1,58	2,46	0,88	2,37	1,33	1,1	0,89
P2O5	41,84	41,37	40,28	42,57	40,88	41,1	40,4	41,37	41,09	41,64
CaO	54,79	54,48	51,43	55,24	54,19	53,88	53,89	53,86	53,13	54
F	2,9	2,78	3,05	2,81	2,77	3,04	3,02	2,91	3,01	3,05
La2O3	0,1	0,1	0,03	0,06	0,17	0,32	0,24	0,31	0,29	0,24
Ce2O3	0,28	0,26	0,17	0,13	0,46	0,58	0,44	0,74	0,79	0,54
Nd2O3	0,23	0,15	0,23	0,16	0,24	0,36	0,19	0,29	0,69	0,33
Sm2O3	0	0,01	0,18	0,07	0,04	0,05	0,02	0,07	0,19	0,09
Total	101,73	100,84	96,53	102,62	101,21	100,21	100,57	100,88	100,29	100,78
O - F	1,22	1,17	1,28	1,18	1,17	1,28	1,27	1,23	1,27	1,28
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,154	0,165	0,12	0,152	0,238	0,087	0,231	0,131	0,109	0,088
P	5,917	5,889	6,075	5,997	5,782	5,925	5,75	5,94	5,967	5,989
Ca	9,806	9,814	9,817	9,848	9,699	9,829	9,707	9,786	9,764	9,829
La	0,01	0,01	0	0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Ce	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03
Nd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02
Sm	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
F	1,532	1,478	1,718	1,479	1,463	1,637	1,806	1,561	1,633	1,639

Amostra	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/210,7	BIT5/90,40
Análise	g2P8A	g2P9A	g3	g3P4A	g3P5A1	g3P6A	g3P7A1	g3P7A2	g3P7A3	g1P3A
Descrição	Blimp	Nlimp	Nbasnero	Nbasnero	N	Bbaslimp	Bbasnero	BNbaslimp	Bbaslimp	Blimp
SrO	1,63	1,06	1,24	0,7	1,36	1,39	1,27	1,39	1,31	0,33
P2O5	41,97	41,41	41	42,49	41,25	41,59	41,13	41,38	41,43	39,53
CaO	54,62	52,99	54,47	54,32	54,16	53,52	54,21	53,92	53,68	55,26
F	2,85	2,78	3,23	3,12	3,06	3,19	3,05	3,09	3,11	1,06
La2O3	0,04	0,32	0,2	0,1	0,27	0,31	0,19	0,29	0,22	0,09
Ce2O3	0,15	0,73	0,54	0,39	0,54	0,78	0,57	0,64	0,6	0,26
Nd2O3	0,21	0,39	0,3	0,54	0,3	0,35	0,37	0,29	0,31	0,09
Sm2O3	0,12	0,1	0,07	0,24	0,05	0,04	0,14	0,05	0,13	0,02
Total	101,59	99,78	101,05	101,9	100,99	101,17	100,93	101,05	100,79	96,64
O - F	1,2	1,17	1,36	1,31	1,29	1,34	1,29	1,3	1,31	0,45
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,159	0,106	0,121	0,069	0,133	0,137	0,124	0,136	0,129	0,032
P	5,964	6,058	5,827	6,086	5,889	6,004	5,871	5,931	5,97	5,624
Ca	9,822	9,81	9,796	9,847	9,785	9,778	9,793	9,78	9,788	9,949
La	0	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Ce	0,01	0,05	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02
Nd	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Sm	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0
F	1,513	1,519	1,715	1,669	1,632	1,72	1,626	1,654	1,674	0,563

Amostra	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40
Análise	g1P4A	g2P10A	g2P11A	g2P12A	g2P13A	g3P8A	g3P9A1	g3P9A	g4P10A	g4P11A
Descrição	Nlimp	Npfillimp	BNperfillimp	Bperfillimp	Bperfillimp	Bbaslimp	Bbaslimp	Bbaslimp	Nbaslimp	Mbaslimp
SrO	0,34	0,3	0,34	0,33	0,32	0,29	0,31	0,28	0,31	0,32
P2O5	39,11	40,02	39,91	40,39	39,88	41,99	41,76	42,21	38,66	38,59
CaO	55,21	57,45	57,45	57,35	57,5	57,98	57,98	57,98	55,1	55,2
F	1,08	1,13	1,14	1,16	1,07	1,14	1,17	1,11	1,07	1,11
La2O3	0,13	0,09	0,14	0,13	0,13	0,08	0,07	0,07	0,11	0,1
Ce2O3	0,32	0,22	0,29	0,28	0,3	0,2	0,18	0,18	0,3	0,25
Nd2O3	0,12	0,15	0,14	0,15	0,11	0,11	0,13	0,1	0,06	0,11
Sm2O3	0	0,02	0,01	0,05	0,06	0,01	0	0,15	0,03	0,07
Total	96,31	99,38	99,42	99,84	99,37	101,8	101,6	102,08	95,64	95,75
O - F	0,46	0,48	0,48	0,49	0,45	0,48	0,49	0,47	0,45	0,47
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,033	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,031
P	5,568	-	-	-	-	-	-	-	5,517	5,496
Ca	9,947	-	-	-	-	-	-	-	9,951	9,948
La	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01
Ce	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02
Nd	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0	0,01
Sm	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0
F	0,574	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,59

Legenda: BIT2/115,06, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/profundidade 115,06m; B, borda; baslimp, basal límpido; basnero, basal turvo; baszon, basal zonado; Bprismimp, borda de cristal prismático límpido; g1P1, grão nº 1 ponto de análise nº 1; inc, inclusão; limp, límpido; N, núcleo; nero, turvo; Nprismnero, núcleo de cristal prismático turvo; perf, perfil; prism, prismático; zon, zonado.

Tabela 7 - Composição química de apatitas de magnesiocarbonatitos fino (am.BIT5/90,40) e grosso sem venulações (ams.BIT6/141,6 e 170,7) e ferrocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias (ams.BIT5/130,0 e 210,7; BIT2/115,0; BIT6/6,80) da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT5/90,40	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6
Análise	g4P12A	g4P13A	g5P14A	g6P8A	g6P9A	g6P5	g1P5A	g1P6A	g2P8A	g2P10A
Descrição	Bbaslimp	Bbaslimp	Nbaslimp	Nbaslimp	Bbaslimp	N	Nbaslimp	Bbaslimp	Nlimp	Bprisnero
SrO	0,3	0,35	0,35	0,28	0,32	0,39	0,32	0,3	0,44	0,28
P2O5	33,07	38,67	38,78	40,84	41,16	40,07	39,63	39,35	39,63	39,02
CaO	50,02	55,18	54,98	55,76	55,7	57,38	55,49	55,43	56,87	55,02
F	1,06	1,08	0,99	1,17	1,14	1,11	1,16	1,09	1,03	0,92
La2O3	0,15	0,09	0,14	0,07	0,09	0,17	0,09	0,09	0,09	0,08
Ce2O3	0,25	0,26	0,32	0,19	0,2	0,31	0,21	0,19	0,25	0,26
Nd2O3	0,13	0,11	0,11	0,1	0,11	0,15	0,09	0,21	0,12	0,1
Sm2O3	0,02	0,06	0,02	0,06	0	0,04	0,06	0,01	0,01	0
Total	85	95,8	95,69	98,47	98,72	99,62	97,05	96,67	98,44	95,68
O - F	0,46	0,45	0,42	0,49	0,48	0,47	0,49	0,46	0,44	0,39
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,032	0,034	0,034	0,027	0,031	-	0,031	0,029	0,042	0,027
P	5,187	5,508	5,544	5,761	5,809	-	5,615	5,571	5,473	5,577
Ca	9,929	9,947	9,947	9,953	9,949	-	9,949	9,931	9,94	9,952
La	0,01	0,01	0,01	0	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0
Ce	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,02
Nd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Sm	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
F	0,621	0,575	0,529	0,616	0,601	-	0,614	0,576	0,531	0,491

Amostra	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6
Análise	g3P7X	g3P8A	g3P8B	g4PB	g5PAB	g6P10Apris	g7P5A	g7P5A	g8P8A	g8P8B
Descrição	incinera	Nprislim	Bprislim	Nprislim	Bprislim	Bprisnnero	Blimp	Nlimp	Nprismlimp	Bprismlimp
SrO	0,33	0,36	0,3	0,73	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,3
P2O5	39,21	39,23	39,16	39,71	39,34	39,78	40,46	40,48	40,2	39,73
CaO	55,19	55,31	55,29	56,78	56,75	57,24	57,59	57,4	57,29	57,16
F	1,04	1,09	1,04	1,31	1,06	0,94	1,14	1,05	0,96	0,98
La2O3	0,1	0,12	0,11	0,1	0,09	0,07	0,08	0,09	0,11	0,1
Ce2O3	0,22	0,2	0,23	0,19	0,21	0,25	0,2	0,18	0,24	0,28
Nd2O3	0,11	0,1	0,1	0,14	0,11	0,09	0,1	0,1	0,08	0,14
Sm2O3	0,02	0	0,04	0,05	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0
Total	96,22	96,41	96,27	99,01	97,95	98,7	99,9	99,62	99,2	98,69
O - F	0,44	0,46	0,44	0,55	0,45	0,4	0,48	0,44	0,4	0,41
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	0,032	0,035	0,029	0,069	0,031	-	-	-	-	-
P	5,585	5,574	5,569	5,477	5,45	-	-	-	-	-
Ca	9,949	9,945	9,951	9,911	9,948	-	-	-	-	-
La	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Ce	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Nd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Sm	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
F	0,553	0,578	0,552	0,675	0,548	-	-	-	-	-

Amostra	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/141,6	BIT6/170,7	BIT6/170,7	BIT6/170,7	BIT6/170,7	BIT6/170,7	BIT6/170,7	BIT6/170,7
Análise	g8P9A	g9P5A	g9P6A	g1P2A	g2P3A	g3P5A	g3P5A	g4P6A	g4P6A	g5P7
Descrição	Nprismlimp	Blimp	Blimp	Nlimp	Nlimp	Bprisnnero	Nprisnnero	Bprisnnero	Nprismlimp	Bprismlimp
SrO	0,32	0,3	0,29	1,89	1,58	2,06	1,54	1,21	1,54	1,16
P2O5	40,06	39,47	39,96	41,46	41,88	42	42,82	42,05	41,08	42,96
CaO	57,37	57,54	57,74	53,51	54,51	53,97	55,75	54,87	52,86	55,67
F	1	1,02	1,11	2,69	2,59	2,73	2,72	2,48	2,56	2,93
La2O3	0,13	0,09	0,1	0,13	0,07	0,13	0,02	0,13	0,14	0,1
Ce2O3	0,25	0,22	0,19	0,39	0,17	0,39	0,06	0,29	0,39	0,27
Nd2O3	0,11	0,09	0,08	0,35	0,21	0,32	0,05	0,21	0,31	0,18
Sm2O3	0,05	0	0,03	0,03	0,1	0,08	0	0,03	0,04	0,03
Total	99,29	98,73	99,5	100,45	101,11	101,68	102,96	101,27	98,92	103,3
O - F	0,42	0,43	0,46	1,13	1,09	1,15	1,14	1,05	1,08	1,23
Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions										
Sr	-	0,028	0,027	0,187	0,154	0,202	0,147	0,117	0,155	0,111
P	-	5,394	5,443	5,982	5,953	6	5,979	5,959	6,021	6,006
Ca	-	9,952	9,953	9,77	9,805	9,757	9,852	9,841	9,804	9,849
La	-	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01
Ce	-	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0	0,02	0,02	0,02
Nd	-	0,01	0	0,02	0,01	0,02	0	0,01	0,02	0,01
Sm	-	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
F	-	0,521	0,565	1,45	1,375	1,457	1,419	1,313	1,401	1,53

Legenda: BIT2/115,06, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/profundidade 115,06m; B, borda; baslimp, basal límpido; basnero, basal turvo; baszon, basal zonado; Bprismlimp, borda de cristal prismático límpido; g1P1, grão nº 1 ponto de análise nº 1; inc, inclusão; limp, límpido; N, núcleo; nero, turvo; Nprisnnero, núcleo de cristal prismático turvo; perf, perfil; prism, prismático; zon, zonado.

Tabela 7 - Composição química de apatitas de magnesiocarbonatitos fino (am.BIT5/90,40) e grosso sem venulações (ams.BIT6/141,6 e 170,7) e ferrocarbonatitos de granulação grossa com venulações tardias (ams.BIT5/130,0 e 210,7; BIT2/115,0; BIT6/6,80) da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT6/170,7	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80
Análise	g5P7	g1P1	g1P1	g2P2	g3P3	g4P5	g5BP6	g5P6A	g6P7A	g7P7B
Descrição	Nprismnero	Bprismnero	Nprismnero	prismlimp	prismlimp	prismlimp	baslimp	Nbaslimp	baslimp	prismlimp
SrO	1,44	1,04	1,77	2,32	0,91	2,35	1,44	2,28	2,52	2,27
P2O5	39,86	40,51	42,25	40,91	40,89	40,7	39,02	40,87	39,64	41,31
CaO	54,05	51,64	54,89	52,3	52,47	53,2	50,84	53,6	51,78	53,42
F	3,28	2,39	2,27	2,88	2,64	2,81	2,59	2,85	2,68	2,57
La2O3	0	0,35	0,11	0,27	0,15	0,19	0,08	0,17	0,21	0,13
Ce2O3	0,09	0,91	0,33	0,76	0,48	0,61	0,23	0,55	0,71	0,45
Nd2O3	0,06	0,63	0,14	0,62	0,48	0,44	0,24	0,42	0,71	0,38
Sm2O3	0,02	0,13	0,06	0,15	0,15	0,13	0,13	0,19	0,19	0,1
Total	98,8	97,6	101,82	100,21	98,17	100,43	94,57	100,93	98,44	100,63
O - F	1,38	1,01	0,95	1,21	1,11	1,19	1,09	1,2	1,13	1,08

Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions

Sr	0,142	0,106	0,171	0,232	0,093	0,232	0,15	0,223	0,253	0,224
P	5,744	6,055	5,966	5,974	6,075	5,855	5,949	5,829	5,821	5,948
Ca	9,857	9,768	9,809	9,665	9,865	9,686	9,808	9,674	9,623	9,735
La	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ce	0,01	0,06	0,02	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,03
Nd	0	0,04	0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02
Sm	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
F	1,766	1,334	1,197	1,571	1,465	1,51	1,475	1,518	1,47	1,382

Amostra	BIT6/6,80	BIT6/6,80	BIT6/6,80
Análise	g7P7D	g8P8	g8P8A
Descrição	prismnero	Nprismlimp	Bprismnero
SrO	0,87	2,51	2,2
P2O5	41,2	40,77	40,59
CaO	53,26	53,14	52,47
F	2,87	2,57	2,67
La2O3	0,25	0,2	0,17
Ce2O3	0,64	0,57	0,61
Nd2O3	0,49	0,39	0,58
Sm2O3	0,13	0,05	0,17
Total	99,71	100,2	99,46
O - F	1,21	1,08	1,12

Fórmula estrutural calculada com base de 10 cátions

Sr	0,087	0,247	0,22
P	6,008	5,863	5,916
Ca	9,829	9,67	9,678
La	0,02	0,01	0,01
Ce	0,04	0,04	0,04
Nd	0,03	0,02	0,04
Sm	0,01	0	0,01
F	1,563	1,38	1,454

Legenda: BIT2/115,06, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/profundidade 115,06m; B, borda; baslimp, basal límpido; basnero, basal turvo; baszon, basal zonado; Bprismlimp, borda de cristal prismático límpido; g1P1, grão nº 1 ponto de análise nº 1; inc, inclusão; limp, límpido; N, núcleo; nero, turvo; Nprismnero, núcleo de cristal prismático turvo; perf, perfil; prism, prismático; zon, zonado.

Tabela 8 - Composição química de fluorcarbonatos de elementos de terras raras de magnesiocarbonatitos (am. BIT5/61,20) e ferrocronatitos (am. BIT5/130,0) de granulação grossa, com venulações tardias, da Barra de Itapirapua.

Amostra	BIT3/142,0	BIT3/142,0	BIT3/142,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0
Análise	1A1	1B	P1		1	1	2	4
Descrição	escura	escura	escura	N	N	N	N	N
SrO	2.68	1.88	2.26	0.88	0.68	0.69	0.77	0.63
P2O5	0.04	0.09	0.11	0.01	0.0	0.01	0.0	0.0
CaO	4.02	5.93	4.50	20.90	19.35	18.28	19.60	18.35
F	5.61	4.88	5.20	3.40	3.80	3.26	2.90	3.38
La2O3	15.49	13.90	14.01	8.84	10.39	13.01	11.58	12.25
Ce2O3	28.87	27.93	26.21	14.90	19.02	22.34	21.4	22.37
Nd2O3	11.20	9.91	10.4	7.70	8.16	10.43	9.25	10.88
Sm2O3	1.45	1.36	1.42	1.04	1.02	1.27	1.24	1.24
Total	69.36	65.88	64.11	57.67	62.42	69.29	66.74	69.10
O -F	2.36	2.05	2.19	1.43	1.60	1.37	1.22	1.42

Amostra	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/130,0	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20
Análise	5	6	7	beamestr	beamLarg	fase1	fase2	fase3
Descrição	N	N	N	N	N	clara	escura	escura
SrO	0.60	0.76	0.87	1.08	1.30	2.00	1.12	1.07
P2O5	0.0	0.0	0.0	0.01	0.04	0.00	0.01	0.03
CaO	19.2	18.86	18.69	11.82	11.06	1.00	13.35	11.5
F	3.58	3.39	3.34	3.47	4.75	5.93	3.98	4.47
La2O3	12.02	12.24	12.48	24.01	23.48	26.82	22.8	22.84
Ce2O3	22.42	23.20	23.62	30.02	27.06	33.84	29.26	29.41
Nd2O3	10.50	10.65	10.39	6.30	5.76	8.02	6.91	6.54
Sm2O3	1.23	1.20	1.30	0.37	0.32	0.62	0.38	0.46
Total	69.55	70.30	70.69	77.08	73.77	78.23	77.81	76.32
O -F	1.51	1.43	1.41	1.46	2.00	2.50	1.68	1.89

Amostra	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20	BIT5/61,20
Análise	fase4	fase6	fase7	fase8	fase9	beamestr	beamestr
Descrição	clara	claro	claro	claro	claro	escura	clara
SrO	1.98	1.60	2.08	2.30	1.82	1.23	2.43
P2O5	0.01	0.01	0.01	0.07	0.0	0.0	0.08
CaO	1.28	1.07	1.32	1.41	1.60	12.71	1.99
F	6.12	7.38	7.22	6.74	6.92	3.48	5.05
La2O3	27.26	24.64	26.94	26.20	26.5	24.42	29.23
Ce2O3	33.45	32.98	32.28	32.70	32.0	27.96	27.20
Nd2O3	7.51	7.56	7.46	7.41	7.38	6.35	6.69
Sm2O3	0.55	0.60	0.61	0.52	0.57	0.39	0.42
Total	78.16	75.84	77.92	77.35	76.79	76.54	73.09
O -F	2.58	3.11	3.04	2.84	2.91	1.46	2.13

Legenda: beamestr, feixe eletrônico estreito; beamlarg, feixe eletrônico largo.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8
Análise	106	106A1	14	15	16n	19bmeg	23bserc	110A	5	22nserc
Descrição	g1rel	g1rel	g2recr-b	g2lp-n	agm	g3gemf-n	g4tv-n	g4agl-n	vn	g5tvser-n
SiO ₂	63.37	62.48	67.19	68.49	68.66	68.20	66.25	66.45	66.65	63.64
Al ₂ O ₃	18.13	17.68	19.04	19.41	19.31	19.14	20.77	19.60	18.81	23.83
CaO	.044	.56	.59	.01	.00	.03	.49	.19	.11	.45
Na ₂ O	.29	.40	11.14	11.32	11.24	11.09	10.38	10.87	11.0	8.62
K ₂ O	16.51	16.18	.13	.14	.17	.18	.74	.10	.13	2.95
Total	98.34	97.30	98.09	99.37	99.38	98.64	98.63	97.21	96.70	99.49
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.953	11.934	11.974	12.017	12.041	12.048	11.759	11.922	12.021	11.305
Al	4.027	3.977	3.996	4.011	3.988	3.982	4.342	4.141	3.995	4.985
Ca	0.009	0.115	0.113	0.002	0.000	0.006	0.093	0.037	0.021	0.086
Na	0.106	0.148	3.849	3.851	3.822	3.799	3.572	3.781	3.847	2.969
K	3.973	3.943	0.030	0.031	0.038	0.041	0.168	0.023	0.030	0.669
Cations	20.068	20.117	19.962	19.912	19.889	19.876	19.934	19.904	19.914	20.014
Ab	2.6	3.5	96.4	99.2	99.0	98.8	93.2	98.4	98.7	79.7
An	0.2	2.7	2.8	0.1	0.0	0.2	2.4	1.0	0.5	2.3
Or	97.2	93.7	0.8	0.8	1.0	1.1	4.4	0.6	0.8	18.0

Amostras	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/62.7	BIT2/26.8	BIT2/26.8
Análise	110B	24	39limp	41mtz	44	45	49	35	50	51
Descrição	g5agl-n	g6gemf-n	g8gemf-n	gf	g9gemf	g10-blp	g11tv	g12-nser	g12-nser	g12-blp
SiO ₂	67.44	68.06	68.29	66.96	68.61	67.30	65.81	63.48	66.90	68.12
Al ₂ O ₃	19.58	19.28	19.55	19.23	19.42	19.05	21.02	22.16	20.18	19.55
CaO	.34	.01	.06	.03	.03	.34	.52	.54	.69	.02
Na ₂ O	11.03	11.24	11.26	11.17	11.37	11.15	10.03	9.12	10.75	11.27
K ₂ O	.08	.14	.12	.16	.10	.15	.89	1.98	.27	.09
Total	98.47	98.73	99.28	97.55	99.53	97.99	98.27	97.28	98.79	99.05
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.949	12.019	11.993	11.978	12.018	11.994	11.723	11.488	11.840	11.989
Al	4.085	4.010	4.043	4.051	4.006	3.998	4.410	4.723	4.206	4.052
Ca	0.065	0.002	0.011	0.006	0.006	0.065	0.099	0.105	0.131	0.004
Na	3.789	3.849	3.834	3.874	3.862	3.853	3.464	3.200	3.689	3.846
K	0.018	0.032	0.027	0.037	0.022	0.034	0.202	0.457	0.061	0.020
Cations	19.906	19.912	19.908	19.946	19.914	19.944	19.898	19.973	19.927	19.911
Ab	97.9	99.1	99.0	98.9	99.3	97.5	92.0	85.1	95.1	99.4
An	1.7	0.1	0.3	0.2	0.2	1.6	2.6	2.8	3.4	0.1
Or	0.5	0.8	0.7	0.9	0.6	0.9	5.4	12.1	1.6	0.5

Amostras	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/62.7
Análise	52	60	61	63	65	66	67	68	77	1
Descrição	g12-nser	g13glrec	g13-brrecr	g13-brrecr	g14megtv	g14megtv	g14recgf	g14rec	g16tv	g1-nser
SiO ₂	67.11	67.48	68.29	68.01	67.63	67.87	68.01	67.88	68.24	66.24
Al ₂ O ₃	18.32	19.99	19.44	19.24	19.48	19.37	19.27	19.15	19.27	21.10
CaO	.01	.38	.01	.0	.14	.00	.02	.00	.00	.82
Na ₂ O	11.14	11.02	11.27	11.13	11.21	11.07	11.22	11.42	11.30	10.10
K ₂ O	.20	.14	.11	.19	.11	.14	.06	.12	.13	.84
Total	96.78	99.01	99.12	98.57	98.57	98.45	98.58	98.57	98.94	99.10
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.095	11.898	12.010	12.027	11.970	12.012	12.022	12.016	12.025	11.711
Al	3.888	4.151	4.026	4.007	4.060	4.037	4.011	3.992	3.999	4.393
Ca	0.002	0.072	0.002	0.000	0.027	0.000	0.004	0.000	0.000	0.155
Na	3.893	3.768	3.843	3.816	3.847	3.799	3.846	3.920	3.861	3.462
K	0.046	0.031	0.025	0.043	0.025	0.032	0.014	0.027	0.029	0.189
Cations	19.924	19.920	19.906	19.893	19.929	19.880	19.897	19.955	19.914	19.910
Ab	98.8	97.3	99.3	98.9	98.7	99.2	99.5	99.3	99.3	91.0
An	0.1	1.9	0.1	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	4.1
Or	1.2	0.8	0.6	1.1	0.6	0.8	0.4	0.7	0.7	5.0

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; crip, microcristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7
Análise	3	3A	4	5	5	7	8	9	19	20
Descrição	g2rel	g2-blp	g3-nser	g4-brec	g4-nrec	g5rec	g5rec	g5rec	g6-ntv	g6-ntv
SiO ₂	66.76	66.63	68.13	63.96	64.39	63.73	63.50	63.66	63.64	63.78
Al ₂ O ₃	19.93	20.13	20.05	18.56	18.66	18.60	19.03	19.10	18.37	18.59
CaO	.66	.92	.48	.01	.0	.01	.50	.52	.0	.0
Na ₂ O	10.71	10.54	11.01	.69	.89	.96	2.00	2.00	.84	.46
K ₂ O	.24	.17	.10	15.85	15.49	15.50	13.40	13.49	15.63	16.10
Total	98.30	98.39	99.77	99.07	99.43	98.80	98.43	98.77	98.48	98.93
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.868	11.834	11.916	11.932	11.943	11.914	11.837	11.830	11.941	11.925
Al	4.172	4.211	4.130	4.078	4.076	4.095	4.177	4.180	4.059	4.093
Ca	0.126	0.175	0.090	0.002	0.000	0.002	0.100	0.104	0.000	0.000
Na	3.692	3.630	3.734	0.250	0.320	0.348	0.723	0.721	0.306	0.167
K	0.054	0.039	0.022	3.772	3.665	3.697	3.187	3.198	3.741	3.840
Cations	19.912	19.889	19.892	20.034	20.004	20.056	20.024	20.033	20.047	20.025
Ab	95.4	94.4	97.1	6.2	8.0	8.6	18.0	17.9	7.6	4.2
An	3.3	4.6	2.3	0.0	0.0	0.0	2.5	2.6	0.0	0.0
Or	1.4	1.0	0.6	93.7	92.0	91.4	79.5	79.5	92.4	95.8

Amostras	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7
Análise	23	24	24	27	27A	27B	30	31	32	33
Descrição	g7-nlp	g8-b	g8-n	g9-blp	g9tv	g9tv	g10-blp	g10-nser	g11-blp	g11-nlp
SiO ₂	66.18	63.82	63.76	63.47	64.10	67.55	67.43	66.31	68.20	67.77
Al ₂ O ₃	19.35	18.68	18.68	18.34	18.46	19.82	19.69	21.17	19.38	19.83
CaO	.04	.01	.01	.02	.0	.35	.36	.57	.04	.14
Na ₂ O	11.26	1.08	.87	.78	.90	11.10	11.10	10.09	11.27	11.16
K ₂ O	.15	15.20	15.46	15.57	15.53	.12	.14	1.04	.15	.13
Total	96.98	98.79	98.78	98.18	98.99	98.94	98.72	99.18	99.04	99.03
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.922	11.913	11.913	11.942	11.952	11.919	11.927	11.716	12.009	11.938
Al	4.105	4.107	4.110	4.064	4.054	4.118	4.102	4.405	4.019	4.114
Ca	0.008	0.002	0.002	0.004	0.000	0.066	0.068	0.108	0.008	0.026
Na	3.933	0.391	0.315	0.285	0.325	3.798	3.807	3.457	3.848	3.812
K	0.034	3.620	3.685	3.737	3.694	0.027	0.032	0.234	0.034	0.029
Cations	20.002	20.033	20.025	20.032	20.025	19.928	19.936	19.920	19.918	19.919
Ab	98.9	9.7	7.9	7.1	8.1	97.6	97.4	91.0	98.9	98.6
An	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	1.7	1.7	2.8	0.2	0.7
Or	0.9	90.2	92.1	92.8	91.9	0.7	0.8	6.2	0.9	0.7

Amostras	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7
Análise	34	37	40	40	47	50	53	53A	55	56
Descrição	g12-blp	g13rel	g14rel	g14rel	g15rec	g15rel	g16rel	g16rel	g16-blp	g16btv
SiO ₂	65.46	62.51	62.19	63.86	67.93	66.46	63.62	63.93	63.69	63.93
Al ₂ O ₃	20.88	23.36	23.38	18.56	19.28	20.50	18.37	18.40	18.58	18.63
CaO	.77	4.68	4.51	.01	.01	.69	.01	.00	.01	.00
Na ₂ O	10.30	8.46	8.60	1.14	11.18	10.16	1.03	.87	.41	.88
K ₂ O	.64	.36	.14	15.13	.12	.78	15.28	15.49	16.20	15.71
Total	98.05	99.37	98.82	98.70	98.52	98.59	98.31	98.69	98.89	99.15
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.698	11.127	11.119	11.929	12.018	11.798	11.942	11.955	11.920	11.916
Al	4.394	4.897	4.923	4.083	4.017	4.286	4.061	4.052	4.095	4.090
Ca	0.147	0.893	0.864	0.002	0.002	0.131	0.002	0.000	0.002	0.000
Na	3.569	2.920	2.981	0.413	3.835	3.497	0.375	0.315	0.149	0.318
K	0.146	0.082	0.032	3.606	0.027	0.177	3.659	3.695	3.868	3.736
Cations	19.954	19.919	19.919	20.033	19.899	19.889	20.039	20.017	20.034	20.060
Ab	92.4	75.0	76.9	10.3	99.2	91.9	9.3	7.9	3.7	7.8
An	3.8	22.9	22.3	0.0	0.1	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Or	3.8	2.1	0.8	89.7	0.7	4.7	90.7	92.1	96.2	92.2

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; crip, criptocristalino; gemf, grão fino geminado (abita); gf, grão fino; grd, germinação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	58	66	67	72A	62	90	90n	91	1	2
Descrição	g17	g17tv	g17tv	g17tv	agl	g18-blp	g18-ntv	gflp	g1-blp	g1-nlp
SiO ₂	62.56	63.51	63.82	63.52	68.00	62.97	63.75	67.49	64.68	65.04
Al ₂ O ₃	23.25	18.58	18.57	22.61	19.55	18.02	18.62	19.71	18.43	18.46
CaO	4.42	.0	.00	.96	.01	.01	.01	.41	.00	.01
Na ₂ O	8.77	.88	.50	9.06	11.30	1.03	2.32	10.89	.12	.19
K ₂ O	.15	15.60	16.33	1.70	.04	15.31	12.74	.14	17.33	17.34
Total	99.15	98.57	99.22	97.85	98.90	97.34	97.44	98.64	100.56	101.04
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.149	11.907	11.917	11.425	11.985	11.953	11.943	11.937	11.956	11.963
Al	4.879	4.102	4.083	4.789	4.058	4.028	4.108	4.106	4.012	3.999
Ca	0.844	0.000	0.000	0.185	0.002	0.002	0.002	0.078	0.000	0.002
Na	3.030	0.320	0.181	3.160	3.862	0.379	0.843	3.735	0.043	0.068
K	0.034	3.731	3.890	0.390	0.009	3.708	3.045	0.032	4.087	4.069
Cations	19.936	20.060	20.071	19.949	19.916	20.070	19.941	19.888	20.098	20.101
Ab	77.5	7.9	4.4	84.6	99.7	9.3	21.7	97.1	1.0	1.6
An	21.6	0.0	0.0	5.0	0.1	0.0	0.1	2.0	0.0	0.0
Or	0.9	92.1	95.6	10.4	0.2	90.7	78.3	0.8	99.0	98.3

Amostras	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	8A	8B	10	13	13A	15A	15B	16N	17	17
Descrição	g2lp	g2lp	g3-nlp	g3rel	g3-blp	g4-blp	g5gflp	g6gflp	g7-gflp	g7gflp
SiO ₂	63.56	63.77	69.03	64.65	68.79	67.78	67.86	67.94	67.98	68.75
Al ₂ O ₃	18.00	18.20	19.55	18.32	19.59	19.21	19.36	19.36	19.30	19.57
CaO	.02	.05	.02	.0	.03	0.0	.0	.0	.0	.0
Na ₂ O	.08	.08	11.35	.13	11.54	11.35	11.42	11.43	11.46	11.52
K ₂ O	16.81	17.14	.14	17.31	.12	.04	.05	.02	.04	.07
Total	98.47	99.24	100.09	100.41	100.07	98.38	98.69	98.75	98.78	99.91
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.980	11.948	12.022	11.968	11.995	12.013	11.994	11.998	12.004	12.001
Al	3.996	4.016	4.010	3.994	4.023	4.009	4.030	4.026	4.013	4.023
Ca	0.004	0.010	0.004	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.029	0.029	3.833	0.047	3.902	3.900	3.914	3.914	3.924	3.899
K	4.042	4.097	0.031	4.088	0.027	0.009	0.011	0.005	0.009	0.016
Cations	20.051	20.100	19.900	20.097	19.953	19.931	19.949	19.943	19.950	19.939
Ab	0.7	0.7	99.1	1.1	99.2	99.8	99.7	99.9	99.8	99.6
An	0.1	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Or	99.2	99.1	0.8	98.9	0.7	0.2	0.3	0.1	0.2	0.4

Amostras	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	20	21	22a	22a1	24	25	27	29	31	42
Descrição	g8rec	g8rec	g9rec	g10rec	g11-ntv	g11-btv	g11-breclp	g11-brecrip	g12rel	g12-rel
SiO ₂	64.14	64.07	64.59	64.11	68.50	68.24	68.12	68.97	63.48	64.05
Al ₂ O ₃	18.36	18.27	18.39	18.37	19.36	19.38	19.19	19.69	18.66	18.92
CaO	.0	.0	.0	.0	.00	.03	.00	.06	.0	.01
Na ₂ O	.17	.17	.11	.15	11.00	11.48	11.35	11.45	.82	.90
K ₂ O	17.24	17.38	16.87	16.72	1.07	.10	.19	.10	15.93	15.84
Total	99.91	99.89	99.96	99.35	99.93	99.23	98.85	100.27	98.89	99.72
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.939	11.941	11.977	11.961	12.006	12.000	12.024	11.996	11.885	11.879
Al	4.025	4.010	4.016	4.036	3.996	4.013	3.989	4.033	4.114	4.132
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.011	0.000	0.002
Na	0.061	0.061	0.040	0.054	3.738	3.914	3.884	3.861	0.298	0.324
K	4.094	4.132	3.991	3.980	0.239	0.022	0.043	0.022	3.805	3.748
Cations	20.119	20.144	20.024	20.031	19.979	19.955	19.940	19.923	20.102	20.085
Ab	1.5	1.5	1.0	1.3	94.0	99.3	98.9	99.2	7.3	8.0
An	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0
Or	98.5	98.5	99.0	98.7	6.0	0.6	1.1	0.6	92.7	92.0

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; cri, criptocristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	43Bmeg	44B1meg	44Bmeg	45ven	34A	33	34	36crp	37crp	38crp
Descrição	g12-brecl	g12-brecl	g12-brecl	g12-vnrecr	g13-nreclp	g13-breclp	g13-crip	g13-crip	g13-crip	g13-crip
SiO ₂	64.74	64.36	64.06	68.64	67.49	68.61	68.65	64.98	65.11	64.42
Al ₂ O ₃	18.52	18.42	18.45	19.49	19.80	19.68	19.78	18.60	18.40	18.27
CaO	.0	.02	.00	.0	.10	.01	.18	.01	.0	.00
Na ₂ O	.18	.15	.21	11.30	11.20	11.38	11.34	.25	.20	.19
K ₂ O	17.46	17.38	17.33	.36	.12	.07	.14	17.21	17.28	17.29
Total	100.90	100.33	100.05	99.79	98.71	99.75	100.09	101.05	100.99	100.17
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.938	11.936	11.918	12.007	11.930	11.990	11.968	11.945	11.976	11.960
Al	4.022	4.023	4.042	4.015	4.122	4.050	4.061	4.027	3.986	3.995
Ca	0.000	0.004	0.000	0.000	0.019	0.002	0.034	0.002	0.000	0.000
Na	0.064	0.054	0.076	3.833	3.839	3.856	3.833	0.089	0.071	0.068
K	4.107	4.112	4.113	0.080	0.027	0.016	0.031	4.036	4.055	4.095
Cations	20.131	20.129	20.149	19.935	19.937	19.914	19.927	20.099	20.088	20.118
Ab	1.5	1.3	1.8	98.0	98.8	99.5	98.3	2.2	1.7	1.6
An	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0
Or	98.5	98.6	98.2	2.0	0.7	0.4	0.8	97.8	98.3	98.4

Amostras	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	39a	40	46az	46bz	46cz	46dz	32	50	54	55
Descrição	g13-crip	g13-crip	g13pfil-b	g13pfil-bn	g13pfil-n	g13pfil-n	aglip	g14-nlp	g15-nlp	g15-blp
SiO ₂	68.68	64.66	68.60	68.08	67.29	68.55	68.30	68.30	67.50	67.99
Al ₂ O ₃	19.64	18.42	19.77	19.55	19.53	19.75	19.65	19.36	19.34	19.57
CaO	.06	.00	.12	.04	.71	.07	.06	.03	.04	.02
Na ₂ O	11.36	.12	11.36	11.43	11.41	11.31	11.49	11.41	11.31	11.58
K ₂ O	.13	17.42	.12	.18	.13	.17	.06	.06	.09	.15
Total	99.87	100.62	99.97	99.28	99.07	99.85	99.56	99.16	98.28	99.31
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.993	11.952	11.971	11.972	11.895	11.976	11.970	12.011	11.982	11.959
Al	4.039	4.010	4.063	4.049	4.066	4.063	4.056	4.009	4.043	4.054
Ca	0.011	0.000	0.022	0.008	0.134	0.013	0.011	0.006	0.008	0.004
Na	3.847	0.043	3.844	3.897	3.911	3.831	3.905	3.891	3.893	3.949
K	0.029	4.108	0.027	0.040	0.029	0.038	0.013	0.013	0.020	0.034
Cations	19.919	20.113	19.927	19.966	20.035	19.921	19.955	19.930	19.946	20.000
Ab	99.0	1.0	98.7	98.8	96.0	98.7	99.4	99.5	99.3	99.0
An	0.3	0.0	0.6	0.2	3.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
Or	0.7	99.0	0.7	1.0	0.7	1.0	0.3	0.3	0.5	0.9

Amostras	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50
Análise	56bhmg	56n	1meg	4	6	7meg	9albiz	mcr	29	8
Descrição	g15-btv	g15-nlp	g1meg-btv	g1meg-ntv	g1meg-btv	g1meg-btv	g1meg-btv	g1meg-mtv	g2-blp	g2-nlp
SiO ₂	67.99	68.43	64.34	64.38	63.63	64.99	64.23	64.33	68.45	69.04
Al ₂ O ₃	19.25	19.43	18.77	18.70	18.64	18.71	18.74	18.55	19.73	19.70
CaO	.01	.0	.04	.00	.01	.00	.04	.02	.12	.08
Na ₂ O	9.93	11.43	1.44	2.64	.85	1.33	1.36	.88	11.21	11.44
K ₂ O	2.33	.20	15.20	14.69	15.79	15.44	15.13	15.90	.13	.16
Total	99.51	99.49	99.79	100.41	98.92	100.47	99.50	99.68	99.64	100.42
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.011	12.004	11.901	11.857	11.899	11.938	11.908	11.935	11.978	11.994
Al	4.005	4.014	4.089	4.056	4.105	4.048	4.091	4.053	4.066	4.031
Ca	0.002	0.000	0.008	0.000	0.002	0.000	0.008	0.004	0.022	0.015
Na	3.401	3.888	0.516	0.943	0.308	0.474	0.489	0.317	3.804	3.854
K	0.525	0.045	3.587	3.451	3.767	3.618	3.578	3.763	0.029	0.035
Cations	19.944	19.951	20.101	20.307	20.081	20.078	20.074	20.072	19.899	19.929
Ab	86.6	98.9	12.6	21.5	7.6	11.6	12.0	7.8	98.7	98.7
An	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.6	0.4
Or	13.4	1.1	87.3	78.5	92.4	88.4	87.8	92.1	0.8	0.9

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; crip, criptocristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50
Análise		3	30n	30n1	31b	32b	37b	41babz	43	44babz
Descrição		gfp	g3rel	g3-nrel	g3-brecl	g3-brecl	g4-brec	g4-brecl	g5-brecl	g5-brecl
SiO ₂	68.41	68.86	64.47	63.61	67.80	68.40	68.51	68.34	68.34	68.64
Al ₂ O ₃	19.16	19.60	18.49	18.68	19.31	19.46	19.46	19.36	19.55	19.27
CaO	.05	.00	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.01	.01
Na ₂ O	11.34	11.37	.75	.96	10.75	11.37	11.50	11.33	11.43	11.38
K ₂ O	.12	.12	16.22	15.71	1.39	.23	.14	.14	.17	.25
Total	99.08	99.95	99.93	98.96	99.25	99.46	99.61	99.17	99.50	99.55
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.040	12.010	11.945	11.890	11.983	12.001	12.002	12.017	11.986	12.032
Al	3.971	4.026	4.035	4.112	4.019	4.021	4.015	4.009	4.038	3.978
Ca	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002
Na	3.870	3.845	0.269	0.348	3.684	3.868	3.906	3.863	3.887	3.868
K	0.027	0.027	3.834	3.746	0.313	0.051	0.031	0.031	0.038	0.056
Cations	19.917	19.908	20.083	20.096	19.999	19.941	19.954	19.920	19.951	19.936
Ab	99.1	99.3	6.6	8.5	92.2	98.7	99.2	99.2	99.0	98.5
An	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Or	0.7	0.7	93.4	91.5	7.8	1.3	0.8	0.8	1.0	1.4

Amostras	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5
Análise	47	48	1	1A	2	3	4	5	5A	7
Descrição	g6gem-blp	g6gem-nlp	g1-ntv	g1-nlp	g1-blp	g2-ntv	g2-btv	g4-ngemf	g4-bgemf	g5A-brecl
SiO ₂	68.69	68.98	66.63	69.12	69.16	68.82	64.29	67.98	68.75	68.56
Al ₂ O ₃	19.49	19.63	18.84	19.23	19.28	19.20	18.58	18.91	19.73	19.24
CaO	.0	.01	.00	.02	.01	.07	.01	.50	.30	.03
Na ₂ O	11.43	11.51	5.82	11.08	11.05	10.61	.94	11.01	11.00	11.15
K ₂ O	.21	.25	8.37	.20	.24	1.10	15.67	.07	.12	.18
Total	99.82	100.38	99.66	99.65	99.74	99.80	99.49	98.47	99.90	99.16
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.008	11.997	12.008	12.078	12.074	12.057	11.937	12.042	11.992	12.048
Al	4.012	4.020	3.999	3.957	3.964	3.961	4.063	3.945	4.053	3.982
Ca	0.000	0.002	0.000	0.004	0.002	0.013	0.002	0.095	0.056	0.006
Na	3.874	3.881	2.034	3.754	3.741	3.604	0.338	3.782	3.721	3.799
K	0.047	0.055	1.924	0.045	0.053	0.246	3.712	0.016	0.027	0.040
Cations	19.941	19.955	19.965	19.838	19.834	19.881	20.052	19.880	19.849	19.875
Ab	98.8	98.6	51.4	98.7	98.6	93.3	8.3	97.1	97.8	98.8
An	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	2.4	1.5	0.2
Or	1.2	1.4	48.6	1.2	1.4	6.4	91.6	0.4	0.7	1.0

Amostras	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5
Análise	8	8A	8B	8B1	13	14	14A	6D	16A	16B
Descrição	g5A-brecl	g5A-nrel	g5A-nrel	g5A-brecl	g5-ntv	g5-breclp	g5-breclp	vncrip	g6rel	g6rel
SiO ₂	68.86	63.91	63.72	68.31	63.58	68.09	68.64	63.92	65.68	63.99
Al ₂ O ₃	19.38	18.66	18.65	19.16	18.36	18.79	19.37	18.55	18.59	18.49
CaO	.0	.02	.00	.00	.00	.03	.0	.01	.01	.00
Na ₂ O	11.09	.98	1.10	11.01	.70	11.16	11.04	1.04	3.46	.73
K ₂ O	.20	15.44	15.01	.13	15.87	.17	.20	15.28	12.67	15.88
Total	99.53	99.01	98.48	98.61	98.51	98.24	99.25	98.80	100.41	99.09
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.050	11.915	11.920	12.060	11.938	12.080	12.045	11.933	11.964	11.939
Al	3.994	4.097	4.109	3.984	4.060	3.926	4.003	4.078	3.988	4.063
Ca	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.002	0.002	0.000
Na	3.763	0.354	0.399	3.769	0.255	3.839	3.756	0.376	1.222	0.264
K	0.045	3.672	3.582	0.029	3.801	0.038	0.045	3.639	2.944	3.780
Cations	19.852	20.042	20.010	19.842	20.054	19.889	19.849	20.028	20.120	20.046
Ab	98.8	8.8	10.0	99.2	6.3	98.9	98.8	9.4	29.3	6.5
An	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Or	1.2	91.1	90.0	0.8	93.7	1.0	1.2	90.6	70.6	93.5

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; cri, criptocristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5
Análise	18	18A	22	23b	23n	24	25	24/24A	57/67	68
Descrição	g6-bregr	g6-bregr	g7gemgrd	g8-blp	g8-nlp	g9-bregr	g8-nrel	g10-bregr	g11-bregr	g12-ntv
SiO ₂	68.85	68.39	64.07	68.69	68.76	68.84	64.12	68.96	68.67	67.87
Al ₂ O ₃	19.39	19.17	18.59	19.23	19.28	19.26	18.40	19.49	18.70	19.00
CaO	.0	.0	.01	.0	.00	.0	.02	.01	.0	.00
Na ₂ O	11.05	10.96	.99	11.11	11.17	11.09	.85	11.16	11.05	10.66
K ₂ O	.17	.27	15.33	.19	.18	.17	15.56	.11	.37	.82
Total	99.46	98.79	98.99	99.22	99.39	99.36	98.95	99.73	98.79	98.35
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.052	12.059	11.937	12.059	12.053	12.064	11.961	12.040	12.117	12.053
Al	3.997	3.981	4.079	3.976	3.980	3.975	4.042	4.007	3.886	3.974
Ca	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000
Na	3.751	3.747	0.358	3.782	3.797	3.768	0.307	3.778	3.781	3.671
K	0.038	0.061	3.644	0.043	0.040	0.038	3.703	0.025	0.083	0.186
Cations	19.838	19.848	20.020	19.860	19.870	19.845	20.017	19.852	19.867	19.884
Ab	99.0	98.4	8.9	98.9	99.0	99.0	7.6	99.3	97.9	95.2
An	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
Or	1.0	1.6	91.0	1.1	1.0	1.0	92.3	0.7	2.1	4.8

Amostras	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5
Análise	70	71	82	83	84b	84n	87	90	90A	6A
Descrição	g13-blp	g13-nlp	g14-b	g14-ng14bgemlp	g14gem-n	g15gf	g16rel	g16rel	g16rel	vncrip
SiO ₂	64.07	63.55	67.59	67.80	67.87	67.93	68.43	63.43	63.92	64.99
Al ₂ O ₃	18.75	18.40	19.76	20.05	19.94	20.03	19.40	18.40	18.67	18.62
CaO	.00	.00	.46	.58	.48	.51	.02	.00	.00	.00
Na ₂ O	1.25	.74	10.87	10.82	10.95	10.77	11.13	.76	1.03	.70
K ₂ O	14.66	15.73	.13	.11	.11	.35	.20	15.66	15.28	16.06
Total	98.73	98.42	98.81	99.36	99.35	99.59	99.18	98.25	98.90	100.37
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.930	11.935	11.934	11.905	11.920	11.912	12.025	11.931	11.920	11.964
Al	4.112	4.070	4.109	4.146	4.124	4.136	4.015	4.076	4.100	4.037
Ca	0.000	0.000	0.087	0.109	0.090	0.096	0.004	0.000	0.000	0.000
Na	0.451	0.269	3.721	3.684	3.729	3.662	3.792	0.277	0.372	0.250
K	3.482	3.769	0.029	0.025	0.025	0.078	0.045	3.758	3.635	3.772
Cations	19.975	20.043	19.880	19.869	19.888	19.884	19.881	20.042	20.027	20.023
Ab	11.5	6.7	97.0	96.5	97.0	95.5	98.7	6.9	9.3	6.2
An	0.0	0.0	2.3	2.9	2.3	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0
Or	88.5	93.3	0.8	0.7	0.7	2.0	1.2	93.1	90.7	93.8

Amostras	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0
Análise	6B	6B1	6C	1balt	1balt1	1n	2	3	7lim	7
Descrição	vncrip	vncrip	vncrip	g1-bregr	g1-bregr	g1-ntv	g1-bregr	g1-bregr	g1-regr	g1-ntv
SiO ₂	60.63	64.53	63.41	68.17	68.42	68.52	67.67	68.16	63.57	68.53
Al ₂ O ₃	18.06	18.58	18.28	19.49	19.34	19.55	19.13	19.40	18.28	19.52
CaO	.0	.0	.01	.09	.03	.03	.01	.08	.00	.06
Na ₂ O	.47	.67	.45	11.17	11.23	11.05	11.04	11.02	.74	11.12
K ₂ O	16.39	16.03	16.14	.11	.12	.38	.14	.15	15.78	.35
Total	95.55	99.81	98.29	99.03	99.14	99.53	97.99	98.81	98.37	99.58
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.823	11.951	11.944	11.999	12.028	12.008	12.032	12.018	11.949	12.007
Al	4.147	4.052	4.055	4.040	4.004	4.035	4.006	4.028	4.046	4.028
Ca	0.000	0.000	0.002	0.017	0.006	0.006	0.002	0.015	0.000	0.011
Na	0.178	0.241	0.164	3.812	3.828	3.755	3.806	3.768	0.270	3.778
K	4.077	3.787	3.878	0.025	0.027	0.085	0.032	0.034	3.784	0.078
Cations	20.225	20.031	20.043	19.893	19.893	19.889	19.878	19.863	20.049	19.902
Ab	4.2	6.0	4.1	98.9	99.1	97.6	99.1	98.7	6.7	97.7
An	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2	0.1	0.4	0.0	0.3
Or	95.8	94.0	95.9	0.6	0.7	2.2	0.8	0.9	93.3	2.0

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; crip, criptocristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0
Análise	9lim	13	14meg	18	28	53Ab	53C	36	55	42b
Descrição	g1A-gfip	g2megtv	g2megtv	g2megrecr	g3-ntv	g3-ntv	g3-brecre	g4-nlp	g4-ntv	g5-btv
SiO ₂	68.67	64.52	63.69	68.51	64.69	64.01	68.39	63.32	67.37	67.80
Al ₂ O ₃	19.57	18.37	18.46	19.64	18.64	18.32	19.49	18.29	19.99	19.46
CaO	.04	.00	.02	.00	.03	.03	.04	.05	.06	.11
Na ₂ O	11.20	.68	.82	11.43	2.31	.82	11.18	.49	10.71	10.20
K ₂ O	.16	15.91	15.71	.09	14.01	15.80	.10	16.21	1.00	1.47
Total	99.64	99.48	98.70	99.67	99.68	98.98	99.20	98.36	99.13	99.04
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.011	11.981	11.928	11.987	11.928	11.956	12.012	11.930	11.899	11.990
Al	4.031	4.017	4.072	4.047	4.048	4.030	4.031	4.058	4.158	4.053
Ca	0.007	0.000	0.004	0.000	0.006	0.006	0.008	0.010	0.011	0.021
Na	3.799	0.245	0.298	3.878	0.826	0.297	3.808	0.179	3.668	3.498
K	0.036	3.769	3.754	0.020	3.296	3.765	0.022	3.896	0.225	0.332
Cations	19.884	20.012	20.056	19.932	20.104	20.054	19.881	20.073	19.961	19.894
Ab	98.9	6.1	7.3	99.5	20.0	7.3	99.2	4.4	94.0	90.8
An	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5
Or	0.9	93.9	92.6	0.5	79.8	92.6	0.6	95.4	5.8	8.6

Amostras	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0
Análise	42nrel	57	53	68	68A	70	70B	71	72	73ven
Descrição	g5-ntv	g5-brecre	g6-brecre	g6-ngem	g6-ngem	g7-ngem	g7-bgem	g7-bgem	g7-bgem	vncrip
SiO ₂	68.53	68.78	67.63	64.76	64.19	64.11	64.20	64.87	64.27	64.19
Al ₂ O ₃	19.58	19.46	19.46	18.29	18.55	18.41	18.57	18.28	18.32	18.19
CaO	.17	.02	.17	.00	.03	.00	.02	.00	.00	.0
Na ₂ O	11.02	11.26	11.18	.76	.98	.71	.67	.25	.27	.30
K ₂ O	.19	.18	.11	16.05	15.50	15.94	15.91	16.81	16.77	16.90
Total	99.49	99.70	98.55	99.86	99.25	99.17	99.37	100.21	99.63	99.58
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	12.005	12.026	11.972	11.990	11.939	11.953	11.940	11.997	11.965	11.969
Al	4.039	4.007	4.057	3.988	4.063	4.042	4.067	3.981	4.016	3.994
Ca	0.032	0.004	0.032	0.000	0.006	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Na	3.743	3.817	3.838	0.273	0.353	0.257	0.242	0.090	0.097	0.108
K	0.042	0.040	0.025	3.791	3.678	3.791	3.775	3.966	3.983	4.020
Cations	19.861	19.894	19.924	20.042	20.039	20.043	20.028	20.034	20.061	20.091
Ab	98.1	98.9	98.5	6.7	8.7	6.3	6.0	2.2	2.4	2.6
An	0.8	0.1	0.8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Or	1.1	1.0	0.6	93.3	91.1	93.7	93.9	97.8	97.6	97.4

Amostras	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0
Análise	78	79	81	82	83	86	88	89	90	93A
Descrição	g8-blp	g8-blp	g9-brecre	g9-bagl	g9-brecre	g10-bgem	g10-bgem	g11-gemlp	g11-gemlp	g12-gemlp
SiO ₂	64.05	64.22	63.85	68.72	68.52	64.21	63.81	64.07	64.16	64.10
Al ₂ O ₃	18.25	18.35	18.45	19.59	19.65	18.39	18.38	18.56	18.51	18.36
CaO	.01	.00	.00	.05	.15	.00	.00	.03	.01	.00
Na ₂ O	.83	.73	.82	11.27	11.26	.78	.77	.76	.62	.85
K ₂ O	15.87	16.05	15.76	.11	.11	15.91	15.75	16.06	16.05	15.67
Total	99.01	99.35	98.88	99.74	99.69	99.29	98.71	99.48	99.35	98.98
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.964	11.960	11.937	12.008	11.986	11.957	11.947	11.922	11.944	11.961
Al	4.015	4.024	4.062	4.031	4.048	4.033	4.053	4.067	4.058	4.035
Ca	0.002	0.000	0.000	0.009	0.028	0.000	0.000	0.006	0.002	0.000
Na	0.301	0.264	0.297	3.819	3.819	0.282	0.280	0.274	0.224	0.308
K	3.782	3.813	3.759	0.025	0.025	3.780	3.762	3.812	3.812	3.730
Cations	20.064	20.061	20.055	19.892	19.906	20.052	20.042	20.081	20.040	20.034
Ab	7.4	6.5	7.3	99.1	98.6	6.9	6.9	6.7	5.5	7.6
An	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Or	92.6	93.5	92.7	0.6	0.6	93.1	93.1	93.2	94.4	92.4

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda límpida; crip, criptocristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, límpido; meg, megacristal; pfil, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 9 - Composição química de feldspatos de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostras	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0
Análise	93	93neo	94	94Ab	94An	95rel	96b	96n	98blim	98nalt
Descrição	g12-vn	g12-brecl	g13-brecl	g14-ntv	g14-recr	g14-recr	g15-ntv	g15-npert	g16-ntv	g16-nper
SiO ₂	68.42	64.03	64.04	66.95	67.90	67.78	64.08	68.12	63.98	68.69
Al ₂ O ₃	19.84	18.47	18.31	19.32	19.62	19.80	18.39	19.30	18.33	19.42
CaO	.12	.00	.00	.23	.24	.08	.00	.01	.01	.00
Na ₂ O	11.04	.78	.89	8.30	11.09	10.87	.89	11.18	.75	11.24
K ₂ O	.13	15.76	15.55	3.76	.13	.21	15.62	.05	15.76	.14
Total	99.55	99.04	98.79	98.56	98.98	98.74	98.98	98.66	98.83	99.49
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio										
Si	11.975	11.945	11.967	11.985	11.966	11.961	11.956	12.027	11.961	12.031
Al	4.089	4.058	4.030	4.073	4.072	4.115	4.041	4.013	4.036	4.006
Ca	0.023	0.000	0.000	0.044	0.045	0.015	0.000	0.002	0.002	0.000
Na	3.747	0.282	0.322	2.881	3.789	3.720	0.322	3.827	0.272	3.817
K	0.029	3.751	3.707	0.859	0.029	0.047	3.718	0.011	3.759	0.031
Cations	19.863	20.036	20.026	19.842	19.901	19.858	20.037	19.880	20.030	19.885
Ab	98.6	7.0	8.0	76.1	98.1	98.4	8.0	99.7	6.7	99.2
An	0.6	0.0	0.0	1.2	1.2	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0
Or	0.8	93.0	92.0	22.7	0.8	1.2	92.0	0.3	93.2	0.8

Amostras	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0	BIT3/85.0
Análise	99blim	99blim1	99nalt	107	110	50
Descrição	g17-gflp	g18-gflp	g19-npert	g20-tv	g21-agl	
SiO ₂	64.37	64.61	68.12	65.10	68.17	64.11
Al ₂ O ₃	18.17	18.11	19.11	18.43	19.44	18.28
CaO	.00	.00	.00	.00	.04	.00
Na ₂ O	.18	.26	11.22	1.09	11.19	.81
K ₂ O	16.84	16.78	.11	15.48	.10	15.74
Total	99.56	99.76	98.56	100.10	98.94	98.94
Fórmula estrutural calculada com base de 32 átomos de Oxigênio						
Si	11.991	12.007	12.045	11.992	12.008	11.971
Al	3.986	3.963	3.979	3.998	4.033	4.020
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000
Na	0.065	0.094	3.847	0.389	3.822	0.293
K	4.002	3.978	0.025	3.638	0.022	3.750
Cations	20.044	20.042	19.896	20.017	19.893	20.034
Ab	1.6	2.3	99.4	9.7	99.2	7.2
An	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
Or	98.4	97.7	0.6	90.3	0.6	92.8

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã nº perfuração/profundidade em metros; n, núcleo; b, borda; g1, grão nº 1; agl, aglomerado fino; blp, borda limpa; crp, microcristalino; gemf, grão fino geminado (albita); gf, grão fino; grd, geminação em grade; lp, limpo; meg, megacristal; pfl, perfil; pert, pertita; recr, recristalizado; rel, relicto; ser, sericitizado; tv, turvo; vn, venula.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8
Análise	31	32	32A	33	37	38	aglom39	40	43
Descrição	g1N	g2N	g2B	g3N	g4N	g5N	g6N	g7N	g8N
SiO ₂	53.26	52.55	52.29	53.45	51.75	53.31	52.95	52.49	52.94
TiO ₂	4.36	3.30	3.47	3.36	4.22	3.80	2.40	2.94	3.04
Al ₂ O ₃	.31	.09	.03	.09	.31	.12	1.90	.30	.14
Cr ₂ O ₃	.0	.0	.0	.0	.01	.0	.10	.0	.0
FeO	22.63	22.58	22.53	23.10	21.78	22.14	22.71	23.75	22.83
MnO	.07	.09	.07	.06	.12	.11	.04	.12	.10
MgO	2.45	3.37	3.30	3.02	2.82	3.20	2.77	2.72	3.25
CaO	1.30	2.0	2.0	1.67	1.65	1.81	2.11	2.17	1.98
Na ₂ O	12.69	12.58	12.69	12.31	12.31	12.64	10.87	12.28	12.75
K ₂ O	.0	.0	.0	.01	.01	.00	.11	.0	.0
Total	97.07	96.56	96.38	97.07	94.98	97.13	95.96	96.77	97.03
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	2.019	1.989	1.982	2.024	2.001	2.009	2.042	1.996	1.993
TAI	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.014	0.000	0.000	0.004	0.014	0.005	0.086	0.009	0.000
M1Ti	0.124	0.094	0.099	0.096	0.123	0.108	0.070	0.084	0.086
M1Fe ³⁺	0.633	0.000	0.000	0.661	0.662	0.685	0.505	0.732	0.000
M1Fe ²⁺	0.084	0.715	0.714	0.069	0.038	0.013	0.177	0.020	0.719
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
M1Mg	0.138	0.190	0.187	0.170	0.163	0.180	0.159	0.154	0.182
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.000	0.051	0.002	0.000
M2Mn	0.002	0.003	0.002	0.002	0.004	0.004	0.001	0.004	0.003
M2Ca	0.053	0.081	0.081	0.068	0.068	0.073	0.087	0.088	0.080
M2Na	0.933	0.923	0.933	0.904	0.923	0.924	0.813	0.905	0.931
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000
Σcátions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.995	4.000	4.000
Ca	19.006	8.202	8.253	21.784	24.686	27.121	18.339	32.837	8.114
Mg	49.838	19.229	18.948	54.812	58.703	66.714	33.498	57.269	18.532
Fe ²⁺ +Mn	31.157	72.569	72.799	23.404	16.611	6.165	48.163	9.894	73.353
WEF	12.962	34.876	34.537	14.680	13.045	12.731	22.627	12.943	34.587
JD	1.862	0.000	0.000	0.515	1.815	0.674	11.296	1.065	0.000
AE	85.177	0.923	0.933	84.805	85.141	86.596	66.077	85.991	0.931

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/26.8	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	101	104	105	93A	93B	93C	3	3a	5
Descrição	g9N	g10N	g10B	g1N	g1B	g1B	g1N	g1B	g2N
SiO ₂	53.32	52.53	52.79	53.29	53.34	54.96	54.34	52.87	51.56
TiO ₂	4.17	4.68	3.27	2.03	1.36	10.90	2.89	3.39	2.61
Al ₂ O ₃	.26	.25	.08	.17	1.51	.00	.18	.10	.34
Cr ₂ O ₃	.03	.04	.0	.0	.05	.04	.03	.01	.02
FeO	22.24	22.26	22.71	15.03	19.95	10.59	27.87	25.43	27.38
MnO	.10	.05	.11	.74	.58	1.20	.04	.06	.16
MgO	2.84	2.39	3.29	7.78	5.37	5.80	.33	1.24	.95
CaO	1.62	1.37	2.06	11.61	8.21	1.29	.28	.13	1.23
Na ₂ O	12.80	12.12	12.37	7.26	9.03	13.37	13.58	13.82	10.40
K ₂ O	.0	.0	.0	.00	.00	.0	.01	.01	.0
Total	97.38	95.69	96.68	97.91	99.40	98.15	99.55	97.06	94.65
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	2.007	2.029	2.001	2.005	1.982	2.017	2.027	2.001	2.065
TAI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.012	0.011	0.004	0.008	0.048	0.000	0.008	0.004	0.016
M1Ti	0.118	0.136	0.093	0.057	0.038	0.301	0.081	0.097	0.079
M1Fe ³⁺	0.671	0.565	0.717	0.398	0.543	0.315	0.758	0.000	0.504
M1Fe ²⁺	0.029	0.148	0.000	0.075	0.072	0.010	0.112	0.805	0.344
M1Cr	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
M1Mg	0.159	0.138	0.186	0.436	0.297	0.317	0.018	0.070	0.057
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.000	0.005	0.003	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.069
M2Mn	0.003	0.002	0.004	0.024	0.018	0.037	0.001	0.002	0.005
M2Ca	0.065	0.057	0.084	0.468	0.327	0.051	0.011	0.005	0.053
M2Na	0.934	0.908	0.909	0.530	0.650	0.951	0.982	1.014	0.808
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σ cátions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	25.454	16.220	30.323	46.653	45.460	12.221	7.842	0.598	9.989
Mg	62.088	39.371	67.382	43.499	41.372	76.451	12.860	7.932	10.735
Fe ²⁺ +Mn	12.457	44.409	2.295	9.848	13.168	11.329	79.298	91.471	79.276
WEF	12.078	16.145	13.174	48.640	35.590	17.907	6.772	30.307	24.649
JD	1.484	1.653	0.430	0.955	5.200	0.000	0.963	69.693	2.325
AE	86.438	82.202	86.395	50.406	59.210	82.093	92.265	0.000	73.026

Legenda: BIT2/26,8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50
Análise	5a	7	7a	Aglom60	aglom60a1	aglom60a2	aglom60b	aglom60b1	aglom60b2
Descrição	g2B	g3N	g3B	g4N	g5N	g5B	g6N	g7N	g8N
SiO ₂	52.95	53.98	51.31	52.61	52.64	52.57	58.94	54.19	53.19
TiO ₂	3.04	3.56	3.73	3.54	3.93	2.37	3.52	3.31	4.12
Al ₂ O ₃	.032	.08	.35	.14	.07	.35	.38	.31	.06
Cr ₂ O ₃	.02	.04	.03	.02	.0	.04	.0	.03	.01
FeO	26.21	26.90	24.63	25.93	24.39	26.88	23.55	26.29	24.17
MnO	.08	.07	.09	.07	.04	.02	.02	.05	.05
MgO	1.21	1.17	1.60	1.20	1.90	.75	1.31	1.27	1.92
CaO	.27	.14	.87	.16	.19	.36	.21	.47	.20
Na ₂ O	13.65	13.70	13.49	13.38	13.68	14.01	12.31	12.79	13.75
K ₂ O	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.00
Total	97.46	99.64	96.10	97.05	96.84	97.35	100.24	98.71	97.47
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	2.001	2.003	1.960	2.002	1.993	1.984	2.187	2.039	2.000
TAI	0.000	0.000	0.016	0.000	0.003	0.016	0.000	0.000	0.000
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.001	0.003	0.000	0.006	0.000	0.000	0.017	0.014	0.003
M1Ti	0.086	0.099	0.107	0.101	0.112	0.067	0.098	0.094	0.117
M1Fe ³⁺	0.823	0.776	0.000	0.773	0.000	0.000	0.298	0.653	0.000
M1Fe ²⁺	0.005	0.055	0.787	0.050	0.772	0.849	0.433	0.168	0.760
M1Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
M1Mg	0.068	0.065	0.091	0.068	0.107	0.042	0.072	0.071	0.108
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000
M2Mn	0.003	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
M2Ca	0.011	0.006	0.036	0.007	0.008	0.015	0.008	0.019	0.008
M2Na	1.000	0.986	0.999	0.987	1.004	1.025	0.886	0.933	1.003
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σcátions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	12.568	4.250	3.885	5.064	0.867	1.607	1.624	7.112	0.918
Mg	78.365	49.421	9.942	52.843	12.070	4.659	14.100	26.737	12.267
Fe ²⁺ +Mn	9.067	46.329	86.173	42.094	87.063	93.734	84.276	66.151	86.814
WEF	4.167	6.229	31.441	6.125	30.669	30.640	22.489	12.493	30.438
JD	0.166	0.420	0.000	0.756	0.000	69.360	4.087	1.804	69.562
AE	95.667	93.351	0.999	93.120	1.004	0.000	73.424	85.703	0.000

Legenda: BIT2/26,8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/8.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50
Análise	aglom60b3	aglom60bb	aglom60d	aglom60n	17	18	19	36	37incol
Descrição	g9N	g10N	g11N	g12N	g1N	g2N	g3N	g4N	g5N
SiO ₂	51.48	51.70	52.41	53.17	51.95	52.86	53.03	54.21	53.70
TiO ₂	3.03	3.93	3.00	3.77	.69	1.57	1.24	1.09	4.40
Al ₂ O ₃	.18	.06	.12	.18	.14	.36	.24	.77	.12
Cr ₂ O ₃	.03	.00	.02	.0	.00	.0	.0	.07	.01
FeO	25.16	23.56	26.74	26.04	19.69	19.81	20.20	19.93	23.40
MnO	.12	.13	.04	.06	1.01	.70	.75	.84	.07
MgO	1.58	2.17	.41	1.27	5.68	5.12	5.15	4.66	2.51
CaO	1.53	.64	.26	.16	9.28	7.76	7.89	6.85	.78
Na ₂ O	11.37	13.62	13.65	13.38	8.22	9.11	9.24	9.05	13.52
K ₂ O	.01	.0	.01	.0	.03	.0	.02	.00	.0
Total	94.49	95.81	96.66	98.03	96.69	97.29	97.76	97.47	98.51
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	2.035	1.972	2.004	2.005	1.992	2.009	2.004	2.061	1.997
TAI	0.000	0.003	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.008	0.000	0.005	0.008	0.000	0.016	0.011	0.034	0.002
M1Ti	0.090	0.113	0.086	0.107	0.020	0.045	0.035	0.031	0.123
M1Fe ³⁺	0.613	0.000	0.825	0.746	0.581	0.547	0.589	0.446	0.000
M1Fe ²⁺	0.195	0.752	0.030	0.068	0.048	0.083	0.050	0.188	0.728
M1Cr	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
M1Mg	0.093	0.123	0.023	0.071	0.325	0.290	0.290	0.264	0.139
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.024	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mn	0.004	0.004	0.001	0.002	0.033	0.023	0.024	0.027	0.002
M2Ca	0.065	0.026	0.011	0.006	0.381	0.316	0.319	0.279	0.031
M2Na	0.871	1.007	1.012	0.979	0.611	0.671	0.677	0.667	0.975
M2K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Σcátions	3.999	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	3.999	4.000	4.000
Ca	17.003	2.889	16.324	4.162	48.465	44.429	46.757	36.813	3.452
Mg	24.431	13.630	35.816	45.970	41.274	40.788	42.465	34.845	15.458
Fe ²⁺ +Mn	58.567	83.481	47.860	49.867	10.262	14.783	10.778	28.342	81.089
WEF	17.942	31.003	3.123	7.354	39.157	34.627	33.535	36.227	31.586
JD	1.107	0.000	0.630	0.983	0.000	1.870	1.184	4.577	68.414
AE	80.950	1.007	96.247	91.664	60.843	63.502	65.281	59.196	0.000

Legenda: BIT2/26,8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50
Análise	38	41	41b	41b1	41n	41n1	42b	42b1	42n1
Descrição	g6N	g7N	g7B	g7B	g7N	g7N	g8B	g8B	g8N
SiO ₂	52.85	54.68	53.25	53.16	55.02	53.30	54.81	53.54	53.78
TiO ₂	1.43	.99	1.11	1.24	.90	.90	1.39	1.49	1.48
Al ₂ O ₃	.23	.14	.23	.19	.05	.13	.31	.25	.38
Cr ₂ O ₃	.0	.03	.00	.00	.00	.00	.0	.0	.00
FeO	19.94	19.31	18.89	19.13	18.73	18.22	19.64	19.47	18.70
MnO	.90	1.23	1.11	.95	1.31	1.26	.71	.75	.75
MgO	5.40	5.99	5.77	5.73	6.52	6.38	5.89	5.36	5.87
CaO	9.63	9.90	9.27	8.87	10.76	10.47	8.95	8.04	8.61
Na ₂ O	8.81	8.38	8.41	8.67	7.90	7.82	9.12	9.19	8.94
K ₂ O	.00	.01	.0	.01	.00	.00	.0	.00	.00
Total	99.19	100.66	98.04	97.95	101.19	98.48	100.82	98.09	98.51
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	1.974	2.014	2.011	2.006	2.017	2.005	2.006	2.015	2.012
TAI	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe ³⁺	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.000	0.006	0.010	0.008	0.002	0.006	0.013	0.011	0.017
M1Ti	0.040	0.027	0.032	0.035	0.025	0.025	0.038	0.042	0.042
M1Fe ³⁺	0.584	0.509	0.521	0.544	0.475	0.503	0.546	0.546	0.525
M1Fe ²⁺	0.024	0.086	0.075	0.060	0.099	0.070	0.056	0.067	0.060
M1Cr	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.301	0.329	0.325	0.322	0.356	0.358	0.321	0.301	0.327
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mn	0.028	0.038	0.036	0.030	0.041	0.040	0.022	0.024	0.024
M2Ca	0.385	0.391	0.375	0.359	0.423	0.422	0.351	0.324	0.345
M2Na	0.638	0.598	0.616	0.634	0.562	0.570	0.647	0.671	0.648
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σcátions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	52.213	46.315	46.257	46.482	46.002	47.430	46.802	45.284	45.612
Mg	40.737	38.991	40.061	41.780	38.785	40.214	42.855	42.005	43.267
Fe ²⁺ +Mn	7.050	14.693	13.682	11.737	15.213	12.356	10.343	12.710	11.121
WEF	36.644	41.339	39.699	37.814	44.995	43.817	36.682	34.801	36.843
JD	0.000	0.691	1.161	0.951	0.249	0.635	1.514	1.297	1.953
AE	63.356	57.969	59.140	61.234	54.757	55.548	61.805	63.902	61.204

Legenda: BIT2/26,8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/9.50
Análise	43	44b	44	45A	45	45B	45B1	70	71
Descrição	g9B	g10B	g10N	g12N	g11N	g11B	g11B	g12N	g13N
SiO ₂	53.16	53.15	53.71	53.15	53.33	53.34	53.11	53.11	53.32
TiO ₂	.77	2.52	1.52	1.25	1.45	1.41	.96	.86	1.12
Al ₂ O ₃	.19	.00	.43	.18	.40	.34	.28	.23	.65
Cr ₂ O ₃	.01	.03	.02	.00	.00	.01	.00	.00	.02
FeO	18.98	25.32	18.49	19.02	19.81	19.95	20.37	22.07	22.09
MnO	1.04	.07	.83	1.23	.75	.84	.84	.94	.58
MgO	5.94	1.63	5.94	5.68	5.08	4.94	4.98	4.21	4.19
CaO	10.67	.32	8.83	9.15	7.70	7.65	9.18	7.43	6.58
Na ₂ O	7.62	13.24	8.68	8.48	9.46	9.26	8.44	9.44	9.61
K ₂ O	.0	.00	.0	.00	.01	.00	.00	.00	.00
Total	98.38	96.28	98.45	98.14	97.99	97.74	98.16	98.29	98.16
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	2.010	2.030	2.014	2.006	2.007	2.018	2.013	2.008	2.015
TAI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.008	0.000	0.019	0.008	0.018	0.015	0.012	0.010	0.029
M1Ti	0.022	0.072	0.043	0.035	0.041	0.040	0.027	0.024	0.032
M1Fe ³⁺	0.486	0.775	0.498	0.529	0.576	0.547	0.527	0.618	0.581
M1Fe ²⁺	0.114	0.033	0.082	0.071	0.047	0.084	0.119	0.080	0.118
M1Cr	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
M1Mg	0.335	0.093	0.332	0.320	0.285	0.279	0.281	0.237	0.236
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mn	0.033	0.002	0.026	0.039	0.024	0.027	0.027	0.030	0.019
M2Ca	0.432	0.013	0.355	0.370	0.311	0.310	0.373	0.301	0.266
M2Na	0.559	0.980	0.631	0.621	0.690	0.679	0.620	0.692	0.704
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σcátions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	47.261	9.265	44.639	46.232	46.582	44.326	46.609	46.420	41.723
Mg	36.608	65.664	41.782	39.932	42.761	39.826	35.181	36.597	36.967
Fe ²⁺ +Mn	16.131	25.071	13.579	13.837	10.657	15.848	18.210	16.982	21.310
WEF	45.012	6.723	38.636	39.203	32.558	33.990	39.200	31.901	31.196
JD	0.941	0.000	2.253	0.906	2.013	1.778	1.409	1.110	3.265
AE	54.047	93.277	59.111	59.891	65.429	64.232	59.391	66.989	65.539

Legenda: BIT2/26,8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 10 - Composição química de piroxênios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/9.50	BIT2/9.50	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5	BIT2/95.5
Análise	fibroincol	fibro	41	71	74	76	78	79 fibro	80 fibro
Descrição	g14N	g15N	g1N	g2N	g3N		g4N	g5N	g6N
SiO ₂	53.33	53.43	54.32	55.77	57.09	60.33	54.26	52.99	54.19
TiO ₂	1.91	4.19	6.63	2.15	3.03	4.18	5.34	1.96	4.31
Al ₂ O ₃	.26	.19	.05	.78	.24	.53	.19	.30	.22
Cr ₂ O ₃	.00	.00	.01	.08	.00	.06	.00	.00	.00
FeO	20.14	20.32	18.13	19.06	18.99	16.41	19.18	19.75	18.87
MnO	.44	.33	.31	.32	.65	.39	.51	1.18	.73
MgO	5.24	3.87	4.03	4.53	3.29	3.61	4.05	4.41	4.23
CaO	7.00	3.37	.99	5.54	3.71	2.77	2.32	5.81	3.25
Na ₂ O	9.82	11.39	13.41	10.15	9.26	11.18	12.30	9.56	11.11
K ₂ O	.00	.00	.00	.01	.02	.00	.00	.01	.00
Total	98.14	97.09	97.88	98.39	96.28	99.46	98.15	95.97	96.91
Fórmula estrutural calculada com base de 6 átomos de oxigênio									
TSi	2.000	2.025	2.014	2.086	2.218	2.230	2.022	2.044	2.056
TAI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.011	0.008	0.002	0.034	0.011	0.023	0.008	0.014	0.010
M1Ti	0.054	0.119	0.185	0.060	0.089	0.116	0.150	0.057	0.123
M1Fe ³⁺	0.594	0.540	0.000	0.408	0.074	0.084	0.537	0.500	0.449
M1Fe ²⁺	0.038	0.104	0.562	0.189	0.543	0.423	0.060	0.138	0.150
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.293	0.219	0.223	0.253	0.191	0.199	0.225	0.254	0.239
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mn	0.014	0.011	0.010	0.010	0.021	0.012	0.016	0.039	0.023
M2Ca	0.281	0.137	0.039	0.222	0.154	0.110	0.093	0.240	0.132
M2Na	0.714	0.837	0.964	0.736	0.698	0.801	0.889	0.715	0.817
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Σcátions	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	44.949	29.091	4.716	32.971	16.981	14.751	23.499	35.846	24.269
Mg	46.817	46.483	26.709	37.512	20.952	26.748	57.079	37.857	43.950
Fe ²⁺ +Mn	8.234	24.426	68.575	29.517	62.067	58.501	19.422	26.297	31.780
WEF	30.466	21.936	30.193	31.383	39.462	31.697	18.151	31.899	24.982
JD	1.318	1.208	69.807	5.334	7.829	14.661	1.251	1.809	1.606
AE	68.216	76.857	0.000	63.283	52.709	53.642	80.599	66.292	73.411

Legenda: BIT2/26.8, Barra de Itapirapuã perfuração nº 2/ profundidade 26,8m; aglom, aglomerado; fibro, fibroso; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda; incol, incolor.

Tabela 11 - Composição química de anfibólios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuá

Amostra	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7
Análise	21	22	37	73	73	74	74	75	75escuro	75A	75Aclaro	76
Descrição	g1N	g2N	g3N	g4B	g4N	g5B	g5N	g6N	g6B	g6N	g6N	g7B
SiO ₂	45.73	44.99	44.55	45.35	44.06	44.22	45.17	43.99	44.21	44.57	45.18	43.29
TiO ₂	1.09	.94	1.15	.53	1.05	.74	1.09	.84	.79	.91	.88	.74
Al ₂ O ₃	8.23	8.65	8.80	7.61	8.55	6.43	8.79	8.95	8.53	8.69	8.28	8.22
Cr ₂ O ₃	.04	.10	.04	.05	.11	.08	.02	.09	.09	.09	.02	.10
FeO	15.59	16.44	16.11	15.63	16.15	17.80	16.51	16.96	16.61	16.63	16.14	16.34
MnO	.34	.35	.31	.34	.32	.25	.36	.33	.34	.33	.30	.30
MgO	12.40	12.04	12.05	12.64	11.29	11.28	11.83	11.85	11.72	11.90	12.04	11.39
CaO	11.71	11.64	11.55	11.66	11.14	11.08	11.67	11.68	11.75	11.71	11.70	11.93
Na ₂ O	1.41	1.73	2.17	2.08	1.59	2.68	1.55	1.46	1.37	1.51	2.33	1.91
K ₂ O	1.04	1.12	1.15	.89	1.09	.88	1.14	1.13	1.13	1.15	1.09	1.08
Total	97.58	98.00	97.88	96.78	95.35	95.44	98.13	97.28	96.54	97.49	97.96	95.30
Fórmula Estrutural calculada na base de 23 átomos de oxigênio												
TSi	6.749	6.650	6.618	6.780	6.690	6.817	6.665	6.546	6.639	6.623	6.727	6.660
TAI	1.251	1.350	1.382	1.220	1.310	1.167	1.335	1.454	1.361	1.377	1.273	1.340
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣT	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.179	0.155	0.158	0.120	0.219	0.000	0.192	0.114	0.147	0.144	0.179	0.149
CCr	0.005	0.012	0.005	0.006	0.013	0.010	0.002	0.011	0.011	0.011	0.002	0.012
CFe ³⁺	0.522	0.581	0.443	0.467	0.533	0.367	0.551	0.781	0.628	0.638	0.282	0.294
CTi	0.121	0.105	0.129	0.060	0.120	0.086	0.121	0.094	0.089	0.102	0.099	0.086
CMg	2.728	2.653	2.669	2.817	2.556	2.592	2.602	2.629	2.624	2.636	2.673	2.612
CFe ²⁺	1.402	1.451	1.559	1.488	1.517	1.912	1.487	1.330	1.457	1.429	1.728	1.808
CMn	0.043	0.044	0.039	0.043	0.041	0.033	0.045	0.042	0.043	0.042	0.038	0.039
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣC	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	1.852	1.843	1.838	1.868	1.812	1.830	1.845	1.862	1.890	1.864	1.867	1.966
BNa	0.148	0.157	0.162	0.132	0.188	0.170	0.155	0.138	0.110	0.136	0.133	0.034
ΣB	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.255	0.339	0.463	0.471	0.281	0.631	0.288	0.283	0.289	0.299	0.539	0.536
AK	0.196	0.211	0.218	0.170	0.211	0.173	0.215	0.215	0.216	0.218	0.207	0.212

Legenda: BIT2/62,7, Barra de Itapirapuá perfuração nº 2/ profundidade 62,7m; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 2 borda; rel, relicto.

Tabela 11 - Composição química de anfibólios de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapua

Amostra	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7
Análise	76	93rel	93rel	101	101	103	103	103	110	114	116	116
Descrição	g7N	g8B	g8N	g9B	g9N	g10B	g10N	g10BN	g11N	g12N	g13B	g13N
SiO ₂	45.09	44.57	45.10	44.53	45.22	44.71	44.28	44.58	44.37	44.65	44.55	44.87
TiO ₂	1.00	1.04	.94	.88	.83	.89	1.02	.99	1.11	1.07	.82	1.10
Al ₂ O ₃	8.77	8.97	8.76	8.26	8.38	8.97	8.95	8.91	8.50	8.95	9.14	8.69
Cr ₂ O ₃	.10	.24	.21	.11	.11	.06	.07	.08	.14	.06	.07	.02
FeO	16.53	16.61	16.40	16.22	16.08	16.54	16.53	16.44	16.27	16.46	16.55	16.17
MnO	.33	.33	.33	.33	.28	.35	.35	.34	.35	.36	.33	.33
MgO	11.87	11.86	12.04	12.32	12.50	12.15	11.63	11.86	12.22	12.11	11.88	12.11
CaO	11.72	11.66	11.72	11.70	11.87	11.59	11.64	11.58	11.59	11.60	11.65	11.70
Na ₂ O	1.66	1.66	1.55	1.76	1.68	1.63	1.67	1.58	1.98	1.66	1.46	1.65
K ₂ O	1.16	1.16	1.09	1.06	.98	1.17	1.20	1.18	1.14	1.18	1.15	1.12
Total	98.23	98.10	98.14	97.17	97.93	98.06	97.34	97.54	97.67	98.10	97.60	97.76
Fórmula Estrutural calculada na base de 23 átomos de oxigênio												
TSi	6.657	6.587	6.645	6.637	6.671	6.588	6.609	6.616	6.596	6.584	6.595	6.643
TAI	1.343	1.413	1.355	1.363	1.329	1.412	1.391	1.384	1.404	1.416	1.405	1.357
TFe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣT	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.182	0.149	0.165	0.087	0.127	0.144	0.182	0.173	0.084	0.138	0.188	0.159
CCr	0.012	0.028	0.024	0.013	0.013	0.007	0.008	0.009	0.016	0.007	0.008	0.002
CFe ³⁺	0.525	0.617	0.609	0.618	0.587	0.719	0.537	0.620	0.576	0.673	0.694	0.553
CTi	0.111	0.116	0.104	0.099	0.092	0.099	0.115	0.111	0.124	0.119	0.091	0.123
CMg	2.613	2.613	2.645	2.738	2.749	2.669	2.588	2.624	2.708	2.662	2.622	2.673
CFe ²⁺	1.516	1.436	1.411	1.404	1.397	1.319	1.526	1.420	1.447	1.357	1.355	1.449
CMn	0.041	0.041	0.041	0.042	0.035	0.044	0.044	0.043	0.044	0.045	0.041	0.041
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣC	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	1.854	1.846	1.850	1.868	1.876	1.830	1.861	1.841	1.846	1.833	1.848	1.856
BNa	0.146	0.154	0.150	0.132	0.124	0.170	0.139	0.159	0.154	0.167	0.152	0.144
ΣB	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.329	0.322	0.293	0.377	0.357	0.295	0.345	0.296	0.417	0.307	0.267	0.330
AK	0.218	0.219	0.205	0.202	0.184	0.220	0.228	0.223	0.216	0.222	0.217	0.212

Legenda: BIT2/62.7, Barra de Itapirapua perfuração nº 2/ profundidade 62,7m; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 2 borda; rel, relicto.

Tabela 12 - Composição química de biotitas de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7	BIT2/62.7
Análise	36	47	103	103	103	105	105	112	112	113
Descrição	g1N	g2N	g3B	g3B	g3N	g4N	g4B	g5N	g5B	g6N
SiO ₂	37.63	38.13	37.52	37.45	37.19	36.76	37.50	37.82	38.02	37.99
TiO ₂	2.13	2.24	1.99	1.96	1.86	2.08	1.93	1.81	1.76	1.78
Al ₂ O ₃	14.72	14.63	14.84	14.80	14.71	14.25	14.97	14.63	14.99	14.90
Cr ₂ O ₃	.08	.08	.13	.10	.09	.11	.05	.14	.19	.12
FeO	14.72	16.37	16.56	16.50	16.36	16.60	16.35	15.73	15.83	15.68
MnO	.30	.22	.23	.21	.22	.25	.27	.23	.21	.27
MgO	14.29	14.10	14.10	14.20	14.15	14.17	14.25	14.53	14.52	14.79
CaO	.08	.00	.01	.03	.01	.0	.02	.02	.00	.00
Na ₂ O	.14	.17	.12	.20	.18	.16	.22	.18	.13	.14
K ₂ O	9.19	9.99	10.00	10.05	9.95	9.60	9.75	9.64	9.81	9.99
Total	93.28	95.93	95.50	95.50	94.72	93.98	95.31	94.73	95.46	95.66
Fórmula estrutural calculada na base anidra de 22 átomos de oxigênio										
Si	5.728	5.705	5.654	5.646	5.651	5.637	5.649	5.709	5.695	5.684
Al ^{IV}	2.272	2.295	2.346	2.354	2.349	2.363	2.351	2.291	2.305	2.316
Al ^{VI}	0.367	0.283	0.287	0.274	0.283	0.210	0.305	0.310	0.339	0.309
Ti	0.244	0.252	0.226	0.222	0.213	0.240	0.219	0.205	0.198	0.200
Fe ⁺⁺ total	1.874	2.048	2.087	2.080	2.079	2.129	2.060	1.986	1.983	1.962
Cr	0.010	0.009	0.015	0.012	0.011	0.013	0.006	0.017	0.022	0.014
Mn	0.039	0.028	0.029	0.027	0.028	0.032	0.034	0.029	0.027	0.034
Mg	3.243	3.145	3.167	3.192	3.205	3.239	3.200	3.269	3.243	3.299
Ca	0.013	0.000	0.002	0.005	0.002	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000
Na	0.041	0.049	0.035	0.058	0.053	0.048	0.064	0.053	0.038	0.041
K	1.785	1.907	1.922	1.933	1.929	1.878	1.874	1.856	1.875	1.907
Fe/Fe+Mg	0.37	0.39	0.40	0.39	0.39	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37
Mg/Fe+Mg	0.63	0.61	0.60	0.61	0.61	0.60	0.61	0.62	0.62	0.63

Legenda: BIT2/62,7, Barra de Itapirapuã nº da perfuração/profundidade em metro; g1N, grão nº 1 núcleo; g1B, grão nº 1 borda.

Tabela 13 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de calclocarbonatitos e de ferrocarbonatito (am. dd/77) de Mato Preto.

Amostra	dd/119.3	dd/62.2	dd/77.0	dd/84.0	MPex/22	MPex/27d	MPex/28c	MPex/29b	MPex/30b
SiO ₂	0.30	2.28	0.52	0.23	4.12	2.65	0.17	1.08	0.42
TiO ₂	0.00	0.11	0.11	0.01	0.02	0.04	0.0	0.0	0.05
Al ₂ O ₃	0.23	0.59	0.21	0.14	0.02	0.14	0.02	0.01	0.05
FeO	1.81	10.01	2.23	0.92	0.29	1.27	1.65	0.58	0.92
MnO	0.19	0.73	0.22	0.19	0.07	0.22	0.25	0.24	0.19
MgO	0.99	6.12	1.32	0.33	0.05	0.69	0.51	0.10	0.18
CaO	54.35	39.21	53.13	54.83	54.13	53.81	54.82	55.02	55.21
Na ₂ O	0.03	0.10	0.03	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04	0.04
K ₂ O	0.10	0.58	0.09	0.07	0.01	0.07	0.03	0.01	0.05
P ₂ O ₅	0.52	0.28	0.51	0.17	0.17	0.61	0.22	0.16	0.26
LOI	41.27	38.89	41.45	43.24	41.13	40.32	42.09	42.85	42.53
Total	99.79	98.90	99.82	100.14	100.02	99.85	99.80	100.09	99.90
cc	91	43.8	89	95	99	94	93	97	96
dol	5	31.4	6	2	0	3	3	1	1
ank	4	24.8	5	3	1	3	4	2	3
Rb	2.91	1.59	6.78	4.33	2.33	4.20	3.33	1.58	2.13
Ba	175	8378	1133.8	3798	347	2444	2316	577.1	912
Th	44.75	811.2	81.5	19.96	85.6	11.08	20.45	6.16	12.07
U	3.29	71.0	5.0	3.03	8.12	1.56	3.63	4.45	8.78
K	821.9	4781.9	772.1	564.5	33.2	606.0	282.3	74.7	448.3
Ta	9.41	11.83	0.8	18.7	1.80	0.41	0.43	2.87	6.94
Nb	251	315.2	22.9	384.0	29.2	7.00	6.91	15.8	64.58
Sr	8735	3693	8758	2134	1752	5238	4444	3693	2163
P	2286.7	1200.1	2212.5	728.8	724.4	2648.9	946.9	693.9	1125.9
Hf	2.79	2.45	0.23	7.67	3.82	0.27	0.85	0.31	0.18
Zr	45.9	122.9	22.9	123.0	38.7	2.89	8.6	8.42	7.74
Ti	12.0	629.5	635.5	36.0	113.9	263.8	18.0	4.2	270
Y	74.3	96.4	191.8	121.0	228.5	50.1	69.6	64.9	57.6
La	198.1	852	240.5	164.6	171	295.6	302.1	350.4	364.4
Ce	377	1577	716.9	461.4	499.4	637.5	400	444.4	793.9
Nd	155.8	350.1	461.3	340.8	272.1	260.1	227.8	163.8	233.2
Sm	25.8	52.31	91.35	73.37	36.79	19.91	26.35	22.15	19.44
Eu	8.23	17	22.20	22.63	12.62	5.72	7.1	6.16	5.69
Tb	3.74	6.91	8.27	12.01	7.35	2.52	3.36	3.93	3.73
Dy	17.27	30.15	39.92	67.28	41.04	11.21	12.3	12.55	22.08
Ho	2.81	2.76	6.70	12.33	8.18	2.03	1.98	2.83	3.24
Er	7.31	10.36	16.04	24.85	21.04	6.42	7.17	8.08	12.64
Tm	1.07	1.73	2.57	2.83	2.80	1.22	1.22	1.32	1.38
Yb	4.78	6.69	8.49	10.22	15.25	5.02	5.92	7.55	9.12
Lu	0.42	1.80	2.20	1.53	1.91	0.92	0.76	1.07	1.18
ΣETR	802.33	2908.81	1616.44	1193.85	1089.48	1248.17	996.06	1024.24	1470.00
δ ¹⁸ O _{cc}	12.49	10.68	11.32	12.64	8.26	10.07	12.06	13.19	9.77
δ ¹⁸ O _{dol}	13.31	11.88	13.00	-	-	-	-	-	-
δ ¹³ C _{cc}	-0.81	-3.45	-1.91	-0.41	-6.25	-4.52	-1.36	-2.41	-5.77
δ ¹³ C _{dol}	-0.45	-2.74	-1.30	-	-	-	-	-	-

Legenda: dd, amostras de testemunho de sondagem; MPex, amostras de superfície; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; * Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 14 - Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de calciocarbonatitos, com venulações tardias, de Mato Preto.

Amostra	dd/70.0	dd/93.1	MPex/10	MPex/12	MPex/21	MPex/25a
SiO ₂	1,91	0,71	3,22	0,72	1,05	1,03
TiO ₂	0,02	-	0,06	0,01	0,06	-
Al ₂ O ₃	0,21	0,19	0,81	0,12	0,62	0,02
FeO	1,73	1,02	4,56	1,66	4,9	0,43
MnO	0,21	0,22	0,39	0,17	0,35	0,07
MgO	0,51	0,38	1,49	0,07	3,63	0,07
CaO	55,01	54,37	49,74	55,09	47,39	55,7
Na ₂ O	0,01	0,01	0,06	0,02	0,03	0,01
K ₂ O	0,312	0,348	1,09	0,03	0,28	-
P ₂ O ₅	0,162	0,144	1,67	0,47	0,72	0,22
LOI	39,71	42,69	36,4	41,45	40,42	42,44
Total	99,79	100,08	99,49	99,81	99,45	99,99
cc	95	95	90	100	72	-
dol	2,5	2	8	-	19	-
ank	2,5	3	2	-	9	-
Rb	10,21	0,7434	189,4	2,44	2,57	0,75
Ba	449,1	909	2226	2587	885	1129
Th	146,6	58	1178	406,1	264,4	228,2
U	30,2	7,26	122,3	27,6	15,8	31,3
K	2590,2	2889,1	9057,4	240,8	2291,3	16,6
Ta	6,3	5,64	1,44	1,36	1,75	2,02
Nb	95,15	116	25,1	12,95	29,15	13,02
Sr	1053,2	9095	4652	2186	1972	1015
P	706,9	628,4	7266,1	2068,5	3129	968,8
Hf	3,66	1,39	4,91	5,35	4,06	0,3
Zr	182,8	39,5	178	193,9	24,38	10,3
Ti	143,9	24	365,7	65,9	329,7	24
Y	225,2	164	673	267	153,4	133,2
La	3686	705,4	1112	509,4	931	782,6
Ce	6510	1753	1808	922,6	1667	676,6
Nd	883,7	785,4	948,1	457	449,6	570,1
Sm	174,3	201,15	79,04	71,64	60,04	47,5
Eu	56,79	34,82	34,99	29,54	16,01	15,12
Tb	23,12	14,31	14,44	12,33	10,98	8,26
Dy	85,85	41,23	90,03	52,05	35	49,89
Ho	9,7	7,73	18,23	10,62	5,93	8,39
Er	26,49	20,28	46,97	25,12	23,21	22,02
Tm	3,8	2,81	6,92	4	3,6	2,45
Yb	22,62	16,03	34,09	31,39	12,45	12,25
Lu	3,34	2,15	5,71	4,56	2,42	1,89
ΣETR	11485,71	3584,31	4198,52	2130,25	3217,24	2197,07
δ ¹⁸ Occ	18,9	12,64	10,19	13,26	14,61	13,11
δ ¹⁸ Odol	-	-	12,6	-	15,91	-
δ ¹³ Ccc	-0,7	-0,63	-5,84	-1,66	0,38	-0,56
δ ¹³ Cdol	-	-	-4,98	-	0,95	-

Legenda: dd, amostras de testemunho de sondagem; MPex, amostras de superfície; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; * Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 15 – Composição química (óxidos, % em peso) de fenitos e rochas graníticas fenitizadas de Mato Preto.

Amostra	dd/100.6	dd/107.4	dd/50.0	dd/60.0	MPex-5	MPex-6
SiO ₂	47.8	47.56	35.98	15.03	70.81	69.76
TiO ₂	0.95	0.41	1.49	2.32	0.46	0.77
Al ₂ O ₃	13.6	11.25	10.74	8.93	14.96	14.60
Fe ₂ O ₃	2.87	4.44	3.82	17.7	2.27	3.37
FeO	2.54	1.75	3.93	0.63	0.20	0.14
MnO	0.25	0.16	0.25	0.25	0.06	0.12
MgO	0.43	1.66	7.59	2.48	0.33	0.38
CaO	14.7	12.9	12.9	28.5	0.77	0.42
Na ₂ O	1.82	0.28	0.28	0.05	4.51	5.16
K ₂ O	8.0	8.82	7.87	1.88	4.80	4.17
P ₂ O ₅	0.66	0.78	0.39	1.93	0.15	0.22
LOI	6.01	9.83	14.38	20.3	0.65	0.87
Total	99.63	99.84	99.62	100.00	99.97	99.98

Legenda: dd, amostra de testemunho de sondagem; MPex, amostra de superfície; LOI, perda ao fogo.

Tabela 16 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de carbonatitos de granulação fina da Barra de Itapirapuã: calciocarbonatitos (ams. BIT3/35,7 e 44,7); magnesiocarbonatitos (ams. BIT5/87,3 e 90,4; BIT6/20,0 e 30,0); ferrocarbonatito (am. BIT5/172,0).

Amostra	BIT3/35.7	BIT3/44.7	BIT5/172.3	BIT5/87.3	BIT5/90.4	BIT6/20.0	BIT6/30.0
SiO ₂	5.21	20.72	6.67	4.99	12.76	.66	0.29
TiO ₂	0.15	0.41	0.01	0.44	0.49	.00	0.01
Al ₂ O ₃	1.69	5.91	1.83	0.91	1.20	.01	0.2
FeO	1.36	3.35	12.28	5.49	5.80	5.01	6.10
MnO	0.08	0.08	1.19	0.35	0.30	0.81	0.90
MgO	2.64	6.14	10.51	14.49	14.82	17.46	18.12
CaO	51.56	41.04	27.23	31.54	27.64	31.20	30.04
Na ₂ O	0.42	1.29	0.06	0.05	0.03	0.06	0.05
K ₂ O	1.03	1.13	1.48	0.01	0.01	0.02	0.02
P ₂ O ₅	0.15	0.18	0.10	3.51	2.11	0.47	0.16
LOI	35.56	19.37	37.26	37.62	34.19	43.72	43.63
Total	99.85	99.62	98.62	99.40	99.35	99.42	99.52
cc	83.9	62.3	5.2	7.2	3.30	4.4	0.1
dol	13.1	33.9	56.8	80.2	85.7	82.9	84.5
ank	2.9	3.8	38.0	12.6	11.0	12.7	15.4
Rb	83.5	106.5	47.2	2.93	2.96	1.22	9.10
Ba	145.7	270.8	456	1446	1828	454.0	391.2
Th	7.94	7.38	1141	91.0	185.4	213.8	51.16
K	8551.0	9397.8	12279	49.8	99.6	132.8	32.8
U	1.21	2.47	30.3	49.94	19.9	7.70	-
Ta	0.66	1.15	41.5	1.06	1.92	1.93	-
Nb	4.26	14.9	720.9	21.9	38.1	17.80	-
Sr	782	908	2052	8213	3016	3199	164.3
P	658.9	781.2	423.3	15309	9203.7	2046.7	702.6
Hf	0.88	1.48	0.26	1.95	3.12	0.17	-
Zr	10.4	38.3	7.00	18.0	27.5	6.24	1.28
Ti	917.2	2476	65.9	2649.8	2913.6	6.0	29.9
Y	45.6	25.8	4.28	218.2	291.8	131.7	0.40
La	35.44	30.8	294.2	904	633	146.3	65.85
Ce	47.71	46.5	456.7	1023	935	256	126.40
Nd	29.74	27.9	166.9	394.3	383.4	91.7	31.46
Sm	6.36	6.68	16.67	58.37	58.74	12.56	5.63
Eu	1.41	1.41	3.79	15.80	22.46	4.32	1.65
Tb	1.39	1.17	4.33	14.57	14.10	3.59	0.95
Dy	6.8	4.82	16.42	39.32	72.67	18.66	7.92
Ho	1.9	1.04	3.71	7.80	11.23	4.00	1.61
Er	4.04	2.51	5.27	27.77	39.20	17.84	4.20
Tm	0.77	0.51	0.80	6.05	6.50	3.38	0.63
Yb	4.46	2.62	3.98	35.63	33.85	19.12	3.17
Lu	0.7	0.61	0.68	6.79	5.63	2.80	0.55
ΣETR	140.72	126.57	973.45	2533.40	2215.78	580.27	250.02
δ ¹⁸ O _{cc}	12.64	16.08	8.33	12.55	-	-	-
δ ¹⁸ O _{dol}	15.55	17.53	9.09	13.26	14.13	9.13	8.76
δ ¹³ C _{cc}	-0.89	-1.30	-6.60	0.81	-	-	-
δ ¹³ C _{dol}	-0.30	-0.73	-6.03	1.42	1.38	-5.76	-6.22

Legenda: BIT3/35,7, Barra de Itapirapuã perfuração nº3/profundidade 35,7m; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras;

*Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 17 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de magnesio-carbonatitos de granulção grossa, sem venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT1/100.7	BIT1/128.7	BIT1/188.6	BIT1/66.5	BIT1/87.4	BIT2/110.5	BIT2/72.4	BIT3/72.2	BIT5/256.0
SiO ₂	0.47	1.45	0.27	0.76	0.40	0.71	0.71	0.52	0.96
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	.02	.07	0.02	0.04	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01
FeO	5.57	5.68	6.93	6.64	9.43	8.57	5.97	6.15	9.50
MnO	0.84	0.88	1.21	0.92	0.90	1.12	0.94	1.13	1.12
MgO	18.21	18.34	16.51	17.22	14.92	16.02	17.49	17.53	14.27
CaO	29.71	29.11	30.34	30.20	29.47	30.20	29.77	29.54	31.80
Na ₂ O	0.13	0.09	0.09	0.12	0.07	0.03	0.06	0.04	0.08
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
P ₂ O ₅	0.12	1.01	0.31	0.21	0.11	0.01	0.11	0.19	1.40
LOI	44.29	42.73	43.52	43.13	43.62	42.28	44.25	44.18	39.76
Total	99.37	99.38	99.21	99.27	98.95	98.96	99.34	99.29	98.93
cc	0.1	0.0	2.9	2.3	1.7	3.2	0.8	0.00	7.6
dol	85.8	85.5	79.0	81.8	71.9	76.2	82.8	82.6	71.3
ank	14.1	14.5	18.1	15.9	26.4	20.6	16.4	17.4	21.1
Rb	14.25	12.2	13.48	2.57	8.52	1.35	2.31	8.63	1.76
Ba	407.2	691.3	1251	619.6	223.1	314.3	525.8	457.7	280.5
Th	160	67.2	234.2	92.53	139.5	11.8	81.40	40.51	93.8
K	99	107	108	141.1	99.6	49.8	913.2	74.7	141.1
U	106	2.0	23.0	0.26	16.0	0.20	0.29	4.20	3.10
Ta	16.0	1.65	8.02	0.42	2.90	0.23	0.26	0.09	17.98
Nb	404	21.4	139.4	13.50	35.5	3.51	9.0	1.51	219.6
Sr	1624	2443	2029	5183	1891	3348	4924	1862	308.9
P	502	4390	1344	916.4	458	39.3	458.2	824.8	6109.6
Hf	0.58	0.56	0.33	0.43	0.32	0.31	0.35	0.59	71.3
Zr	15.1	16.7	10.9	6.4	5.37	12.8	3.4	6.7	3172
Ti	6.0	30.0	12.0	54.0	54.0	6.0	6.0	1.2	83.9
Y	26.8	25.6	18.5	58.7	21.2	7.8	19.8	12.02	204.9
La	106.6	385.6	853	164.4	104.0	51.5	243.5	323.2	193.5
Ce	174.3	505.9	971	272.9	173.0	84.8	296.5	312.5	396.7
Nd	67.3	153.6	444	117.3	70.7	26.5	102.1	95.3	184.4
Sm	10.11	11.67	33.89	20.96	9.20	4.09	15.72	6.12	33.15
Eu	2.82	3.10	7.84	7.25	2.56	1.33	4.42	0.95	11.35
Tb	1.37	1.82	3.76	4.96	1.32	0.65	2.90	1.76	6.76
Dy	5.70	7.55	8.05	16.29	6.07	2.14	7.25	3.80	38.31
Ho	0.84	0.91	0.82	2.37	0.86	0.35	0.82	0.64	6.55
Er	2.65	3.21	3.98	6.40	2.11	1.32	3.38	1.46	16.56
Tm	0.41	0.40	0.21	0.96	0.38	0.19	0.37	0.30	2.71
Yb	2.29	3.21	2.06	5.22	3.59	1.46	3.02	2.10	11.54
Lu	0.42	0.51	0.34	0.89	0.81	0.24	0.44	0.31	1.58
ΣETR	374.81	1077.48	2328.95	619.90	370.60	174.57	680.42	748.44	903.11
δ ¹⁸ O _{cc}	-	-	-	-	-	-	-	-	9.05
δ ¹⁸ O _{dol}	8.85	9.28	8.97	8.87	9.37	9.87	8.84	8.54	9.60
δ ¹³ C _{cc}	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.43
δ ¹³ C _{dol}	-6.20	-6.31	-6.58	-6.13	-5.69	-4.43	-6.13	-6.98	-5.94

Legenda: BIT1/100.7, Barra de Itapirapuã perfuração nº1/profundidade 100,7m; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; *Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 17 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de magnesio-carbonatitos de granulação grossa, sem venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT5/40.0	BIT5/98.0	BIT6/110.0	BIT6/170.7	BIT6/66.1	BIT6/78.8	BIT6/95.0	BIT6/99.7
SiO ₂	3.24	.82	0.70	6.27	0.67	1.32	0.58	0.68
TiO ₂	0.02	.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	0.08	.01	0.01	0.61	0.04	0.01	0.00	0.00
FeO	8.86	10.16	7.96	9.37	7.93	7.96	6.53	7.10
MnO	1.22	1.16	0.92	0.92	1.01	0.85	0.88	0.91
MgO	14.25	13.57	16.50	13.26	16.10	17.17	17.13	16.86
CaO	32.06	30.36	29.41	28.68	30.56	29.59	29.60	29.49
Na ₂ O	0.09	0.10	0.07	0.12	0.06	0.03	0.10	0.09
K ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.57	0.01	0.01	0.02	0.02
P ₂ O ₅	0.14	0.49	0.12	1.80	0.27	0.62	0.11	0.12
LOI	39.05	42.10	43.41	37.33	42.47	41.57	44.31	43.96
Total	99.03	98.78	99.11	98.96	99.13	99.13	99.26	99.24
cc	11.6	4.6	0.0	0.00	3.1	0.00	0.8	0.00
dol	69.4	66.5	77.8	69.6	76.4	79.3	81.5	78.9
ank	19.0	28.9	22.2	30.4	20.5	20.1	17.7	21.1
Rb	2.18	1.34	11.6	122.8	1.32	5.92	2.93	7.77
Ba	2078	420.5	403.4	303.7	250.2	248.5	316.0	244.9
Th	188.4	104.7	47.74	3771	160.5	252.1	45.2	74.1
K	132.8	91.32	99.6	4690.6	108.0	66.4	141.1	166
U	2.59	20.47	4.63	223.4	-	24.15	5.00	6.91
Ta	1.35	.96	1.15	4.61	-	1.10	1.28	2.09
Nb	3.90	30.7	16.55	57.8	18.5	10.15	12.10	25.69
Sr	1676	2450	2741	3946	3543	2039	1009	5168
P	593.5	2138.4	515.0	7872.6	1178.3	2683.9	480	523.7
Hf	2.70	0.28	0.43	1.25	-	0.27	0.15	0.35
Zr	33.0	1.51	9.77	2.00	17.46	5.89	2.35	3.20
Ti	95.9	6.0	12.0	149.9	48.0	12.0	6.0	30.0
Y	89.2	63.5	9.50	221.4	24.57	142.5	22.5	22.6
La	1812	124.5	96.2	240.8	100.8	83.0	97.6	127.3
Ce	2179	232.3	100.3	316.4	192.0	184.5	143.4	207.7
Nd	810.8	102.9	39.3	153.2	68.89	70.32	77.4	116.7
Sm	119.1	18.51	5.68	20.84	16.10	18.89	13.00	18.21
Eu	34.6	6.18	1.76	7.40	3.79	6.70	3.51	4.85
Tb	35.94	4.12	0.71	4.39	2.42	4.74	1.29	1.65
Dy	57.50	20.04	2.45	28.32	18.90	21.79	9.13	5.95
Ho	11.90	2.62	0.45	6.60	3.06	5.13	1.72	0.97
Er	44.70	8.84	0.86	17.85	3.82	14.64	3.12	1.96
Tm	6.41	1.03	0.17	2.38	0.66	2.80	0.29	0.30
Yb	41.09	6.39	1.07	12.41	2.84	21.12	1.45	1.61
Lu	6.90	1.14	0.22	2.07	0.60	2.29	0.25	0.41
ΣETR	5159.94	528.57	249.17	812.66	413.88	435.92	352.16	487.61
δ ¹⁸ O _{cc}	8.43	-	-	-	-	-	-	-
δ ¹⁸ O _{dol}	9.41	9.08	9.81	9.72	9.23	10.19	8.63	8.73
δ ¹³ C _{cc}	-6.00	-	-	-	-	-	-	-
δ ¹³ C _{dol}	-5.65	-6.35	-6.04	-5.42	-5.71	-3.69	-6.44	-6.52

Legenda: BIT1/100,7, Barra de Itapirapuã perfuração nº1/profundidade 100,7m; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; *Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 18 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de magnesio carbonatitos de granulação grossa com venulações tardias da Barra de Itapirapuã

Amostra	BIT1/32.5	BIT3/183.4	BIT3/93.6	BIT5/150.0	BIT5/61.2
SiO ₂	1.71	2.62	12.56	1.16	14.85
TiO ₂	0.00	0.01	0.10	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.02	0.62	2.13	0.03	0.13
FeO	10.55	10.43	8.19	8.71	7.00
MnO	1.05	1.34	0.99	1.29	1.01
MgO	13.93	13.41	13.57	14.59	10.9
CaO	29.55	29.52	25.58	31.12	31.3
Na ₂ O	0.10	0.05	0.05	0.07	0.06
K ₂ O	0.01	0.55	0.61	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.12	0.12	0.80	0.13	0.14
LOI	41.79	40.17	34.50	41.93	33.85
Total	98.83	98.84	99.08	99.05	99.26
cc	-	7.2	3.1	7.6	23.8
dol	69.8	68.1	79.3	70.6	60.5
ank	24.3	24.7	17.6	21.8	15.7
Rb	8.59	15.9	25.95	56.4	1.11
Ba	580.0	1441	2087	2403	1039
Th	372.1	3.80	184.9	937	4164
K	91.3	4532.9	5089.1	74.7	91.3
U	36.4	1.64	13.2	81.5	104.7
Ta	1.43	16.5	3.46	19.0	1.97
Nb	14.81	486.9	66.2	163	9.12
Sr	1399.2	2417	3551.4	1039	789
P	523.7	506.2	3495.6	549.8	606.6
Hf	0.65	1.14	2.00	1.07	3.41
Zr	30.94	5.27	36.6	212	53.6
Ti	18.0	77.9	575.5	24.0	77.9
Y	83.6	25.34	24.7	57.0	126.9
La	543.8	809	1746	2560	1541
Ce	885.7	1106	2163	3565	1600
Nd	630.5	563.1	950.3	1002	1411
Sm	91.73	49.52	68.08	60.2	113.71
Eu	28.85	16.22	13.67	15.03	53.00
Tb	12.24	6.99	7.9	7.75	43.33
Dy	36.53	18.65	13.32	27.10	50.75
Ho	4.81	4.20	1.88	2.44	6.39
Er	11.17	12.04	10.25	11.9	27.63
Tm	2.00	1.72	0.96	1.25	2.81
Yb	10.73	4.29	6.01	3.85	16.17
Lu	1.38	0.66	1.06	0.69	3.68
ΣETR	2259.44	2592.39	4982.43	7257.21	4869.47
δ ¹⁸ O _{cc}	7.67	8.27	-	8.64	9.05
δ ¹⁸ O _{dol}	8.64	9.26	12.63	9.20	10.18
δ ¹³ C _{cc}	-6.91	-6.77	-	-7.04	-6.03
δ ¹³ C _{dol}	-6.19	-6.00	-1.95	-6.47	-5.57

Legenda: BIT1/32,5, Barra de Itapirapuã perfuração nº1/profundidade 32,5m; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; *Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 19 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de ferrocaibonatos de granulção grossa, sem venulações tardias, da Barra de Itapirapuã

Amostra	BIT1/39.3	BIT5/160.5	BIT5/190.0	BIT5/79.0
SiO ₂	0.80	1.53	0.27	2.24
TiO ₂	0.05	0.01	0.01	0.05
Al ₂ O ₃	0.01	0.26	0.05	0.18
FeO	12.67	13.51	13.35	13.76
MnO	1.16	1.26	1.42	1.37
MgO	12.56	10.90	11.53	13.20
CaO	30.38	29.83	33.35	32.30
Na ₂ O	0.09	0.04	0.12	0.14
K ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.03
P ₂ O ₅	0.12	0.265	1.83	0.16
LOI	40.73	40.89	36.56	35.05
Total	98.58	98.52	98.51	98.48
cc	7.2	7.00	5.7	14.7
dol	62.0	55.1	54.8	65.6
ank	30.8	37.9	39.5	19.7
Rb	8.48	2.69	1.32	3164
Ba	668	357.9	1611	483.1
Th	407	225.51	599.4	36.12
K	116.2	149.4	166.0	232.5
U	48.1	64.0	159.1	9.97
Ta	15.8	29.2	0.89	36.02
Nb	116.3	508.4	13.96	263.4
Sr	1304	1989	1534	8723
P	506.2	1156.5	7986.1	685.2
Hf	0.41	1.47	0.06	0.68
Zr	8.91	32.4	2.04	25.2
Ti	293.8	36.0	60.0	275.8
Y	62.40	64.8	243.8	18.6
La	409.8	401.3	655.1	194.3
Ce	640.3	771.2	1122	275.2
Nd	376.3	343.3	703.4	88.0
Sm	54.23	46.85	57.08	12.16
Eu	19.92	13.31	43.79	2.94
Tb	9.06	8.05	24.52	2.69
Dy	29.98	41.38	158.34	6.17
Ho	3.61	8.34	24.21	0.93
Er	7.81	12.90	39.80	3.99
Tm	0.70	2.06	4.07	0.47
Yb	6.57	12.32	22.92	2.77
Lu	1.24	2.06	4.29	0.47
ΣETR	1559.52	1663.07	2859.52	590.09
δ ¹⁸ O _{cc}	8.08	8.80	8.60	9.06
δ ¹⁸ O _{dol}	9.00	9.36	9.14	10.00
δ ¹³ C _{cc}	-6.48	-6.36	-6.61	-5.82
δ ¹³ C _{dol}	-5.78	-5.99	-6.12	-5.19

Legenda: BIT1/39,3, Barra de Itapirapuã perfuração nº1/profundidade 39,3m; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; *Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 20 – Composição química (óxidos, % em peso; traços, ppm) de ferrocarbonatitos de granulação grossa, com venulações tardias, da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT2/115	BIT2/43.28	BIT2/75.65	BIT3/142	BIT5/130.0	BIT5/210.0	BIT5/230.0	BIT6/6.8
SiO ₂	2.38	2.27	11.16	1.50	9.27	3.43	1.05	2.70
TiO ₂	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	1.55	0.05
Al ₂ O ₃	0.12	0.23	0.60	0.07	0.89	0.34	0.08	0.21
FeO	9.95	14.48	13.71	12.70	9.06	13.44	10.09	15.74
MnO	1.29	1.91	1.85	1.75	0.82	1.12	0.09	1.84
MgO	8.90	10.55	6.77	12.53	4.63	7.77	8.40	8.91
CaO	38.31	31.49	30.94	33.14	40.95	35.52	39.18	33.18
Na ₂ O	0.23	0.08	0.07	0.10	0.23	0.17	0.19	0.05
K ₂ O	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P ₂ O ₅	8.86	0.22	0.42	0.32	12.59	6.28	10.27	0.10
LOI	28.78	37.11	32.42	36.45	20.61	30.40	27.12	34.58
Total	98.89	98.38	97.97	98.59	99.09	98.50	98.03	97.37
cc	11.5	13.8	27.3	15.1	27.2	10.3	13.3	19.1
dol	51.8	53.5	39.5	61.3	32.6	43.7	51.6	44.7
ank	36.7	32.7	33.2	23.6	40.2	46.0	35.1	36.2
Rb	2.27	5.12	5.82	4.97	60.3	52.7	61.85	53.41
Ba	941.7	1927	738.5	2618	999	1289	801.7	43.99
Th	251.9	246.1	141.6	9.95	492.8	326.2	285.3	368.9
K	66.4	265.6	182.6	99.6	66.4	66.4	91.3	58.11
U	8.51	21.14	14.71	2.01	68.1	15.56	14.93	13.0
Ta	7.82	-	5.90	1.94	7.13	24.34	4.57	3.33
Nb	45.9	-	102.6	35.4	72.6	232.8	57.6	30.7
Sr	1663	2955	739.8	3195	1110.7	1748	4666	2465
P	38665	960	1828.5	1374.7	54943	27410	44818	418.9
Hf	15.1	-	0.29	1.19	0.17	1.23	0.12	1.33
Zr	9.4	-	10.3	10.0	5.6	35.7	1.55	16.1
Ti	374.6	-	77.9	101.9	168	131.9	9286.3	317.7
Y	743.9	75.6	265	67.1	563.5	922.8	663.2	165.1
La	1023	1070	921	1156	1290	916	593	1308
Ce	1284	1397	1403	1967	1511	2779	1180	1748
Nd	942.4	826	979	2691	1580	1968	871	856
Sm	194.4	116.6	135.8	143.24	244.5	263.1	155.6	242.5
Eu	100.0	30.20	84.78	65.26	83.6	95.56	77.69	33.1
Tb	60.72	11.70	21.73	13.04	42.8	51.48	41.45	16.1
Dy	176.9	37.42	122.1	40.85	279	140.56	206.70	61.6
Ho	50.20	3.72	28.63	8.58	58	28.11	45.08	7.75
Er	124.85	12.49	84.24	28.15	116.2	77.44	91.60	27.23
Tm	23.72	1.75	25.63	3.45	16.12	15.64	16.97	3.02
Yb	88.32	10.10	84.46	10.43	91.81	54.01	72.40	11.69
Lu	18.53	1.38	25.84	1.80	12.30	9.14	9.30	2.24
ΣETR	4087.04	3518.36	3916.26	6128.80	5325.33	6398.04	3360.79	4317.23
δ ¹⁸ O _{cc}	8.80	7.91	9.71	8.95	9.13	8.95	9.88	8.65
δ ¹⁸ O _{dol}	9.24	9.17	10.69	9.90	10.12	9.64	9.64	9.36
δ ¹³ C _{cc}	-6.12	-6.65	-5.05	-6.39	-5.50	-5.90	-5.90	-6.35
δ ¹³ C _{dol}	-5.75	-6.04	-4.99	-5.72	-5.04	-5.38	-5.38	-5.85

Legenda: BIT2/115, Barra de Itapirapuã perfuração nº2/profundidade 115m; ank, ankerita; cc, calcita; dol, dolomita; ΣETR, totais de elementos de terras raras; *Fe calculado como FeO; LOI, perda ao fogo; δ¹⁸O, relação isotópica de Oxigênio; δ¹³C, relação isotópica de Carbono.

Tabela 21 – Composição química (óxidos, % em peso) de fenitos e rochas graníticas fenitizadas da Barra de Itapirapuã.

Amostra	BIT1/116.8	BIT1/202.4	BIT1/205.4	BIT1/61.5	BIT2/26.78	BIT2/6.4	BIT2/62.7	BIT2/8.50	BIT2/9.50
SiO ₂	63.01	61.15	73.4	52.66	54.84	58.42	56.12	60.18	56.4
TiO ₂	.89	.57	.07	.72	0.77	0.93	1.33	0.64	0.57
Al ₂ O ₃	14.54	16.94	13.99	14.99	11.95	13.67	13.7	15.1	14.06
Fe ₂ O ₃	3.32	1.29	.05	.68	4.12	4.76	3.63	2.75	2.88
FeO	1.21	1.75	0.17	2.857	1.12	0.89	3.62	0.95	1.29
MnO	.06	.064	.04	.249	0.08	0.10	0.09	0.09	0.11
MgO	1.99	.99	.05	1.65	2.65	1.99	3.47	0.91	2.15
CaO	3.84	4.30	1.34	6.49	7.67	4.95	6.63	4.04	6.43
Na ₂ O	4.72	4.42	2.10	.31	7.24	5.60	3.84	3.04	5.60
K ₂ O	3.74	6.48	7.81	11.38	0.88	4.33	4.20	7.80	4.30
P ₂ O ₅	.28	.44	.01	.14	0.79	0.06	0.57	0.24	0.69
LOI	2.27	1.41	.99	7.54	7.76	4.26	2.39	4.13	5.35
Total	99.87	99.80	100.02	99.67	99.87	99.96	99.59	99.87	99.83

Amostra	BIT3/20.8	BIT3/85	BIT5/180	BIT5/30	BIT6/122	BIT6/127	TC-X26	TC-X5
SiO ₂	76.33	53.10	65.03	57.1	60.9	53.4	68.42	63.71
TiO ₂	0.04	0.49	0.68	0.79	1.07	0.74	0.41	0.63
Al ₂ O ₃	14.04	11.2	13.91	16.2	15.6	13.3	14.01	14.56
Fe ₂ O ₃	0.12	5.52	1.63	0.30	2.58	6.56	0.90	1.37
FeO	0.12	3.24	1.90	2.53	2.67	2.71	1.88	2.62
MnO	0.04	0.18	0.07	0.16	0.07	0.23	0.06	0.08
MgO	0.02	6.12	1.49	0.93	2.15	1.50	0.94	1.49
CaO	0.42	3.58	3.91	4.37	3.88	5.13	2.33	3.48
Na ₂ O	3.54	4.65	3.74	0.32	3.85	0.22	5.13	5.68
K ₂ O	4.98	5.07	4.32	11.62	5.14	9.10	4.43	4.71
P ₂ O ₅	0.01	0.16	0.26	0.16	0.48	0.28	0.16	0.25
LOI	0.32	6.31	2.86	5.28	1.35	6.59	1.03	0.98
Total	99.98	99.62	99.80	99.76	99.74	99.76	99.70	99.56

Legenda: BIT1/116.8, Barra de Itapirapuã perfuração nº1/profundidade 116,8m; LOI, perda ao fogo; TC-X26, Composição média de elementos do granito Três Córregos; TC-X5, Composição média de elementos de 5 amostras de granitos circunvizinhos às ocorrências de Itapirapuã / Barra de Itapirapuã (Gomes et al., 1975a).

Tabela 22 – Composição isotópica O–C de carbonatitos de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã.

Barra do Itapirapuã	$\delta^{18}\text{O}$ Fe-dol	$\delta^{13}\text{C}$ Fe-dol	$\delta^{18}\text{O}$ calc	$\delta^{13}\text{C}$ calc	Calc% wt	Dol% wt	Ank% wt
BIT 1							
32,5m	8,64	-6,19					
39,3m	9	-5,78					
66,5m	8,87	-6,13					
87,4m	9,37	-5,69					
100,7m	8,85	-6,2					
128,7m	9,28	-6,31					
188,6m	8,97	-6,58					
202,4m ^(*)			9,99	-5,15	100		
BIT 2							
43,28m	9,17	-6,04	7,91	-6,65	14	50,1	35,9
72,4m	8,84	-6,13					
76,65m	10,69	-4,99	9,71	-5,05	27,5	36,5	36
95,5m	9,69	-5,19					
110,5m	9,97	-4,43			3,4	73,4	23,2
115,0m	9,24	-5,75	8,8	-6,12	20,5	52,6	26,9
BIT 3							
35,7m	15,55	-0,3	12,64	-0,89	84,6	12,2	3,2
44,7m	17,53	-0,73	16,08	-1,3	63,8	32	4,2
72,2m	8,54	-6,98				80,2	19,8
93,6m	12,63	-1,95			3,3	76,8	19,9
142,0m	9,9	-5,72	8,85	-6,04	15,6	58,2	26,2
183,4m	9,26	-6	8,7	-6,28	7,5	64,9	27,6
BIT 5							
40,0m	9,41	-5,65	8,43	-6	12	66,6	21,4
61,2m	10,18	-5,57	9,05	-6,03	24,7	57,7	17,6
79,0m	10	-5,19	9,06	-5,82	15,3	62,7	22
87,3m	13,26	1,42	12,55	0,81	7,6	78	14,4
90,4m	14,13	1,38			3,5	83,9	12,6
98,0m	9,08	-6,35			4,8	63,1	32,1
130,0m	10,12	-5,34	9,13	-5,5	39	34	27
150,0m	9,2	-6,67	8,51	-7,04	7,9	67,6	24,5
160,5m	9,36	-5,99	8,8	-6,36	7,1	51,4	41,5
172,3m	9,09	-6,03			5,3	53,1	41,6
190,0m	9,14	-6,12	8,6	-6,61	13	55	32
210,0m	9,64	-5,38	8,95	-5,9	18,5	43,6	37,9
230,0m	10,55	-4,99	9,88	-5,38	25,3	53,9	20,8
256,0m	9,6	-5,94	9,09	-6,43	7,9	68,4	23,7
BIT 6							
6,8m	9,36	-5,85	8,65	-6,35	19,2	41,4	39,4
20,0m	9,13	-5,76			4,6	80,8	14,6
30,0m	8,76	-6,22			0,1	82,3	17,6
66,0m	9,23	-5,71			3,2	73,7	23,1
78,8m	10,19	-3,69				77,9	22,1
95,0m	8,63	-6,44			0,8	79,1	20,1
99,7m	8,73	-6,52				76,2	23,8
110,0m	9,81	-6,04				74,9	25,1
141,0m	14,74	1,18			4,1	75,9	20
170,7m	9,72	-5,4			2	68,3	29,7
152,0m ^(*)			12,63	-0,82	100		
50,7m ^(*)			9,32	-6,94	100		

^(*) Fenitos *l.s.*

Legenda: (BIT 1/32,5), Barra de Itaperapuã nº da perfuração/profundidade em metros.

Tabela 22 – Composição isotópica O–C de carbonatitos de Mato Preto e da Barra de Itapirapuã.

Mato Preto	$\delta^{18}\text{O}$ Fe-dol	$\delta^{13}\text{C}$ Fe-dol	$\delta^{18}\text{O}$ calc	$\delta^{13}\text{C}$ calc	Calc% wt	Dol% wt	Ank% wt
Amostras de Sondagem							
MPdd/62,2m	11,88	-2,74	10,68	-3,45	44	29,2	26,8
MPdd/70,0m			18,9	-0,7	94,9	2,3	2,8
MPdd/77m	13	-1,3	11,32	-1,91	89	6,1	4,9
MPdd/84m			12,64	-0,41	95,2	1,5	3,3
MPdd/93,1m			13,06	-0,63	94,5	1,7	3,8
MPdd/119,3m	13,31	-0,45	12,49	-0,81	90,9	4,5	4,6
Amostras de Superfície							
MPEx-12			13,26	-1,66	99,7	0,3	
MPEx-21	15,91	0,95	14,61	0,38	72,4	17,3	10,3
MPEx-22			8,26	-6,25	98,7	0,2	1,1
MPEx-27D			10,07	-4,52	93,9	3,2	2,9
MPEx-28C			12,06	-1,36	93,1	2,3	4,6
MPEx-29B			13,19	-2,41	97	0,5	2,5
MPEx-10			10,19	-5,84	89,8	7,6	2,6
MPEx-25A	12,6	-4,98	13,11	-0,56	98,2	9,3	1,5
MPEx-30B			9,77	-5,77	96,4	0,8	2,8
(***)							
7-DB46-A			12,7	0,2			
8-DB46-B			12,5	-0,4			
8745-B			13,5	-0,2			
DB45-8733A-B			13	0			
DB47-8747-B	14,4	0,9	13,2	0,8			
DB47-8748			13,7	0			
DB47-8751-B	15,5	0,3	13,8	0,4			
DB47-8754-B			13,2	0			
SR-301-A	11	-3,2					
SR501-8778-B	9,5	-3,9					
SR502-8780-B			9,7	-6,5			
SR501-8781-B	12,6	-1,3	11,5	-1,7			
SR501-8723-C			9,1	-6,9			

(***) Extraído de Santos & Clayton (1995)

Legenda: (MPdd/62,2m), Mato Preto perfuração dd/profundidade em metros;
(MPEx-12), Mato Preto amostra de superfície